

**幌延深地層研究計画
平成14年度調査研究成果報告**

平成15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番地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

C 核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2003

目 次

1. はじめに	1
2. 平成 14 年度の主な調査研究結果	1
3. 研究所設置地区の選定に関する検討結果	2
4. 地層科学研究	5
4.1 地質環境調査技術開発	5
4.1.1 地質環境データの取得	5
(1) 物理探査	5
(2) 地質調査	9
(3) 表層水理調査	11
(4) 試錐調査	13
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	20
(1) 地質構造モデル	20
(2) 地下水の水理モデル	21
(3) 地下水の地球化学モデル	22
(4) 岩盤力学モデル	23
4.1.3 調査技術・調査機器開発	26
(1) 試錐孔掘削のための技術	26
(2) 試錐孔を用いた調査試験のための技術	27
4.2 地質環境モニタリング技術の開発	28
4.2.1 試錐孔を用いたモニタリング技術開発	28
4.2.2 遠隔監視システムの開発	31
4.3 深地層における工学的技術の基礎の開発	33
4.4 地質環境の長期安定性に関する研究	38
4.4.1 地震研究	38
4.4.2 天然現象の研究	39
5. 地層処分研究開発	41
5.1 処分技術の信頼性向上	41
5.1.1 人工バリア等の工学技術の検証	41
5.1.2 設計手法の適用性確認	44

5.2 安全評価手法の高度化	46
5.2.1 安全評価手法の適用性確認	46
6. 環境調査・地上施設	48
6.1 環境調査	48
6.2 地上施設	50
参考文献	52

参考資料

図リスト

- 図 1 新第三紀層の分布と研究所設置対象区域
- 図 2 試錐孔位置とケーシングプログラム
- 図 3 研究所設置地区
- 図 4 反射法地震探査測線図
- 図 5 反射法地震探査結果断面図 (Line-1)
- 図 6 反射法地震探査結果断面図 (Line-2)
- 図 7 HDB-1 孔 VSP 記録および合成地震記録
- 図 8 地質調査位置図
- 図 9 河川流量計設置地点および流域図
- 図 10 河川流量計概念図
- 図 11 河川流量・電気伝導度・気象観測結果
- 図 12 試錐調査実施地点とケーシングプログラム
- 図 13 地質柱状図と試錐孔を用いた検層結果 (HDB-3 孔)
- 図 14 地質柱状図と試錐孔を用いた検層結果 (HDB-4 孔)
- 図 15 地質柱状図と試錐孔を用いた検層結果 (HDB-5 孔)
- 図 16 室内試験結果の一例 (一軸圧縮強度の深度分布)
- 図 17 試錐孔における水理試験結果
- 図 18 地下水水質分析結果 (ヘキサダイアグラム)
- 図 19 地質断面図
- 図 20 地下水の起源に関する解析結果の例
- 図 21 地下水の水質分布の概念図
- 図 22 室内試験結果のまとめ
- 図 23 大曲断層西側領域の岩盤力学モデル
- 図 24 定方位コア採取システムの概要
- 図 25 水理試験装置概念図
- 図 26 物理検層結果と長期モニタリングが可能な位置
- 図 27 HDB-1 孔における地下水圧観測結果
- 図 28 反射法地震探査で取得した環境ノイズデータ
- 図 29 時間帯によるノイズ強度の違い (電磁法長期観測点)
- 図 30 地下施設レイアウト (案)

- 図 31 空洞安定解析における塑性領域分布図
- 図 32 支保パターンの例
- 図 33 火災時の解析例
- 図 34 地下施設掘削時の通気システムの段階的進展の例
- 図 35 地震観測位置と平成 14 年 12 月 26 日に発生した地震の震央位置
- 図 36 平成 14 年 12 月 26 日発生地震の観測結果
- 図 37 平成 15 年 3 月 17 日発生地震の観測結果
- 図 38 HDB-1 孔敷地に設置した GPS アンテナ
- 図 39 電磁気探査機器設置概念図
- 図 40 深度方向の電気抵抗の分布図（平成 15 年 1 月 26 日）
- 図 41 電気抵抗の日変化図（深度約 500m）
（平成 14 年 11 月 24 日～平成 15 年 2 月 2 日）
- 図 42 場所打ちコンクリート圧縮強度
- 図 43 吹付けコンクリート圧縮強度
- 図 44 フライアッシュの品質変動に伴う場所打ちコンクリートの圧縮強度
- 図 45 飛沫帯 1 年暴露後の鉄筋の状況
- 図 46 飛沫帯 1 年暴露後の鉄筋の状況
- 図 47 地下研究施設における原位置試験計画の例
- 図 48 原位置試験の例（坑道閉鎖試験）
- 図 49 環境調査位置図
- 図 50 造成計画平面図
- 図 51 地上施設の検討例

表リスト

- 表 1 長期モニタリング実施区間と目的
- 表 2 アクセス方式の検討項目
- 表 3 解析用地盤物性値（HDB-1 孔）
- 表 4 支保に関する解析結果
- 表 5 低アルカリ性セメントの配合条件
- 表 6 割れ目を有していない試料を用いた透水試験結果
- 表 7 割れ目を有する試料を用いた透水試験結果
- 表 8 環境調査実施内容
- 表 9 確認された重要種

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14年度調査研究計画（平成14年4月）」¹⁾に基づき、平成14年度に実施した調査研究の成果をまとめたものです。

2. 平成14年度の主な調査研究結果

幌延深地層研究計画は、「地上から行う調査研究」、「坑道を掘削しながら行う調査研究」、「坑道を利用して行う調査研究」の3つの段階に分けて実施します。平成14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、地上物理探査、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す。

した。また、これらの調査に先立ち、研究所設置地区を選定しました。この他、地質環境モニタリング技術の開発や、地質環境の長期安定性に関する研究、地下施設の設計のための検討を行いました。地層処分研究開発については、第2段階以降に地下施設で行う計画を具体化するための検討を行いました。

地上施設に関しては、地下施設と地上施設の建設用地造成工事の基本設計および一部分の実施設計を行いました。また、研究所設置地区の中から研究所設置場所を選定し、研究所設置場所を対象に地下施設の基本レイアウトなどに基づき研究管理棟およびコア倉庫・ワークショップ棟の各施設について、配置、構造、機能、規模、外観および設備など基本計画の検討を行いました。さらに、研究所設置地区において環境調査を継続実施しました。

3. 研究所設置地区の選定に関する検討結果

研究の対象となる地層と地下水が存在すること、安全に地下施設を建設できることが研究所設置地区の基本的な要件です。

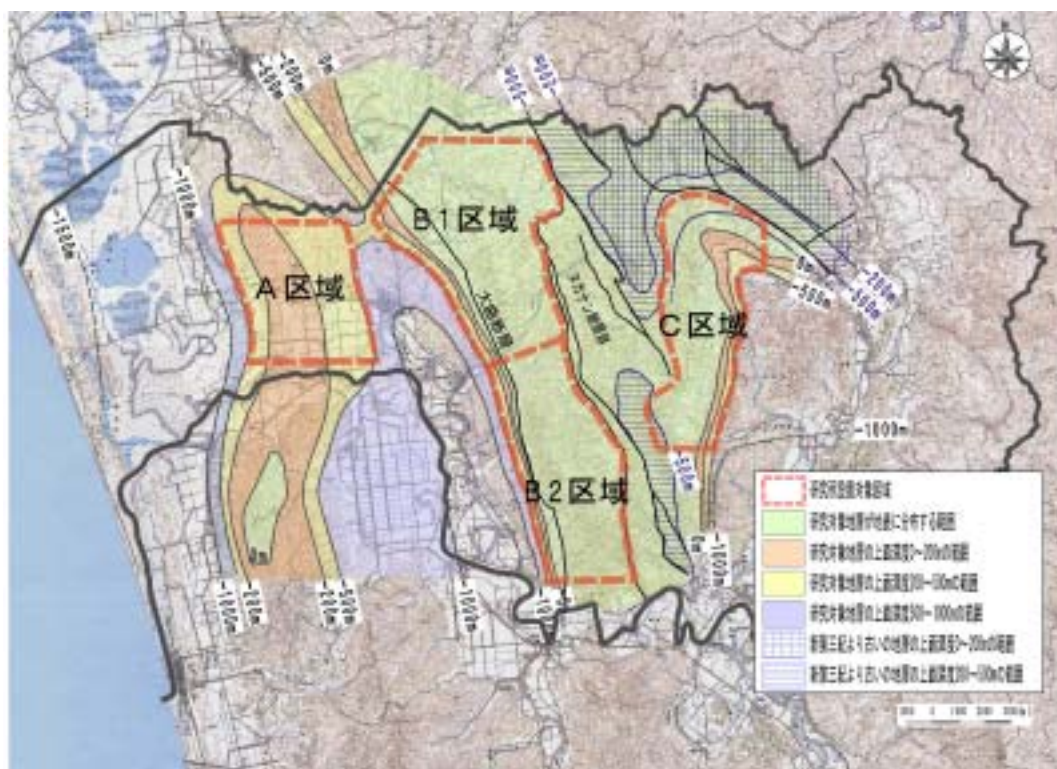


図1 新第三紀層の分布と研究所設置対象区域

研究所設置地区の選定にあたっては、まず文献などの既存資料に基づき、新第三紀の主に泥岩からなる声問層、稚内層、増幌層（上部）を研究の対象地層に選定し、これらの地層が 500m 程度の深さに十分な厚さをもって分布することが推定される研究所設置対象区域（A 区域、B1 区域、B2 区域、C 区域）を抽出しました（図 1）。これらの区域のうち、C 区域を含む北海道大学天塩研究林および隣接している問寒別地区の民有地・町有地などを除く範囲を対象に、A, B1, B2 区域を含む範囲を対象として、平成 13 年度に空中物理探査（磁気、電磁および、自然放射能探査）、地上物理探査（電磁探査）、地質調査を実施しました。

次に、既存試錐孔掘削時のガスの産出記録や社会的条件などを考慮して、B1 区域と B2 区域において試錐調査（2 孔：HDB-1 孔、HDB-2 孔）（図 2）を実施し、地質層序に関するデータや地下水に関するデータ、地層の力学的強度やガスに関するデータを取得しました²⁾。

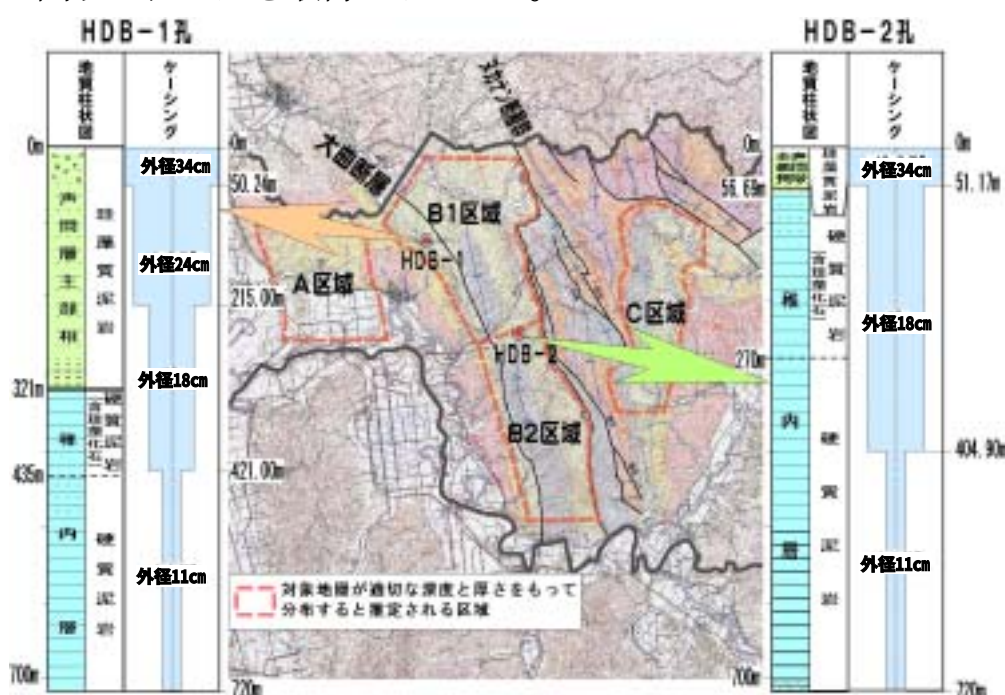


図2 試錐孔位置とケーシングプログラム

試錐調査の結果から、B1、B2 区域ともに研究所設置地区としての要件を満たしていることを確認しました。次に、地表からの調査や施設の建設を効率的に行うためには、地形が開けて、道路が整備されていることが好ましいことから、B1 区域の北進地区と B2 区域の上幌延地区を研究所設置地区の候補地区としました。

北進地区と上幌延地区について、地質やガスの存在、地形、アクセス道路、土地利用状況の比較を行った結果、上幌延地区に掘削した HDB-2 孔では割れ目が発達し、ガスの湧出を認めたこと、北進地区のほうがより地形が開け、道路が整備されていること、土地利用状況についても許認可や用地取得が容易と考えられる原野や公的な機関の所有地が北進地区に多いことなどを総合的に判断して、北進地区に研究所設置地区を選定しました³⁾ (図3)。

地下施設を含む施設建設を行う研究所設置場所については、用地取得や開発許認可の観点から、公共機関の所有する土地で、かつ原野であること、また、地下施設建設のための安全要件などを満たしていることを平成13年度の試錐孔(HDB-1 孔)のデータにより確認できることを総合的に考慮して、幌延町市街地北方約 3km の位置に研究所設置場所を選定しました。

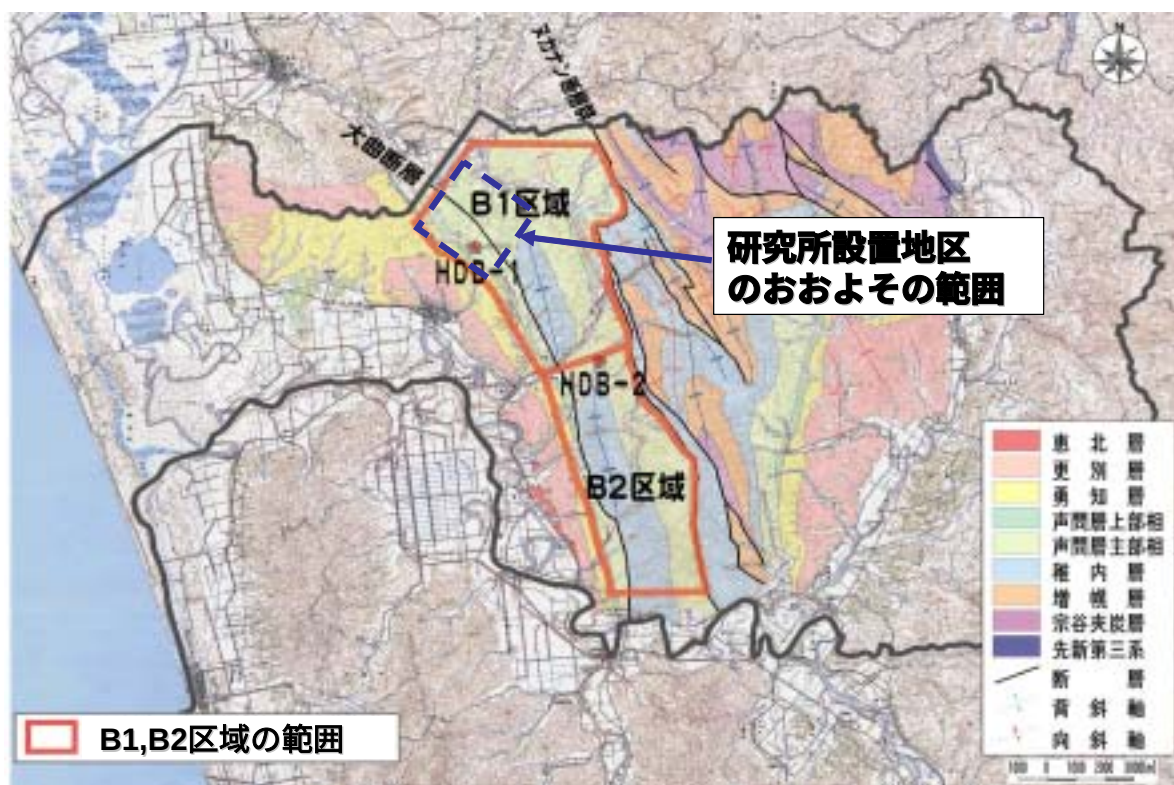


図3 研究所設置地区

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

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、地下水の圧力・水質、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13年度の地上物理探査においては、地層の電磁気的な性質（電気抵抗など）に着目した調査を行いました。平成14年度は、研究所設置地区とその周辺の地質構造をより詳細に推定するために、地層の中を伝わる人工的な地震波を利用した反射法地震探査^{*1}、VSP（Vertical Seismic Profiling；垂直地震断面法）探査^{*2}を実施しました。

ア) 反射法地震探査

研究所設置地区およびその周辺の地表から地下2,000m程度までの地層の分布や断層（割れ目帯）、しゅう曲などの地質構造などを推定するためのデータを取得しました。データは、南北約10.7km（Line-1）、東西約4.3km（Line-2）の2測線、合計約15kmの反射法地震探査を実施し、取得しました（図4）。

発信源には、大型バイブレータ（約18t）2台、幌延町の市街地では、人家などへの影響に配慮して小型バイブレータ（約4.2t）1台を使用しました。

反射法地震探査結果断面図中の反射面と地層の重なり方との比較には、VSP探査の結果や既存の地質情報およびHDB-1、3、4孔の試錐調査で取得した地質データを用いました。推定した地層境界は、断面図（図5、6）に色付の点線で示しています。なお、断面図の中央部には物理検層から求めた合成地震記録を表示し対比しています

^{*1}:地上で人工的に弾性波を発生させ、その弾性波が地中を伝播し地層の境界に達すると、屈折、透過、反射して、その一部は再び地上に戻ってきます。この反射波を地上に設置した多数の受信器で測定することにより地層の重なり方などを推定する方法です。

^{*2}:反射法地震探査は地上に発信機、受信器を設置して測定するのに対して、VSP探査は発信機もしくは受信器のいずれかを試錐孔内に設置して、試錐孔の深度方向と地上との間を測定し、地層の重なり方などを推定する手法です。

Line-1 の反射法地震探査結果断面図（図5）では、HDB-1 孔の南側で既存の地質図で地表に表れている更別層と勇知層の境界、勇知層と声問層の境界と想定される反射面が、南側に傾斜して幌延町の市街地の地下まで確認できます。一方 HDB-1 孔の北側では、北側緩くに傾斜している反射面が確認できますが、何箇所にも分断されています。これは、大曲断層の存在が原因となっている可能性が考えられます。

Line-2 の反射法地震探査結果断面図（図6）では、測線の西端で既存の地質図で地表に表れている勇知層と声問層の境界と想定される反射面が確認できます。一方東側では、東に傾斜している連続した反射面が確認できますが、大曲断層の推定位置の東側でこれらの反射面が急に確認できなくなります。

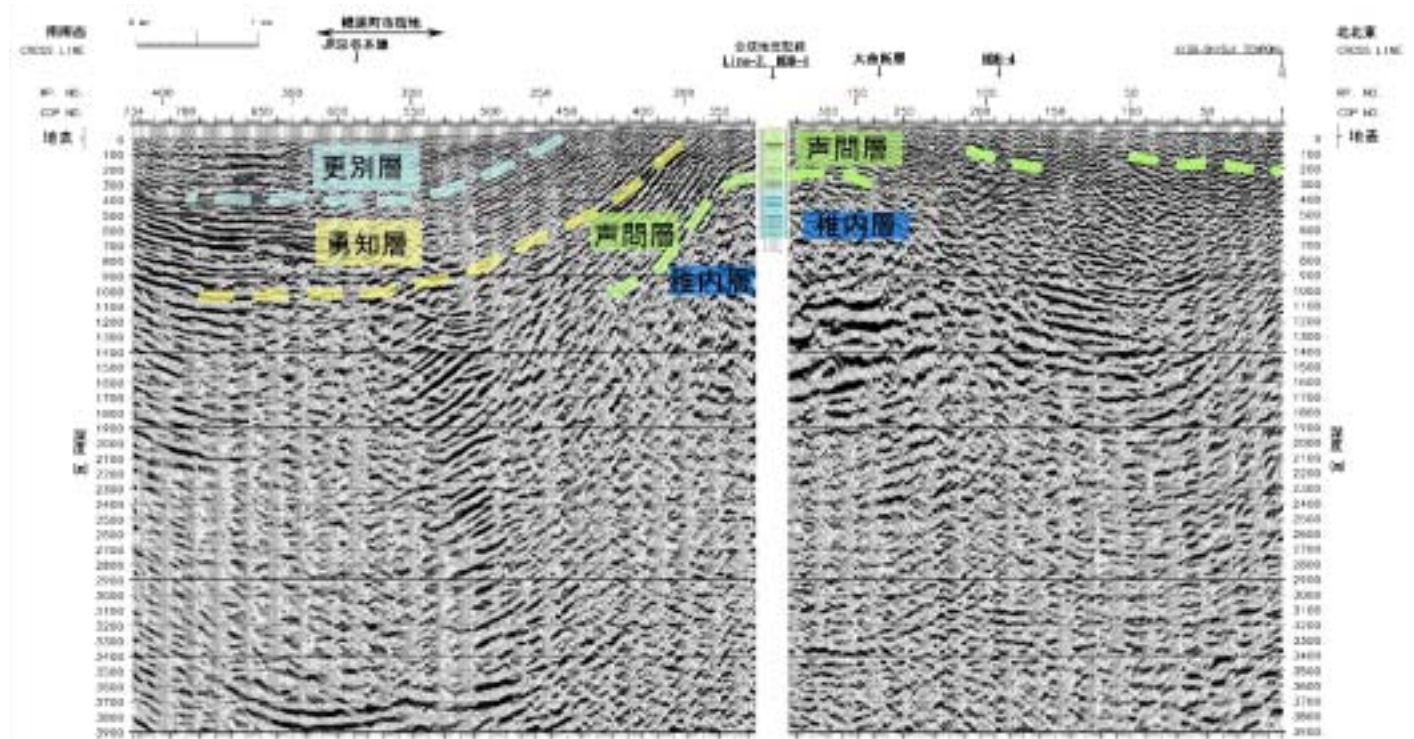
今後さらに、地質調査や試錐調査のデータなどの結果を用いて、反射面と地質との対比を行い、地質構造を推定していく予定です。

イ) VSP 探査

平成 13 年度に掘削された HDB-1 孔を用いて VSP 探査を実施しました。試錐孔を用いて行う反射法地震探査である VSP 探査により、地表での探査で得られた結果を試錐調査で確認した地層の重なり方などと比較するためのデータを取得しました。

なお、測定用の地震波の発信源には反射法と同じ振源装置（バイブレータ）を使用し、受信器は試錐孔内にウインチで吊り下げて設置しました。

解析した結果を図7に示します。HDB-1 孔は、地表から深度 350m 付近まではケーシングのセメンティングの状態が悪かったことから、VSP 地震記録を解析することができませんでした。そのため、VSP 地震記録を取得できなかった深度区間については、物理検層記録（密度および音波検層）より合成地震記録を作成し、地表での探査で得られた結果を試錐調査で得られた地層の重なり方などと比較しました。



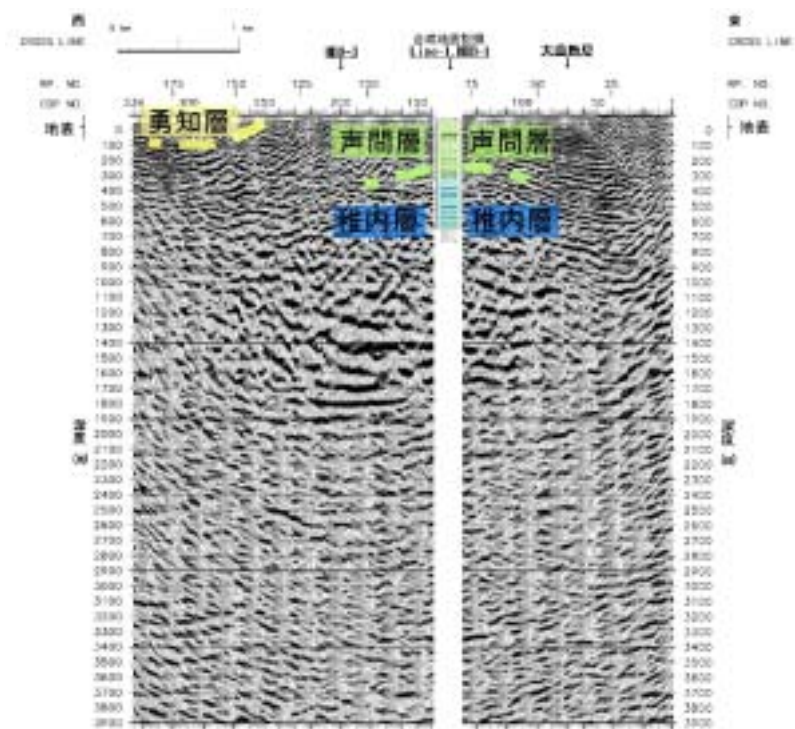


図6 反射法地震探査結果断面図 (Line-2)

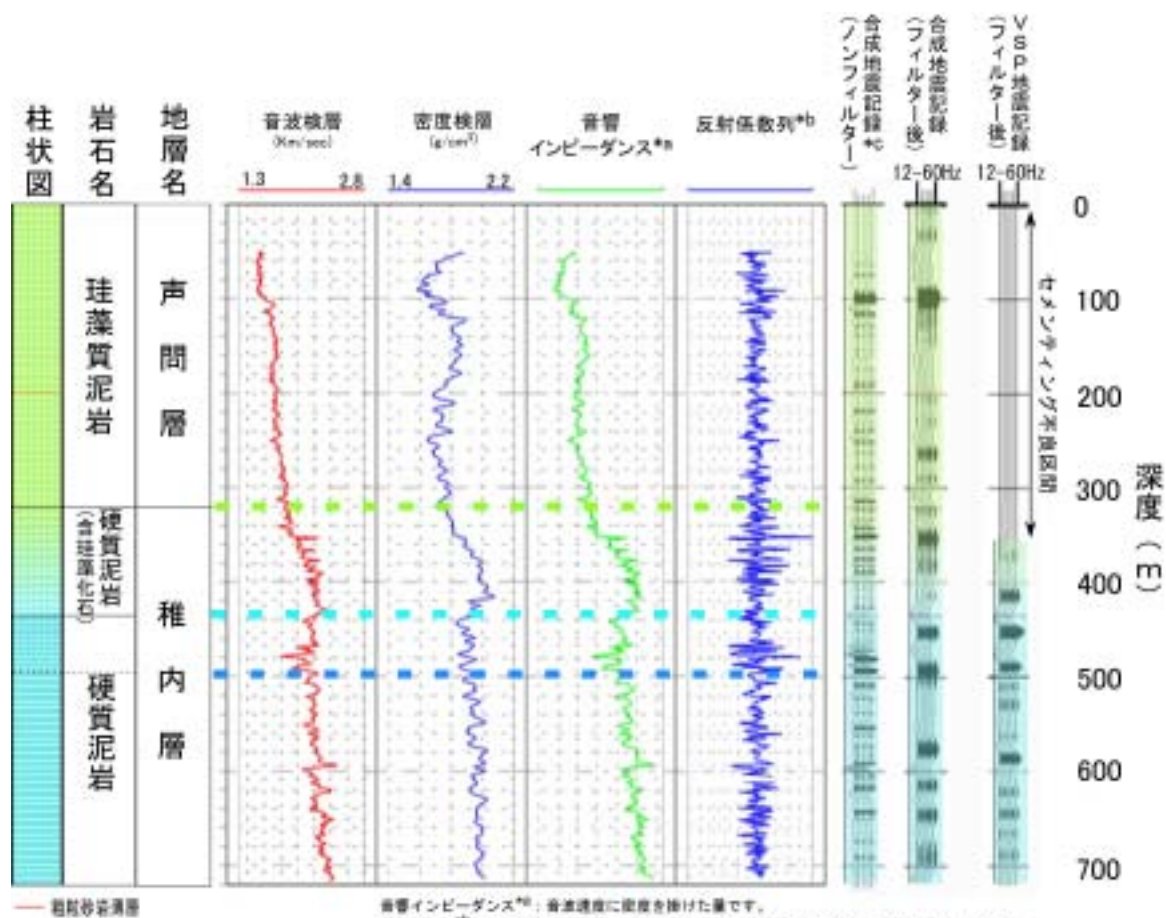


図7 HDB-1 孔 VSP 記録および合成地震記録

(2)地質調査

地層の重なり方や地層の特徴、断層などの地質構造の位置や特徴を明らかにするため、地表に露出している地層の観察（図8）や採取した岩石サンプルを用いた顕微鏡観察、鉱物試験、微化石分析を行いました。

地表に露出している地層の観察からは、概ね既存の文献⁴⁾に示された地質分布と整合的な関係が得られました。しかし、稚内層／声問層境界および大曲断層周辺の地質構造については、図8に示す4つのルートおよび研究所設置地区周辺での調査から、声問層の珪藻質泥岩から稚内層の硬質頁岩へは漸移的に移行すること、その移行部分が断層のために欠如する場合があること、大曲断層の推定位置付近において断層の存在を示唆していると考えられる硬質頁岩のブロックを珪藻質泥岩が取り囲む構造が認められること、声問層が分布するとされているところで上位の勇知層と考えられる砂岩および泥岩が認められることがわかりました。

今後、各地層の年代や漸移的な境界の関係、大曲断層の位置などを明らかにするための地質調査を行う予定です。

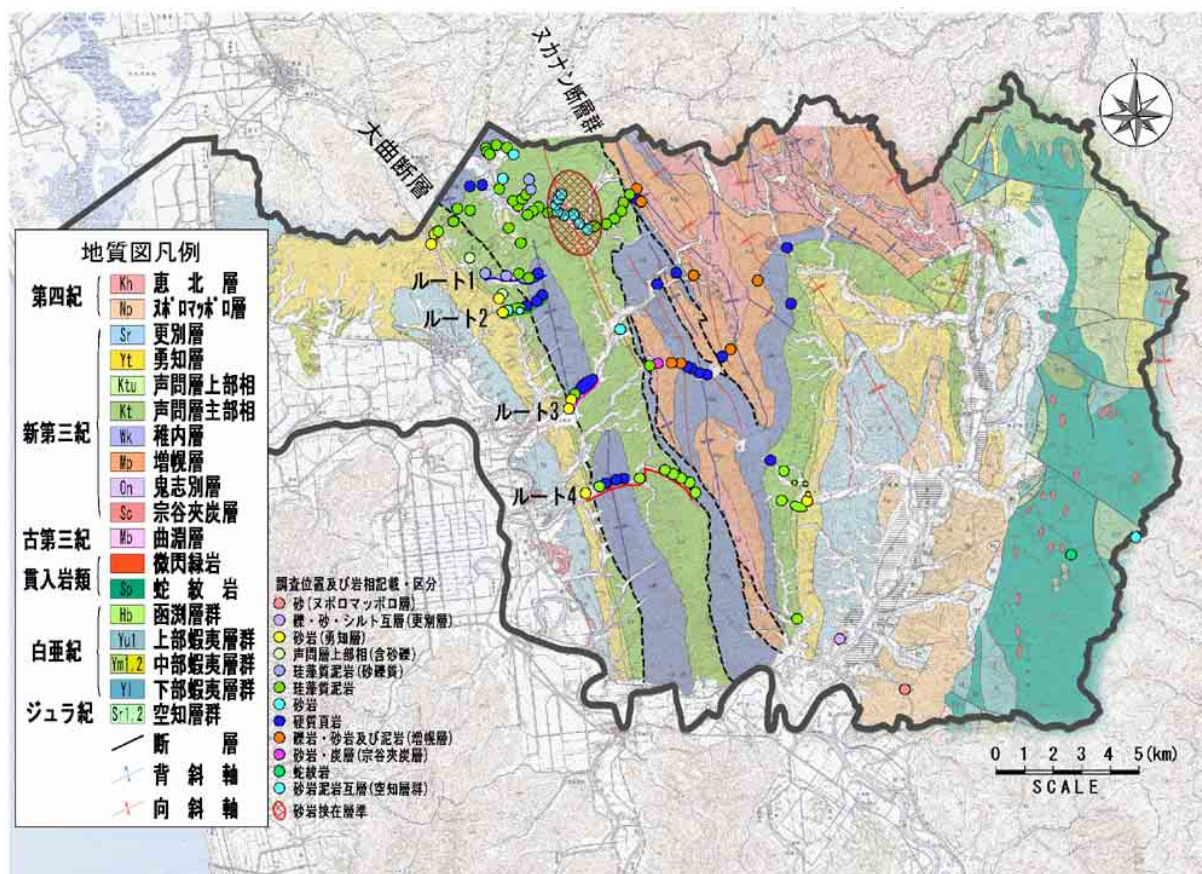


図8 地質調査位置図

(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、表層部の地下水を含めた水の動きを把握しておくことも重要になります。とくに、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（涵養量）を推定する必要があります。これらの課題に答えるための基礎データの一つとして、河川流量と河川水の電気伝導度を観測するための機器を研究所設置地区とその周辺の合計3地点（P-1、2、3）に設置し、観測を開始しました（図9、10）。なお、観測地点の選定にあたっては、研究所設置地区とその周辺の流域から、①河床が安定し水面勾配が小さいこと、②積雪時の交通アクセスが容易であること、③流速が安定していること等の条件を考慮して決定しました。

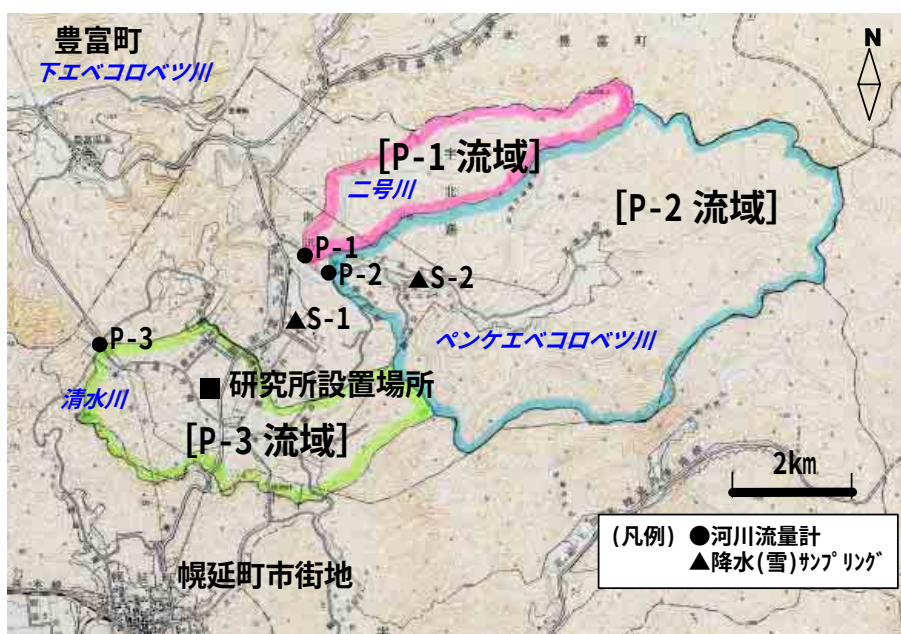


図9 河川流量計設置箇所および流域図

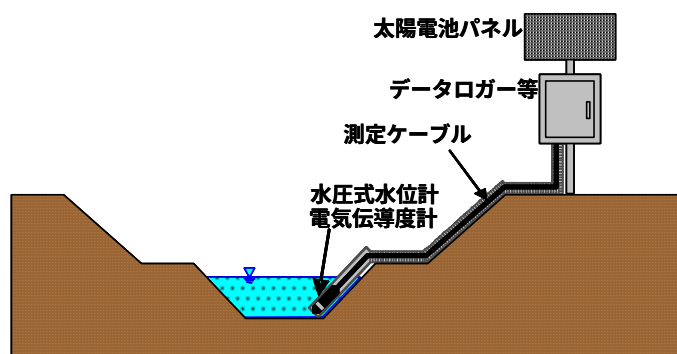


図10 河川流量計概念図

河川流量は、あらかじめ各観測地点で異なる河川水量状態時に、水位・流速・断面形状を数回にわたって実測し、これらのデータから水位と流量（流速と断面形状から算定）の関係を数式化しておき、この数式を用いて連続観測している水位から換算して求めます。

これまでの観測結果から、降雨後、河川流量が最大に達するまでの時間は観測点により若干異なっていることがわかりました。これは各流域の地形・地質・植生などの違いによるものと考えられます。

また、河川流量と同一地点で連続測定している河川水の電気伝導度については、積雪開始後、一様に値が上昇する傾向が確認されました（図11）。これは、降水が積雪として地表面に蓄積され、河川に流入する降水の量が減少し、河川水における地下水（電気伝導度が降水より高いと仮定）の占める割合が大きくなったためと考えられます。

今後は、河川流量・電気伝導度の観測に加え、河川水や降水の水質分析を実施するとともに、研究所設置地区に気象観測装置の設置を行い、この地区の降水量や蒸発散量^{*3}などのデータ取得を開始し、水収支の観点からこの地区の表層水の動きをより詳細に把握していく予定です。

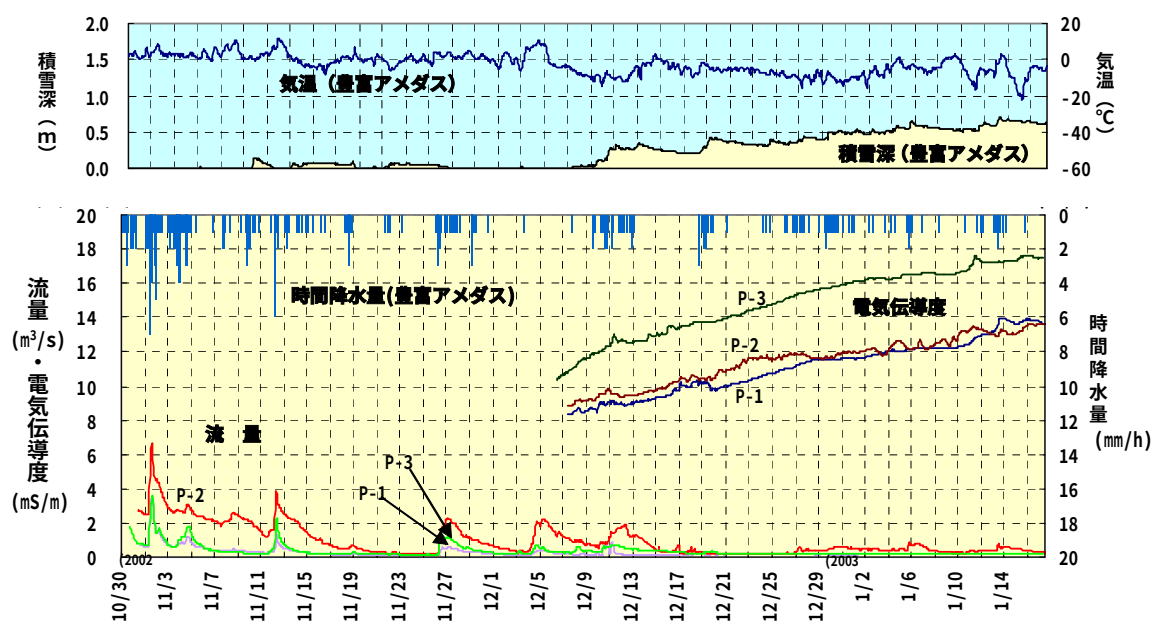


図 11 河川流量・電気伝導度・気象観測結果

^{*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、流域や植被面ではこれらの現象が同時に生じています。

(4) 試錐調査

研究所設置地区およびその周辺の地質環境の把握、地質環境をモデル化するために必要な情報の取得および試錐孔や岩芯を用いた調査手法の改良を主な目的として、平成 14 年度は研究所設置地区内において 3 孔の試錐調査（HDB-3、4、5 孔）を実施しました。各試錐調査の位置については、大曲断層の東西で地層や地下水の特徴が異なることが既存の文献データや平成 13 年度の物理探査結果、2 孔（HDB-1、2 孔）の試錐調査結果から推定されたため、大曲断層が存在すると考えられる位置を中心に、その東西に試錐孔を配置することとしました。試錐調査の位置は、現地へのアクセスや土地利用の許認可手続きの容易さ、調査に必要な用地が確保できることを考慮しました（図 12）。試錐孔は、各孔とも深さ 520m まで掘削し、コア（岩芯）を用いた室内試験や、試錐孔を用いた試験を行いました。

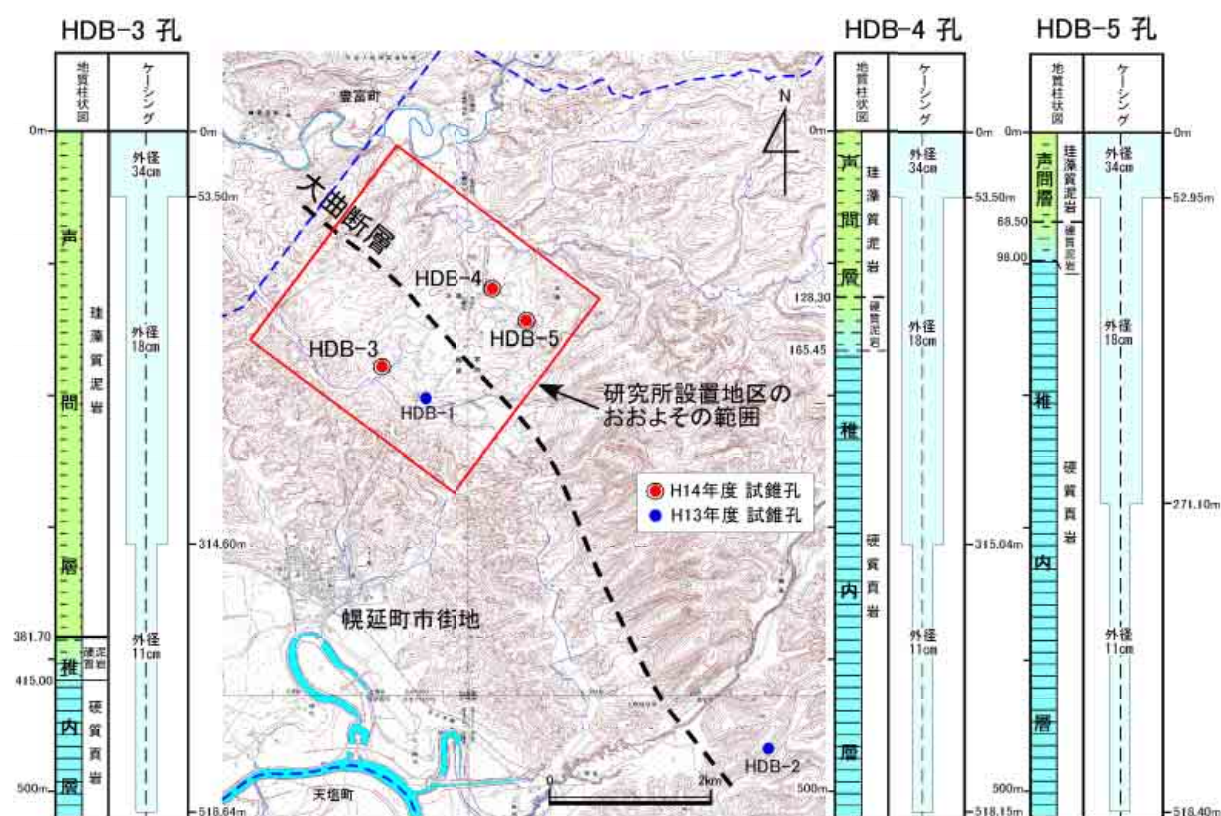


図 12 試錐調査実施地点とケーシングプログラム

掘削時に採取したコアは、HDB-3、4、5 孔ともに、珪藻質泥岩や硬質泥岩、硬質頁岩からなっています。コアの観察結果から、HDB-3 孔では深さ 381.70m まで、HDB-4 孔では深さ 128.30m まで、HDB-5 孔では深さ 68.50m までが声間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、典型的な推内層

と考えられる硬質頁岩へ変化しています。図 13～15 に岩石の硬さや割れ目の状況、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-3、4、5 孔のコアを用いた一軸圧縮試験の結果では、深さ 500m 程度での強度として 5～30MPa 程度であり(図 16)、HDB-1、2 孔の結果と大きな差がないことがわかりました。

地層にかかる圧力(応力)を調べるための応力測定の結果、最大主応力(速報値)は、HDB-3,4,5 孔の深度 250m 付近で 4.5～5.5MPa、深度 359～392.5m の地点で 6.5～7.5MPa 程度で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(水理試験)の結果を図 17 に示します。透水係数として HDB-3 孔で $10^{-8} \sim 10^{-9} \text{m/s}$ オーダー、HDB-4 孔で $10^{-5} \sim 10^{-8} \text{m/s}$ オーダー、HDB-5 孔で $10^{-6} \sim 10^{-8} \text{m/s}$ 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ることがわかりました。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-3 孔で水 1 ㍓の汲み上げに対し約 0.4 ㍓、HDB-4 孔で水 1 ㍓の汲み上げに対し約 0.2～0.9 ㍓、HDB-5 孔で水 1 ㍓の汲み上げに対し約 0.0～0.5 ㍓であることがわかりました。

水理試験の結果から、HDB-3 孔においては、比較的水を通しにくい区間が存在していることや、ガスの量が深度によらずほぼ同じであることがわかりました。この結果は、HDB-1 孔での試験結果と調和的でした。一方、HDB-4、5 孔においては、比較的水を通しやすい区間が存在することや、ガスの量が深度により大きく異なることがわかりました(図 17)。

各試錐孔から採取した地下水の水質については、HDB-3 孔では HDB-1 孔と同様の塩分濃度の高い地下水を確認しました。一方、HDB-5 孔の浅部では淡水系の地下水を確認し、HDB-4、5 孔の深部でも HDB-1、3 孔に比較して塩分濃度が低く、組成が若干異なる地下水を確認しました(図 18)。

これら平成 14 年度の試錐調査の結果は、大曲断層を挟んだ東西の領域において、透水係数や地下水の水質の特徴が異なっている可能性を示しています。

HDB-3、4、5 孔では、今後地下水圧および水質の長期観測を行う予定です。また、研究所設置地区において今後新たに 7 本の試錐調査を行う計画です。

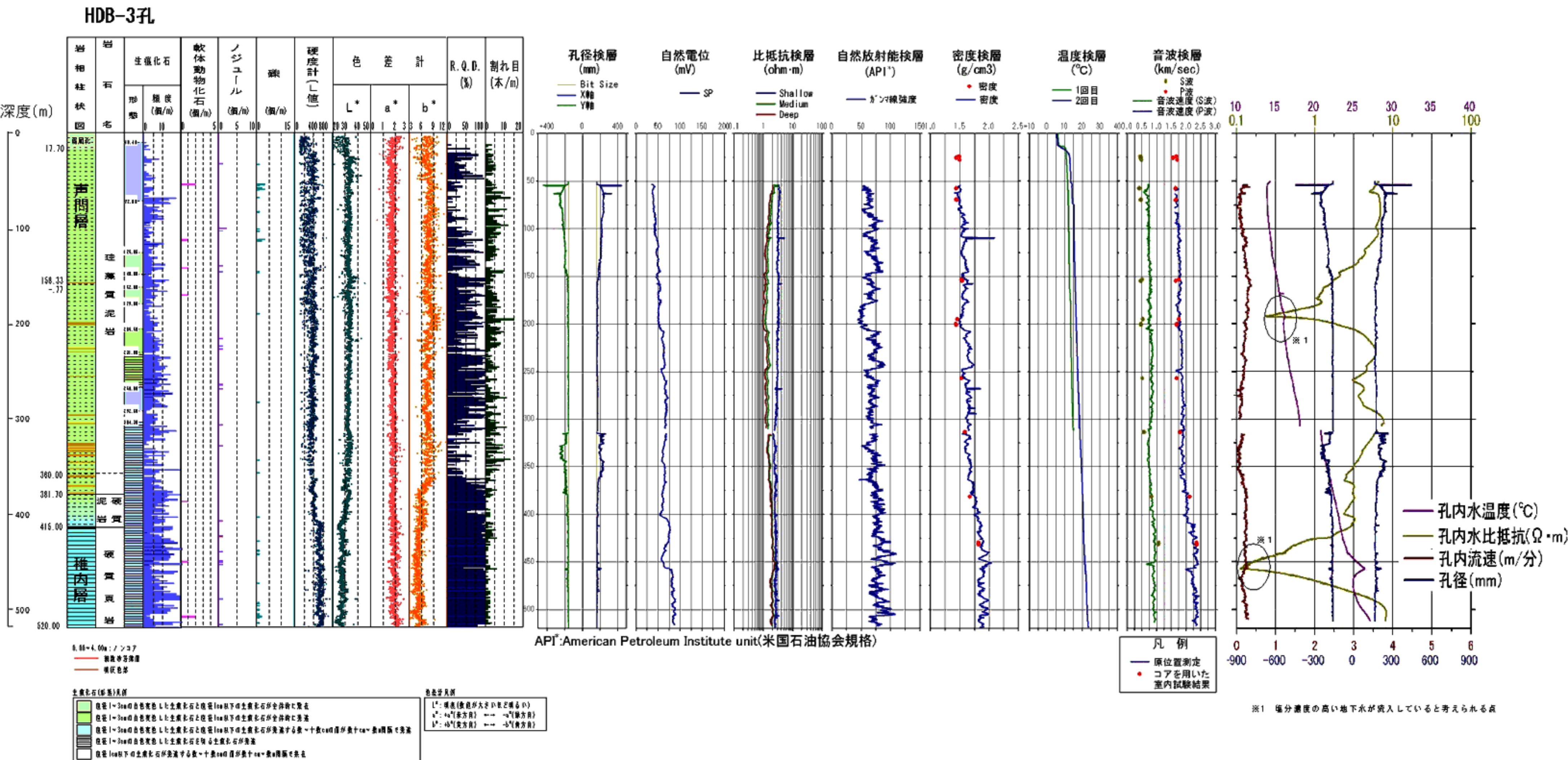


図13 地質柱状図と試錐孔を用いた検層柱状図（HDB-3孔）

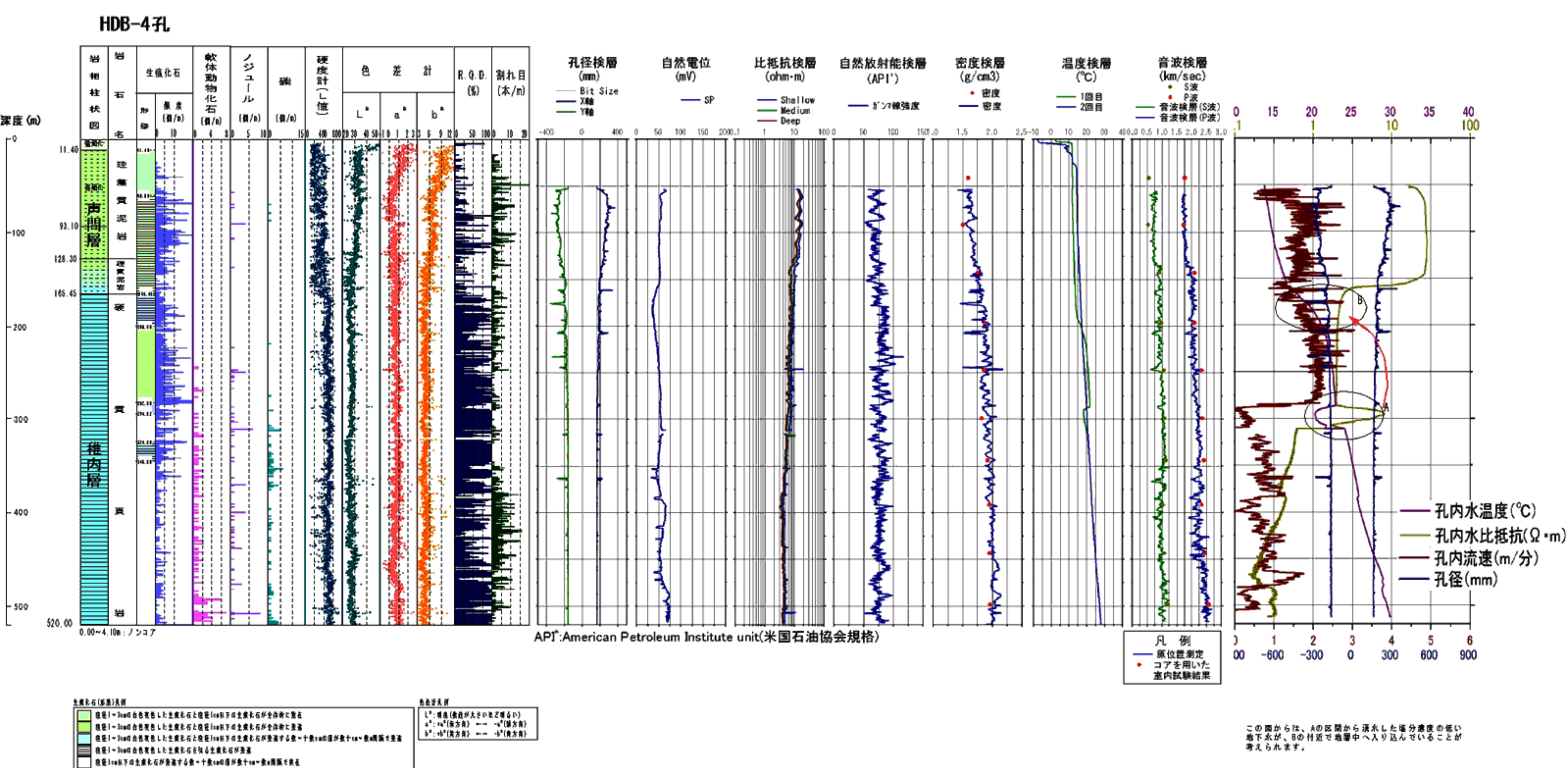


図14 地質柱状図と試錐孔を用いた検層柱状図 (HDB-4孔)

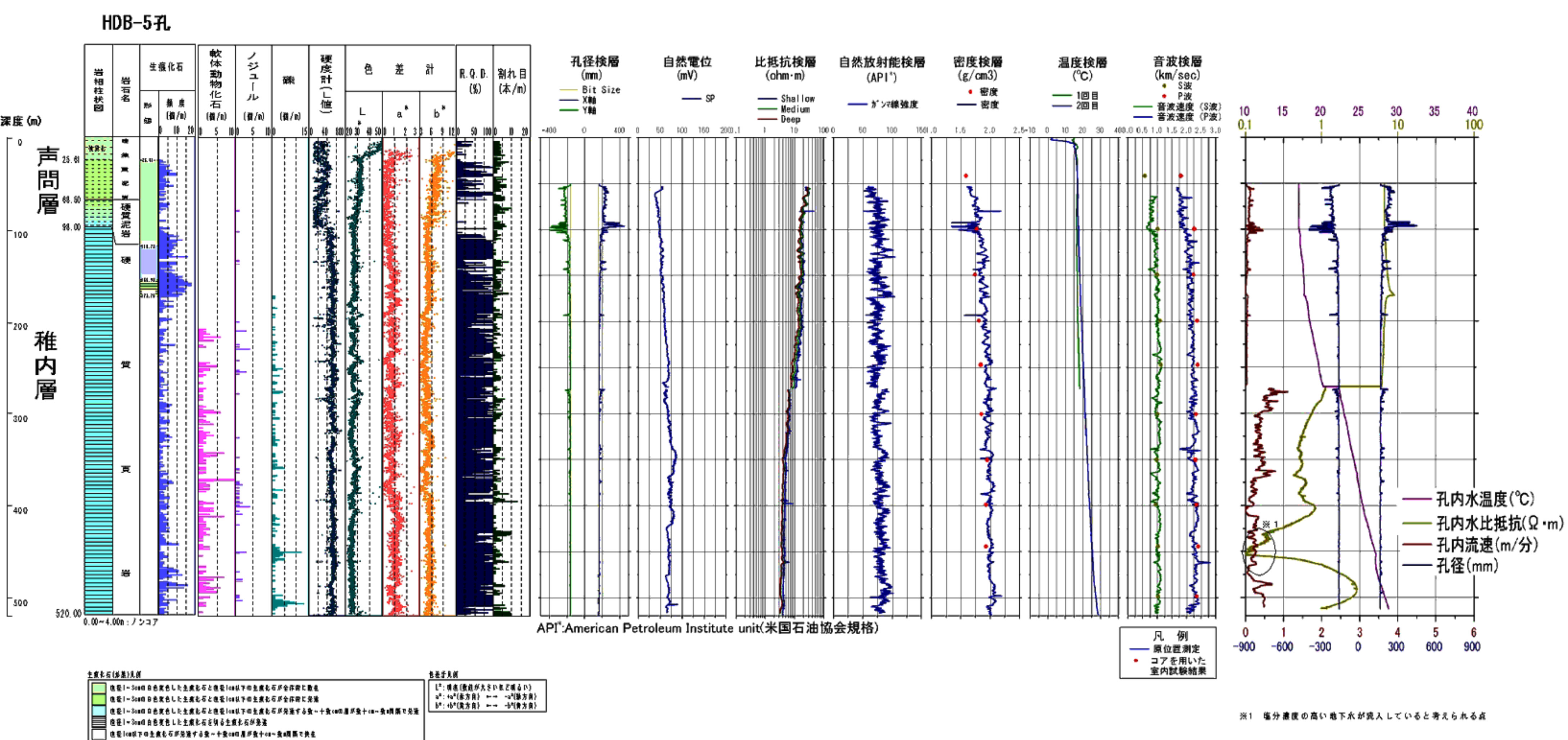


図15 地質柱状図と試錐孔を用いた検層柱状図 (HDB-5孔)

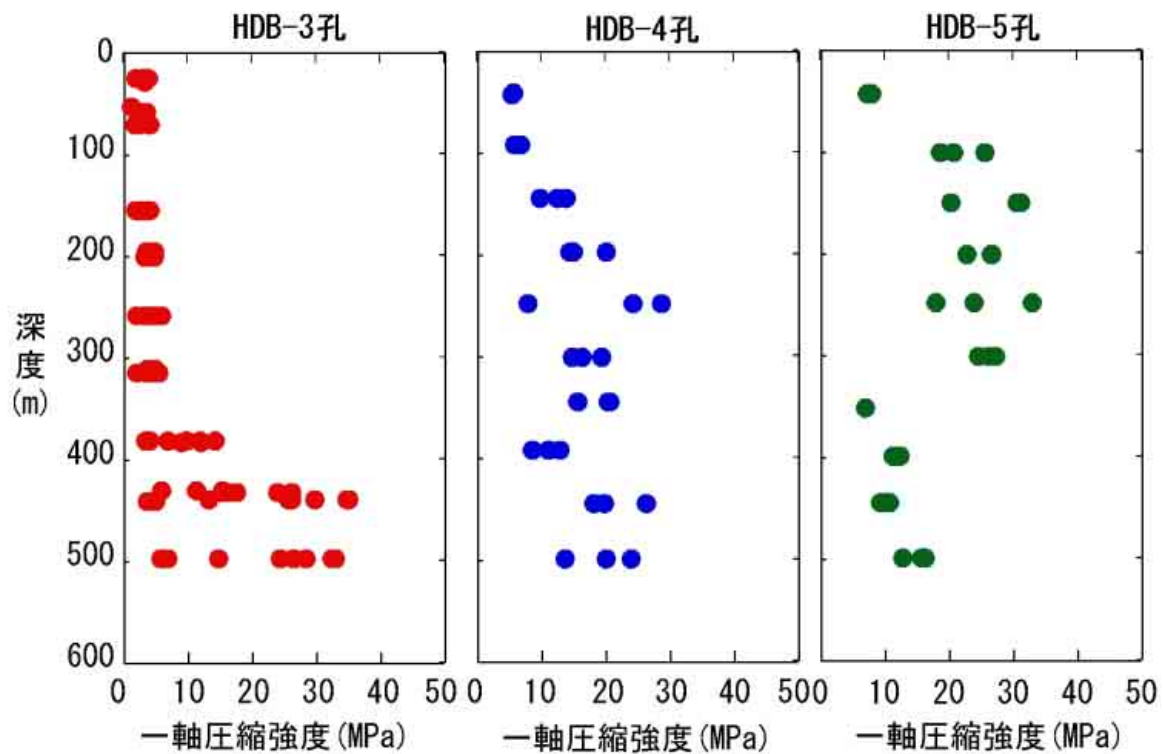


図 16 室内試験結果の一例(一軸圧縮強度の深度分布)

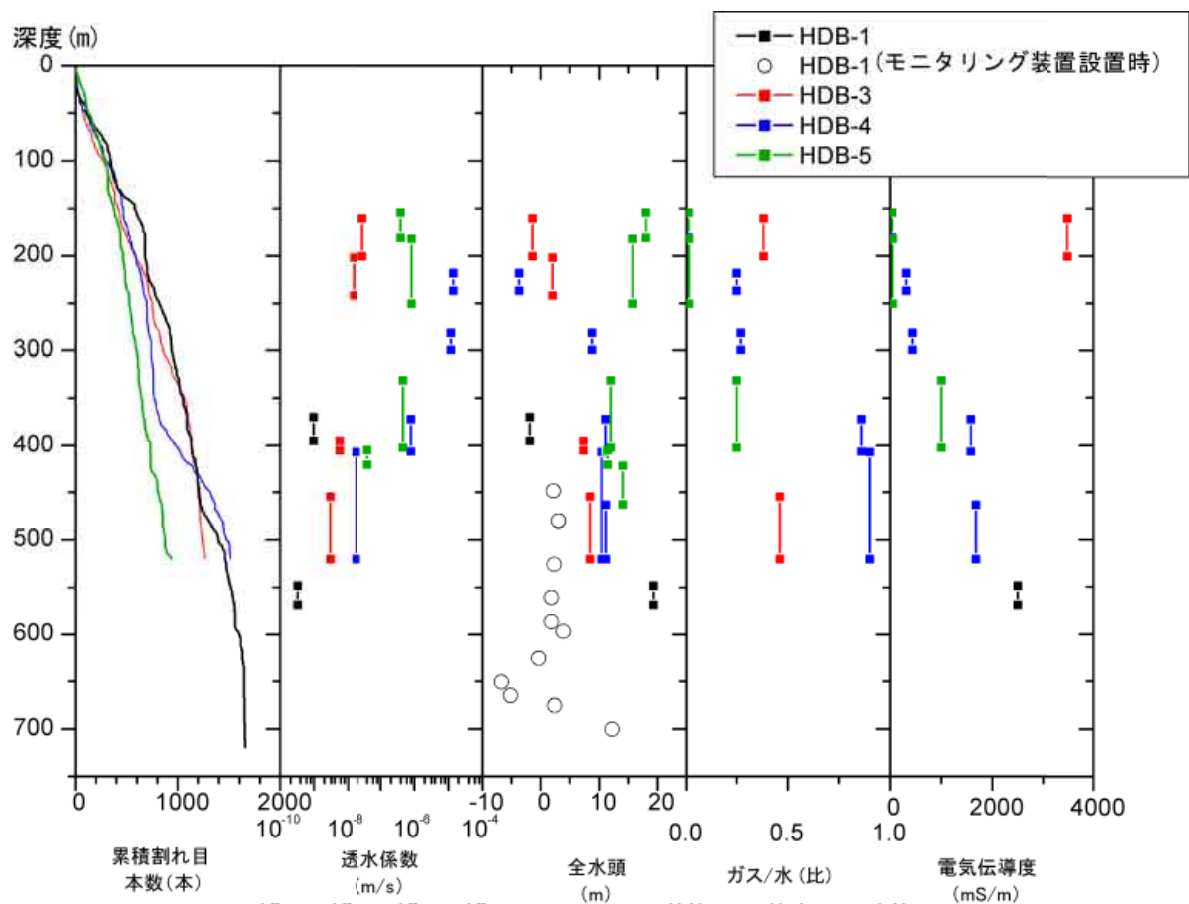


図 17 試錐孔における水理試験結果

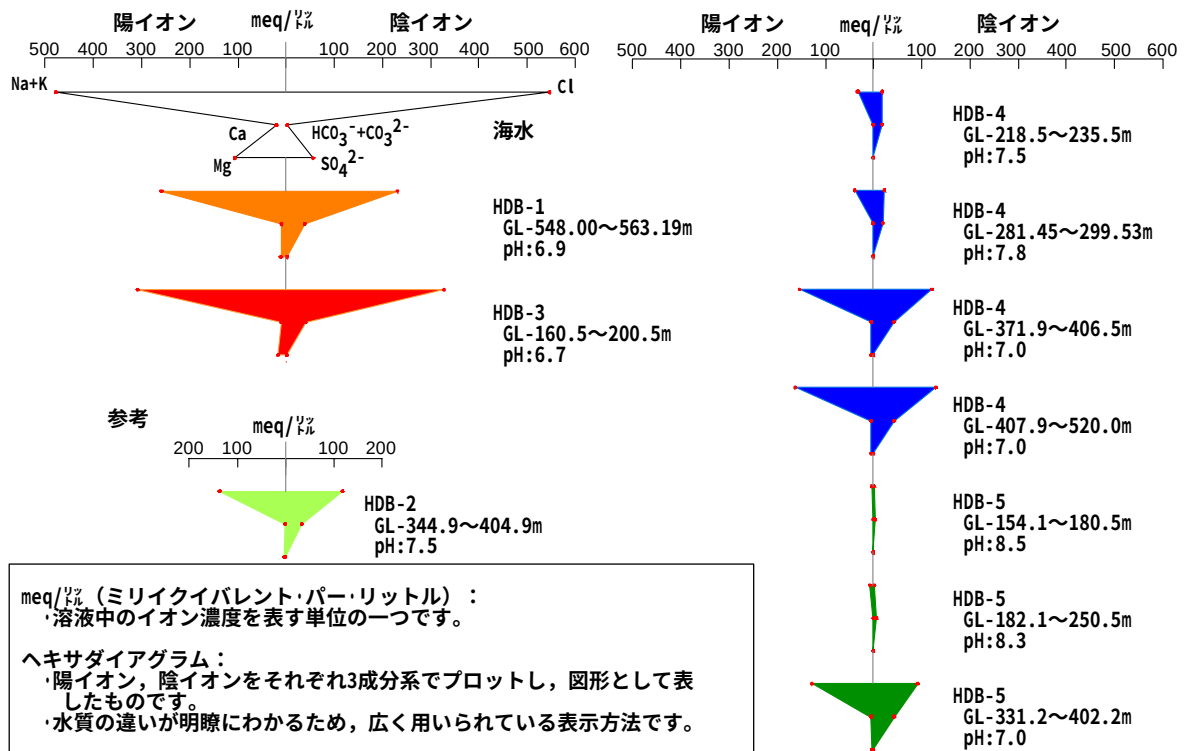


図 18 地下水水質分析結果 (ヘキサダイアグラム)

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

地質構造を表す地質構造モデルについては、試錐調査結果などを基に、平成13年度までに作成したモデルを更新しました。地下水の水理モデルについては、塩分濃度の高い地下水の起源を調べるための解析などを行いました。地下水の地球化学モデル、岩盤力学モデルについては、モデルの作成を行いました。

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を平成12年度に実施しており、平成14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14年度は、試錐調査時に実施したコア観察結果などに基づき、研究所設置地区および周辺の地質断面の検討を行いました（図19）。

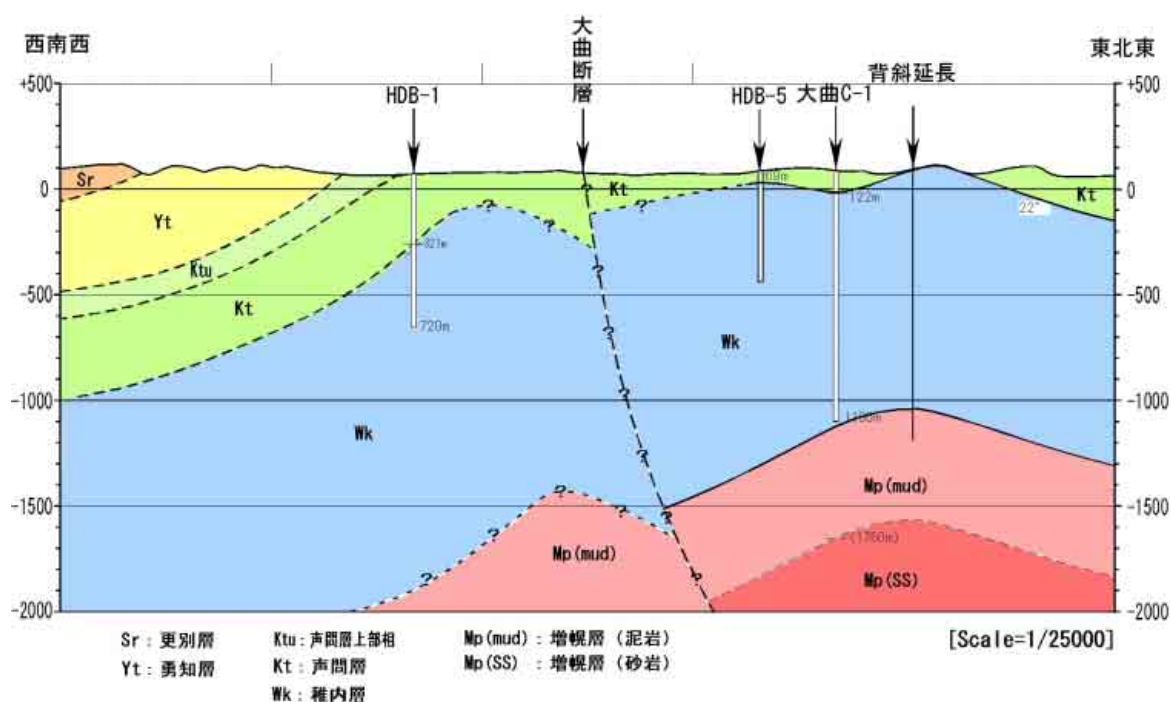


図19 地質断面図

(2)地下水の水理モデル

これまでの調査から、研究所設置地区およびその周辺には塩分濃度の高い地下水が存在していることが確認されていることから、地下水の塩分濃度を考慮した地下水の流れに関する解析を実施しました。

そのうち塩分濃度の高い地下水の起源を推定するための解析では、塩分濃度の高い地下水は、海水が陸地に浸入したのではなく、海底で堆積した地層が陸化したときに地層中に閉じ込められた水である可能性が高いことがわかりました（図 20）。また、深度の浅いところでは、雨水が地下に浸入することにより希釈され、淡水化が進んでいる可能性が高いことがわかりました。

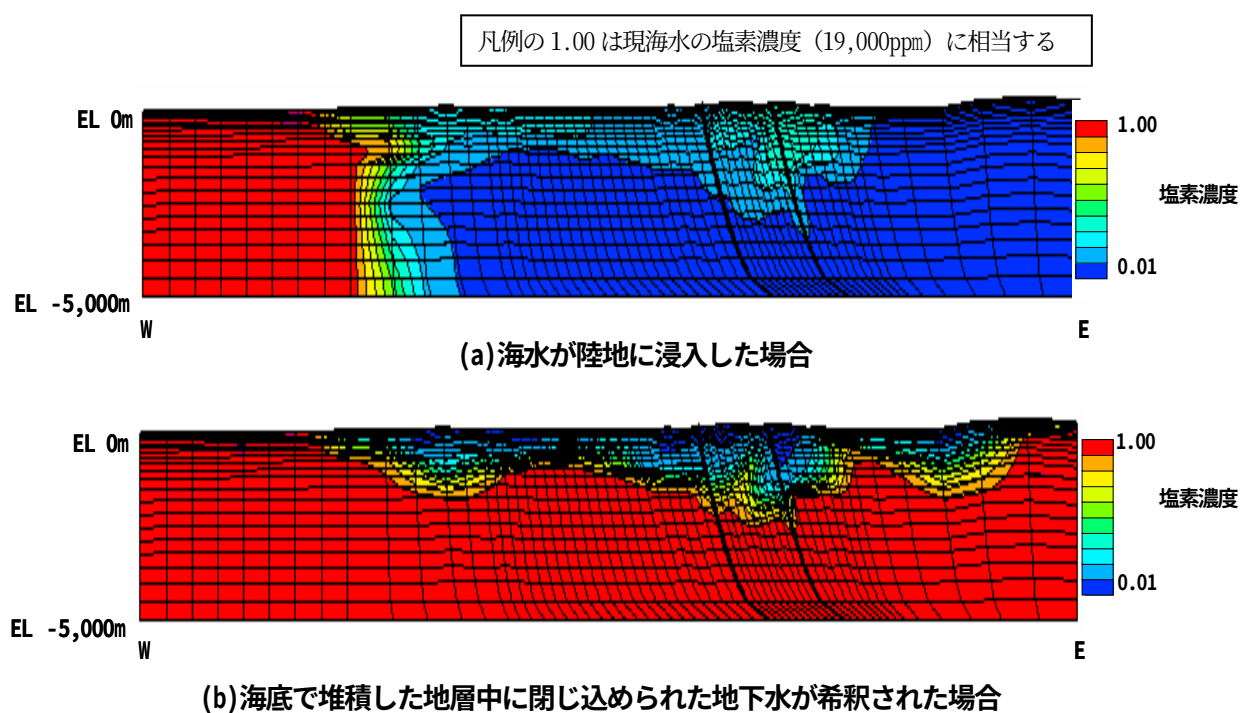


図 20 地下水の起源に関する解析結果の例

(3) 地下水の地球化学モデル

地下水の水質が形成される過程を検討するための基本となる考え方を整理しました。その考え方を概念的に示したものが図 21 です。この図は、表層付近に地表から涵養された塩分濃度が低い地下水が存在し、地下深部には地層が堆積した時代の塩分濃度の高い古い地下水が存在していることを仮定しています。また、これらの塩分濃度が異なる地下水の境界は、断層や割れ目帯が存在する場所とそれらが存在しない場所では異なっている可能性も考えています。

今後は、地下水の水質に関するデータを蓄積し、地下水の流れ方などを考慮したモデルを構築する予定です。

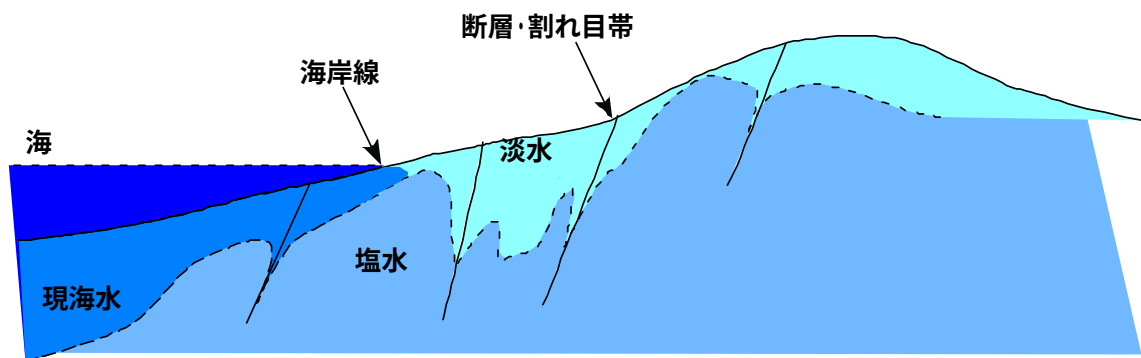


図 21 地下水の水質分布の概念図

(4)岩盤力学モデル

図 22 は、HDB-1～5 孔のコアを用いた室内試験および地質観察の結果を、大曲断層（推定）の西側と東側とで比較したものです。この図から、岩石の特性は声問層（珪藻質泥岩）と稚内層（硬質泥岩・硬質頁岩）では大きく異なっているのがわかります。また、その深度方向の変化の傾向は、断層の西側(HDB-1,3 孔)、東側（HDB-2,4,5 孔）ともに地層の分布と良く一致していることがわかります。

これらの特徴をあらわした大曲断層の西側領域のモデルが図 23 です。このモデルでは、この物性区分が南北方向（大曲断層にほぼ平行な方向）には大きく変わらないものと仮定しています。

今後は、データの蓄積によりモデルを更新していきます。

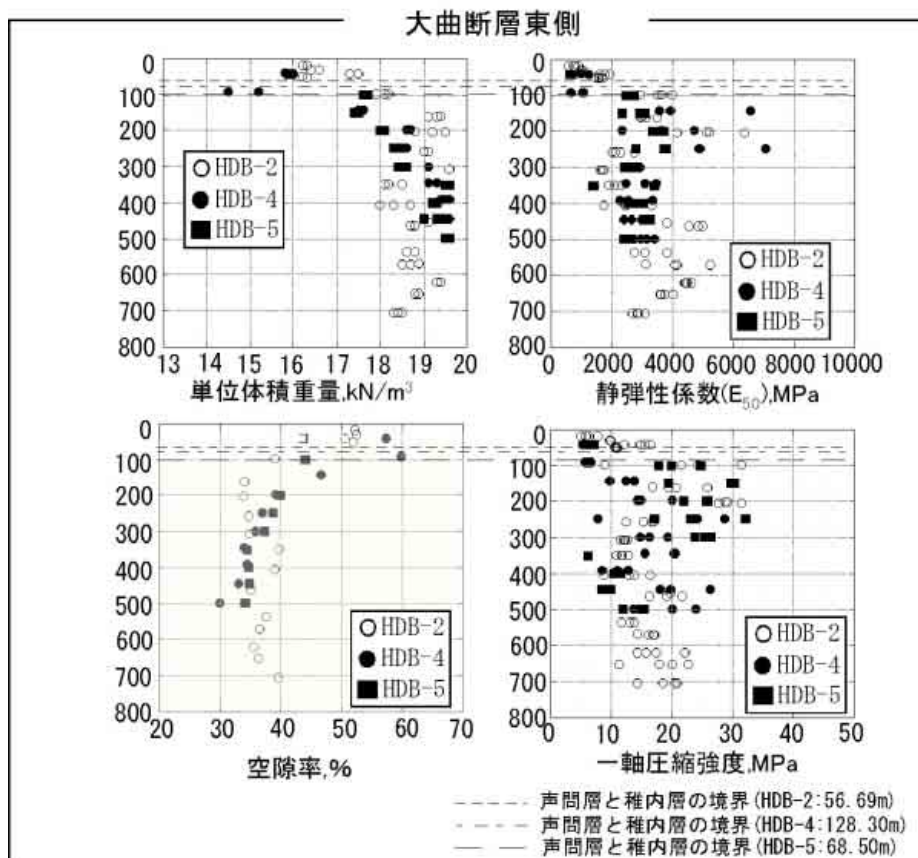
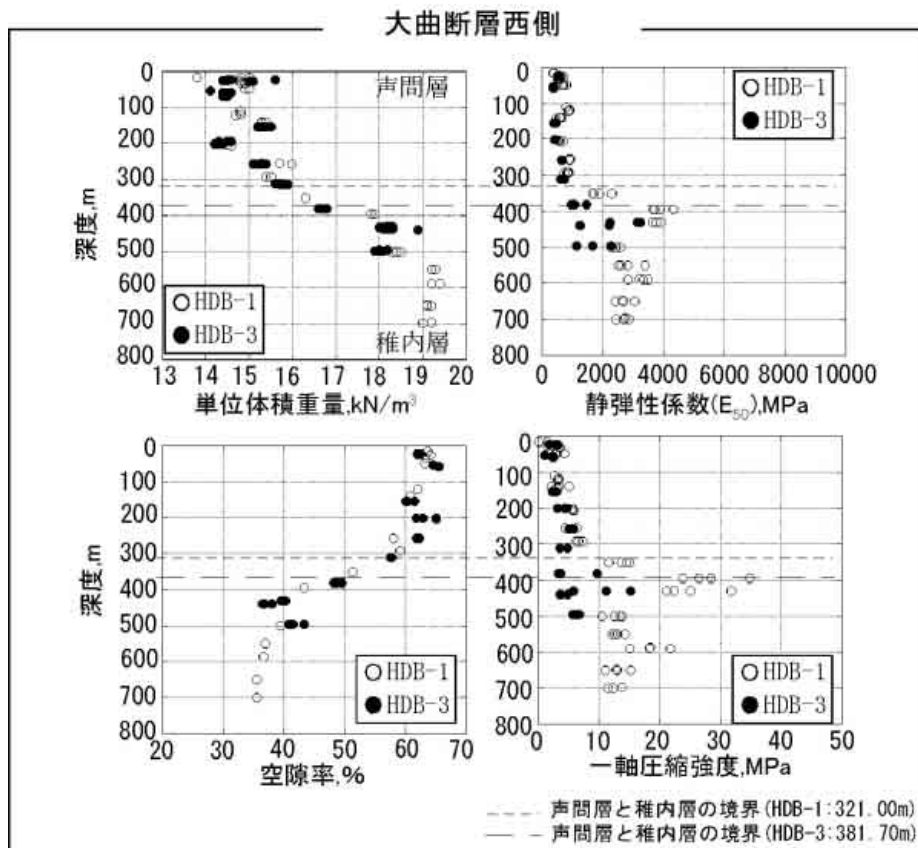


図 22 室内試験結果のまとめ

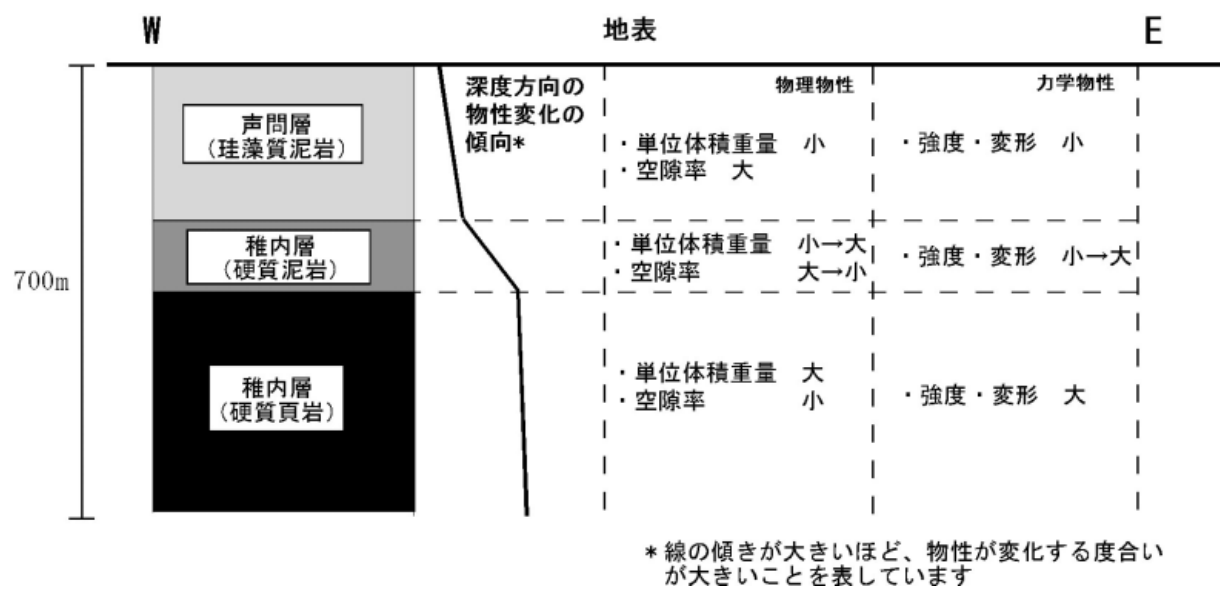
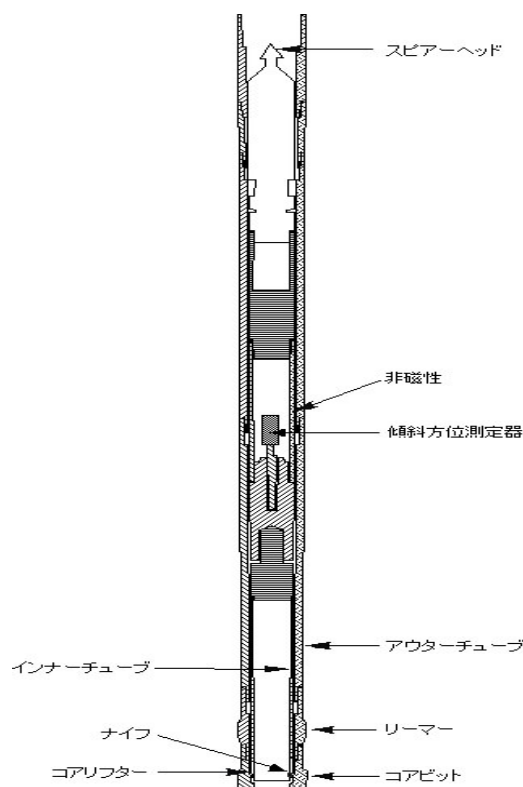


図 23 大曲断層西側領域の岩盤力学モデル

4.1.3 調査技術・調査機器開発

(1) 試錐孔掘削のための技術

地質構造を把握するためには、地層の傾斜や割れ目の方向を把握することが重要です。花崗岩のような堅固な結晶質岩では、試錐孔内にボアホールテレビと呼ばれるカメラを挿入して、直接地下の岩石や地層の状況を観察する手法が用いられていますが、堆積岩のような軟岩では、試錐孔掘削時に崩壊を防ぐために泥水を使用しており、掘削終了後でも孔内水に濁りが残るため、この方法では鮮明な画像を得ることが難しいことがわかっています。そのため、平成14年度は、採取したコアから地層や割れ目の方向・傾斜に関する情報を取得する技術として、定方位コア採取を試みました（図24）。定方位コアとは、地下深部でどの方向に向いていたのかを把握できる状況で取得されたコアのことを言います。



定方位コアの取得方法

コアリフターの近くにナイフと呼ばれる金属が取り付けられており、掘削中に取得される岩芯は、インナーチューブに入る際に縦傷を付けます。

ナイフの向きは、傾斜方位測定器の基準方向と合わせており、傾斜方位測定器により取得された方位から、岩芯の方向を求めることができます。

図24 定方位コア採取システムの概要

HDB-3～5 孔の試錐掘削で定方位コア採取を試みた結果では、通常のコア採取システムから定方位コア採取システムへの切り替えに時間を要することや、割れ目の多い部分ではシステムが十分に機能しない場合があることなどが明らかになったことから、その適用については他の孔壁面観察手法との組み合わせを含めて、今後の検討課題としました。

(2) 試錐孔を用いた調査試験のための技術

溶存ガスが存在する条件での地層の水の通しやすさに係わるデータの取得や、地下水の採水を効率的に実施するため、既存の地層の水の通しやすさを調べるための試験装置（以下、水理試験装置）について改良を行いました。孔内部については、試験実施時に孔内部試験区間の下側区間の水压を測定するために圧力計を設置しました。地上部については、平成 13 年度に導入したガス/水分離槽（セパレータタンク）に加え、ガスと水を同時に揚水するための地上駆動式ポンプの採用や、ガスの量を地上で自動的に計測するためのガス流量計の設置などを行いました（図 26）。また、水理試験の条件や方法についての検討を行った結果、同じ区間で複数回の試験を行い、それぞれの試験でガスの湧出状況を確認しながら、試験を行うごとに水压低下量を大きくしていく方法が有効であることがわかりました。

今後、地層の水の通しやすさに関わるデータや試錐孔内で地下水の水質を、より精度高く調べるための装置の開発・改良を行います。

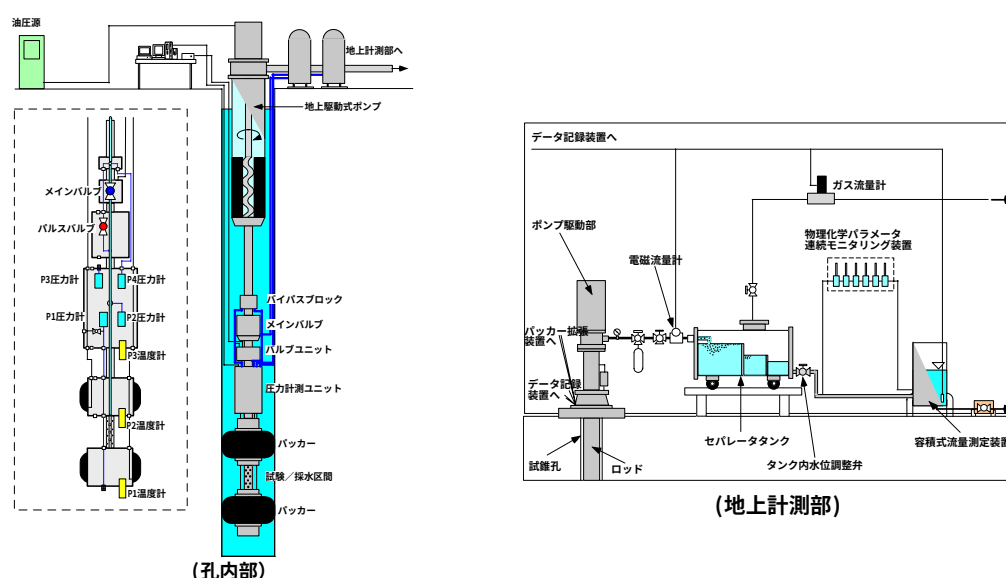


図 25 水理試験装置概念図

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

平成 12 年度から 13 年度にかけて幌延深地層研究計画において適用できるモニタリング装置を検討しました。平成 14 年度にはその検討結果をもとに、平成 13 年度に掘削した 2 本の試錐孔（HDB-1、2 孔）のうち、HDB-1 孔へカナダ Westbay 社製の MP System を長期モニタリング装置のひとつとして設置し、地下水の水圧や水質のモニタリング体制の整備を開始しました。

試錐孔を掘削後、試錐孔壁の崩壊を防ぐためにケーシングパイプをセメントにより固定して保孔を行っており、モニタリングを実施するためにはこのケーシングパイプとセメントを貫通する孔を開け、モニタリング区間を設定する必要があります。この区間設定は、試錐調査中に実施したコア観察、試錐孔を用いた検層および水理試験の結果などに基づいて行います。HDB-1 孔では、ケーシングと孔壁間のセメントの打設状況や試錐調査中の試験結果を基に、9 ヶ所のモニタリング区間を設けています（図 26）。これらの区間のうち、4 区間においては、HDB-3 孔の試錐掘削による影響が HDB-1 孔まで伝わるかの確認を行うなどの目的で、水圧モニタリングを実施しました（表 1）。

上記の 4 区間における連続モニタリングの結果を図 27 に示します。深度 650m 付近のモニタリングの結果では、他の深度に比べ水圧が低いことがわかり（長期モニタリング装置設置時からでも約十数 m 程度の水頭が低下したことが確認された）、被圧条件下にない区間が存在することが確認できました。また、連続モニタリング中に認められる、水圧のパルス状の変動については、HDB-3 孔の掘削や試錐孔内での調査状況、本地域の地震、大気圧の変動との比較を実施していますが、現状では明確な関係は認められていません。

以上の結果を受けて、今後も引き続き同じ 4 区間について、長期モニタリングを行う予定です。また、この他の試錐孔についても、地下水の水圧や水質のモニタリング体制を整え、モニタリングを実施する予定です。

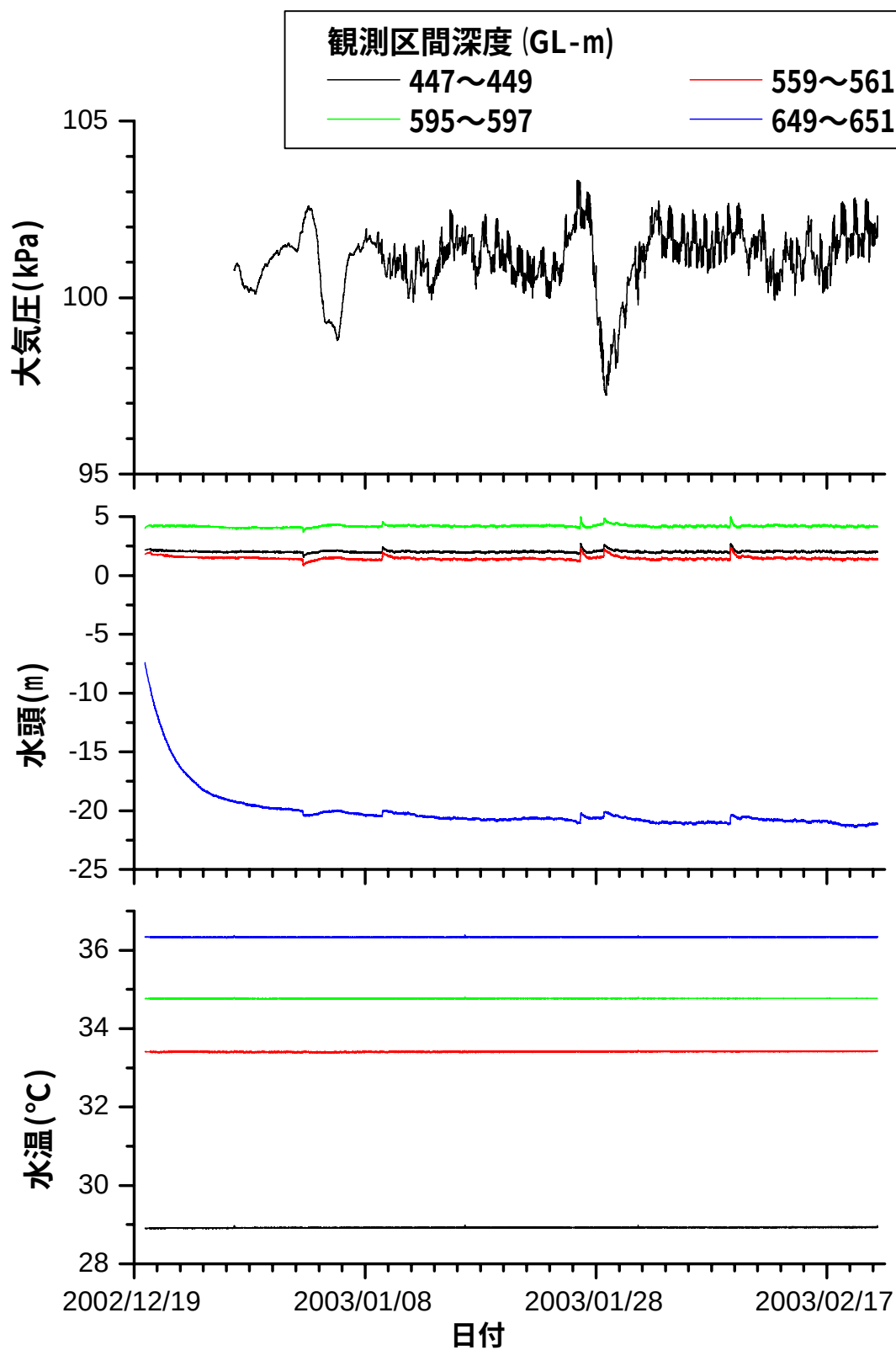


図 27 HDB-1 孔における長期モニタリング結果

4.2.2 遠隔監視システムの開発

地下施設の建設前、建設中、建設後の地質構造や地質環境の変化を、地震波や電磁波を用いて遠隔的に常時観測する遠隔監視システムについて、地震波および電磁波観測装置の設置に適した場所を選定するにあたっての参考とするために、環境ノイズの把握のための解析を行いました。

地震波については、平成14年度に実施した反射法地震探査の測定記録を、電磁波については、平成13年度に実施した地上物理探査（電磁探査）の測定記録および平成14年度に天然現象の研究で実施中の電磁探査機器による観測記録のデータを解析に用いました。

反射法地震探査を実施した期間に取得した、バイブレータ停止中の観測記録を解析した結果、振動の最も小さいノイズレベルはLine-2の西端で朝方に、最も大きい値はLine-1の市街地で夕方に記録されています。市街地でのノイズレベルは時間帯によらずほぼ一定の値でした（図28）。なお、サイクル機構東濃地科学センター正馬様用地（郊外地で比較的静かな地域）での観測データと比較すると、日中にLine-2の両端で記録したノイズレベルと夜間に正馬様用地で記録した値がほぼ同じレベルでした。

天然現象の研究で電磁探査機器による長期観測中の記録を解析した結果、電磁場のノイズレベルは、日中（7時～17時）が高く、夜間の3～4倍程度となっています（図29）。なお、正馬様用地で観測したデータと比較すると、電場に関しては、正馬様用地のデータには電車によるノイズの影響が認められていますが（電車通過時のデータは解析に使えないほど大きいものです）、それ以外の時間帯では、ほぼ同じノイズレベルでした。磁場に関しては、昼夜を通してほぼ同じノイズレベルでした。

今後は、これらの結果を基に、信号とノイズレベルの比（S/N比）を見積ることにより、遠隔監視システムの設置位置や送信強度などの検討を行い、弾性波送信装置の製作の検討および電磁送信装置の製作等、遠隔監視システムの整備を進めます。

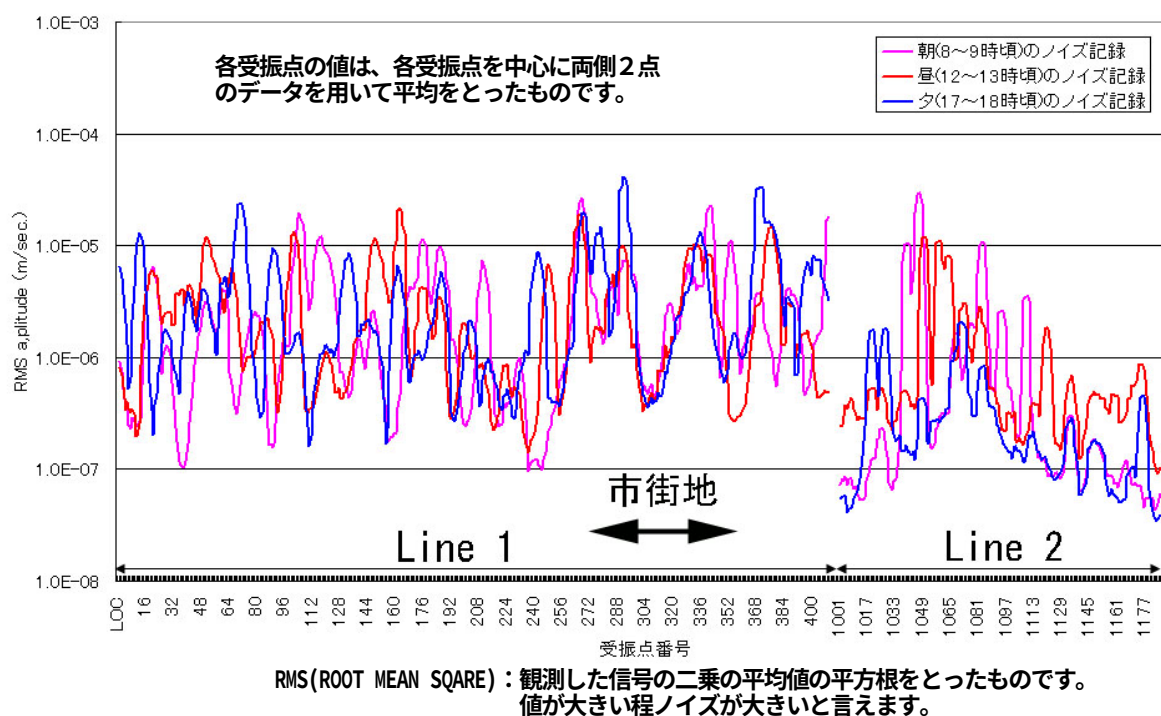
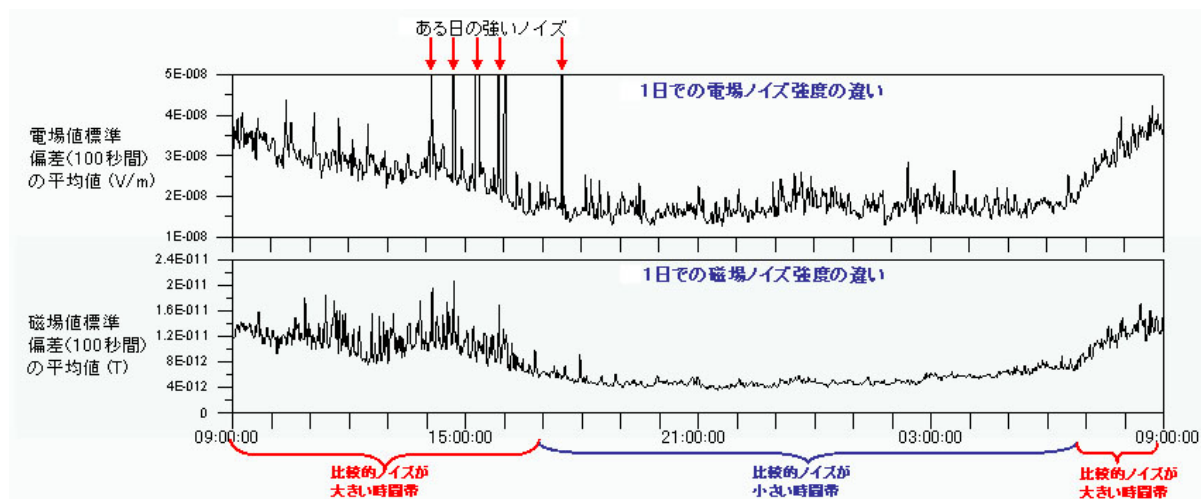


図 28 反射法地震探査で取得した環境ノイズデータ



約 100 日間取得した 24 時間の全データを同じ時間帯で 100 秒ごとに区切り、その 100 秒区間における測定値の標準偏差を計算し、その時間帯での平均標準偏差をとり、電場ノイズ（上段）と磁場ノイズ（下段）の図に示しています。値が大きい程ノイズが大きいと言えます。

図 29 時間帯によるノイズ強度の違い（電磁法長期観測点）

4.3 深地層における工学的技術の基礎の開発

地下深部へのアクセス方式として、立坑案およびスパイラル坑道案について、工事量、用地面積、試験研究、見学施設、安全環境、工期、経済性を比較検討した結果、立坑方式を採用する計画としました（表2）。また、防災基本コンセプトを「いかなる箇所で火災等の災害が発生しても通気制御により安全区域を確保し、入坑者が安全に地表まで避難できる防災システムを構築すること」と設定しました。これに基づき、概略の防災対策を検討した結果、立坑方式では立坑が3本必要であることが分かりました（図30）。

表2 アクセス方式の検討項目

項 目	内 容
工事量	立坑・坑道延長
用地面積	坑口部工事用仮設備 ズリ仮置き場
試験研究	試験対象領域の広さ 得られる地質情報量
見学施設	地下へのアクセス方法、体験の場
安全環境	岩盤の空洞の安定性 ガス／通気システム
工期	建設期間
経済性	建設工事費、維持管理費

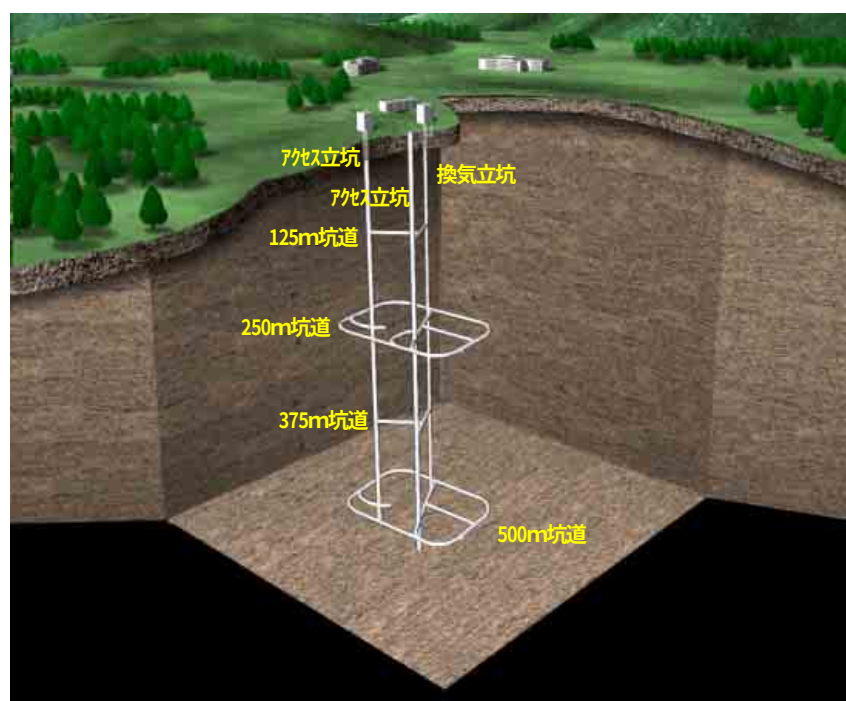


図30 地下施設レイアウト（案）

平成 13 年度の試錐調査で取得したデータに基づいて、空洞安定解析用の地盤物性値を整理しました（表 3）。なお、土被り圧相当の鉛直応力に対する水平応力を求めるための側圧係数（ K_0 ）は、HDB-1 孔で実施した水圧破碎試験の結果²⁾に基づき、1.5 に設定しました。

表 3 解析用地盤物性値（HDB-1 孔）

物 性	深 度 (m)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	変形係数 D (MPa)	ポアソン比 ν	粘着力 c (MPa)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)	一軸圧縮強度 q_u (MPa)	引張強度 σ_t (MPa)	側圧係数 K_0
①	0 ～ 50	15.0	600	0.40	1.1	20	3	0.3	1.5
②	50 ～ 320	15.0	800	0.25	1.8	20	5	0.5	1.5
③	320 ～ 500	18.0	2,000	0.20	4.3	30	15	1.5	1.5

注 1：粘着力（ c ）はモール・クロンの破壊規準^{*4}にしたがい、一軸圧縮強度と内部摩擦角から算定しました。

表 3 に示す解析用地盤物性値に基づき、二次元有限要素法を用いて、側圧係数を考慮した空洞の安定性の評価を行いました。その結果、立坑および坑道の支保部材（覆工コンクリート／吹付けコンクリート）にかかる力（覆工応力／吹付け応力）は、コンクリートの許容応力度（ σ_{ca} ）以下になることを確認しました（表 4）。しかし、一部の空洞周辺岩盤において塑性領域^{*5}の発生が推定されました（図 31）。これに対しては、掘削中の岩盤の肌落ちや長期的な塑性領域の進展を防止するため、ロックボルトを健岩部まで打設することや鋼製支保工を設置することで岩盤を補強する計画としました（図 32）。

*4：岩石の破壊・非破壊を示す規準の一つで、岩石にかかる応力がこの規準で示された値に到達した時に岩石が破壊することを意味します。

*5：岩盤の応力状態が破壊規準を超えることで、力学（強度、変形）特性が変化する領域を指します。

表 4 支保に関する解析結果

深 度 (m)	地山区分	物 性 (表3の物性番号)	アクセス立坑 (φ6.5m)		換気立坑 (φ4.5m)		深 度 (m)	坑道 (幅4.0m)		深 度 (m)
			一次覆工コンクリート		一次覆工コンクリート			吹付けコンクリート		
			許容応力度／最大発生応力 (MPa)	厚さ (cm)	許容応力度／最大発生応力 (MPa)	厚さ (cm)		許容応力度／最大発生応力 (MPa)	厚さ (cm)	
0			坑口掘削		坑口掘削		0			0
100	C II	①	7/ 1.9	40	7/1.3	40	100	7/ 3.7	15	100
200	D I	②	7/ 6.7	40	7/7.0	40	200	11/10.8	20	200
300	D II		9/ 8.7	40	9/8.9	40	300			
400			11/10.7	40	11/9.9	40	400			
500			14/13.5	40	14/13.8	45	500			
			14/13.7	50	7/ 7.0	40		7/ 6.4	15	
	D I	③	9/ 8.9	40	7/6.7	40		11/10.6	20	
			11/11.0	40	9/8.9	40				
			14/13.9	40	11/9.9	40				
	D II		14/13.7	45	14/13.5	50				
			14/13.5	50						

解析条件

- 注 1：支保部材の設計基準強度は、一般的に用いられる 18～40MPa（許容応力度 7～14MPa）に設定しました。
 2：立坑の最小覆工コンクリート厚は、既往の実績から 40cm に設定しました。
 3：坑道の吹付けコンクリート厚は、日本道路公団の地山区分および標準支保パターン⁵⁾ に準拠して、
 D I：15cm・D II：20cm を設定しました。

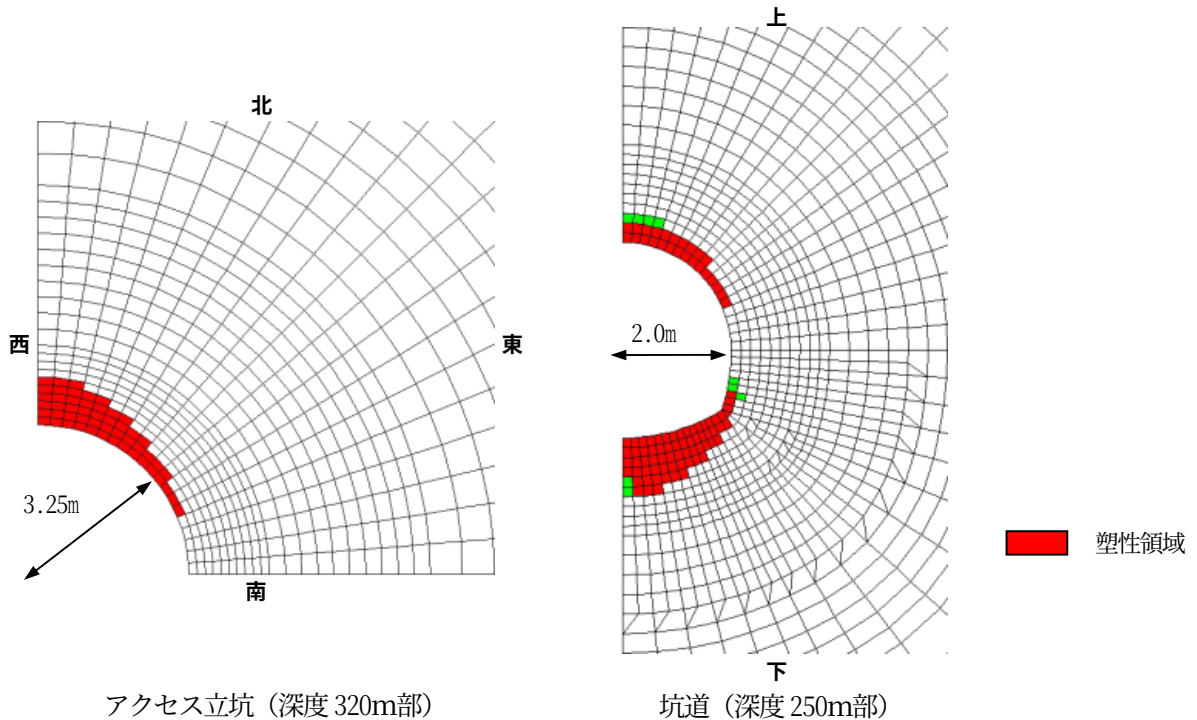


図 31 空洞安定解析における塑性領域分布図

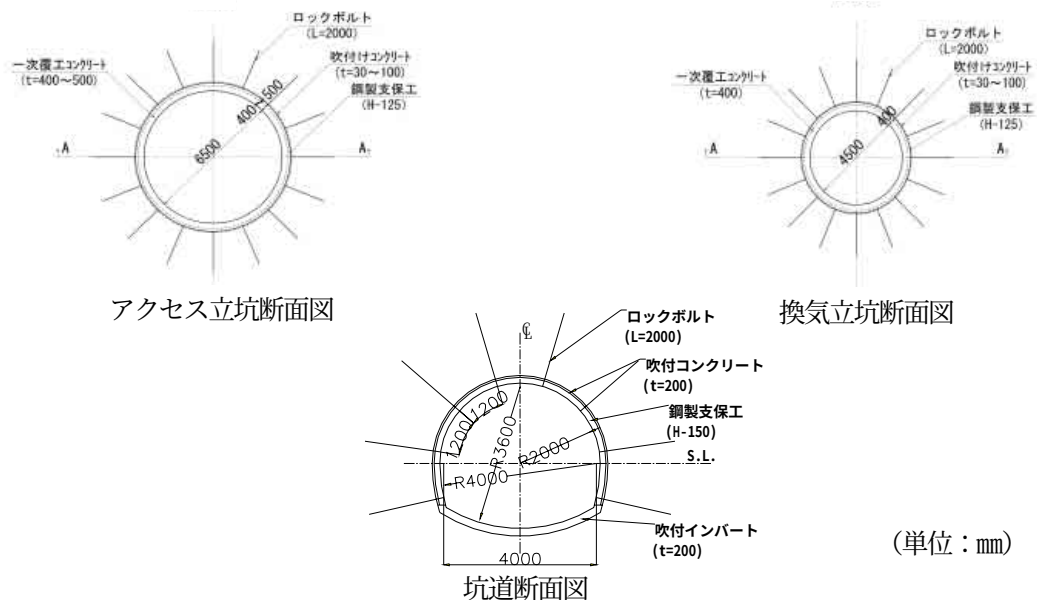


図 32 支保パターンの例

地下施設建設時および坑内での研究・作業時の環境や入坑者の安全を確保するために、防災を考慮した上で換気ファンの能力、風管径等を設定し、これに基づいて通気網解析を行い、適切な坑内環境を維持する風量が確保できることを確認しました。また、火災時の通気網解析の結果、排気専用ルートを構築した上で、風門を開閉する等の適切な通気制御を行うことによって、火災ガスによる坑内汚染範囲を最小限に抑え、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 33）。

なお、本地下施設では可燃性ガスの湧出が想定されるため、通気システムとして、定常時はガス排出効果があり、非常時（ファン停止時等）はガスの発生抑制効果が期待できる吸出換気方式を採用し、坑内全域を負圧環境^{*6}にすることとしました（図 34）。

^{*6}：坑口に吸出式の換気ファンを用いて大気圧より低い圧力にした坑内環境のことを意味します。鉱山では一般的にこの方式を採用しています。

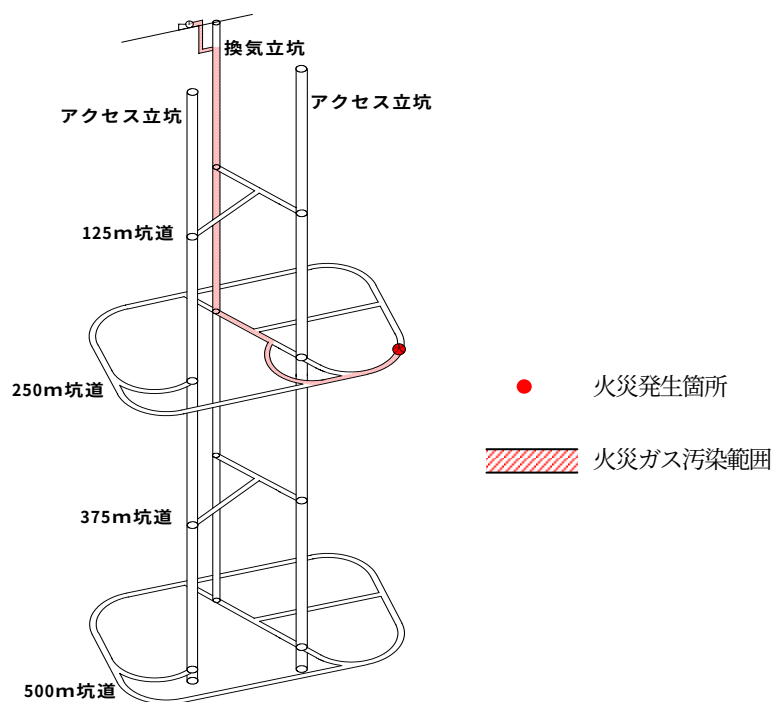


図 33 火災時の解析例

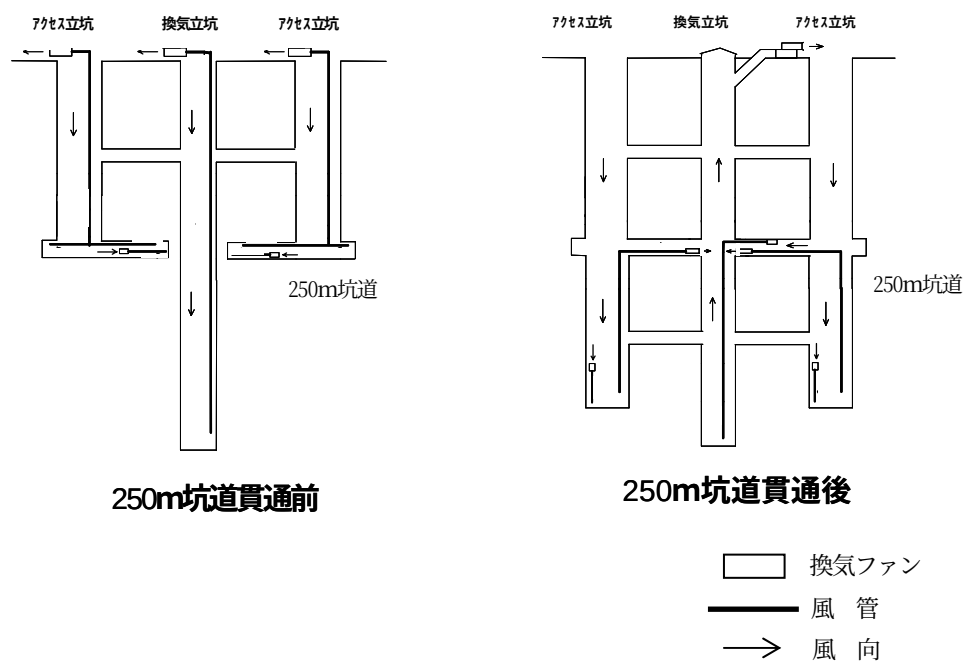


図 34 地下施設掘削時の通気システムの段階的進展の例

4.4 地質環境の長期安定性に関する研究

4.4.1 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 13 年度に実施した試錐調査（HDB-2 孔）の敷地内において、深度 141m の試錐孔を掘削した後、深度 137.88m と地表付近に地震計を設置し、平成 14 年 12 月下旬から地震の連続観測を開始しました。観測を開始してから平成 15 年 3 月末までに、宗谷地方で発生した地震 87 回（防災科学技術研究所ホームページ Hi-net 地震情報より）のうち 19 回について、地震と考えられる記録を得ました。

図 35、36 は平成 14 年 12 月 26 日に発生した宗谷支庁中頓別町を震央とする地震を捉えた記録です。観測点から震央までの距離は約 29.5km です。図 37 は平成 15 年 3 月 17 日に留萌支庁幌延町で発生した地震を捉えた記録です。これらの記録では、地下の地震の揺れは地表に比べて小さくなっていることが分かります。今後、観測によって得られた地震のデータについて、他の研究機関のデータと併せて解析を行い、震源の分布の推定やこの地域の地震活動の特徴を把握していきます。

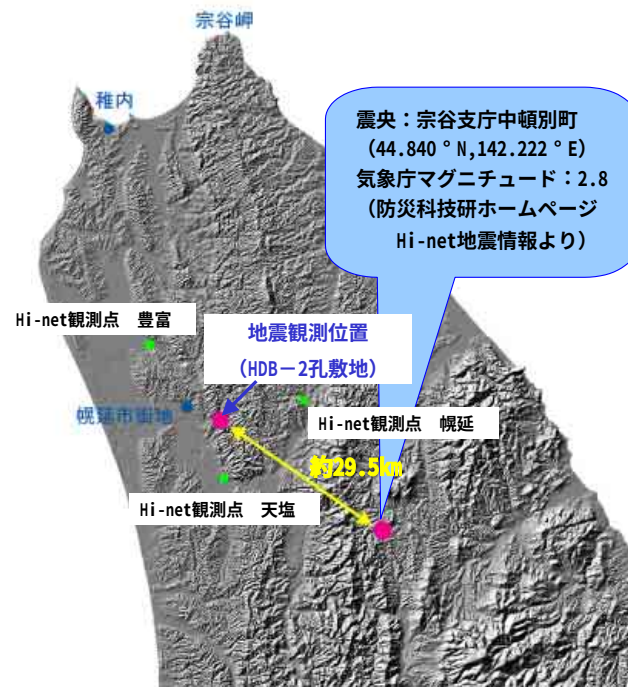


図 35 地震観測位置と平成 14 年 12 月 26 日に発生した地震の震央位置

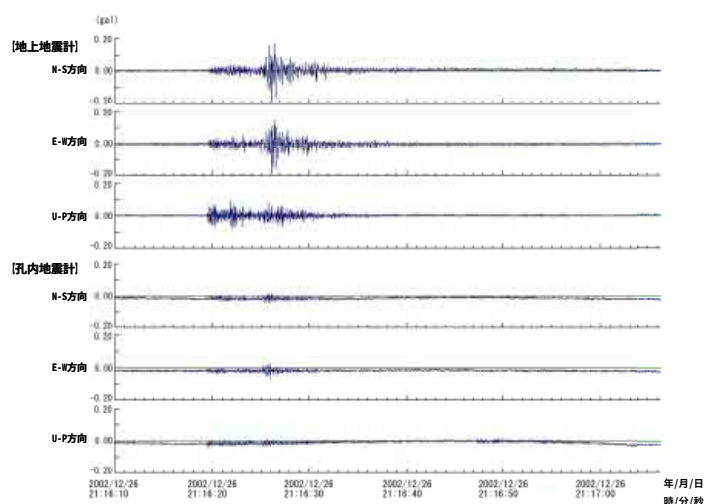


図 36 平成 14 年 12 月 26 日発生
地震観測結果

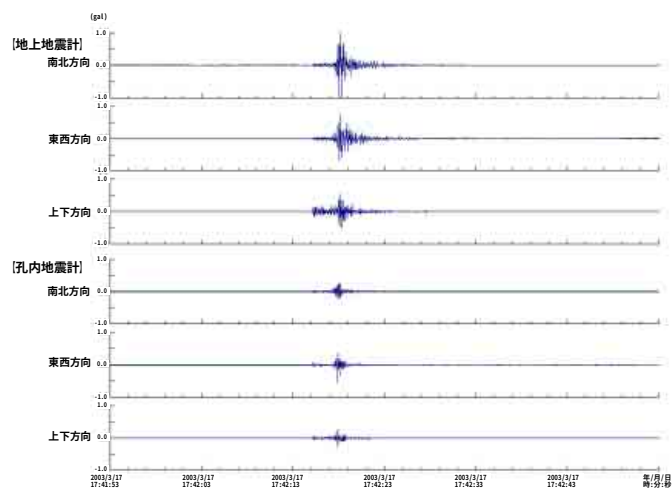


図 37 平成 15 年 3 月 17 日発生
地震観測結果

4.4.2 天然現象の研究

地殻の歪み等の観測を行うため、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、観測を開始しました。

天塩堆積盆内の地殻活動状況を把握するため、GPS 観測装置を北進地区の HDB-1 孔敷地内に設置し、現在連続観測を実施中です (図 38、39)。現在のアンテナの位置は、北緯 $45^{\circ} 2' 24.134''$ 、東経 $141^{\circ} 51' 52.725''$ (座標系 ; WGS-84) です。今後は、他の研究機関の観測地点のデータを合わせて地殻変動量などの解析を実施します。

電磁探査機器については、地震が発生する場の電気抵抗特性や地震発生時の電気抵抗変化を把握するため、HDB-1 孔に隣接する地点に電磁探査機器を設置し、地下 20km 程度までを対象に連続観測を実施中です。図 40 に深度方向の電気抵抗の分布図を示し、図 41 には深度約 500m の電気抵抗の日変化を示しています。現在までのところ電気抵抗は安定しており、明瞭な変化は認められていません。今後も引き続き、地下深部の電磁気的な性質 (電気抵抗など) の変化について連続観測を実施し、地震観測結果と合わせて地震と電気抵抗変化の関連を把握していきます。



図38 HDB-1孔敷地に設置したGPSアンテナ
現在のアンテナの位置座標(WGS-84)
北緯 $45^{\circ} 2' 24.134''$
東経 $141^{\circ} 51' 52.725''$

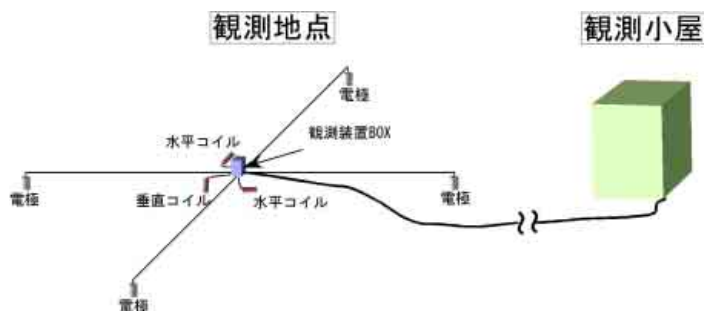


図39 電磁気探査機器設置概念図

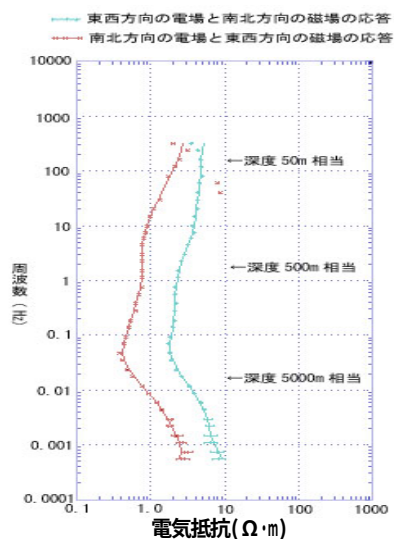


図40 深度方向の電気抵抗
の分布図
(平成 15 年 1 月 26 日)

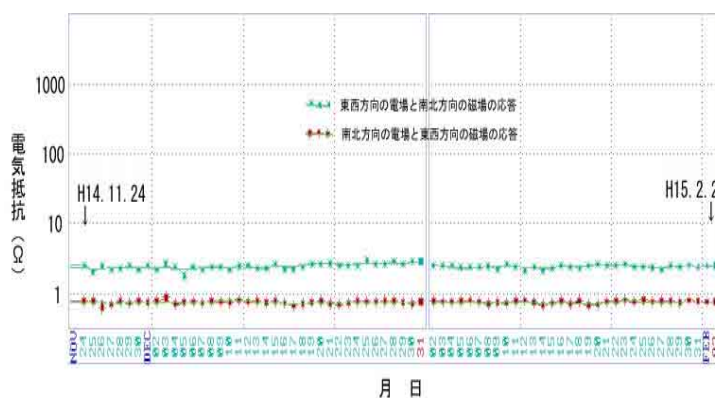


図41 電気抵抗の日変化図 (深度約 500m)
(平成 14 年 11 月 24 日～平成 15 年 2 月 2 日)

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

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緩衝材の膨潤挙動に関する解析・検討を行いました。

幌延における地下施設の建設の際に、施工試験等の実施を検討している低アルカリ性セメント（HFSC）^{*7}を用いたコンクリートについて、施工性の確認、目標品質の達成、品質変動の把握、耐久性の評価のために、室内や屋外において試験を行いました。

施工性の確認として、平成13年度の低アルカリ性セメントの配合条件（普通ポルトランドセメント：シリカフューム^{*8}：フライアッシュ^{*9}=20wt%：20wt%：60wt%）（表5、No.5）とは異なる配合条件および複数種類のフライアッシュ（表5、No.1,2）を用いた実規模模擬トンネルを利用した屋外吹付け試験を行いました⁶⁾。いずれも十分な施工性を有することを確認しました。

表5 低アルカリ性セメントの配合条件

No.	セメント種類	普通ポルトランドセメント（OPC）	シリカフューム（SF）	フライアッシュ（FA）		試験実施年度
1	HFSC424	40wt%	20wt%	40wt%	JIS I 種	H14
2					JIS II 種相当	
3	HFSC325	30wt%	20wt%	50wt%	JIS I 種	
4					JIS II 種相当	
5	HFSC226	20wt%	20wt%	60wt%	分級品 ^{*10}	H13

^{*7}：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）の場合、空隙水は高 pH のアルカリ性となり、岩石や緩衝材に影響を及ぼす可能性があります。その影響を緩和するため、組成を変えて空隙水の pH を低下させたセメントのことです。

^{*8}：SiO₂を主成分とした粒径 0.1 μm 程度の球形の超微粒子の産業副産物です。フェロシリコンや金属シリコンの製造時に発生する廃ガスを集じんすることにより得られます。

^{*9}：火力発電所の微粉炭燃焼で発生する産業副産物です。シリカフュームと同様に集じん機で集じんすることにより得られます。火力発電に用いられる石炭の種類や燃焼条件等により品質にばらつきが生じます。

^{*10}：産業副産物として得られたフライアッシュ（JIS II 種相当品）をふるいにかけ、粒子の大きさをそろえることにより得られます。

目標品質の達成として、より大きな圧縮強度が得られるよう、平成14年度は平成13年度とは異なる配合条件（表5）で圧縮強度試験を行いました。その結果を図42および図43に示します。両試験結果はともに、平成13年度の配合条件での圧縮強度より優れているものの、場所打ちコンクリートについてはHFSC325でJIS I種を使用したケースと、吹付けコンクリートについてはHFSC424でJIS II種相当品を使用した以外のケースは、目標とした幌延深地層研究施設の設計基準強度の最大値^{*11}を下回る結果となりました。今後は、さらに基礎的な試験を継続するとともに、その結果に基づき原位置試験の実施場所等を検討する予定です。

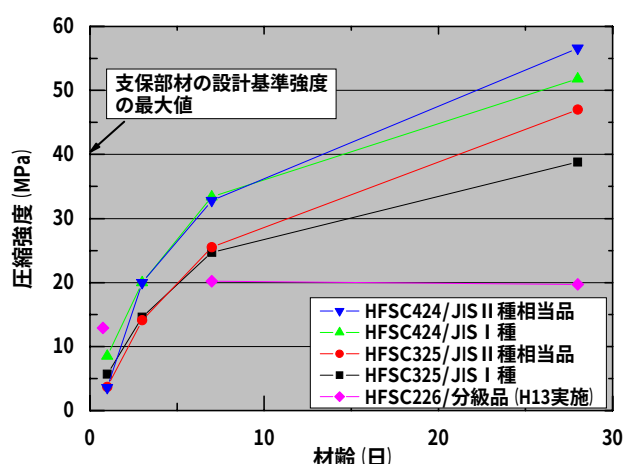


図42 場所打ちコンクリート
圧縮強度

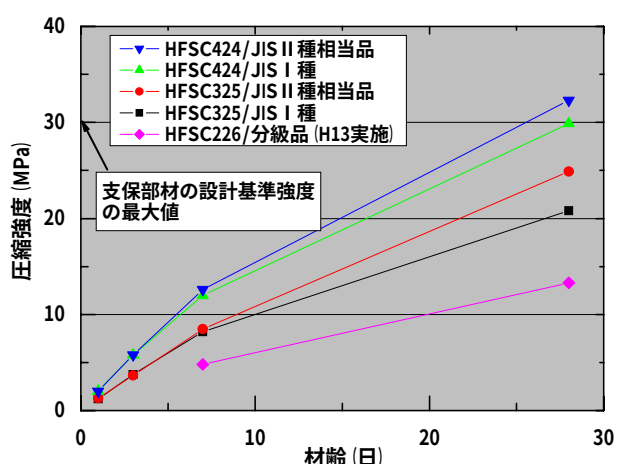


図43 吹付けコンクリート
圧縮強度

また、低アルカリ性コンクリートに配合するフライアッシュは産業副産物であり、品質が変動すると考えられます。そのため、品質変動の把握として、異なる4回の時期にサンプリングされたフライアッシュを用いて試験を実施しました。図44に圧縮強度試験の結果を示します。この結果、28日経過後の強度では50～64MPa程度のばらつきが確認されましたが、施工管理においては大きな問題にはならないと考えられます。

なお、フライアッシュのサンプリングの回数が少ないことから、試験を継続するとともに、各フライアッシュの物理・化学分析の結果と合わせて、低アルカリ性コンクリートの品質の変動に影響を与える因子について検討する予定です。

^{*11}：支保部材の設計基準強度の最大値は、「4.3 深地層における工学技術の基礎の開発」での検討に基づいて目標値として設定しました。

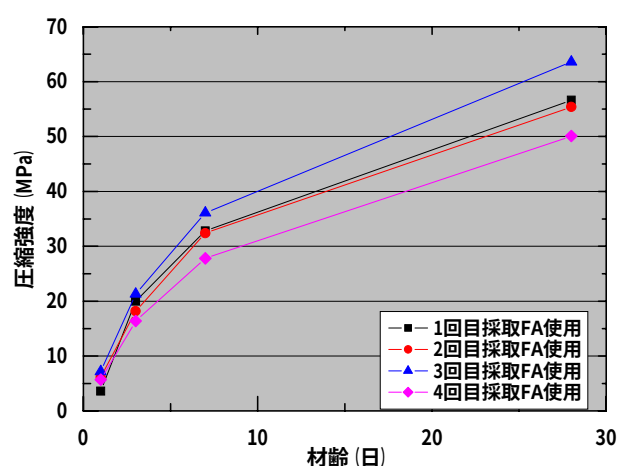


図 44 フライアッシュの品質変動に伴う場所打ちコンクリートの圧縮強度

試料条件：HFSC424、フライアッシュは JISII 種相当品

耐久性評価では、低アルカリ性セメントを用いた鉄筋コンクリートを屋外（海中、飛沫帯）に暴露し、鉄筋の腐食挙動を調査しました。6 ヶ月暴露で低アルカリ性セメントを用いた鉄筋コンクリート中の鉄筋に錆の発生が認められ、1 年後で腐食面積率は海中暴露で 0.8～5.2%（平均 2.4%）、飛沫帯暴露で 4.1～7.7%（平均 6.1%）でした。これに対して普通ポルトランドセメント 100%の鉄筋コンクリート中の鉄筋に錆の発生は認められませんでした。両者の錆の発生状況を図 45 および図 46 に示します。この結果、低アルカリ性セメントを鉄筋コンクリートに使用する場合は、構造物としての耐久性をどのように確保するかを検討する必要があると判断されます。

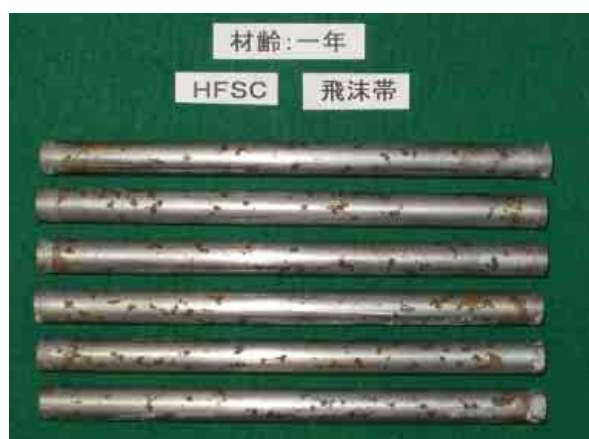


図 45 飛沫帯 1 年暴露後の鉄筋の状況

試料条件：HFSC226、フライアッシュは分級品

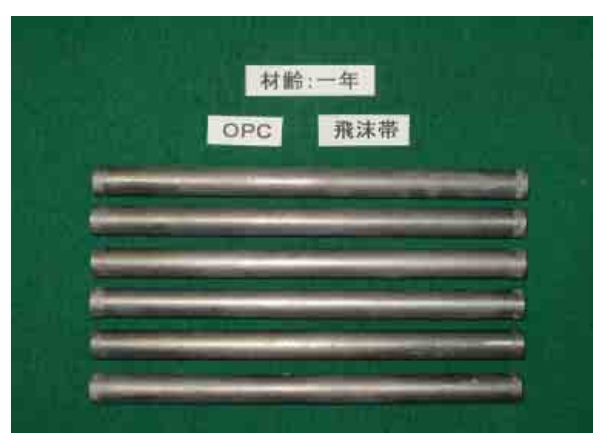


図 46 飛沫帯 1 年暴露後の鉄筋の状況

試料条件：普通ポルトランドセメントを 100%使用

緩衝材の膨潤挙動解析としては、以下の研究を行いました。

地層処分場での操業の際、緩衝材定置初期には岩盤と緩衝材の間に隙間が生じ、その隙間は最終的には緩衝材が膨潤することにより一様に充填されるものと考えられます。しかし、緩衝材が膨潤する過程を実規模の試験により確認することは困難なため、平成 14 年度は汎用の有限要素法解析コードであり、緩衝材の変位挙動を解析した実績⁷⁾がある ABAQUS を用いた解析を開始しました。今後は、緩衝材が膨潤する過程をより現実的に模擬できるようにモデルを改良する予定です。

5.1.2 設計手法の適用性確認

第 2 次取りまとめに示した設計手法について、その信頼性の向上と具体的な地質環境条件への展開という観点から、第 2 段階以降に原位置において行うべき地層処分研究開発項目を抽出し、地質環境の特徴（堆積軟岩、ガス湧出、塩水系地下水等）、試験に必要な期間、地下施設建設工程への影響、試験の規模による試験結果に与える影響等を考慮して、原位置試験計画を検討し、試験項目を抽出しました。また、それぞれの試験内容を考慮して、研究施設内での原位置試験の実施深度、規模等の試験概念を検討しました。図 47 に原位置試験計画の例を、図 48 に原位置試験の例として坑道閉鎖試験^{*12}の概念を示します。

今後は、地表からの調査結果に基づいて原位置試験の仕様の具体化など原位置試験実施に向けた準備を行う予定です。

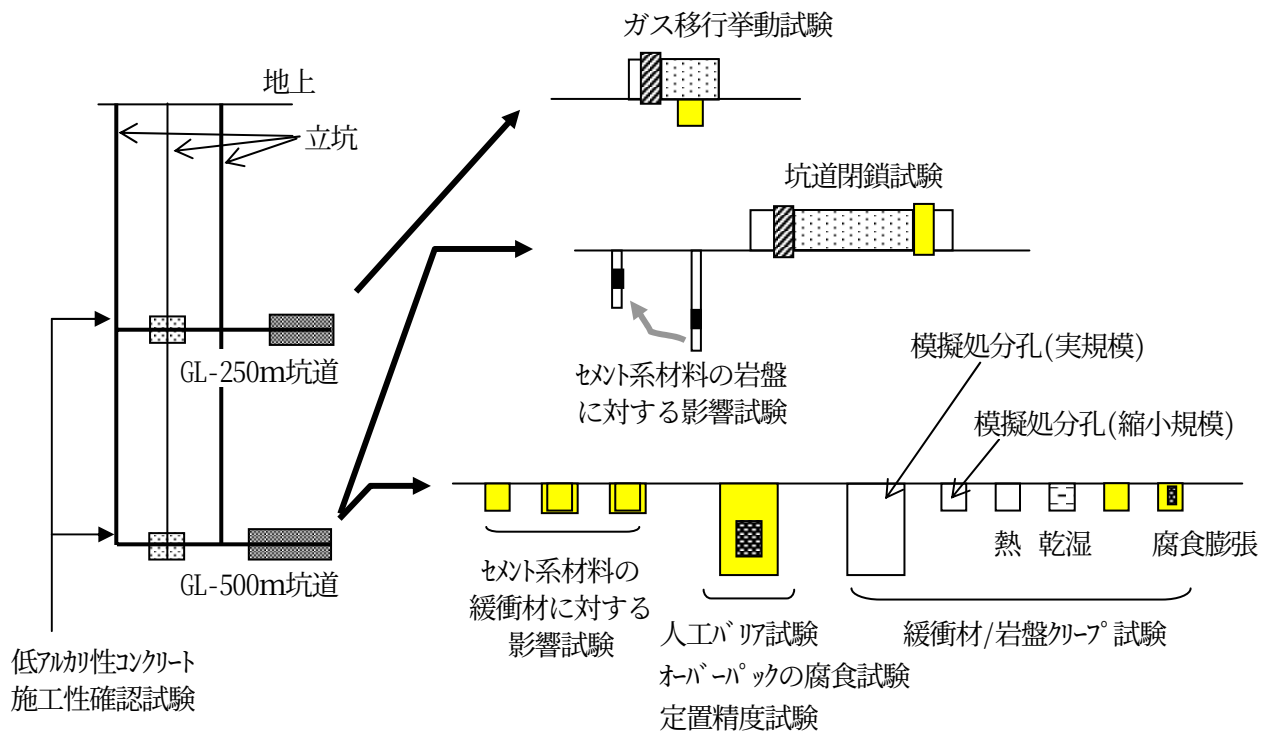


図 47 地下研究施設における原位置試験計画の例

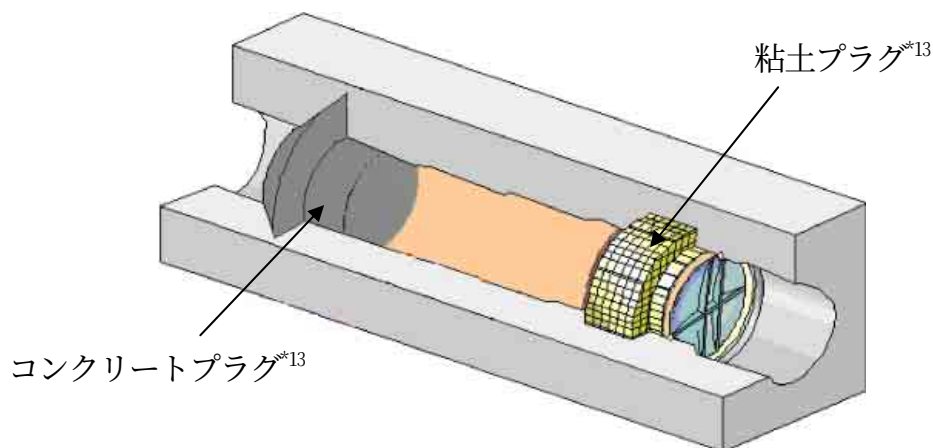


図 48 原位置試験の例（坑道閉鎖試験*12）

*12：廃棄物を埋設した後の処分坑道や断層/亀裂（帯）を放置しておくとも地下水の通り道になって処分場の性能が損なわれることが考えられます。そのため、処分坑道は埋め戻すこと、断層/亀裂（帯）は閉鎖することが考えられています。坑道閉鎖試験は、坑道を埋め戻す技術に関する原位置試験です。

*13：プラグは、坑道を埋め戻した材料が他の坑道に移動すること、および坑道沿いの水の流れを防ぐために用います。材料は、コンクリート、粘土の両者が考えられています。

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

堆積岩中においても、割れ目と健岩部をその経路とする物質の移行を評価することが重要となります。この観点から、割れ目を有する堆積岩中における物質移行特性の解明のための室内トレーサー試験の前段階として、HDB-4孔の3深度について割れ目を有する試料と割れ目を有していない試料(表6、7)を用いた室内透水試験を実施しました。その結果、割れ目を有していない試料については、2種類の解析方法により算出した水の通しやすさ(透水係数)がほぼ一致し、深度方向の透水係数の大きな変化も見られませんでした。また、割れ目を有する試料については、同一深度の割れ目を有していない試料に比べて透水係数が大きいことがわかりました。

今後は、地下水の流れと物質の移行を表現できるモデルの確立をめざして、コアを使用した室内試験を継続し、データ蓄積を行うとともに、取得したデータに基づきモデル化の検討を進める予定です。

表6 割れ目を有していない試料を用いた透水試験結果

試料採取孔名	採取深度 [m]	透水係数 [m/s]	
		Brace 法 ⁸⁾	改良 Hsieh 法 ⁹⁾
HDB-4	195.0~195.7	4.83×10^{-12}	5.49×10^{-12}
	314.0~314.4	4.83×10^{-12}	4.88×10^{-12}
	441.5~442.0	1.69×10^{-12}	1.63×10^{-12}

表7 割れ目を有する試料を用いた透水試験結果

試料採取孔名	採取深度 [m]	透水係数 [m/s]
HDB-4	195.0~195.7	1.87×10^{-8}
		8.88×10^{-9}

安全評価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に向けて、地質環境あるいは物質移行に関わる可能性のある特徴やプロセスを幅広く整理しました。また、地表からの調査で取得したデータや地下水の流

れに関する解析結果の物質移行解析への取り込み方法を検討するとともに、地下水の流速や物質の岩盤への収着に関するデータの重要性を確認しました。

今後、データの充実と物質移行解析をくり返すことにより、安全評価に必要な地質環境データの項目、量、および精度を明らかにしていきます。

6. 環境調査・地上施設

6.1 環境調査

平成14年度は、研究所設置地区が決定したことを受け、研究所設置地区内を対象に環境調査を実施しました。調査位置は、研究所設置地区の河川植生、防風林、低木樹林、湿地植生などの環境を考慮し、各環境を代表する調査地点と各環境を網羅する調査ルートを設定しました。図49に調査位置を示します。

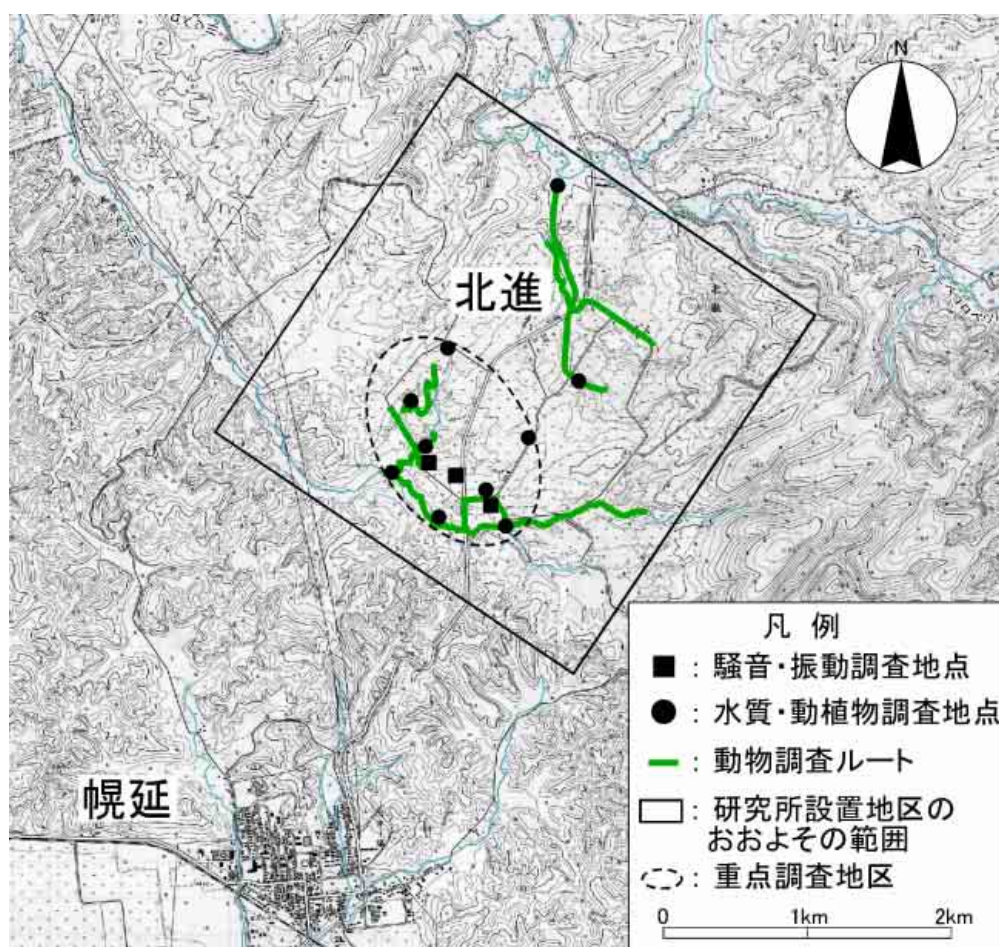


図49 環境調査位置図

調査項目は、騒音、振動、水質、動植物とし、工事着手前の現状を把握しました。調査の実施時期、調査方法を表8に示します。

表 8 環境調査実施内容

調査項目		調査時期	調査方法
騒音		<秋季>H14/10/ 8～ 9	・特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準による方法
振動		<秋季>H14/10/ 8～ 9	・特定工場等において発生する振動の規制に関する基準による方法
水質		<夏季>H14/ 8/29～30 <秋季>H14/10/ 3～ 4	・生活環境の保全に関する環境基準による方法
動物	哺乳類	<夏季>H14/ 8/29～30 <秋季>H14/10/ 3～ 4 <冬季>H15/ 2/ 4～ 6	・捕獲調査法 ・直接観察法 ・フィルト・サイン法
	鳥類	<夏季>H14/ 8/26～30 <秋季>H14/ 9/30～10/4 <冬季>H15/ 2/ 4～ 6	・フィルト・サイン法 ・定点観察法
	両生・爬虫類	<夏季>H14/ 8/29～30	・直接観察法
	魚類	<夏季>H14/ 8/29～30 <秋季>H14/10/ 3～ 4	・直接観察 ・捕獲法
	昆虫類	<夏季>H14/ 8/26～30 <秋季>H14/10/ 3～ 4	・直接観察 ・採集法
	底生動物	<秋季>H14/10/ 3～ 4	・直接観察 ・採集法
植物	植物相 植物群落	<夏季>H14/ 8/27～30	・直接観察法 ・コト・ラート調査

動植物に関する調査の結果、哺乳類 4 目 5 科 10 種、鳥類 7 目 18 科 42 種、両生・爬虫類 2 目 2 科 2 種、昆虫類 10 目 64 科 255 種、魚類 4 目 5 科 8 種、底生動物 11 目 21 種、植物 56 科 171 種が確認されました。確認された動植物のうち、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動植物種を抽出したものを重要種として表 9 に示します。確認された重要種は 19 種（哺乳類なし、鳥類 5 種、両生・爬虫類 1 種、魚類 5 種、昆虫類 2 種、底生動物 1 種、植物 5 種）でした。

確認された主な重要種は、鳥類では、ハイタカ、チュウヒなど、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、トドマツアワフキ、ミズスマシ、植物では、ノダイオウ、ハイドジョウツナギなどでした。

これらの結果については、専門家からの指導を得つつ、必要に応じてその対応を検討しました。

騒音レベルは 40～50dB 程度、振動レベルは 30～40dB 程度でした。

表 9 確認された重要種

区分	種名	選定基準							
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
鳥類	ヒシクイ	天			VU	R			
鳥類	オジロワシ	天	内		EN	En			
鳥類	オオタカ		内		VU	Vu			
鳥類	ハイタカ				NT	Vu			
鳥類	チュウヒ				VU	Vu			
両生類	エゾサンショウウオ					N			
昆虫類	トドマツアワフキ					R			
昆虫類	ミズスマシ					R			
魚類	ヤマメ					N	減		
魚類	エゾホトケトシヨウ				VU	En			
魚類	エゾトミヨ				NT	R			
魚類	ハナカジカ					N			
底生動物	カワシシユカイ				VU				
植物	ノダイオウ							VU	
植物	ハイトシヨウツナギ					R			
植物	タマミクリ							VU	
植物	タカネトンボ							VU	

(盗掘などのおそれのあるものは記述せず)

【選定基準】(③・④・⑤・⑦については、選定基準のうち下線のもの)

①:「文化財保護法」(昭和25年 法令第214号)に基づく天然記念物

特:特別天然記念物 天:天然記念物

②:「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」(平成4年 法律第75号)

内:国内希少野生動植物種 際:国際希少野生動植物種 緊:緊急指定種

③:「改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物 爬虫類・両生類」(環境庁 2000)

Ex:絶滅 EW:野生絶滅 CR:絶滅危惧ⅠA類 EN:絶滅危惧ⅠB類

VU:絶滅危惧Ⅱ類 NT:準絶滅危惧 Lp:絶滅のおそれのある地域個体群 DD:情報不足

④:「動物に関するレッドリスト」(環境庁 哺乳類, 鳥類:1998, 汽水・淡水魚類, 淡水陸貝類, 昆虫類:2000)

Ex:絶滅 EW:野生絶滅 CR:絶滅危惧ⅠA類 EN:絶滅危惧ⅠB類 VU:絶滅危惧Ⅱ類

NT:準絶滅危惧 Lp:絶滅のおそれのある地域個体群 DD:情報不足

⑤:「北海道レッドデータブック」(北海道環境生活部 2001)による選定種

Ex:絶滅種 CR:絶滅危機種 EN:絶滅危惧種 Vu:絶滅危急種 R:希少種 N:留意種

⑥:「日本の希少な野生水生生物に関するデータブック」(社団法人 日本水産資源保護協会 1998)

絶:絶滅危惧種 急:危急種 希:希少種 減:減少種

⑦:「改訂・日本の絶滅のおそれのある野生植物」(環境庁 2000)

Ex:絶滅 EW:野生絶滅 CR:絶滅危惧ⅠA類 EN:絶滅危惧ⅠB類 VU:絶滅危惧Ⅱ類

NT:準絶滅危惧 DD:情報不足

⑧:「自然環境保全基礎調査報告書(第1回緑の国勢調査)」(環境庁 1976)

貴:貴重植物

6.2 地上施設

地下施設と地上施設の建設用地造成工事の基本設計および一部分の実施設計を行いました。図 50 に造成計画平面図を示します。

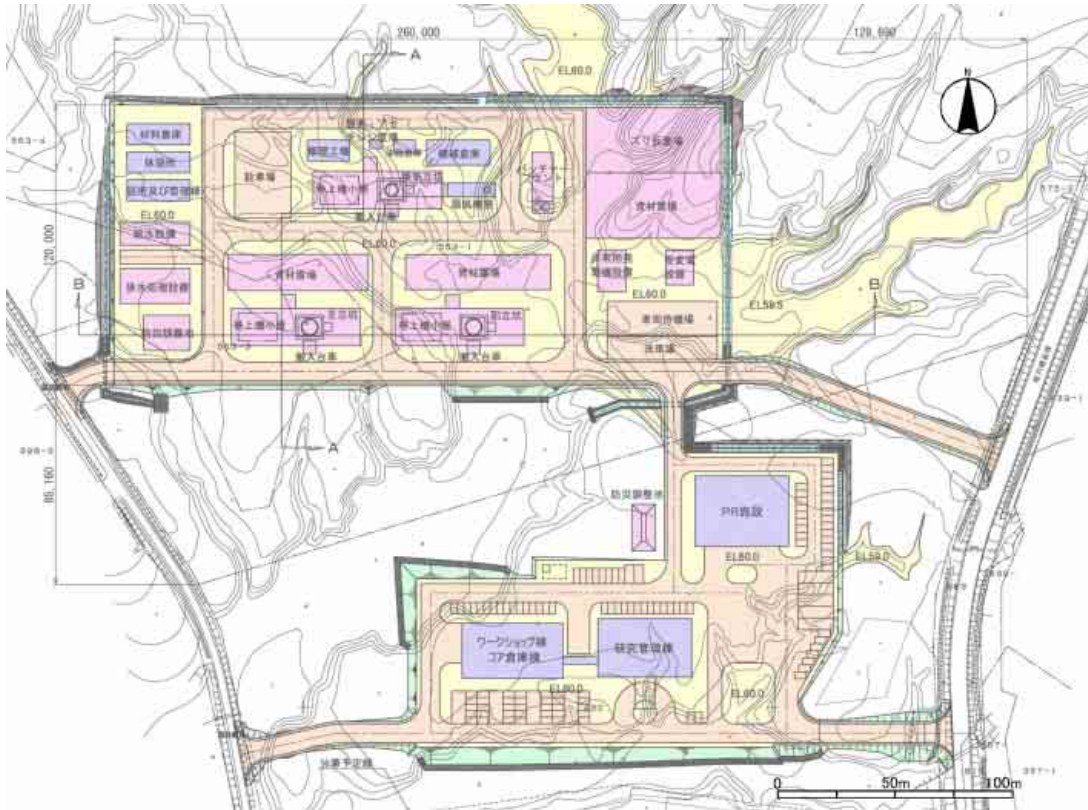


図 50 造成計画平面図

地上施設については、研究管理棟およびコア倉庫・ワークショップ棟の各施設について、配置、構造、機能、規模、外観および設備など基本計画の検討を行いました。図 51 に研究管理棟およびコア倉庫・ワークショップ棟の検討例を示します。



図 51 地上施設の検討例

(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 14 年度調査研究計画, サイクル機構技術資料, JNC TN 1410 2001-004.
- 2) サイクル機構 (2002) : 幌延深地層研究計画平成 13 年度調査研究成果報告, サイクル機構技術資料, JNC TN 1400 2002-004.
- 3) サイクル機構 (2002) : 幌延深地層研究計画平成 13 年度調査研究結果と研究所設置地区選定, サイクル機構技術資料, JNC TN 1400 2002-017.
- 4) 柳田 誠 (1998) : 北海道北部地域の地質に関する研究報告書, サイクル機構技術資料 (契約業務報告書 ; 株式会社アイ・エヌ・エー), JNC TJ1400 98-001.
- 5) 日本道路公団 (1997) : 設計要領第三集 トンネル.
- 6) 入矢桂史郎, 三上哲司, 竹田宣典, 秋好賢治 (2002) : 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 (III), サイクル機構技術資料 (委託研究成果報告書 ; 株式会社大林組, 登録準備中).
- 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 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.
- 8) Brace, W.F., walsh, J.B. and Frangos, W.T. (1968) : Permeability of granite under high pressure, Journal of Geophysical Research, Vol.73, No.6, pp.2225-2236.
- 9) Hsieh, P.A., Tracy, J.V., Neuzil, C.E., Bredehoest, J.D. and Silliman, S.E. (1981) : A Transient Laboratory Method for Determining the Hydraulic Properties of 'Tight' Rocks - I. Theory, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol.18, pp245-252.

参考資料

(平成14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) 原口 強, 市原 季彦, 小笠原洋(2002): 研究所設置地区およびその周辺地区の地質層序に関する調査報告書, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 復建調査設計株式会社), 登録準備中.
- (2) 堀田政国, 室井達巳(2003): 水理地質構造モデル構築のための地下水水圧データの収集, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 清水建設株式会社), 登録準備中
- (3) 堀田政国, 室井達巳(2003): 地下水の水圧・水質長期観測システムの設置, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 清水建設株式会社), 登録準備中
- (4) 帰山弘一(2002): 地震観測機器の設置, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 株式会社ケイジーエンジニアリング), 登録準備中.
- (5) 窪田 茂, 堀内秀行, 納多 勝, 古市光昭, 岩佐健吾(2003): 幌延深地層研究計画 地下施設建設に関する基本計画の検討, サイクル機構技術資料(委託研究成果報告書; 大成建設株式会社, 株式会社大林組, 鹿島建設株式会社, 清水建設株式会社), JNC TJ1400 2002-003, 2003年2月.
- (6) 中野洋一, 小林利章(2003): 表層水理定数取得のための河川流量調査, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 財団法人日本気象協会), JNC TJ1440 2002-001, 2003年3月.
- (7) 西村史睦, 高木 達(2002): GPS 観測システムの設置, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 日立造船情報システム株式会社), JNC TJ1410 2002-003, 2002年12月.
- (8) 太田陽一, 東中基倫(2002): 幌延深地層研究計画における反射法地震探査を用いた地質構造調査, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 株式会社地球科学総合研究所), JNC TJ1410 2002-002, 2002年12月.
- (9) 太田陽一, 東中基倫(2002): 遠隔監視システムに関する基礎データの解析, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 株式会社地球科学総合研究所), JNC TJ1410 2002-005, 2003年3月.
- (10) 大内敏郎, 志村和俊, 佐藤 栄(2003): 表層水理調査における地表水・降水の水質分析(1), サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 三菱マテリアル資源開発株式会社), JNC TJ1440 2002-002, 2003年3月.
- (11) 戸井田 克, 須山泰宏, 塩釜幸弘, 渥美博行, 阿部泰典, 古市光昭(2002): 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), 登録準備中.
- (12) 鵜沼育雄, 荒川 仁, 牧瀬賢治, 前田範章(2002): 幌延深地層研究計画に係わる環境調査(平成14年度), サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 国際航業株式会社), JNC TJ1400 2002-008, 2002年3月.

(13) 山本卓也, 下茂道人, 藤原 靖, 服部弘通, 田所照夫, 名合牧人 (2003): 幌延深地層研究センターにおける試錐調査(HDB-3,4,5), 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), 登録準備中.

(14) 横井浩一, 岸本宗丸(2002): MT 法による地下深部比抵抗の長期観測, サイクル機構技術資料 (契約業務報告書; 日鉄鉱コンサルタント株式会社), JNC TJ1410 2002-004, 2003 年 3 月.

地層処分研究開発関係

(15) 入矢桂史郎, 三上哲司, 竹田宣典, 秋好賢治(2002): 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(III), サイクル機構技術資料 (委託研究成果報告書; 株大林組), 登録準備中, 2003年2月.

(16) 下茂道人, 山本 肇, 熊本 創(2002): 亀裂を有する軟岩中の流れと移行現象に関する研究, サイクル機構技術資料 (契約業務報告書; 大成建設株), 登録準備中, 2003 年 2 月.