

幌延深地層研究計画  
平成25年度調査研究成果報告

平成26年6月

日本原子力研究開発機構  
幌延深地層研究センター



## 目 次

1. はじめに.....	1
2. 平成25年度の主な調査研究の進め方.....	3
.....	6
3. 地層科学研究.....	7
3.1 地質環境調査技術開発.....	7
3.1.1 地質環境モデルに関する調査・解析技術の開発.....	7
3.1.2 調査技術・調査機器開発.....	22
3.2 深地層における工学的技術の基礎の開発.....	30
3.3 地質環境の長期安定性に関する研究.....	33
3.3.1 地質環境の長期的変遷に関する研究.....	33
3.3.2 地震研究.....	36
4. 地層処分研究開発.....	40
4.1 処分技術の信頼性向上.....	40
4.1.1 人工バリアなどの工学技術の検証.....	40
4.1.2 設計手法の適用性確認.....	50
4.2 安全評価手法の高度化.....	57
5. 地下施設の建設.....	61
6. 環境モニタリング.....	63
6.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査.....	63
6.2 地下施設の建設に伴う水質モニタリング調査.....	66
7. 安全確保の取組み.....	74
8. 開かれた研究.....	76
8.1 国内機関との研究協力.....	76
8.1.1 大学との研究協力.....	76
8.1.2 その他の機関との研究協力.....	77
8.2 国外機関との研究協力.....	79
引用文献.....	80
参考資料.....	82

## 図目次

図 1	幌延深地層研究計画の全体スケジュール	3
図 2	平成 25 年度の調査研究のイメージ	5
図 3	研究所用地における主な施設と観測装置の配置	5
図 4	ボーリング孔の位置および観測装置の設置場所	6
図 5	350m 調査坑道における断層分布	8
図 6	剥ぎ取り水平露頭の全体と断層交差部	9
図 7	HDB-3 孔における地下水の間隙水圧の測定結果	10
図 8	HDB-3 孔、13-350-C03 孔および地上からの調査より推定した F-1 断層の位置関係	10
図 9	HDB-7 孔における地下水の間隙水圧の測定結果	11
図 10	透水試験孔 H2-1 のレイアウト	12
図 11	H2-1 孔の透水試験結果（間隙水圧・透水係数）と孔壁画像	12
図 12	声問層と勇知層の境界分布を見直したモデル	13
図 13	既往モデルおよび見直したモデルによる地下水流動の解析結果と HDB-10 孔の水頭分布（観測値）の比較	15
図 14	ボーリング孔の位置	15
図 15	坑道内で採取した地下水の塩分濃度の経時変化	17
図 16	坑道周辺における地下水中の塩分濃度の空間分布	19
図 17	250m 西側調査坑道における弾性波屈折法探査結果	21
図 18	250m 西側調査坑道における透水試験結果	21
図 19	改良した水圧・水質モニタリング装置の概念図	23
図 20	原位置拡散試験装置の概念図	24
図 21	傾斜計データの一例	26
図 22	350m 試験坑道 2-4 における掘削影響試験のためのボーリング孔 レイアウト図	28
図 23	埋設ひずみ計設置位置	28
図 24	埋設ひずみ計測結果	29
図 25	断層出現位置	31
図 26	三次元解析メッシュ	32
図 27	覆工コンクリート周方向応力の縦断方向の比較	32
図 28	覆工コンクリート水平変位の縦断方向の比較	32
図 29	HDB-11 孔の水頭分布（観測値）	34
図 30	既存の地形・地質構造の長期的な変遷に関する調査研究を参考に 設定した堆積岩の堆積と隆起・侵食の模式図	35
図 31	地形・地質構造の長期的な変遷に基づく水頭分布の変化に関する 一次元解析結果	36
図 32	幌延町付近で発生した地震のメカニズム解の例	37
図 33	反射法地震探査の解析結果	39
図 34	350m 調査坑道における低アルカリ性コンクリート材料の施工範囲	41
図 35	透水試験のボーリング孔配置（西立坑側を見た図）	42
図 36	緩衝材定置試験設備の各部名称	43
図 37	中継技術の確認試験のイメージ	46

図 38	試験孔掘削位置および試験孔の形状	49
図 39	人工バリア性能確認試験のイメージ図	52
図 40	人工バリア性能確認試験における坑道の埋め戻し	52
図 41	緩衝材および模擬オーバーパックスの試験孔への設置イメージ	54
図 42	大口径掘削機による試験孔掘削のイメージ	54
図 43	オーバーパックス腐食試験のイメージ	56
図 44	原位置拡散試験開始から1年後の濃度プロファイル予測の例	57
図 45	ろ過ごとに濃度の違いを示すトレーサー濃度分析結果の例	59
図 46	環境モニタリング調査位置	64
図 47	地下施設排水処理系統図	67
図 48	幌延深地層研究センター排水系統図	67
図 49	天塩川の水質モニタリング調査位置	68

## 表目次

表 1	解析ケース	14
表 2	掘削土（ズリ）モニタリング調査結果（土壌溶出量：公定分析）	62
表 3	環境モニタリング調査実施内容	64
表 4	モニタリング調査項目と結果	65
表 5	確認された重要種（魚類）	65
表 6	水質調査の実施対象と主な分析項目	66
表 7	地下施設から天塩川への排水量	69
表 8	地下施設からの排水に係る水質調査結果	70
表 9	天塩川の水質調査結果	71
表 10	浄化槽排水の水質調査結果	72
表 11	掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果	72
表 12	清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査結果	73
表 13	メタンガス濃度に応じた作業管理体制	75

## 写真目次

写真 1	地下水をろ過するための機器	18
写真 2	緩衝材定置試験の様子	44
写真 3	緩衝材定置試験の公開の様子	45
写真 4	小型地中無線送信装置と計測器	47
写真 5	受信アンテナ	47
写真 6	中継装置本体	47
写真 7	送信アンテナ	47
写真 8	ポータブル受信機とレベルメーター	47
写真 9	試験孔掘削工事の様子	49
写真 10	オーバーパック溶接部腐食試験用の試験孔	50
写真 11	転圧締め固め試験	52
写真 12	埋め戻し材ブロックの製作	53
写真 13	緩衝材ブロックの製作	53
写真 14	大口径掘削機による試験孔の掘削	55
写真 15	ドーナツ形の緩衝材	56
写真 16	攪拌式セルを用いた加圧ろ過システム	59
写真 17	原位置地下水に高濃度トレーサーを添加した時の沈殿状況	59
写真 18	350m 調査坑道貫通状況	61
写真 19	安全パトロールの様子	74

## 1. はじめに

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、北海道幌延町で実施している幌延深地層研究計画は、平成17年10月の「原子力政策大綱<sup>\*1</sup>」に示された「深地層の研究施設」を活用した計画のひとつであり、堆積岩を対象に深地層の研究を行うものです。

「原子力政策大綱」においては、「日本原子力研究開発機構を中心とした研究開発機関は、深地層の研究施設等を活用して、深地層の科学的研究、地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発、安全規制のための研究開発を引き続き着実に進めるべきである」と述べられています。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」として研究開発を進めています。

また、文部科学省と経済産業省が公表した第2期（平成22年4月1日～平成27年3月31日）の「独立行政法人日本原子力研究開発機構が達成すべき業務運営に関する目標（中期目標）」<sup>\*2</sup>（以下、第2期中期目標）では、「幌延深地層研究計画に基づき、坑道掘削時の調査研究及び坑道を利用した調査研究を着実に進める。あわせて工学技術や安全評価に関する研究開発を実施」することが目標として掲げられています。

原子力機構では、第2期中期目標を受け、「独立行政法人日本原子力研究開発機構の中期目標を達成するための計画（中期計画）」<sup>\*3</sup>を策定し、高レベル放射性廃棄物の処分技術に関する研究開発について、「地層処分研究開発」と「深地層の科学的研究」の2つの領域において、他の研究開発機関と連携して研究開発を進め、地層処分の安全確保の考え方や評

---

\*1：現在の原子力政策大綱は、平成17年10月に策定されたものです。平成22年11月に新たな大綱の策定を目指して「新大綱策定会議」が設置され、検討が開始されました。平成23年3月に東京電力福島第1原子力発電所における事故が発生したため一時中断し、その後再開したものの、原子力委員会は平成24年10月に原子力政策大綱の策定作業の中止を決定し、「新大綱策定会議」は廃止されています。

\*2：原子力機構は、原子力基本法第2条に規定する基本方針に基づき、我が国における原子力の研究、開発および利用を計画的に遂行するために原子力委員会が定める基本的考え方に則り、その業務を総合的、計画的かつ効率的に行うことが定められています。中期目標はこれを踏まえ、文部科学省と経済産業省が、独立行政法人通則法第29条の規定に基づき定めた目標です。

\*3：中期計画の期間は、中期目標と同じく平成22年4月1日～平成27年3月31日の5年間です。

価に関わる様々な論拠を支える「知識ベース\*4」を充実させる」こととして  
います。幌延深地層研究計画においては、深地層の科学的研究として、  
「深地層環境の深度（地下350m程度）まで坑道を掘削しながら調査研究  
を実施し」、「地上からの精密調査の段階に必要な技術基盤を整備し、  
実施主体や安全規制機関に提供する」計画です。また、地層処分研究開  
発として、「深地層の研究施設等を活用して、実際の地質環境条件を考慮  
した現実的な処分概念の構築手法や総合的な安全評価手法を整備する」  
こととしています。さらに、「業務の合理化・効率化の観点から、幌延深  
地層研究計画に係わる研究坑道の整備等に民間活力の導入を図る」こと  
としており、平成22年度より施設整備、維持管理および研究支援からな  
るPFI契約\*5を締結して調査研究を進めています。

なお、平成25年9月26日に公表した機構改革計画\*6に基づいて、今後の  
計画の見直しを行うこととしており、平成26年9月までに調査研究の成果  
の取りまとめを行うとともに、必須の課題を明確にした深地層の研究施  
設計画を策定するための検討を進めました。

---

\*4：個別の研究開発で得られた成果を、地層処分技術全体に関わる様々な論拠や国内外の知見とあわせて、適切  
に管理し、伝達・継承していくための基盤となるものです。

\*5：Private Finance Initiative（民間資金等活用事業）の略称で、公共施設などの建設、維持管理、運営など  
を民間の資金、経営能力、技術的能力を活用することで、国や地方公共団体などが直接実施するよりも効率的  
かつ効果的に事業を実施するための方策です。幌延深地層研究計画における、PFIの契約期間は平成23年1月31  
日から平成31年3月31日までです。

\*6：<http://www.jaea.go.jp/02/press2013/p13092601/index.html>



## 2. 平成25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（図1）。

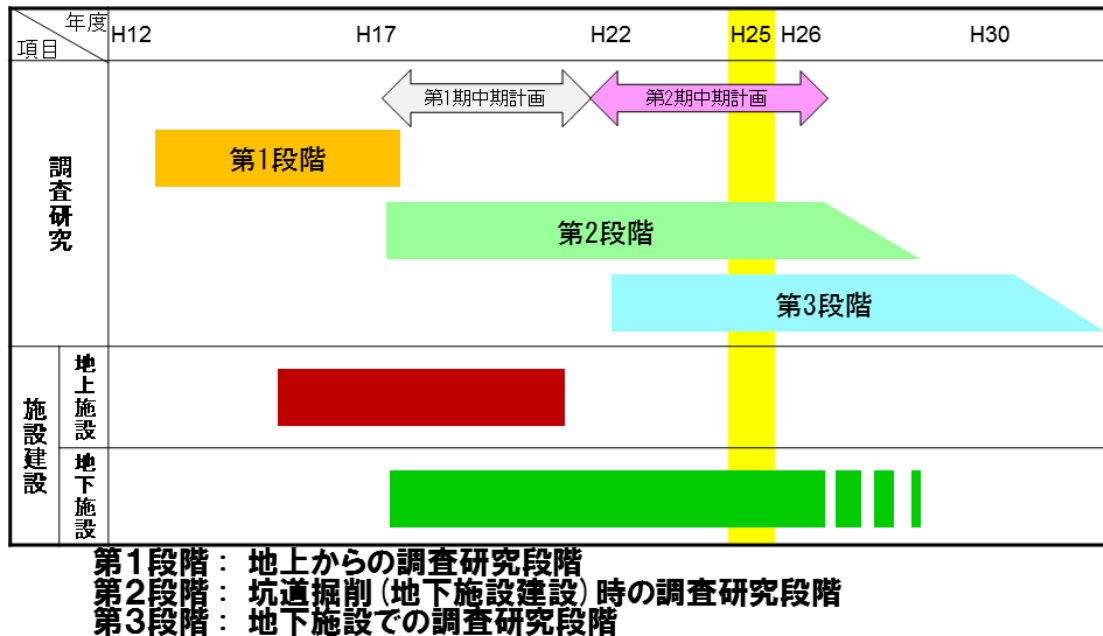


図1 幌延深地層研究計画の全体スケジュール

平成25年度は、「幌延深地層研究計画 平成25年度調査研究計画」<sup>(1)</sup>にしたがって、調査研究および地下施設の建設を進めました。

調査研究は、これまでと同様に、「地層科学研究\*7」と「地層処分研究開発」を行いました。「地層科学研究」では、地質環境調査技術開発、深地層における工学的技術の基礎の開発、地質環境の長期安定性に関する研究、の3項目の研究課題を設定し、「地層処分研究開発」では、処分技術の信頼性向上、安全評価手法\*8の高度化、の2項目の研究課題を設定しています<sup>(2)</sup>。

地下施設の建設では、立坑については、換気立坑の深度380mまで、東立坑の深度371mまで、西立坑の深度365mまでの掘削を行いました。また、

\*7：幌延深地層研究計画では、原子力政策大綱で「深地層の科学的研究」とされている研究を「地層科学研究」と呼称しています。

\*8：地層処分システム全体、あるいはその個別の要素が有する機能について解析した結果を適切な基準と比較し、その性能や安全性について判断を行う手法のことです。

350m調査坑道は平成25年10月に周回坑道全域が貫通し、平成26年1月に総延長約760mまでの掘削が完了しました。さらに、平成25年2月に発生した湧水の増加\*9に伴う原因と対策を踏まえ、換気立坑の350m～380mの区間において追加の湧水抑制対策を実施しました。

平成25年度の主な調査研究のイメージを図 2に、研究所用地内の主な施設と観測装置の配置を図 3に示します。また、幌延町内で実施している調査研究に関わる主要なボーリング調査や観測地点などの位置を図 4に示します。幌延深地層研究計画の成果は、原子力機構の核燃料サイクル工学研究所などでの成果と合わせて、一連の地層処分技術として、処分事業や安全規制に適宜反映していきます。そのため、国内外の研究機関との連携を図り、大学などの専門家の協力を得つつ、本計画を着実に効率的に進めます。また、研究開発業務の透明性・客観性を確保する観点から、研究計画から成果までの情報を積極的に公表し、特に研究成果については国内外の学会や学術誌などを通じて広く公開します。参考資料として、巻末に平成25年度の学会などへの発表実績を掲載しました。

以下に、平成25年度に実施した主な調査研究の成果および地下施設の建設について報告します。

---

\*9 : <http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/forum/13/0215.html>

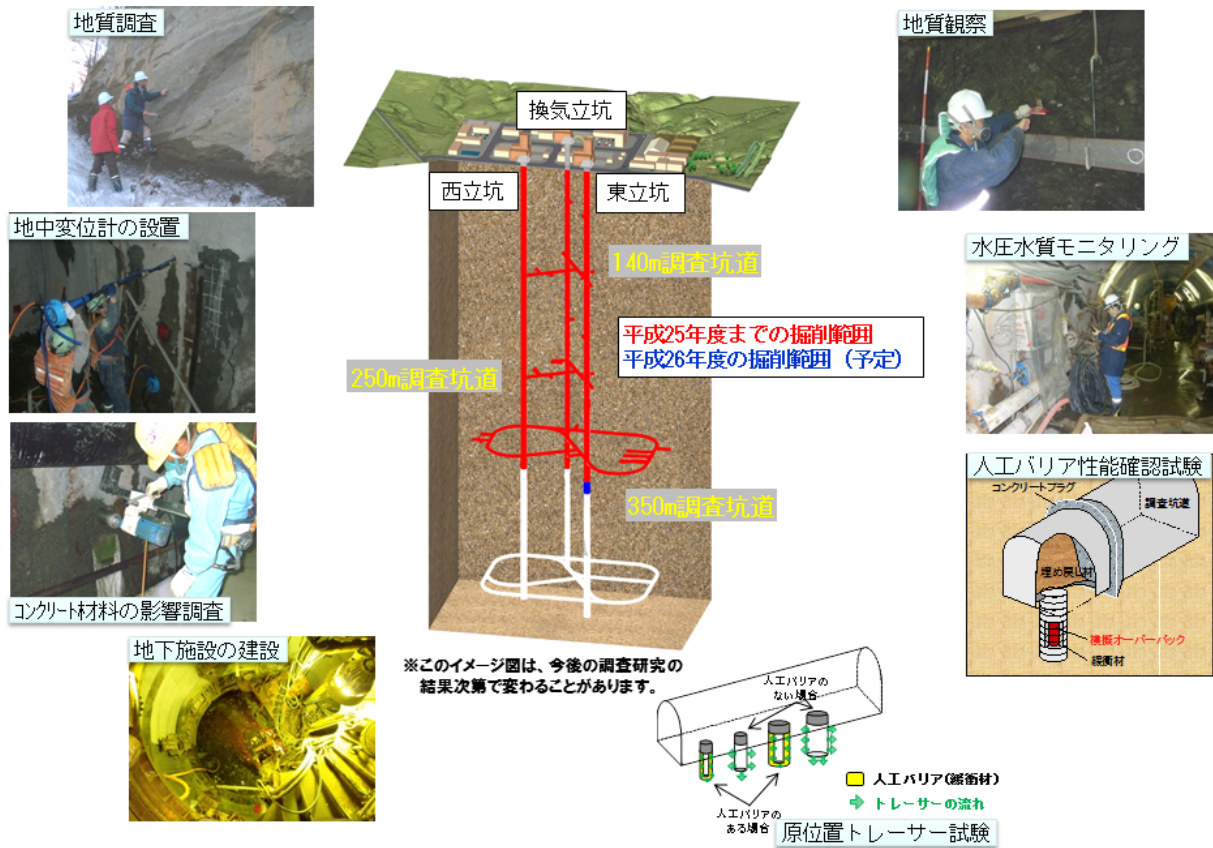


図 2 平成 25 年度の調査研究のイメージ

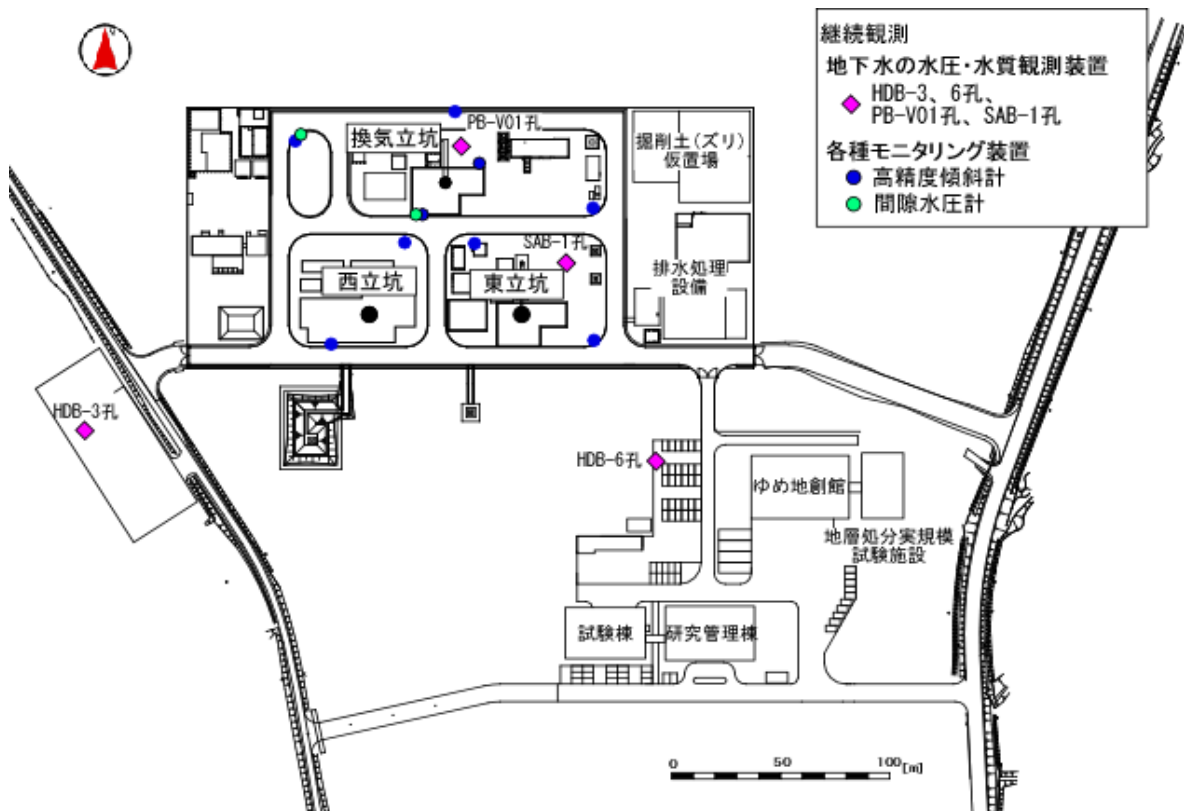


図 3 研究所用地における主な施設と観測装置の配置

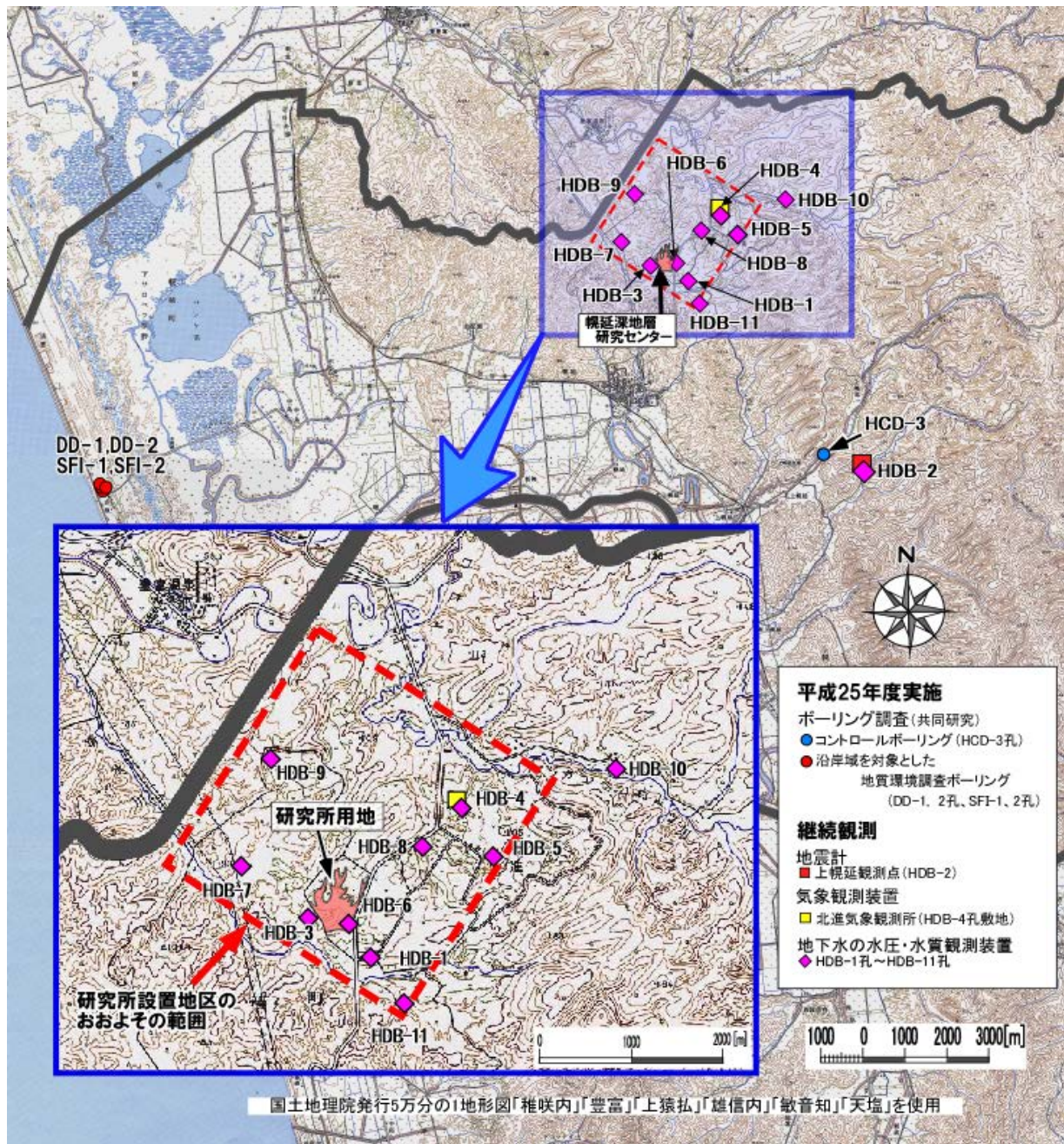


図 4 ボーリング孔の位置および観測装置の設置場所

### 3. 地層科学研究

#### 3.1 地質環境調査技術開発

##### 3.1.1 地質環境モデルに関する調査・解析技術の開発

###### (1) 地質構造

第2段階では、地下施設やその周辺での地質観察、および採取した岩石の顕微鏡観察や分析などを行っています。そして、これらの調査から得られる情報に基づいて、第1段階の調査で構築した地質構造モデル\*10の検証を行いながら、地上からの調査による地下の予測の妥当性や精度などを評価しています。平成25年度は、主に350m調査坑道における地質観察が進められ、そこで得られたデータに基づいて350m調査坑道の断層分布を把握するとともに、地上からのボーリング調査に基づき推定した断層分布と比較しました。

図 5に示すように、350m調査坑道の断層分布は、水平断面上のトレースとして整理しました。第1段階の調査において構築された地質構造概念に基づく、350m調査坑道の周囲の稚内層中には、小規模な断層が分布し、それは層理面に平行な断層（以下、層面断層）とそれ以外の断層に分類されます。350m調査坑道には、これらの層面断層（図 5の青色の実線）とそれ以外の断層（図 5の赤色の実線）の分布が確認されました。地上からのボーリング調査に基づき推定した断層の分布位置（図 5の赤色点線）と比較すると、観察された断層の位置や方向は、推定結果とおおよそ整合的でしたが、分布の連続性に推定結果と異なる箇所がありました。例えば、F-1断層は、北東-南西走向で、350m調査坑道では西連絡坑道、東連絡坑道および周回坑道（東）の北側を通過すると推定されていましたが、地質観察では、周回坑道（東）の北側では認められませんでした。周回坑道（東）の北側には、比較的厚い断層岩を伴う層面断層（図 5のS1断層）が分布しており、F-1断層の連続性に対して影響を与えている可能性が考えられます。また、平成25年2月には、S1断層が分布する区間の坑道掘削作業中に湧水の一時的な増加がありました。これは主要な水みちであるF-1断層がS1断層近傍に分布しているため、S1断層やその近傍の割れ目の水みちとしての特徴に影響している可能性が考えられ

---

\*10：岩相や断層などの地質構造の分布や形状を図や数式などを用いて表現したものです。

ました。このため、層面断層とそれ以外の断層の交差関係や水みちとしての特徴を確認するために、地表で350m調査坑道と同様の稚内層の断層分布が認められる地点において、断層の交差部を対象とした地質観察を行いました。観察にあたっては、20~30m四方程度の地表の土砂を重機で取り除き、水平な岩盤の露出部（以下、剥ぎ取り水平露頭）を整備しました（図 6のa）。観察の結果、層面断層とそれ以外の断層の交差部において、層面断層に沿って割れ目帯が形成され、そこで水みちと推定される産状（割れ目面に沿った酸化帯の形成）が観察されました（図 6のb、c）。

今後は、350m調査坑道の地質観察のデータの分析や解釈をさらに進め、剥ぎ取り水平露頭の観察により得られた知見を踏まえながら、水みちとして寄与する構造の概念を更新し、坑道スケール（数十から数メートル四方）の地質構造モデルを構築していく予定です。

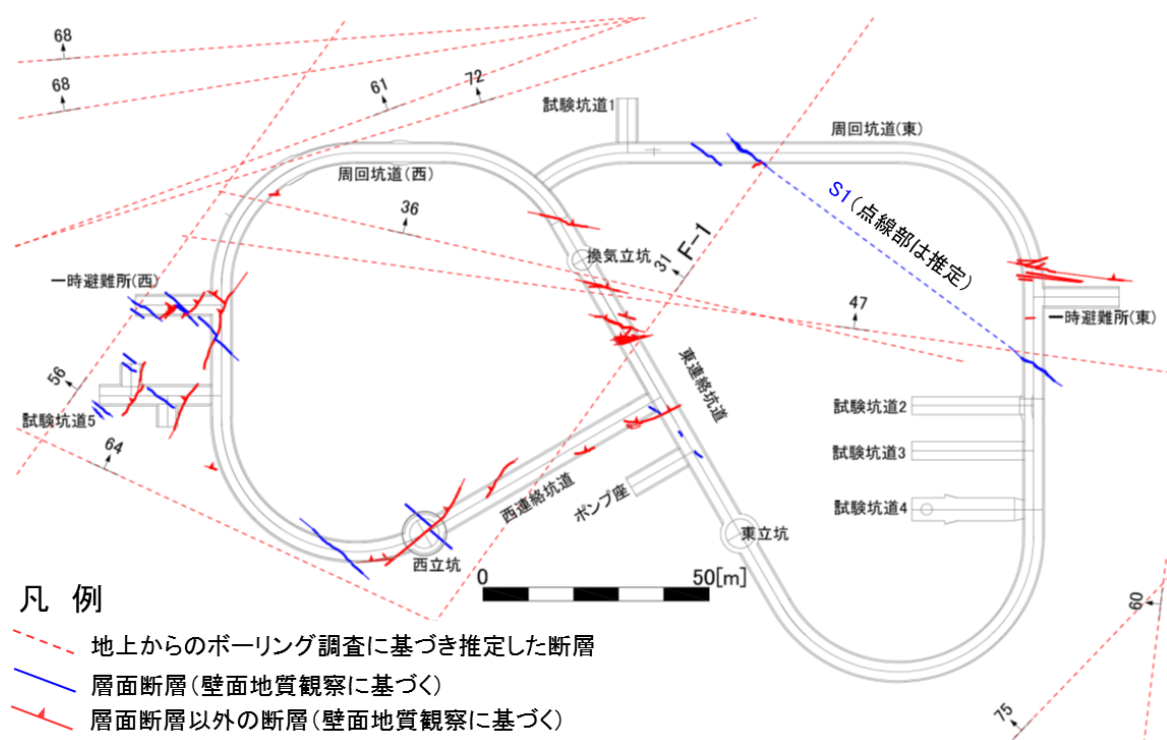


図 5 350m 調査坑道における断層分布

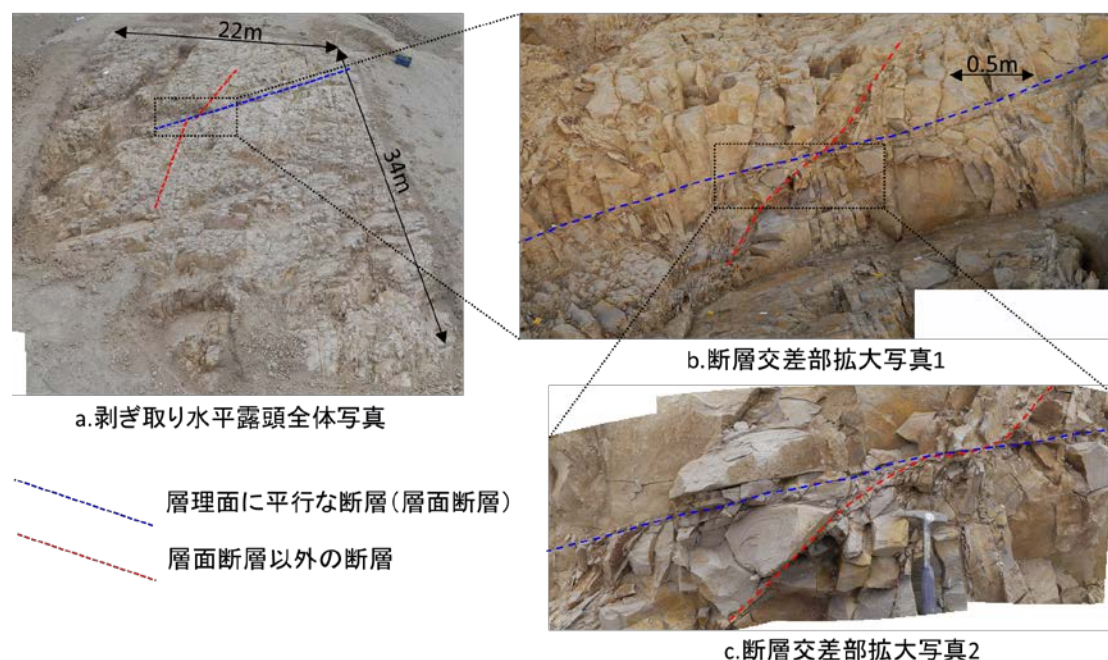


図 6 剥ぎ取り水平露頭の全体と断層交差部

## (2) 岩盤の水理

第2段階では、表層水理調査や第1段階で掘削したボーリング孔での地下水位観測を継続するほか、地下施設などを利用した坑道周辺岩盤の透水性（水の流れやすさ）や坑道内への湧水量などに関する調査を行っています。そして、これらの調査から得られる観測結果に基づいて、第1段階で予測した水理地質構造モデルの検証を行っています。

平成25年度は、地下水の長期観測として、HDB-1～11孔およびPB-V01孔（図 3および図 4参照）に設置したモニタリング装置による地下水の間隙水圧・水質の観測を継続しました。

地下施設に近いHDB-3孔（西立坑との水平離間距離：約140m）（図 3）の観測では、従来より断層（F-1断層）が交差する深度401m区間で地下施設における湧水に応じた顕著な水圧低下が認められていましたが、平成25年11月21日から水位低下速度がさらに増加する現象が観測されました（図 7）。これは350m調査坑道で掘削していた13-350-C03孔（仮称）が断層（地上からの調査より推定したF-1断層と解釈）と交差した時期と一致しており、F-1断層の推定分布（図 8）を考慮すると、同孔における同断層からの湧水・ガス噴出により上記の水位低下速度の増加が起こったと考えられます。

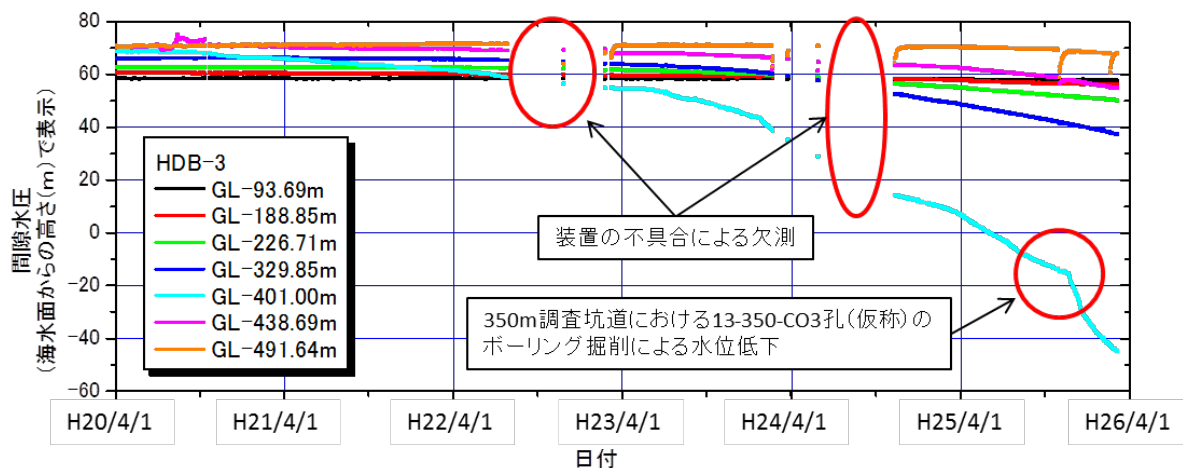


図 7 HDB-3 孔における地下水の間隙水圧の測定結果

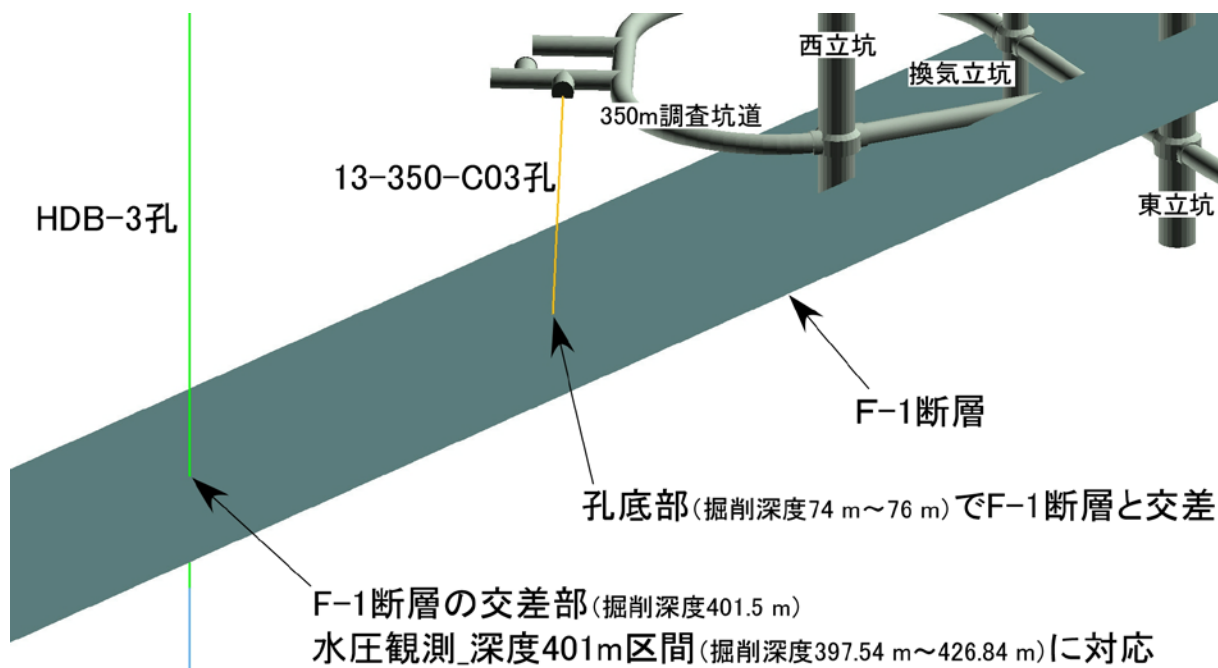


図 8 HDB-3 孔、13-350-C03 孔および地上からの調査より推定した F-1 断層の位置関係

一方、地下施設から離れたHDB-7孔（西立坑との水平離間距離：約1,200m）（図 4）では、立坑や350m調査坑道の掘削、およびグラウト施工に伴うと考えられる間隙水圧の変化は観測されていません（図 9）。



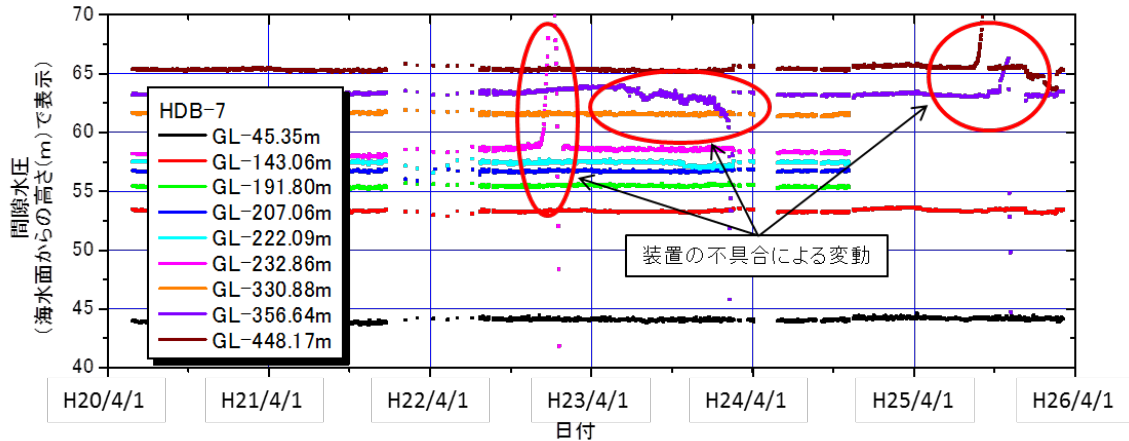


図 9 HDB-7 孔における地下水の間隙水圧の測定結果

平成25年度は、坑道周辺の掘削影響を受けた岩盤の透水性を把握するための原位置透水試験<sup>\*11</sup>を350m調査坑道で実施しました。ここではその一例として、H2-1孔の調査結果を示します。H2-1孔は試験坑道3の側壁から試験坑道2の直下に向けて、試験坑道2を掘削する前に掘削されました(図 10)。5つの試験区間のうち、区間5は試験坑道3の坑道壁面に形成された掘削影響領域<sup>\*12</sup>の透水性を、区間1は試験坑道2の掘削影響による透水性の変化を把握するために設けられました。透水試験結果を図 11に示します。試験坑道3の側壁には掘削影響領域が20cm程度の厚さで薄く形成されていることがH2-1孔の孔壁画像より確認され、その領域の透水性(区間5)は周囲の岩盤の透水性(区間2~4)より5桁程度高くなっていることが分かりました(図 11)。一方、試験坑道2直下の区間1では試験坑道2を掘削後、その掘削影響を受けて間隙水圧は大きく低下したものの、透水性に変化は認められませんでした(図 11)。このことは、試験坑道2の掘削影響領域が区間1まで及んでいないことを示唆しており、区間5の結果も踏まえると、掘削影響領域の幅は厚くても数十センチメートルである可能性が考えられます。今後は、これらの試験区間の透水性・間隙水圧の推移を観測していきます。

\*11：試験区間をパッカーで区切り、そこへ水を注入します。注入した水の量や圧力などから、岩盤中の水の通しやすさを示す指標である透水係数を算出する試験です。

\*12：岩盤において掘削の影響を受け、その岩盤が初期に持っていた性質より変化をきたす範囲です。

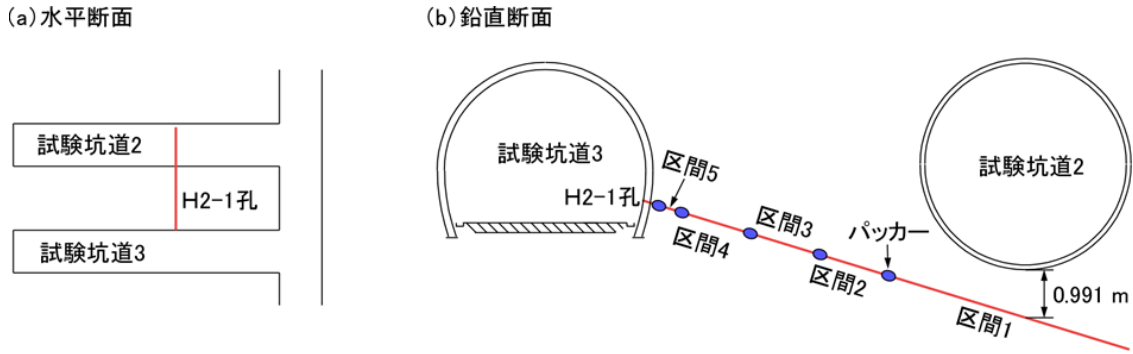


図 10 透水試験孔 H2-1 のレイアウト

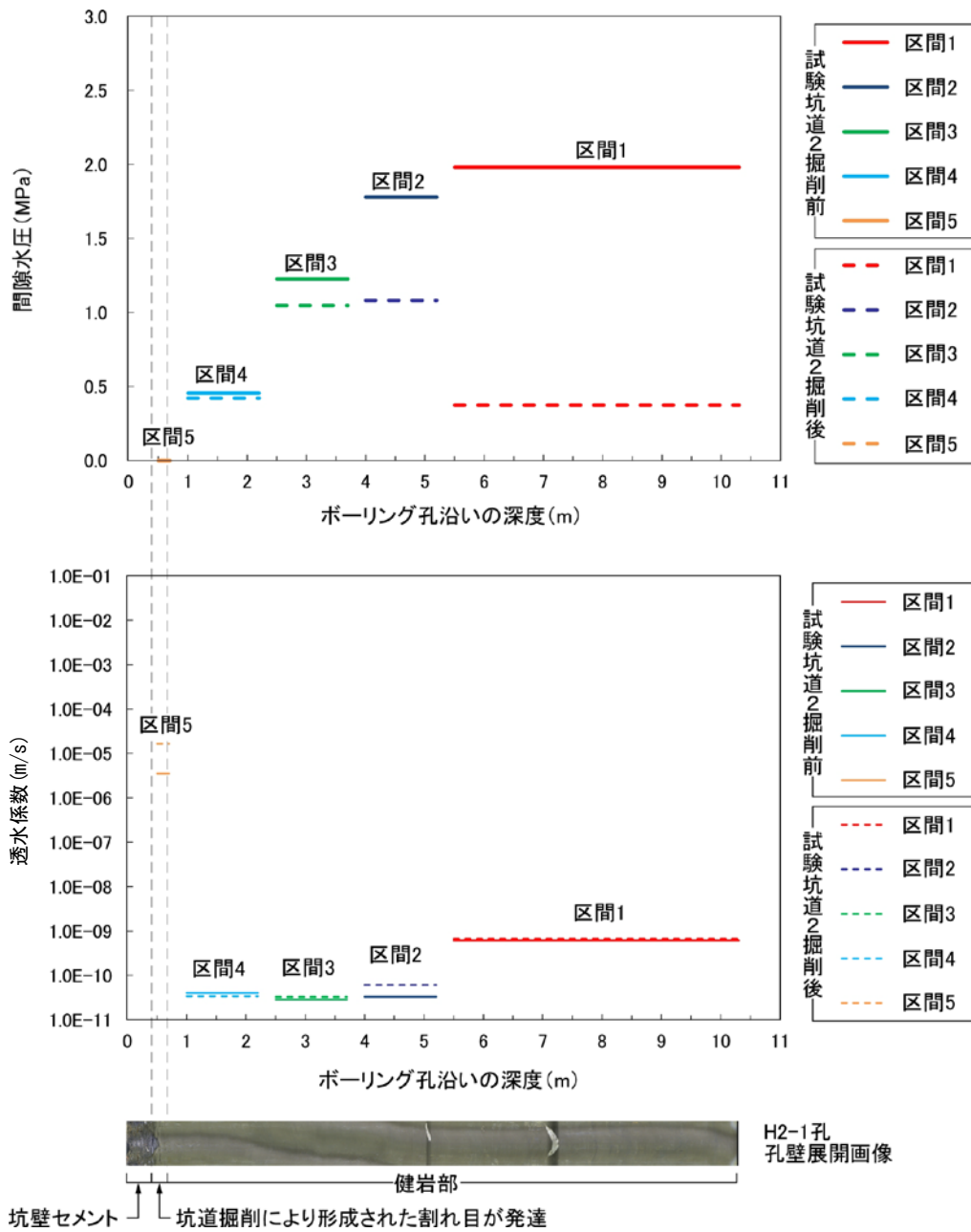
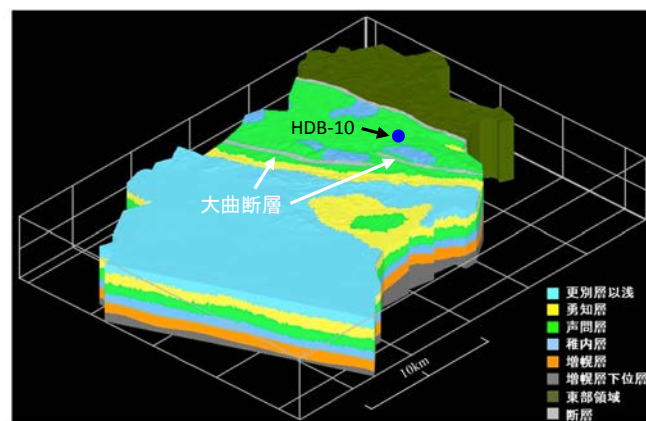
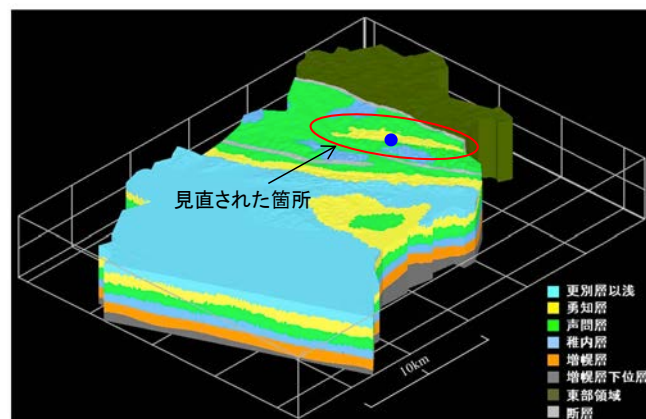


図 11 H2-1 孔の透水試験結果（間隙水圧・透水係数）と孔壁画像

また、平成24年度に引き続き、第1段階で構築した水理地質構造モデルを検証するため、予測した地下水の水圧分布と実測値に大きな差が認められるボーリング孔（HDB-9および10孔）周辺に関して、その要因の一つと考えられる地質構造と地下水涵養量に着目して、既存情報の再検討に基づくモデルの見直しと解析を実施しました。結果の一例として、HDB-10孔周辺に着目した結果について示します。これまでHDB-10孔では、声問層と稚内層の2つの地層をモデル化していました。しかし、HDB-10孔の浅部（地表から深度45m付近まで）に認められる地層は、声問層（珪質泥岩）の上位層である勇知層（砂質泥岩）の特徴に近く、またその透水性も下位の声問層に比べて高い値を示していることから、HDB-10孔周辺の勇知層の分布について、既存の地表地質調査結果や地形データも踏まえて再検討を行いました。その結果、HDB-10孔周辺の勇知層の分布範囲が従来よりも広がる可能性が示されました。この検討結果を踏まえてモデルを見直して、解析を行いました（図 12）。



(a) 既往モデル



(b) 声問層-勇知層境界面 見直し後モデル

図 12 声問層と勇知層の境界分布を見直したモデル

表 1 解析ケース

ケース	使用したモデル	勇知層の透水係数 (m/s)		備考
		大曲断層西側	大曲断層東側	
Case1	声問層-勇知層境界 見直しモデル	9.35 × 10 <sup>-10</sup>		既往モデルの透水係数（ボーリング孔での透水試験結果の平均）
Case2		9.35 × 10 <sup>-10</sup>	2.53 × 10 <sup>-7</sup>	大曲断層の東側のみ、HDB-10号孔の透水試験結果を反映

解析の実施にあたっては、勇知層の透水性を既往の解析に用いたモデルと同じとしたケース（表 1のCase1）と、大曲断層の東側のみHDB-10孔の浅部の透水試験結果を反映したケース（表 1のCase2）の2つのケースを設定しました。その結果、解析により求められた地下水の水頭分布と実測値の差は、Case1では、浅部において既往モデルに比べて大きくなり（図 13左）、Case2では小さくなる結果となりました（図 13右）。これらの結果は、Case1では勇知層の透水性が下位の声問層の透水性（6.46 × 10<sup>-9</sup>m/s : HDB-1～11孔データの平均値）よりも低く設定されたことでキャップのような効果が生じて声問層中の水圧が上昇し、一方、Case2では勇知層の透水性が高く設定されたことで、下位の声問層中の水圧が低下したものと考えられます。したがって、声問層の透水性をより高く設定すれば、HDB-10孔の声問層以深の解析値と実測値の差は小さくなるものと考えられます。ただし、他のボーリング孔（図 14）では、既往モデルによる解析結果が実測値と概ね整合的であり、また、HDB-10孔の水理試験では声問層に相当する深度において高い透水性の領域は認められていません。そのため、仮に断層や割れ目帯のような高い透水性を有する領域が存在したとしても、HDB-10孔周辺の局所的な範囲であると考えられます。

今後は、調査量と不確実性の関係などについて検討を行い、地上から地下を予測する際に、より効果的に不確実性を低減する調査の組み合わせやボーリング孔の配置を検討していきます。

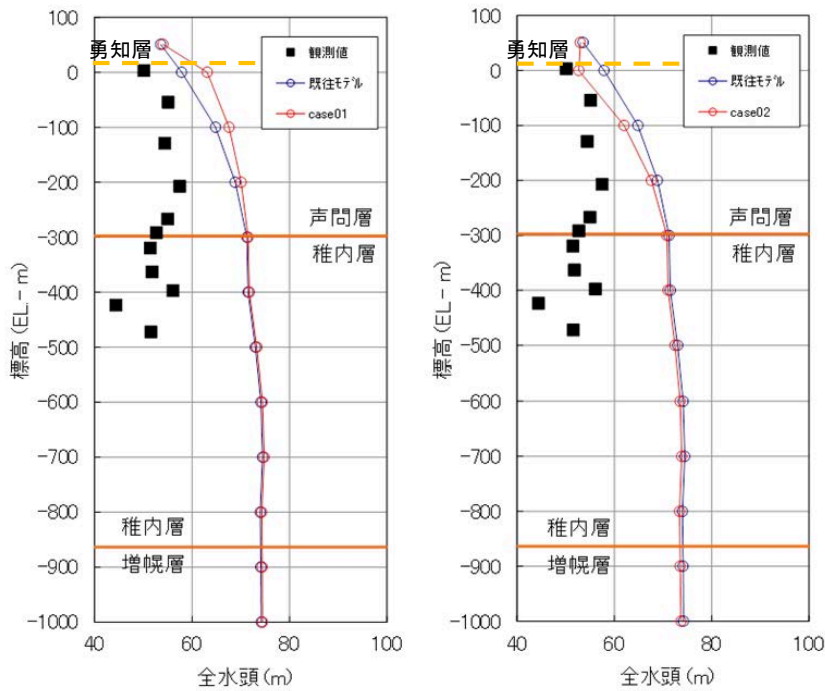


図 13 既往モデルおよび見直したモデルによる地下水流動の解析結果と HDB-10 孔の水頭分布（観測値）の比較  
 図では水圧を全水頭\*13で示しています。

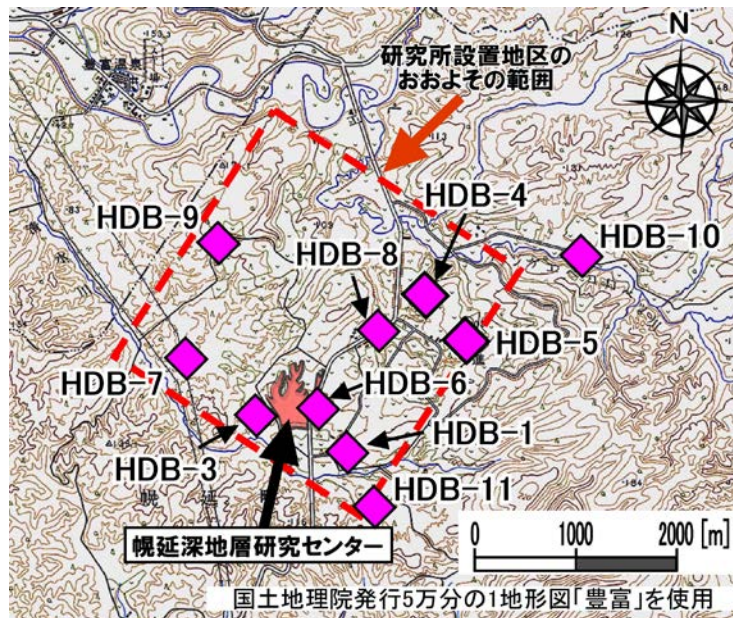


図 14 ボーリング孔の位置

\*13: 水の持つエネルギーを基準面からの水柱の高さに置き換えたものです。水の流れる速度が非常に遅い地下水では、運動エネルギーは無視できるほど小さいため、水が持つエネルギーは圧力エネルギーと位置エネルギーを考えれば良く、これらを水柱の高さに置き換えたものをそれぞれ圧力水頭、位置水頭と呼びます。圧力水頭と位置水頭を合わせたものを全水頭（あるいは単に水頭）と呼び、全水頭は長さの単位であるメートルで表します。

### (3) 地下水の地球化学

地下水の地球化学に関する第2段階の調査では、第1段階の調査結果から推定した坑道周辺の地下水の水質分布とその形成プロセスを確認するとともに、地下施設の建設に伴う坑道周辺の地下水の水質の変化を把握するための調査・解析技術の開発を目的としています。このため、坑道内で採取した地下水のpHや電気伝導度<sup>\*14</sup>、酸化還元電位<sup>\*15</sup>などの物理化学パラメータを測定するとともに、採取した地下水の水質分析を実施し、その変化をモニタリングしています。

平成25年度は、平成24年度に引き続き、換気立坑および東立坑の壁面に設置した集水リング<sup>\*16</sup>や、坑道内で掘削したボーリング孔から採取した地下水の水質分析を行いました。図 15にこれらの地点から採取した地下水の塩分濃度の経時変化を示します。この図から、比較的浅部に位置している集水リング (WR-V-98.0、WR-V-132.0、WR-E-63.8、WR-E-100.0) から採取された地下水は、以前は地下水中の塩分濃度が上昇する傾向を示していたものの、平成24年度からは塩分濃度が減少する傾向へと変化していることがわかりました。それらの深度以深における採水箇所での塩分濃度の変化は少ないものの、一部の集水リング (WR-E-340.0およびWR-V-282.0) では変動が大きく、今後もモニタリングを継続することにより、その原因を検討していく予定です。

---

\*14：電気の通しやすさを表す値で、電気伝導度が大きい(電気を通しやすい)ほど地下水に溶けているイオンの量が多いことを表します。

\*15：地下水の酸化還元状態を表します。酸化還元電位が低い地下水ほど、含まれる酸素が少なく還元状態であることを表します。

\*16：立坑内で、坑壁から染み出した地下水を回収・採取するために、立坑壁面に30～40mごとに設置されている設備です。

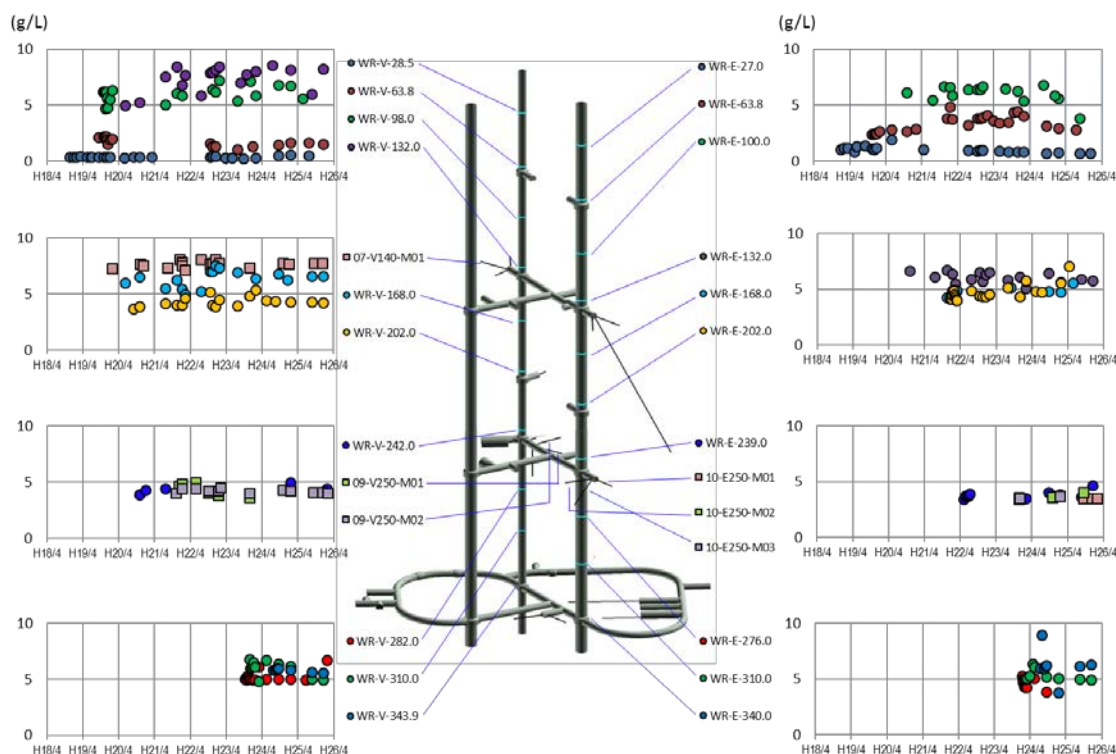


図 15 坑道内で採取した地下水の塩分濃度の経時変化

図中の“V”および“E”はそれぞれ“換気立坑”と“東立坑”を、“WR”は集水リングを表しています。VまたはEのうしろの数字は深度(m)を表しています。また、○は集水リング、□は坑道内で掘削したボーリング孔から採取した地下水のデータを表しています。

また、坑道周辺の地下水の水質分析結果に基づいて、坑道周辺における地下水中の塩分濃度の空間分布図を作成し、その変化を考察しました。図 16に坑道の掘削開始前から平成25年度までのデータに基づく研究所用地周辺の地下水中の塩分濃度の空間分布図を示します。平成25年度は坑道内でのデータの外、西立坑の南西約150mに位置するHDB-3孔の2区間（深度185.86～195.21m（区間2）、深度326.85～336.21m（区間5））および東立坑南約90mに位置するHDB-6孔の2区間（深度288.66～302.90m（区間4）、深度362.39～385.70m（区間6））において採水調査を実施し、新たに得られた地下水データに基づいて塩分濃度の空間分布図を作成しました。その結果、浅部においては、集水リングでの水質モニタリングの結果においても示された通り、平成22年度と比較して塩分濃度が低下していることが確認できました。これは、坑道掘削に伴い、より浅部の地下水が流入している可能性を示唆しています。深部の集水リングにおける塩分濃度については、従来の結果と同様に顕著な変化は認められませんでした。ただし、立坑からの排水に伴って水質が変化することも考えら

れるため、今後もモニタリングを継続し、変化の傾向とプロセスを把握するとともに、坑道周辺の地質・地質構造や地下水の流れ方に関する検討と連携しつつ、地球化学モデル<sup>\*17</sup>を更新していきます。

その他、平成25年度は地下水中のコロイドに関する調査を京都大学・東北大学との共同研究として実施しました。140m調査坑道および250m調査坑道から採取した地下水を様々なフィルターサイズのろ過膜によりろ過し、地下水の中でどのような元素がコロイドとして存在しているかを調査しました(写真1)。その結果、地下水中には鉄やシリカ、カルシウム、リンなどの成分がコロイドとして存在していることがわかりました。このような地下水における元素の存在形態は、地下水の化学的な状態やその形成過程と密接に関係しているため、今後もこのような調査を継続し、地球化学モデルへと反映していく予定です。

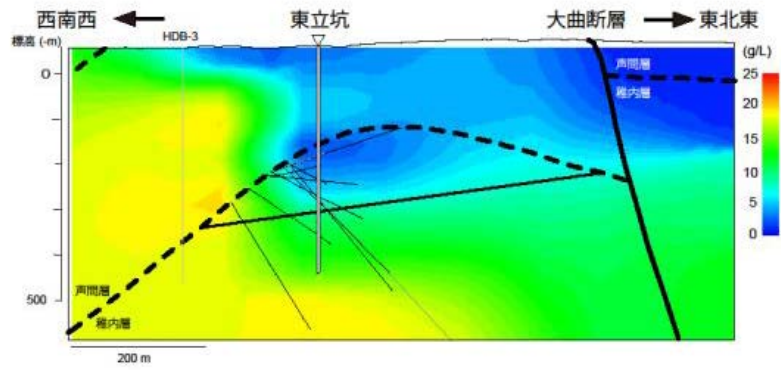


写真1 地下水をろ過するための機器

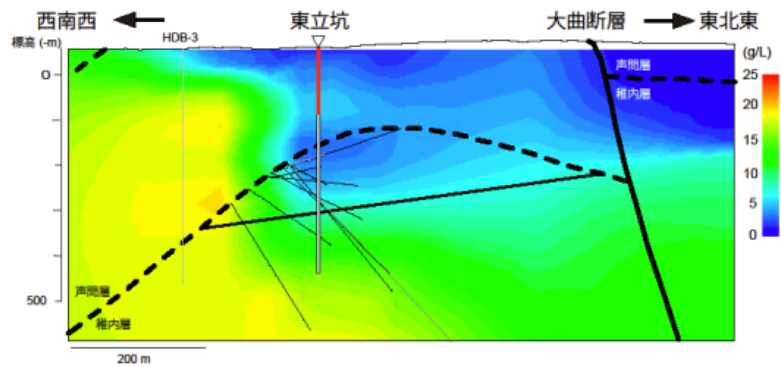
---

\*17：地下水の水質が地下環境でどのように分布しているのかを図や数式などを用いて表現したものです。

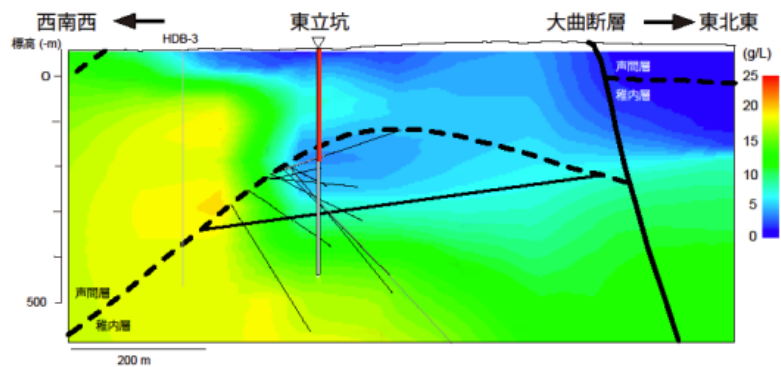




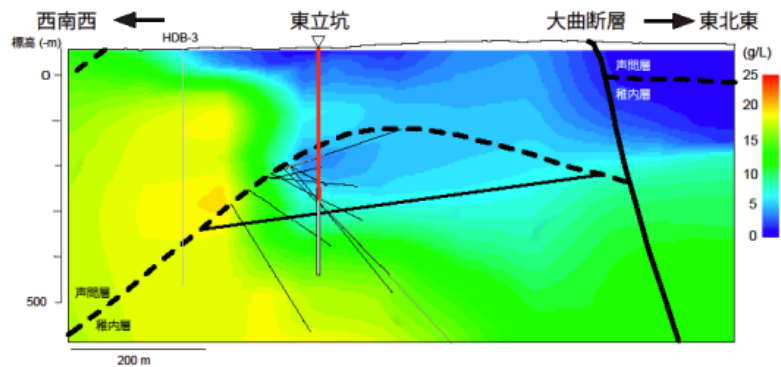
(a) 第1段階調査時（坑道掘削前）



(b) 平成20年度



(c) 平成22年度



(d) 平成25年度

図 16 坑道周辺における地下水中の塩分濃度の空間分布  
 図中の東立坑の赤い部分は、各年度末の時点での掘削深度を表しています。

#### (4) 岩盤力学

第2段階では、第1段階で設定した岩盤力学モデル<sup>\*18</sup>の妥当性とその更新を目的として、地下施設において、坑道掘削によって生じる岩盤の物性変化の範囲と程度を調査します。坑道全体の掘削影響領域を調査することを目的として、平成25年3月～6月に弾性波屈折法探査<sup>\*19</sup>を250m西側調査坑道で実施しました。図 17に弾性波屈折法探査結果を示します。これらの図でわかるように、坑道壁面からおよそ0.5mの範囲で、図中の赤色で示される弾性波速度が顕著に低下した領域が見られました。このことから、壁面から0.5mの範囲内で坑道掘削による割れ目の発生が顕著であることが予想されます。さらに、坑道掘削に伴う岩盤の透水性を検討するために、(一財)電力中央研究所<sup>\*20</sup>(以下、電中研)との共同研究として、平成25年9月に250m西側調査坑道において透水試験を実施しました。図 18に示す結果より、壁面から0.5～1.5mで、声問層の健岩部の透水係数( $10^{-9} \sim 10^{-10}$  m/s)に比べて2桁程度高い透水性( $4.9 \times 10^{-8}$  m/s)が見られ、この区間では多くの割れ目の発達が認められました。また、壁面から2.5～3.0mの範囲では、声問層の健岩部と同程度の透水係数( $2.9 \times 10^{-10}$  m/s)が確認され、割れ目は認められませんでした。壁面から4～5mの範囲では、上述の坑道近傍と同程度の透水性( $1.1 \times 10^{-8}$  m/s)が見られ、天然に形成されたと考えられる割れ目の発達が認められました。以上の結果から、少なくとも坑道から1.5m以上離れた範囲で、既存の割れ目発達領域の透水性を有意に上回るような掘削影響領域は形成されていないことが推定されます。今後、割れ目と掘削影響領域の関係について、詳しく検討していく予定です。

---

\*18：割れ目などの性質を含めた岩盤の強度・変形などに関する特性を図や数式などを用いて表現したものです。

\*19：壁面岩盤の打撃により発振された波を、壁面に設置したセンサーで受振し、岩盤内部で屈折した波の速度の分布を解析することにより、岩盤内部の損傷領域や損傷の程度を確認する調査です。

\*20：一般財団法人 電力中央研究所は、電力技術の専門研究機関として設立されました。電力技術の研究として、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実施しています。

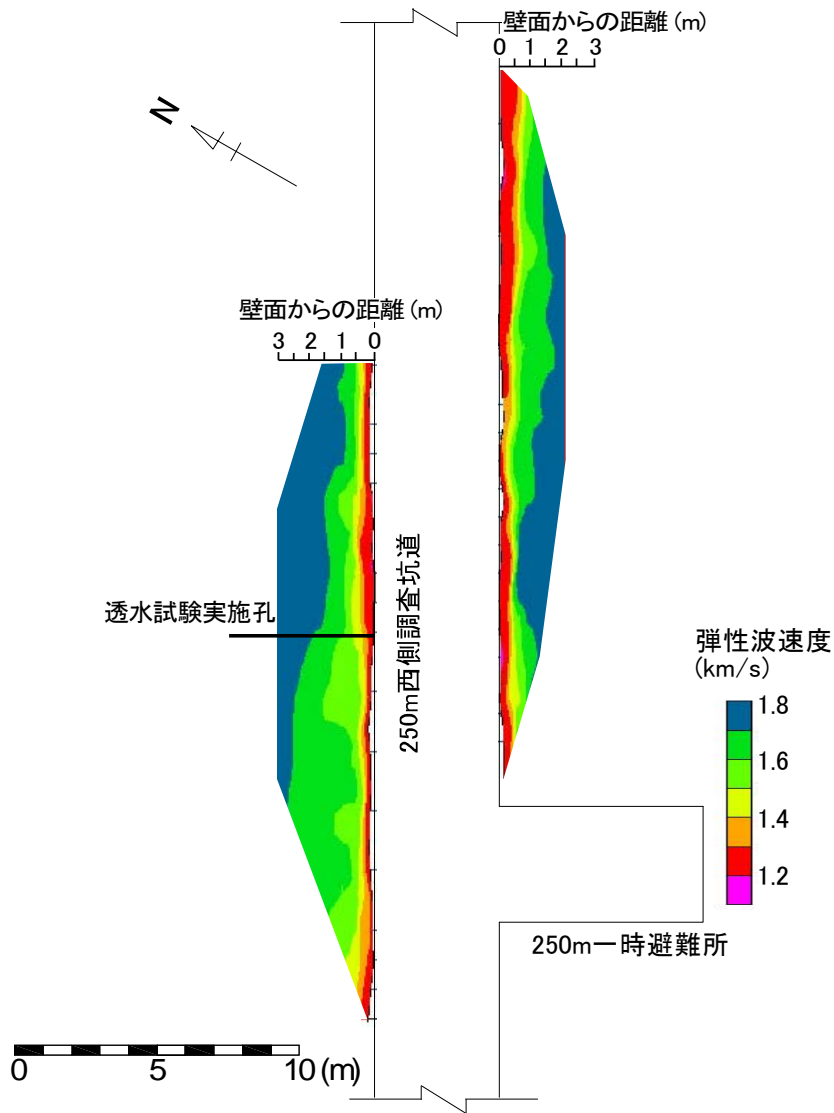


図 17 250m 西側調査坑道における弾性波屈折法探査結果

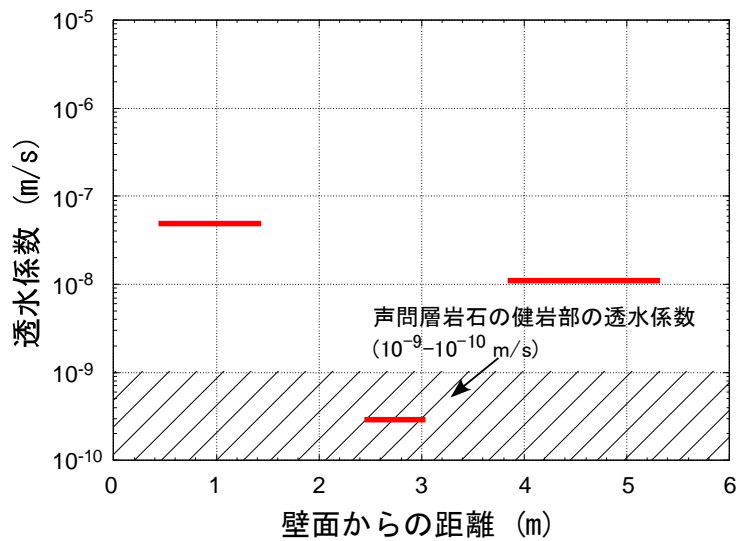


図 18 250m 西側調査坑道における透水試験結果

### 3.1.2 調査技術・調査機器開発

調査技術・調査機器開発として、坑道周辺岩盤の地下水の地球化学特性、坑道掘削の影響調査、岩盤の力学に関する調査のほか、コントロールボーリング技術や塩水と淡水が混在する場における地下水流動に関する技術の開発を継続しました。

#### (1) 地下水の地球化学特性に関する調査技術の開発

第2段階では、地下施設の建設が施設周辺の地下水の水圧や水質に与える影響を観測する技術の整備、岩盤の水理モデル<sup>\*21</sup>や地下水の地球化学モデルの構築、構築したモデルや解析結果の妥当性を確認するためのデータの取得を目的として技術開発を行っています。

地下水の地球化学調査においては、平成24年度に製作した深度350mで使用可能な耐圧性能を有する観測装置を350m調査坑道に設置し、水圧・水質モニタリングを開始しました。坑道内で使用している観測装置では、ボーリング孔内の地下水を空気と触れないように閉鎖しつつ、坑道に設置したポンプで循環させることにより水質のモニタリングや採水を実施しています。今回開発した装置（図 19）は、これまでの観測装置において生じていた主にガスによる地下水循環の妨害解消とメンテナンス性向上を目的とした改良を実施しました。ガス対策としては、孔内の観測区間にガスが発生した場合にも循環が維持できるようにするため、採水口を下側に、注水口を上側に設置する構造としました。また、メンテナンス性の向上については、これまで一体となっていた複数の機能を区分し、容易に脱着できるように3つのユニットに区分することで対応しました。これらの改良により、データの欠損が減るなど、従来よりも円滑に地下水のモニタリングを行うことが可能となりました。

---

\*21：地質構造の分布や形状に合わせて透水係数などの水理的なデータを与えて、岩盤の水理特性を二次元的または三次元的な図や数式などを用いて表現したものです。

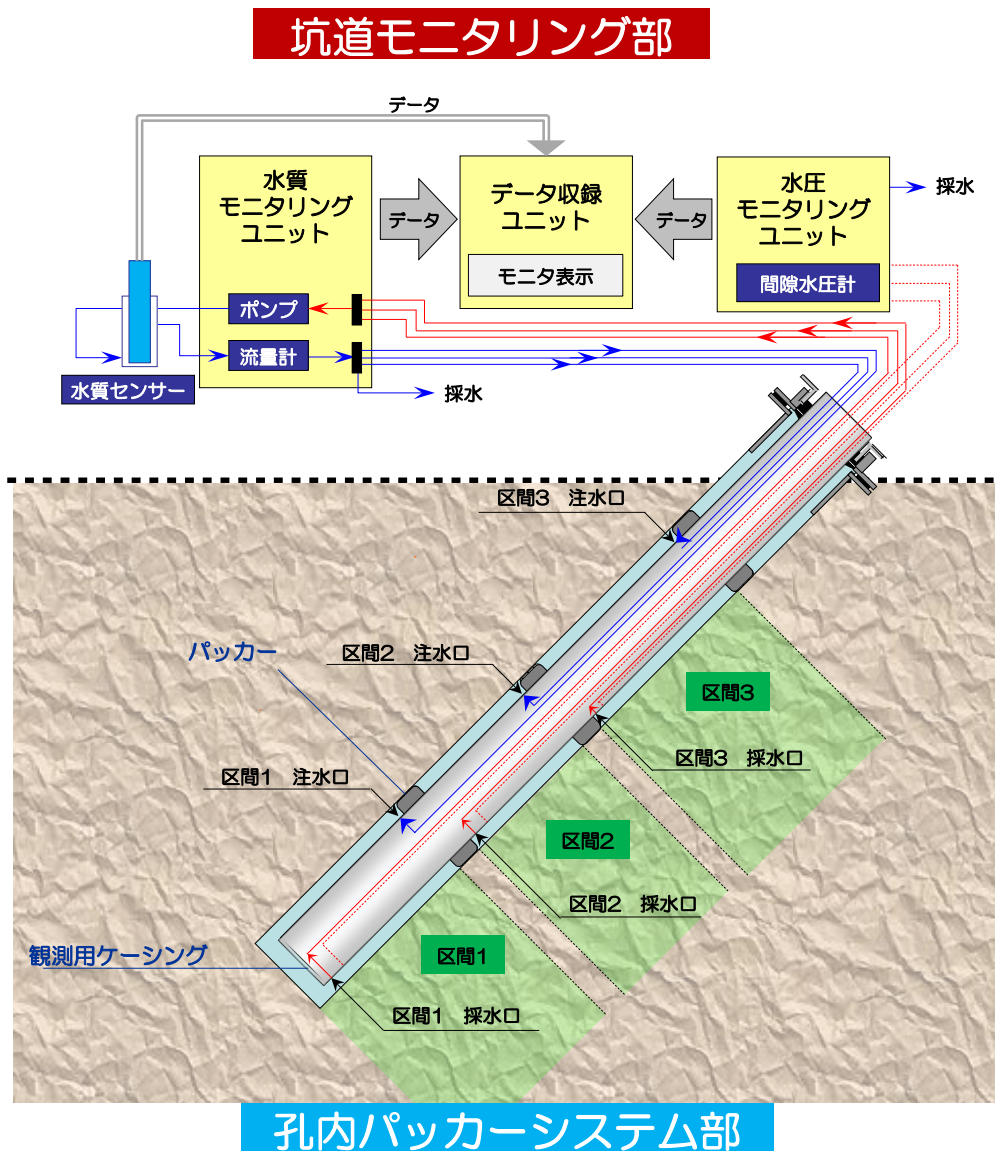


図 19 改良した水圧・水質モニタリング装置の概念図

坑道周辺岩盤の物質の移動特性に関する調査技術開発として、平成25年度は、健岩部での拡散<sup>\*22</sup>現象を対象とした原位置試験装置の製作を行いました。試験孔内の圧力やトレーサー濃度を管理しやすい様に循環システムを構築し、孔内試験区間内のデッドボリューム<sup>\*23</sup>の低減や多数の地下水試料採取を可能とするために試験区間長の最短化やバッファタンクの追加を行いました（図 20）。

\*22：岩盤などの中を元素が、濃度の高い方から低い方へ移動していく現象です。

\*23：ここで記すデッドボリュームとは、孔内試験区間内のうち、現象に直接影響を及ぼさない部分を指します。試験区間内において、孔壁の岩石と孔内の地下水が接触する付近以外の地下水の体積が大きい場合、トレーサー濃度が局所的に偏ったり、地下水の一部が循環せずに試験区間内に滞留したりする可能性があるため、デッドボリュームを小さくする必要があります。

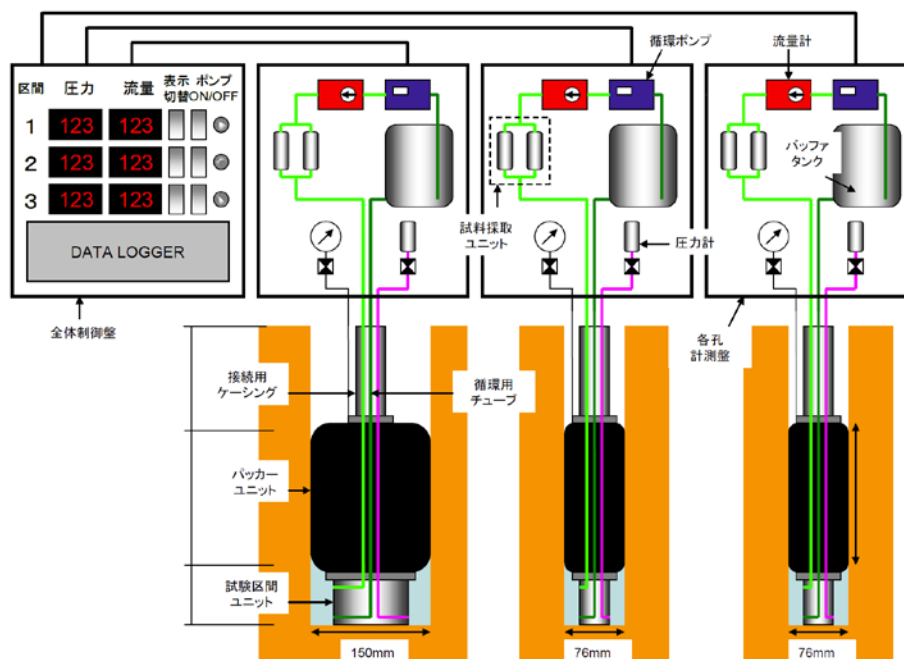


図 20 原位置拡散試験装置の概念図

## (2) 坑道掘削の影響調査に関する調査技術の開発

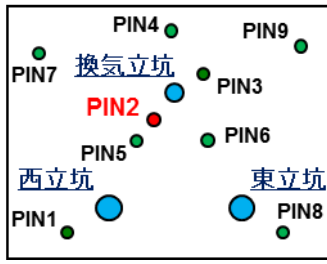
地表面から坑道掘削時の地下深部の岩盤や地下水の挙動をモニタリングする技術を確認することを目的として、立坑の周辺に9台の高精度傾斜計<sup>\*24</sup>を配置し、坑道掘削に伴う地表面における岩盤の傾斜の変化を計測しています。平成25年度は、平成24年度と同様の方法<sup>(3)</sup>で計測データ（直交する2方向での傾斜角度の時系列データ）に含まれるノイズ成分を除去した後、計測した傾斜データと地下施設建設の工程との対比を行いました。平成25年度の主要な掘削工事は、西立坑の掘削（深度300mから深度365m）、換気立坑の掘削（深度350mから深度380m）、東立坑の掘削（深度350mから深度371m）および350m調査坑道の掘削であり、一部の傾斜計で、それらの影響が確認されました。

平成25年度に得られた傾斜データの全体的な傾向として、掘削が進行する立坑の近傍の一部の傾斜量が増加していることを確認しました。各立坑の影響を示すため、立坑の間にあるPIN2の傾斜量と傾斜方向およびHDB-8孔の近傍のPIN10の傾斜量を図 21に示します。PIN2では東立坑側へ

\*24：通常の傾斜計が計測できる角度は約3,600分の1度であるのに対し、約1億分の6度の傾斜量を計測することができる非常に計測精度の高い傾斜計です。

の傾斜の増加が西立坑の掘削開始により西立坑側へシフトし(図 21 (a))、さらに西立坑の掘削終了に伴い、傾斜方向も西立坑の反対方向へ傾斜が減少する傾向が認められ(図 21 (b))、高精度傾斜計によって地下深部の坑道の掘削に伴う地表の傾斜量や傾斜方向が検知できることを確認しました。一方、西立坑から北東方向へ約1km離れたPIN10(図 21 (c))では、地下施設建設に伴う地表の傾斜はほとんど観測されていません。

今後も引き続き、傾斜量および傾斜方向のモニタリングを継続し、高精度傾斜計による地下深部の岩盤の挙動について検討していきます。

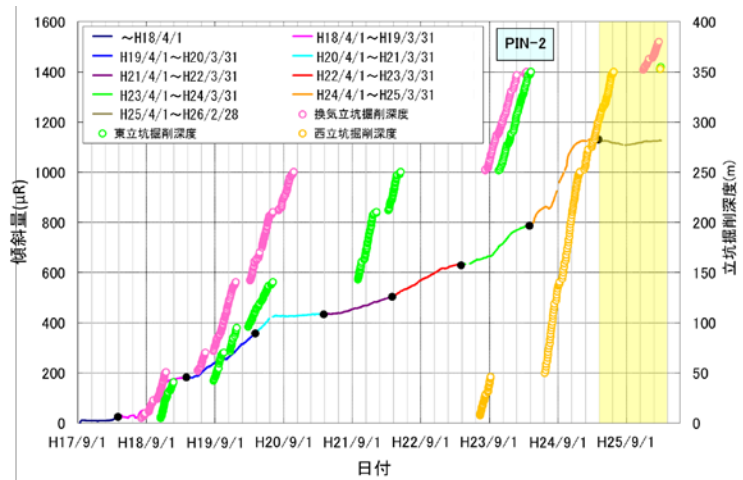


高精度傾斜計の配置

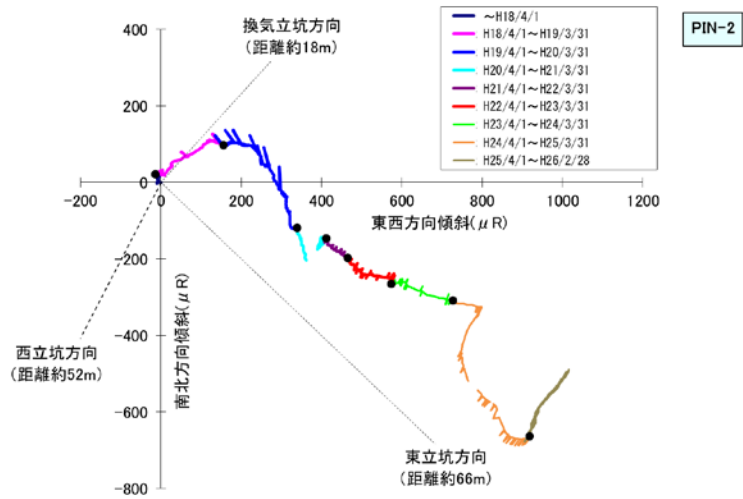


高精度傾斜計の配置

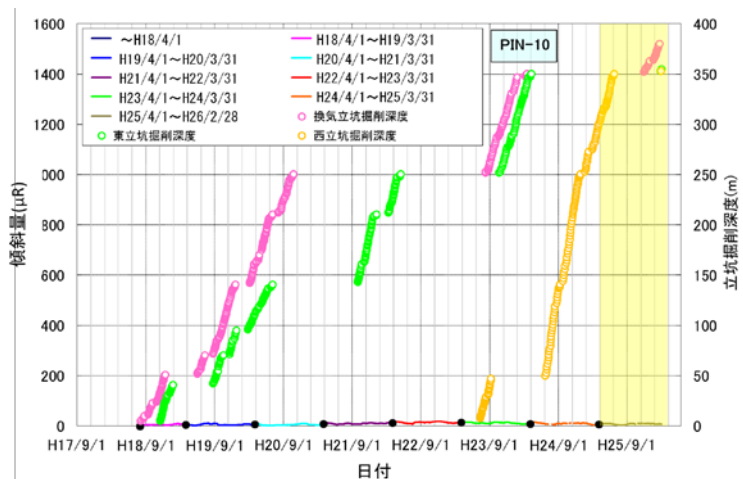
国土地理院発行5万分の1地形図を使用



(a) PIN2 (傾斜量)



(b) PIN2 (傾斜方向)



(c) PIN10 (傾斜量)

図 21 傾斜計データの一例

グラフの縦軸の単位  $\mu R$ (マイクロラジアン)は角度の単位で、1,000  $\mu R$ が約 $0.06^\circ$ に相当します。



### (3) 岩盤力学に関する調査技術の開発

350m調査坑道の試験坑道2～4において、掘削影響領域について力学・水理・化学的観点から検討を行っています。試験坑道2～4における掘削影響試験の各種調査のボーリング孔レイアウトを図 22に示します。

岩盤の力学に関する分野では、弾性波トモグラフィ調査、比抵抗トモグラフィ調査を、試験坑道 2 および 4 の掘削前および掘削直後に実施しており、掘削終了後は年 2 回実施していく予定です。また、岩盤のひずみや変位を連続的にモニタリングしています。これらの調査・計測により、坑道掘削時および掘削後長期にわたる掘削影響領域の変化をモニタリングします。

平成 25 年度は、試験坑道 4 の人工バリア<sup>\*25</sup>性能確認試験の試験孔周辺に設置した埋設ひずみ計による計測を実施しました。計測には、塩化ビニルパイプに 6 個のひずみ計を固定した計器を製作し、6 方向のひずみを計測できるような工夫を施しました。ボーリング孔の所定の位置に計器を設置した後、岩盤と同程度の弾性定数を示すエポキシ樹脂で充てんしました。これにより、岩盤と樹脂の変形挙動が同一となり、岩盤の変形に関わるデータを適切に取得することができます。

人工バリア性能確認試験の試験孔の壁面から 0.35m の A 地点および、1.0m の B 地点（図 23 参照）のひずみの経時変化を例として示します（図 24）。グラフ中のひずみの正值は引張を、負値は圧縮を表しています。坑道の掘削切羽がひずみ計の設置位置に近づくにつれて、徐々に鉛直方向の圧縮ひずみが増大していき、設置位置を越えるとひずみは安定しました。また、人工バリア性能確認試験の試験孔掘削に伴い、ひずみが急激に変化する傾向を捉えることができました。特に、人工バリア性能確認試験の試験孔の近傍の A 地点では、鉛直方向に急激な圧縮ひずみが発生し、その後さらに圧縮ひずみが増大していく傾向が見られました。後述の人工バリア性能確認試験では、試験孔内に熱源と緩衝材を設置し、その後坑道を埋め戻してしていきますので、平成 26 年度以降、それらに伴って周辺の岩盤がどのように変形していくかを調査していきます。

---

\*25：ガラス固化体、オーバーパックおよび緩衝材からなる地層処分システムの構成要素のことで、高レベル放射性廃棄物が人間の生活環境に影響を及ぼさないようにする障壁として、工学的に形成するものです。

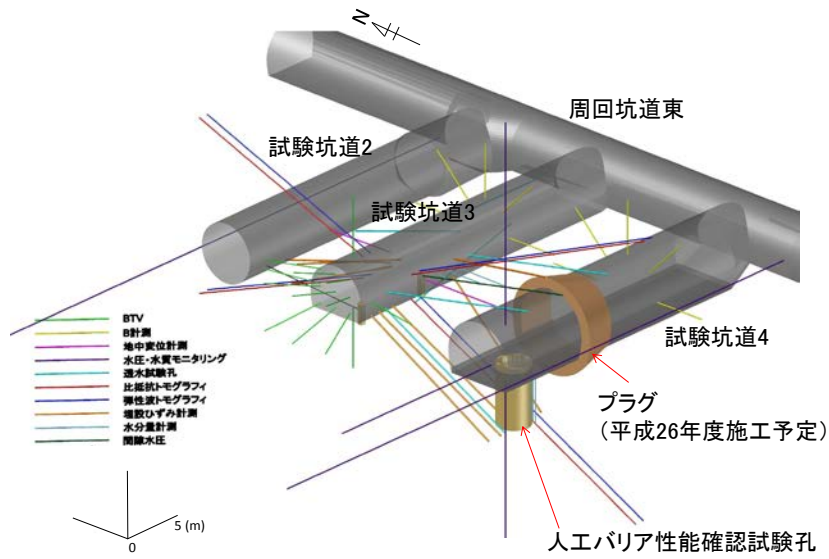
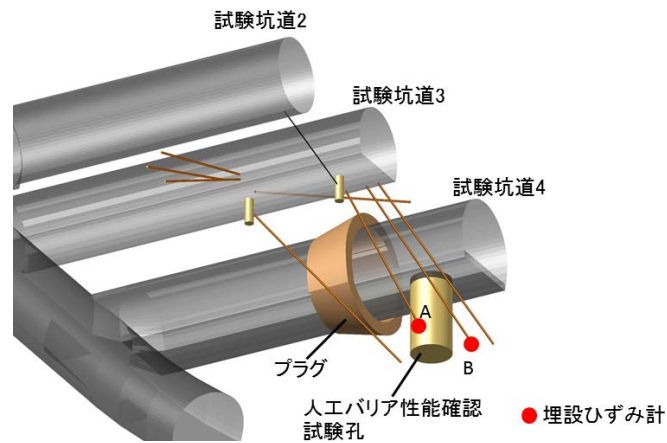
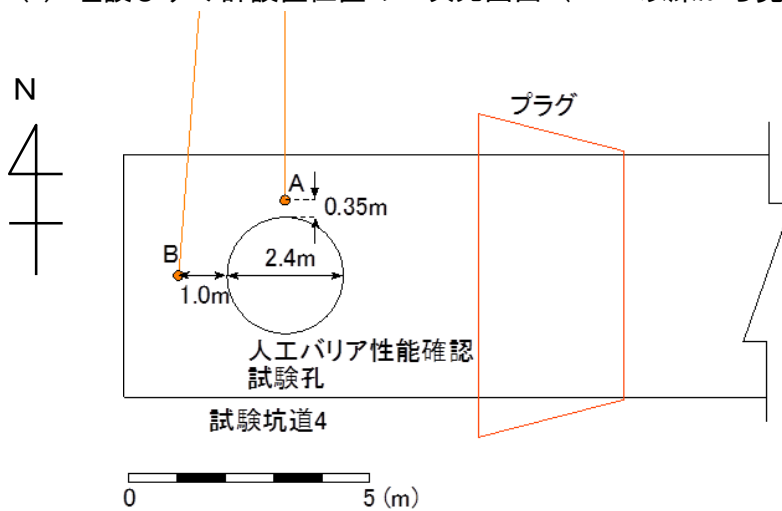


図 22 350m 試験坑道 2-4 における掘削影響試験のためのボーリング孔レイアウト図

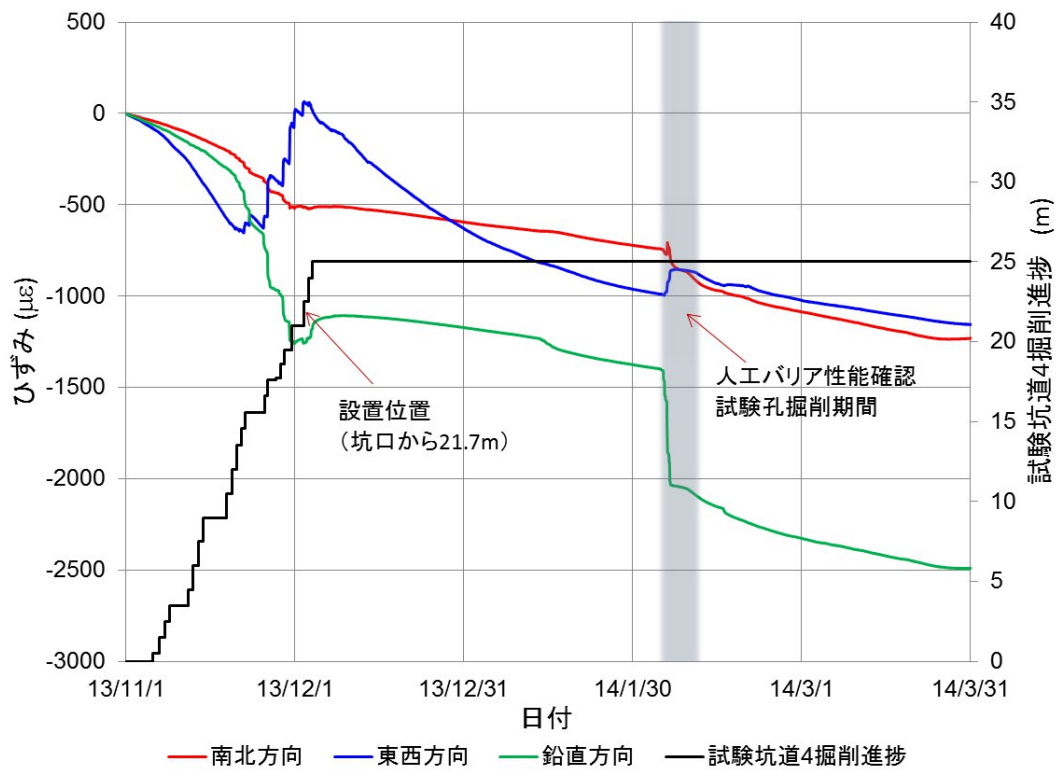


(a) 埋設ひずみ計設置位置の三次元図面 (350m 以深から見た図)

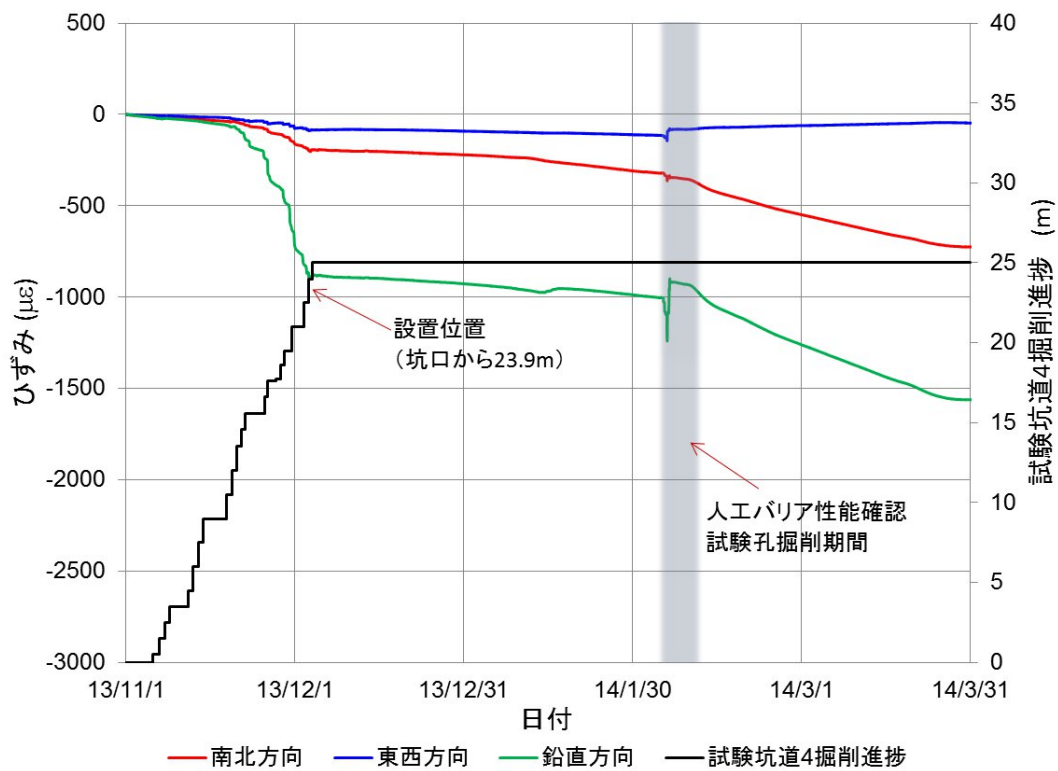


(b) 埋設ひずみ計設置位置平面図

図 23 埋設ひずみ計設置位置



(a) A地点における計測結果



(b) B地点における計測結果

図 24 埋設ひずみ計測結果

#### (4) コントロールボーリング技術の開発

平成24年度に引き続き、電中研との共同研究により、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業である岩盤中地下水移行評価確証技術開発に係わる研究として、ボーリング孔の角度や方向を制御しながら掘削するコントロールボーリングの掘削技術およびボーリング孔を利用した応力や水理特性に関する観測技術の適用性の確認を行いました。平成25年度は、ボーリング調査時に掘削の継続が困難となり、異なる方位への掘削が必要となった場合を想定し、上幌延地区で掘削した掘削長約1,000mのコントロールボーリング孔の孔内から異なる方位へ再掘削する技術の適用性確認を行いました。コントロールボーリングの掘削技術開発については平成25年度で完了し、平成26年度からはコントロールボーリング孔を利用した連続的な水圧・水質長期モニタリングに関する技術開発を行います。

#### (5) 塩水と淡水が混在する場における地下水流動などに関する調査技術開発

幌延町の沿岸域に位置する浜里地区のボーリング孔を利用した塩水と淡水が混在する場における地下水流動や水質形成などに関する調査解析技術の開発は、平成24年度で終了しました。

平成25年度は、平成24年度までに(独)産業技術総合研究所\*26（以下、産総研）や電中研等との共同研究により実施してきた沿岸域を対象とした調査解析技術の開発内容や調査解析技術の利用例について、報告書として取りまとめました<sup>(4)</sup>。

### 3.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

平成25年度は、東立坑、西立坑、換気立坑および350m調査坑道の掘削を進めながら、覆工コンクリート応力や坑道周辺岩盤の変位などの計測を実施するとともに、得られたデータに基づき地下施設設計と計測技術の妥当性の確認ならびに更新を行いました。

---

\*26：独立行政法人 産業技術総合研究所は、産業技術の広い分野における様々な技術開発を総合的に行っている、研究組織です。現在の研究分野は「環境・エネルギー」、「地質」、などの6分野に大別されます。

具体的には、図 25に示すように西立坑の深度320m付近に出現が予想される断層が立坑の安定性に及ぼす影響を分析し、対策を講じました。この断層は以前、換気立坑の深度270m付近に出現しており、周辺岩盤に比べて強度が低く、施工時に岩盤壁面の抜け落ちが大きくなったり、立坑に大きな変形を発生させたりするなど、立坑の安定性に影響を与える可能性があったため対策工を施しました。

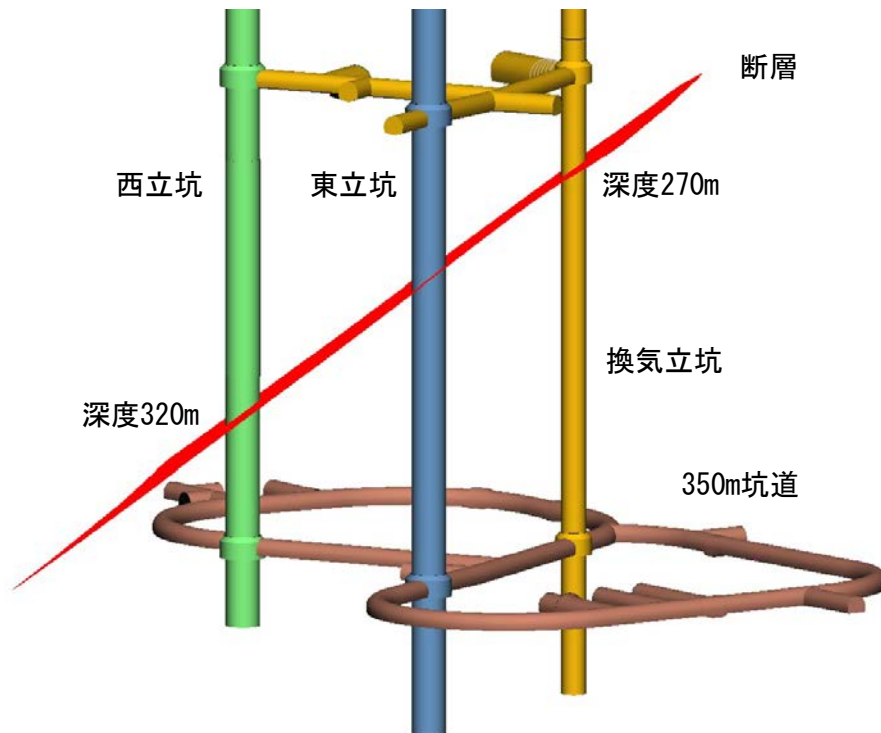


図 25 断層出現位置

対策工の検討にあたっては、この断層が西立坑と斜交することを考慮して、影響度を定量的に評価し、設計に反映させることが重要になります。断層が立坑に及ぼす影響は三次元的になり、また掘削サイクルとともに変化することが想定されるため、施工手順を反映した三次元逐次掘削解析により、覆工コンクリートに発生する応力と変位について解析しました。

解析に用いたモデルを図 26に、解析の結果を図 27と図 28に示します。

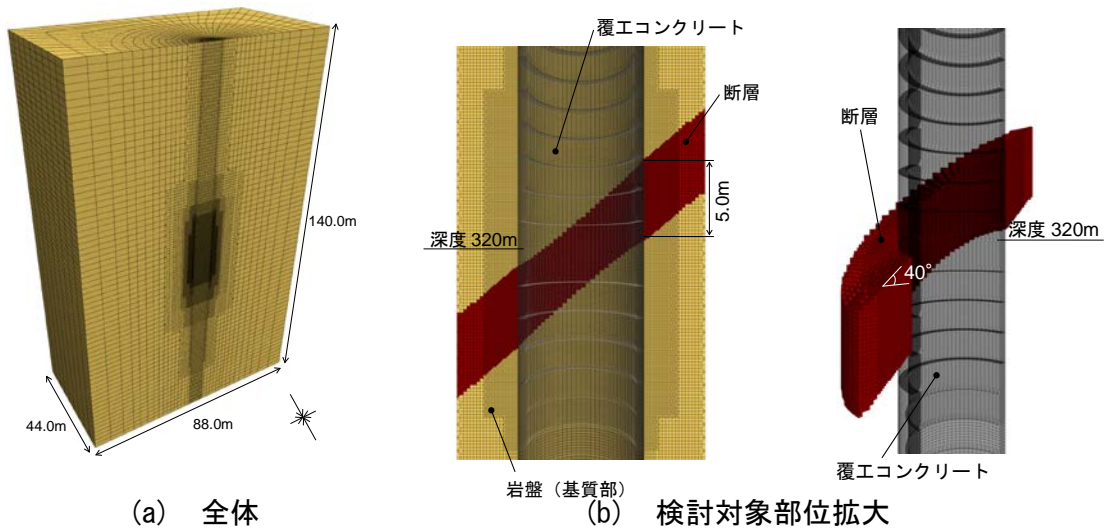
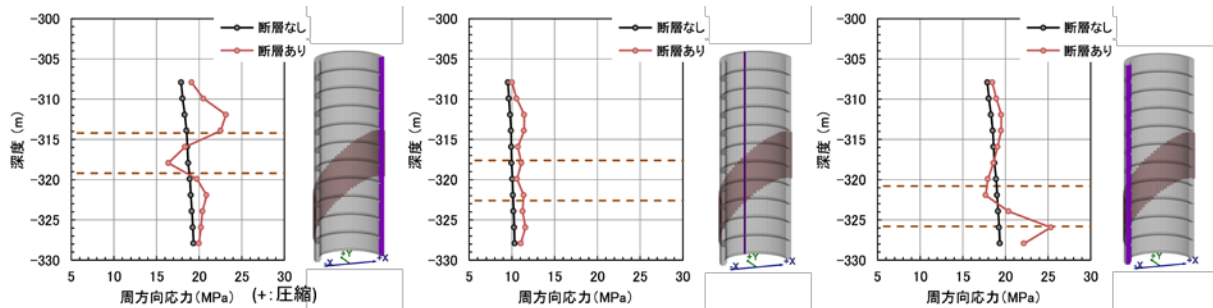
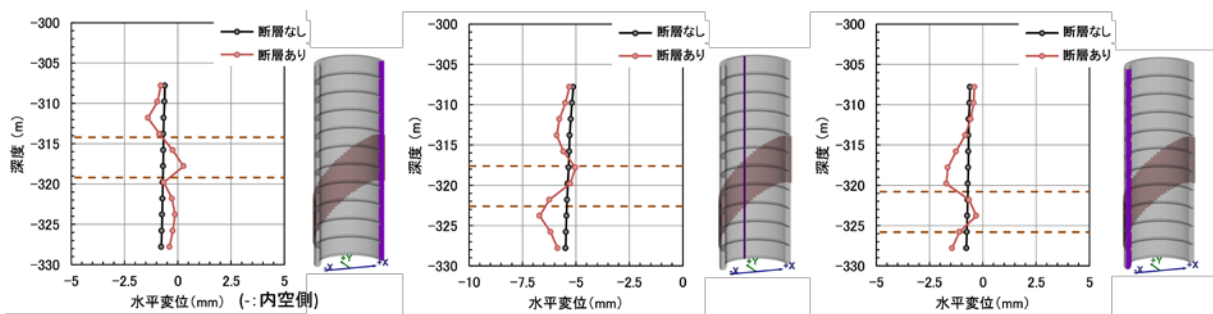


図 26 三次元解析メッシュ



(a) 北側 (b) 西側 (c) 南側

図 27 覆エコンクリート周方向応力の縦断方向の比較



(a) 北側 (b) 西側 (c) 南側

図 28 覆エコンクリート水平変位の縦断方向の比較

図 27と図 28は、北側、西側、南側それぞれにおける断層がない場合とある場合について、掘削が最終深度（断層が壁面から抜ける深度326mより5D（D：掘削径）進んだ深度）まで進んだ時の深度毎の覆エコンクリ

一トの周方向応力と水平変位を示しています。北側では断層が出現する直上の深度、南側では断層下側の境界深度で立坑の形状を保持するために重要である周方向応力にピークが見られ、断層がない場合に対し、どちらも約1.3倍の増加率となりました。また、全体で応力値が最大となるのは南側の深度326m、すなわち断層下側の境界深度となりました。これは、断層により岩盤の強度が低下し、覆工にかかる応力が増加したためと考えられます。一方、北側で断層が岩盤壁面に出現する深度では、断層がない場合に比べて応力値が低下しています。この深度での水平変位を見ると、上盤側では断層より2m上部、下盤ではほぼ断層を境に変位の方向が内空側から岩盤側へと変化していることが分かります。このことから、断層の強度が周辺岩盤よりも低く、地山の最小水平主応力の方向であるため、西側よりも覆工コンクリートが岩盤側に押し戻されやすく応力が緩和されたと推察されます。

対策工については、掘削解析結果を考慮し、先行する換気立坑と東立坑での施工実績を基に、覆工コンクリートの1作業あたりの構築高さを2mから1mへ変更しました。その分、1作業あたりの掘削高さが低くなり、覆工コンクリートの施工までの時間を短くできるため、岩盤のゆるみを抑制する効果が期待できます。また、構築高さを変更する区間は、掘削解析結果から判断して深度320mを基準に上下各8mとし、詳細は施工しながら壁面観察結果などにより対応することとしました。その結果、内空変位の計測結果と覆工コンクリート表面の目視点検結果より、立坑の使用性に影響するような変形やき裂の進展がなく、健全性に影響を及ぼしていないことから、既存の施工実績に基づく支保工の設計の妥当性を確認することができました。

### 3.3 地質環境の長期安定性に関する研究

#### 3.3.1 地質環境の長期的変遷に関する研究

本研究では、地下施設と地表で取得する地質のデータ、地下水のデータ、地形のデータなどを利用し、海水準変動や地殻変動による長期的な変化が地質環境に与える影響を評価するための調査・解析手法の開発を行っています。これまでに、地形・地質構造の変遷や気候変動に伴って

変化すると考えられる地下水の流れを解析する手法の整備を進めてきました<sup>(5)(6)</sup>。

平成 25 年度は、これまで構築してきた解析プログラムを利用して、幌延地域で実際に確認されている地下深部の高い水圧分布に着目した解析を実施し、その再現性の検討を行いました。

具体的には、HDB-11 孔の稚内層深部に観測されている高い水圧分布（図 29 の観測値）について、既存の地形・地質構造の長期的な変遷に関する調査研究の成果<sup>例えば(7)</sup>をもとに堆積岩の堆積、圧密、隆起、侵食などの作用を考慮した一次元の解析を行い、その再現性を検討しました（図 30）。解析の結果を図 31 に示します。その結果、水圧分布の絶対値は一致しないものの、地形・地質構造の長期的な変遷を考慮することで、HDB-11 孔の深部（深度 700m 以深）に認められる高い水圧分布の傾向を再現できることを確認しました。今後は、空間的な情報も考慮して、解析精度の向上を図っていく予定です。

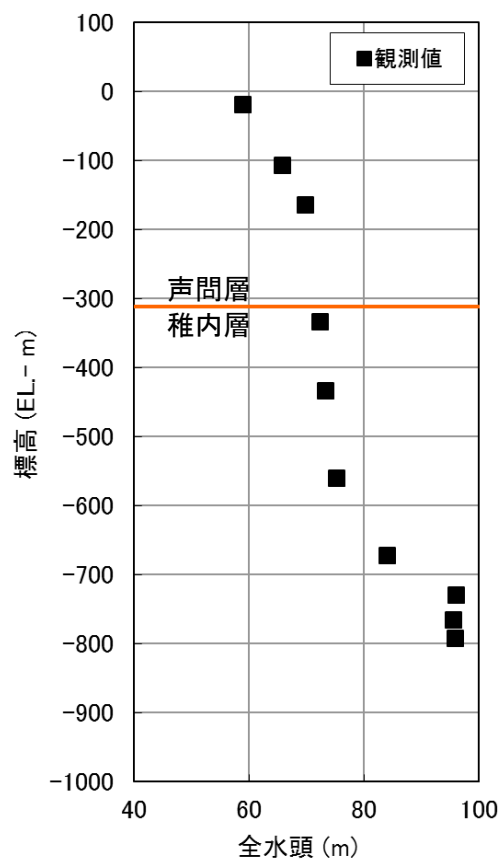


図 29 HDB-11 孔の水頭分布（観測値）



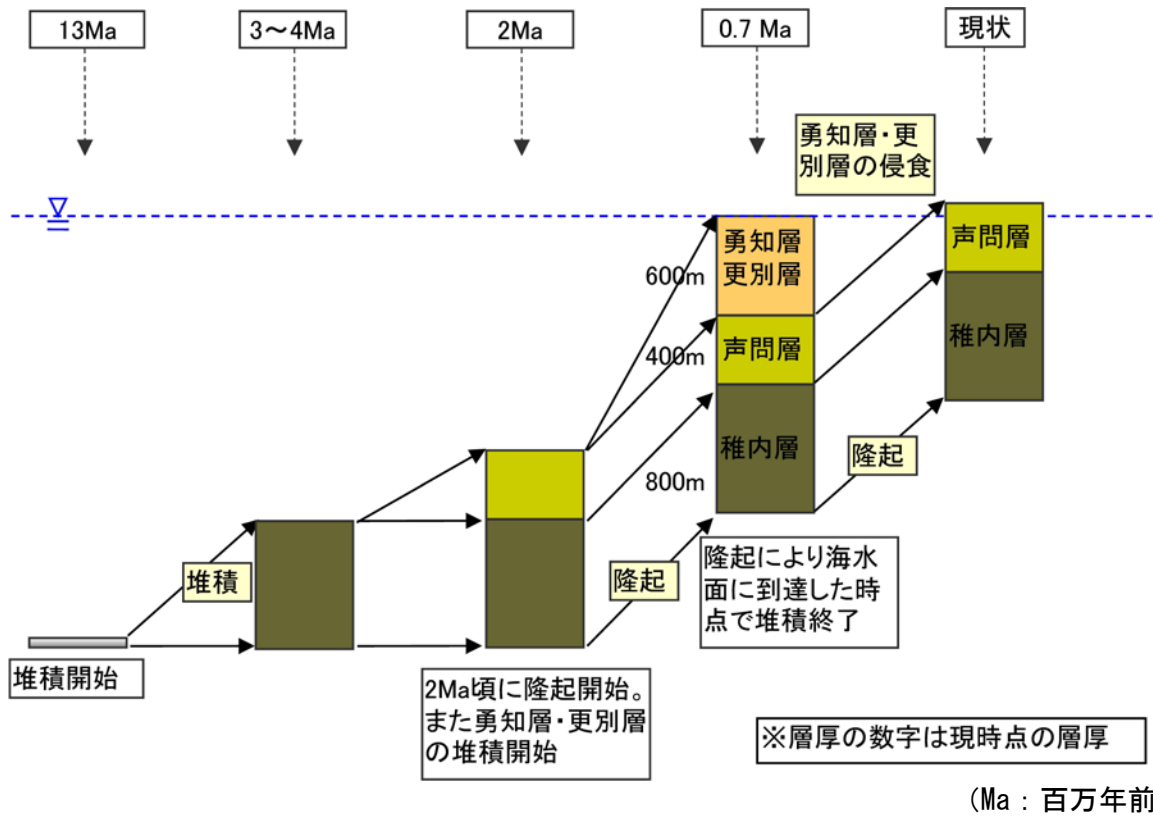


図 30 既存の地形・地質構造の長期的な変遷に関する調査研究<sup>例えば(7)</sup>を参考に設定した堆積岩の堆積と隆起・侵食の模式図

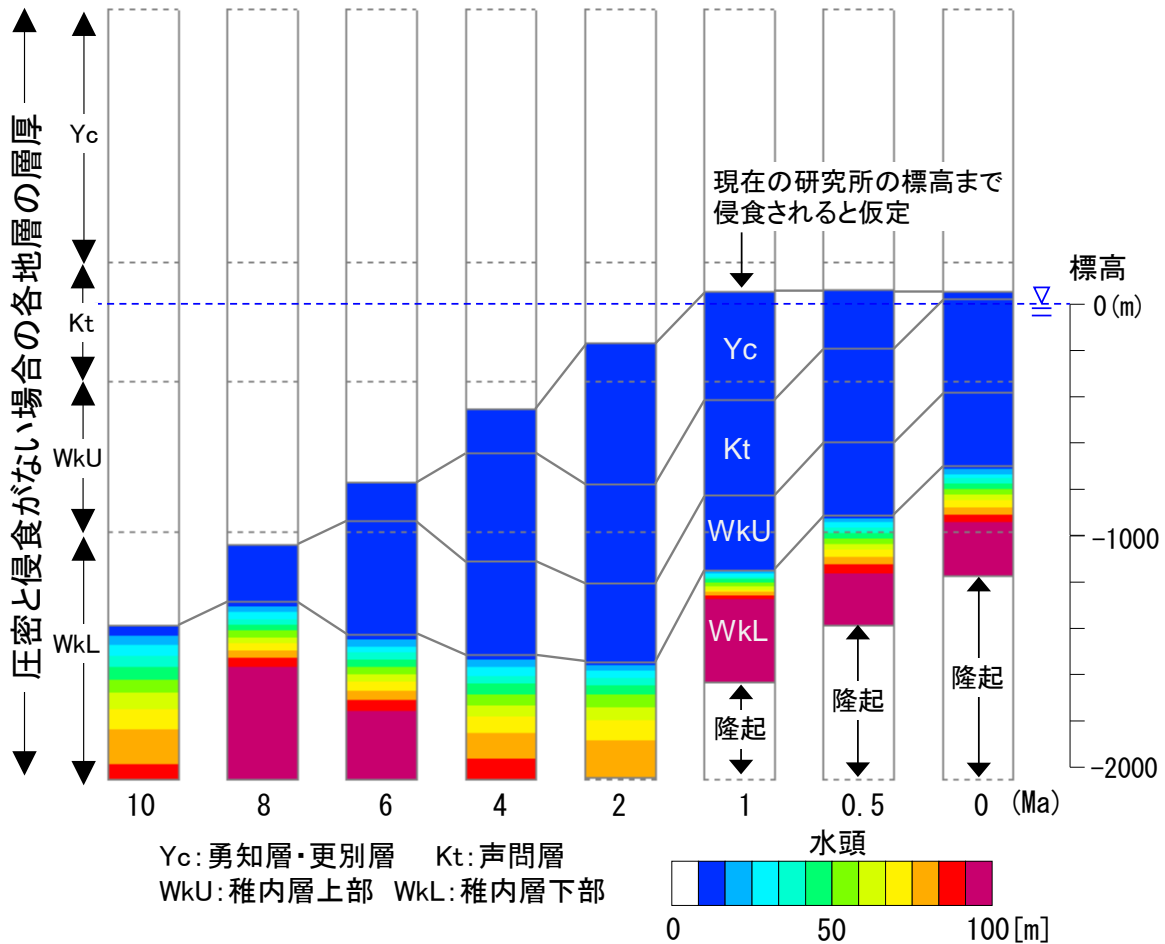


図 31 地形・地質構造の長期的な変遷に基づく  
水頭分布の変化に関する一次元解析結果

### 3.3.2 地震研究

現在の地殻変動の傾向を確認することを目的として、これまでに観測された地震のデータを用いて、幌延町の周辺で発生したいくつかの地震について、メカニズム解<sup>\*27</sup>を解析しました。解析の結果、多くの地震で逆断層<sup>\*28</sup>の動きであることが推定されました<sup>(8)</sup> (図 32)。また、そのような断層の動きを起こす力としては地盤を横方向から圧縮する力が加えられており、その方位は概ね東西方向を示しました。このような地震の解析結果は、GPSの観測データを用いて調べた数年間の地面の動きが、ほぼ東西に縮む方向であったこと<sup>(9)</sup>と、同じ傾向であると言えます。

\*27：メカニズム解は、地震を発生させた断層がどの方向を向き、どのように動いたか、および地震がどのような力によって発生したかを示すものです。

\*28：断層面を境とした上の地盤が下の地盤に乗り上がるような断層を指します。

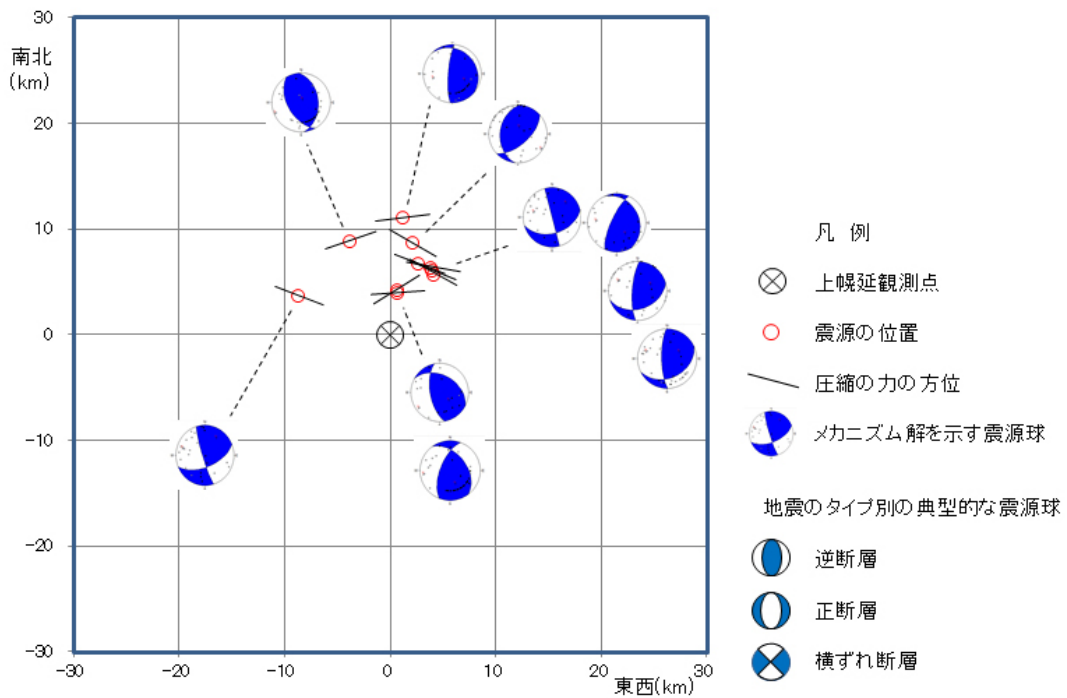


図 32 幌延町付近で発生した地震のメカニズム解の例

このような地震活動や断層の動きの傾向は、地殻変動の傾向と関連するものであることが知られています。地殻変動は地質環境に様々な変化を生じさせますが、ここでは過去数百万年前から現在までの間に、断層運動に伴って地層の形が曲がったり、隆起により山ができたような地質構造の発達過程をバランス断面法<sup>\*29</sup>という解析により推定します。また、推定した地質構造の発達過程に基づく数値解析により地震時の地下のひずみを求め、断層運動による影響範囲（岩盤のひずみや変形が起こる範囲）を試算して現在のボーリング調査結果などと比較します。これらの、推定や解析および比較は、いくつか想定される地質構造の発達過程の仮説の中から、より正しいものを抽出する手段として行います。

平成25年度は、そのための基盤情報を得ることを目的として、現在の地質構造を推定する手法の改良を行いました。ここでは、構造を可視化するような調査である反射法地震探査について、構造の検出能力を高め

\*29：バランス断面法とは、地質構造が様々な作用により変化しても、その体積の総量は変化の前後でバランスすることを基本原理とした解析法で、様々な作用に応じたいくつかの解析法があります。

るため解析法として重合前時間マイグレーション法とCRS法<sup>\*30</sup>を新たに適用しました。その結果、図 33に示すように、従来の解析法よりも明瞭に地質の境界面を検出することができました。

今後は、この解析結果を基に、現在の地質構造と地質構造を変化させた断層の形状を推定します。また、過去から現在までの地質構造の変化のプロセスを復元するとともに、推定した断層形状を用いた地震時の地下のひずみの数値解析により、断層運動による影響範囲（岩盤のひずみや変形が起こる範囲）を検討する予定です。

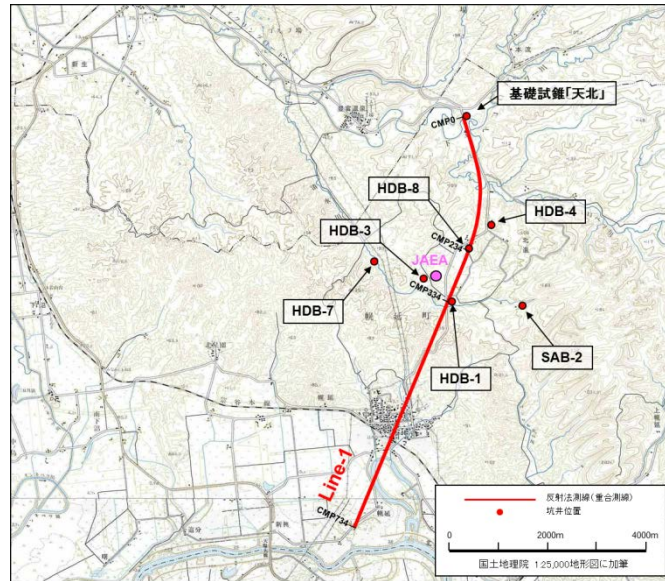
また、地殻変動について長期的な変化の大きさや変化した時期の推定結果を検証するための地震動データを取得することを目的として、平成25年度の地震観測は、上幌延観測点（図 4のHDB-2孔敷地）において強震観測<sup>\*31</sup>を行いました。平成25年度に震度1以上に相当する地震を観測した回数は2回あり、そのうち最も大きいものは震度2に相当しました。それらの観測値は、周辺の観測点<sup>\*32</sup>の値と調和的でした。また、上幌延観測点での揺れの大きさ（最大加速度）を地表と地下（約140m）で比べると、地下は地表の1/2および1/6程度であり、これまでと同様に地下の方が小さい値でした。今後は、上幌延観測点での地震観測を継続するとともに、その地震動データを用いて、地殻変動について長期的な変化の大きさや変化した時期の推定結果の妥当性を検証し、地震や断層の動きによって生じる地質環境への影響を推定する手法の開発を進めます。

---

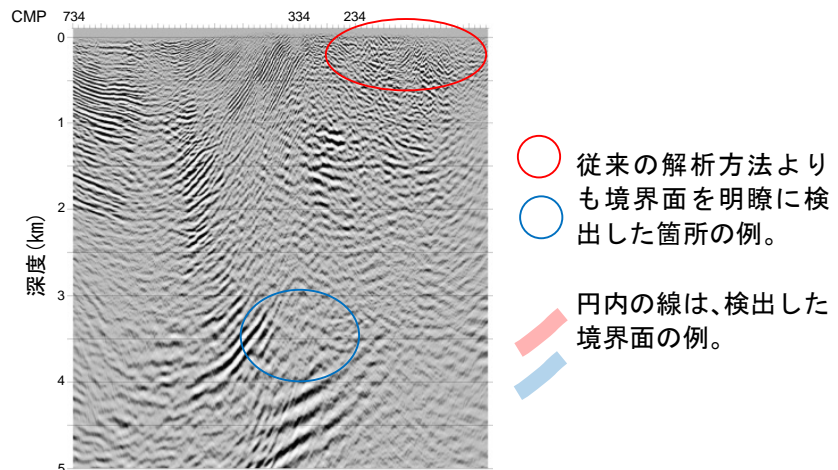
\*30：Common Reflection Surface Stack法（共通反射面重合法）の略称です。

\*31：強震観測とは、強い地震動でも振り切れない地震計を用いて、地震の詳細な波形を観測するものです。

\*32：周辺の観測点とは、原子力機構の地下施設-250m調査坑道の地震観測点、気象庁が震度を公開している幌延町宮園町および豊富町西6条の震度観測点、独立行政法人防災科学技術研究所の強震観測網（KiK-net）の地震観測点（豊富）です。



反射断面位置図



従来の解析方法

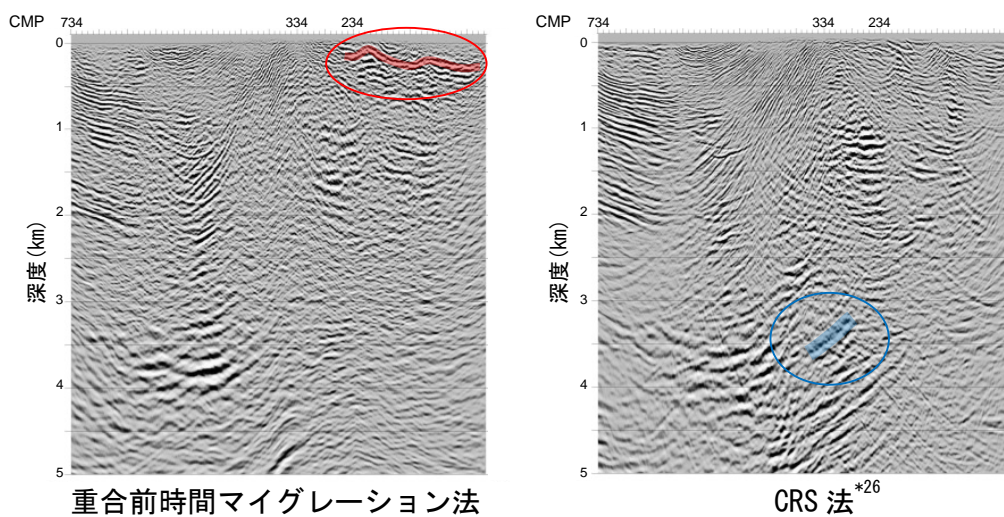


図 33 反射法地震探査の解析結果

## 4. 地層処分研究開発

### 4.1 処分技術の信頼性向上

#### 4.1.1 人工バリアなどの工学技術の検証

平成25年度は、低アルカリ性コンクリート材料の周辺環境への影響調査、緩衝材の定置試験、無線モニタリング装置の適用性確認などを実施しました。

##### (1) 低アルカリ性コンクリート材料の周辺岩盤への影響調査

地下施設の建設に支保工の材料としてセメント系材料であるコンクリートを使用した場合、コンクリートと接触した部分の地下水のpHが12以上の高アルカリ性となることが想定されます。この高アルカリ性の地下水が、緩衝材（ベントナイト<sup>\*33</sup>）や坑道周辺の岩盤を変質させ、人工バリアや天然バリアの性能に影響を与える可能性があります。このような影響を緩和するために、通常のセメントに比べてpHが低くなるセメント（低アルカリ性セメント）の開発を継続しています。低アルカリ性セメントは、通常のセメントに産業副産物であるシリカフューム<sup>\*34</sup>とフライアッシュ<sup>\*35</sup>を配合し、これらの材料を高pHの原因となる水酸化カルシウムなどと反応させることで、pHを低く抑えるものです。これまでに、140m、250mおよび350m調査坑道において吹付けコンクリートとしての施工性を確認するとともに、坑道周辺の環境への影響調査を継続しています。

平成25年度は、350m調査坑道の西連絡坑道の一部および試験坑道2、3、4の施工に低アルカリ性の吹付けコンクリートを使用するとともに、平成24年度に施工した低アルカリ性のグラウト材料の影響評価として、グラウト改良範囲における岩盤の透水性を確認しました。図 34に350m調査坑道における低アルカリ性コンクリート材料を用いた施工試験の範囲を示します。

具体的には、低アルカリ性のグラウト材料で周辺岩盤を改良した350m

---

\*33：ベントナイトは粘土鉱物のスメクタイトと石英などの鉱物から構成され、地層処分における人工バリアシステムに用いる緩衝材の候補材料です。

\*34：SiO<sub>2</sub>を主成分とした粒径0.1μm程度の球形の超微粒子の産業副産物です。ケイ素と鉄の合金であるフェロシリコンなど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。

\*35：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SiO<sub>2</sub>を主成分とし、集じん機で集じんすることにより得られます。

調査坑道の西連絡坑道において、坑道から図 35のように放射状にボーリング孔を掘削し、透水試験を実施しました。その結果、グラウト施工前には透水性が高いと考えられた改良範囲（図 35のグレーの部分）において、その外側の健岩部と同等の透水性が得られました。このことは、低アルカリ性セメントを用いたグラウト施工において十分な湧水抑制効果が得られたことを示しています。今後も定期的に透水試験を実施し、低アルカリ性セメントを用いたグラウト施工による湧水抑制効果の経時的な変化を観測する計画です。

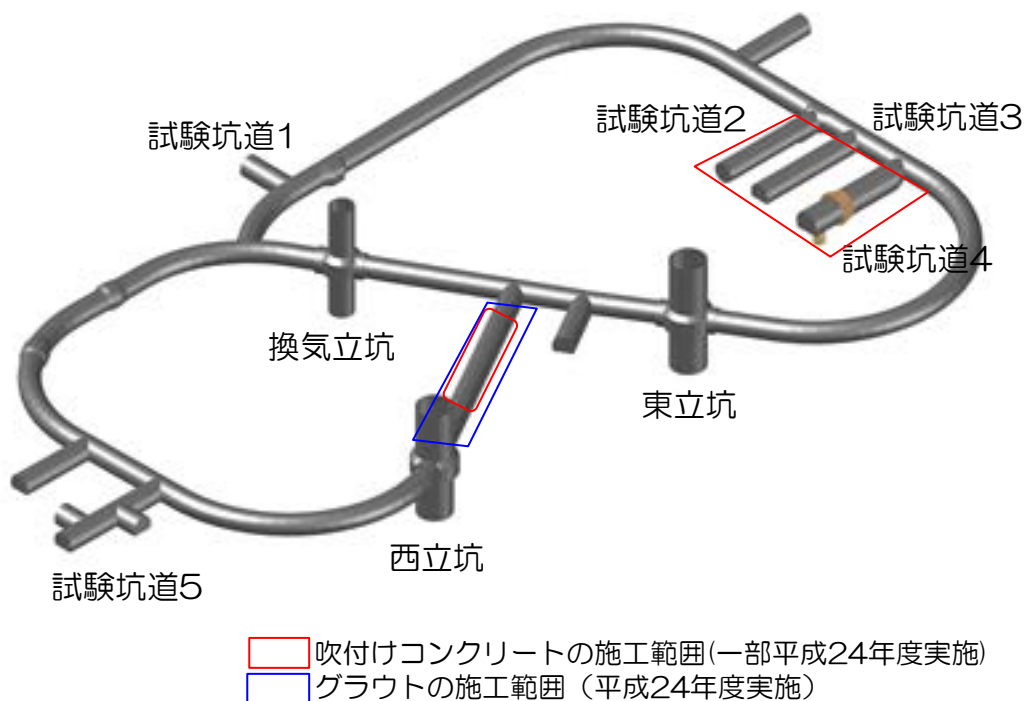


図 34 350m 調査坑道における低アルカリ性コンクリート材料の施工範囲

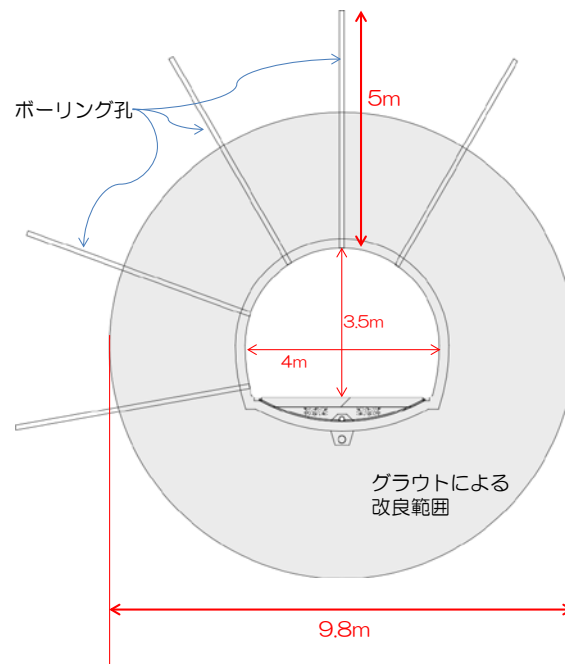


図 35 透水試験のボーリング孔配置（西立坑側を見た図）

## (2) 緩衝材の定置試験

平成24年度に引き続き、(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター<sup>\*36</sup>（以下、原環センター）との共同研究により、経済産業省資源エネルギー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工学技術に係わる研究として、緩衝材定置試験を実施しました。また、緩衝材中に水がしみ込んで隙間が閉塞される過程を観察できる装置を新たに製作し、浸潤試験を継続しました。

緩衝材定置試験は、図 36に示した緩衝材定置試験設備を使用し、実物の緩衝材ブロックを用いた試験と模擬緩衝材ブロック（コンクリート製）を用いた試験を実施しました。

実物の緩衝材を用いた定置試験では、平成20年度に製作し、地層処分実規模試験施設内で保管していた緩衝材ブロックを58個使用して、7段分を定置しました。自動運転によって、緩衝材ブロックを模擬処分孔に定置し、その速度や精度などを確認しました。定置試験の様子を写真 2に

<sup>\*36</sup>：公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センターは、放射性廃棄物処理処分の専門研究機関として発足しました。現在は、原子力発電環境整備機構 (NUMO) を通して積み立てられる最終処分積立金の管理などを行う資金管理業務も実施しています。



示します。

また、模擬処分孔に模擬緩衝材を3段定置した状態で、4段目の模擬緩衝材を繰り返し連続運転によって定置し、その速度や精度などを確認する定置試験を2日間で計24回実施しました。なお、この試験は「おもしろ科学館2013 in ほろのべ」（平成25年9月）で一般公開しました<sup>(10)(11)</sup>（写真3）。

これらの定置試験の結果、設計段階で想定していた性能を確認することができました。

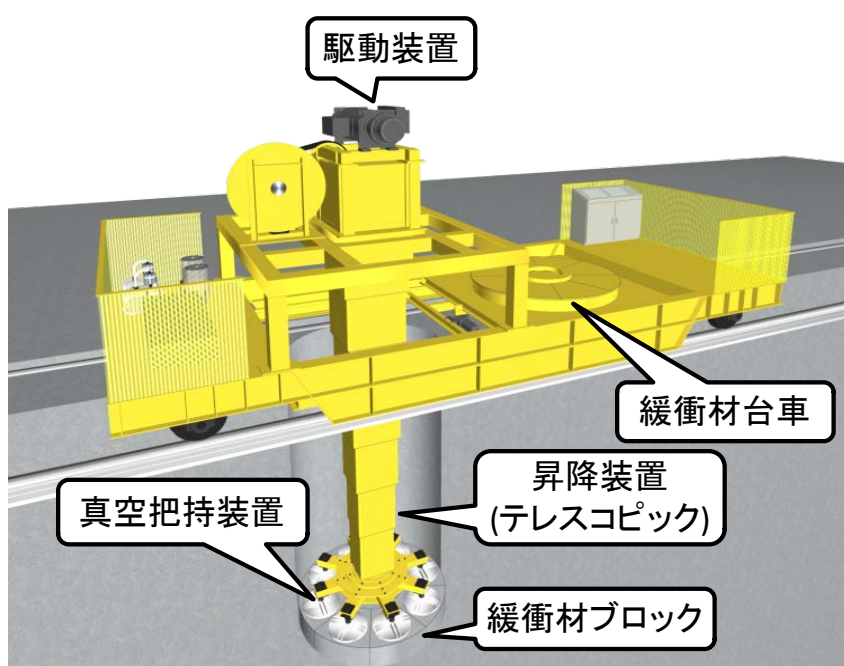
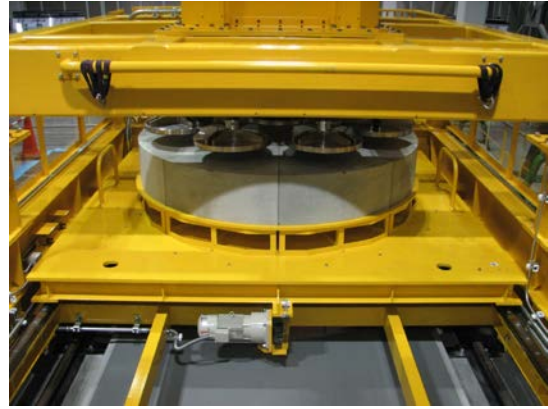


図 36 緩衝材定置試験設備の各部名称



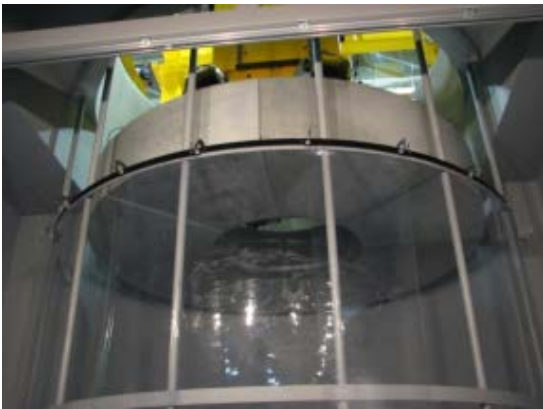
(1) 緩衝材台車をテレスコピック下部へ移動



(2) 真空把持装置で緩衝材ブロックを把持し、緩衝材台車を戻す



(3) 模擬処分孔へ緩衝材ブロックを降下



(4) 模擬処分孔へ緩衝材ブロックを降下、定置



(5) 定置完了 (7段)

写真 2 緩衝材定置試験の様子



写真 3 緩衝材定置試験の公開の様子

### (3) 無線モニタリング装置の適用性確認

原環センターとの共同研究により、資源エネルギー庁の委託事業である処分システム工学確証技術開発として、地中無線計測技術に係わる研究を実施しました<sup>(12)</sup>。本研究は、無線計測技術を人工バリア性能確認試験に適用し、従来の有線の計測器から得られるデータと比較評価を行い、無線計測技術の適用性を検証するものです。平成25年度は、地下施設の坑道から地上へデータを送るための中継技術の確認試験を行いました。

中継技術の確認試験（以下、中継試験）のイメージを図 37に示します。中継試験では、取得したデータを2回送受信します。第1回目の送信には250m調査坑道に設置した小型地中無線送信装置に計測器を取り付けたもの（写真 4）を用いました。この小型地中無線送信装置は長さが24cm、直径が6cmで、岩盤中で約20mの距離まで測定データを送ることができます。

小型地中無線送信装置から送られたデータは同じく250m調査坑道に設置した地中無線中継装置で中継します。地中無線中継装置は受信用アンテナ（写真 5）、中継装置本体（写真 6）、送信用アンテナ（写真 7）で構成されています。受信用アンテナで小型地中無線送信装置からのデータを受信し（第1回目受信）、中継機本体にデータを蓄積した後、このデータを送信用アンテナでもう一度送信します（第2回目送信）。地中無線中継装置から送られたデータは、深度140m調査坑道に設置したポータブル受信機（写真 8）で受信します（第2回目受信）。確認試験の結果、140m

調査坑道において良好にデータを受信することができたため、地上にポータブル受信機を移設して確認したところ、地上でもデータを受信（第2回目受信）することができました。

今後は、試験坑道4（図 34を参照）で実施する人工バリア性能確認試験で使用する計測器の一部に無線モニタリング装置を適用し、データを取得する計画です。

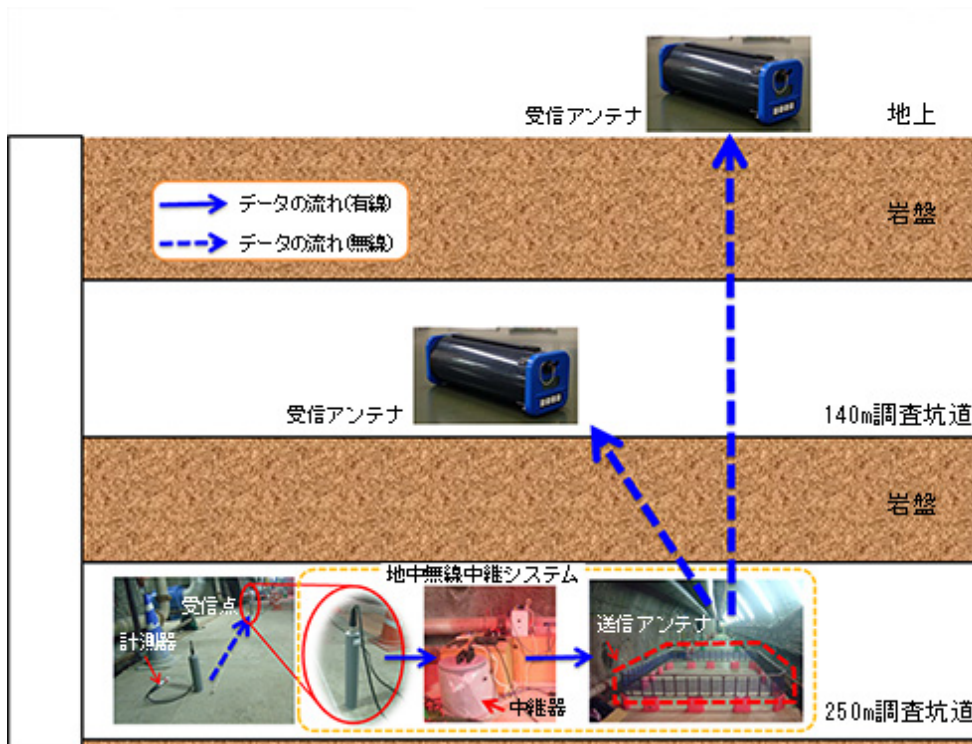


図 37 中継技術の確認試験のイメージ<sup>(13)</sup>



写真 4 小型地中無線送信装置と計測器  
(第1回目送信用)



写真 5 受信アンテナ  
(第1回目受信用)



写真 6 中継装置本体



写真 7 送信アンテナ  
(第2回目送信用)



写真 8 ポータブル受信機とレベルメーター  
(第2回目受信用)

#### (4) オーバーパックの溶接部腐食および緩衝材のパイピング／エロージョン現象に関する研究

原環センターとの共同研究により、資源エネルギー庁の委託事業である処分システム工学確証技術開発として、オーバーパック<sup>\*37</sup>および緩衝材の健全性評価手法の構築のうち、地下施設での品質評価に係わる試験計画の検討、および試験を実施するための試験孔の掘削を行いました<sup>(14)(15)</sup>。

人工バリアを構成するオーバーパックと緩衝材については、地層処分研究開発の第2次取りまとめ報告書<sup>(16)</sup>で示されたものに対して、製作・施工技術の開発が進められており<sup>(17)</sup>、実物大のオーバーパックの本体と蓋の溶接試験や緩衝材ブロックの定置試験などによって、実際に製作・施工できることが確認されています。このように製作されたオーバーパックや緩衝材の長期健全性を示していくことが今後の重要な課題となっています。

オーバーパックと緩衝材の品質に係わるこれまでの室内試験結果から、オーバーパックについては蓋と本体の溶接部分の腐食現象、緩衝材については定置した孔内からの湧水により緩衝材が削られて流出する現象（パイピング／エロージョン）が、品質や長期健全性に大きな影響を及ぼすことが分かりました。また、それらの現象への対策の検討も進められています。しかしながら実験室と実際の地下では、試験規模も環境も異なるため、人工バリアの長期健全性評価技術の信頼性向上のためには、実際の地下環境において、オーバーパックと緩衝材に生じる現象を調査する必要があります。このような背景のもと、350m調査坑道での原位置試験を計画し、平成25年度は試験に使用する試験孔の整備を行いました。

オーバーパック溶接部の腐食試験および緩衝材のパイピング／エロージョン試験に使用する試験孔は、350m調査坑道の試験坑道5に掘削しました（図 34参照）。試験坑道5の路盤コンクリートを除去して岩盤を露出させたのちに試験孔を掘削しました（写真 9）。孔壁にセメント支保などは設けず、むき出しの岩盤に試験対象が直に接するようにしました。掘削

---

\*37：人工バリアの構成要素のひとつです。ガラス固化体を包み込み、ガラス固化体に地下水が接触することを防止し、地圧などの外力からガラス固化体を保護する容器のことを言います。候補材料は炭素鋼などの金属です。

した試験孔は、オーバーパック溶接部腐食試験用を直径55cm、深さ1.5m、緩衝材パイピング/エロージョン試験用を直径55cm、深さ60cmとしました(図 38)。



(a) 試験孔掘削前の岩盤 (b) 機械による試験孔掘削

写真 9 試験孔掘削工事の様子

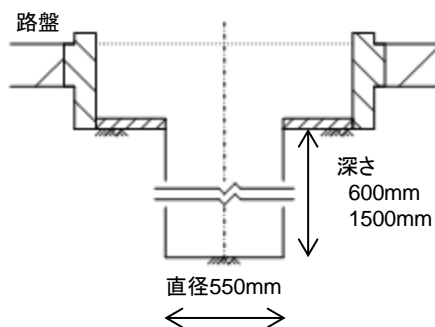


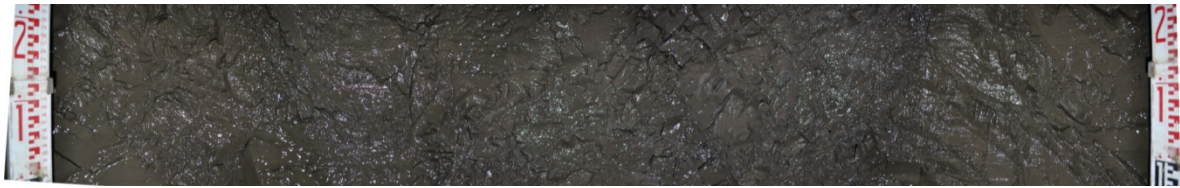
図 38 試験孔掘削位置および試験孔の形状

掘削後に、掘削した試験孔の孔壁の状態や湧水量など、試験条件を設定するために必要な基礎的なデータを取得しました。試験孔壁の崩落は見られず安定していましたが、き裂が多い岩盤であるため凹凸が激しい孔壁となりました(写真 10)。また孔壁からの湧水量は数リットル毎分でした。

平成26年度に試験設備を設置し試験を実施していく予定です。また、試験坑道3で実施予定のオーバーパック腐食試験、試験坑道4で実施予定の人工バリア性能確認試験と連携して、オーバーパックと緩衝材の長期健全性を示すための品質に係わる知見の整備を進めます。



(a) 試験孔の外観



(b) 孔壁の展開画像

写真 10 オーバーパック溶接部腐食試験用の試験孔

#### 4.1.2 設計手法の適用性確認

地下施設で実施する、人工バリアに関する試験や坑道閉鎖試験などでは、緩衝材やオーバーパックの候補材料を用いる予定です。それら人工バリアの材料は幌延地域に見られるような塩水系地下水に対しては、淡水系地下水と異なる挙動を示すことが知られています。

このため、これまでにベントナイトや炭素鋼などの金属材料の特性に関して、塩水系地下水やセメントの影響に対して不足しているデータの取得を継続しています。また、塩水系地下水の環境で生じる地下水と緩衝材やオーバーパックなどの人工バリア材料との反応についての理解や、熱、水理、応力、化学の個別のモデルの開発などを継続するとともに、それらを複合させた人工バリアとその周辺岩盤の長期的な挙動に関する研究を、原子力機構の核燃料サイクル工学研究所と協力して実施しています。さらに、坑道掘削に伴い得られる地質環境データ、室内試験から得られる人工バリア材料の特性や挙動に関するデータを用いて、第1段階で検討した人工バリアや地下施設などの設計手法を適宜見直し、その設計手法を原位置試験の仕様検討に適用することで、手法の妥当性を確認しています。



平成25年度は平成24年度に引き続き、オーバーパックスの候補材料の腐食特性や人工バリア性能確認試験などの原位置試験の詳細な計画について検討し、事前の確認試験や原位置試験のための緩衝材や埋め戻し材の製作などを行いました。

### (1) 人工バリア性能確認試験

350m調査坑道における人工バリア性能確認試験（図 39）は、幌延を事例として、①地層処分研究開発の第2次取りまとめ報告書<sup>(14)</sup>で示した処分概念が実際の地下で構築できることの実証、②人工バリアや埋め戻し材の設計手法の適用性確認、③熱、水、応力、化学の連成現象<sup>\*38</sup>に係るデータの取得、を目的として実施するものです。

本試験で坑道を埋め戻す際に使用する予定の埋め戻し材は、ベントナイト（40％）に350m調査坑道の掘削土（ズリ）（60％）を混合したもので、坑道の下部は現場で転圧しながら締め固め、上部は埋め戻し材を圧縮成型してブロック状にしたものを積み重ねることによって施工する計画です（図 40）。平成25年度は、坑道の埋め戻しについて、坑道の下部で計画している転圧締め固めの予備試験を行うとともに、平成24年度に製作試験を実施した埋め戻し材ブロックの製作を行いました。

埋め戻し材の転圧締め固めの予備試験では、掘削土（ズリ）置場に地下施設の坑道の底盤を模擬したコンクリートを打設し、その上に埋め戻し材を撒き出し、ハンドガイドローラーにて締め固めました（写真 11）。その結果、目標とする乾燥密度（約 $1.2 \text{ Mg/m}^3$ ）が達成できることを確認しました。また、坑道上部の埋め戻しに使用する埋め戻し材ブロックについては、大きさ $30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 10\text{cm}$ で重さ約 $16 \text{ kg}$ のブロックを、人工バリア性能確認試験で必要となる約 $8,000$ 個製作しました（写真 12）。

---

\*38：地下環境に設置された廃棄体の周辺の緩衝材や岩盤には、廃棄体からの熱、地下水との反応、岩盤から（または岩盤へ）作用する応力、化学的な変化などによる影響が複合的に発生すると考えられます。

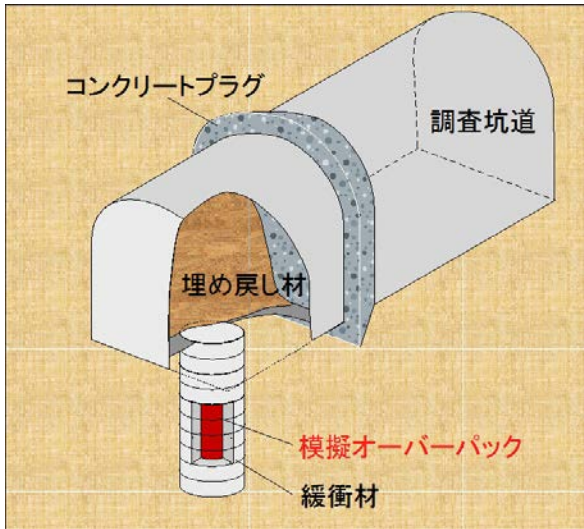


図 39 人工バリア性能確認試験のイメージ図

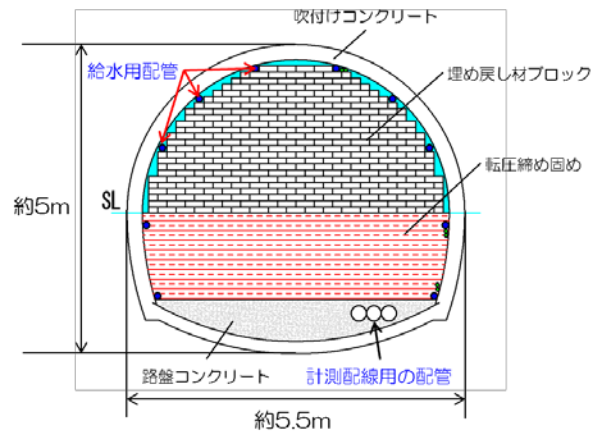


図 40 人工バリア性能確認試験における坑道の埋め戻し



(a) 撒き出し



(b) 転圧



(c) 密度の確認(砂置換法)



(d) ハンドガイドローラー  
(重量660 kg、起振力11.8 kN)

写真 11 転圧締め固め試験



(a) 圧縮成形機(80トンプレス機)への埋め戻し材の投入



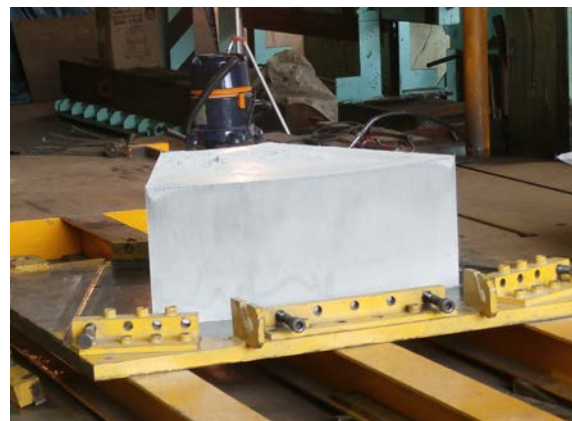
(b) 製作した埋め戻し材ブロック

### 写真 12 埋め戻し材ブロックの製作

また、試験孔内に設置する緩衝材ブロックの製作を行いました。緩衝材はベントナイト（70％）にケイ砂（30％）を混合した材料で、埋め戻し材ブロックと同様に圧縮成形して製作しました（写真 13）。ブロックの形状は、外径226cm、内径86cmのドーナツ形を8分割した扇形で厚さは35cmです。模擬オーバーパックの上下の部分には、直径82cm、厚さ35cmの円柱形の緩衝材ブロックを充てんします。これらの緩衝材ブロックを図 41に示すように、模擬オーバーパックの周辺に12段、約100個設置します。



(a) 緩衝材ブロックの圧縮成形



(b) 製作した緩衝材ブロック(8分割)

### 写真 13 緩衝材ブロックの製作

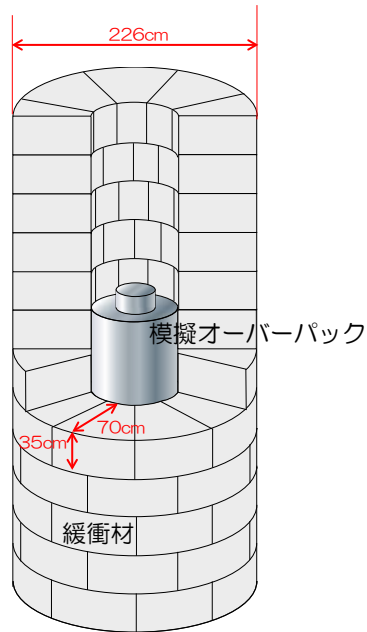
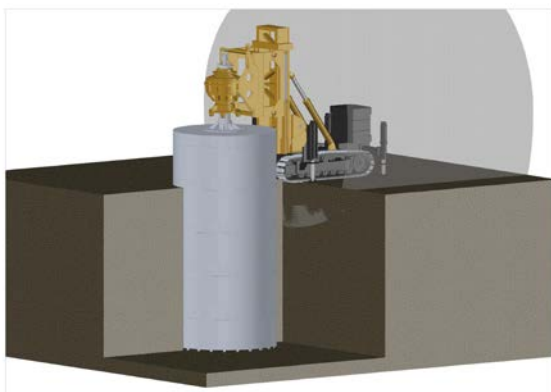
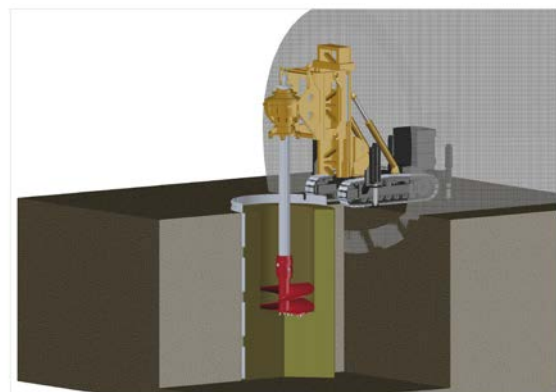


図 41 緩衝材および模擬オーバーパックの試験孔への設置イメージ

350m調査坑道における作業として、試験坑道4（図 34参照）において直径2.4m、深さ4.2mの試験孔を掘削しました。試験孔の掘削のために、図 42に示した外周の全周ケーシング工法と中堀のオーガー工法を同一機械で施工可能な大口径の掘削機を開発しました。本試験では、1孔のみの掘削ですが、実際の処分場を想定した場合には、狭い坑道の中で多数の孔を連続的に掘削すると考えられることから、一貫した掘削作業が可能であり、かつ自走可能な機械としました。開発した大口径掘削機による試験孔の掘削の様子を写真 14に示します。



(a) 全周ケーシング工法



(b) 中堀オーガー工法

図 42 大口径掘削機による試験孔掘削のイメージ



(a) 開発した大口径掘削機



(b) 全周ケーシング工法による外周の掘削



(c) オーガー工法による中掘

写真 14 大口径掘削機による試験孔の掘削

## (2) オーバーパック腐食試験

350m調査坑道における第3段階の試験のひとつとして予定されているオーバーパック腐食試験は、幌延を事例として、塩水系地下水環境におけるオーバーパックの耐食性<sup>\*39</sup>や腐食モニタリング手法の適用性を例示することを目的として実施するものです。

平成25年度は原位置試験に向け、詳細計画の検討を行い、模擬オーバーパックの詳細設計を行いました。材質は炭素鋼のSFVC1<sup>\*40</sup>とし、廃棄体を模擬した発熱が可能な構造としました。模擬オーバーパックの周囲に設置する緩衝材は、人工バリア性能確認試験と同様に、ベントナイトにケイ砂を30%混合した材料を圧縮成形して製作しました。本試験は、オーバーパックの耐食性を主体に検討するため、模擬オーバーパックおよび緩衝材は、実物よりも縮小し、低アルカリ性セメントを用いたコンクリート

\*39：金属の腐食(さび)に対する抵抗性のことで、耐食性のある合金として、一般的にはステンレス鋼やアルミニウム系合金など、オーバーパックの候補材料としては銅やチタン合金などがあります。

\*40：炭素鋼の種類のひとつで、日本工業規格(JIS)で压力容器用炭素鋼鍛鋼品として規定されているものです。

支保の中に、写真 15に示す直径30cmのドーナツ形の緩衝材を設置し、その中心に、直径10cm、高さ約120cmの模擬オーバーパックを設置する構造としました（図 43）。また、試験坑道3（図 34を参照）に直径55cm、深さ約1.5mの試験孔を掘削しました。

さらに、オーバーパック腐食試験計画に関わる検討のひとつとして、平成24年度に引き続き、緩衝材中における腐食挙動をモニタリングする手法の検討を行いました。腐食速度を計測する方法として、コンクリート中や土壌中で適用事例のある、電気化学的な手法を用いた計測の適用性について検討を行いました。平成24年度に考案したセンサーを製作し緩衝材中に埋め込んで、幌延から採取した地下水を浸潤させながら、原子力機構の核燃料サイクル工学研究所において室内試験で実際に測定を行いました。その結果、緩衝材への水の浸潤に伴う腐食挙動の変化を観察できることが確認されました。また、これまで報告されている緩衝材中での炭素鋼の腐食速度と整合する値が得られています。

今後、試験孔にコンクリート支保、模擬オーバーパックおよび緩衝材を設置し、幌延の地下水環境におけるオーバーパックの耐食性に関するデータを取得する計画です。



写真 15 ドーナツ形の緩衝材

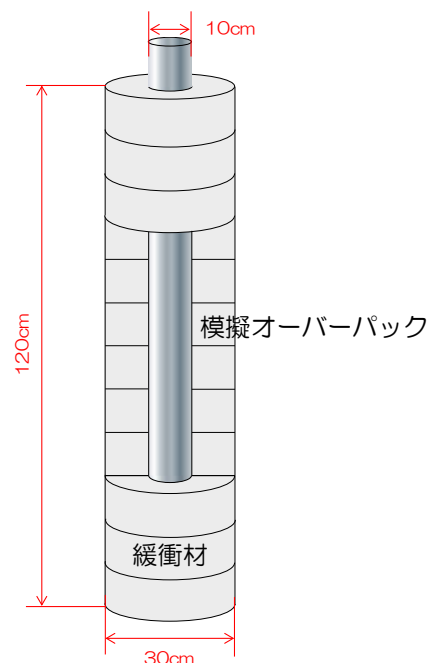


図 43 オーバーパック腐食試験のイメージ

## 4.2 安全評価手法の高度化

安全評価手法の高度化では、人工バリアや天然バリアにおける物質の移動現象の解析・評価に資する基礎データや知見を取得することが目的の一つです。平成25年度は、350m調査坑道において実施予定の原位置物質移動試験における試験計画およびトレーサー<sup>\*41</sup>に関する検討を行うとともに、岩石中の物質の拡散特性や収着<sup>\*42</sup>特性に関する放射性同位体を用いた室内試験を行いました。

### (1) 試験計画に関する検討

350m調査坑道における原位置拡散試験の計画を再検討し、試験装置の製作(3.1.2(1)参照)を行いました。350m調査坑道周辺の既存情報に基づいて事前解析を行った結果、約1年間で試験孔内に投入したトレーサーが試験孔近傍に十分拡散する可能性が高いことが示されたことから(図44)、当初予定していた複数年の試験をまず1年間の試験として実施する計画に見直しました。

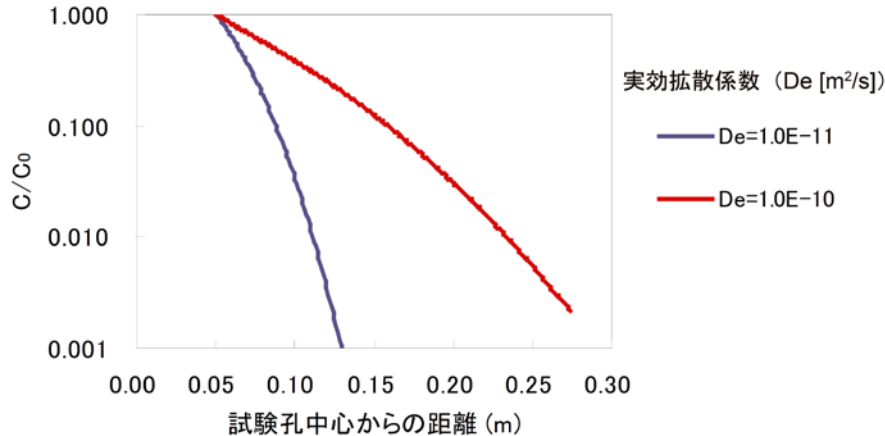


図 44 原位置拡散試験開始から1年後の濃度プロファイル予測の例  
試験孔中心からの距離 0.05m は試験孔の孔壁に相当。C: 濃度、Co: 初期濃度、De: 実効拡散係数<sup>\*43</sup>

\*41: 地下水の流れの方向や流れる時間などを調べるために、地下水に目印として混ぜる染料やその他の薬品を指します。塩化ナトリウム(食塩の主原料)が代表的なトレーサーとなりますが、調べたい地下水の化学成分が塩化ナトリウムに富む場合などにはヨウ化カリウムなどがあり、多種のトレーサーがあります。幌延深地層研究計画では放射性トレーサーを利用したトレーサー試験を行うことはありません。

\*42: 地下水にある元素が、岩盤などに取り込まれる現象です。

\*43: 拡散現象によって、単位時間当たりに単位面積を通過する物質の量を示したものが拡散係数です。物質の移動経路を含む岩盤のような媒体を考えた場合に、実際に岩盤全体が示す拡散係数を実効拡散係数と呼びます。

## (2) トレーサーに関する検討

調査坑道で採取した地下水試料や250m調査坑道で実施したトレーサー試験（調査技術・調査機器開発の一環として実施）の地下水試料を用いて数値解析と室内実験を行い、350m調査坑道で実施予定の原位置物質移動試験で使用するトレーサーの種類や添加濃度に関する検討を行いました。なお、ここで取り扱ったトレーサーは一般に販売されている試薬です。水溶液中のイオン平衡を計算する地球化学計算コード「PHREEQC<sup>(18)</sup>」を用いた数値解析を行った結果、セシウムやヨウ素はトレーサーとして適用できる可能性が高いことが示された一方で、ユウロピウムやストロンチウムは地下水中に十分に溶けにくく、トレーサーとして適用しにくいことが示されました。同様な結果は、調査坑道で採取した地下水試料にトレーサーを添加し、ろ過（写真 16）した実験でも確認され、特にユウロピウムを高濃度（100 mg/L）で添加したケースでは、目視で確認できるほどの沈殿が認められました（写真 17）。図 45に、250m調査坑道で実施したトレーサー試験で採取した地下水試料の分析結果（セシウム・ユウロピウム）を示します。セシウムもユウロピウムも酸処理後の濃度およびその後のろ過ごとの濃度を示していますが、ユウロピウムではろ過ごとに明らかな濃度の低下が認められ、上記の結果と同様にユウロピウムが溶けていない状態が想定されます。350m調査坑道で実施するトレーサー試験ではこのような結果を踏まえた上でトレーサーの選別と濃度設定を行うとともに、250m調査坑道のトレーサー試験における地質環境中の物質移動特性とトレーサーの存在状態の関係についてさらに検討を行っていきます。





写真 16 攪拌式セルを用いた加圧ろ過システム

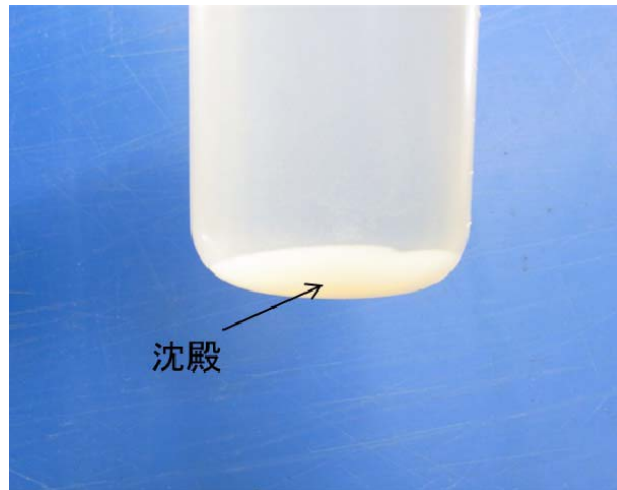


写真 17 原位置地下水に高濃度トレーサーを添加した時の沈殿状況

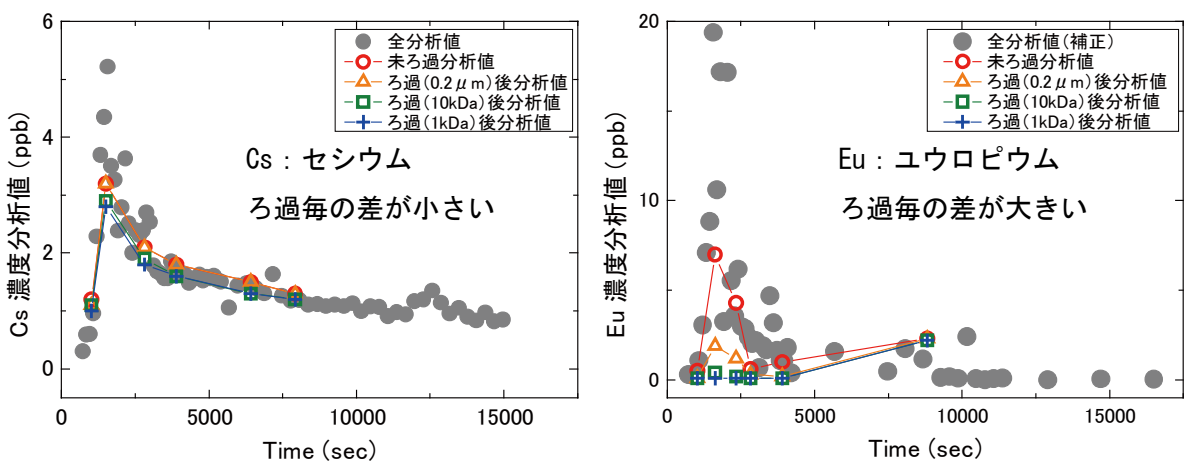


図 45 ろ過ごとに濃度の違いを示すトレーサー濃度分析結果の例

### (3) 拡散及び収着特性に関する室内試験

地下施設で採取したコア試料（稚内層）および地下水試料を用いて、岩石中での物質の拡散特性や収着特性に関する室内試験を、北海道大学の施設において、平成24年度に引き続き実施しました。具体的には、北海道大学所有の実験装置を用いて、放射性のセシウムイオンやトリチウムの拡散係数、収着分配係数、および遅延係数といった基礎データの拡充を図りました。

## 5. 地下施設の建設

平成25年度は、平成22年度から導入したPFI契約による地下施設（立坑および調査坑道）の建設を継続しました。

立坑については、換気立坑の深度380mまで、東立坑の深度371mまで、西立坑の深度365mまでの掘削を行いました。また、350m調査坑道は平成25年10月に周回坑道全域が貫通し、平成26年1月に総延長約760mまでの掘削が完了しました（写真 18）。また、平成25年2月に発生した湧水の増加に伴う原因と対策を踏まえ、換気立坑の深度350m～380m区間において追加の湧水抑制対策を実施しました。今後も、同様の地質環境において坑道を掘削する際には、湧水に係るリスクの低減を図るため、地質の詳細な評価や、より効果的な湧水抑制対策（グラウト範囲の拡張や注入圧力の見直し）を行います。

坑道掘削に伴い発生する掘削土（ズリ）は、土壤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の掘削土（ズリ）置場に保管しています。



写真 18 350m 調査坑道貫通状況

坑道掘削に伴い発生する掘削土（ズリ）は、建設現場における簡易分析と公的機関による詳細な分析（以下、公定分析）を定期的に行い、適切な管理のもと掘削土（ズリ）置場へ搬入しています。

掘削土（ズリ）に係るモニタリングの公定分析結果を表 2に示します。

平成25年度においては、換気立坑の深度375mが分析対象深度となっており、分析の結果、ホウ素、ヒ素およびセレンの3項目については自然由来（岩石中にもともと含まれている）により溶出量基準値以上の値となっていますが、いずれも掘削土（ズリ）置場に保管可能な第2溶出量基準値以下でした。

また、掘削に伴い発生する坑道からの排水および掘削土（ズリ）置場からの浸出水については、排水処理設備で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。地下施設からの排水の水質については、「6.2 地下施設の建設に伴う水質モニタリング調査」に分析項目と結果を示します。

表 2 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	試料採取箇所 換気立坑	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	2.0	1	30
ヒ素		0.043	0.01	0.3
フッ素		0.17	0.8	24
セレン		0.011	0.01	0.3
カドミウム		<0.001	0.01	0.3
鉛		0.004	0.01	0.3
シアン		不検出(<0.1)	検出されないこと	1
六価クロム		<0.005	0.05	1.5
水銀		<0.0005	0.0005	0.005
アルキル水銀		不検出(<0.0005)	検出されないこと	検出されないこと

掘削土（ズリ）モニタリングは平成25年4月から平成26年3月までの試料採取（平成26年2月に1回実施）における調査分析結果を記載しています。

## 6. 環境モニタリング

### 6.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査

研究所設置地区を対象とした環境モニタリング調査については、幌延深地層研究センターの造成工事着手前（平成14年度）から継続して実施しています。調査位置を図 46に示します。

調査項目は地下施設工事により発生する可能性のある「騒音」、「振動」、変化する可能性のある「水質」、水質・水量などの変化により影響を受ける可能性がある工事範囲下流域の「魚類」、「植物」です。

調査の実施時期、調査方法を表 3に示します。これらの調査のうち、水質、魚類および植物の調査計画ならびに調査結果については、有識者からの助言をもとに評価しています。モニタリングの調査項目と結果を表 4にまとめて示します。

騒音・振動および清水川の水質については、平成25年度の西立坑や350m調査坑道などの掘削による影響は認められませんでした。

魚類については、これまでと比べて大きな変化がみられず、6科10種が確認されました。法指定種や環境省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たものを重要種として表 5に示します。確認された重要種は、スナヤツメ、ヤマメ(サクラマス)、エゾウグイ、ドジョウ、エゾホトケドジョウ、エゾトミヨ、ハナカジカの計7種でした。

植物については、造成工事着手前と比較して主要種の生育状況に変化は認められませんでした。

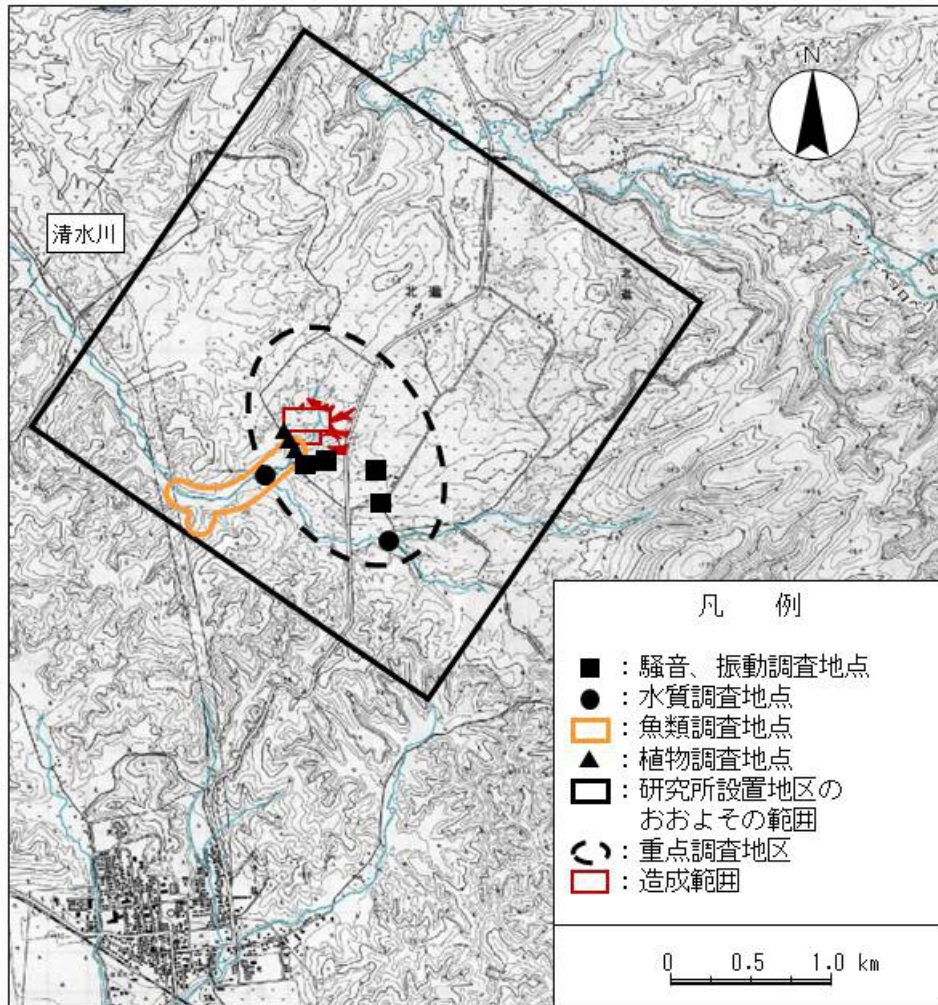


図 46 環境モニタリング調査位置

表 3 環境モニタリング調査実施内容

調査項目	調査実施日				調査方法
	春季	夏季	秋季	冬季	
騒音	H25 6/3、4	H25 9/2、3	H25 10/31、 11/1	H26 2/3、4	「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」に定める測定方法 「振動規制法施行規則」に定める測定方法
振動					
水質 (清水川)	H25 6/3	H25 9/2	H25 11/1	H26 2/3	「水質汚濁に係る環境基準について」に基づく測定方法
魚類	H25 6/3、4	H25 9/2、3	H25 10/1	—	目視観察・採捕調査
植物群落	H25 6/4	H25 9/3	H25 10/1	—	コドラート調査*44

\*44 : 5m×5m 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。

表 4 モニタリング調査項目と結果

調査項目	調査結果
騒音	等価騒音レベルは、昼間は42～55デシベル、夜間は30未満～49デシベルであった。全測定地点において、地下施設工事が音源となることはほとんどなかった。 (工事着手前：昼間39～53デシベル、夜間30未満～37デシベル)
振動	昼間は33デシベル以下、夜間は31デシベル以下であり、工事着工前と同程度であった。 (工事着手前：昼間30未満～33デシベル、夜間30未満～30デシベル)
水質(清水川)	清水川の水質については、工事による河川水質への影響は確認されていない。
魚類	春季、夏季および秋季調査で6科10種を確認した。 重要種については、スナヤツメ、ヤマメ(サクラマス)、エゾウグイ、ドジョウ、エゾホトケドジョウ、エゾトミヨ、ハナカジカの7種を確認した。
植物	植物群落は、これまでとほぼ同様な種構成が確認され、大きな変化はみられなかった。

表 5 確認された重要種(魚類)

目	科	種	選定根拠 <sup>*1</sup>							
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ヤツメウナギ	ヤツメウナギ	スナヤツメ <sup>*2</sup>			VU	VU		希		
サケ	サケ	ヤマメ (サクラマス)				NT <sup>*3</sup>	N <sup>*4</sup>	減 <sup>*5</sup>		
コイ	コイ	エゾウグイ					N			
コイ	ドジョウ	ドジョウ				DD				
コイ	ドジョウ	エゾホトケドジョウ			VU	EN	En			
トゲウオ	トゲウオ	エゾトミヨ			NT	NT	R			○
カサゴ	カジカ	ハナカジカ					N			

\*1: 重要種の選定根拠

- ①: 「文化財保護法」(昭和25年 法律第214号)に基づく天然記念物および特別天然記念物
- ②: 「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」(平成4年 法律第75号)に基づく野生動植物種
- ③: 「改定・日本の絶滅のおそれのある野生生物—レッドデータブック—4 汽水・淡水魚類」(環境省2003年)の記載種  
VU: 絶滅危惧Ⅱ類 NT: 準絶滅危惧
- ④: 「汽水・淡水魚類のレッドリストの見直しについて」(環境省2007年)の記載種  
VU: 絶滅危惧Ⅱ類 NT: 準絶滅危惧 DD: 情報不足 EN: 絶滅危惧ⅠB類
- ⑤: 「北海道の希少野生生物 北海道レッドデータブック2001」(北海道 平成13年)の記載種  
N: 留意種 EN: 絶滅危惧ⅠB類 En: 絶滅危惧種 R: 希少種
- ⑥: 「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)」(日本水産資源保護協会 1998年)の記載種  
希: 希少種 減: 減少種
- ⑦: 「緑の国勢調査—自然環境保全調査報告書—」(環境庁 昭和51年)に基づく選定種
- ⑧: 「第2回自然環境保全基礎調査報告書(緑の国勢調査)」(環境庁 昭和57年)に基づく選定種
- : 調査対象種

\*2: ④では「スナヤツメ北方種」として記載されている

\*3, \*4: ヤマメが対象

\*5: サクラマスが対象

## 6.2 地下施設の建設に伴う水質モニタリング調査

地下施設の建設に伴う水質モニタリング調査として、地下施設からの排水、排水処理設備で処理した処理済排水の放流先である天塩川放流口の河川水のほか、研究所用地からの生活排水について環境への影響を把握するための水質調査を平成24年度に引き続き実施しました。水質調査の実施対象と主な分析項目を表 6に示します。また、地下施設からの排水の処理系統図を図 47に、幌延深地層研究センター全体の排水系統図を図 48に、天塩川の水質モニタリング調査位置を図 49に示します。

分析項目については、水質汚濁防止法の排水基準や北るもい漁業協同組合との協定に基づいていますが、分析項目が多いため本報告書では主な分析項目を掲載しました。分析はすべて公定分析であり、分析結果の詳細については、幌延深地層研究センターのホームページ<sup>\*45</sup>で公開しています。また、ホームページでは毎日のホウ素およびアンモニア性窒素の簡易分析結果ならびに毎週の処理済排水の現地分析<sup>\*46</sup>結果についても公開しています。

表 6 水質調査の実施対象と主な分析項目

水質調査実施対象		調査頻度	主な分析項目 <sup>*1</sup>
地下施設からの排水	立坑の原水	1回/月	カドミウム、ヒ素、セレン、フッ素、ホウ素、pH、浮遊物質(SS)、塩化物イオン
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水		
	揚水設備における処理済排水		
天塩川放流口の河川水(B1:放流口、B2:上流1km、B3:下流1km)			ホウ素、全窒素、全アンモニア、pH、浮遊物質(SS)
研究所用地からの排水	研究管理棟浄化槽排水	1回/4週 <sup>*2</sup>	全窒素、全リン、pH、BOD、浮遊物質(SS)、大腸菌群数、透視度
	地下施設建設現場事務所浄化槽排水		
環境への影響を把握するための水質調査	掘削土(ズリ)置場周辺の地下水(A1~A4)	4回/年	カドミウム、ヒ素、セレン、フッ素、ホウ素、pH、浮遊物質(SS)、塩化物イオン
	掘削土(ズリ)置場近傍の清水川(A5)	1回/月	
	掘削土(ズリ)置場雨水調整池(A6)		
	研究所用地下流の清水川(A7)		

\*1：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などにより「主な分析項目」以外の分析項目については、調査頻度を変えて実施している項目もあります。

\*2：浄化槽排水についての調査頻度を平成24年4月から1回/2週を1回/4週に変更しました。

\*45：<http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/suishitsu.html>

\*46：排水処理設備において処理水を採取し、敷地内にある分析室で実施している、JIS又はJISに準じた分析のことです。



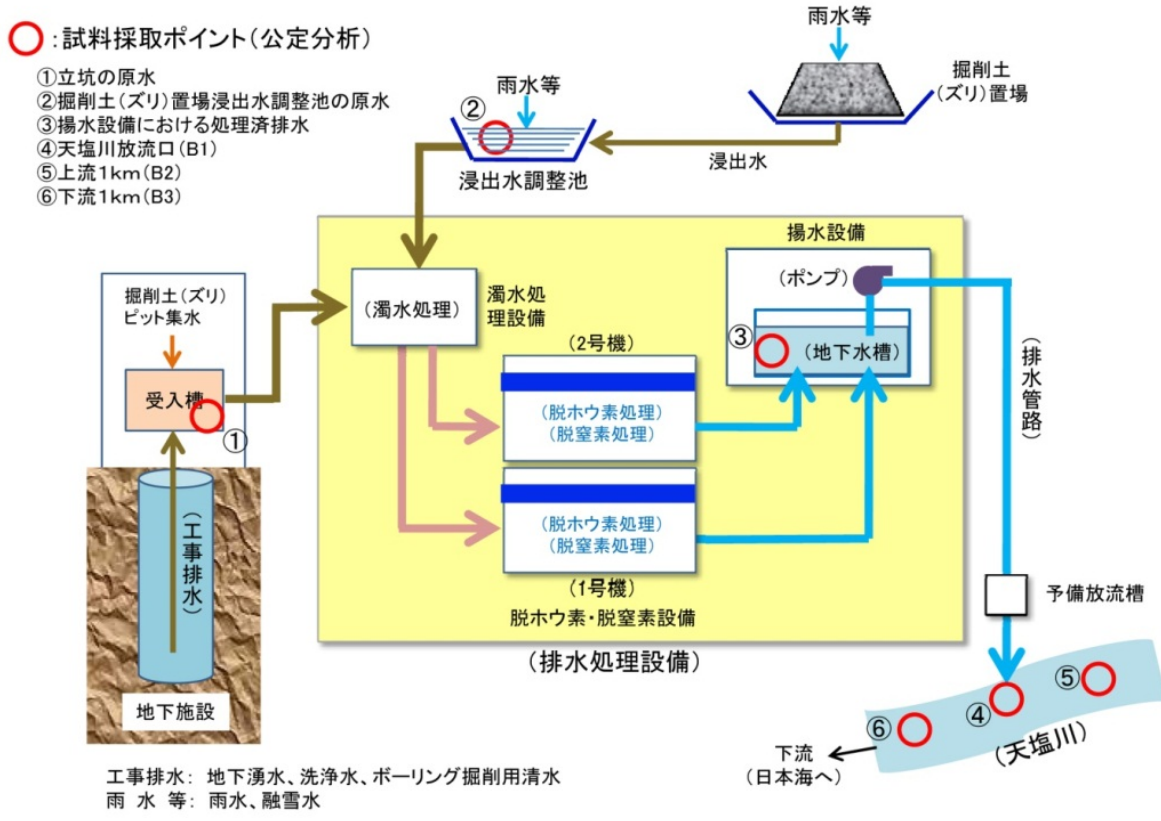


図 47 地下施設排水処理系統図

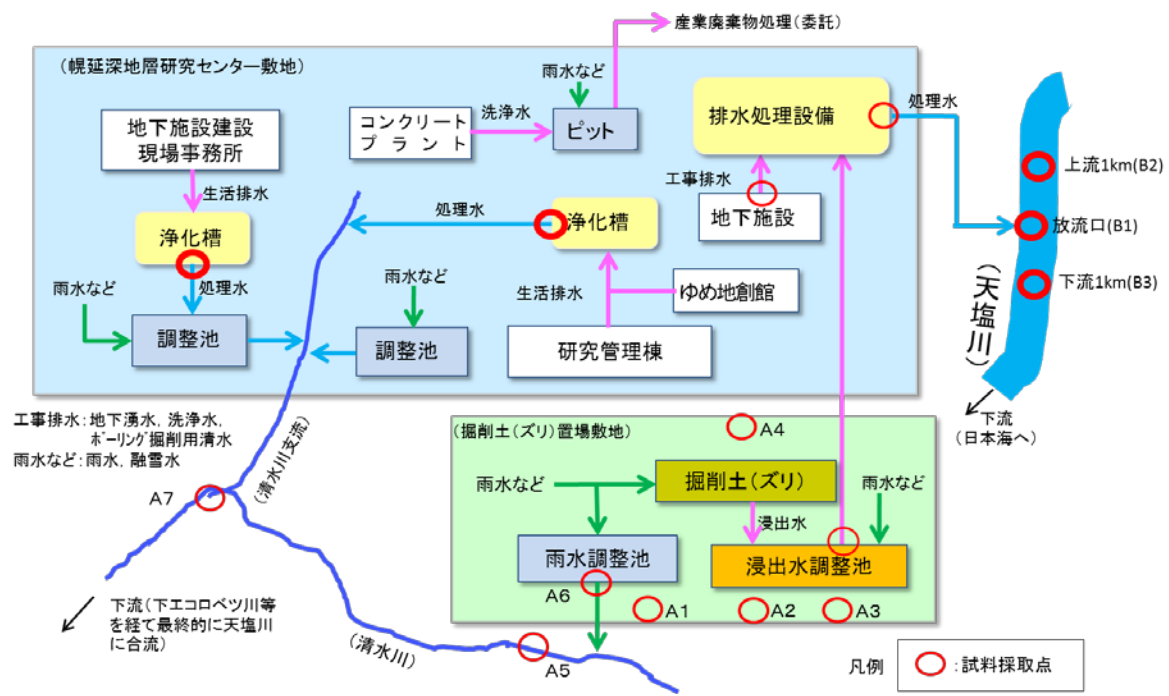


図 48 幌延深地層研究センター排水系統図



図 49 天塩川の水質モニタリング調査位置

採水は、各地点において、表層、中層および深層の3層で行っています。

平成25年度における処理済排水の天塩川への排水量を表 7に示します。1ヶ月間の排水量については4月の10,587m<sup>3</sup>が最大値でした。他の月と比較して多いのは、掘削土（ズリ）置場の融雪浸出水を多く処理したことによるものです。

地下施設からの排水の水質調査結果を表 8に示します。「立坑の原水」のホウ素が高い値を示していますが、これは自然由来によるもので排水処理後の「揚水設備における処理済排水」は排水基準値以下となっています。

天塩川の水質調査では、表 9に示すとおり、5、6、8月に浮遊物質量が増加していますが、当センターからの排水の浮遊物質量は、北るもい漁業協同組合との協定値（以下「協定値」という。）を十分下回っており、天塩川への放流口の上流側でも浮遊物質量が高い値を示していることから、地下施設からの排水の影響ではなく、この地域の融雪（4、5月）や降雨に伴う増水（8月）の影響によるものと考えられます。また、11月の放流口（B1深層）における浮遊物質量についても協定値を超過しましたが、当センターからの排水の浮遊物質量は協定値を十分下回っており、地下施設からの排水の影響ではなく、自然由来の原因によるものと考えられます。

研究所用地からの生活排水である浄化槽排水の水質調査結果を表 10に示します。浄化槽排水については、4月に地下施設現場事務所の生物学的酸素要求量（BOD）が協定値（20 mg/L）を超過する22 mg/Lとなりました。

た。このため、浄化槽の清掃を行い、その後の再測定が10 mg/Lと協定値以下であることを確認するとともに、希釈装置を追加する改善措置を行い、北るもい漁業協同組合に報告しました。それ以外の月や当センター敷地からの浄化槽排水は、協定値以下でした。また、他の項目の水質調査においても特異な値は確認されませんでした。

掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果を表 11に示します。過去の結果と比較しても大きな変化が確認されないことから、環境への影響はないものと考えられます。

清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査結果を表 12に示します。これらについても、過去の結果と比較して大きな変化がないことから、清水川への影響はないものと考えられます。

表 7 地下施設から天塩川への排水量

月	排水量 (m <sup>3</sup> )	日最大排水量 (m <sup>3</sup> ) *1	日平均排水量 (m <sup>3</sup> ) *2
25 年 4 月	10,587	693	352.9
25 年 5 月	5,791	352	186.8
25 年 6 月	8,450	477	281.7
25 年 7 月	9,767	505	315.1
25 年 8 月	7,135	573	230.2
25 年 9 月	6,935	350	231.2
25 年 10 月	7,527	500	242.8
25 年 11 月	7,952	429	265.1
25 年 12 月	5,982	504	193.0
26 年 1 月	4,772	313	153.9
26 年 2 月	3,789	317	135.3
26 年 3 月	4,721	330	152.3
合計	83,408	(693) *3	(228.5) *4

\*1：北るもい漁協との協定では最大 750m<sup>3</sup>/日

\*2：排水量を月の日数で除した値

\*3：年間日最大排水量

\*4：年間排水量を年の日数で除した値

表 8 地下施設からの排水に係る水質調査結果

分析項目*1	単位	採水地点*2			参考値 (水質汚濁防止 法排水基準)
		立坑の原水	掘削土(ズリ)置 場浸出水調整池 の原水	揚水設備におけ る処理済排水	
pH	—	8.2~9.3	7.1~8.2	6.9~8.0	5.8~8.6
カドミウム	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	0.1
ヒ素		<0.01~0.03	<0.01~0.01	<0.01	0.1
セレン		<0.01	<0.01~0.04	<0.01	0.1
フッ素		<0.8	<0.8	<0.8	8
ホウ素		40~90	4.0~36	0.2~1.7	10
浮遊物質量		40~580	7~27	<1~2	200 (日間平均 150)
塩化物イオン		2,800~3,900	170~1,000	2,900~4,600	—

\*1：分析項目は、表 6 に示した「主要な分析項目」のみを抜粋

\*2：採水地点は図 47 参照

表 9 天塩川の水質調査結果

分析項目*1	採水地点*2		平成18年6月～11月 (放流前)	平成18年12月 ～平成25年3月 (放流後)	平成25年								平成26年			北るもい漁業協同組合 協定値		
					4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月		3月	
ホウ素 (mg/L)	B1	表層	<0.02～3.35	<0.01～5.0	<0.01	0.01	<0.01	0.03	0.35	0.02	0.02	0.02	0.06	0.05	0.03	0.07	5	
		中層			<0.01	0.01	<0.01	0.96	0.84	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.03	0.04		
		深層			<0.01	0.01	<0.01	2.2	3.0	0.02	0.04	0.02	0.02	0.03	0.42	0.04		
	B2	表層			<0.01	<0.01	<0.01	0.03	0.16	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03		0.04
		中層			<0.01	<0.01	<0.01	0.81	0.40	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04		
		深層			<0.01	<0.01	<0.01	2.2	3.4	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04		
	B3	表層			<0.01	0.01	<0.01	0.02	0.24	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04		
		中層			<0.01	<0.01	<0.01	0.90	0.40	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	0.04		
		深層			<0.01	<0.01	<0.01	1.6	3.0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04		
全窒素 (mg/L)	B1	表層	0.37～1.50	0.11～6.5	1.6	0.67	0.46	0.27	0.62	0.91	0.66	0.59	0.90	1.0	0.81	0.75	20	
		中層			1.5	0.86	0.72	0.36	0.16	1.2	0.69	0.67	0.85	1.0	0.82	0.62		
		深層			1.7	0.72	0.52	0.39	0.15	2.2	0.92	0.78	0.82	1.0	1.9	0.62		
	B2	表層			1.6	0.76	0.53	0.20	0.46	0.92	0.65	0.65	0.76	1.0	0.75	0.65		
		中層			1.6	0.69	0.55	0.15	0.15	0.93	0.80	0.61	0.78	0.98	0.75	0.63		
		深層			2.3	0.73	0.51	0.36	0.16	1.0	0.62	0.63	0.72	1.0	0.83	0.63		
	B3	表層			1.3	0.77	0.54	0.20	0.44	0.99	0.64	0.72	0.76	0.99	0.74	0.71		
		中層			1.4	0.76	0.54	0.13	0.12	0.98	0.68	0.65	0.78	1.0	0.88	0.66		
		深層			1.5	0.72	0.54	0.33	0.16	1.0	0.66	0.81	0.76	1.0	0.74	0.63		
全アンモニア (mg/L)	B1	表層	<0.01～0.35	<0.05～0.96	0.14	0.07	0.09	<0.05	0.08	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.15	0.08	0.11	2*3
		中層			0.10	0.06	0.10	<0.05	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.16	0.08	0.06	
		深層			0.10	0.06	0.09	<0.05	0.12	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.14	0.33	0.07		
	B2	表層			0.12	0.06	0.10	<0.05	0.08	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.17	0.07	0.07	
		中層			0.16	0.06	0.09	<0.05	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.16	0.08	0.06		
		深層			0.12	0.06	0.08	0.10	0.12	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.17	0.08	0.08		
	B3	表層			0.16	0.06	0.10	<0.05	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.16	0.08	0.10	
		中層			0.09	0.08	0.10	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.15	0.10	0.06		
		深層			0.18	0.08	0.09	0.06	0.05	<0.05	0.06	<0.05	<0.05	0.16	0.09	0.06		
pH	B1	表層	7.0～7.6	6.7～8.0	7.2	6.7	6.9	7.3	7.1	7.2	7.5	7.3	7.1	7.1	7.5	7.0	5.8～8.6	
		中層			7.0	6.9	7.0	7.5	7.2	7.2	7.3	7.3	7.0	7.2	7.2	7.4		
		深層			7.0	6.9	7.0	7.8	7.5	7.3	7.6	7.4	7.1	7.3	7.2	7.3		
	B2	表層			7.1	6.9	6.9	7.6	7.3	7.5	7.6	7.3	6.9	7.2	7.2	7.1		
		中層			7.0	7.0	7.0	7.4	7.3	7.3	7.5	7.4	6.9	7.2	7.1	7.3		
		深層			7.0	7.1	7.0	7.7	7.5	7.3	7.5	7.4	7.0	7.2	7.1	7.3		
	B3	表層			7.0	6.9	7.0	7.5	7.3	7.2	7.7	7.4	7.0	7.2	7.2	7.3		
		中層			7.0	7.0	7.0	7.4	7.2	7.3	7.5	7.4	7.0	7.3	7.2	7.3		
		深層			7.0	7.0	6.9	7.6	7.7	7.2	7.5	7.4	7.2	7.3	7.2	7.4		
浮遊物質 (mg/L)	B1	表層	3～86	<1～650	3	39 注1)	36 注1)	1	47 注2)	6	2	3	12	<1	4	1	20	
		中層			2	37 注1)	26 注1)	4	34 注2)	6	2	4	7	<1	<1	<1		
		深層			3	40 注1)	35 注1)	14	19	11	2	21 注3)	9	1	<1	<1		
	B2	表層			4	38 注1)	18	1	79 注2)	6	2	4	5	<1	<1	<1		
		中層			5	42 注1)	33 注1)	4	64 注2)	10	3	5	7	<1	<1	<1		
		深層			7	44 注1)	47 注1)	17	8	11	3	4	6	1	<1	<1		
	B3	表層			4	38 注1)	31 注1)	1	42 注2)	4	2	4	5	<1	<1	1		
		中層			4	41 注1)	31 注1)	4	40 注2)	8	2	4	6	<1	<1	<1		
		深層			5	43 注1)	34 注1)	4	8	9	3	5	5	<1	<1	<1		

\*1：分析項目は、表 6に示した「主要な分析項目」のみを抜粋

\*2：採水地点は図 49参照

\*3：北るもい漁業協同組合との確認により、放流口下流1 km(B3)地点の値としている

注1) 浮遊物質が協定値を超えていますが、地下施設からの排水は基準値を満足していることや、天塩川の各地点において同程度の値を示していることから、融雪に伴う濁水の影響によるものと考えられます。

注2) 浮遊物質が協定値を超えていますが、地下施設からの排水は基準値を満足していることや、天塩川の各地点において同程度の値を示していることから、降雨に伴う増水の影響によるものと考えられます。

注3) 浮遊物質が協定値を超えていますが、地下施設からの排水は基準値を満足していることから、地下施設からの排水の影響ではなく自然的な原因によるものと考えられます。

・イタリック数字は協定値を超えたことを表す

表 10 浄化槽排水の水質調査結果

主な調査項目	単位	研究管理棟	地下施設現場事務所	協定値
pH	—	6.0~7.1	7.3~7.7	5.8~8.6
生物化学的酸素要求量 (BOD)	mg/L	1.1~2.7	3.0~22	20
浮遊物質 (SS)	mg/L	1.2~6.8	<2.0~6.0	20
全窒素	mg/L	19~32	1.4~14	60
全リン	mg/L	2.2~4.4	0.2~1.2	8
透視度	cm	30	30	30
大腸菌群数	個/mL	0	0~1500	3,000

採水地点は図 48参照

表 11 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果

分析項目*1	採水地点*2	平成18年6月 ~平成19年4月 掘削土（ズリ） 搬入前	平成19年5月 ~平成25年3月 掘削土（ズリ） 搬入後	平成25年			平成26年
				5月	8月	11月	2月
pH	A1	4.6~7.3	4.2~7.3	6.6	7.1	7.2	7.3
	A2			6.3	6.6	6.5	6.5
	A3			5.6	7.2	7.2	7.2
	A4			5.4	6.7	5.5	5.4
カドミウム (mg/L)	A1	<0.001~0.004	<0.001~0.009	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A2			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A3			0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A4			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
ヒ素 (mg/L)	A1	<0.005	<0.005~0.007	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A2			<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A3			<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A4			<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
セレン (mg/L)	A1	<0.002	<0.002~0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A2			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A3			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A4			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素 (mg/L)	A1	<0.1~0.4	<0.1~0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A2			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A3			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A4			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
ホウ素 (mg/L)	A1	<0.02~50.7	<0.02~63.0	3.1	23	56	59
	A2			1.9	8.9	4.3	8.1
	A3			0.62	19	24	33
	A4			<0.02	0.18	0.10	0.03
塩化物イオン (mg/L)	A1	9.7~2,910	9.3~3,400	210	2,100	2,500	2,700
	A2			130	620	210	310
	A3			27	1,700	950	1,000
	A4			13	11	9.9	9.7

\*1：分析項目は、表 6に示した「主要な分析項目」のみを抜粋

\*2：採水地点は図 48参照

表 12 清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査結果

分析項目*1	採水地点*2	平成18年6月～平成19年4月掘削土（ズリ）搬入前	平成19年5月～平成25年3月掘削土（ズリ）搬入後	平成25年									平成26年		
				4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
pH	A5	5.8～7.4	5.7～8.6	6.8	6.2	7.0	7.3	6.9	6.8	7.0	7.2	7.2	7.3	7.1	7.7
	A6			7.2	7.4	9.1	8.9	8.5	7.9	7.5	8.0	7.9	6.6	6.4	6.5
	A7			6.6	7.0	7.5	7.1	7.2	6.6	6.9	7.1	7.1	7.1	7.2	7.1
カドミウム (mg/L)	A5	<0.001～0.001	<0.001～0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A6			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A7			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
ヒ素 (mg/L)	A5	<0.005～0.011	<0.005～0.015	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A6			<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A7			<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
セレン (mg/L)	A5	<0.002	<0.002～0.003	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A6			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A7			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素 (mg/L)	A5	<0.1～0.7	<0.1～1.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A6			<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A7			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
ホウ素 (mg/L)	A5	<0.02～0.3	0.02～0.44	<0.02	0.03	0.12	0.30	0.39	0.15	0.13	0.14	0.10	0.21	0.23	0.28
	A6			0.05	0.18	0.26	0.10	0.24	0.18	0.09	0.15	0.10	0.28	0.17	0.14
	A7			<0.02	0.03	0.13	0.29	0.42	0.15	0.14	0.14	0.12	0.22	0.25	0.26
浮遊 物質 量 (mg/L)	A5	1～173	<1～500	<1	4	2	3	3	66	3	1	1	<1	1	1
	A6			6	3	1	4	4	3	1	<1	2	17	56	7
	A7			1	4	2	2	5	5	3	2	1	<1	1	3
塩化物 イオン (mg/L)	A5	5.1～30.5	3.9～269	21	13	21	58	24	37	23	21	25	29	18	28
	A6			60	17	20	4.6	6.3	8.8	9.2	15	28	26	27	22
	A7			27	16	16	30	38	18	21	19	21	22	20	21

\*1：分析項目は、表 6に示した「主な分析項目」から抜粋

\*2：採水地点は図 48参照

## 7. 安全確保の取組み

安全確保の取組みとして、請負作業や共同研究作業については、計画段階から作業担当課などが作業のリスクアセスメントを実施し、安全対策の妥当性を確認するとともに、必要に応じて改善するように指導を行いました。

そのほか、所長や保安管理課によるパトロールなど、定期的な安全パトロールを実施し、継続的に現場の安全確認や改善などを指導しています（写真 19）。

さらに、新規配属者や請負作業または共同研究作業の責任者などに対して安全教育を実施するほか、全国安全週間などの機会を捉えて、従業員のみならず請負企業も参加した安全行事に積極的に取り組むなど、安全意識の高揚に努めています。

なお、坑内から発生するメタンガスについては、表 13に示すように、濃度に応じた段階的な自主基準を定めて、作業の管理を行っています。



写真 19 安全パトロールの様子



表 13 メタンガス濃度に応じた作業管理体制

メタンガス濃度 (Vol%)	対応内容
0.25以上～0.5未満	火気使用作業の禁止、非防爆電動工具の使用禁止
0.5以上～1.0未満	火薬取扱作業の禁止
1.0以上	パトライト点灯＋一斉放送
1.0以上～1.5未満	作業員退避
1.3以上	パトライト点灯＋サイレン
1.5以上	坑内電源遮断

## 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。平成25年度の主な研究協力の結果は以下のとおりです。

### 8.1 国内機関との研究協力

#### 8.1.1 大学との研究協力

##### 東京都市大学

地層中での微量元素の挙動を理解するために、140m調査坑道から得られた声間層の岩石に分析対象とする微量元素を添加した地下水を通水し、微量元素の分析を行いました。分析の際には、微量元素が岩石中でどのような物質に付着しているのかを推定するために、複数の異なる試薬で岩石を溶かし、分析を実施しました。その結果、微量元素は、特定の鉱物に付着しやすいことなどがわかりました。

##### 岡山大学など

光ファイバーを用いた水分計測技術の開発について、研究協力を継続しました。平成25年度は、光ファイバーを利用した水分計に用いる膨潤材料の試作を進め平成24年度に開発した製品よりも反応良く計測できる可能性を確認しました。また、ベントナイト混合土と膨潤材料とを接触させ水分量を測定する室内試験を実施し、双方の水分のやり取りを示す結果を得ました。このことからベントナイト混合土に対する水分量計測の可能性を確認しました。

##### 東北大学、京都大学

地下水中の微量元素とコロイドとの相互反応を理解するために、140mおよび250m調査坑道から採取した地下水試料を用いた室内実験を実施しました。その結果、鉄、シリカ、カルシウム、リンなどの成分がコロイドとして存在していることがわかりました（3.1.1(3)にも記載しています）。

## 8.1.2 その他の機関との研究協力

### 幌延地圏環境研究所<sup>\*47</sup>

研究協力の一環として両機関の試験設備を活用した調査研究を進めるため、調査坑道において取得した岩石、地下水を利用したガスや有機物、微生物などの分析を行い、相互にデータを取得しました。取得したデータは両機関で共有し、原子力機構では地質環境モデル更新のための基盤データとしました。他方、幌延地圏環境研究所では、地下深部における微生物の活動に関する調査研究へと反映しています。また、両機関の研究状況について報告する研究交流会を2回実施しました。

### 電力中央研究所

地下施設建設時の坑道掘削影響領域の調査技術、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業である岩盤中地下水移行評価確証技術開発としてコントロールボーリング技術に関するプロジェクトおよび岩盤中の地下水移行評価技術に関するプロジェクト（地下水年代測定）について、共同研究を実施しました。地下施設においては、坑道掘削に伴う周辺岩盤の力学、地球化学特性への影響を把握するための調査（比抵抗トモグラフィや音響トモグラフィ、地下水の採水・分析など）を継続して行い、坑道掘削に伴う地質環境特性の変化に関するデータを蓄積しました。また、地下水年代測定については、産総研との共同研究において実施した幌延町沿岸域でのボーリング孔や既存のボーリング孔から採取した地下水を対象とした調査を行いました。その結果、深部地層中では百万年以上の滞留時間を持つ地下水が存在する可能性が、<sup>4</sup>He年代測定法や<sup>36</sup>C1年代測定法から示されました。その他、コントロールボーリング技術については、3.1.2(4)を参照して下さい。

### 産業技術総合研究所

過去の地下水の化学的環境を推定する手法を開発するために、140m、250mおよび350m調査坑道から採取された地下水や地下環境で沈殿した方

---

<sup>\*47</sup>：幌延地圏環境研究所は、公益財団法人 北海道科学技術総合振興センターが設置した研究所であり、国の補助を受けて幌延深地層研究センターの施設や設備を活用した地下空間利用を中心とする研究を実施しています。

解石中の微量元素の濃度や化学的な状態の分析を行いました。その結果、方解石中の微量元素の化学的な状態から沈殿当時の地下水中の化学的な環境を推定できる可能性が示されました。

### **株式会社東京測器研究所**

株式会社東京測器研究所が開発した光ファイバー式のひび割れ検知センサーの原位置適用性の確認を目的として、東立坑の深度368mの覆工コンクリート表面にセンサーを設置しました。これにより、覆工コンクリートにひび割れが発生したときの発生時刻を検知することができます。ここで得られた知見は、坑道の安定性の評価に資するためのデータとして使用されます。

### **株式会社大林組**

深度350m以深の東立坑掘削時における岩盤挙動のモニタリングと、立坑周辺の掘削影響領域に関する長期挙動モデルの構築のため、深度350m調査坑道のボーリング孔にマルチ光計測プローブを設置しました。本共同研究で使用するマルチ光計測プローブは、岩盤に割れ目が発生したときに生じる微小振動（アコースティックエミッション）、間隙水圧、温度を計測する3種のセンサーで構成されています。平成25年度は、深度370m付近までの掘削に伴う岩盤の挙動のモニタリングを実施しました。

### **原子力環境整備促進・資金管理センター**

経済産業省資源エネルギー庁の委託事業である地層処分実規模設備整備事業および処分システム工学確証技術開発に係わる研究について、共同研究を実施しました。

地層処分実規模設備整備事業に係わる研究は、地層処分概念とその工学的な実現性や人工バリアの長期挙動を実感・体感できる設備を整備し、人工バリアの搬送・定置に係わる操業技術や長期挙動などの工学技術に関する研究を行うものです。平成25年度は、4.1.1(2)でも述べたように、平成24年度に引き続き、地層処分実規模試験施設において既存の展示物とともに、緩衝材定置試験設備を展示し、緩衝材の定置試験の様子を公

開しました。また、緩衝材中に水がしみ込んで隙間が閉塞される過程を観察できる装置を用いた浸潤試験を継続しました。

また、処分システム工学確証技術開発に係わる研究は、人工バリアを構成するオーバーパックや緩衝材の健全性や無線モニタリング装置の適用性などに関する研究を行うものです。平成25年度は、4.1.1(4)でも述べたように、オーバーパックや緩衝材の健全性に関する原位置試験の準備として、試験孔を掘削し、孔壁や湧水の状況を確認しました。また、4.1.1(3)でも述べたように、無線モニタリング装置の適用性確認として、250m調査坑道から140m調査坑道および地上までのデータ転送が可能であることを確認しました。

## 8.2 国外機関との研究協力 モンテリ・プロジェクト<sup>\*48</sup>

国際共同研究のモンテリ・プロジェクトで実施されている各種試験のうち、原子力機構は「鉄材料の腐食に関する原位置試験」に参加していません。平成25年度は、平成24年度に引き続き、モンテリ岩盤研究所の調査坑道内に掘削したボーリング孔での原位置試験を継続しました。ここで得られた原位置での試験に関する情報や知見は、幌延深地層研究計画における坑道内での調査研究に反映していきます。

上記のほか、ANDRA<sup>\*49</sup>（フランス）などと地質環境調査技術および地下施設における調査手法や原位置試験などについて情報交換を行いました。また、国際協力として、平成25年9月にクレイクラブ（Clay Club）<sup>\*50</sup>定例会合を幌延にて開催しました。

---

\*48: 堆積岩を対象とした地層処分に関する国際共同研究です。平成26年3月現在、原子力機構を含め8ヶ国から15機関が参加し、スイスのモンテリ・トンネル内において地層処分に関連する各種の原位置試験が実施されています。

\*49 Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (National radioactive waste management agency) : 放射性廃棄物管理公社は、フランスにおける放射性廃棄物処分の実施機関であり、低中レベルの放射性廃棄物処分場を操業するとともに、高レベル放射性廃棄物および長寿命の中レベル放射性廃棄物処分に関する研究開発の中核機関でもあり、堆積岩を対象に深地層の研究施設計画を進めています。

\*50 : Clay Clubは、経済協力開発機構 原子力機関 (OECD/NEA) の放射性廃棄物管理委員会の下に置かれたプロジェクトのひとつです。地層処分の実施・規制・研究機関を中心とした組織であり、様々な粘土質媒体の特性の比較や粘土の物性や挙動および、地下施設で実施される試験に関する技術的かつ科学的情報の交換、さらには、サイト特性調査技術の詳細な評価を実施しています。

## 引用文献

- (1) 中山雅 (編) (2013) : “幌延深地層研究計画 平成 25 年度調査研究計画”, JAEA-Review 2013-022, 27p.
- (2) 核燃料サイクル開発機構(2005) : “平成 16 年度研究開発評価(中間評価) 報告書 評価課題「幌延深地層研究計画」”, JNC TN1440 2005-002, 参考資料 4, pp. 18-23.
- (3) 中山雅, 佐野満昭, 真田祐幸, 杉田裕 (編) (2009) : “幌延深地層研究計画 平成 20 年度調査研究成果報告”, JAEA-Research 2009-032.
- (4) 笹本広 (編) (2014) : “沿岸域プロジェクトー関係機関における議論の内容と得られた成果の概要ー”, JAEA-Review 2014-015, 34p.
- (5) 今井久, 山下亮, 塩崎功, 浦野和彦, 笠博義, 丸山能生, 新里忠史, 前川恵輔(2009) : “地下水流動に対する地質環境の長期変遷の影響に関する研究”, JAEA-Research 2009-001.
- (6) 山下亮, 塩崎功, 大山卓也, 新里忠史, 前川恵輔, 今井久(2011) : “地質環境の長期変遷を考慮した地下水流動解析による塩淡分布の検討”, 日本地下水学会 2011 年秋季講演会.
- (7) 太田久仁雄, 阿部寛信, 山口雄大, 國丸貴紀, 石井英一, 操上広志, 戸村豪治, 柴野一則, 濱 克宏, 松井裕哉, 新里忠史, 高橋一晴, 丹生屋純夫, 大原英史, 浅森浩一, 森岡宏之, 舟木泰智, 茂田直孝, 福島龍朗 (2007) : “幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第 1 段階) 研究成果報告書 分冊「深地層の科学的研究」”, JAEA-Research 2007-044.
- (8) 落合彰二, 浅森浩一, 常盤哲也, 野原壯, 松岡稔幸(2014) : “幌延深地層研究計画における地震研究; 地震観測データおよびそれらの解析結果; 2003~2012 年度”, JAEA-Research 2014-002.
- (9) 常盤 哲也, 杉本 慎吾 (2012) : “北海道北部における GPS 観測データを用いた地殻変動解析”, JAEA-Data/Code 2012-024.
- (10) 原子力環境整備促進・資金管理センター(2014) : “平成 25 年度原子力発電施設 広聴・広報等事業 地層処分実規模設備整備事業 報告書”.
- (11) 藤田朝雄, 棚井憲治, 中山雅, 澤田純之, 朝野英一, 齋藤雅彦, 吉野修, 小林正人(2013) : “地層処分実規模設備整備事業における工学技術に関する研究-平成 25 年度成果報告-(共同研究)”, JAEA-Research (印刷中).
- (12) 原子力環境整備促進・資金管理センター(2014) : “平成 25 年度地層処分技術調査等事業(処分システム工学確証技術開発) 報告書 第 3 分冊”.
- (13) 原子力機構ホームページ、  
<http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/cyousakenkyu.html>
- (14) 原子力環境整備促進・資金管理センター(2014) : “平成 25 年度地層処分技術調査等事業処分システム工学確証技術開発 報告書(第 1 分冊)ー人工バリア品質/健全性評価手法の構築ーオーバーパック”.
- (15) 原子力環境整備促進・資金管理センター(2014) : “平成 25 年度地層処分技術調査等事業処分システム工学確証技術開発 報告書(第 2 分冊)ー人工バリア品質/健全性評価手法の構築ー緩衝材”
- (16) 核燃料サイクル開発機構(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ー地層処分研究開発第 2 次取りまとめー分冊 2 地層処分の工学技術”, JNC TN1400 99-022.

- (17) 原子力環境整備促進・資金管理センター(2013)：“平成 24 年度地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－”。
- (18) Parkhurst, D. L., and Appelo, C. A. J., 2013, Description of input and examples for PHREEQC version 3 - A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A43, 497 p.

## 参考資料

(平成 25 年度外部発表)

著者アルファベット順に記載

- 天野由記, 雨宮浩樹, 村上裕晃, 岩月輝希, 寺島元基, 水野崇, 桐島陽, 久野温, 佐々木隆之, 窪田卓見, 本多照幸 (2013): “幌延 URL 地下水を用いたコロイドに関する研究; (1) 限外濾過手法を用いた地下水中的のコロイド特性調査”, 日本原子力学会 2013 年秋の大会, 010.
- Aoyagi, K., Tsusaka, K., Tokiwa, T., Kondo, K., Inagaki, D. and Kato, H. (2013): “A Study of the regional stress and the stress state in the galleries of the Horonobe Underground Research Laboratory”, Proceedings of 6th International Symposium on In-situ Rock Stress (RS 2013), pp.331-338 (CD-ROM).
- 藤田朝雄 (2013): “高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発と幌延における研究開発の現状”, 日本放射線安全管理学会第 12 回学術大会.
- 藤田朝雄, 中山雅, 棚井憲治, 杉田裕 (2014): “Plan of full-scale experiment on engineered barrier system in Horonobe Underground Research Laboratory”, International Conference on the Performance of Engineered Barriers: Backfill, Plugs & Seals, Hannover.
- 萩原健司, 南出賢司, 名合牧人, 三浦養一, 稲垣大介 (2013): “堆積軟岩における大深度立坑掘削に伴う壁面崩落およびその対策”, トンネル工学論文集第 23 回トンネル工学研究発表会.
- 萩原健司, 南出賢司, 名合牧人, 小川弘之, 宇山幹紀, 木須芳男, 森本勤, 工藤元, 津坂仁和 (2013): “堆積軟岩における大深度立坑掘削時の先受ボルトの効果について”, 土木学会平成 25 年度全国大会第 68 回年次学術講演会講演概要集 (DVD-ROM).
- 早野明, 板倉賢一 (2013): “3D レーザー計測を活用した坑道壁面における割れ目特性データの取得方法の検討”, 平成 25 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会.
- Hitomi, T., Iriya, K., Nakayama, M. and Sato, H. (2013): “Study on long-term leaching behavior of low alkaline cement”, Proceedings of International Conference on Sustainable Construction Materials & Technologies (SCMT-3) (Internet), pp. e0179\_1-e0179\_9.
- 稲垣大介, 津坂仁和, 青柳和平, 井尻裕二, 小池真史, 名合牧人, 亀村勝美, 菅原健太郎 (2013): “幌延深地層研究施設の立坑覆工に発生した水平クラックの発生メカニズムに関する一考察”, 土木学会平成 25 年度全国大会第 68 回年次学術講演会講演概要集 (DVD-ROM).
- 稲垣大介, 津坂仁和, 三浦養一, 名合牧人, 進藤彰久, 井尻裕二, 小池真史, 畠中千野 (2013): “地下施設建設技術の開発 幌延深地層研究計画での取組み”, 第 29 回バックエンド夏期セミナー (ポスター).
- 石井英一 (2013): “泥岩における断層の透水性の推定と将来予測”, 日本地質学会第 120 年学術大会 (仙台大会), R13-P-16.
- 川口昌尚, 藤田朝雄, 杉田裕 (2014): “地層処分におけるグラウト技術の高度化開発 グラウト材料の浸透特性の改善”, 第 42 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集 (CD-ROM).



- 桐島陽, 久野温, 雨宮浩樹, 村上裕晃, 天野由記, 岩月輝希, 水野崇, 窪田卓見, 佐々木隆之, 佐藤修彰 (2013): “幌延 URL 地下水を用いたコロイドに関する研究; (3) 深部地下水に含まれる懸濁物と希土類元素との相互作用”, 日本原子力学会 2013 年秋の大会, 012.
- 桐島陽, 久野温, 雨宮浩樹, 村上裕晃, 天野由記, 岩月輝希, 水野崇, 窪田卓見, 佐々木隆之, 佐藤修彰 (2013): “Interaction of rare earth elements and suspended matters contained in Horonobe deep groundwater”, 14th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere (Migration 2013), Brighton.
- 鴻上貴之, 佐々木隆之, 雨宮浩樹, 村上裕晃, 天野由記, 岩月輝希, 水野崇, 窪田卓見, 桐島陽 (2013): “幌延 URL 地下水を用いたコロイドに関する研究; (2) U, Th, 希土類元素の定量法の開発と測定結果”, 日本原子力学会 2013 年秋の大会, 011.
- 小松満, 西垣誠, 瀬尾昭治, 田岸宏孝, 竹延千良, 岸敦康 (2013): “浅地層における降雨浸透量推定に関する現場透水係数の評価”, 土木学会平成 25 年度全国大会第 68 回年次学術講演会.
- 窪田健二, 近藤桂二, 榊原淳一 (2013): “物理探査法による掘削影響領域のモニタリング, 深度 140m, 250m 水平坑道の掘削時における調査”, 社団法人物理探査学会第 128 回(平成 25 年度春季)学術講演会講演論文集, pp. 62-65.
- 松崎達二, 天野健治, 中安昭夫, 笹本広, 仙波毅, 吉田英一 (2013): “データフローダイヤグラムと階層分析手法を用いた地質情報の不確実性表現手法の検討”, 日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会.
- 南出賢司, 萩原健司, 名合牧人, 小川弘之, 宇山幹紀, 木須芳男, 森本勤, 矢吹義生, 工藤元, 稲垣大介, 津坂仁和, 松元淳一, 菅原健太郎 (2013): “堆積軟岩における立坑の覆工コンクリートのひび割れ発生メカニズムと抑制”, 土木学会平成 25 年度全国大会第 68 回年次学術講演会.
- 南出賢司, 工藤元, 津坂仁和, 萩原健司, 小川弘之, 森本勤, 矢吹義生, 名合牧人 (2014): “幌延深地層研究計画 地下研究施設建設における情報化施工”, 北海道土木技術会 2014 トンネル技術研究発表会.
- K. Miyakawa, Tokiwa, T. and Murakami, H. (2013): “The Origin of muddy sand sediments associated with mud volcanism in the Horonobe area of northern Hokkaido, Japan”, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol.14, pp. 4980-4988, DOI: 10.1002/2013GC004924.
- K. Miyakawa, Tokiwa, T. and Murakami, H. (2013): “The Origin of gas and mud-volcano-like sediments in the Horonobe area of northern Hokkaido, Japan”, *Proceedings of International Conference on Gas Geochemistry 2013 (ICGG-12)*.
- 水野崇, 南條功, 山本信幸, 宮川和也, 村上拓馬 (2014): “幌延深地層研究所における地球化学研究”, 日本原子力学会 2014 年春の年会, I11.
- 村上拓馬, 水野崇 (2013): “Behavior of REEs, U and Th in sedimentary rock of Horonobe, Hokkaido, Japan”, 10th East Eurasia International Workshop, Gwangju.
- 村上拓馬, 水野崇 (2013): “北海道幌延地域のボーリングコアの全岩化学組成に基づくナチュラルアナログ研究”, 2013 年度日本地球化学会年会.
- 長岡亨, 中村孝道, 佐々木祥人, 浅野貴博, 伊藤剛志, 天野由記, 岩月輝希, 吉川英樹 (2013): “Microbially mediated redox processes in lactate stimulation with

- sedimentary rock and groundwater”, Goldschmidt 2013, Florence.
- 中林和也, 本多照幸, 水野崇, 野村雅夫 (2014): “北海道北部に分布する稚内層の断層部を対象としたナチュラルアナログ研究”, 日本原子力学会 2014 年春の年会, I12.
- 中山雅, 澤田純之, 棚井憲治, 杉田裕, 松崎達二, 城まゆみ (2013): “幌延 URL における人工バリアの性能確認試験; (6) 堆積岩の掘削ズリを用いた埋め戻し材による坑道埋め戻しの基本的考え方”, 日本原子力学会 2013 年秋の大会, 054.
- 南條功, 水野崇, 村上裕晃, 天野由記, 細谷真一, 若濱洋, 山下理代 (2013): “坑道内地下水モニタリング装置の開発・改良および適用試験”, 日本地下水学会 2013 年秋季講演会.
- 新里忠史, 阿部寛信, 渡辺貴善, 安江健一, 小田好博, 佐藤治夫 (2013): “森林・山地域における放射性物質の移動挙動調査 システム解析手法の適用”, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会.
- 野原慎太郎, 中田英二, 末永弘, 田中姿郎, 窪田健二, 大山隆弘, 近藤桂二 (2013): “堆積岩地域における深部地下坑道周辺の割れ目の特徴”, 日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会講演論文集, pp. 129-130.
- 笹本広, Wilson, J., 佐藤努 (2013): “鉄との相互作用による緩衝材への変質影響評価: 影響要因に関する解析的検討”, 原子力バックエンド研究, Vol. 20, pp. 39-52.
- Sato, H., Niizato, T., Tanaka, S. Abe, H. and Aoki, K. (2013): “Investigation on depth distribution of radionuclides in soil contaminated by the TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, 2nd investigation”, Swiss Journal of Geosciences 13th Natural Analogue Working Group Workshop, Nagoya.
- Sato, H., Niizato, T., Amano, K., Tanaka, S. and Aoki, K. (2013): “Investigation and research on depth distribution in soil of radionuclides released by the TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident”, MRS Proceedings, Vol. 1518, p. 6.
- 澤田純之, 中山雅, 棚井憲治, 松崎達二, 本島貴之, 城まゆみ (2013): “幌延 URL における人工バリアの性能確認試験; (5) 堆積岩の掘削ズリを用いた埋め戻し材の転圧締め固め特性”, 日本原子力学会 2013 年秋の大会, 053.
- 清水浩之, 小山倫史, 千々松正和, 中間茂雄, 藤田朝雄 (2013): “The Distinct element analysis for the de-stress drilling in the near field of the HLW repository”, 6th International Symposium on In-situ Rock Stress (RS 2013), Sendai.
- 白瀬光泰, 丹生屋純夫, 澤田純之, 中山雅, 棚井憲治, 松崎達二 (2013): “幌延 URL における人工バリアの性能確認試験; (4) 堆積岩の掘削ズリを用いた埋め戻し材ブロックの検討”, 日本原子力学会 2013 年秋の大会, 052.
- 瀬尾昭治, 小松満, 西垣誠, 田岸宏孝, 竹延千良, 岸敦康 (2013): “光ファイバーを用いた水分計測センサの性能確認試験”, 土木学会平成 25 年度全国大会第 68 回年次学術講演会.
- 関口高志, 関根一郎, 川口昌尚, 藤田朝雄, 杉田裕, 荒木昭俊 (2014): “超微粒子球状シリカ系グラウト材料における団粒化発生メカニズムの考察”, 第 42 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集 (CD-ROM).
- 田中真悟, 横田秀晴, 本島貴之, 藤田有二 (2013): “地下水溶存ガス環境を対象とした水理試験・物質移行試験手法の最適化”, 土木学会平成 25 年度全国大会第 68 回年次学術講演会.

- 津坂仁和 (2013) : “幌延深地層研究所”, エンジニアリング協会・地下開発利用研究センターガイドブック編集委員会(編), “地下空間利用ガイドブック 2013”, pp. 350-354.
- Tsusaka, K., Inagaki, D., Nago, M., Kamemura, K., Matsubara, M. and Shigehiro, M. (2013) : “Relationship between rock mass properties and damage of a concrete lining during shaft sinking in the Horonobe Underground Research Laboratory Project”, Proceedings of ITA-AITES World Tunnel Congress 2013 (WTC 2013)/39th General Assembly, pp. 2014-2021.
- Tsusaka, K., Inagaki, D., Nago, M., Aoki, T. and Shigehiro, M. (2013) : “Rock spalling and countermeasures in shaft sinking at the Horonobe Underground Research Laboratory”, Proceedings of 6th International Symposium on In-situ Rock Stress (RS 2013) (CD-ROM), pp. 339-346.
- Tsusaka, K. and Tokiwa, T. (2013) : “Influence of fracture orientation on excavatability of soft sedimentary rock using a hydraulic impact hammer: A Case study in the Horonobe Underground Research Laboratory”, Tunneling and Underground Space Technology, vol. 38, pp. 542-549.
- 横田秀晴, 田中真悟, 本島貴之 (2013) : “堆積岩における原位置水理・トレーサー試験結果に基づく割れ目面内の不均質性の検討”, 日本地質学会第 120 年学術大会 (仙台大会), R24-0-11.
- 横田秀晴, 吉田英一 (2013) : “堆積岩中の物質移動経路となり得る割れ目の構造とその特徴 幌延深地層研究所における事例”, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, SCG60-03.