

**幌延深地層研究計画
平成21年度調査研究成果報告
(概要版)**

平成22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（以下、原子力機構）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。

幌延深地層研究計画では、「原子力政策大綱」に示された「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」として研究開発を進めています。

2. 平成 21 年度の主な調査研究の進め方

幌延深地層研究計画は、「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しています。また、平成21年度は第1期中期計画の最終年度にあたります（図 1）。

調査研究は、これまでと同様に、「地層科学研究」と「地層処分研究開発」に区分して行いました。以降のページからは、平成21年度の調査研究および施設建設などで得られた成果の一部を紹介します。

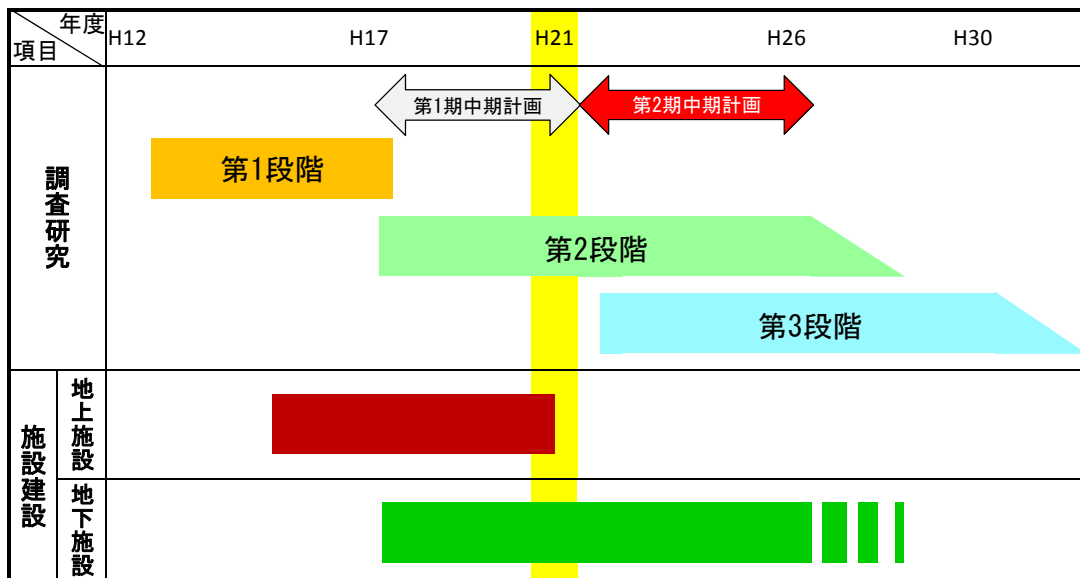


図 1 幌延深地層研究計画の全体スケジュール

3. 地層科学研究

3.1 地質環境調査技術開発

地質構造

声問層の坑道壁面/底盤観察の結果、破砕物を伴う断層の長さはいずれも数m以下であり、その他の割れ目も数十cm程度と短く、これまでの傾向と同様に声問層の割れ目の連続性・連結性は乏しいことが観察されました(図2)。また、湧水箇所も特に認められませんでした。これらの観察結果は声問層の割れ目が地下水の流れに大きな影響を与えていないとする第1段階のモデルと整合的と言えます。

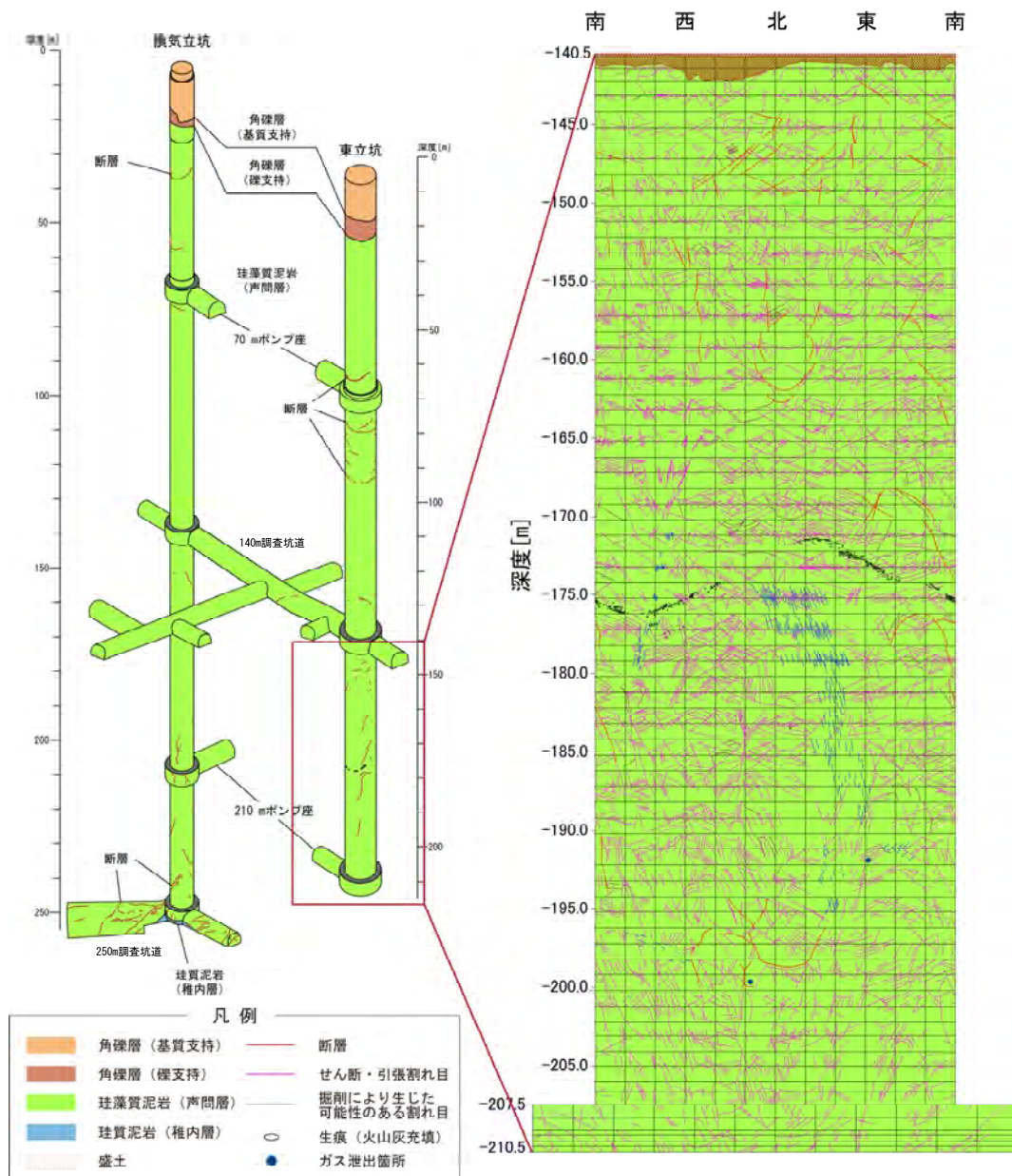


図2 立坑における壁面の地質観察結果(展開図)

また、地下に分布する稚内層中の断層の大きさ（断層を円盤と仮定した時の半径）を把握するために、露頭調査のデータや既存文献などから推定した断層の破碎物の厚さと断層の大きさの関係を用いて、ボーリング孔で遭遇した断層の大きさを推定することを試みました。数十mの距離で近接するSAB-1孔、PB-V01孔、HDB-3孔およびHDB-6孔（図 3）のデータを用いて解析を行った結果、あるひとつの孔から推定される断層の連続性は他の3孔の調査結果と整合的であることを確認しました。さらに、同様な方法を、その他のボーリング孔にも適用して断層の大きさを推定したところ、その頻度分布は他の地域で報告されている多くの研究例と整合的であることが分かりました。

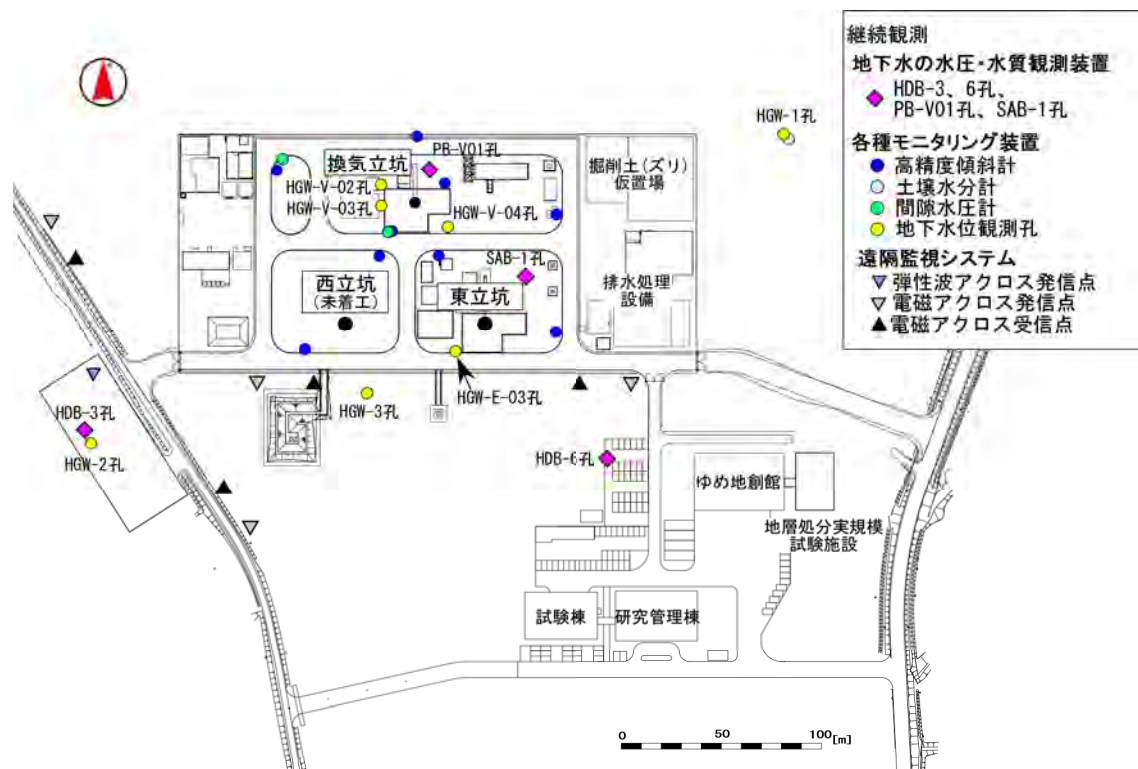


図 3 研究所用地における主な施設と観測装置の配置

地下施設の建設に伴う地下水（水質・水圧）の観測技術開発

地下施設の建設が周辺の地質環境に与える影響を調査するための技術開発を目的として、140m東側第1ボーリング横坑の坑壁から掘削したボーリング孔（08-E140-C01孔：掘削長100m、俯角45°）において、地下水の間隙水圧と水質の同時連続観測が可能なモニタリング装置を設置し、その適用試験を行いました。図4にモニタリング装置の概要を示します。この装置では、パッカーにより区切られた孔内5区間の間隙水圧および地下水の物理化学パラメータ（pH、電気伝導度、溶存酸素、酸化還元電位、水温）の測定を大気に触れないように直接行うことが可能です。湧水の少ない区間では地下水をモニタリング装置に循環させることで、脱ガスのない条件下での連続測定ができる構造となっています。

各モニタリング区間の水圧観測を行った結果、各区間の水圧は深い区間ほど大きくなっており、各区間の水圧を同時に取得できました。また、立坑から遠い区間①に比べ立坑に近い区間③、④、⑤では、坑道掘削の影響と考えられる間隙水圧の低下が確認されました。加えて、地下水の水質は中性のpH（約7）であり、溶存酸素もなく極めて還元的な環境であることが明らかになりました。

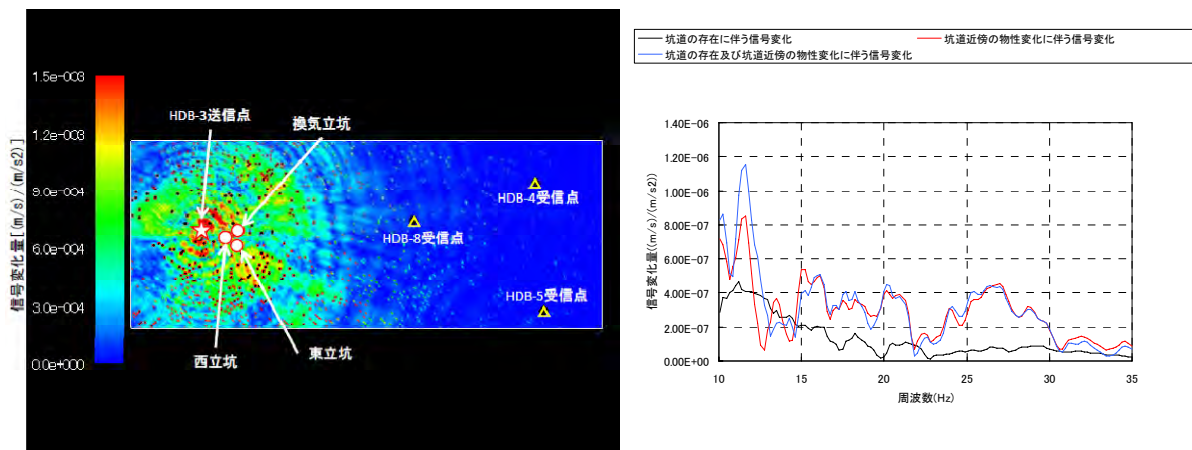


図4 地下水の間隙水圧・水質モニタリング装置の概要

3.2 地質環境モニタリング技術開発

遠隔監視システムの送受信点の配置や、これまでの調査研究によって明らかになった研究所周辺の地質構造、さらには地下施設の建設に伴う立坑近傍の地質環境の変化（立坑近傍における地下水の飽和度の低下）を想定した地下物性値モデルをもとに、送信された弾性波や電磁波がどのように伝わるかをコンピュータ上で模擬（波動場シミュレーション）しました。このようなシミュレーションによって、実際に観測を行っている各受信点、あるいは仮想の受信点ではどのような信号が受信され、地下施設の建設に伴う地質環境の変化により受信信号にどのような変化が現れるかを検討しました。

図5は、弾性波についてのシミュレーション結果の例です。この例は、立坑からの距離が450m以内の領域で地下水の飽和度や密度などが変化した場合の地表で観測される信号の変化の程度（信号変化量*1）を示しています。このうち、図 5(a)は信号の周波数を22.81Hzとした場合の平面分布です。この図から、信号変化量は立坑から遠ざかるにつれて小さくなることや、方向によって変化の程度が異なることが分かります。また、図 5(b)は送信点から約1km離れたHDB-8受信点での信号変化量を様々な信号の周波数について計算した結果を示しています。この図からは、同じ受信点でも、送受信する信号の周波数の違いによって、信号変化量が異なることが分かります。



(a) 信号の周波数を22.81Hzとした場合に地表で観測される速度HtT成分信号変化量の平面分布

(b) HDB-8受信点で観測した場合の各周波数での速度の信号変化量（複素空間での差の絶対値）

図 5 弾性波についてのシミュレーション結果の例
立坑近傍の地質環境に変化が生じた場合に観測される弾性波信号変化の程度（信号変化量）

*1: 弾性波アクロスにおける速度の信号は、複素伝達関数 $[(m/s) (速度) / (m/s^2) (加速度)]$ として観測されます。

3.3 深地層における工学的技術の基礎の開発

140m調査坑道では、平成20年度に掘削した区間での切羽観察による地山評価の結果、地上からの調査による予測よりも良好な地山であると判定されたため、施工方法の見直しを図りました。地下施設実施設計では、周辺地山のゆるみによる荷重増分を最小限に抑えるためにインバート*2を含む全断面を掘削し、吹付けコンクリートによる早期の閉合を繰り返す施工方法を計画していましたが、施工性ならびに安全性の向上・コスト縮減・工程短縮を目的として、インバートの掘削と吹付けコンクリートを一括して最後に施工とする方法に見直しました。施工にあたっては、支保の健全性を確認するため、計測により坑道の変位や支保の応力状態を確認しながら進めましたが、支保部材の最大応力は長期許容応力度以下で収束し、インバートの一括施工による変位や応力の変化もほとんどありませんでした。図 6に東側調査坑道の計測結果の一例を示します。この結果を反映し、後続の250m調査坑道でも同様の施工方法に見直すこととしました。なお、施工に当たっては140調査坑道と同様に、支保の健全性を確認しながら進めます。

今後も引き続き、日常管理計測・ステップ管理計測で取得したデータを分析・評価して、坑道設計の妥当性と支保の健全性を確認していきます。

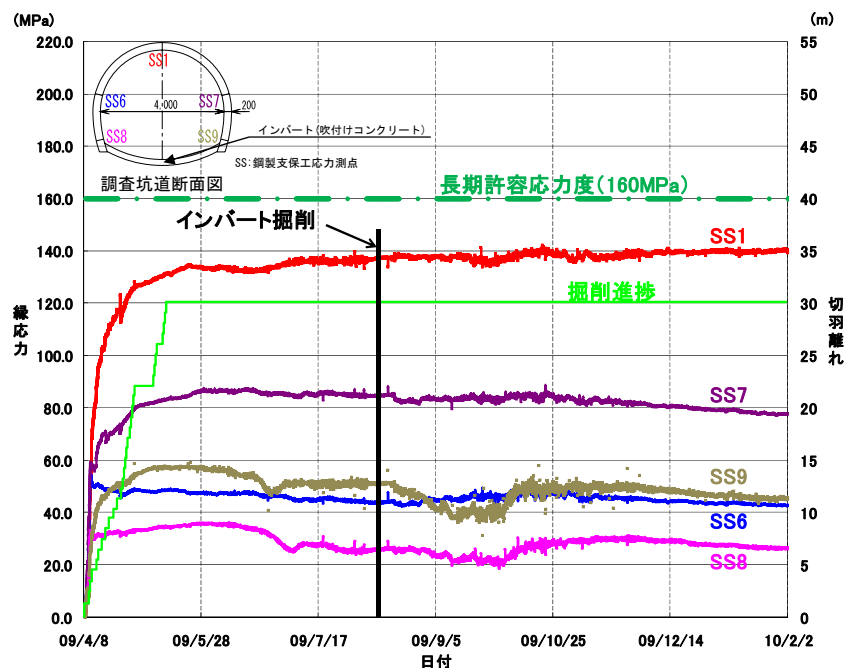


図 6 計測結果の一例
140m東側調査坑道 (TD18.0m) の鋼製支保工応力計測結果

*2: 坑道底面の逆アーチ型の部分のことを言います。

3.4 地質環境の長期安定性に関する研究

地質環境の長期的変遷に関する研究

地形・地質構造と古環境の変遷では、幌延地域の地下水の流れや水質に変化を及ぼしてきたと考えられる気候・海水準変動や地殻変動に関する情報を整理した結果、過去13万年間は現在よりも気温が低く、海水準の低い時期が大半であったこと、地殻変動の傾向は過去13万年間でほとんど変化がなかったことなどが分かりました。

地質環境の長期的変化モデルでは、幌延地域を事例として、これまでに実施してきた地下水流動解析結果などを整理し、隆起・沈降や気候・海水準変動などの自然現象による影響を考慮した地下水流動解析を行うための手法を整備しました。また、その手法を適用して得られた地下水流動解析の結果をアニメーション表示するための描画システムの開発を進めました(図 7)。

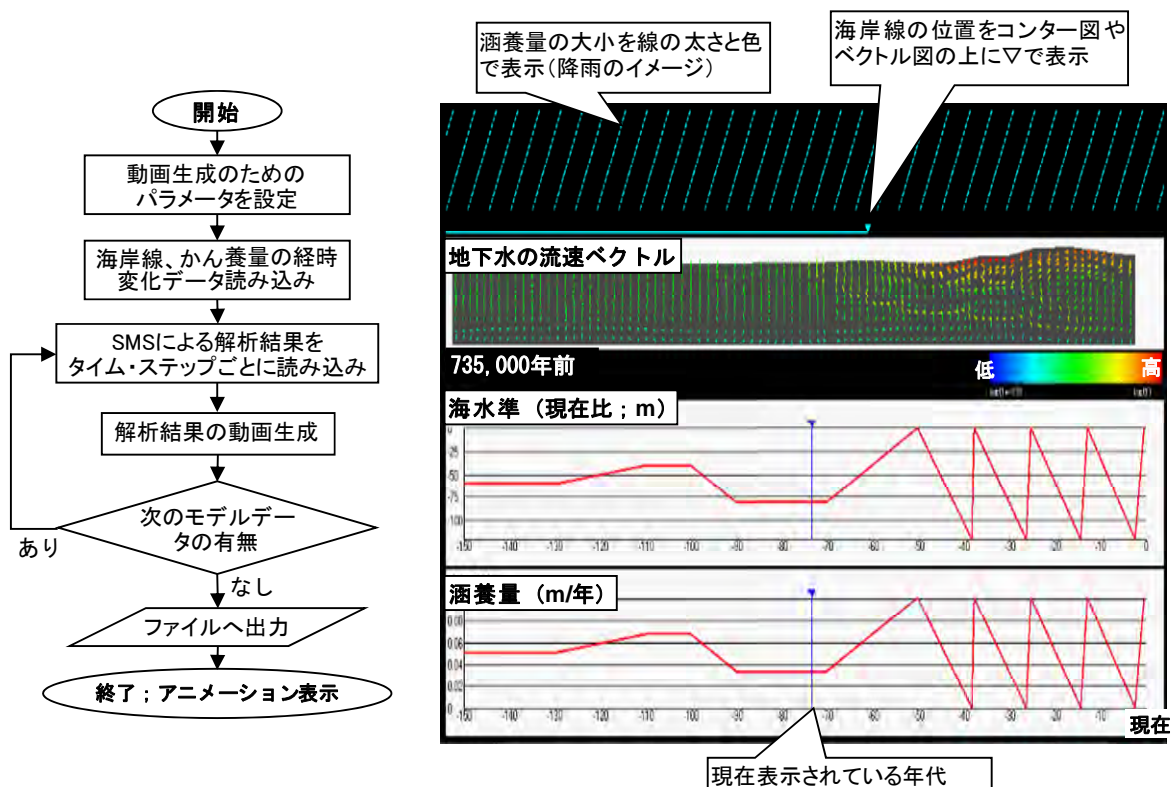


図 7 地下水流動の解析結果をアニメーション表示するための描画システムのイメージ

4. 地層処分研究開発

4.1 処分技術の信頼性向上

人工バリアなどの工学技術の検証

低アルカリ性コンクリート材料の開発として、地下施設の140m調査坑道の一部で、低アルカリ性セメント（HFSC）を吹付けコンクリートとして施工しました（図 8）。施工期間は約2ヶ月、総吹付け量は約522m³、総延長は約73mです。施工試験を通じて、HFSCの吹付けコンクリートは実際の地下坑道の施工に適用可能であることが示されました。これまでに、低アルカリ性のコンクリート材料を用いた、小規模な施工試験では国外で事例がありますが、本格的な地下施設の施工に用いたのは世界で初めてのことです。

低アルカリ性セメント系グラウト材料を用いた原位置試験を、経済産業省資源エネルギー庁（エネ庁）の委託事業である、地下坑道施工高度化技術開発の一部として実施しました。原位置試験の結果、グラウト注入により岩盤の透水性が低減し、材料の適用性が示されました。

また、原子力環境整備促進・資金管理センターとの共同研究として、エネ庁の委託事業である地層処分実規模設備整備事業における操業技術や人工バリアの長期挙動に係る試験設備について検討しました。具体的には、緩衝材ブロックなどを搬送するための走行台車を製作するとともに、緩衝材中の水の浸潤を可視化するための装置を製作し、試験方法を検討しました。

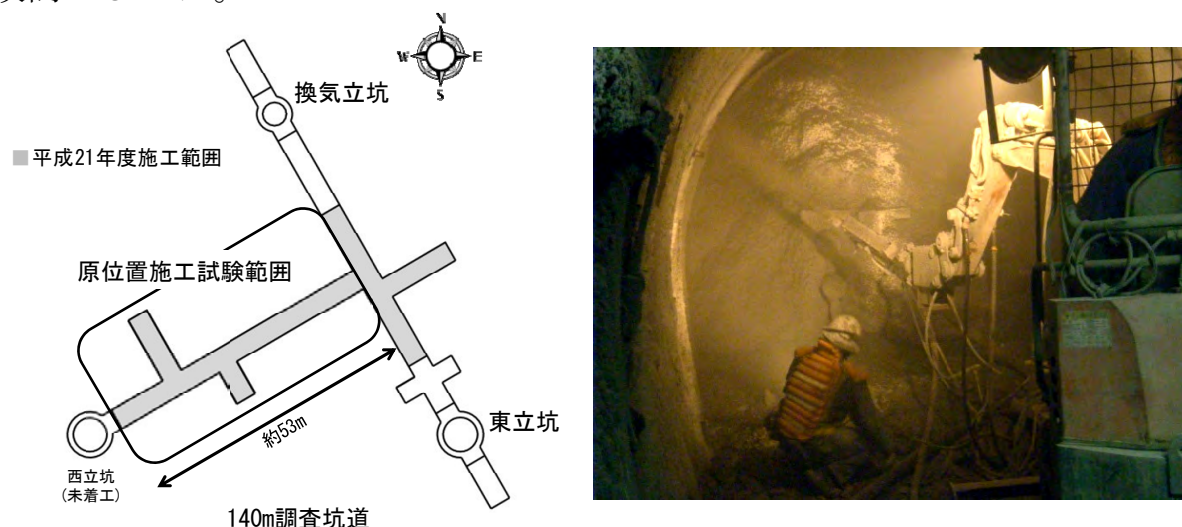
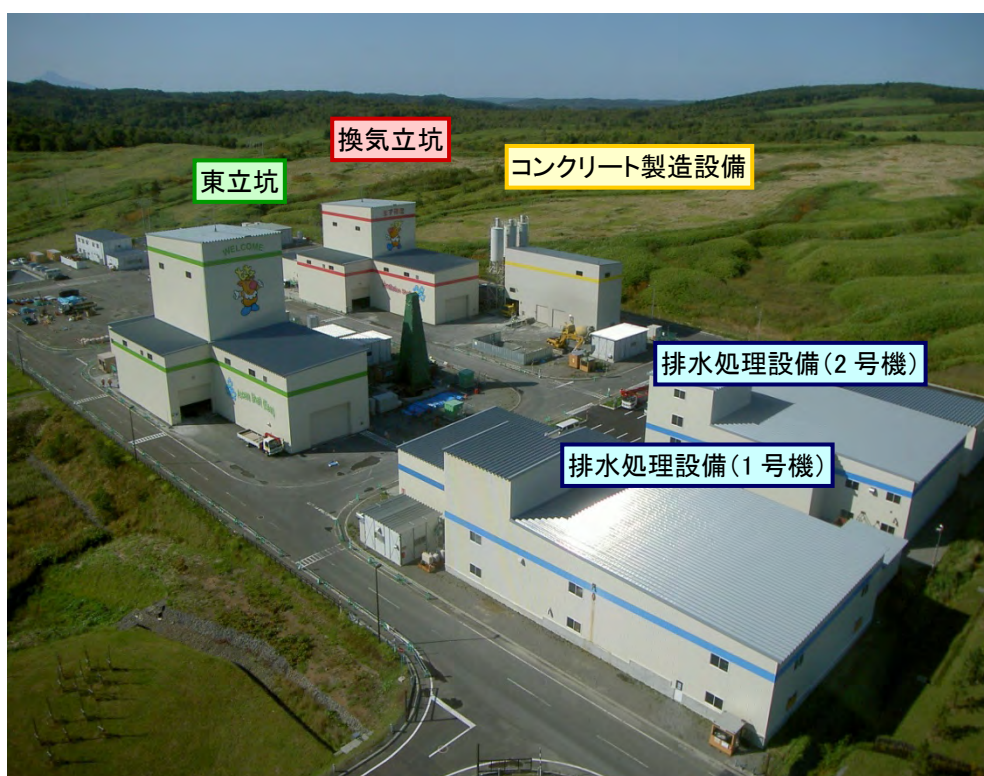


図 8 HFSCを用いた吹付けコンクリートの原位置施工試験範囲および原位置施工試験実施状況

5. 地下施設の建設

平成21年度は、平成17年度に開始した地下施設工事（第Ⅰ期）を継続しました。地下施設工事については東立坑を深度約220mまで掘削するとともに、深度140mにおける調査坑道の掘削を継続し、完成することが出来ました。立坑および調査坑道の掘削では、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。地下施設関連設備の状況を図9に示します。

また、立坑掘削に伴い発生する掘削土(ズリ)は、掘削土(ズリ)置場に保管しています。掘削土(ズリ)置場は土壌汚染対策法の遮水工封じ込め型に準じた二重遮水シート構造としています。



平成21年9月25日撮影

図9 地下施設関連設備の状況

6. 地上施設の建設

平成21年度は、国際交流施設の内外装工事、外構工事、電気機械設備工事および舞台設備や移動座席などの付帯設備工事を行い、平成21年9月に竣工しました。図 10に国際交流施設の完成写真（外観）を示します。

本施設は、平成21年10月17日に開館し、国内外の研究拠点として会議や報告会などのほか、地域の皆様との交流の場として活用しています。



図 10 国際交流施設

7. 環境モニタリング

地下施設の建設に伴うモニタリング調査として実施している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、清水川河川水および排水の放流先である天塩川河川水について実施しました。地下施設からの排水に係るモニタリングの公定分析の結果を表 1に示します。立坑からの排水は、坑道からの湧水に含まれるホウ素が自然由来(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排水基準値以下となっています。

表 1 地下施設からの排水に係るモニタリング調査結果(水質分析:公定分析)

分析項目	単位	立坑からの排水	掘削土(ズリ)置場 浸出水	排水処理設備にて 処理後の水	参考値 (水質汚濁防止法 排水基準値)
カドミウム	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	0.1
ヒ素		<0.01~0.08	<0.01~0.02	<0.01	0.1
セレン		<0.01~0.02	<0.01~0.04	<0.01	0.1
フッ素		<0.8~3.5	<0.8	<0.8	8
ホウ素		42~62	2.0~9.9	0.1~0.8	10
pH	—	8.0~8.4	6.7~8.2	7.5~8.3	5.8~8.6
浮遊物質	mg/l	6~26	6~48	<1	200(日間平均150)
塩化物イオン		1,600~2,400	80~1,500	1,200~2,200	—

地下施設からの排水に係るモニタリングは平成21年4月から平成22年3月までの採水における調査分析結果を記載しています。

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、その他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ました。

8.1 国内機関との研究協力

◆ 大学などとの研究協力

- 北海道大学・金沢大学
圧縮ベントナイト中における物質の移動経路の評価に関する研究
地下水・岩石中の有機物特性に関する研究
- 埼玉大学
岩盤の健岩部や断層部のメタンガスの起源に関する研究
- 名古屋大学・静岡大学
幌延の岩石の反応性，pHの緩衝作用に関する考察
など

◆ その他の国内研究機関との研究協力

- 幌延地圏環境研究所
初期地圧計測装置の適用性に関する研究、定期的な情報交換
- 電力中央研究所
地質・地下水環境特性評価に関する研究
- 原子力環境整備促進・資金管理センター
地層処分実規模設備の整備に関する研究
- 原子力安全基盤機構・産業技術総合研究所
安全評価手法の適用性に関する研究
など

8.2 国外機関との研究協力

- Nagra（スイス）
透水試験データの品質確認と数値解法による透水性の解析の実施
- モンテリ・プロジェクト
難透水性堆積岩の地球化学的評価試験
鉄材料の腐食に関する原位置試験
など