

**幌延深地層研究計画
平成19年度調査研究成果報告
(概要版)**

平成20年7月

日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター



1. はじめに

幌延深地層研究計画は、独立行政法人日本原子力研究開発機構が、堆積岩を対象とした深地層の研究を北海道幌延町で実施しているものです。

本計画は、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）」の三つの段階に分けて実施することとしており、平成19年度は第2段階の3年目にあたります。

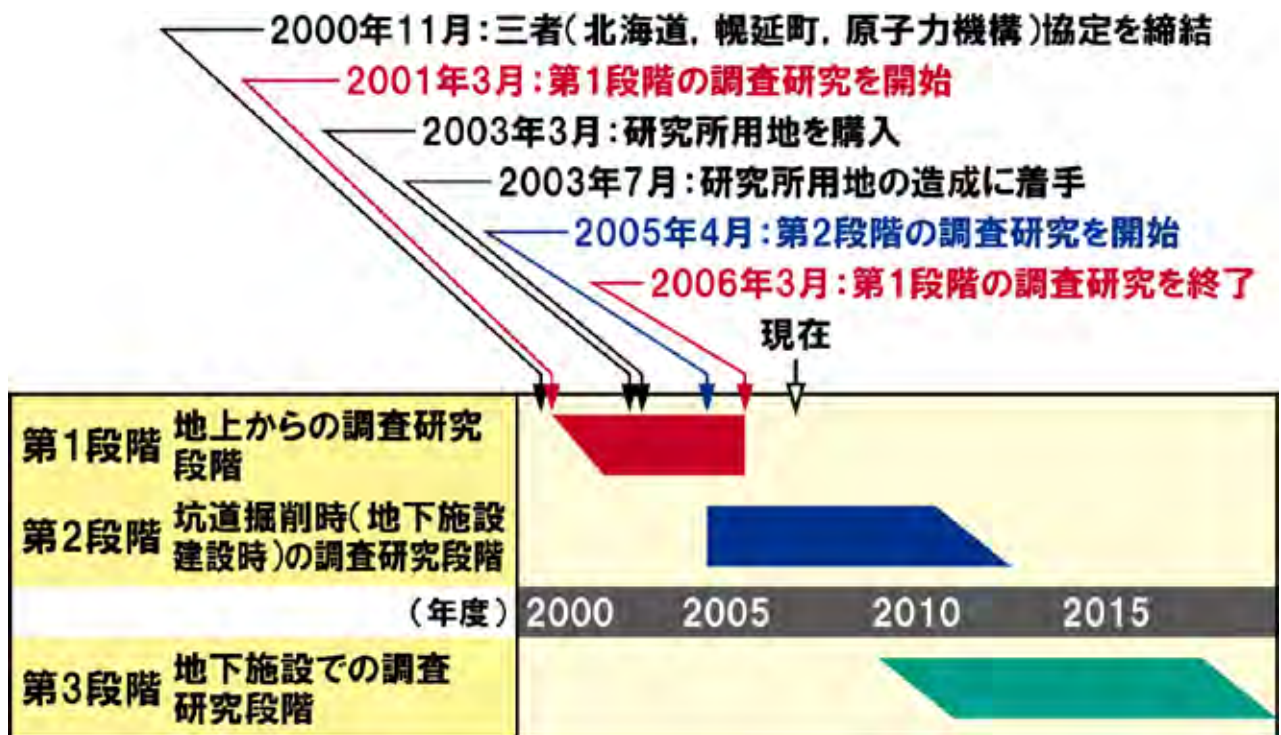


図1 幌延深地層研究計画スケジュール

2. 平成 19 年度の主な調査研究

～ 報告書目次より～

3. 地層科学研究
 - 3.1 地質環境調査技術開発
 - 3.2 地質環境モニタリング技術開発
 - 3.3 深地層における工学的技術の基礎の開発
 - 3.4 地質環境の長期安定性に関する研究
4. 地層処分研究開発
 - 4.1 処分技術の信頼性向上
 - 4.2 安全評価手法の高度化
5. 地下施設の建設
6. 地上施設の建設
7. 環境モニタリング
 - 7.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査
 - 7.2 地下施設の建設に伴うモニタリング調査
8. 開かれた研究
 - 8.1 国内機関との研究協力
 - 8.2 国外機関との研究協力

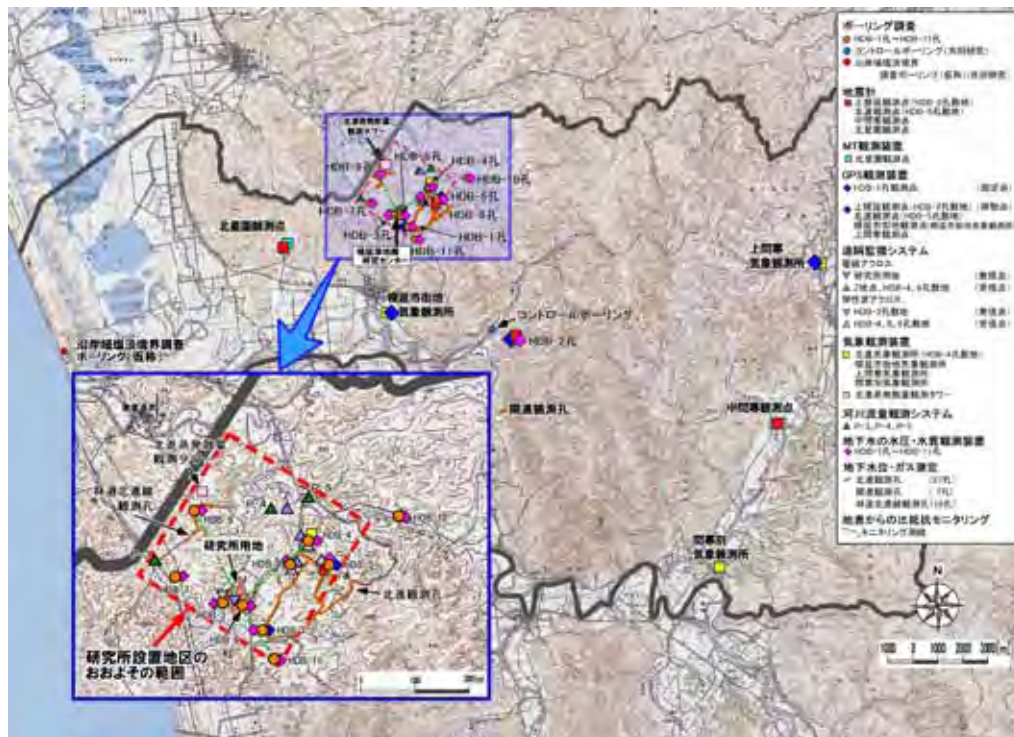


図2 調査研究に関わる観測装置などの設置場所

国土地理院発行5万分の1の地形図「稚咲内」「豊富」「上猿払」「雄信内」「敏音知」「天塩」を使用

3. 地層科学研究

3.1 地質環境調査技術開発

平成19年度は、換気立坑先行ボーリング調査および換気立坑の深度80m、120mにおいて実施したボーリング調査で得られたコアを用いて室内物理試験・力学試験を実施しました。また、換気立坑の深度140mの水平坑道（小型試錐座）で声問層を対象とした原位置での初期地圧測定を実施しました。

図3にコアを用いた室内物理試験・力学試験結果の一例として、一軸圧縮強さの結果を示します。図では、稚内層と声問層の境界を0mとして物性値を比較しています。これまでに取得されている換気立坑近傍のボーリング調査（HDB-3、6孔）から取得した物性値（図の×印）の分布と今回取得された物性値（図の●印：換気立坑先行ボーリング、△印：換気立坑内からのボーリング）の分布が調和的であることが確認されました。声問層を対象とした原位置での初期地圧測定を換気立坑の深度140m小型試錐座において掘削した3本のボーリング孔にて、水圧破砕法で実施しました。図4に初期地圧測定用のボーリング孔の掘削状況を示します。

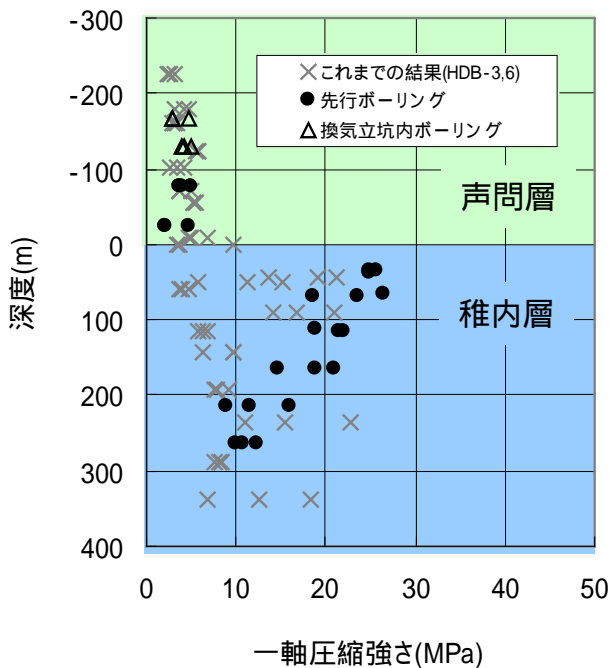


図3 室内力学試験結果の一例
(一軸圧縮強さ)



図4 初期地圧測定用ボーリング孔の掘削状況

3.2 地質環境モニタリング技術開発

平成19年度までに、HDB-1～3孔およびHDB-6～10孔に地下水の水圧・水質の長期モニタリング装置（以下、長期モニタリング装置）を設置し、モニタリングを開始しました。また、HDB-4孔では、孔壁保持のために設置したケーシングやケーシング設置時に使用したセメントが地下水の水質に及ぼす影響について調べるため、採水・分析を継続しました。

HDB-4孔では水質観測をボーリング孔掘削時から継続しており、平成19年度までに水質がほぼ一定になったことが確認されました（図5）。このことからHDB-4孔での採水・分析を終了し、HDB-4孔に新たに地下水の水圧観測用の圧力計を設置しました。

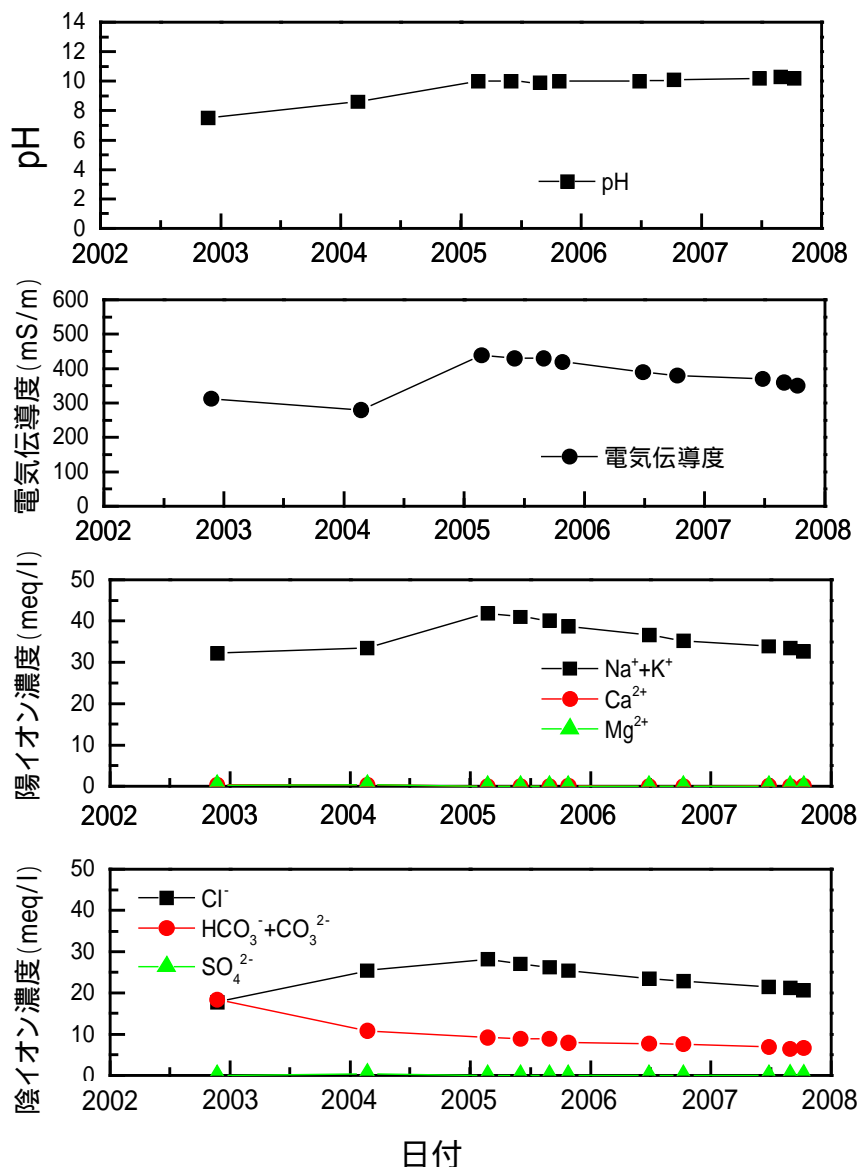


図5 HDB-4孔から採水した地下水の水質分析結果

3.3 深地層における工学的技術の基礎の開発

平成 19 年度は、情報化施工プログラムに基づき、地下施設建設工事を進めながら、地中変位計やコンクリート応力計などの計測機器により取得したデータを分析・評価して、これまでに施工した支保の健全性を監視することで、坑道の安定性評価を行いました。

計測項目は、日常的なデータ取得(日常管理計測)とある頻度でのデータ取得(ステップ管理計測)に区分しました。計測の実施にあたっては、地下施設実施設計で設定した地山区分などを考慮して、計測の頻度・位置などを設定し、データを取得しました。取得したデータを用いて、既設支保の健全性の監視による坑道の安定性評価を行い、次の掘削・施工方法の最適化に反映します。

これまでに取得した岩盤の変位や覆工コンクリートの応力などの計測データを分析・評価した結果、地下施設実施設計で設定した許容値以内であり、既設支保の健全性が確認されました。一例として、図 6 に換気立坑深度 83m における覆工コンクリート応力の経時変化を示します。同図より、覆工コンクリート応力の計測データが許容応力度(6MPa)以下であり、既設支保は健全であることがわかります。

今後は、これまでに引き続き、地下施設建設工事を進めながら、データ取得ならびに分析・評価を行い、設計の妥当性を検証しつつ、後続箇所の施工方法の最適化に反映していく予定です。

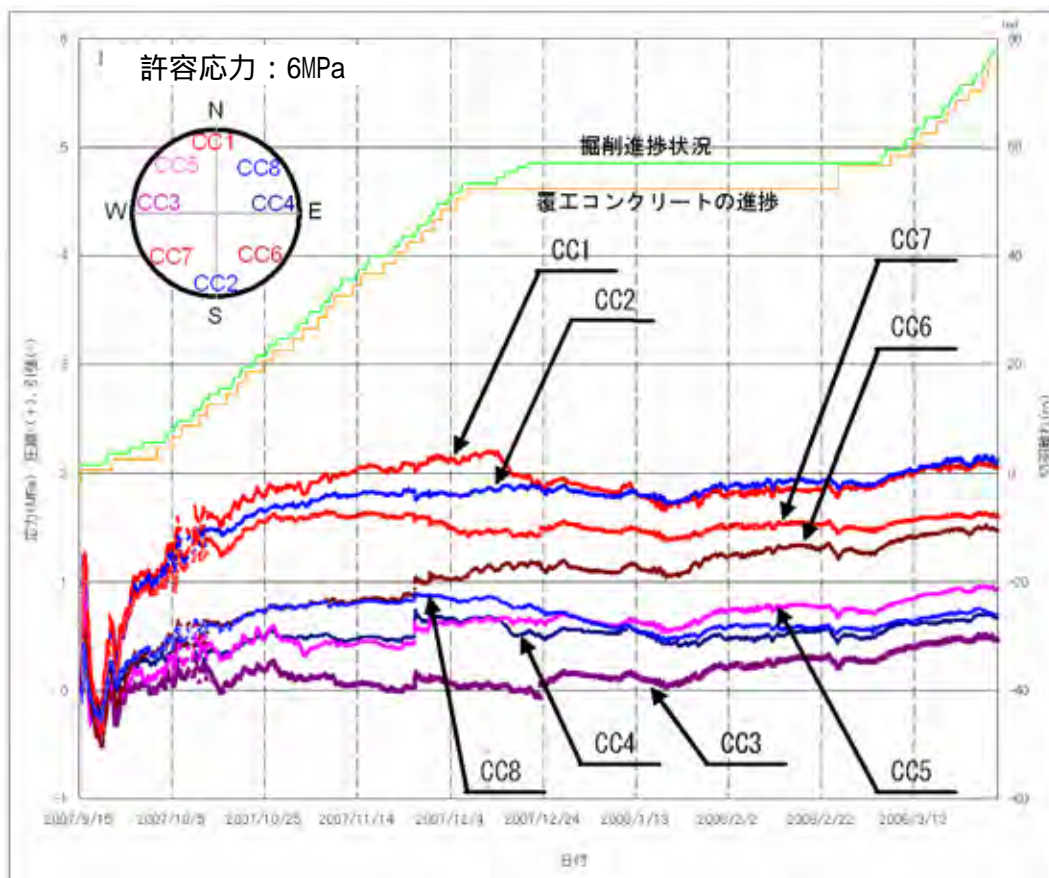


図 6 計測結果の一例
(換気立坑深度 83m の覆工コンクリート応力計測)

3.4 地質環境の長期安定性に関する研究

幌延町を含む北海道北部地域における地殻変動の特徴を把握するため、平成 15 年度までに幌延町内の HDB-1 孔敷地内などに GPS 観測装置を設置し、連続観測を行っています。

平成 19 年度は、過去約 5 年間に取得したデータを使った解析によって、観測期間における北海道北部地域の変位（地殻変動）の傾向を調べました。図 7 は、平成 17 年 1 月から平成 19 年 9 月までの期間に、北海道北部地域にあるそれぞれの GPS 観測点がどの方向にどの程度の速度で動いたかを、矢印の向きと長さで示したものです。この図は、HDB-1 孔観測点を固定点として表示しているため、HDB-1 孔観測点を基準として、他の GPS 観測点がどのように動いたかがわかります。

この結果より、北海道北部地域の地殻は、東西方向に縮む傾向にあることがわかり、北海道北部地域における現在の地殻変動の傾向を把握することができました。

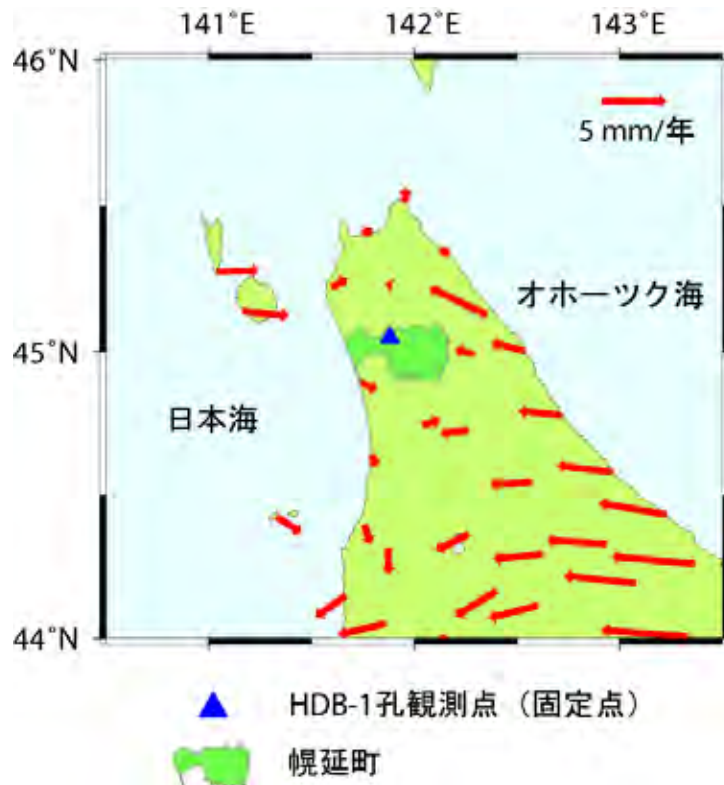


図 7 北海道北部地域における地殻の水平変位速度

4. 地層処分研究開発

4.1 処分技術の信頼性向上

平成19年度は、低アルカリ性セメントを用いた鉄筋コンクリートの耐久性などについて検討しました。具体的には海中に6年間暴露した低アルカリ性セメントを用いた鉄筋コンクリートと、普通ポルトランドセメントを用いた鉄筋コンクリートを比較し、内部の鉄筋の腐食状態を比較しました。また、鉄筋の腐食によってコンクリートにひび割れが生じるまでの期間について検討しました。

コンクリート中の鉄筋の腐食状況を調べるため、海中に暴露したコンクリート試料から取り出した鉄筋を図8および図9に示します。両図を比較すると、HFSC中の鉄筋の方がOPC中のものに比べて腐食しているのがわかります。また、低アルカリ性セメント中の鉄筋の腐食量は、腐食面積の大きさの割に小さな値となりました。これは、発生した腐食は表層部にとどまっていることを示しています。

以上の結果と暴露期間6年までのデータを用いて、普通ポルトランドセメントおよび低アルカリ性セメントを用いて鉄筋コンクリートを作成した場合に、鉄筋が腐食することによって、コンクリートにひび割れが発生する時期と鉄筋の径との関係を予測しました。その結果、普通ポルトランドセメントで110～170年程度、低アルカリ性セメントで30～150年程度で、鉄筋の腐食によるひび割れが発生すること、径の細い鉄筋を用いた方がひび割れの発生時期は遅くなることがわかりました。

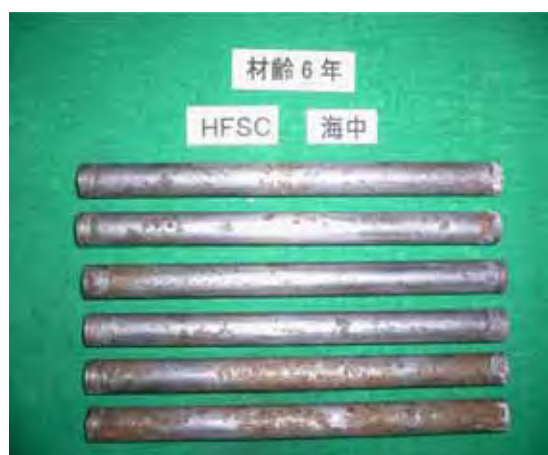


図 8 鉄筋の腐食状況
(低アルカリ性セメント)

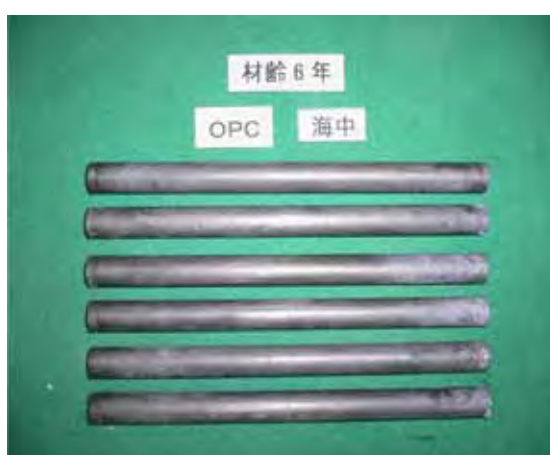


図 9 鉄筋の腐食状況
(普通ポルトランドセメント)

4.2 安全評価手法の高度化

平成 19 年度は、既存のボーリング孔から採取したコアや地下水を用いて岩石中の物質（セシウム、ヨウ素、重水）の拡散特性や収着特性、有機物およびコロイドの特性評価に関する室内試験を継続しました。

拡散試験は、間隙率や細孔径が異なる声問層（HDB-11 孔、深度 400m）と稚内層（HDB-11 孔、深度 590m）から採取したコア試料について実施し、拡散係数は間隙率の減少に伴って低下することや、陰イオンのヨウ素は岩石表面から静電的に排斥される陰イオン排除の効果によって遅延されていると推定できることなどがわかりました。図 10 に堆積岩中の拡散係数（ D_e ）を各物質の水中の拡散係数（ D_o ）で規格化した値（ D_e/D_o ）と間隙率の関係を示します。 D_e/D_o の対数は間隙率と直線的な相関性を持っていることがわかります。他の堆積岩も含めて本試験で得られた堆積岩に対する D_e/D_o もこの関係とよく一致し、幌延の堆積岩は他の堆積岩と類似した間隙構造を有していると考えられます。

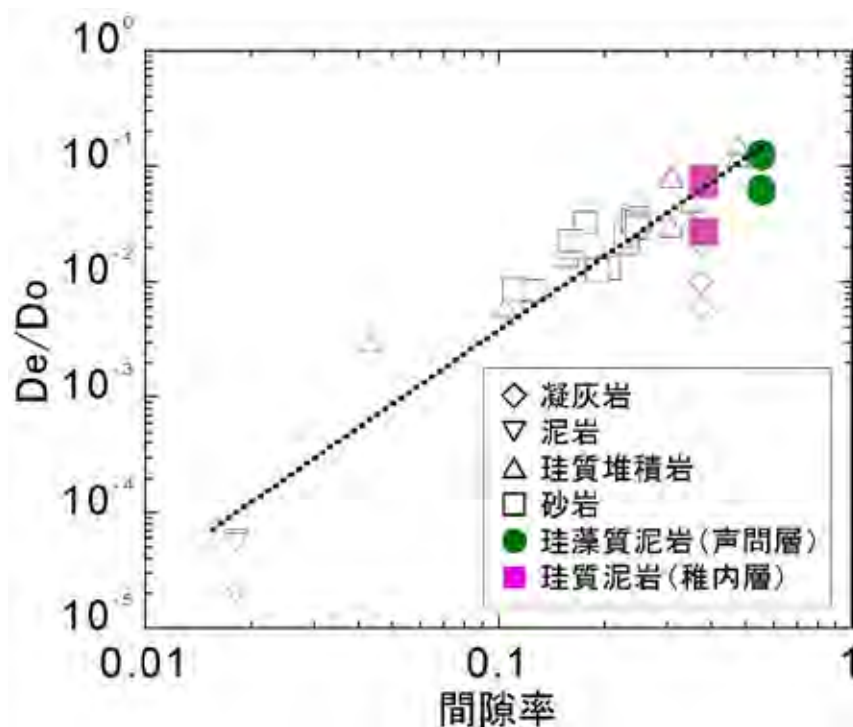


図 10 堆積岩中の拡散係数(D_e)を各物質の水中の拡散係数(D_o)で規格化した値(D_e/D_o)と間隙率の関係

5. 地下施設の建設

平成 19 年度は、平成 17 年度に開始した地下施設工事(第 期)を継続しました。地下施設工事については換気立坑を深度約 161m、東立坑を深度約 110m まで掘削するとともに、換気立坑の深度 70m、140m および東立坑の深度 70m において水平坑道の一部掘削を行いました。また、地下施設関連設備(立坑掘削に必要となる設備)として、換気立坑・東立坑の櫓設備、坑口暖房設備を整備しました。立坑掘削の進捗に伴い発生する湧水量の推定および湧水箇所を特定するため、換気立坑先行ボーリング調査を開始しました。立坑および水平坑道の掘削では、可燃性ガスの存在を考慮し、切羽での防爆仕様機器の使用やガス濃度測定などの可燃性ガス対策を行いながら掘削を進めました。

立坑掘削に伴い発生する排水および掘削土(ズリ)は、建設現場における簡易分析や公的機関による詳細な分析(公定分析)を定期的実施し、適切な管理を行いながら掘削を進めています。

掘削土(ズリ)の分析結果(表 1)から、ホウ素、ヒ素およびセレンは自然的原因岩石に元から含まれているため)により溶出量基準値を超えています。いずれも第 2 溶出量基準値以下でした。地下施設からの排水は、坑道からの湧水(原水)に含まれるホウ素が自然的原因(地下水に元から含まれているため)により高い値を示していますが、排水処理設備からの排水処理後の水はいずれも排水基準値以下となっています。

なお、掘削に伴い発生する坑道からの排水および掘削土(ズリ)置場浸出水については、排水処理設備にて処理した後に排水管路を經由して天塩川に放流しています。

表 1 掘削土(ズリ)モニタリング調査結果(土壌溶出量:公定分析)

分析項目	単位	換気立坑	東立坑	参考値(土壌汚染対策法)	
				溶出量基準値	第 2 溶出量基準値
ホウ素	mg/l	0.1 ~ 10	7.2 ~ 10	1	30
ヒ素		0.005 ~ 0.067	0.010 ~ 0.058	0.01	0.3
フッ素		<0.08 ~ 0.17	<0.08 ~ 0.15	0.8	24
セレン		0.015 ~ 0.031	0.016 ~ 0.027	0.01	0.3
カドミウム		<0.001	<0.001	0.01	0.3
鉛		0.001 ~ 0.004	0.002 ~ 0.005	0.01	0.3
シアン		不検出 (<0.1)	不検出 (<0.1)	不検出	1
六価クロム		<0.005	<0.005	0.05	1.5
水銀		<0.0005	<0.0005	0.0005	0.005
アルキル水銀		不検出 (<0.0005)	不検出 (<0.0005)	不検出	不検出

6. 地上施設の建設

PR施設ゆめ地創館は、平成19年5月に建物本体工事および内装展示物工事が竣工し、平成19年6月末に開館しました。ゆめ地創館は、地層処分の考え方や地底の世界、幌延深地層研究センターが行っている地下深部での研究内容について紹介する展示施設であり、地上50mの展望室や地下展示室へ降下するバーチャル・トランスポーター（疑似体験エレベーター）を備えています。

また、国内外の研究者の交流活動の拠点、および地元住民との交流の場に資することを目的とする国際交流施設（仮称）の実施設設計を行いました。建設は平成20年度より行い、平成21年秋頃の運用開始を予定しています。図11に国際交流施設（仮称）のイメージ図を示します。



図 11 国際交流施設（仮称）イメージ図

7. 環境モニタリング

7.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査

騒音・振動および水質は、平成19年度に地下施設の地上設備工事と一般部での発破掘削を開始していますが、いずれも工事着手前と比較しておおきな変化は認められませんでした。

魚類は、過年度と較べて大きな変化がみられず、6科8種が確認されました。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魚類を抽出しました。確認された重要種は、スナヤツメ、ヤマメ、ヤチウグイ、エゾウグイ、エゾトミヨ、ハナカジカの計6種でした。

ハイドジョウツナギは、移植地への活着および自生地の個体と同様の伸長成長が確認され、さらには平成18年度と同様に多数の繁殖個体(開花個体)も確認されました。

植物群落は、主要種において造成工事などの着手前と比較して生育状況に変化は認められませんでした。

表 2 環境モニタリング調査実施内容(平成19年度)

調査項目	調査実施日	調査方法
騒音	春季：平成19年 6月 5日～ 6日 夏季：平成19年 9月 5日～ 6日 秋季：平成19年10月30日～31日 冬季：平成20年 2月 5日～ 6日	「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」および「騒音に係る環境基準の評価マニュアル」に示す方法
振動	春季：平成19年 6月 5日～ 6日 夏季：平成19年 9月 5日～ 6日 秋季：平成19年10月30日～31日 冬季：平成20年 2月 5日～ 6日	「特定建設作業の規制に関する基準」に示す方法
水質	春季：平成19年 6月 5日 夏季：平成19年 9月 4日 秋季：平成19年11月 8日 冬季：平成20年 2月 5日	「水質汚濁に係る環境基準、生活環境の保全に関する環境基準(河川)」に示す方法
魚類	春季：平成19年 6月 4日 夏季：平成19年 9月 5日 秋季：平成19年10月 9日	目視観察・採捕調査
ハイドジョウツナギ	春季：平成19年 6月 4日 夏季：平成19年 8月29日	目視観察
植物群落	春季：平成19年 6月 4日 夏季：平成19年 8月29日 秋季：平成19年10月 9日	コドラート調査 ^{*1}

*1：1m×1m程度の調査区(コドラート)を設定し、調査区内の植物の生育状況(種類、占有面積、生育密度など)を詳細に把握し、毎年度の調査によって、変化の状況を確認する方法です。

7.2 地下施設の建設に伴うモニタリング調査

水質モニタリング調査については、立坑掘削に伴い発生する排水、掘削土(ズリ)置場からの浸出水、排水処理設備にて処理後の水、掘削土(ズリ)置場とその周辺の地表水、清水川および排水の放流先である天塩川において、水質モニタリング調査を実施しました。

水質モニタリングの調査項目は、表3に示すとおりであり、水質汚濁防止法の排水基準および北るもい漁業協同組合との協定書に記載されている分析項目などです。モニタリング調査の詳細な結果は、ホームページ^{*2}で公開しています。

掘削土(ズリ)置場周辺の浅い地下水、清水川および天塩川の水質モニタリング調査結果から、周辺環境への影響は見られないことを確認しました。

表 3 地下施設の建設に伴う水質モニタリング調査項目

調査対象	調査地点	調査頻度	主要な分析項目*
坑道からの排水	排水処理施設(原水槽)	1回/月	カドミウム ヒ素 セレン フッ素 ホウ素 pH 浮遊物質 塩化物イオン濃度、 ほか
掘削土(ズリ)置場 浸出水	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池		
排水処理設備にて 処理後の水	排水処理施設(揚水設備)		
清水川	掘削土(ズリ)置場の近傍および幌延深地層研究センターの近傍(計2地点)		
天塩川	放流口前面(河口から19km)および放流口の上流・下流(各1km)の表層・中層・深層(計9地点)		

*: 水質汚濁防止法および北るもい漁業協同組合との協定書等により、「主要な分析項目」以外の分析項目については、別途、4回/年実施している。また、「掘削土(ズリ)置場周辺の浅い地下水」については、土壤汚染対策法に準じて、4回/年実施している。

*2: ホームページ URL ; <http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/>

8. 開かれた研究

幌延深地層研究計画で実施する地下深部を対象とした研究は、以下に示す研究機関との共同研究や研究協力をはじめ、そのほかにも広く関連する国内外の研究機関や専門家の参加を得て進めています。

8.1 国内機関との研究協力

n 大学などとの研究協力

- 北海道大学：
圧縮ベントナイト中の溶存ガスおよび溶存物質の移動経路の評価に関する研究
- 筑波大学：
幌延の岩石の反応性、pHの緩衝作用に関する考察
- 東京大学：
塩素安定同位対比を用いた水理地質構造モデル評価技術に関する研究
- 武蔵工業大学：
微量元素の放射化学分析手法に関する研究

など

n その他の国内研究機関との研究協力

- 財団法人 電力中央研究所：
地質・地下水環境特性評価に関する研究
- 幌延地圏環境研究所：
岩石コアや地下水の提供、定期的な情報交換
- 清水建設株式会社：
化学平衡論解析を用いた地下水流動調査に関する研究
地質環境モデル構築技術の高度化に関する研究
- 三井住友建設株式会社：
溶存メタンガスセンサーによる原位置メタン量測定法に関する研究

など

8.2 国外機関との研究協力

- Nagra (スイス)：
第1段階取りまとめに関する技術レビューワークショップの開催
換気立坑先行ボーリング調査に関する意見交換の実施
- モンテリ・プロジェクト (スイス)：
難透水性堆積岩の地球科学的評価試験
鉄材料の腐食に関する原位置試験

など