

幌延深地層研究計画の現状

核燃料サイクル開発機構
幌延深地層研究センター
次長 山崎 真一

1. はじめに

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（原子力委員会、2000）」に示された深地層の研究施設計画の一つとして位置付けられており、堆積岩を対象に深地層の研究を進めている。また、同計画には、この研究施設が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行く上での主要な施設であること、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る。幌延深地層研究計画は、調査研究の開始から終了まで20年程度の計画とし、「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する。

なお、地下施設の建設スケジュールは、平成15年度から用地の造成、平成17年度に立坑の掘削を開始し、平成22年度には完成の予定である。

幌延深地層研究計画における地層処分技術に関する研究開発として、深地層の科学的研究（以下、地層科学研究）と地層処分研究開発を実施する。地層科学研究としては、地質環境調査技術開発、地質環境モニタリング技術開発、地質環境の長期安定性に関する研究、深地層における工学的技術の基礎の開発の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課題を設定している。

2. 特徴を踏まえた課題とアプローチ

幌延町は天塩堆積盆の東端部に位置し、幌延町の東縁部には白亜系の蝦夷層群や中生代の地層と中生代末に主に形成されたと推定される神居古潭帯に属する変成岩類、堆積性・構造的メランジェ（蛇紋岩等）が南北方向に分布する。それに対し幌延町の西部は、先新第三紀の地層を基盤岩とし、それらを中期中新世以降に堆積した新第三紀の地層（宗谷夾炭層、増幌層、稚内層、声問層）が不整合で覆う（保柳ほか、1986）。また、ほぼ南北方向の褶曲構造や断層構造が発達し、活断層、とう曲、作動等の第四紀の新しい活構造も認められる。研究対象とする新第三紀の堆積岩中の地下水として「塩水系の地下水」と「淡水系の地下水」が存在すること及び、地下水には溶存ガスが存在することを確認しており、幌延深地層研究計画では、このような地質環境の特徴に着目して研究を進める。

幌延深地層研究計画では、図1に示すような成果が得られるように調査研究を進めていく。得られた研究成果は、東濃地科学センターにおける地層科学研究の成果とともに、東海事業所で実施している地層処分研究開発、あるいは国際共同研究の成果と合わせて、実施主体が行う処分事業、国が行う安全規制等に反映する。

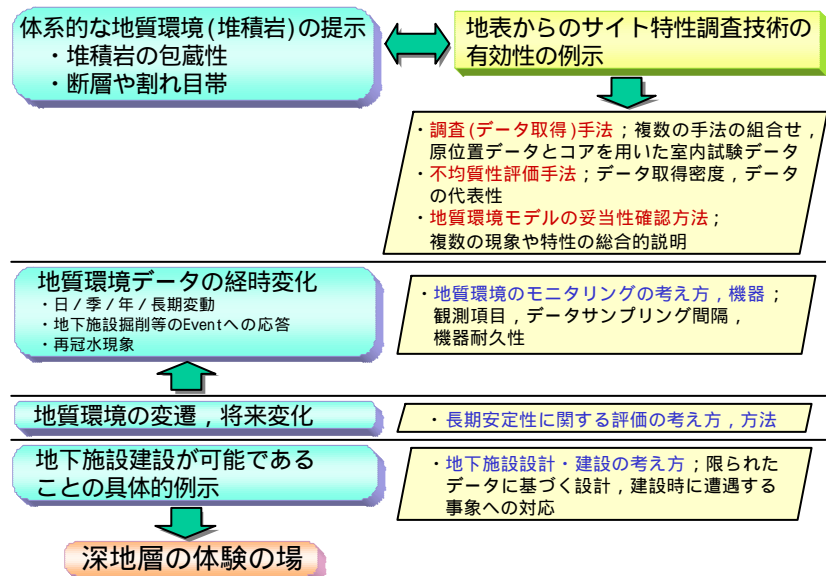


図1 幌延深地層研究計画の成果のイメージ

3. 研究所設置地区の選定

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、安全に地下施設を建設でき、研究環境を確保できることが基本的な要件となる。

研究所設置地区の選定にあたっては、まず平成12年度末に文献等の既存資料に基づき、新第三紀の主に泥岩からなる声間層、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)を抽出した(図2)。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及び隣接している問寒別地区の民有地・町有地等を除く範囲を対象に、平成13年度に空中物理探査(磁気、電磁、自然放射能探査)、地上物理探査(電磁探査)、地質調査を実施した。

次に、これらの区域の中からガスの産出記録(長尾, 1969)や社会的側面等を考慮して、B1区域とB2区域において試錐調査(2孔)を実施した(図2)。

試錐調査地点(HDB-1, 2孔)は、それぞれの区域内において、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た。

試錐調査により、研究の対象となる地層が深さ500m付近に十分な厚さで分布すること及び塩水系地下水が存在することを確認した。また、試錐調査によって得られた地層の力学的強度やガスのデータに基づき、地下施設を安全に建設できることを確認した。これにより、B1区域、B2区域ともに研究所設置地区としての基本的な要件を満たしていると判断した(サイクル機構, 2002)。

次に、B1、B2区域の中から研究所設置地区の候補を選定した。研究所設置地区は、地表からの調査や施設の建設を効率的に行う上で、地形が開け、道路が整備されていることに着目して、B1区域の北進地区とB2区域の上幌延地区を最終の候補地とした。

次に、北進地区と上幌延地区を比較した結果、試錐調査で得られた地質学的条件では、上幌延のHDB-2孔では割れ目が発達し、ガスの湧出を認めたこと、北進地区の方がより地形が開け、道路が発達していること、土地利用状況についても北進地区の方が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多いこと等を総合的に判断して、平成14年7月に北進地区の約3km四方を研究所設置地区として選定した(図3)(山崎ほか, 2002)。

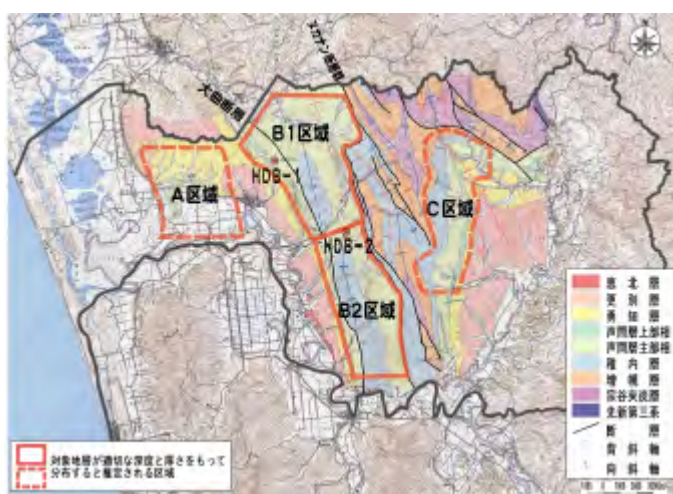


図2 研究所設置対象区域と試錐調査位置

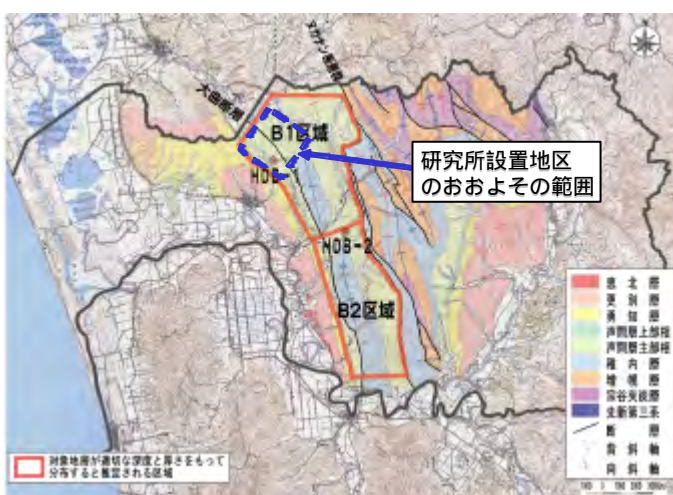


図3 研究所設置地区

4. 調査研究の進捗状況

平成14年度は、平成13年度に開始した地質環境データ取得のための地表からの調査で得た経験や知見を活かし、例えば、水垂れ試験機にガス存在対応として、ガス/水2相状態で揚水可能なポンプ、ガス/

水分離槽の改良，定方位コア取得手法等の新たな調査手法の導入等，具体的に調査手法に工夫を加え，また，堆積岩中に掘削した試錐孔は自立性が低いことから，試錐孔を用いた試験に加え，試錐コアからの地下水の抽出等の試錐コアを用いた試験を組み合わせ，ガスが存在する軟岩である泥岩中の地質環境データを取得してきている。

一方，これまでの調査により，地層は極めて単調な珪藻質の泥岩であり，この時代（新第三紀）の泥岩として一般的な岩盤力学強度を有していること，地下水は淡水系の地下水と塩水系の地下水が存在すること，地下水にはメタンを主体とするガスが容存していること，地下水は試錐孔の位置や深度により特徴的な水素/酸素同位体比分布を示すこと，また，局部的ではあるが非常に高い水圧を有する被圧地下水が存在すること等，この地域の地層や地下水の特徴が理解されつつある。その特徴の中で，地質環境特性の分布の不均質性という観点からは，平成13年度のHDB-1孔で得られた岩盤力学データは，その近傍の平成14年度のHDB-3孔のそれと整合的であるが，一方で，平成13年度データからは地層の透水性は全般に低く，地下水は基本的に塩水であるだろうと考えられたが，HDB-1孔から2km程度離れた平成14年度のHDB-4孔では4桁以上大きな透水係数を，HDB-5孔では淡水系の地下水の存在が確認されている。

このように，平成14年度は，平成13年度からの知見を踏まえつつ，研究所設置地区とその周辺地区において物理探査，地質調査，表層水理調査，試錐調査を実施中である（図4）。これらの調査により得られたデータに基づいて同地区の地質環境特性を把握するとともに，地質環境のモデル化を行う。地質環境モニタリング技術の開発では，平成13年度に掘削した試錐孔への長期モニタリング機器の設置を行い，地下水の圧力計測を実施中である。また，地質環境の長期安定性に関する研究では，地震観測用の地震計，地殻変動観測用のGPS（Global Positioning System）観測機器，MT観測機器を設置して観測を実施中である。

さらに，深地層における工学的技術の基礎の開発では，選定した研究所設置地区を対象として地下施設の基本レイアウト，基本的な施工計画を策定中である。

地層処分研究開発では，東海事業所と連携し，第2段階以降の地層処分研究開発の計画を具体化するために，人工バリアの定置等に関する室内試験，低アルカリ性コンクリート材料に関する室内試験等を実施中である。

また，今後の研究課題を整理するため，安全評価において重要となる地質環境データや現象の整理ならびに量や精度等の検討を実施中である。

地上施設に関しては，地形測量を実施し，それに基づいて研究所設置地区を対象に造成等に係わる基本設計を実施中である。

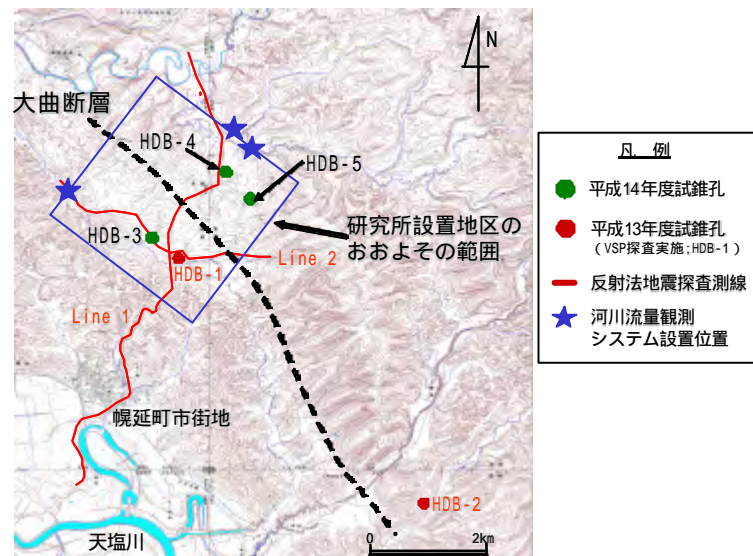


図4 平成14年度調査研究位置図

4.1 地層科学研究

1) 地質環境調査技術開発

平成14年度は，物理探査，地質調査，試錐調査を行い，地層の分布や断層等の地質構造に関するデータ，地層の透水性や地下水の圧力・水質，岩盤力学データを取得し，また，表層水理データ取得のための河川流量計の設置や，今後追加設置する機器の検討を実施してきている。

物理探査

平成 14 年度は、地層中を伝わる地震波の速度の違いに着目した反射法地震探査、VSP(Vertical Seismic Profiling) 探査を実施し、研究所設置地区とその周辺地区の地表から地下 2000m 程度までの地質構造をより詳細に推定するためのデータを取得した。反射法地震探査では、南北約 10.7km、東西約 4.3km、合計約 15km の測線を設定した(図 4)。地震波の発振源には大型バイブレータを 2 台、市街地では小型バイブレータを 1 台使用して調査を行い、発振は測線上を 50m 間隔で実施した(図 5)。地震波の受振には地震計を用い、地震計は 25m 間隔に測線上の道路の路肩に設置した。結果については、現在、詳細解析中であるが、図 6 に南北測線の速報段階の断面図を示す。

この断面図の横軸は測線方向、縦軸は深度で表示しており、地表から地下 4000m 程度までの反射波が捉えられている。1000m 以浅の反射面の傾向は、HDB-1 孔の南側では南傾斜の連続性の良い強反射面が幌延町市街地の地下まで確認でき、その南側では緩い北傾斜の連続性の良い反射面が確認できる。HDB-1 孔の北側では、緩い北傾斜の連続性の悪い反射面が確認できる。この HDB-1 孔から HDB-4 孔にかけての不連続部分は大曲断層の影響による可能性がある。今後、試錐調査のデータを用いて反射面と地質との対比等を行い、地質構造を推定する計画である。

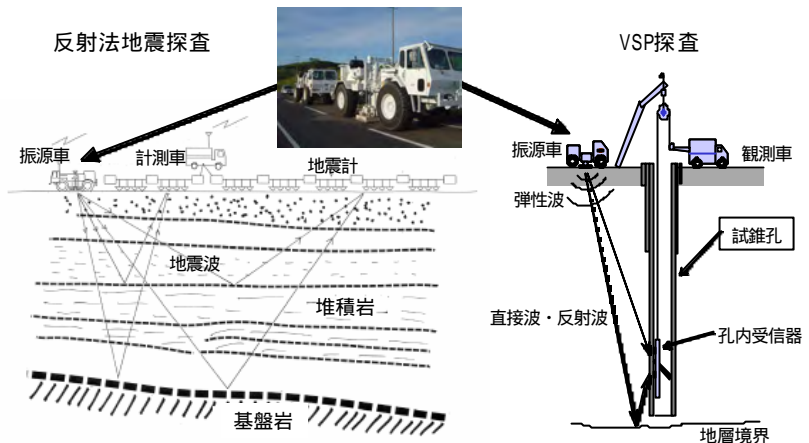


図5 反射法地震探査、VSP 探査の概念

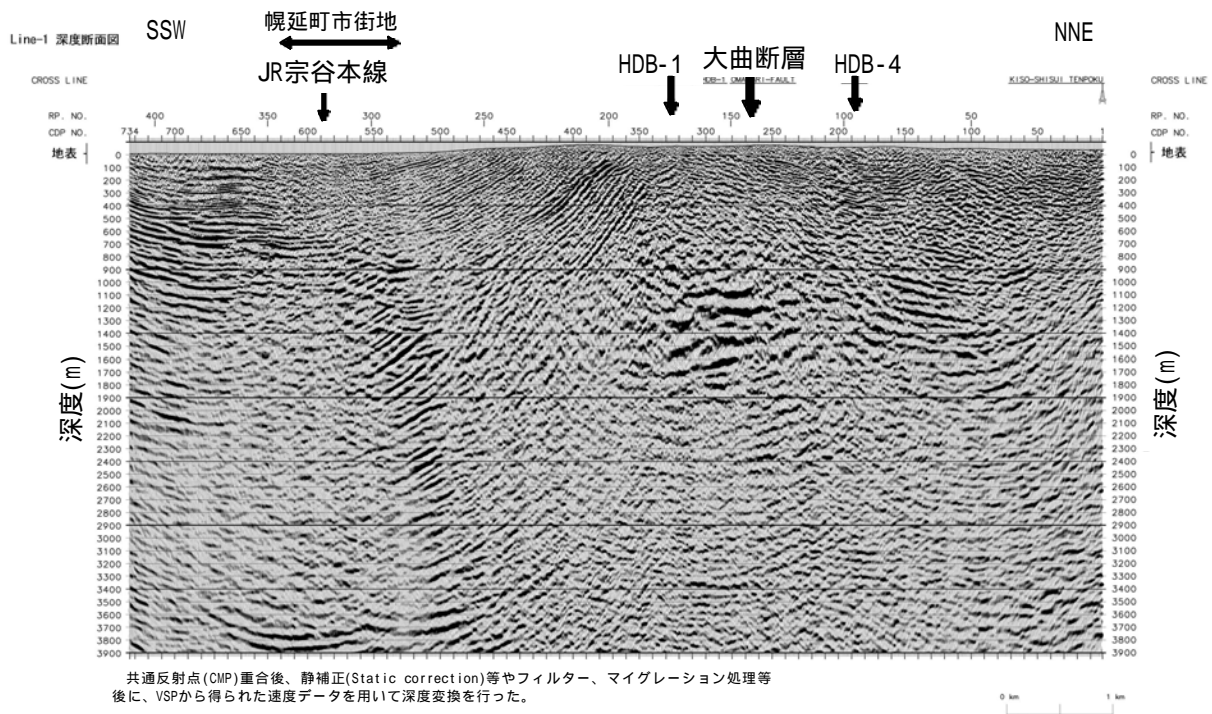


図6 反射法地震探査結果

試錐調査

平成 13 年度に実施した空中物理探査、地上物理探査、地質調査、試錐調査の結果を基に、研究所設置地区において深度 520m の試錐孔を 3 孔(HDB-3,4,5 孔)掘削し(図 4)、岩芯(コア)を用いた室内試験、

掘削途中及び掘削終了後の試錐孔を用いた水理試験や、孔内水圧破碎試験を実施した。これらの調査では、地質、水理、地球化学、岩盤力学、ガスの有無・存在量に関するデータを取得し、その結果を地質環境モデルの構築や地下施設の設計に反映する。

試錐調査の結果、大曲断層の西側と推定される HDB-1,3 孔では、深度 400m 付近まで珪藻化石が保持される珪藻質泥岩が分布するが、大曲断層の東側と推定される HDB-4,5 孔では珪藻質泥岩の分布はそれぞれ深度 170m 付近及び深度 100m 付近までとなっており、下位の硬質頁岩の出現深度が浅くなっている(図7)。

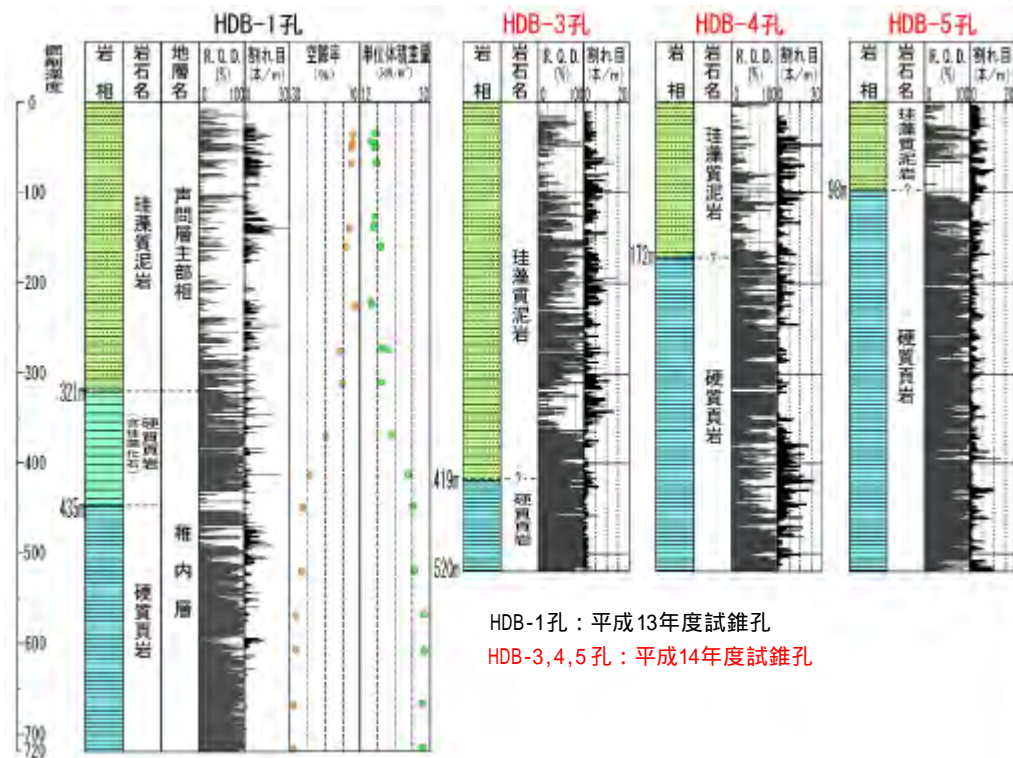


図7 地質柱状図

コアを使った力学試験で得られた HDB-3, 4 孔の一軸圧縮強度を平成 13 年度の HDB-1 孔の結果と比較したものを図8に示す。HDB-3 孔は、主に HDB-1 孔と同様な珪藻質泥岩を掘削しており、その一軸圧縮強度は HDB-1 孔とほぼ同様である。また、HDB-4 孔の硬質頁岩部では、最高 29MPa 程度の一軸圧縮強度を示す。

試錐孔内での水理試験による透水係数は、HDB-3, 5 孔で 10^{-7} m/sec から 10^{-9} m/sec オーダーの値を示した。また、HDB-4 孔では、掘削時に逸水が認められた箇所でも 10^{-5} m/sec オーダーの高い透水係数を確認した。現在、試験区間の地質、割れ目等との関係について検討中である。ガスに関しては、水理試験時に HDB-3 孔で 0.8 リットル/min のガス量、HDB-4 孔で 8 リットル/min のガス湧出を確認した。

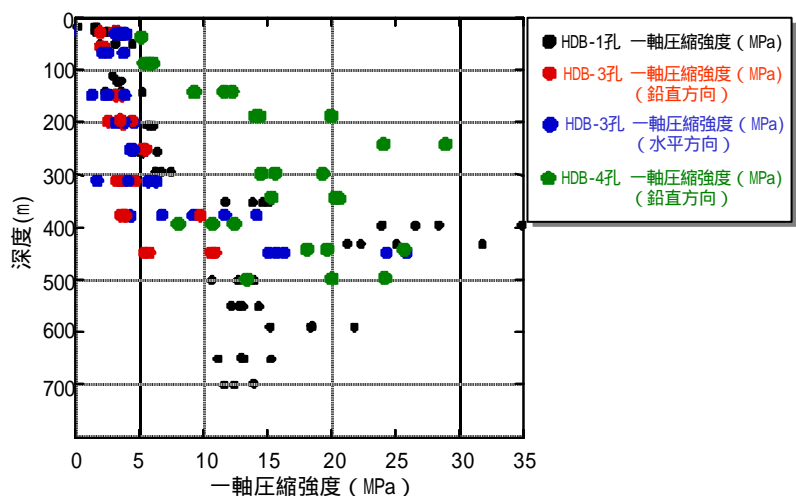


図8 コアを用いた一軸圧縮試験結果

2) 地質環境モニタリング技術の開発

長期モニタリングでは、地下施設建設前から地下水の圧力や水質等の観測を開始し、各調査活動や地下施設の建設による影響、その後の回復過程を系統的にモニタリングするために、平成13年度の試錐孔(HDB-1孔)に長期モニタリング装置を設置し、データ取得を開始した。HDB-1孔のケーシングパイプには火薬で9ヶ所モニタリング孔を空けてあり、この9ヶ所にMPシステムを設置した。

各区間の設置当初の圧力は水頭換算で+3~4m(一部+10m以上)程度であるが、一部区間で低い水頭値を示す(図9)。

地下施設の建設前、建設中、建設後の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については、反射法地震探査、地上電磁探査、地殻変動観測用MT観測機器のデータを総合的に評価して、研究所設置地区及びその周辺地区の環境ノイズの把握に関する検討を実施している。

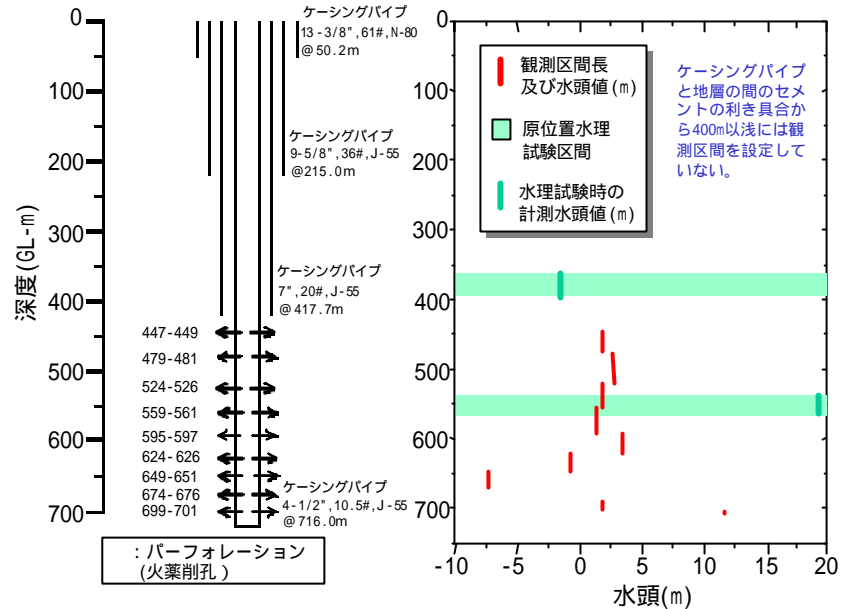


図9 HDB-1孔の観測区間と観測結果

3) 深地層における工学的技術の基礎の開発

研究所設置地区を対象として地下施設の基本レイアウト、基本的な施工計画の策定を行っている。施工計画の策定では、地下施設における調査研究の他、施設の安全性を確保するために岩盤特性に応じた地下空洞の安定性を評価するとともに、施設の通気や防災対策等を十分考慮して進める。現在、研究所設置地区の開発のために必要な許認可手続き等を進めている。研究所設置場所については、用地取得や許認可の観点から、公共機関の土地で原野であること、また、平成13年度の試錐孔(HDB-1孔)のデータを使えること等を考慮し、幌延町のトナカイ観光牧場に隣接する土地を候補地として選定した(図10)。また、地下施設のレイアウトとしては地下250mと500mに試験坑道を展開することとし、アクセス方式については立坑方式とスパイラル方式を比較検討した結果に基づき、経済性が良く、工期の短い立坑方式を採用することとし、かつ安全性の観点から立坑3本方式とした(図11)(白戸, 2002)。

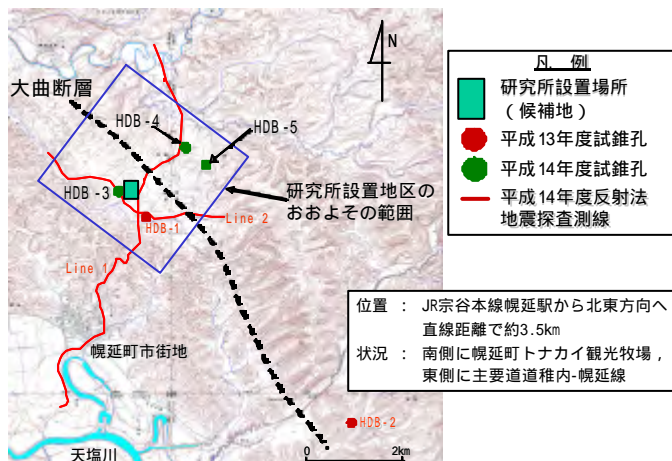


図10 研究所設置場所(候補地)

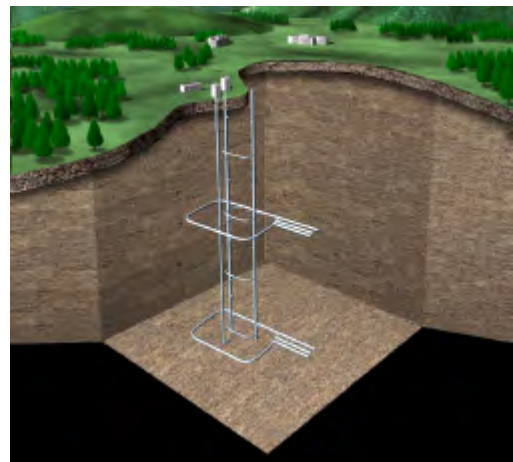


図11 地下施設のイメージ(立坑3本)

4) 地質環境の長期安定性に関する研究

試錐孔内設置型地震計を設置するための試錐孔(深度140m)を掘削し、地震計を設置して地震観測を開始した。また、地殻の歪み等の観測を行うための、地殻変動観測用 MT 観測機器、GPS(Global Positioning System)観測機器を設置して観測を開始した。今後、防災科学技術研究所が設置している Hi-net 等、近傍の他の地震観測データと併せて震源分布の推定等を行う。

4.2 地層処分研究開発

地層処分研究開発については東海事業所と連携して進めており、処分技術の信頼性向上では、主に第2段階以降に坑道を用いて行う試験研究計画の具体化のための検討を行っている。また、安全評価手法の高度化については、安全評価に必要なデータの項目、量、精度の確認、モデルの適用と改良を行うこととしており、課題の整理等を実施している。

1) 処分技術の信頼性向上

人工バリアの搬送装置や支保工材料、坑道閉鎖、周辺岩盤を含む人工バリアの長期挙動に関して、第2段階以降に地下施設で行う試験計画(目的、内容、レイアウト等)の検討を進めている。併せて、計画の具体化のために、人工バリアの搬送装置に求められる精度を検討する観点から、緩衝材とオーバーパックの間に生じる隙間が緩衝材機能に及ぼす影響を把握する室内試験を実施しているほか、低アルカリ性コンクリート材料の施工性等に関する室内試験を実施している。また、第2次取りまとめで示した人工バリア設計手法の実際の地質環境への適用性を検討する観点から、幌延の地質環境データを用いた人工バリアの試験等を実施中である。

2) 安全評価手法の高度化

研究所設置地区及びその周辺地区について、文献情報や試錐調査等から得られるデータを用いて、取得データの安全評価への取り込み方法や取得データが増えることによる解析結果への効果、その不確実性の変化等について確認し、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ならびに、データに求められる量や精度等を明らかにするための研究課題の整理を実施中である。

さらに、米国 SNL(Sandia National Laboratories)との共同研究の中で幌延のデータを用いた、物質移行に関する感度解析の実施について調整中である。

5. 環境調査

地下施設の建設等が環境に与える影響を未然に防止する観点から、研究所設置地区を対象に自主的な環境調査を実施中である(図12)。これまでに、夏季(平成14年8月26日~31日)と秋季(9月30日~10月9日)に動植物調査と騒音・振動調査を実施した。夏季、秋季調査の結果、重要種としてエゾサンショウウオ、ヤマメ、エゾトミヨ等の動物や、ハイドジョウツナギ、ノダイオウ等の植物を確認した。現在は、冬季(平成15年の2月3日~7日)の動物調査を終了し、結果を取りまとめ中である。



図12 環境調査実施範囲

6. おわりに

幌延深地層研究計画における深地層での研究を通じて得られた成果としての技術や知見は、処分事業の推進や、国が進める安全基準等の具体化に反映するとともに、多くの人々に深地層やそこで行われる研究を実際に見て体験して頂くことにより、深地層の環境や地層処分について理解を深める場としての整備を進めていく。また、広く国内外の機関と協力しながら開かれた研究を推進する。

参考文献

原子力委員会(2000): 原子力の研究, 開発及び利用に関する長期計画 (平成12年11月)

保柳康一, 宮坂省吾, 渡辺 寧, 木村 学, 松井 愈(1986): 衝突帯のタービダイト相研成とテクトニクス-中新世・中央北海道の例-, 地団研専報31, pp.265-284.

核燃料サイクル開発機構 (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 TN1400 2002-004 .

長尾捨一(1969): 北海道の構造性天然ガスについて, 北海道立地下資源調査所報告, No.40, pp.1-5.

白戸伸明 (2002) : 幌延における地下施設の検討状況, 平成14年度地層科学研究情報・意見交換会 -要旨集-, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2002-006 .

山崎眞一, 中司 昇, 浴 信博, 守屋俊文, 竹内竜史, 國丸貴紀, 白戸伸明, 尾方伸久 (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 TN1400 2002-017 .