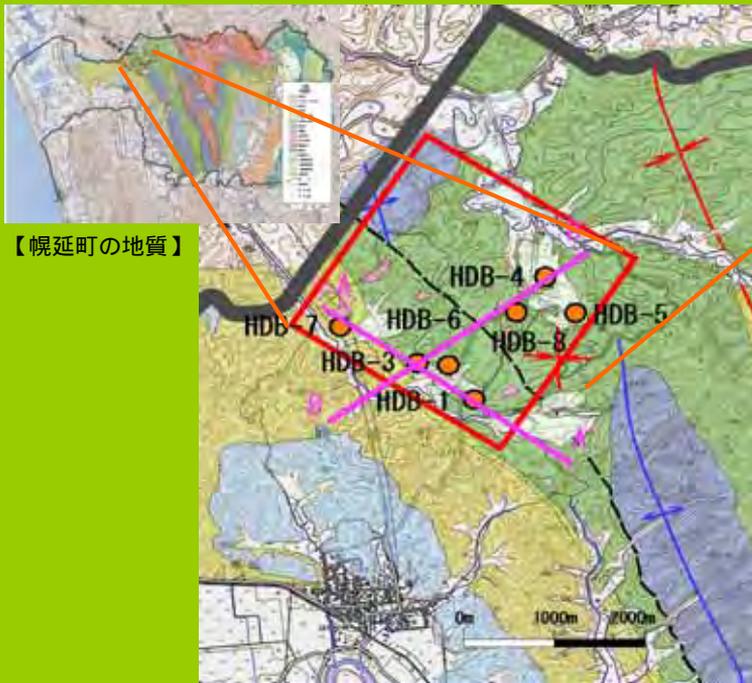


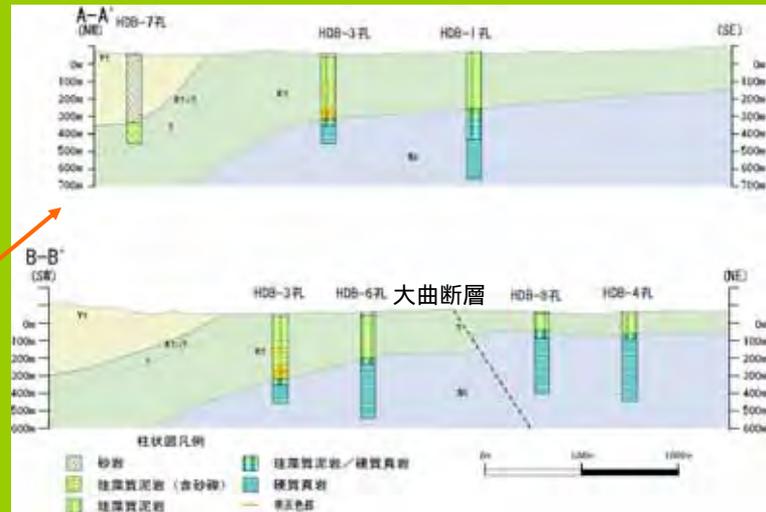
2-1 研究所設置地区の地質環境特性 (その1: 地質・地質構造と力学特性)

核燃料サイクル開発機構 幌延深地層研究センター

高橋 一晴, 安江 健一, 石井 英一, 松井 裕哉



国土地理院発行 5万分の1地形図「豊富」を使用
【研究所設置地区周辺の表層地質図】

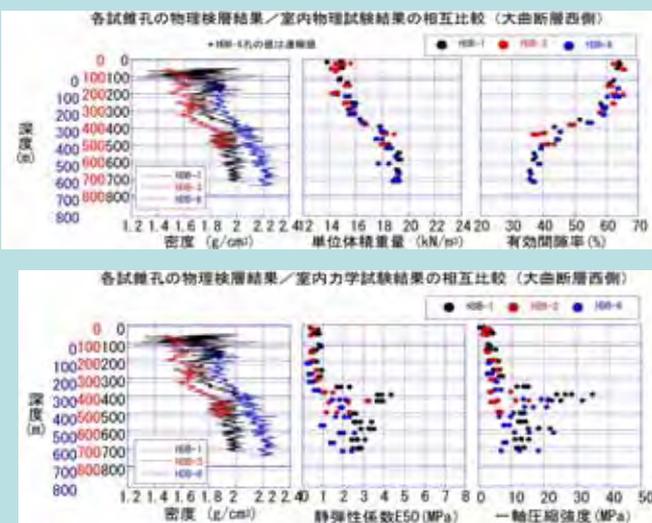
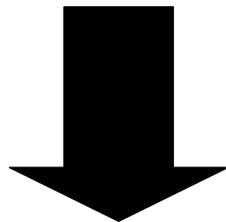


Wk: 稚内層, Kt: 声間層, Ktu: 声間層上部相, Yu: 勇知層

【研究所設置地区周辺の地質断面図及び各孔の概略柱状図】

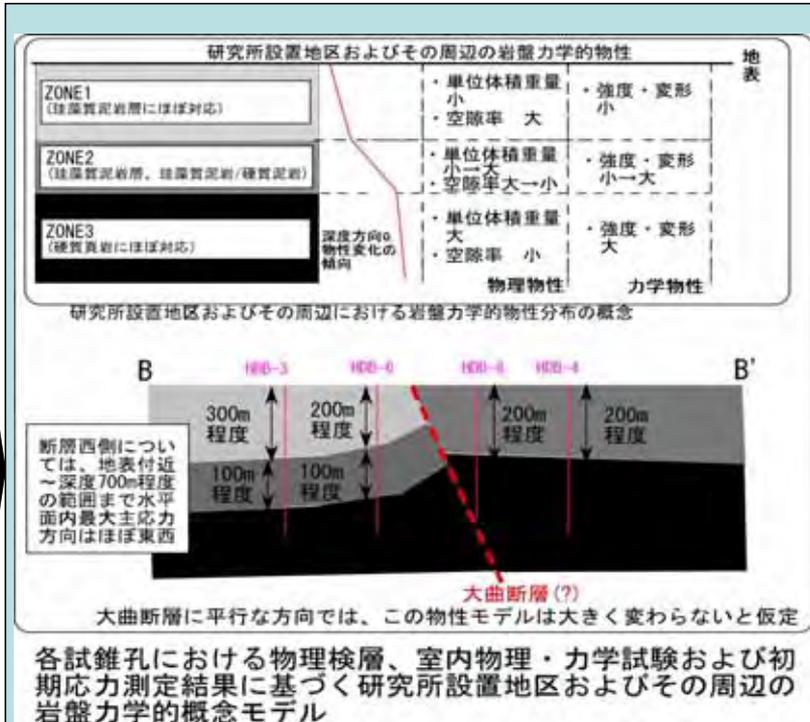
右図に示す研究所設置地区内の7箇所において試錐調査を実施しました。その試錐調査では、コア観察、岩石分析、化石分析を行い、その結果から、上図に示す地質断面図を作成しました。

これまでの調査により、研究所設置地区においては、大曲断層の鉛直方向のズレが少ない傾向を得ました。



地質学的な調査などからの考えを整理すると、岩盤や岩石の物理・力学特性の深度分布については、定性的・定量的にほぼ同じ可能性が高いことがわかりました。

これは、大曲断層東西を問わず同様の傾向であることがわかりました。



左図のような結果および現時点で把握されている地質構造などを加味して岩盤力学的な概念モデルを構築しました。

本地域の岩盤力学的観点からの特徴は、声間層と稚内層の間に急激かつそれらの層と連続するような物性変化ゾーン (Zone2) が存在すること、断層西側では水平面内最大主応力方向は地表付近から深度700 mまでの範囲で東西方向でほぼ一定であることが挙げられます。

2-2 研究所設置地区の地質環境特性(その2:水理特性)

核燃料サイクル開発機構 幌延深地層研究センター

竹内 竜史, 中山 雅

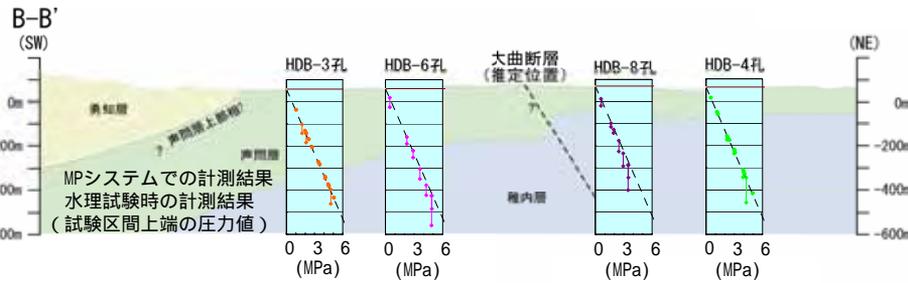
研究所設置地区周辺の水理特性

<透水性に関して>

- ・原位置水理試験の透水係数は声間層 $10^{-8} \sim 10^{-10}$ m/s, 稚内層(割れ目帯) $10^{-5} \sim 10^{-10}$ m/s, 稚内層(健岩部) $10^{-10} \sim 10^{-11}$ m/sを示す。
- ・掘削中や流体検層で検出された地下水流入出点の多くは, 稚内層(割れ目帯)に位置する。
- ・声間層, 稚内層(健岩部), 稚内層(割れ目帯)の透水係数および, 室内透水試験から得られた透水係数は, 深度が深くなるにつれて小さくなる傾向がある。
- ・室内透水試験から得られた透水係数の多くは原位置水理試験結果に比べて数オーダー小さな値となるが, 大曲断層西側の深部では, 室内透水試験結果と原位置水理試験結果が良く一致する区間も存在する。

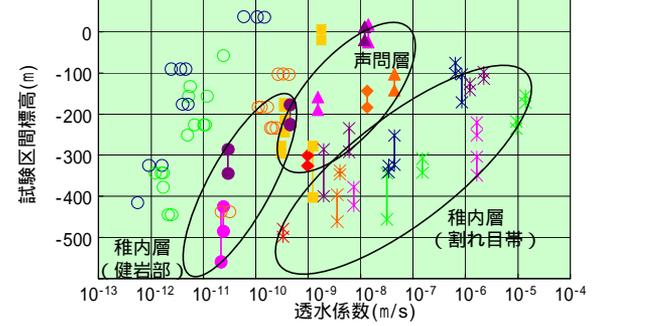
<水圧分布に関して>

- ・各試錐孔での間隙水圧は静水圧に近い分布を示すが, 深度が深くなると若干被圧傾向を有している(水の密度を1.0として換算した全水頭値でGL+10~20m程度)。
- ・大曲断層推定位置の東西で, 顕著な水圧差は確認されていない。

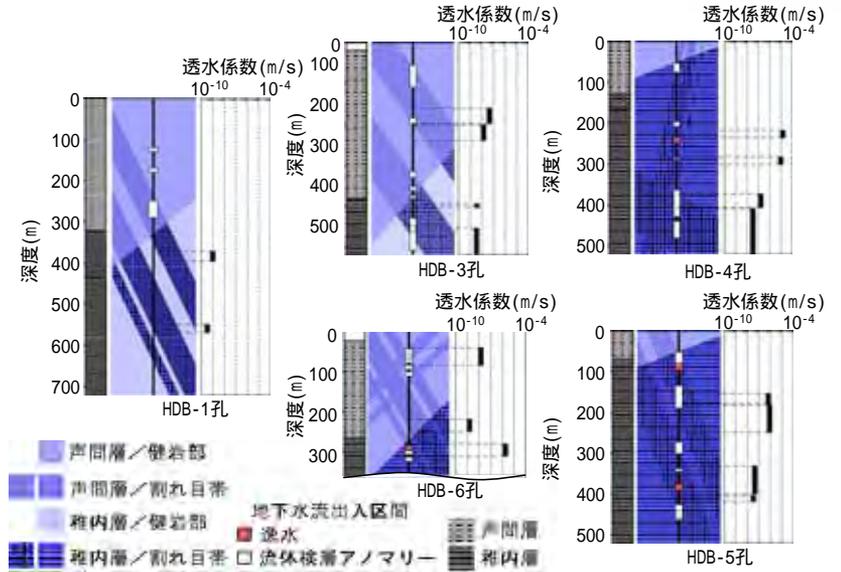


研究所設置地区周辺の水圧分布

- HDB-1 - HDB-3 - HDB-4 - HDB-5 - HDB-6 - HDB-7 - HDB-8
- : 声間層(健岩部) : 声間層(割れ目帯) : 稚内層(健岩部)
- *: 稚内層(割れ目帯) : 勇知層/声間層上部相 : 室内透水試験



研究所設置地区周辺の岩盤の透水性



岩盤の透水性と割れ目帯の関係

地層処分研究開発

第2次取りまとめで示された課題

- ・現象理解と長期挙動予測手法の信頼性確認
- ・具体的地質環境への適用性確認

【処分技術開発】

施設設計・建設

- ・施工計画と施工実績の比較による事前設計の妥当性評価
- ・ガス湧出等への対策技術 など

操業・閉鎖

- ・処分孔掘削技術の確認
- ・定置精度の明確化
- ・坑道・試錐孔の閉鎖技術の確認 など

人工バリア設計・施工

- ・オーバーパック, 緩衝材の設計 など

人工バリアの長期挙動評価

- ・再冠水時の挙動評価
- ・劣化変質評価
- ・構造力学安定性評価
- ・耐震安定性評価
- ・ガス移行評価
- ・緩衝材の岩盤内侵入の評価 など

【安全評価研究】

天然バリア安全評価の信頼性向上

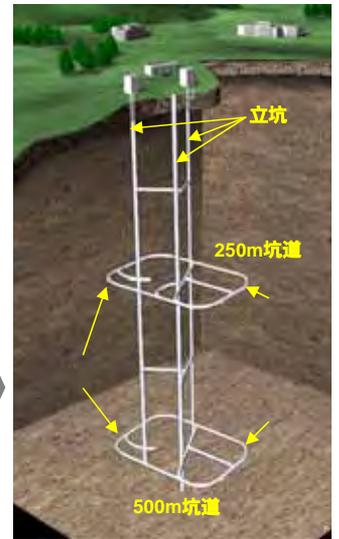
人工バリア安全評価の信頼性向上

安全評価用データの拡充

- ・分配係数, 拡散係数等の取得 など

原位置試験

- 人工バリア試験 (THMC試験)
- 緩衝材/岩盤クリープ試験
- ガス移行挙動試験
- オーバーパックの腐食試験
- セメント影響試験
- 低アルカリ性コンクリート
- 施工性確認試験
- 定置精度確認試験
- 坑道閉鎖試験
- 天然バリア中のトレーサ試験
- 人工バリア中のトレーサ試験



地下研究施設における原位置試験の実施深度の例

現在, 原位置試験計画の具体化へ向けて

- ・海水系地下水環境下におけるベントナイトの力学特性の把握
 - ・海水系地下水環境下における核種の収着試験
 - ・低アルカリ性コンクリートの施工性
 - ・緩衝材・岩盤へのセメント影響の把握
- についての研究を実施中

2-3 研究所設置地区の地質環境特性(地球化学特性)

核燃料サイクル開発機構 幌延深地層研究センター

國丸 貴紀, 濱 克宏

概要

地下水の地球化学特性を明らかにすることは、地下水の形成過程(メカニズム)、地下水の時間的(滞留時間)分布・空間的分布を把握するための重要な調査である。それらによって明らかとなった、様々な地球化学特性は地下水流動解析などの他の調査結果の妥当性の評価や地層処分技術開発等へ反映できると考えられる。

本件では、幌延深地層研究計画で実施中の地下水の地球化学特性調査手法と適応性について紹介する。

地下水採水手法の例とその適用結果

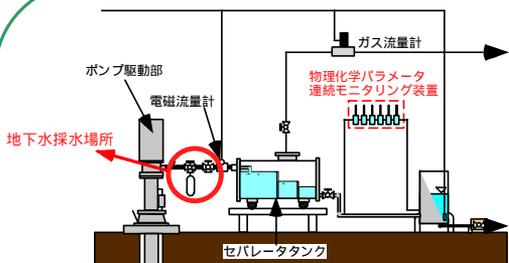


図1 水理試験装置の地上部および地下水採水位置

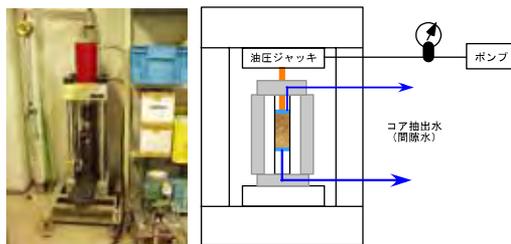
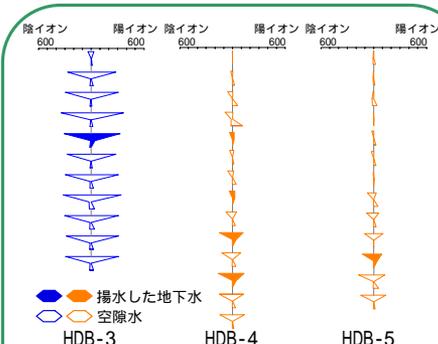


図3 間隙水抽出装置(熊本大学)とその概念図



・揚水による地下水の採水では、掘削水の影響の少ない地下水を採水するために、高透水性の場所からの採水となる。

・間隙水の抽出は、空隙率・含水率の大きな岩石を対象とした調査では有効と考えられるが、割れ目帯のような岩石試料では抽出水を得ることが困難である。

・地下水の採取方法に依存すると考えられる分析項目が存在するが、両手法(揚水, 間隙水の抽出)を組み合わせることにより、地表から深部にかけての地下水の地球化学特性の分布を取得する可能性が示された。

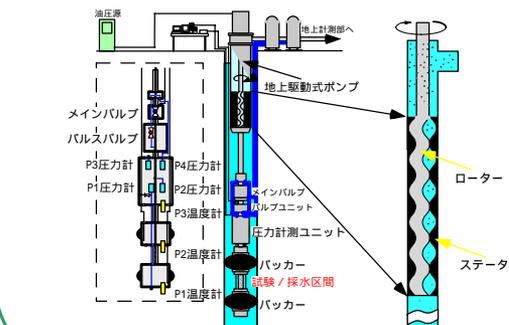


図2 水理試験装置の孔内部

・地下水揚水中は、地上部において物理化学パラメータ(pH, 酸化還元電位, 溶存酸素, 電気伝導度)を連続的にモニタリングを実施。

試験区間から可能な限り閉鎖系をつくりモニタリングを実施しているが、繋ぎ目などからの大気の影響や溶存ガスの影響が無視できない状況である。

・間隙水の抽出は、木方ほか(1999)に基づき、軸圧縮試験機を改良したタイプの岩石抽出装置(誠研社製)を用いて圧縮法により行った。
・2~70MPaの軸力で約8~72時間圧縮し、1サンプル(直径5cm, 長さ10cm)あたり平均して約5~30ccの間隙水を抽出した。

研究所設置地区周辺の酸素・水素同位対比の特徴

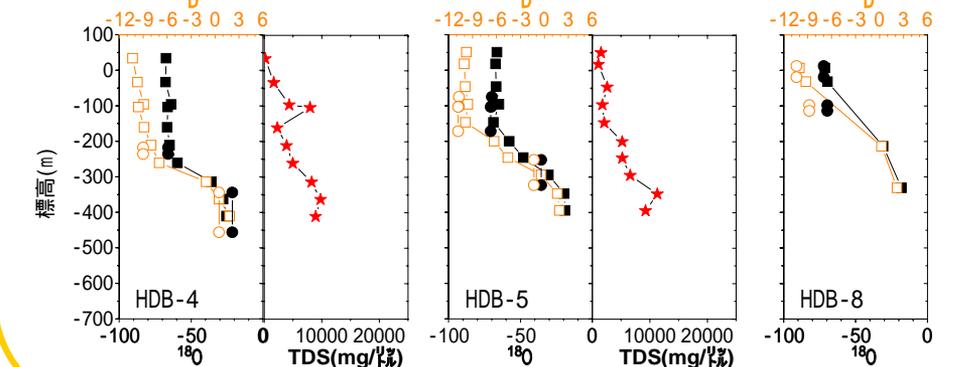
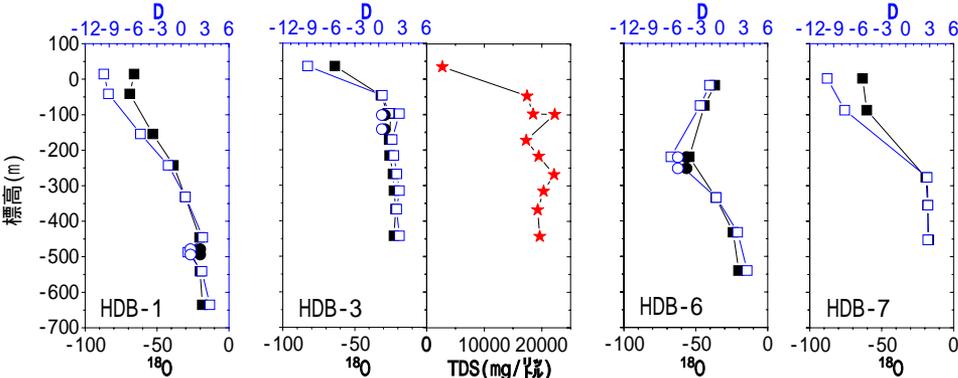


図1 研究所設置地区周辺における酸素・水素同位体比の震度分布および、電気伝導度分布

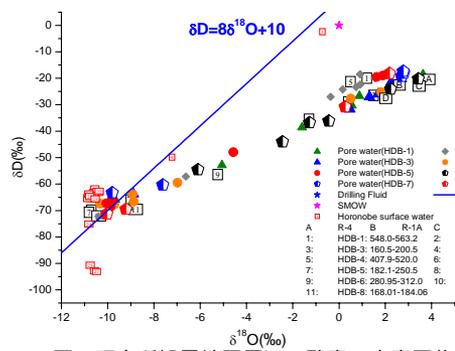


図2 研究所設置地区周辺の酸素・水素同位対比

<結果>

- ・HDB-6孔を除く全ての試錐孔において、酸素・水素同位対比は浅部で軽く、深度が深くなるにつれて重くなる傾向を示す(図1)。
- ・溶存成分濃度についても、深度が深くなるにつれて濃度が高くなる傾向を示す。
- ・地表水の影響を受けていると考えられる深度は、試錐孔ごとに異なるが、HDB-3孔に比べHDB-4, 5孔の方がより深い深度までその影響を受けていると考えられる。
- ・研究所設置地区周辺の酸素・水素同位対比の特徴は油田やガス田において認められる化石水の特徴と類似している(図2)。

<まとめ>

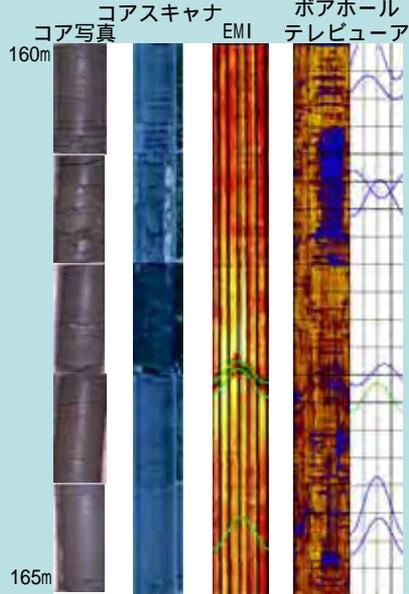
- ・研究所設置地区における地下水の酸素・水素同位対比の分布を把握することは、地下水流動を把握することに有効である可能性が示されつつある。

EMI, ボアホールテレビユーアおよびコアスキャナによる画像取得技術の適用性

・孔壁画像取得技術として、孔壁の比抵抗を元に画像を取得するEMI検層と超音波によりその反射時間から孔壁の画像を得るボアホールテレビユーアを実施した。

・試錐孔掘削により得られた岩芯については、岩芯の写真撮影のほか、コアスキャナによる展開画像を取得し、割れ目の角度等の情報を取得している。

従来、コアスキャナは割れ目の多く崩壊している岩芯の展開画像を取得することは困難であったが、幌延深地層研究計画では、コア径に依存するものコアを回転させずに約300°の展開画像を取得できる機器を用いてコアの撮影を行った。



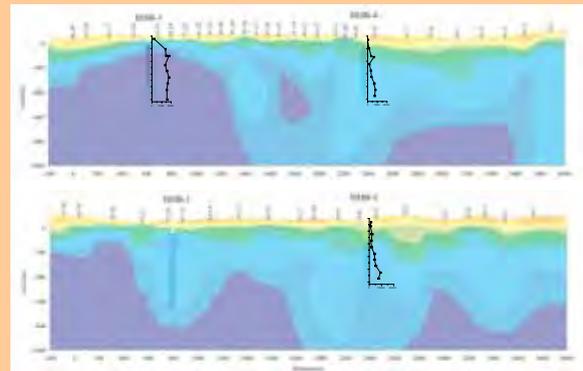
コアスキャナ

HDB-6 各手法により取得された画像の例

電磁法探査, 比抵抗検層および、岩芯から抽出した空隙水の溶存イオン濃度の関係

電磁法探査結果断面図にHDB-3孔, 4孔および5孔の岩芯から抽出した空隙水の溶存イオン濃度の深度分布を比較すると電磁探査や試錐調査中に実施した比抵抗検層により取得された比抵抗分布と空隙水の水質分布が概ね一致している。つまり、高比抵抗から低比抵抗に変化する深度で空隙水の水質も淡水系から塩水系に変化していると考えられる。

この結果は、独立に実施した調査結果を比較することにより、お互いの信頼性を高めることができる例と考えられる。



電磁法探査結果断面図に岩芯から抽出した空隙水の総溶存成分濃度の深度分布を重ねたもの

掘削水の影響を評価するために使用しているトレーサの選定とその適応例

試錐孔掘削は、掘削時に生じる堀屑の排除や潤滑剤の役目として地上から掘削水（清水や泥水）を送水しながら行われる。そのため、原位置本来の地下水は、この掘削水により汚染されてしまうことになる。従って、サイクル機構が実施している試錐調査では、掘削水の影響を評価するためにトレーサを掘削水へ添加している。

トレーサとして用いる物質は、現場において簡易的に測定できるものとして、染料として主に使用されている蛍光染料を主体とするトレーサを選定している。

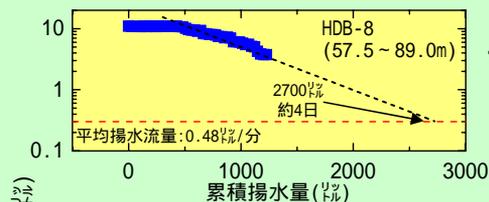
トレーサ選定のための条件

- ・生物に対する毒性がない
- ・地層の構成物質や試錐掘削時に使用する機器に吸着されない
- ・自然の地下水中に存在しない
- ・水に対する溶解度がある
- ・分析限界が低く検出が容易である
- ・化学的に安定である
- ・pH, ORP, 電気伝導度への影響がない

トレーサの選定

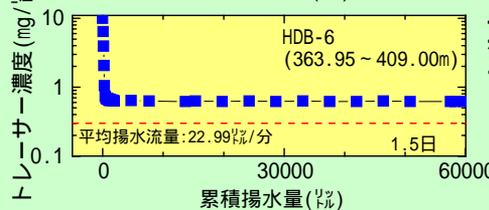
- 1: 文献調査などから蛍光染料20種類程度を選定
- 2: 室内試験を実施し、トレーサの吸着性, 安定性などを検討

Sodium-naphthionate (ナフチオン酸ナトリウム) を選定



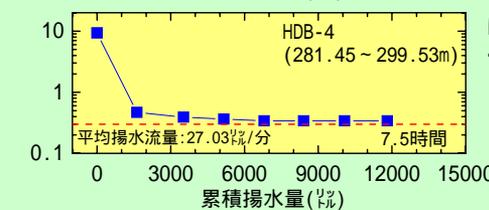
十分に掘削水の影響を排除できなかった例

・トレーサ濃度の低下傾向から掘削水を排除するために必要な日数を推定した結果、設定した揚水日数(2日)では十分なトレーサ濃度の低下が見込めなかったことから、揚水継続および採水を断念した。



長期間揚水を実施したが、目標の管理基準を満たせなかった例

・初期段階のトレーサ濃度低下傾向から掘削水の影響を十分に排除できると判断し揚水を継続したが、トレーサ濃度が約0.5mg/リットルから低下しなかったため、設定した揚水日数内に採水を実施した。結果として目標値を満たすことはできなかった。



ほぼ目標値の管理基準を満たした例

・透水性が良く十分な揚水量が確保されたことから掘削水の影響を十分に排除できると判断し長期間揚水を実施して目標値をほぼ満たした。

長期観測装置を用いた調査手法の適用事例

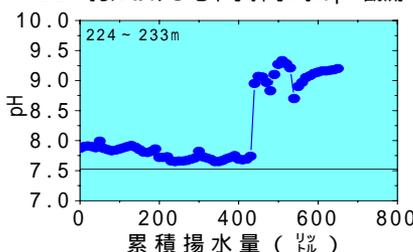
試錐調査中に実施する水理試験や地下水の採水については、試錐孔掘削時に送水する掘削水の送水圧や掘削泥水の影響が、完全に除去されていない場合が多い。

長期観測装置を用いて、長期的な圧力観測や地下水の採水を継続的に実施することによって、試錐調査中に実施した水理試験の結果や採水された地下水の組成の妥当性を評価することが出来ると考えられる。



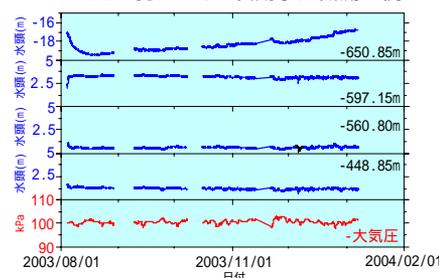
HDB-4孔での地下水採水調査風景

HDB-4孔における地下水採水時のpH観測



HDB-4孔の深度224~233mにおける累積揚水量とpHの関係では、試験区間とモニタリング装置内に残留していた水を排出したあたりで、pHが急激に変化している。また、試錐調査中に採水した地下水のpHが約7.5であることから、この変化は、ケーシングパイプの設置に使用したセメントの影響であると考えられる。

HDB-1孔における長期水圧観測の例



HDB-1孔における長期水圧観測では、水圧が安定している区間と上昇傾向にある区間が認められている。

また、HDB-1孔周辺で実施した試錐調査の影響と考えられるような圧力応答は観測されていない。

2-5 幌延深地層研究計画 - 施設計画

核燃料サイクル開発機構 幌延深地層研究センター

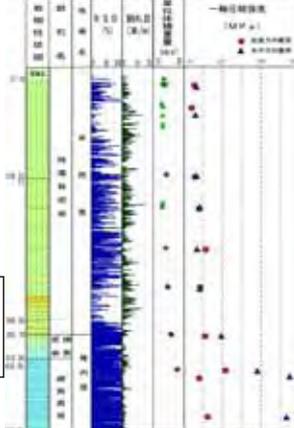
白戸 伸明 畠山 信也 森岡 宏之

地下施設の設計・施工計画においては、施設を安全に建設でき、研究環境を確保することが基本的な要件である。計画地点は、新第三紀の堆積岩(泥岩)の軟岩で、可燃性ガスを賦存する等の地質的特徴があり、地下施設の安全性を確保するために岩盤特性に応じた空洞の安定性評価や可燃性ガス対策が課題である。

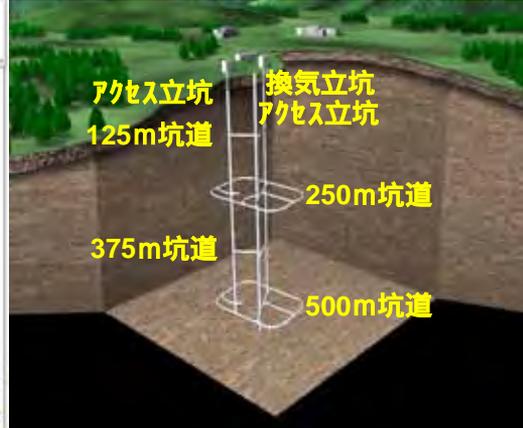
地質 新第三紀の泥岩で上部が珪藻質泥岩(声問層)、下部が硬質泥岩・硬質頁岩(稚内層)である。両者共に軟岩に区別され、可燃性ガスを賦存しており、地下水は高い塩分濃度を有している。



研究所設置場所の位置図



地質柱状図(HDB-3孔)



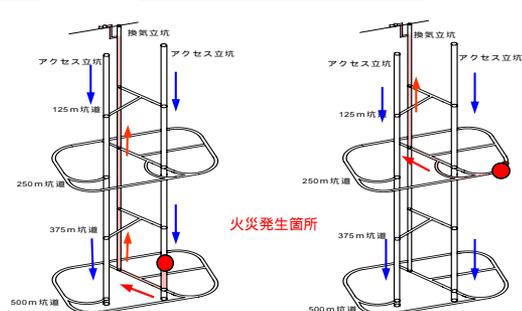
地下施設のイメージ図

深度の設定

地層処分技術の信頼性を実際の深部環境(堆積岩系:幌延)に適用しその信頼性を確認するという観点から、地層処分で想定される深度(300m以深)や一方では地層の力学的な特性による施工性や坑道維持等の観点を考慮して、深度500m程度の坑道を掘削する計画である。

立坑本数

可燃性ガスの湧出が想定されることに配慮し、防災基本コンセプトを「如何なる箇所でも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」とした。これらを踏まえて、火災時の通気網解析結果に基づき避難経路を検討した結果、入気立坑(アクセス)2本・排気立坑(換気)1本の計3本の立坑とした。



火災時の通気網解析結果の例

空洞の安定性評価

支保工法は、立坑はショートステップ工法、水平坑道はNATMを計画している。立坑の覆工コンクリートおよび水平坑道の吹付けコンクリートの設計基準強度は、一般的に用いられる普通コンクリートの強度(18~40MPa)を用いて空洞安定性の結果、立坑は覆工コンクリート厚40~60cm、水平坑道は吹付けコンクリート厚20~30cmで、支保部材の発生応力は許容応力以下となった。空洞安定性解析の結果、緩み領域(塑性領域)が発生していることから、立坑においても掘削直後の緩み領域の進展を防止するため、ロックボルトと鋼製支保工を設置する計画としている。

空洞の安定性解析用岩盤物性値(HDB-1,3孔)

| | [物性] | [物性] |
|----------------------------|------|-------|
| 単位体積重量(KN/m ³) | 14.9 | 18.0 |
| 弾性係数(MPa) | 450 | 1,120 |
| ポアソン比 | 0.14 | 0.11 |
| 粘着力(MPa) | 0.9 | 1.7 |
| 内部摩擦角(度) | 16.3 | 19.5 |
| 一軸圧縮強度(MPa) | 2.5 | 4.8 |
| 引張強度(MPa) | 0.3 | 0.5 |
| 側圧係数 | 1.5 | 1.2 |

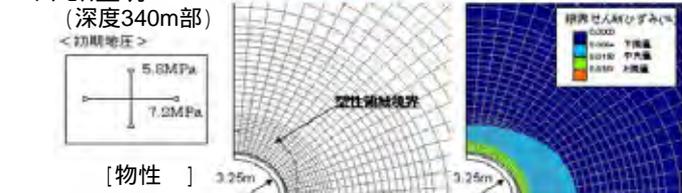
可燃性ガス対策

ガスの賦存が予想される堆積岩における安全な地下施設の建設及び維持が課題である。可燃性ガス対策として、ガス湧出量の予測解析、坑道配置、ガス排出効果の高い換気方法の採用、ガス希釈・滞留の防止を図る換気風量の確保、設備防爆化、ガス監視体制、ガス探査(ガス抜き含む)等を実施する計画である。

可燃性ガス対策の検討例

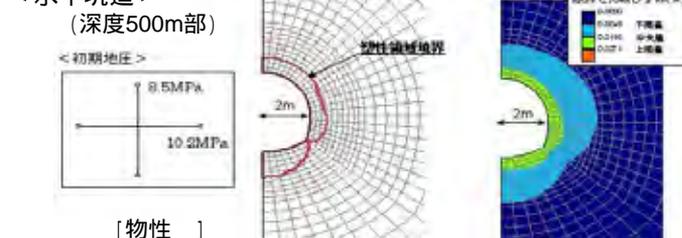
- ガス湧出量: 数値解析によるガス湧出量の推定
- ガス主成分: メタンガス
- ガス湧出量: 2~3m³/分
- 坑道配置: 爆風による換気設備の破損防止のため、換気立坑から分岐した専用扇風機坑道の設置
- 換気方法: ガス排出効果の高い換気方法の採用
吸出換気方式
定常時: ガス排出効果
非定常時: ガス発生抑制効果
- 換気風量: ガス希釈・滞留の防止
ガス管理濃度0.25%・風速0.5m/sの確保
- 設備防爆化: ガス爆発防止
切羽~坑内30m程度までの防爆設備
- 監視体制: ガス濃度、風速等監視
作業中止等管理基準値の設定
- ガス探査: 先行ボーリング(ガス抜き含む)の実施

<アクセス立坑>



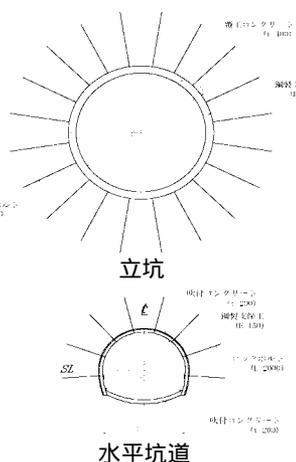
[物性]

<水平坑道>



[物性]

空洞安定性解析結果の例



代表的な支保パターン例

2-6 地質・地質構造と地質環境の長期安定性

核燃料サイクル開発機構 幌延深地層研究センター

高橋 一晴, 安江 健一, 浴 信博, 石井 英一, 阿部 寛信, 藤島 敦, 中山 雅

幌延町の地質



国土地理院発行 5万分の1地形図「稚内内」、「豊富」、「上猿弘」、「天塩」、「雄信内」、「歌音知」を使用

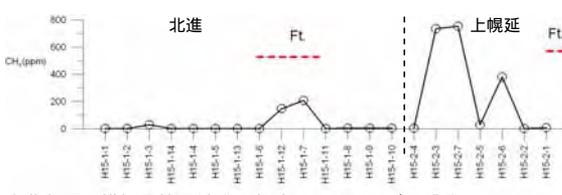
・天塩堆積盆では、新第三紀中期中新世以降の堆積岩が約 3,000 ~ 5,000 m の厚さで、基盤岩である白亜系や古第三系を不整合に覆う南北方向の褶曲や断層が発達し、町内中央部には南北走向の大曲断層及びヌカナン断層群が発達する。

大曲断層調査

大曲断層の推定位置付近において、簡易試錐を実施し、試料採取、観察、メタンガス測定を行った。採取した試料は各種分析を行っている。



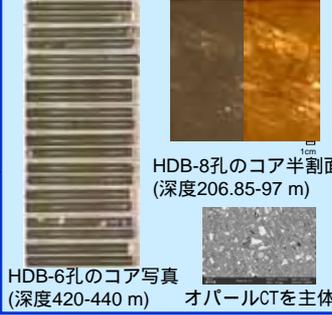
簡易試錐の実施風景 メタンガス測定風景



大曲断層を横切る簡易試錐の各孔でのメタンガス濃度
 ・北進地区では、断層付近と推定される孔で、メタンガス濃度が高い
 ・上幌延地区では、断層付近と推定される孔で、メタンガス濃度が低い。

稚内層（硬質頁岩）

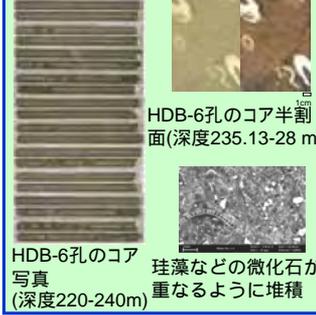
- ・硬質頁岩を主体とする層厚約 400 ~ 1,000 m の海成層で、下位の増幌層を不整合に覆う。
- ・続成変質が進んでおり、クリストバライトやトリディマイト（オパールCT）を主体とする。
- ・二枚貝や巻貝、ウニなどの化石を多産し、ノジュールからは *Neodenticula kamtschatica* 帯 (6.4 ~ 3.5/3.9 Ma) ~ *Rouxia californica* 帯 (7.3 ~ 6.9 Ma) の珪藻を産出する。



HDB-6孔のコア写真 (深度420-440 m) オパールCTを主体

声間層（珪藻質泥岩）

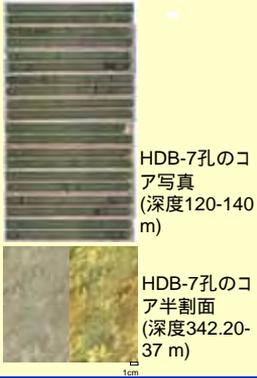
- ・珪藻質泥岩を主体とする層厚約 800 m の海成層で、下位の稚内層を整合に覆う。
- ・*N. kamtschatica* 帯 (6.4 ~ 3.5/3.9 Ma) の珪藻や海綿骨針などの生物遺骸からなり、非晶質の珪酸（オパールA）を主体とする。
- ・半深海性の生痕化石が発達しており、珪藻化石や生痕化石内には特徴的にフランボイダル状黄鉄鉱が晶出する。



HDB-6孔のコア写真 (深度220-240m) 珪藻などの微化石が重なるように堆積

勇知層（砂岩）

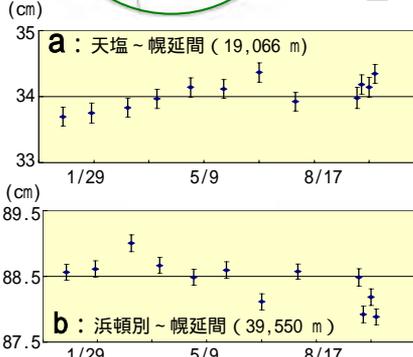
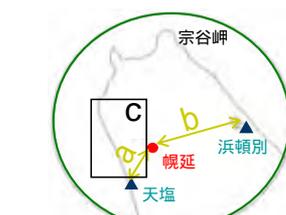
- ・細～中粒砂岩層を主体とする層厚約 400 m の海成層で、下位の声間層を整合に覆う。
- ・所々で泥岩を挟在し、直径 1 cm 以上の生痕化石や、直径 3 cm 以下のチャート礫及び粗粒粒子、直径数 mm 程度の有機物片が観察される。



HDB-7孔のコア写真 (深度120-140 m) HDB-7孔のコア半割面 (深度342.20-37 m)

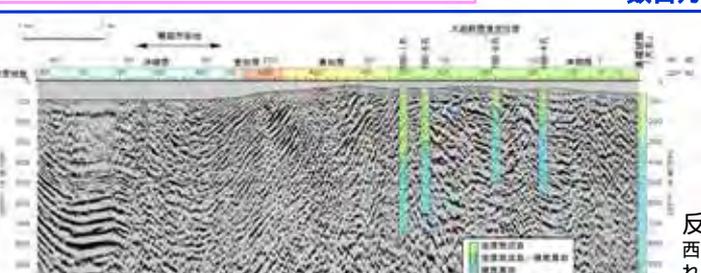
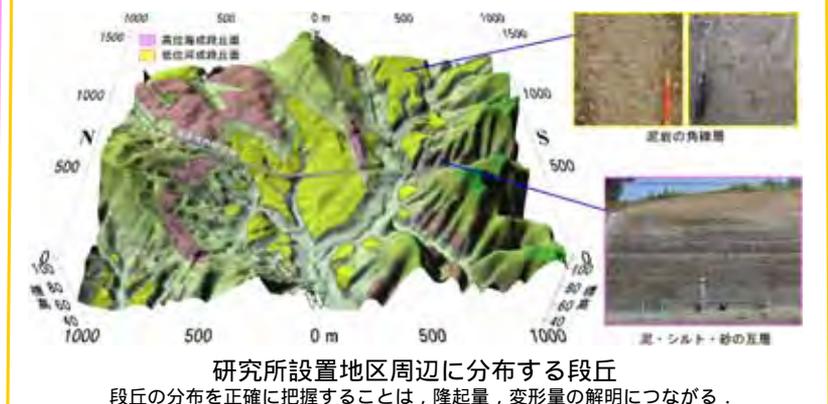
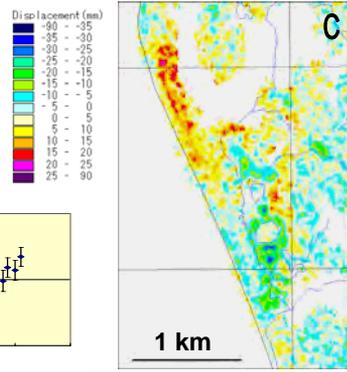
稚内層、声間層、勇知層の特徴

| | 稚内層 | 声間層 | 勇知層 |
|----------|-------------------------------|-------------------------|-----------|
| シリカ構成 | オパールCT シリカ鉱物増加 | オパールA シリカ鉱物 | オパールA |
| 岩石 | 硬質頁岩 (声間層境界には漸移帯が存在) | 珪藻質泥岩 | 砂岩層 |
| 珪藻化石の産出 | 無～少ない (破片のみ) | 多い (個体として産出) | |
| 空隙率 | 約 35 % | 約 65 % | |
| 単体積質量 | 約 18 kN/m ³ | 約 15 kN/m ³ | |
| 硬度 (L値) | 約 500 | 300 ~ 400 | 200 ~ 300 |
| 色差 (L*) | <30(暗い) | >30(明るい) | 30 ~ 40 |
| 有機地化学的特徴 | ステラン ステレン ステランC28(藻類)多い | ステラン<ステレン ステランC28少ない | |



GPS基線長解析
2点間の距離の変化から歪速度を求めることができる。

干渉SARによる上下変位量解析



幌延地域の層序対比 (右図)
 岩相が同じ地層は場所によって堆積時期が異なる。この堆積時期は西側で若い傾向にある。
 これは盆地の形成場が徐々に西方へ移動していることを示唆する。

反射法地震探査断面 (左図)
 西へ急傾斜する地層の変形はいつ形成されたのか？

