

幌延深地層研究計画
平成 1 3 年度調査研究成果報告

平成 1 4 年 7 月

核燃料サイクル開発機構
幌延深地層研究センター

目 次

1. はじめに	1
2. 平成 13 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	2
4. 地層科学研究	4
4.1 地質環境調査技術開発	4
4.1.1 地表から地下深部までの地質環境データの取得	4
(1) 空中物理探査	4
(2) 地上物理探査（電磁探査）	6
(3) 地質調査	7
(4) 表層水理調査	9
(5) 試錐調査	9
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	22
4.1.3 調査技術・調査機器開発	22
(1) 試錐孔掘削のための技術	22
(2) 試錐孔を用いた調査試験のための技術	23
4.2 地質環境モニタリング技術の開発	24
4.2.1 試錐孔を用いたモニタリング技術開発	24
4.2.2 遠隔監視システムの開発	24
4.3 深地層における工学的技術の基礎の開発	25
4.4 地質環境の長期安定性に関する研究	29
4.4.1 地震研究	29
4.4.2 天然現象の研究	30
5. 地層処分研究開発	31
5.1 人工バリア等の工学技術の検証	31
5.2 地層処分場の詳細設計手法の開発	34
5.3 安全評価手法の信頼性向上	37

6. 環境調査・地上施設	37
6.1 環境調査	37
6.2 地上施設	39

・参考文献

・参考資料

１．はじめに

核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構とする）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。

核燃料サイクル開発機構が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」とする）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、平成１２年１１月の「原子力長計」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１３年度調査研究計画（平成１３年４月）」に基づき、平成１３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１３年度の主な調査研究結果

幌延深地層研究計画は、「地表から行う調査研究」、「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１３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、空中物理探査、地上物理探査、地質調査、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、これらのデータは、研究所設置地区の選定のための検討に用いました。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。

また、平成13年度は地上施設に関して、研究管理棟、コア倉庫棟、ワークショップ棟、展示館、国際交流会館の各施設について、利用形態、受変電設備、上下水道設備などの仕様の検討を行いました。

平成12年度に開始した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

研究所設置地区については、研究の対象となる地層と地下水が存在すること、安全に建設できることが基本的な要件です。

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

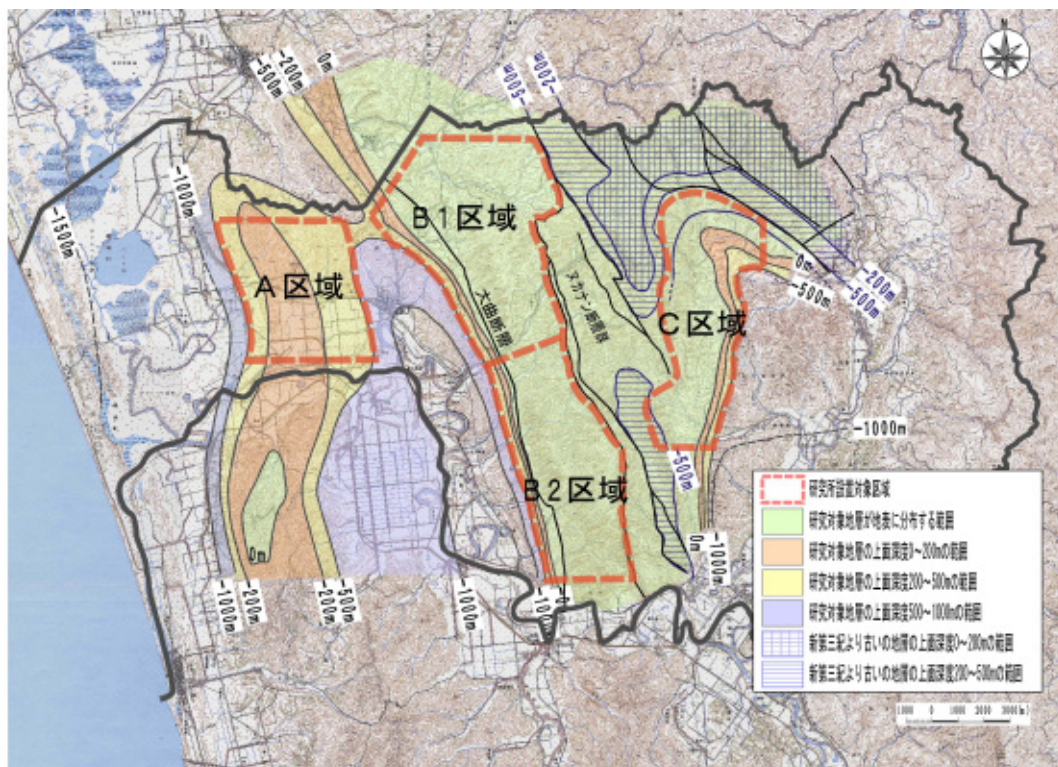


図1 新第三紀層の分布と研究所設置対象区域

ると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、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、これらの区域の中からガスの産出記録や社会的側面などを考慮して、B1 区域と B2 区域において試錐調査（HDB-1、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。

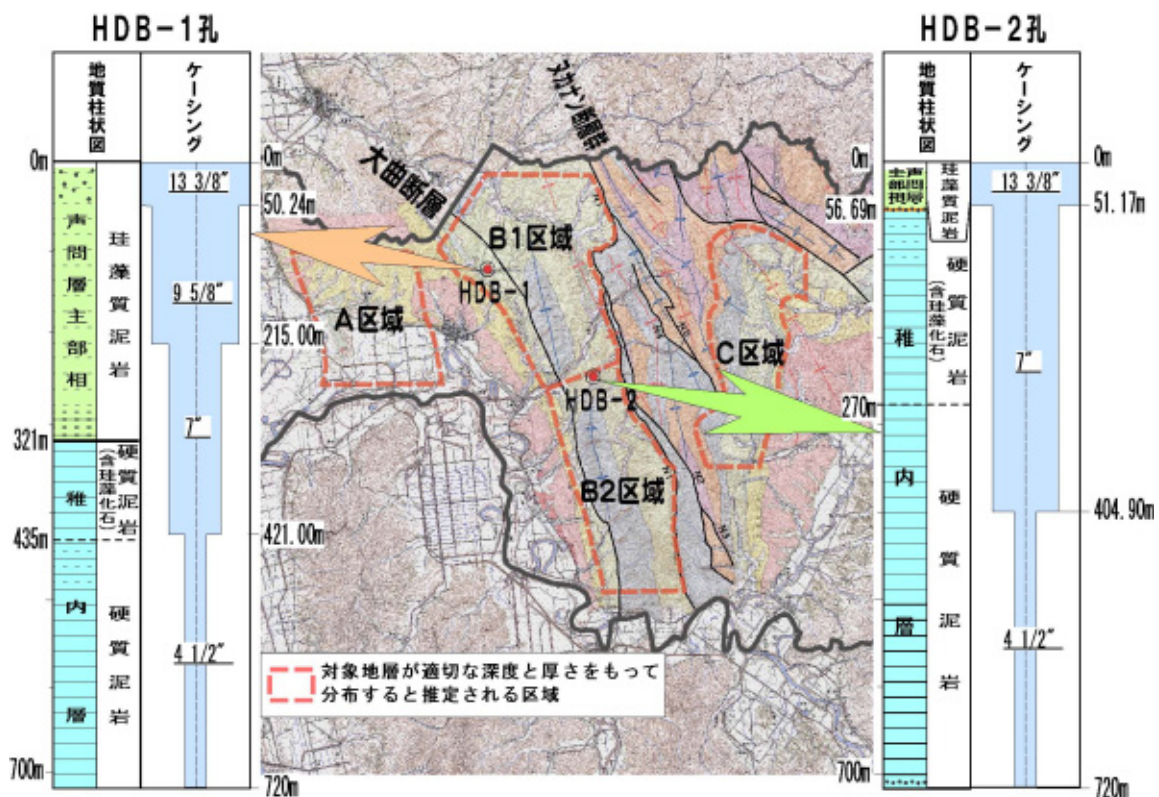


図 2 試錐孔位置とケーシングプログラム

環境調査では、希少動植物の生態や地下水の利用状況などを調べました。その結果、B1 区域、B2 区域には、沢部に魚類（ヤマメ、ハナカジカなど）や底生生物（カワシンジュカイ）などの希少動物が生息することや、表流水や地下水が水源として利用されていることを確認しました。施設建設では、これらに十分な配慮が必要であることが分かりました。

平成 14 年度の早い時期に研究所設置地区を選定するため、これらの結果に基づき、基本的な要件に加えて土地利用状況などの社会的要件について検討を行いました。

4．地層科学研究

4.1 地質環境調査技術開発

4.1.1 地表から地下深部までの地質環境データの取得

空中物理探査、地上物理探査、地質調査、試錐調査を行い、地表から地下深いところまでの地層の分布や断層などの地質構造のデータ、地層の水の通し易さや、地下水の水圧・水質、地層の力学的強度などのデータを取得しました。また、表層の水理データを取得するための観測システムの検討を行いました。

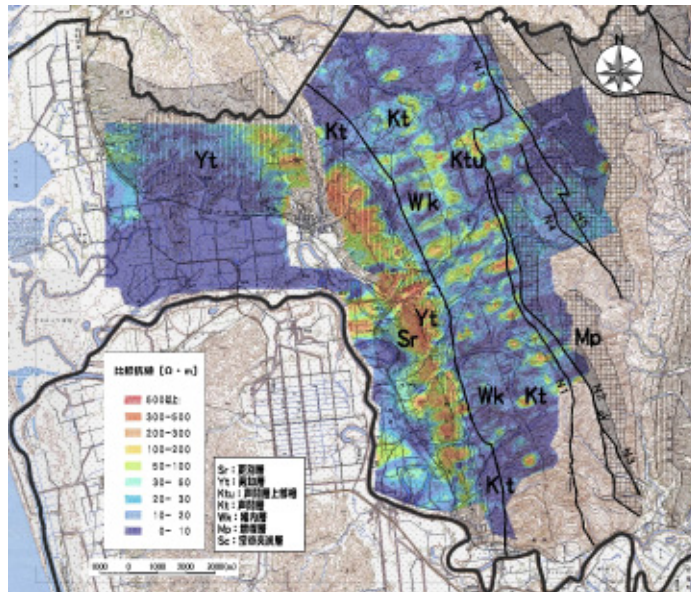
(1) 空中物理探査

空中物理探査は、研究の対象となる地層が適切な深さに十分な広がりと厚さを持って分布すると推定される区域（A 区域、B1 区域、B2 区域、C 区域）のうち、C 区域を含む北海道大学天塩研究林（約 50km²）および隣接している間寒別地区の民有地・町有地などを除く約 150km²の範囲を対象に実施しました。

岩石によって異なる磁性、電気抵抗、自然放射能を有していることに着目し、ヘリコプターを用いて空中から磁気探査、電磁探査、放射能探査を行い、地表から地下 150m 程度までの地層の分布や断層、しゅう曲などの地質構造を推定するためのデータを取得しました。

電磁探査の結果では、砂岩・礫岩を主体とする更別層、勇知層の分布域で高比抵抗^{*1}を示し、泥質岩を主体とする声問層、稚内層、増幌層の分布域は低比抵抗を示しています（図 3）。

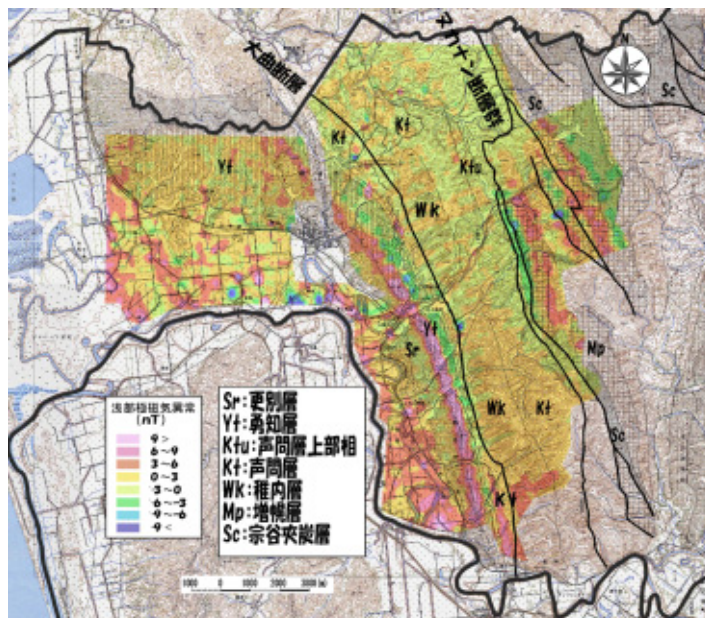
^{*1}：岩石の電気の通し易さを表すもので、一般的には、粘土、シルト岩などは低比抵抗を示し、頁岩、泥岩などは特に低比抵抗を示す傾向があります。また、砂・礫混じりの地層は高比抵抗を示す傾向があります。



比抵抗値 ($\Omega \cdot m$; オームメートル) :
断面積が $1m^2$ で長さが $1m$ の物質の電
気抵抗を表します。

図3 空中電磁探査 見掛比抵抗分布図 (深さ 100m)

磁気探査の結果では、大曲断層の西側の更別層と勇知層との境界部に沿って、北北西 - 南南東方向の高磁気異常が分布しており、ヌカナン断層東方の増幌層の分布域にも高磁気異常が認められています(図4)。これらは、砂岩中に帯磁率の高い蛇紋岩などの礫・砂が含まれていることによるものと考えられます。



nT (ナノテスラ) :
磁界の強度を表す単位で、
磁束密度を示します。

図4 空中磁気探査結果 (傾向面解析図)

放射能探査の結果では、天塩川沿いの沖積低地や丘陵地の沢部で自然放射線強度が高く、新第三紀層分布域(声問層上部相～宗谷夾炭層)では低い傾

向が認められます（図5）

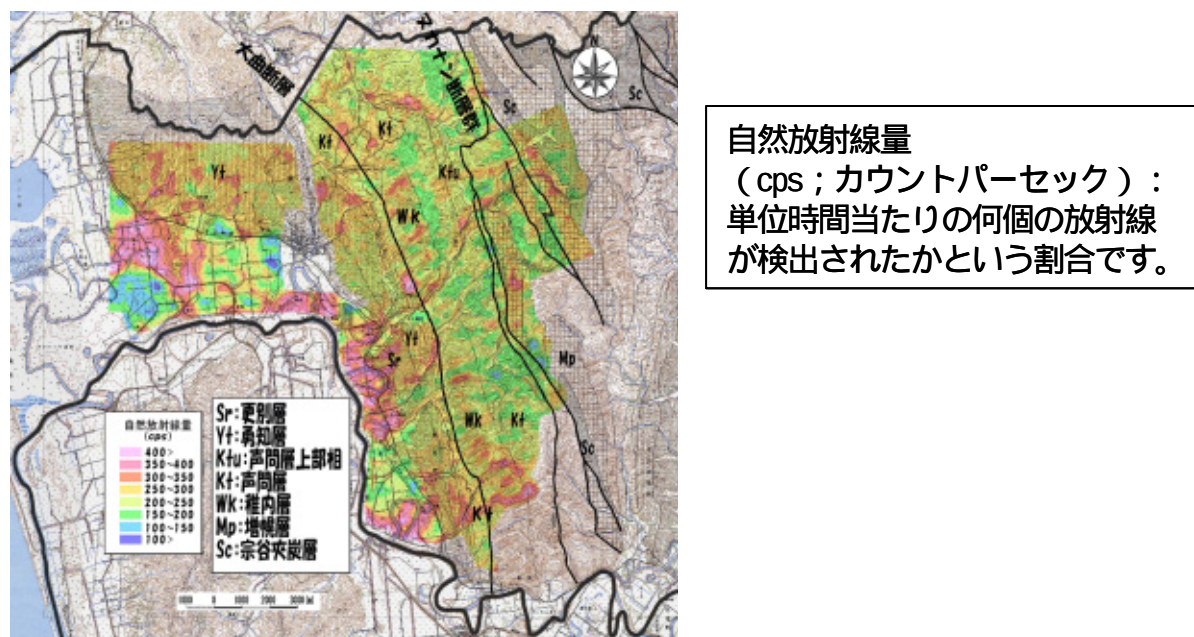


図5 空中放射能探査結果（全γ線分布図）

(2) 地上物理探査（電磁探査）

地上物理探査は空中物理探査と同様に、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について、合計60点で実施しました。

地層の電磁気的な性質（電気抵抗など）に着目し、空中物理探査で推定可能な深さ（地下150m程度）より深いところ（地下2,000m程度）までの地層の分布や断層、しゅう曲などの地質構造を推定するためのデータを取得しました。

地上物理探査によっても、大曲断層の西側に分布する砂岩を主体とする更別層、勇知層が高比抵抗帯、東側の泥質岩を主体とする声問層、稚内層、増幌層が低比抵抗帯に対応するという、この地域の地質構造と調和的な結果が得られました。（図6）

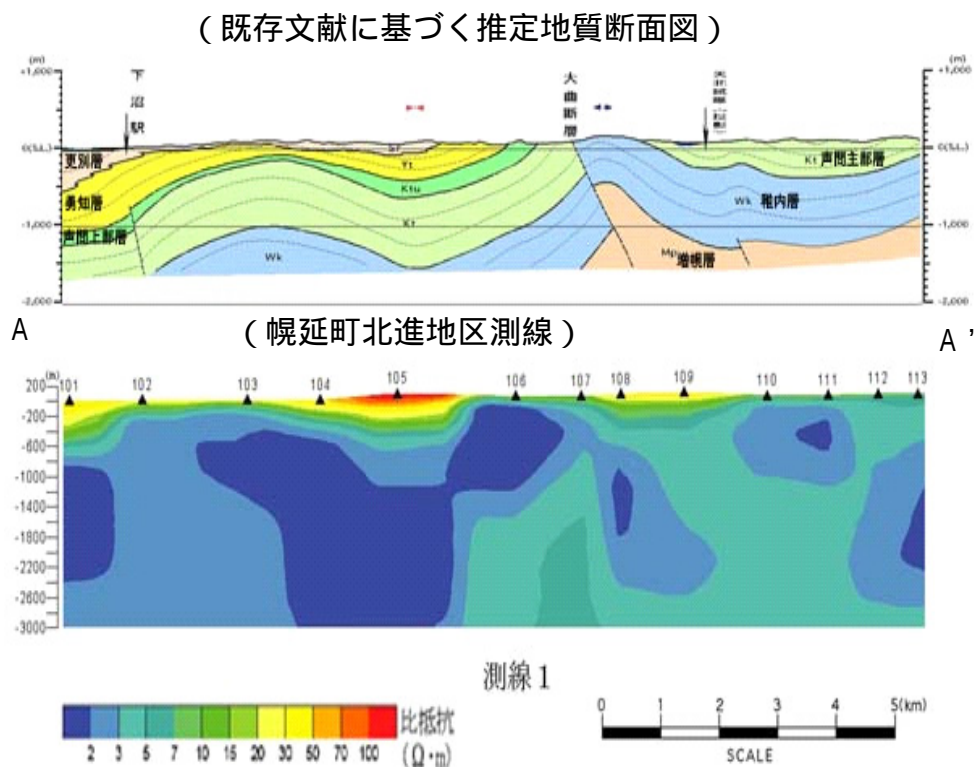


図6 地上物理探査（電磁探査）比抵抗断面図

(3)地質調査

地層の重なり方や地層の性質、断層などの地質構造を明らかにするために、地表に露出している地層の調査や採取した岩石サンプルを用いた岩石鉱物試験を行いました(図7)。地質調査からは概ね既存の文献に示された地質分布と整合的な結果が得られましたが、声問層と稚内層の境界付近では稚内層が分布するとされていたところで声問層と思われる泥岩が認められたり、従来、地層が西へ傾斜すると推定されていたところが、実際は東へ傾斜しているところもありました。今後、声問層と稚内層の分布や地質構造について、より詳しく調べていきます。

また、地表に分布する岩石から採取した声問層、稚内層、増幌層の岩石サンプルを用いた有機物の分析(ロックエバル分析^{*2})では、増幌層や稚内層

^{*2}: 岩石中の有機物の量、種類を測定するもので、一般的には石油根源岩の評価を目的として岩石試料の昇温加熱により揮発性あるいは熱分解して生じる有機物量、タイプを検出する方法です。

(4) 表層水理調査

地下水の流れの解析に必要な情報である、雨水が地下にしみ込む量（涵養量）を調べるための適正な観測手法・機器を検討するために、幌延町内において、地形・地質・被覆（植生）の特徴を整理しました。その結果、更別層、勇知層が分布する地域は沢の密度が高く、稚内層が分布する地域は低いことや、幌延町およびその周辺の年平均降水量は約 1,176mm、年平均気温は 5.6 程度であることが分かりました^{1)~8)}。

表層水理データ取得のための観測システム（気象観測など）の検討では、現地において冬季の河川の流量観測、積雪面蒸発量の測定を行い、寒冷地特有の条件などに対応した表層水理観測システムの概念をまとめました（図 8）。

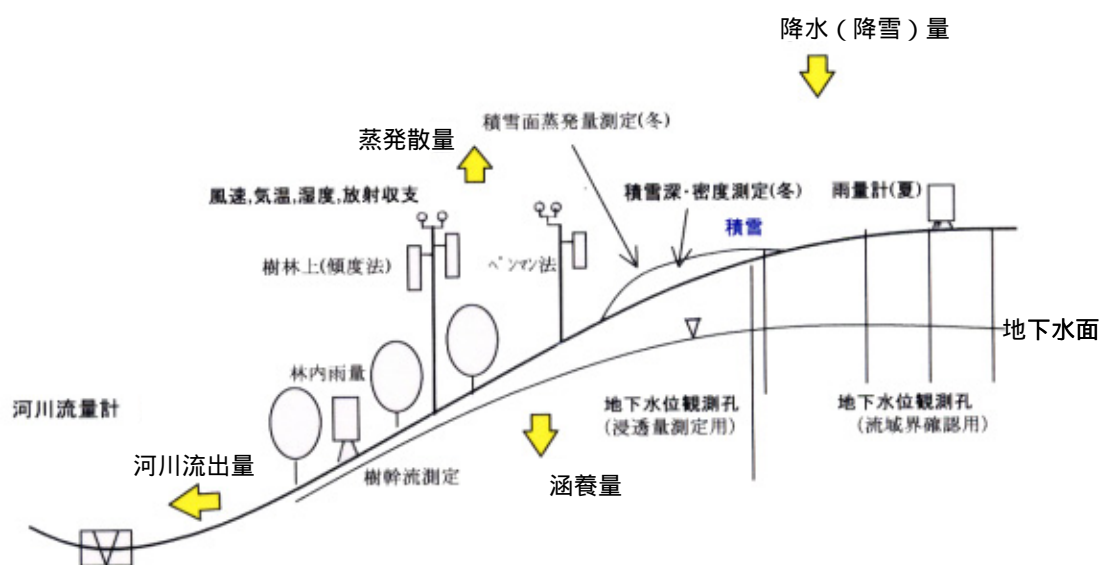


図 8 表層水理観測システムの概念

(5) 試錐調査

試錐調査地点（HDB-1、2 孔）は、B1 区域、B2 区域内において、アクセスや許認可手続き、調査に必要な用地の確保の容易性を考慮して選定しました（図 2）。

試錐調査では、HDB-1 孔、2 孔それぞれ深さ 720m 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。

掘削時に採取したコアは、HDB-1、2 孔ともに、珧藻質泥岩や硬質の泥岩からなっています。岩石の特徴から判断して、HDB-1 孔では、深さ 321m 付近までが声間層、それ以深は稚内層、HDB-2 孔では、深さ 56.69m までが声間層、それ以深は稚内層と考えられます。図 9、10 に岩石の硬さや割れ目の状況、

化石の産出状況などをまとめています。試錐孔を用いた試験のうち物理検層結果を図 11、12 に示しました。参考のためコアを用いた室内試験結果も載せています。

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 10 ~ 35MPa 程度を確認しました（図 13）。

地層にかかる圧力（応力）を調べるための応力測定の結果、最大主応力は、HDB-1 孔（深さ 585.00m）で 12.70MPa、HDB-2 孔（深さ 585.00m）で 11.00MPa でした（表 2）。

地層の水の通し易さを調べるための試験（水理試験）により、透水係数として HDB-1 孔で 10^{-9}m/sec ~ 10^{-10}m/sec オーダー、HDB-2 孔で 10^{-9}m/sec ~ 10^{-12}m/sec オーダーの値が得られました（表 3）。一般的には 10^{-8}m/sec オーダー以下の透水係数の地層は、水を通しにくい地層といわれています⁹⁾。今後、泥材やガスの影響の有無や程度などについて検討を加えます。

また、HDB-2 孔の深部の地下水は水柱に換算すると地上 110m 以上という高い圧力を持っていることが分かりました。

HDB-2 孔の水理試験において、最大で $2.3\text{ }\mu\text{L/min}$ ~ $4.4\text{ }\mu\text{L/min}$ （図 14）水理試験後の採水時に最大で $6.4\text{ }\mu\text{L/min}$ のガスの湧出を認めました。この他、ガスについては、試錐孔掘削時における掘削水中のガスの連続モニタリング（図 15）コアおよび水理試験時のガス採取・分析を行いました。ガスは地下水に溶存しており、その主体はメタンガスであると考えられます（図 16）。

水理試験の際に採取した地下水の化学組成は、掘削に用いた水の影響が残ってはいるものの、現在の海水の $1/2 \sim 1/3$ 程度の塩分濃度の地下水であることが確認できました（図 17）。このほか、コアに含まれている地下水を抽出し分析を行った結果でも、同様に現在の海水の $1/2 \sim 1/3$ 程度の塩分濃度を示しました（図 18）。

試錐調査で得られた透水係数や地層の力学的強度などは、図 19、20 に示すように国内に一般的に分布する泥岩や頁岩とほぼ同じ値^{10),11)}を示しています。

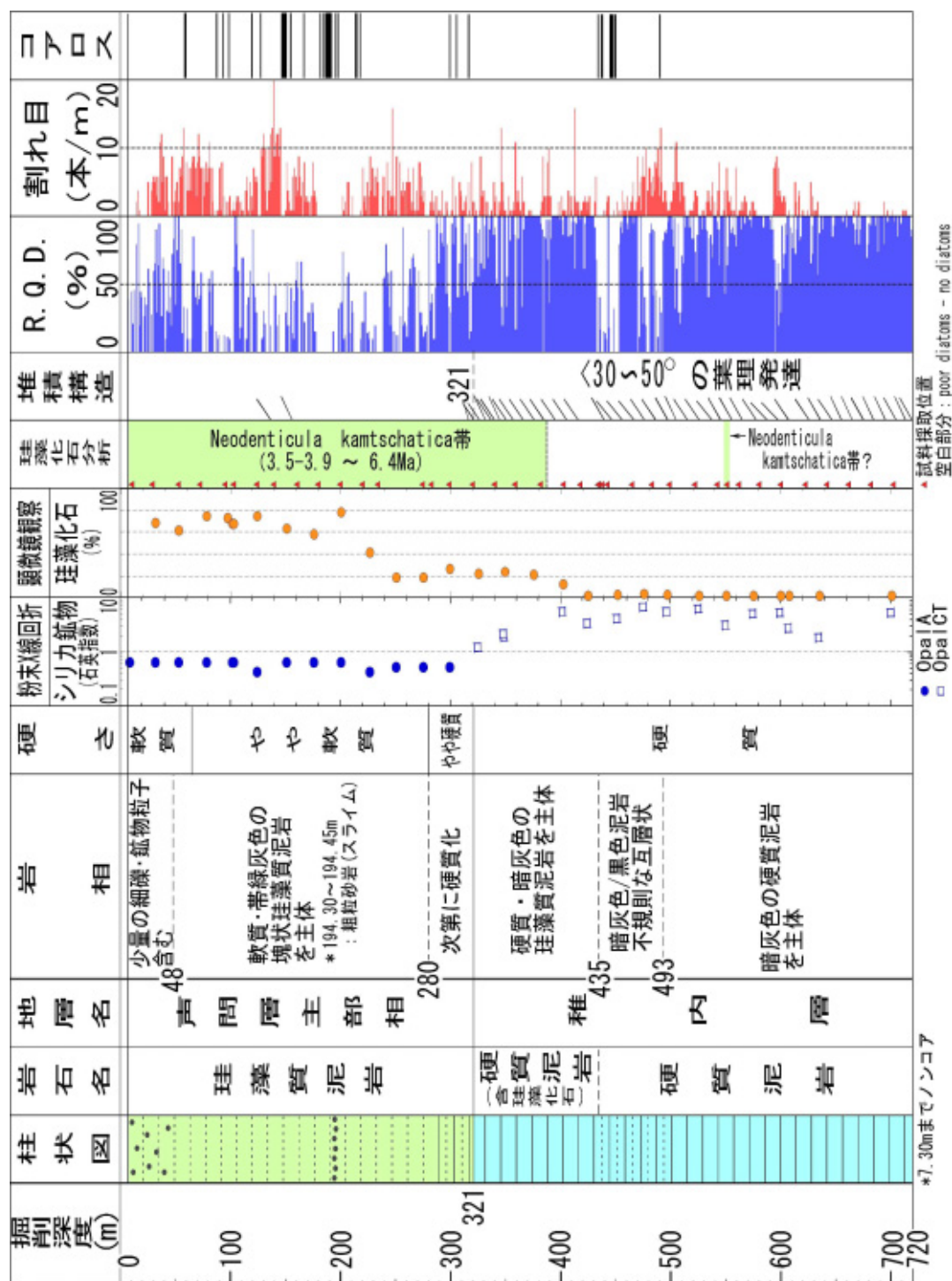


図9 HDB-1孔地質柱状図

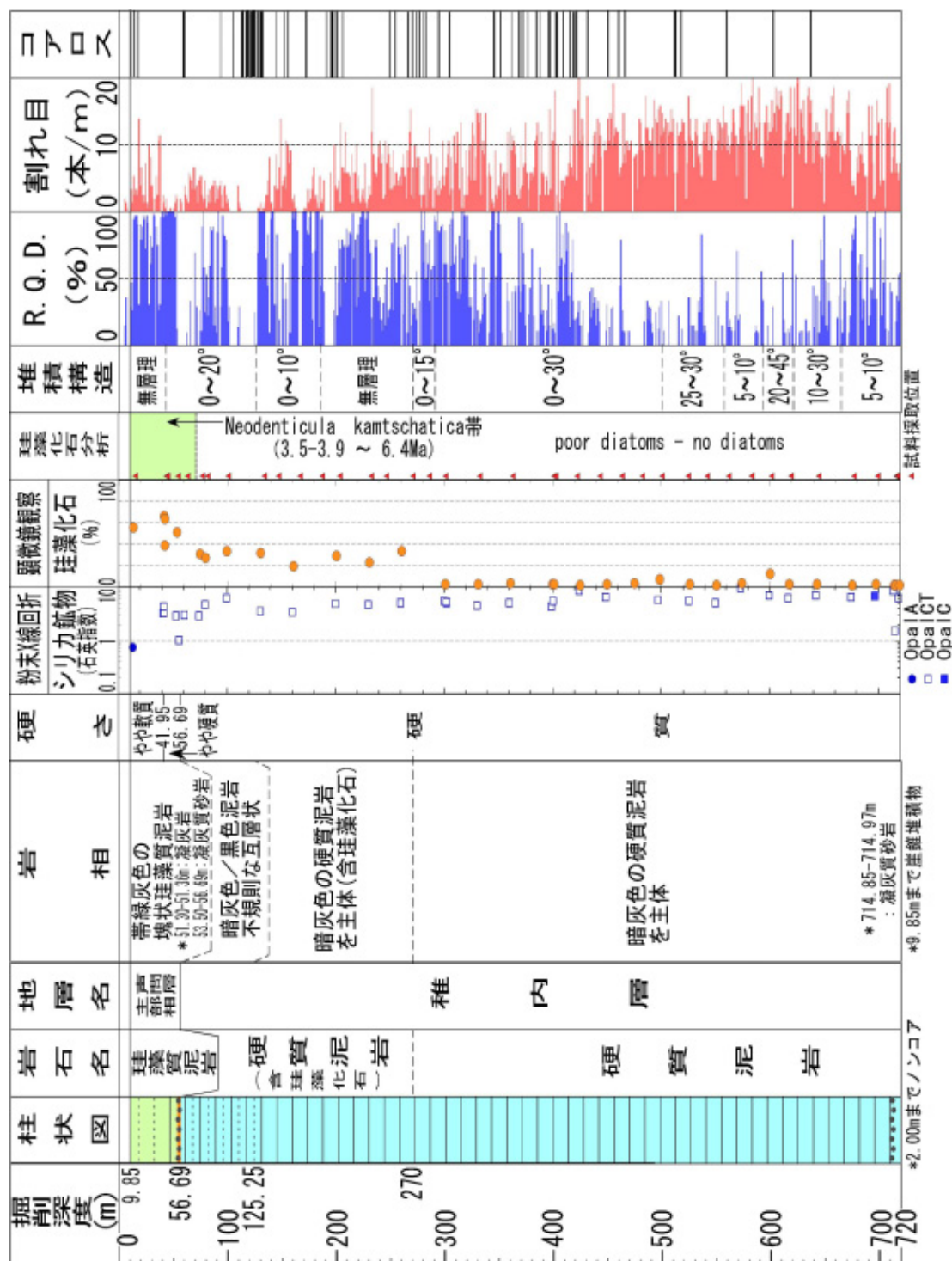


図10 HDB-2孔地質柱状図

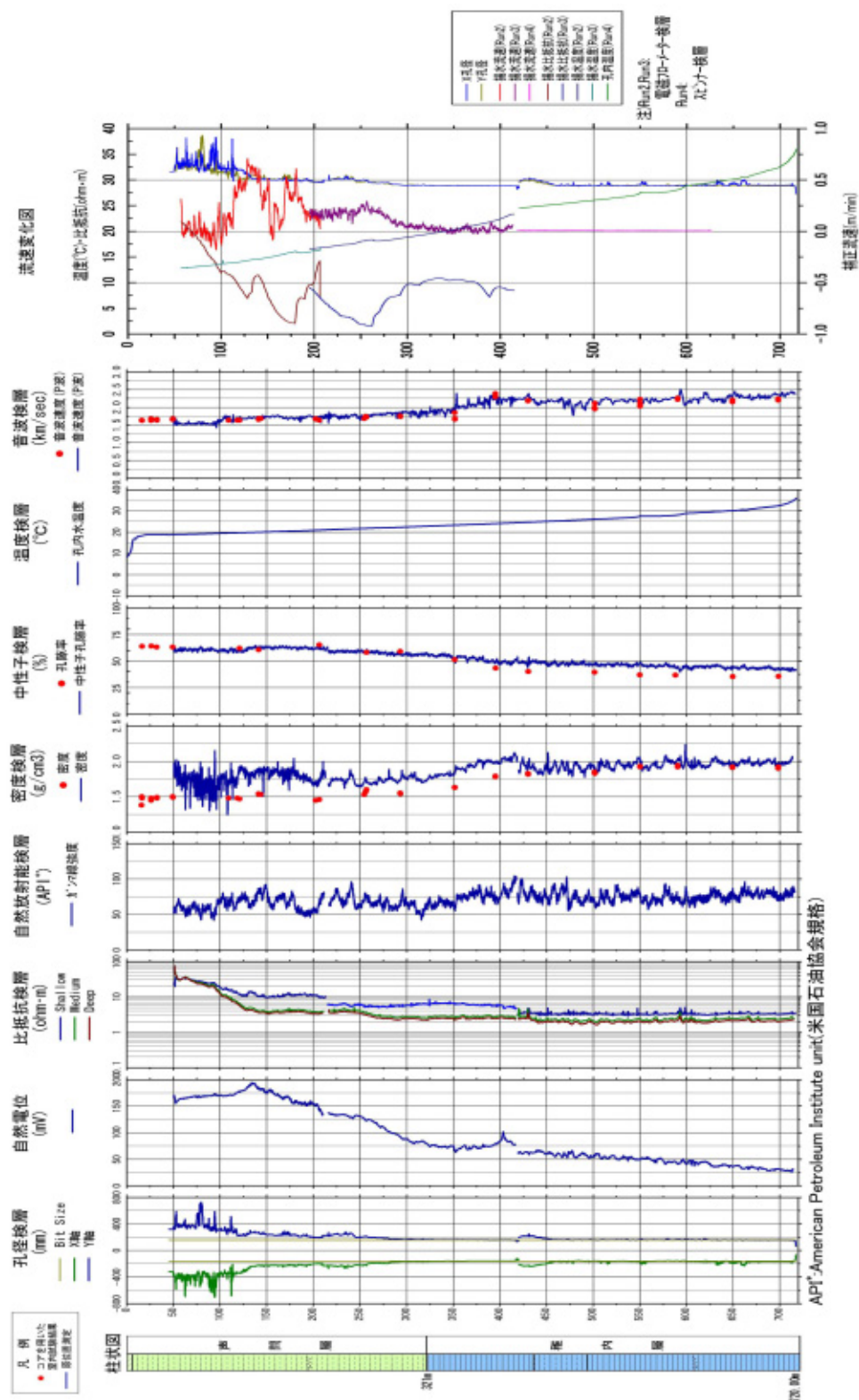


圖11 HDB-1孔物理檢層柱狀圖

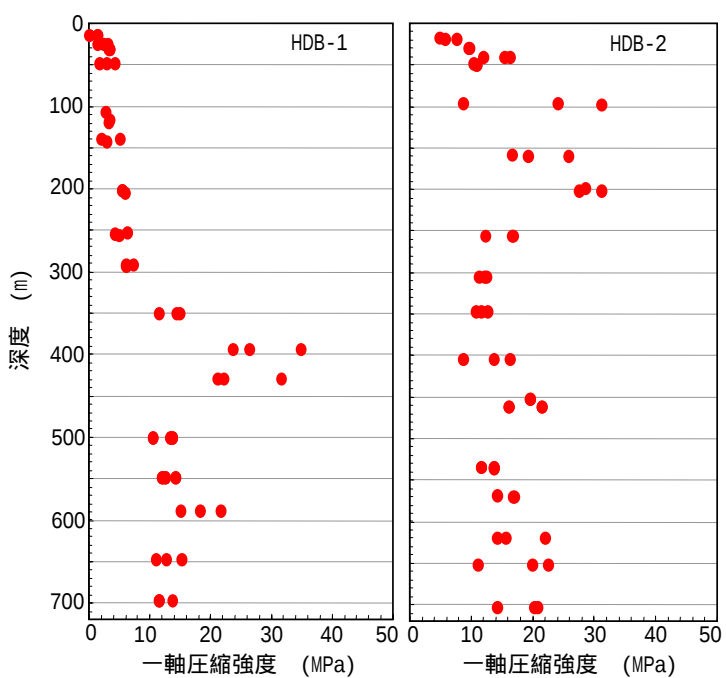


圖13 HDB-1,2孔一軸壓縮強度

表 2 水压破碎試驗結果

	水平面內最大主応力	水平面內最小主応力
HDB-1 (深度381.0m)	11.80(MPa) N86.9W(東西方向)	7.23(MPa) N3.1E(南北方向)
HDB-1 (深度585.0m)	12.70(MPa) N60W(東西方向)	10.30(MPa) N30E(南北方向)
HDB-2 (深度281.9m)	8.25(MPa) N29.6W(南北方向)	5.91(MPa) N60.4E(東西方向)
HDB-2 (深度585.0m)	11.00(MPa) N22E(南北方向)	8.00(MPa) N68W(東西方向)

表 3 水理試験結果

HDB-1

試験深度 (m)	透水係数(m/sec)	平衡水位 (GL+m)
370.00-395.00	2.5E-09	0.4 (下降傾向)
548.00-563.19	5.4E-10	19.69

HDB-2

試験深度 (m)	透水係数(m/sec)	平衡水位 (GL+m)
344.90-404.90	2.5E-09	41.9 (上昇傾向)
666.50-682.69	2.5E-11	115.90 (試験中最大値)
679.50-695.69	9.0E-12	114.30 (試験中最大値)

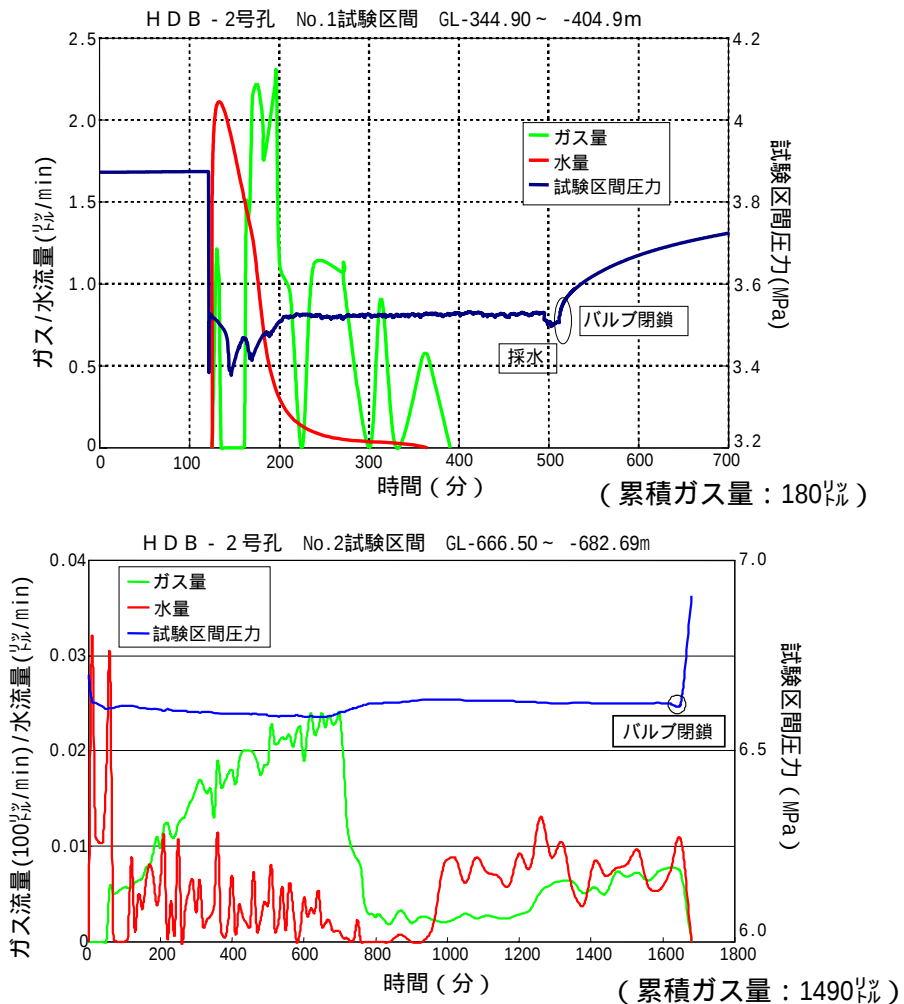


図14 水理試験時のガス/水流量計測結果(HDB-2孔)

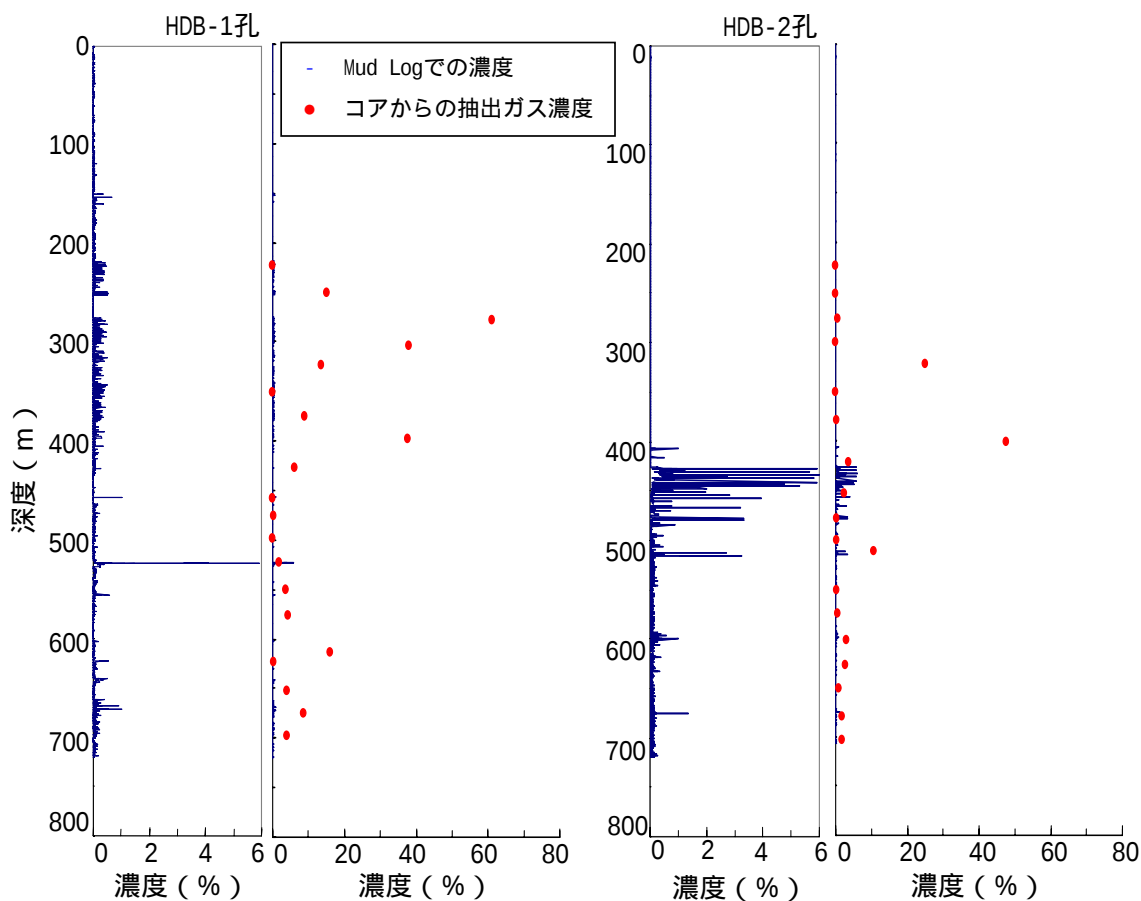


図15 掘削モニタリング(Mud Log)とコアからの抽出ガス濃度

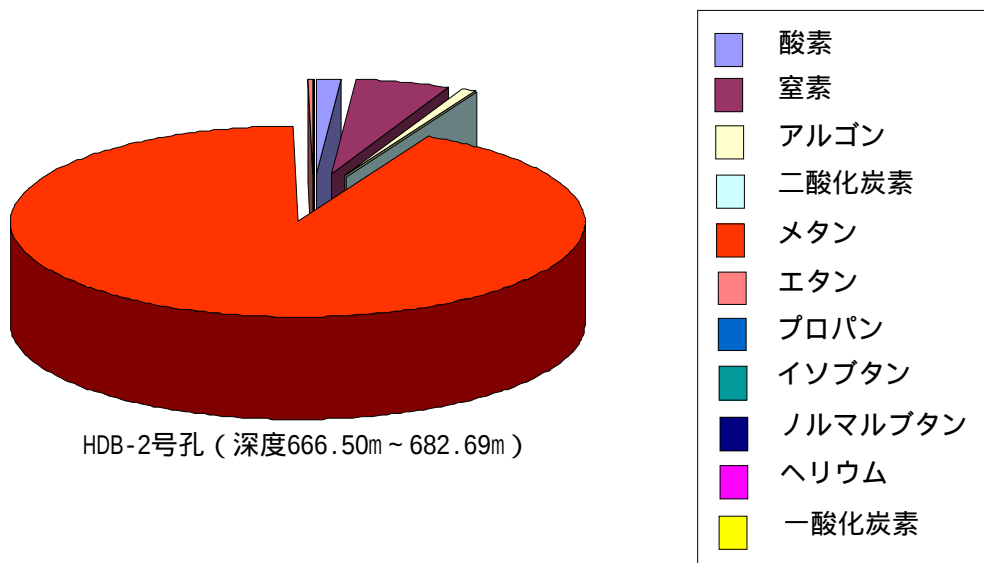


図16 水理試験時に採取したガスの分析結果

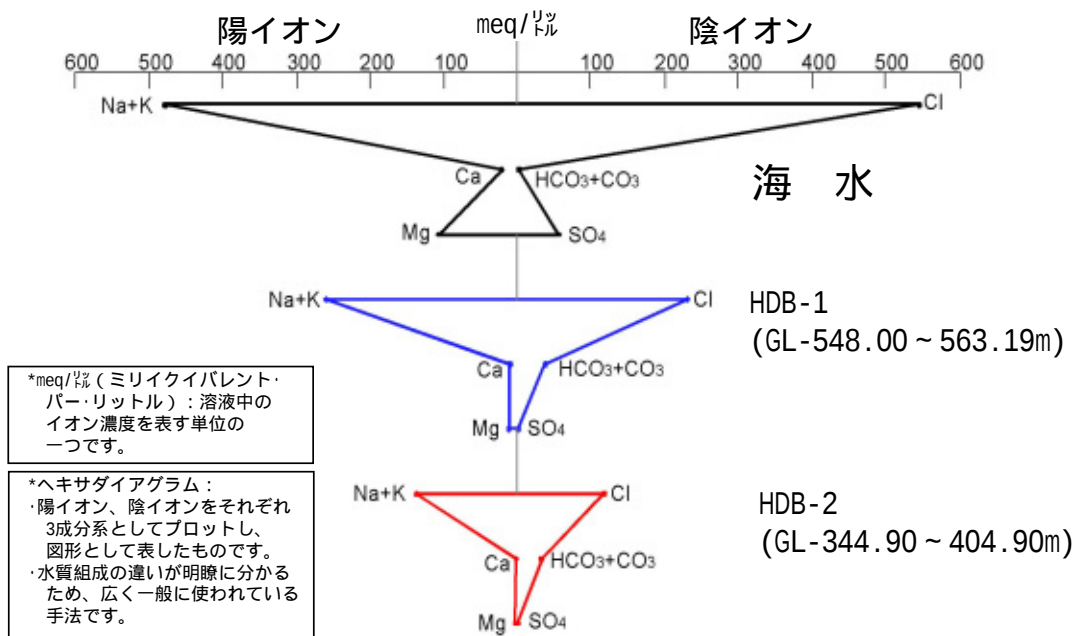


図17 地下水採水結果 (ヘキサダイアグラム*)

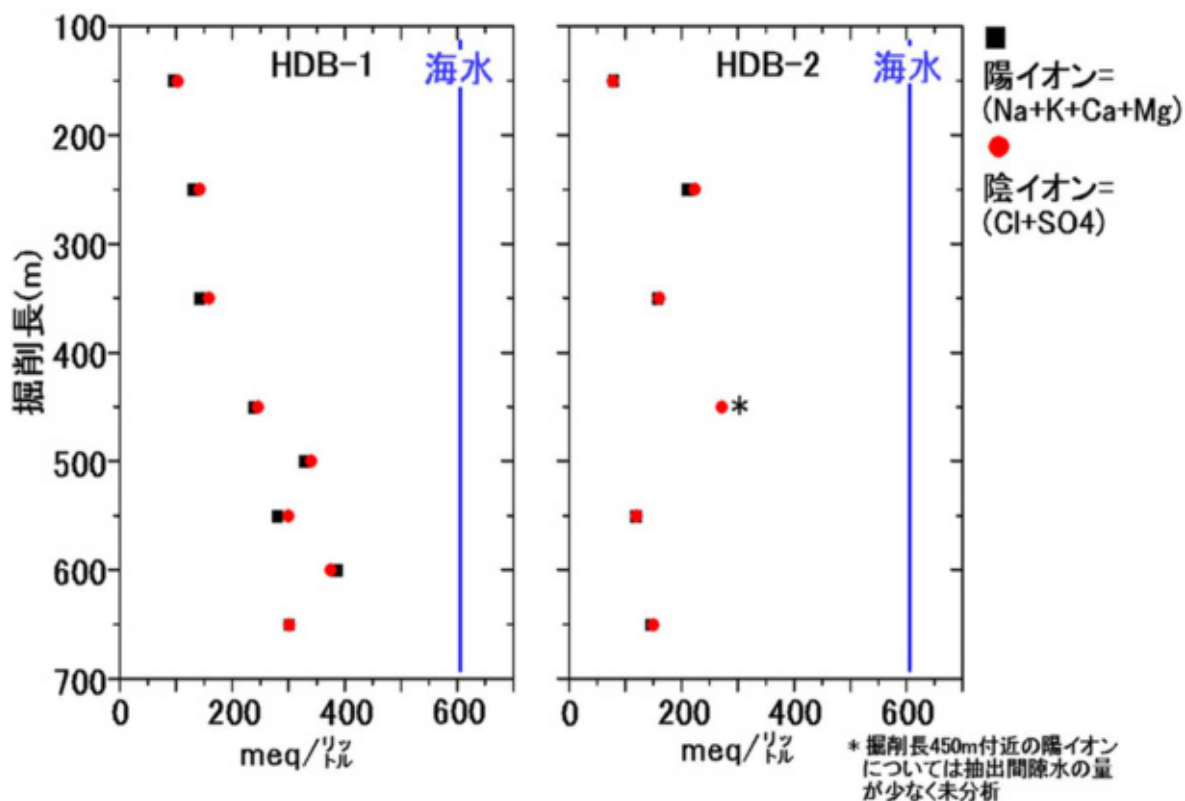


図18 コアからの抽出水の元素濃度

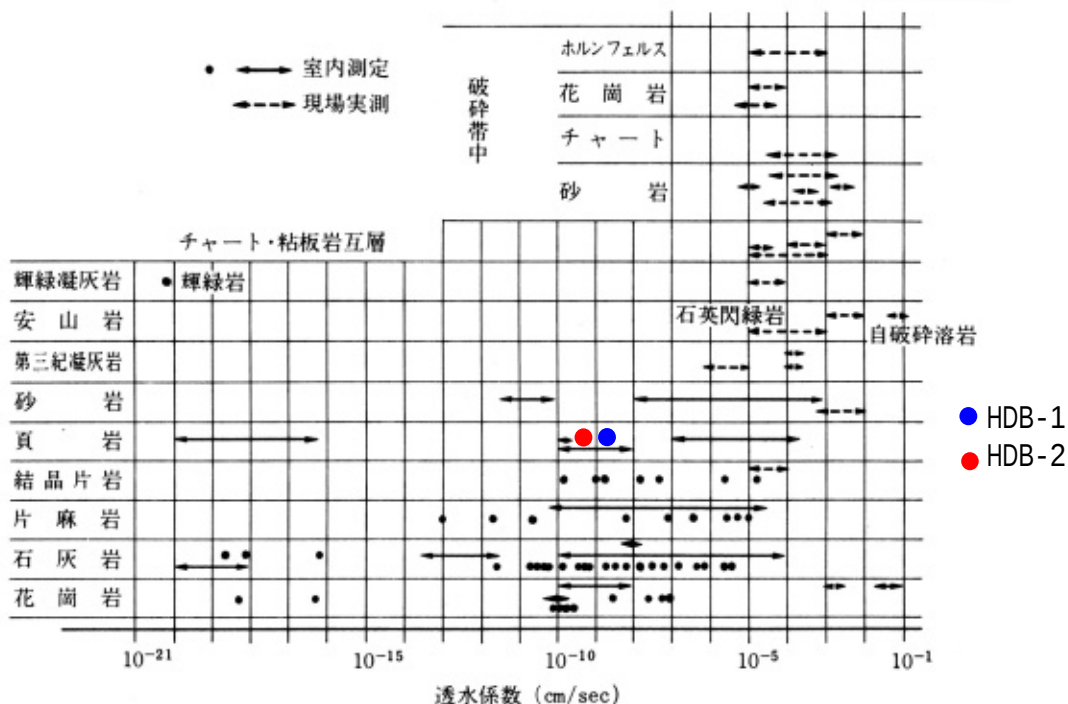


図19 いろいろな岩との透水係数の比較例
(地下水ハンドブック編集委員会, 1980に加筆)

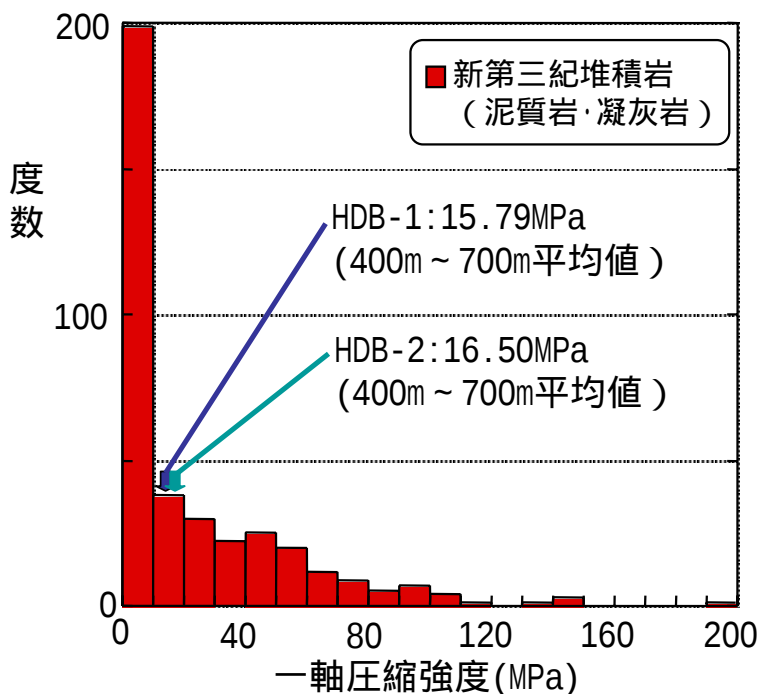


図20 国内の泥質岩・凝灰岩物性値との比較例
(第2次取りまとめ, 1999に加筆)

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

地質環境をモデル化するための基本となる地質構造モデルを検討し、コンピュータ上での可視化を行いました。地下水の水理モデルについては、解析領域の取り方が解析結果に与える影響などの検討を行いました。地下水の地球化学モデル、岩盤力学モデルについては、試錐調査により取得される各地質環境データを基に具体的なモデルを構築するための手法の検討¹²⁾を行いました。

また、調査により取得される各地質環境データを管理・運用するためのデータベースシステムの構築を継続しました。基本となるデータベースシステムは平成12年度に構築しており、平成13年度はデータベースシステムで取り扱えるデータの種類（例えば、地理情報システム(GIS)のフォーマット）を追加しました。

(1)地質構造モデル

サイクル機構がこれまでに取りまとめている地質分布や地質層序、断層などの地質構造に関する情報¹³⁾、幌延町内の地質分布や地質層序に関する情報^{14),15)}、既存の石油・天然ガス調査用井戸での地質分布に関する情報^{16),17)}、

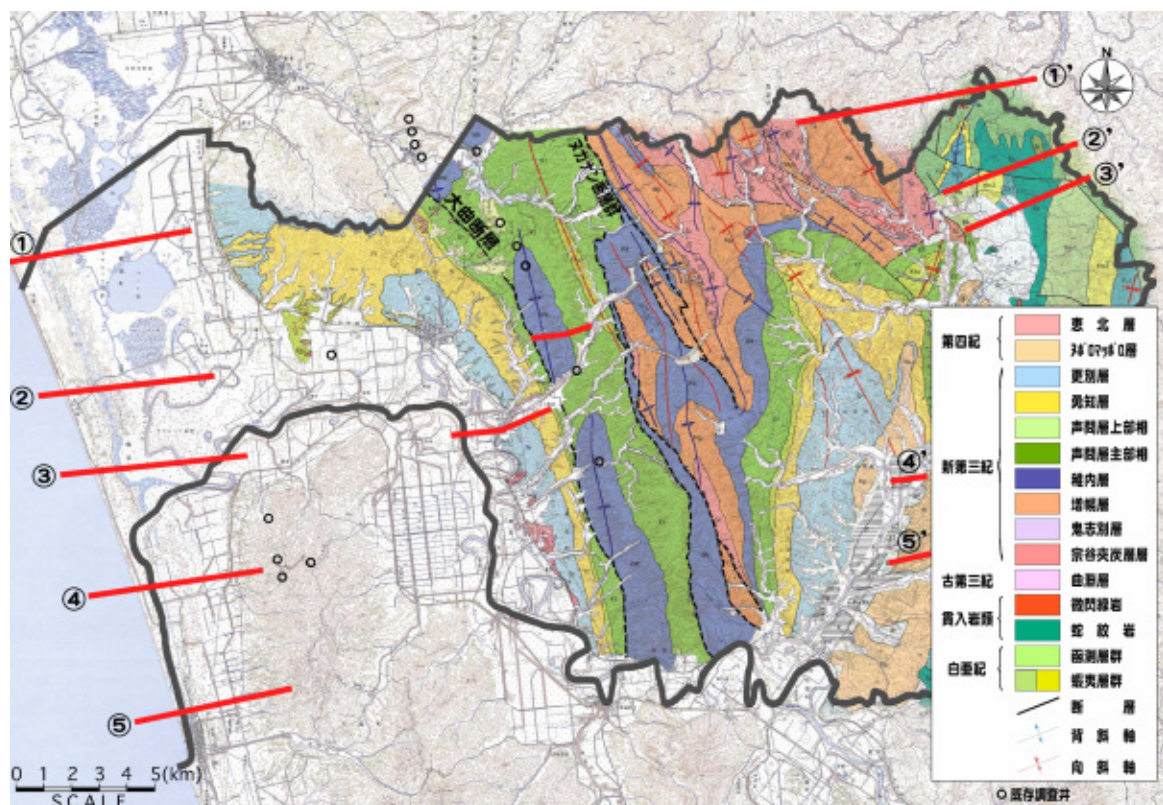


図 21 地表地質図

既存の弾性波探査結果による地下の地質分布、大曲断層の位置・傾斜に関する情報¹⁸⁾などを参考に、幌延町内の地質図（図 21）および深さ 5,000m までの地質断面図（図 22）を作成し、可視化を行いました（図 23）。

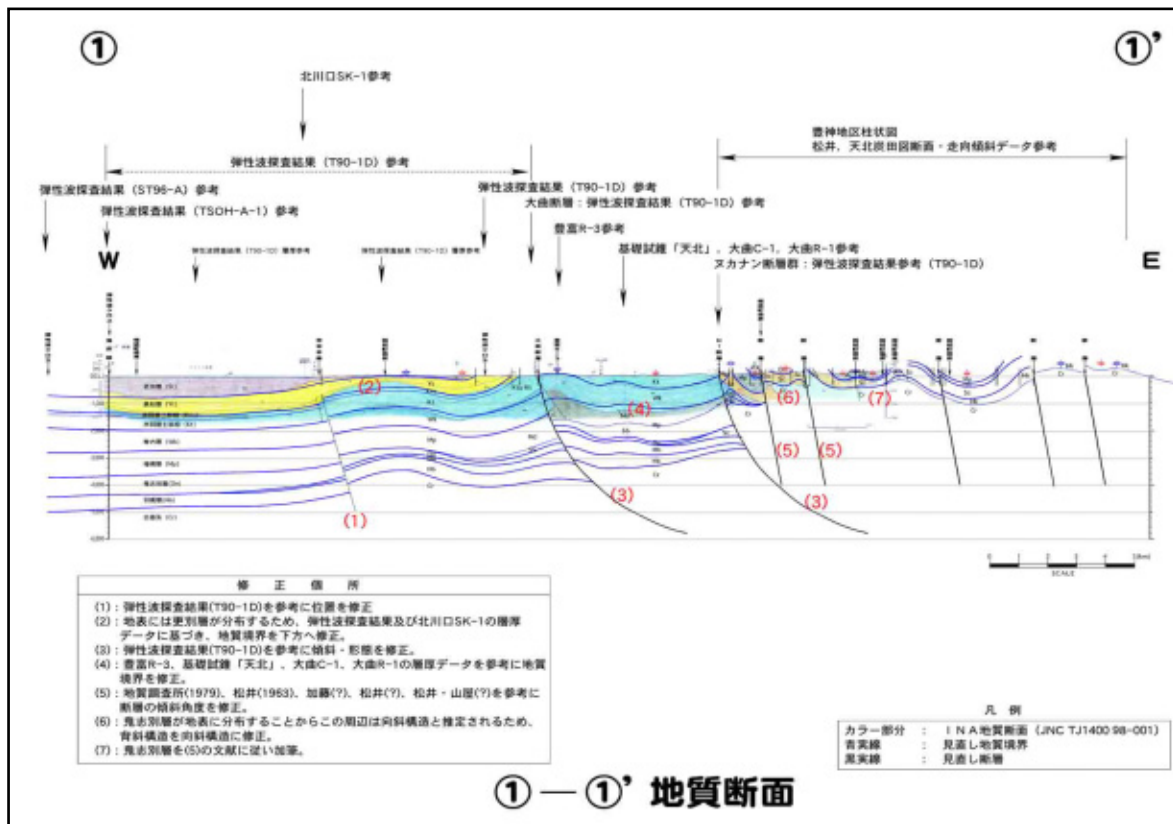


図 22 地質断面図

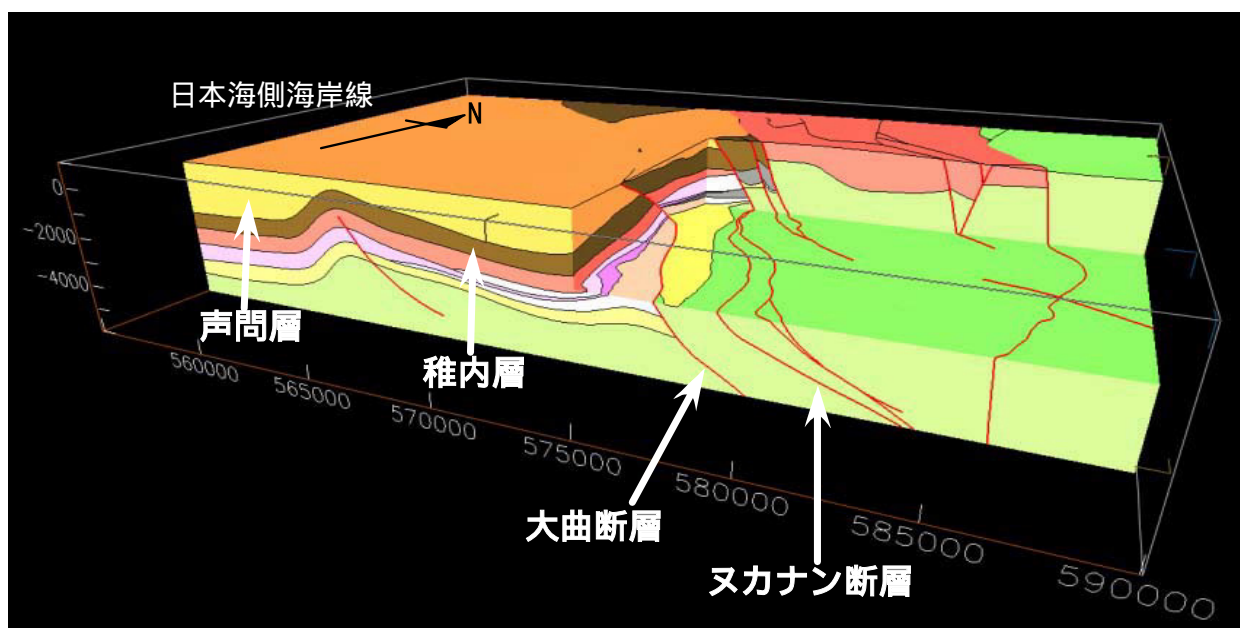


図 23 可視化した地質構造モデルの例

(2)地下水の水理モデル

平成13年度は、広域での地下水の流れ方の解析（以下、地下水流動解析）について、解析領域の違い（図24）や透水係数の違いが解析結果に与える影響などのケーススタディを実施しました。

図24に示すようなa, b, cの異なる領域を対象に解析を行い、解析領域の取り方で結果が異なることを確認しました。また、浅いところに分布する地層の透水係数の違いが、地下水の流れに大きな影響を与えることが分かりました。

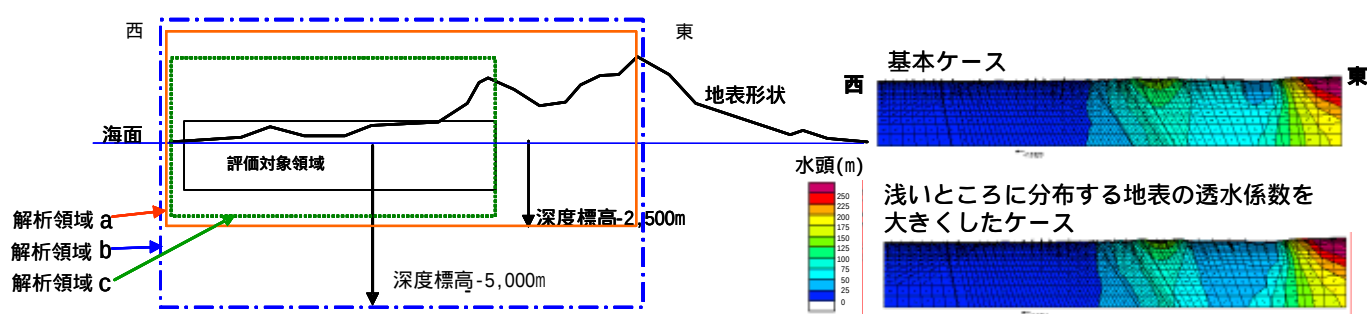


図24 境界位置が解析結果に与える影響と解析結果の例

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

試錐孔を掘削する際には、一般に孔壁の崩壊やガスなどの突出を防ぐ目的で泥材を用いた掘削が行われます。本試錐調査では、一般に使用されているベントナイト泥材で十分に孔壁を保護できることが分かりました。

また、泥材を混入した試錐掘削水の影響を地下水の採水時に判別するため、掘削水中に既知量の蛍光染料（ソディウムナフシオネイト：Sodium Naphthionate）を添加し、これを採水時に定期的に分析することで、地下水への掘削水の残留の程度を評価しました。図25は、HDB-1孔での採水に従って地下水サンプル中の蛍光染料の濃度と電気伝導度、溶存酸素の値が変化する様子を示しています。地下水を採水するに従い、掘削水の影響が小さくなっていく様子が分かります。

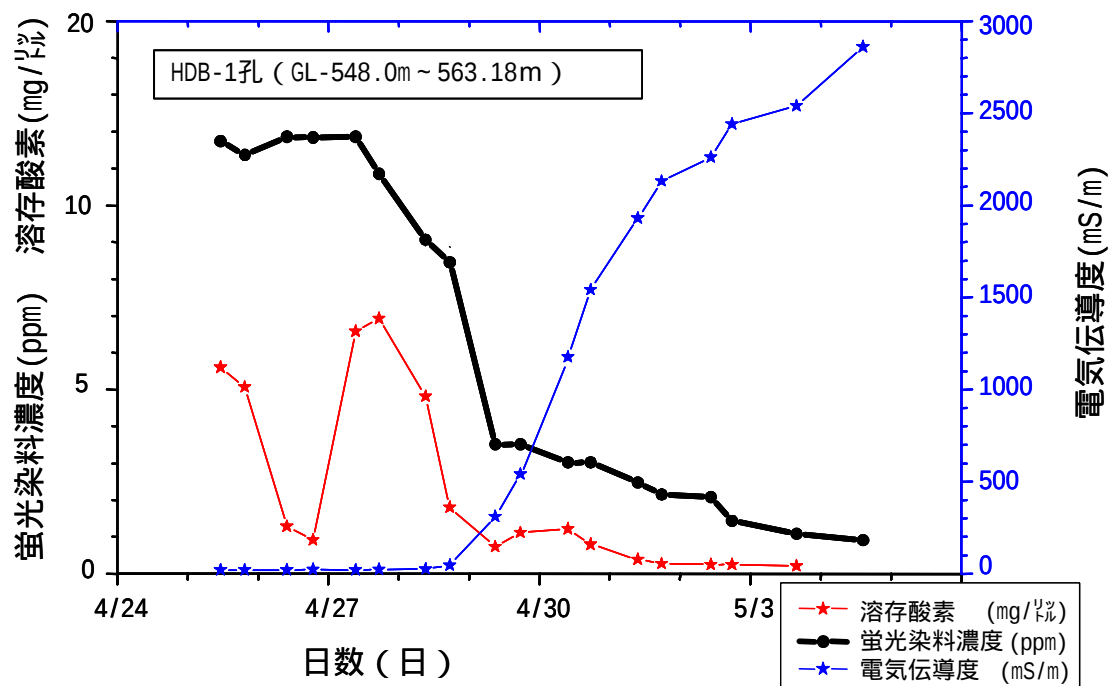


図 25 水理（揚水）試験時の蛍光染料などのモニタリング結果

(2) 試錐孔を用いた調査試験のための技術

これまでの調査結果¹⁹⁾から、幌延地域の地下水の特徴として塩水系地下水やガスの存在が示唆されていたことから、このような条件下で地層の水の通し易さに係わるデータの取得や、地下水の採水を実施するため、既存の水理試験装置について以下の改良を行いました（図 26）。

試験装置内での泥水などの目詰まりの低減および試験配管径の拡大

試験データの品質を確保するための圧力観測機能およびリアルタイムモニタリング機能の付加

ガス/水分離槽の追加とガス流量計測機能の付加

揚水試験中のガス/水採取機能の付加

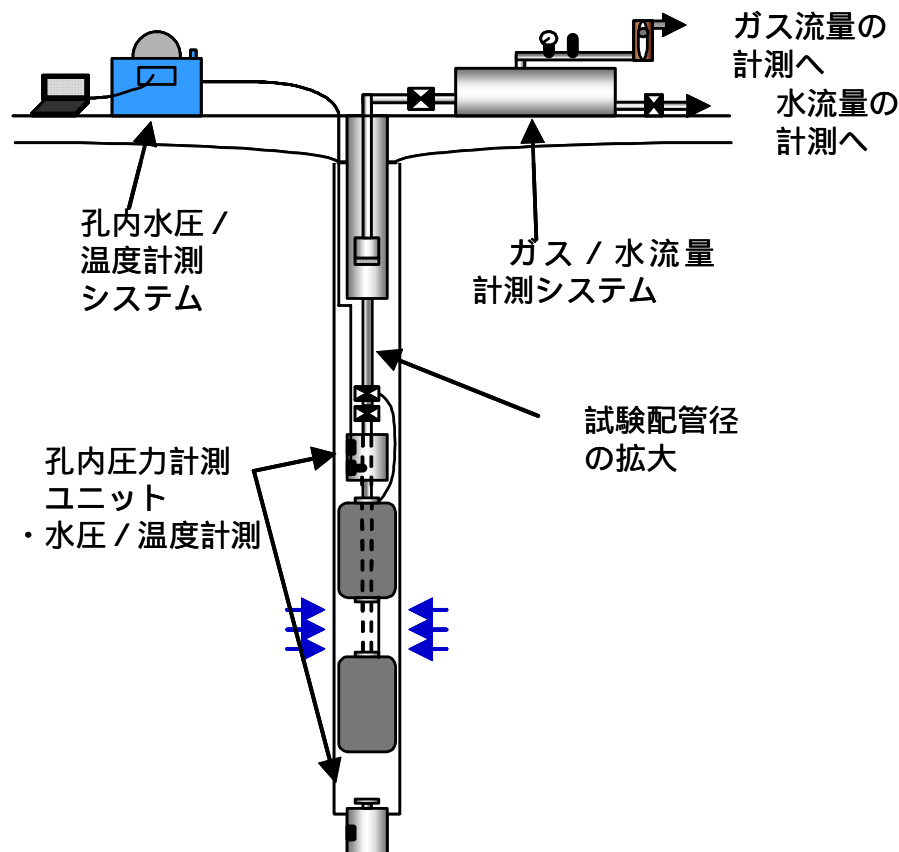


図 26 改良した水理試験装置の概念図

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

比較的軟らかい地層である堆積岩地域の試錐孔でのモニタリング方法を構築するため、海外で実施されている様々なモニタリング方法について、機器の材質、耐久性、測定項目などを調査しました。その結果、寒冷地でかつ石油やガスの存在する場所における、地下水の温度、圧力の測定、地下水の採水に適用できる機器があることを確認しました。今後は、これらのモニタリング機器について、更にメンテナンス、設置目的などを検討し、最適機種の選定や必要な改良を行った上で試錐孔へ設置していく予定です。

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常時観測する遠隔監視システムのうち、地震波及び電磁波用データロガー、地震計、磁力計などの受信システムの整備を行いました。

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検討しました。立坑案は立坑を2本とする案と3本とする案、スパイラル坑道案はスパイラル坑道＋立坑1本案、スパイラル坑道＋立坑2本案のレイアウトについて、地下施設の諸元、所要用地面積、施工性、防災対策、埋戻し作業、試験研究性、工期、工事費を検討しました（表4、図27）。検討にあたり試験坑道を展開する深さを、250mと500mに設定しました。

表4 地下施設レイアウト案および比較条件

立坑案		スパイラル坑道案		検討条件	主な検討概要
立坑2本案	立坑3本案	立坑1本案	立坑2本案		
・主立坑 ・換気立坑 ・試験坑道	・主立坑 ・副立坑 ・換気立坑 ・試験坑道	・スパイラル坑道 ・主立坑 ・試験坑道	・スパイラル坑道 ・主立坑 ・換気立坑 ・試験坑道	地下施設諸元	立坑・坑道延長計，掘削ズリ量
				所要用地面積	坑口部仮設備，ズリ仮置場
				施工性	掘削，換気，湧水，ガス，通行
				防災対策	通気，避難経路，手段
				埋戻し作業	施工性，工事費
				試験研究性	対象領域，情報量
				工期	建設期間
				工事費	建設費，設備工事費

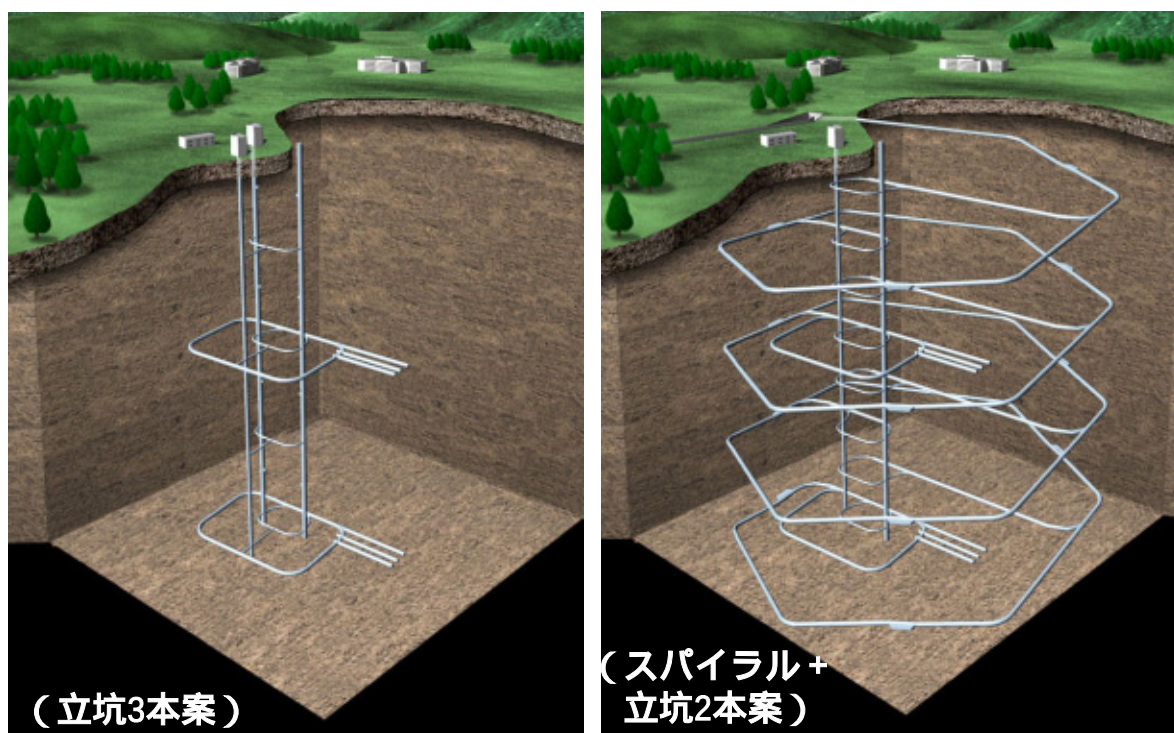


図27 地下施設レイアウトの比較検討

試錐調査で得られ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5)。なお、水平応力を求める上での側圧係数は1.0に仮定しました。

表5 解析用地盤物性値(HDB-1、2孔)

解析用地盤物性値（HDB - 1）										
物性	深度 (m)	単位体 積重量 (kN/m ³)	粘着 力 (MPa)	内 部 摩擦角 (度)	変形 係数 (MPa)	ポア ソン 比	一軸圧縮強度 (MPa)	初期地圧		側圧 係数 K _o
								δ v (MPa)	δ h (MPa)	
	0 ~ 50	15.0	1.1	20	600	0.40	3	0.00 ~ 0.75	0.00 ~ 0.75	1.00
	50 ~ 320	15.0	1.8	20	800	0.25	5	0.75 ~ 4.80	0.75 ~ 4.80	1.00
	320 ~ 500	18.0	4.3	30	2,000	0.20	15	4.80 ~ 8.04	4.80 ~ 8.04	1.00

解析用地盤物性値（HDB - 2）										
物性	深度 (m)	単位体 積重量 (kN/m ³)	粘着 力 (MPa)	内 部 摩擦角 (度)	変形 係数 (MPa)	ポア ソン 比	一軸圧縮強度 (MPa)	初期地圧		側圧 係数 K _o
								δ v (MPa)	δ h (MPa)	
	0 ~ 60	16.0	3.5	20	1,500	0.25	10	0.00 ~ 0.96	0.00 ~ 0.96	1.00
	60 ~ 250	18.0	8.0	25	3,500	0.25	25	0.96 ~ 4.38	0.96 ~ 4.38	1.00
	250 ~ 500	19.0	4.3	30	2,000	0.25	15	4.38 ~ 9.13	4.38 ~ 9.13	1.00

注1：粘着力はモール・クーロンの基準*1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。

*1：岩石の破壊・非破壊を示す基準の一つで、岩石にかかる力がこの基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。

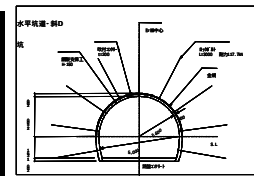
第2次取りまとめ²⁰⁾と同様に岡の理論解²¹⁾を用いて、表5に示す解析用地盤物性値に基づき、素掘り状態における空洞周辺地盤の安定性を評価しました。その結果、発生する壁面変位は、大部分が許容壁面変位の中央値以下であり、空洞の安定性が確保できることを確認しました。

支保のコンクリートにかかる力(吹付け応力/覆工応力)を理論解析手法により求めるため、支保パターンを設定し、支保のコンクリートにかかる力を求め、支保部材の安全性を検討しました。その結果、部分的に強度の大きい支保部材を用いることにより、コンクリートにかかる力がコンクリートの許容応力(σ_{ca})以下となることを確認しました(表6、7)。

なお、設定した支保パターンは、試験坑道およびスパイラル坑道については、吹付けコンクリートの厚さを、日本道路公団の基準²²⁾に準拠して10、15、20cmの3つのケースを設定しました。立坑については、標準的な支保パターンがないことから、施工性を考慮して一次覆工コンクリートの覆工厚を40cmに設定しました。

表6 支保に関する解析結果（水平坑道・斜坑）

地区	深度 (m)	物性	支保	吹付けコンクリート	水平坑・斜坑（φ5.0相当）
				σ_{ca} (MPa)	吹付け応力 (MPa)
B-1	50	B-1-	C	7	1.36
	80	B-1-	C	7	1.57
	170	B-1-	D	7	3.54
	320	B-1-	D	9	7.69
	470	B-1-	D	7	4.64
	500	B-1-	D	7	4.98
B-2	60	B-2-	C	7	0.73
	250	B-2-	C	7	1.50
	410	B-2-	D	7	4.76
	500	B-2-	D	7	5.90



水平坑道 / 斜坑断面図
(D 支保パターン)

・吹付厚(cm)

C : 10

D : 15

D : 20

表7 支保に関する解析結果（立坑）

地区	深度 (m)	物性	立坑 (φ6.5)		立坑 (φ5.0)	
			一次覆工コンクリート		一次覆工コンクリート	
			σ_{ca} (MPa)	覆工応力 (MPa)	σ_{ca} (MPa)	覆工応力 (MPa)
B-1	50	B-1-	7	1.34	7	0.99
	260	B-1-	7	6.13	7	4.65
	320	B-1-	9	8.50	7	6.08
	500	B-1-	9	8.44	7	6.02
B-2	60	B-2-	7	1.10	7	0.86
	250	B-2-	7	2.86	7	2.35
	450	B-2-	9	8.79	7	6.27
	500	B-2-	11	10.43	7	6.99

平成13年度の試錐調査で得られたデータなどに基づいて、地下施設のガス湧出量を「湧水量の設定による推定」、「影響範囲の設定による推定」、「数値解析手法」の3つの手法により検討し、その中で中間的な値を示す数値解析手法によるガス湧出量を採用しました（表8）。

表8 数値解析手法によるガス湧出量の算定結果

地下施設レイアウト	立坑案 ^{*1}	スパイラル坑道案 ^{*2}
ガス湧出量 (m ³ / min)	0.65	1.45

注：表中の数字はHDB-1,2孔の解析結果の平均値を採用し、建設期間中の施設全体へのガス湧出量の最大値です。

*1：立坑3本案、*2：スパイラル坑道＋立坑2本案

換気風量は、坑道内に可燃性ガスの滞留が起きないように設定する風速限界^{*4}、前述の数値解析から算出したガス湧出量に対し、これを十分希釈する

風量^{*5} および、掘削などに伴い発生する粉塵の濃度に対しこれを十分希釈する風量^{*6} について検討しました。その結果、風速限界に必要な風量が最大となり、これに対応できる換気設備を備えることにより、ガスの発生および粉塵の発生に対して十分な換気量が確保されることが分かりました（表 9）。

表 9 各坑道の必要換気風量の算出結果

坑道名称	風速限界に対し 必要な風量 (m ³ /min)	ガス湧出量に対し 必要な風量 (m ³ /min)		粉塵濃度に対し 必要な風量 (m ³ /min)
		立坑案	ｽﾊﾟｲﾙ坑道案	
主立坑・副立坑	995	45	38	283
換気立坑	589	36	38	283
試験坑道	554	46	39	283
ｽﾊﾟｲﾙ坑道	554	—	275	283

^{*4}：「ずい道工事等における換気技術指針^{2 3)}」に示されている坑内風速 0.5m/sec を確保できる風量を検討しています。

^{*5}：坑内ガス管理濃度 0.25% 以下(ずい道工事等における換気技術指針^{2 3)})で推奨する基準値を用いました。

^{*6}：「ずい道等建設工事における粉塵対策に関するガイドライン^{2 4)}」(平成 13 年 3 月、厚生労働省)に示されている粉塵濃度 3mg/m³ 以下を満足する風量を検討しました。

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

北海道北部地域で発生した地震活動の特徴について取りまとめを行いました。1996 年 10 月～2001 年 5 月までの北海道大学の観測データから決定された地震の震源分布によると、深さ 20km 以深での地震は幌延町を含む北海道北部地域では東経約 142 度に沿って分布しており、当該地域の震源分布域は負の重力異常域（密度の低い物質が分布しているか、周囲よりも基盤岩が深い場合などが考えられます）にほぼ一致するという特徴を示しています（図 28）。

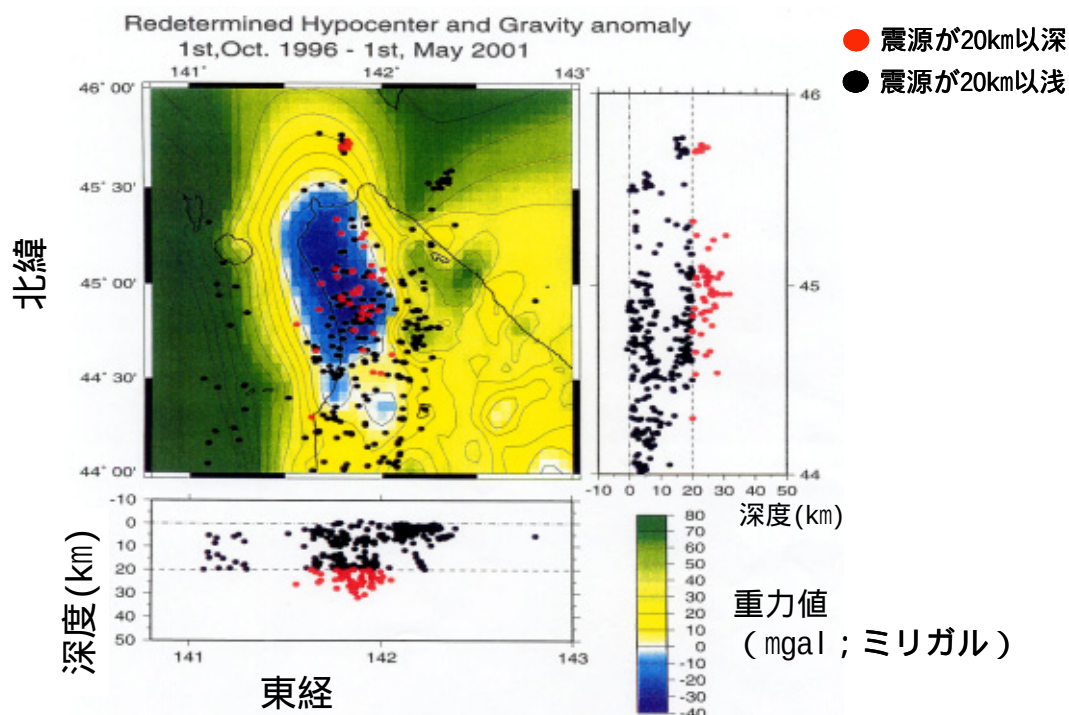


図 28 北海道北部の震源分布と重力異常図

また、平成 14 年度に設置予定の試錐孔内設置型および地上設置型の地震観測機器の検討を行いました。

4.4.2 天然現象の研究

北海道北部における最近の地殻変動や海成段丘の隆起速度について取りまとめを行いました。

国土地理院の GPS (Global Positioning System ; 汎地球測位システム) 地殻変動観測網のデータから、北海道全体は大まかには北西-南東方向の圧縮場にあり、北海道北部の幌延町周辺での一年間の地殻歪みが 10^{-7} 程度と北海道の中では小さい地域であることが分かりました (図 29)。

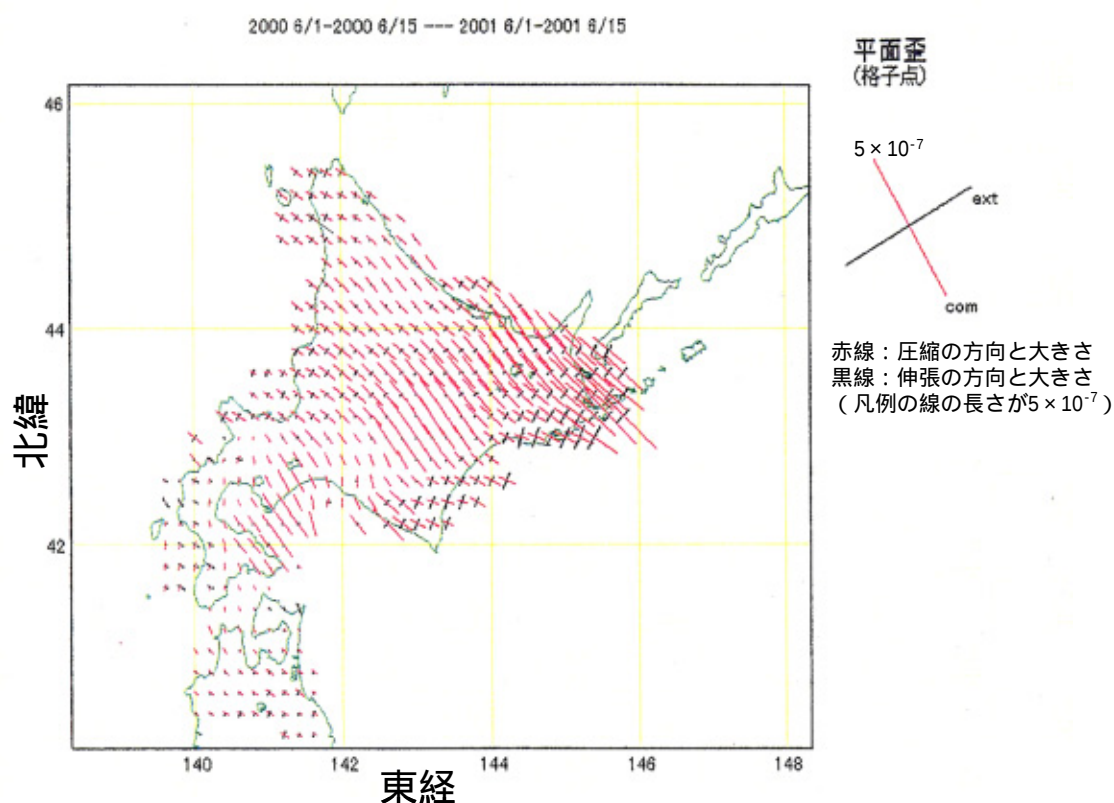


図 29 最近 1 年間の北海道地方の水平地殻歪

また、北海道北部地域の沿岸部には、約 10 万年前～約 30 万年前に形成された海成段丘が分布²⁵⁾しており、抜海、沼川、豊富、雄信内、遠別、初山別の 6 地域の海成段丘は $0.3 \sim 0.5\text{mm/年}$ 程度の隆起速度を持つことが推定されました (図 30)。

その他、平成 14 年度に地殻の歪などの観測を行うための GPS 観測機器、地下数 km～20km での地殻変動に伴う地下の電磁気的な性質 (電気抵抗など) の変化を捉えるための電磁探査機器の検討を行いました。

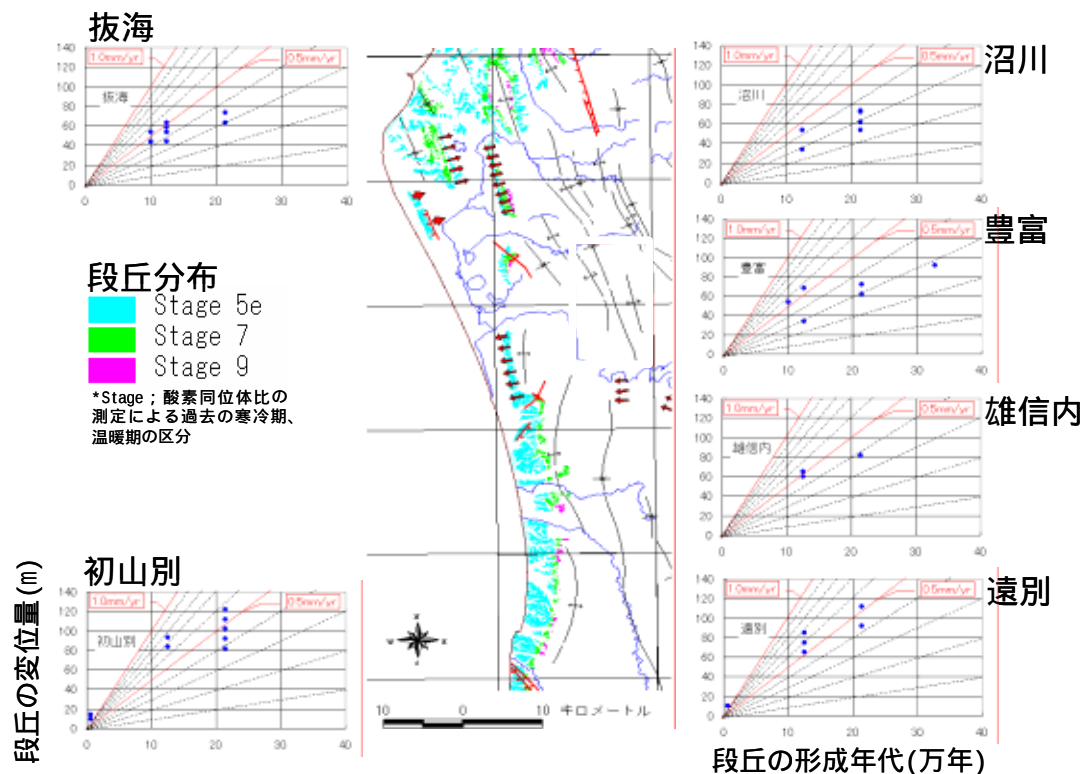


図 30 海成段丘の分布と隆起速度

5. 地層処分研究開発

5.1 人工バリア等の工学技術の検証

幌延における人工バリアの遠隔搬送・定置技術開発に資するために、地層処分場に類似した環境で同様な技術を用いていると考えられる海外の施設（表 10）を対象として遠隔操作技術の調査を行い、得られた情報を地層処分研究開発への応用の観点から分析・評価しました。

カナダのウラン鉱山は、非常に高品位であることから、当初広い範囲での遠隔操作技術の適用を想定していましたが、岩盤による放射線の遮蔽効果や通気（送風）などを利用して遠隔操作の範囲を絞り、簡単で確実なシステムを適用していることが分かりました（図 31）。ドイツの炭鉱では、コスト削減と厳しい採掘条件を勘案して、全長 300m もの掘削システムを自動化し遠隔操作する技術を実現していることを確認しました。カナダ、ドイツの例ともに運用面での遠隔化のレベルは低く、遠隔操作技術として地層処分における人工バリアの定置装置に直接反映可能な装置は確認できませんでした。

表 10 遠隔操作技術の調査対象とした海外の鉱山

調査対象	マッカーサーリバー鉱山	ヴァルサム炭鉱
国名	カナダ	ドイツ
場所	サスカツーンの 北620km	デュッセルドルフの 北20km
鉱石	高品位ウラン鉱石 (U_3O_8 が平均21%)	石炭
深度	500～600m	800m以深

しかし、安全確保のために換気を有効に利用していること、地上からの制御にも対応できる情報収集・管理のシステムを構築していることは地層処分場の設備設計に反映可能であり、幌延の地下施設で行う地層処分研究開発においても参考としていきます。



図 31 カナダのウラン鉱山での鉱石運搬装置の遠隔操作
(左；遠隔操作状況、右；遠隔操作される鉱石運搬装置)

第2次取りまとめで示された人工バリアの遠隔定置概念に基づく緩衝材の施工技術では、緩衝材（ベントナイト）ブロックを定置した際にブロック間に隙間が生じることが予想されます。この隙間は、人工バリア定置初期に地下水や坑道内に残留している酸素の選択的通路となって、オーバーパックの腐食に影響を与える可能性があります。本研究では、隙間の有無、隙間の大きさ、緩衝材に浸潤する水の性質の違いがオーバーパックの腐食へ与える影響を確認するために、室内試験を行いました（図 32）。

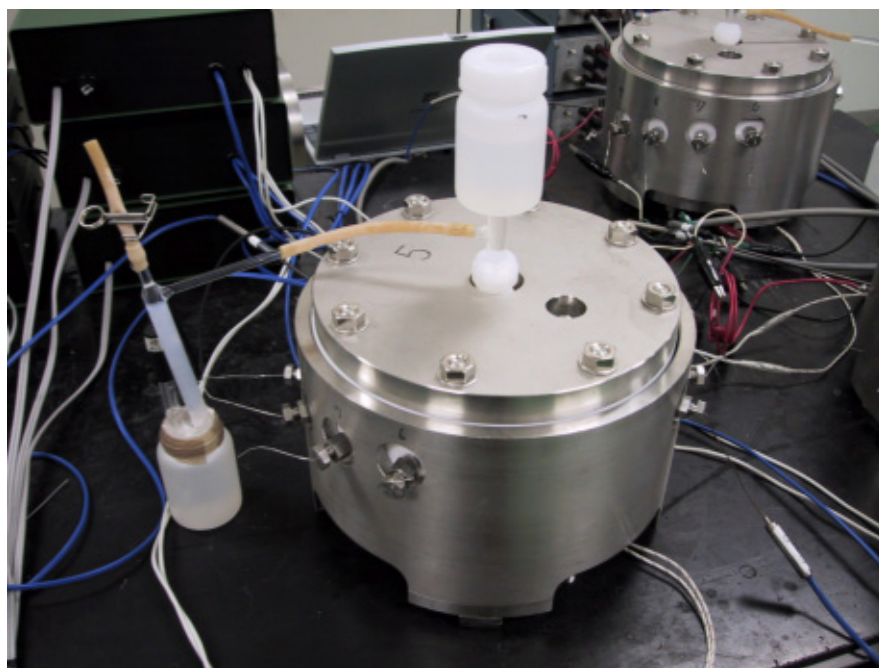


図 32 室内試験装置外観

隙間の有無の影響を調べるための試験は、炭素鋼試験片の上に、5, 10mmの隙間（緩衝材ブロックの隙間を模擬している）を付与したベントナイトと隙間を付与しないベントナイトを配置し（図 33）、ベントナイト上部より水（人工海水）を浸潤させて行いました。その際、ベントナイトの膨潤による隙間の閉塞を防ぐために、フィルターをはさんだベントナイトと、フィルターをはさまないベントナイトによる試験を行いました。

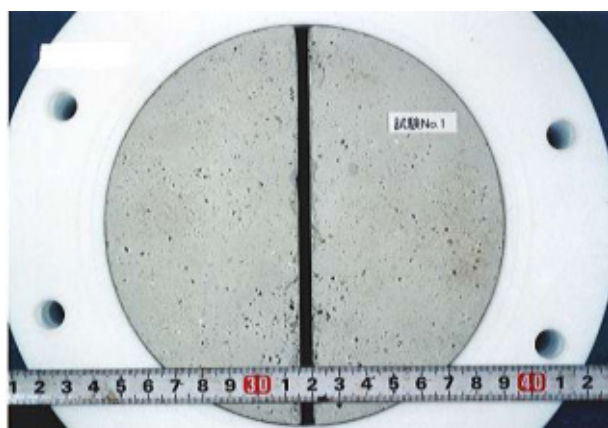


図 33 試験前（スリット幅 5mm）

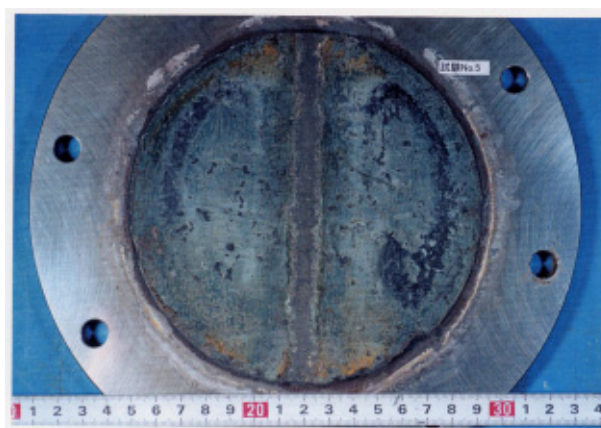


図 34 ベントナイト除去後

（スリット幅 10mm、人工海水浸潤 60 日後）

その結果、炭素鋼試験片は隙間の有無、大きさ、フィルターの有無によらず、隙間近傍のベントナイトとの接触部分で比較的深い腐食が生じましたが、隙間部分では腐食は生じませんでした（図 34）。

緩衝材に浸潤する水の性質の違いがオーバーパックの腐食に与える影響を調べるための試験は、人工海水、セメント（普通セメント、低アルカリ性セメント）と人工海水との平衡液および NaHCO_3 溶液について行いました。

その結果、人工海水の試験（150 日間）において、隙間部近傍に局部腐食が散見されました。しかし、腐食速度を測定した結果、各溶液について腐食速度の大きな変化は確認されませんでした（表 11）。また、腐食挙動についても、各溶液とも人工海水（60 日間）と同様の腐食挙動を示しました（図 34）。

表 11 腐食速度測定結果

試験溶液	試験期間 (日)	緩衝材の すき間幅 (mm)	平均腐食速度(mm/year)		備考
			測定結果	平均	
人工海水	150	5	0.037	0.039	すき間部近傍に局部腐食が散見
			0.041		
人工海水	60	10	0.073	0.077	
			0.081		
普通セメント +人工海水(pH13.2)	60	5	0.030	0.035	
			0.040		
低アルカリ性セメント +人工海水(pH11.9)	60	5	0.055	0.060	
			0.065		
0.1mol/L NaHCO_3	60	5	0.044	0.047	
			0.049		

5.2 地層処分場の詳細設計手法の開発

幌延における地下施設の建設の際に使用することも検討している低アルカリ性コンクリートについて、低アルカリ性の発現性能、施工性、強度、物理的性能などを確認するために、室内や屋外において試験を行いました。

低アルカリ性を早期に発現する配合を検討するため、普通ポルトランドセメント（OPC）、シリカフューム（SF）^{*7}、フライアッシュ（FA）^{*8}の配合率を変え、浸漬試験を行いました。その結果、表 12 のケース 1、ケース 2 の配合率で早期に低アルカリ性（pH：10.5）が得られました（図 35）。また、モルタルの流動性を調べるための試験（フロー試験；JIS R 5201）の結果、ケース 2 が最も高い流動性を示しました。以上の結果に基づき、屋外吹付け試験や吹付け試験後のサンプルを用いた室内試験には、ケース 2（配合率 OPC:SF:FA = 20:20:60）のセメントを用いました。

^{*7}: SiO_2 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。

^{*8}: 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塵機で集じんすることにより得られます。

表 12 低アルカリ性セメントの配合率

試験ケース	配合割合 (wt%)		
	OPC	SF	FA
基本	40	20	40
1	25	25	50
2	20	20	60

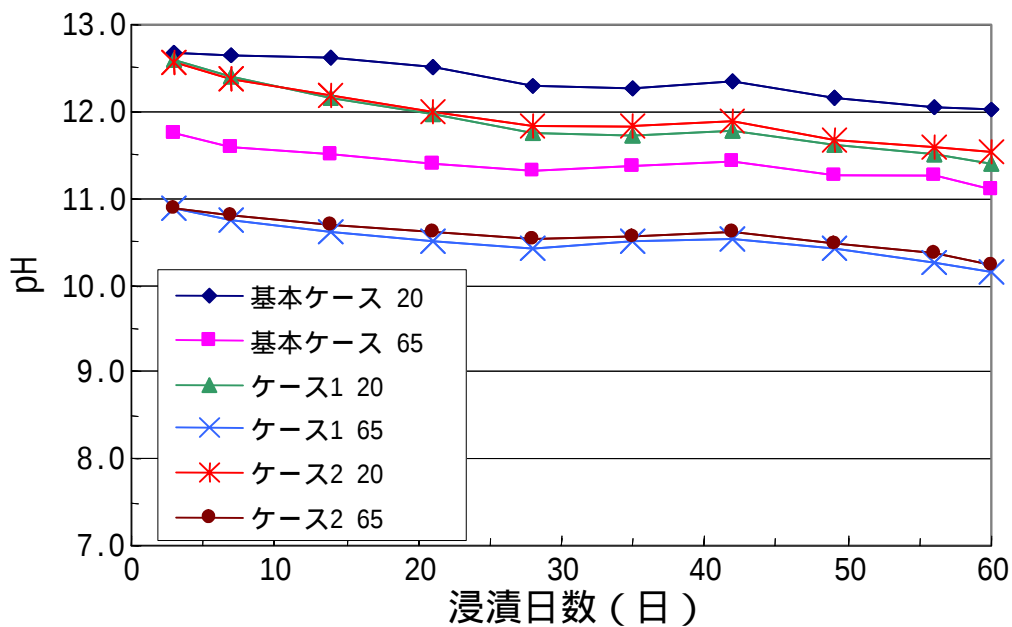


図 35 低アルカリ性セメント浸漬水の pH 低下速度

低アルカリ性セメントの施工性の確認のため、通常吹付け施工に用いられるコンクリートと低アルカリ性コンクリート（吹付け施工の実績はない）を用いて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（図 36）。その結果、低アルカリ性コンクリートは通常のコンクリートと比較して、施工性などにおいて遜色ない性能を示し、吹付け施工が可能であることが分かりました。吹付け試験後にはサンプルを採取し、その強度発現性に関する試



図 36 模擬トンネルでの吹付け試験状況

験を行った結果、低アルカリ性コンクリートは通常のコンクリートに比較して圧縮強度の発現が遅いため、施工工期などへの影響を考慮する必要があることが分かりました（図 37）。

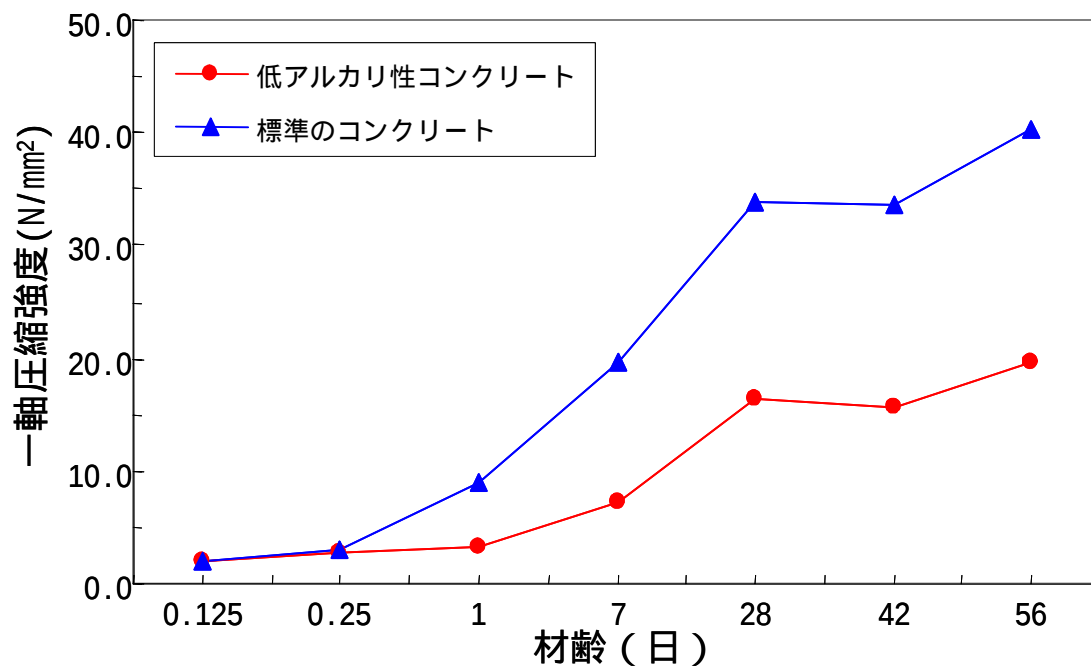


図 37 吹付けコンクリートの圧縮強度試験結果

以上の結果、低アルカリ性コンクリートは、pH : 10.5 程度の低アルカリ性を維持でき、吹付け施工が可能であることが確認されました。今後は、強度発現が遅いことに関する検討を行う予定です。

5.3 安全評価手法の信頼性向上

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、調査から得られるデータを安全評価のモデルの入力パラメータとして利用する際の留意点や課題の整理を開始しました。

6 . 環境調査・地上施設

6.1 環境調査

平成12年度の文献調査、聞き取り調査に引き続き、希少動植物の生態や、地下水の利用状況などを調査しました。

研究所設置対象区域（A区域、B1区域、B2区域、C区域）を中心に調査を計画し、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・町有地などを除く地域において調査を行いました（図38）。

調査の実施時期、調査方法を表13に示します。

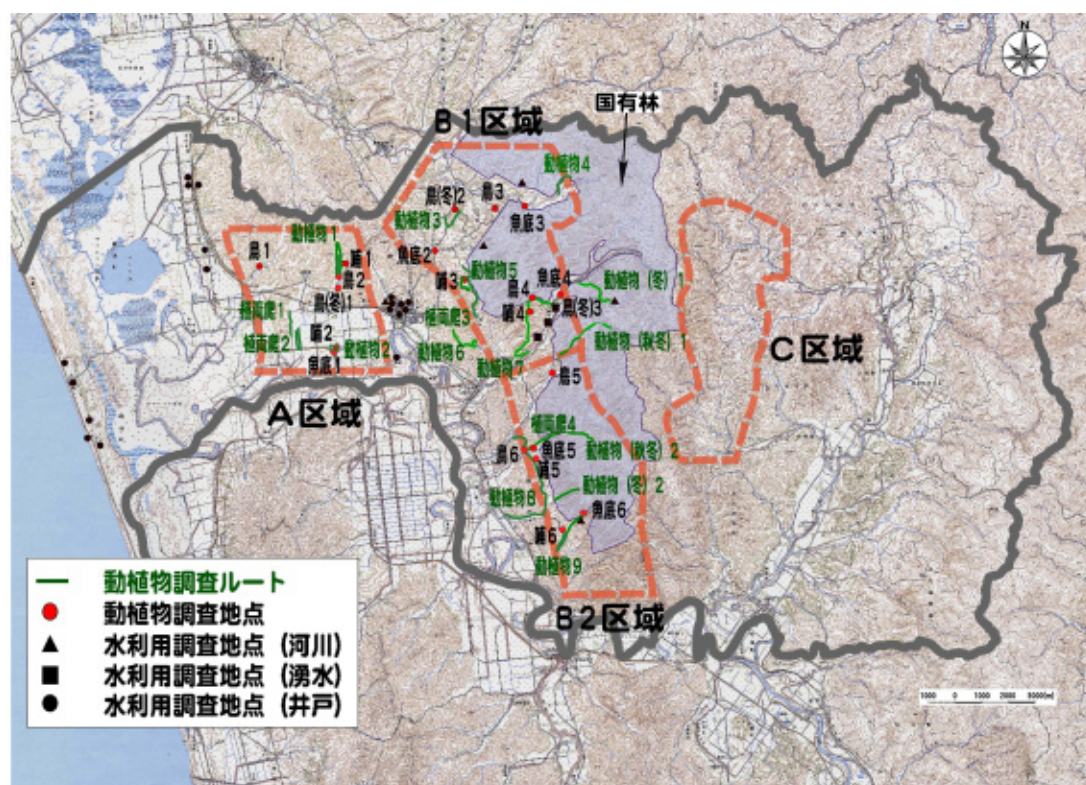


図 38 環境調査位置図

動植物調査の結果では、重要な動物種として 36 種（哺乳類 4 種、鳥類 13 種、両生・爬虫類 1 種、魚類 6 種、昆虫類 5 種、底生動物 5 種、植物 2 種）を確認しました（表 14）。なお、文献情報^{26), 27)}では重要種としての記載はあ

っても生息・生育地が特定できないものは表に記載していません。重要種の確認状況は、A 区域 17 種、B1 区域 16 種、B2 区域 17 種とほぼ同様の出現種数を示しています。A 区域は止水域に生息する底生動物の割合が高く、ため池の魚類などを餌とする猛禽類や旅鳥であるマガン、ヒシクイなどが主体となっています。

表 13 環境調査実施内容

調査項目		調査時期	調査方法
植物動物	植物相	<夏季>H13/ 7/16 ~ 19 <秋季>H13/ 9/ 3 ~ 6	・直接観察法
	哺乳類	<夏季>H13/ 7/16 ~ 19 <秋季>H13/10/ 1 ~ 3 H13/10/24 ~ 25	・フィルト・サイン法 ・捕獲調査法
	鳥類	<夏季>H13/ 7/16 ~ 19 <秋季>H13/10/ 1 ~ 4 H13/10/24 ~ 25 <冬季>H13/ 2/ 4 ~ 7	・直接観察法 ・皿巢・大径木調査 ・採餌木・営巣木調査 ・定点観察法 ・夜間定点法
	両生・は虫類	<夏季>H13/ 7/16 ~ 18	・直接観察法
	魚類	<夏季>H13/ 7/16 ~ 18 <秋季>H13/10/ 1 ~ 3	・直接観察・採取法
	昆虫類	<夏季>H13/ 7/16 ~ 18	・直接観察・採取法
	底生動物	<夏季>H13/ 7/16 ~ 18 <秋季>H13/10/ 1 ~ 3	・直接観察・採取法
	河川水,井戸	<夏季>H13/ 7/23 ~ 27 <秋季>H13/10/22 ~ 24	・聞き取り調査 ・河川流量・水位測定 ・井戸水位・流量測定

また、B1、B2 区域では、ヤマメ、ハナカジカなどの小河川に生息する魚類のほか、エゾライチョウ、オオアカゲラなどの留鳥、エゾサンショウウオ、ムクゲネズミなどの山地に生息する重要種が確認されました。

幌延町の水利用に関する特徴として、海側の地区（下沼、浜里、字幌延、市街地）では公共水源、個人、事業所ともに地下水が利用されており、一方、山側の地区（北進、上幌延、開進、雄興、問寒別、中間寒、上問寒）では表流水を公共水源に利用しており、幌延町からの聞き取りによると雄興、問寒別、中間寒、上問寒地区での井戸の利用はありませんでした。

表 14 希少種確認件数

(1) 確認件数		選定基準												
区分 コード	区分	種名	渡り区分								A地区 幌延	B1地区 北進～上幌延	B2地区 開進	確認件数 合計
1	1哺乳類	イザ科の一種					DD					1	2	3
2	1哺乳類	コササギの一種1										1	3	4
3	1哺乳類	コササギの一種2										1		1
4	1哺乳類	ムササビ					NT	R				1	1	2
5	2鳥類	エゾライチョウ	留鳥				DD	R					2	2
6	2鳥類	オオアカゲラ	留鳥					N					2	2
7	2鳥類	オオジシギ	夏鳥				NT	R				2		2
8	2鳥類	オオタカ	留鳥一部夏鳥		内		VU	Vu		1				1
9	2鳥類	オオワシ	冬鳥	天	内		VU	En					1	1
10	2鳥類	オシロワシ	冬鳥一部繁殖	天	内		EN	En		2			1	3
11	2鳥類	チュウヒ	夏鳥				VU	En		1		1		2
12	2鳥類	ハイタカ	留鳥				NT	Vu			1	1		2
13	2鳥類	ハチクマ	夏鳥				NT	R			2			2
14	2鳥類	ヒシクイ	旅鳥	天			NT	R		2				2
15	2鳥類	マガン	旅鳥	天			NT	R		1				1
16	2鳥類	ミサゴ	夏鳥				NT	Vu		1				1
17	2鳥類	ヨタカ	夏鳥					R					2	2
18	3両生は虫類	エゾサンショウウオ						N				1	2	3
19	4魚類	エゾウグイ						N		1	1	2		4
20	4魚類	エゾトモ					NT			3	2	1		6
21	4魚類	エゾホトケドジョウ					VU	R		1		1		2
22	4魚類	スナヤツメ					VU					1		1
23	4魚類	ハナカサガ						N			6	3		9
24	4魚類	ヤマメ(サケマス)						減			2			2
25	5昆虫類	エゾアカネ						R		1				1
26	5昆虫類	クマタラシキリ					NT	N		1				1
27	5昆虫類	ジョウザンナガハナブ						R					1	1
28	5昆虫類	ミスズメ						R					1	1
29	5昆虫類	ミソハギハムシ						R			1			1
30	6底生動物	オコイロムシ						R		1				1
31	6底生動物	カワシジギイ					VU				1			1
32	6底生動物	ハルアメンボ					NT	N		2				2
33	6底生動物	ヒメスズメ						R		1				1
34	6底生動物	モノアラガイ					VU			2				2
35	7植物	オオハチヂホスミレ							VU	4			1	5
36	7植物	ミクリ						R	NT	2				2
確認件数計→										27	25	27	79	
確認種数 →										17	16	17	36	

【選定基準】 選定基準は、～
植物の選定基準は、～
：「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
：「絶滅のおそれのある野生動物種の保存に関する法律」（平成4年 法律第75号）に基づく希少野生動物種
内：国内希少野生動物種 限：国際希少野生動物種 要：要指定種
：「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 A類 EN：絶滅危惧 B類
VU：絶滅危惧 類 NT：準絶滅危惧 DD：情報不足 Lp：絶滅のおそれのある地域個体群
：「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、淡水性貝類、昆虫類：2000）による選定種
Ex：絶滅 EW：野生絶滅 CR：絶滅危惧 A類 EN：絶滅危惧 B類
VU：絶滅危惧 類 NT：準絶滅危惧 DD：情報不足 Lp：絶滅のおそれのある地域個体群
：「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）」（平成10年 社団法人 日本水産資源保護協会）による選定種
減：絶滅危惧種、危：危急種、希：希少種、少：減少種
「改訂：日本の絶滅のおそれのある野生生物」（環境庁 2000）
Ex：絶滅 EW：野生絶滅 CR：絶滅危惧 A類 EN：絶滅危惧 B類 VU：絶滅危惧 類 NT：準絶滅危惧 DD：情報不足
マガン：渡来時期や確認環境からマガンの可能性が高いため貴重種として抽出した。

6.2 地上施設

地上施設に関して、研究管理棟、コア倉庫棟、ワークショップ棟、展示館、国際交流会館の各施設について、利用形態、受変電設備、上下水道設備などの仕様を検討しました。また、研究管理棟、コア倉庫棟、ワークショップ棟、展示館の配置案などを検討しました。

平成13年度～14年度にかけて掘削する試錐孔のコア（岩芯）を収納するための仮設コア保管庫を幌延町内に確保しました。

(参考文献)

*本文中引用順に記載

- 1)日本気象協会(1991):平成2年度幌延地区気象調査,動力炉・核燃料開発事業団技術資料(委託研究成果報告書;(財)日本気象協会),JNC TJ 1420 98-005,p.337.
- 2)日本気象協会(1992):幌延地区気象調査(平成3年度),動力炉・核燃料開発事業団技術資料(委託研究成果報告書;(財)日本気象協会),JNC TJ 1420 98-007,p.324.
- 3)日本気象協会(1993):幌延地区気象調査(平成4年度),動力炉・核燃料開発事業団技術資料(委託研究成果報告書;(財)日本気象協会),JNC TJ 1420 98-009,p.351.
- 4)日本気象協会(1994):幌延地区気象調査(平成5年度),動力炉・核燃料開発事業団技術資料(委託研究成果報告書;(財)日本気象協会),JNC TJ 1420 98-011,p.355.
- 5)日本気象協会(1995):幌延地区気象調査(平成6年度)報告書,動力炉・核燃料開発事業団技術資料(委託研究成果報告書;(財)日本気象協会),JNC TJ 1420 98-013,p.394.
- 6)日本気象協会(1996):幌延地区気象調査(平成7年度)報告書,動力炉・核燃料開発事業団技術資料(委託研究成果報告書;(財)日本気象協会),JNC TJ 1420 98-015,p.403.
- 7)日本気象協会(1997):幌延地区気象調査(平成8年度)報告書,動力炉・核燃料開発事業団技術資料(委託研究成果報告書;(財)日本気象協会),JNC TJ 1420 98-017,p.432.
- 8)中西寛登,盛藤敏勝(1998):幌延地区気象調査(平成9年度)報告書,動力炉・核燃料開発事業団技術資料(委託研究成果報告書;(財)日本気象協会),JNC TJ 1531 98-003, p.695.
- 9)河野伊一郎(1997):地下水工学,鹿島出版会
- 10)地下水ハンドブック編集委員会(1980):地下水ハンドブック
- 11)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次取りまとめ-分冊1わが国の地質環境,JNC TN1400 99-021, p. -102 .
- 12)山田 守,中西繁隆,戸高法文,赤坂千寿,星野延夫,新井 隆,百嶋 輝,杉山弘泰,五月女 敦(2002):“幌延深地層研究計画における地質環境モデルの構築・統合化手法の検討,サイクル機構技術資料(委託研究成果報告書;電源開発(株)),JNC TJ1400 2001-008.
- 13)柳田 誠(1998):北海道北部地域の地質に関する研究,サイクル機構技術資料(契約業務報告書;(株)アイ・エヌ・エー),JNC TJ1400 98-001.
- 14)松井 愈(1963):問寒別川流域の森林経営と保全に関する基礎的研究 天塩国幌延町問寒別地域北海道大学天塩第二演習林の地質・土壌調査報告,演習林業務資料第六号.
- 15)福沢仁之(1985):北海道天北・羽幌地域の上部新第三系層序の再検討-特に“稚内層”。“声問層”について-,地質学雑誌,Vol.91, p.833-849.
- 16)石油公団(1995):基礎試錐「天北」調査報告書,平成7年1月.
- 17)長尾捨一(1969):北海道の構造的天然ガスについて, p.36.
- 18)石油公団(1998):国内石油・天然ガス基礎調査 海上基礎物理探査「天北浅海域」調査

報告書，平成10月1月．

- 19)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．
- 20)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次取りまとめ-分冊2 地層処分の工学技術 JNC TN1400 99-022，p. -222．
- 21)岡 行俊(1977)：N A T Mにおける支保理論，施工技術，Vol.10，No.11，p.6-12．
- 22)日本道路公団(1997)：設計要領第三集 トンネル．
- 23)建設業労働災害防止協会(2002)：改訂ずい道等建設工事における換気技術指針(設計及び粉じん等の測定)．
- 24)厚生労働省(2001)：ずい道等建設工事における粉塵対策に関するガイドライン．
- 25)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．
- 26)環境庁(1988)：第3回自然環境保全基礎調査．
- 27)環境庁(1993)：第4回自然環境保全基礎調査．

参考資料

(平成13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) 青木治三(2001): 地質環境の長期安定性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; (財)地震予知総合研究振興会), 登録準備中.
- (2) 東 宏幸, 五十嵐 亨, 池田和隆, 今村杉夫, 大島雅浩(2001): ヘリコプターを用いた空中物理探査, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 応用地質(株)), JNC TJ1420 2001-035.
- (3) 堀田政国, 郷家光男(2001): 堆積岩における長期水圧観測及び採水手法の概念検討, サイクル機構技術資料(委託研究成果報告書; 清水建設(株)), JNC TJ1410 2001-003.
- (4) 今井久, 前田信行, 千々松正和, 雨宮清, 塩崎功(2001): 幌延深地層研究計画における地下水流動解析に関する検討, サイクル機構技術資料(委託研究成果報告書; (株)間組), 登録準備中.
- (5) 今村遼平, 若松尚則, 小田川信也(2001): 深地層研究所(仮称)計画における表層水理観測計画の策定, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; アジア航測(株)), JNC TJ1401 2001-001.
- (6) 今井 久, 山下 亮, 雨宮 清, 塩崎 功(2001): 堆積岩における広域地下水流動解析手法に関する検討, サイクル機構技術資料(委託研究成果報告書; (株)間組), JNC TJ1410 2001-002.
- (7) 窪田 茂(2002): 幌延深地層研究計画地下施設建設技術に関する研究, JNC TJ1400 2001-005.
- (8) 岸本宗丸, 高山純一, 横井浩一(2001): 電磁法による地上物理探査, 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)), JNC TJ1420 2001-036.
- (9) 三箇智二(2002): SARデータを用いた地殻変動量調査, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 日鉄探開(株)), 登録準備中.
- (10) 中村 健, 滝口善博, 若松尚則, 染矢 貴(2002): 深地層研究所(仮称)計画に係わる環境調査, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; アジア航測(株)), JNC TJ1420 2001-043.
- (11) 中林宏典, 佐藤隆光, 松岡直基, 松尾 満, 中野洋一(2002): 幌延深地層研究計画における表層水理現地調査, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; (財)日本気象協会), JNC TJ1410 2001-005.
- (12) 澤田臣啓, 奥池司郎(2001): 幌延町内における地質調査, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; (株)サワソフトサイエンス), JNC TJ1420 2001-037.
- (13) 鳥巢茂樹(2002): 幌延深地層研究計画地上施設概念検討, サイクル機構技術資料(委託研究成果報告書; (株)日建設計), JNC TJ1410 2001-004.
- (14) 山田 守, 中西繁隆, 戸高法文, 赤坂千寿, 星野延夫, 新井 隆, 百嶋 輝, 杉山弘泰, 五月女 敦(2002): 幌延深地層研究計画における地質環境モデルの構築・統合化

- 手法の検討, サイクル機構(委託研究成果報告書; 電源開発(株)), JNC TJ1400 2001-008.
- (15) 山本卓也(2002): 幌延深地層研究センターにおける試錐調査, サイクル機構(契約業務報告書; 大成建設(株)), 登録準備中.

地層処分研究開発関係

- (16) 阿波野俊彦, 坂井 彰, 菅野 毅, 神徳 敬(2001): 人工バリア遠隔搬送定置装置開発に向けた技術調査, サイクル機構技術資料(委託研究成果報告書; 石川島播磨重工業(株)), 登録準備中.
- (17) 入屋桂史郎, 三上哲司, 保岡哲治, 上垣義明(2001): 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(委託研究成果報告書; (株)大林組), JNC TJ1400 2001-004.
- (18) 入屋桂史郎, 三上哲司, 秋好賢治, 上垣義明(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(), 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.
- (19) 鈴木治雄, 畑 祐二, 山田 眞(2001): 緩衝材とオーバーパックの相互作用に関する腐食挙動評価研究, サイクル機構技術資料(委託研究成果報告書; 鋼管計測(株)), 登録準備中.
- (20) 鈴木治雄, 畑 祐二, 島田 透, 山田 眞(2002): 緩衝材とオーバーパックの相互作用に関する腐食挙動評価研究(), サイクル機構技術資料(委託研究成; 鋼管計測(株)), 登録準備中.