

幌延深地層研究計画
平成26年度調査研究成果報告

平成27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

目 次

1. はじめに.....	1
2. 平成26年度の主な調査研究の進め方.....	3
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.....	26
3.2 深地層における工学的技術の基礎の開発.....	34
3.3 地質環境の長期安定性に関する研究.....	39
3.3.1 地質環境の長期的変遷に関する研究.....	39
3.3.2 地震研究.....	39
4. 地層処分研究開発.....	41
4.1 処分技術の信頼性向上.....	41
4.1.1 人工バリアなどの工学技術の検証.....	41
4.1.2 設計手法の適用性確認.....	57
4.2 安全評価手法の高度化.....	66
5. 地下施設の建設および維持管理.....	71
5.1 地下施設の建設および維持管理.....	71
5.2 掘削土(ズリ)の管理.....	72
5.3 排水の管理.....	73
6. 環境モニタリング.....	74
6.1 排水量および水質調査結果.....	74
6.2 掘削土(ズリ)の土壌溶出量調査結果.....	87
6.3 センター周辺の環境影響調査結果.....	89
7. 安全確保の取組み.....	97
8. 開かれた研究.....	98
8.1 国内機関との研究協力.....	98
8.1.1 大学との研究協力.....	98
8.1.2 その他の機関との研究協力.....	99
8.2 国外機関との研究協力.....	102
引用文献.....	103
参考資料.....	105

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 26 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 調査坑道に分布する断層	9
図 6	東周回坑道の区間 232 における割れ目スケッチ	9
図 7	東周回坑道の区間 222 から 236 における割れ目の方向分布	10
図 8	試験坑道 5 の区間 5(上)および 15(下)における割れ目スケッチ	10
図 9	試験坑道 4 の区間 15 における割れ目スケッチ	11
図 10	PB-V01 孔における地下水の間隙水圧の測定結果	12
図 11	HDB-7 孔における地下水の間隙水圧の測定結果	12
図 12	地下水流動解析の結果	13
図 13	H4-2 孔の孔壁画像と透水試験結果	15
図 14	ボーリング調査の箇所数と RMSE の関係	17
図 15	RMSE の分布 (半径 2.5 km ケースのパターン 8 の例)	17
図 16	断層部に検出された水みちの透水性とダクティリティインデックス	18
図 17	坑道内で採取した地下水の塩分濃度の経時変化	21
図 18	東立坑周辺における地下水中の塩分濃度の空間分布	22
図 19	350m 調査坑道における初期地圧測定箇所	23
図 20	350m 調査坑道における初期地圧測定結果	25
図 21	地上からの調査と坑道で取得された水平面内の地圧状態の比較	25
図 22	試験坑道 2 および試験坑道 4 周辺における 水圧・水質モニタリング 実施箇所	26
図 23	水圧・水質モニタリングユニット	27
図 24	C05 孔における水圧モニタリング結果	28
図 25	C06 孔における水圧モニタリング結果	28
図 26	傾斜計データの一例	30
図 27	センサー設置レイアウト	32
図 28	立坑掘削時の AE、間隙水圧、温度測定結果	33
図 29	地震計設置位置	35
図 30	震央分布 ($M \geq 2.5$)	35
図 31	2015 年 1 月 3 日 ($M3.2$) と 2 月 3 日 ($M2.5$) の地震の加速度波形	36
図 32	地震動の時刻歴波形 (最大余震)	37
図 33	耐震性評価 解析モデル図	38
図 34	覆工コンクリート最大圧縮応力深度分布 (地震発生時)	38
図 35	350m 調査坑道の地震計設置状況	40
図 36	350m 調査坑道レイアウト	41
図 37	人工バリア性能確認試験の概念図	42
図 38	坑道の埋め戻しの概念図	44
図 39	オーバーパック腐食試験の概念図	48
図 40	緩衝材定置試験設備の外観および各部の名称	50
図 41	地中無線計測の概念図	56

図 42	模擬オーバーパックの製作手順	59
図 43	埋め戻し材（転圧締め固め）からのサンプリング位置	62
図 44	埋め戻し材の透水試験および膨潤圧試験の結果	64
図 45	緩衝材中での腐食モニタリング試験結果の一例	65
図 46	健岩部を対象とした原位置トレーサー試験装置の概念図	67
図 47	単一割れ目を対象とした原位置トレーサー試験の概念図	69
図 48	単一割れ目を対象とした試験孔の配置	69
図 49	掘削土（ズリ）置場の構造	72
図 50	排水系統と各水質分析の試料採取点	74
図 51	地下施設からの排水の採水地点	76
図 52	天塩川の採水地点	78
図 53	掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の採水地点	81
図 54	清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の採水地点	83
図 55	環境調査実施場所	89
図 56	騒音測定結果	90
図 57	振動測定結果	91

表目次

表 1	割れ目の分類基準	8
表 2	人工バリア性能確認試験の計測項目	46
表 3	オーバーパック腐食試験の計測項目	49
表 4	模擬オーバーパックの仕様	58
表 5	坑道の埋め戻し材の仕様	61
表 6	埋め戻し材の品質確認結果	63
表 7	天塩川への排水量	75
表 8	地下施設からの排水に係る水質調査結果	77
表 9	天塩川の水質調査結果	79
表 10	掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果	82
表 11	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	85
表 12	浄化槽排水の水質調査結果	86
表 13	掘削土（ズリ）の土壌溶出量調査結果	88
表 14	清水川の水質調査結果	93
表 15	確認された重要種（魚類）	95

写真目次

写真 1	採水ラインを全てステンレス製にした地下水循環装置	23
写真 2	緩衝材 1 段目設置完了	42
写真 3	緩衝材 5 段目設置	42
写真 4	計測センサー設置状況	43
写真 5	模擬オーバーパックの設置	43
写真 6	おもりの設置	43
写真 7	模擬オーバーパック設置完了	43
写真 8	緩衝材設置完了 (12 段)	43
写真 9	埋め戻し材の転圧締め固め状況	44
写真 10	埋め戻し材ブロックの設置状況	44
写真 11	埋め戻しブロック設置完了、鋼製壁の設置状況	45
写真 12	鋼製壁の設置完了	45
写真 13	コンクリートプラグ施工完了	45
写真 14	試験坑道 4 の整備状況	47
写真 15	オーバーパック腐食試験用模擬オーバーパック	49
写真 16	ドーナツ型の緩衝材	49
写真 17	ドーナツ型緩衝材の設置	49
写真 18	緩衝材定置試験の公開の様子	51
写真 19	オーバーパック溶接部腐食試験を構成する要素	53
写真 20	オーバーパック溶接部腐食試験の実施状況	53
写真 21	試験に使用した緩衝材	55
写真 22	自然湧水環境における緩衝材の膨潤挙動	55
写真 23	緩衝材ブロックに設置した地中無線送信装置およびセンサー	57
写真 24	母材	59
写真 25	予熱・加熱 (取り出し状況)	59
写真 26	鍛造 (1)	60
写真 27	鍛造 (2)	60
写真 28	鍛造 (3) (中空鍛造)	60
写真 29	熱処理	60
写真 30	機械加工	60
写真 31	仕上がり状況	60
写真 32	坑道下部からのサンプリング状況 (27 層目)	62
写真 33	健岩部を対象としたボーリング実施状況	67
写真 34	健岩部を対象とした単孔水理試験状況 (モニター確認)	67
写真 35	健岩部を対象とした原位置トレーサー試験状況 (装置設置)	68
写真 36	単一割れ目を対象としたボーリング実施状況	69
写真 37	孔内部装置	70
写真 38	単一割れ目を対象とした原位置トレーサー試験 (孔内部装置設置状況)	70
写真 39	単一割れ目を対象とした原位置トレーサー試験 (孔内部装置設置後)	70
写真 40	単一割れ目を対象とした原位置トレーサー試験状況 (モニター確認)	70
写真 41	地下施設の建設状況 (東立坑の掘削)	71
写真 42	地下施設の維持管理状況 (検知器の点検)	71

写真 43	掘削土（ズリ）の保管状況	72
写真 44	排水処理設備の状況	73
写真 45	天塩川の採水状況	78
写真 46	掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の採水状況	81
写真 47	清水川の採水状況	84
写真 48	騒音調査	90
写真 49	振動調査	91
写真 50	清水川の水質調査	92
写真 51	魚類生息調査	94
写真 52	植物群落調査結果	96
写真 53	安全パトロールの状況	97
写真 54	安全行事の状況（安全大会）	97

1. はじめに

国立研究開発法人^{*1}日本原子力研究開発機構（旧 独立行政法人日本原子力研究開発機構。以下、原子力機構）幌延深地層研究センターでは、原子力発電に伴って発生する高レベル放射性廃棄物を安全に地層処分するための基盤的な研究開発として、平成13年3月より北海道の幌延町において、幌延深地層研究計画（堆積岩を対象とした深地層の研究施設計画）を進めています。幌延深地層研究計画は、実際の地層処分事業とは明確に区別することを前提に、堆積岩を対象とした深地層の科学的研究（地層科学研究）および地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化に向けた研究開発（地層処分研究開発）を行うものです。

文部科学省と経済産業省が定めた第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）」^{*2}（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およ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した。

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）」^{*3}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した。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」計画でした。また、地層処分研究開発とし

*1：独立行政法人通則法の改正（平成27年4月1日施行）により新たに設定された分類の一つで、研究開発に係る業務を主要な業務として、中長期的（5～7年）な目標・計画に基づき行うことにより、我が国の科学技術の水準の向上を通じた国民経済の発展その他の公益に資するため研究開発の最大限の成果を確保することを目的とする法人に対する名称です。

*2：中期目標は、独立行政法人通則法第29条の規定に基づき文部科学省と経済産業省（平成27年1月30日の改定時からは原子力規制委員会を含む）が定める、原子力機構が達成すべき業務運営に関する目標です。

*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。

*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。

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」こととしていました。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。

平成26年度は、平成25年9月26日に公表した機構改革計画*6に基づく事業の見直しの一環として、第2期中期計画期間の成果の取りまとめを前倒しして行い、地質環境の初期状態を把握するための調査技術や地下深部に安全に坑道を掘削する技術などを整備し、インターネット上の報告書（CoolRep H26*7）として取りまとめました。さらに、それらの成果などを踏まえ、今後実施すべき必須の課題を明確にした深地層の研究施設計画を策定し、平成26年9月に「日本原子力研究開発機構の改革計画に基づく「地層処分技術に関する研究開発」報告書－今後の研究課題について－*8」を取りまとめました。

なお、平成26年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画*9」においては、高レベル放射性廃棄物の問題の解決に向け、国が前面に立って取り組むとの考え方が示され、そのために「地層処分の技術的信頼性について最新の科学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映する」こととされました。幌延深地層研究センターは、このための重要な研究の場であることを念頭に、最新の科学的知見の蓄積や関連技術の整備に取り組んでいます。

*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>（2015. 7. 1）

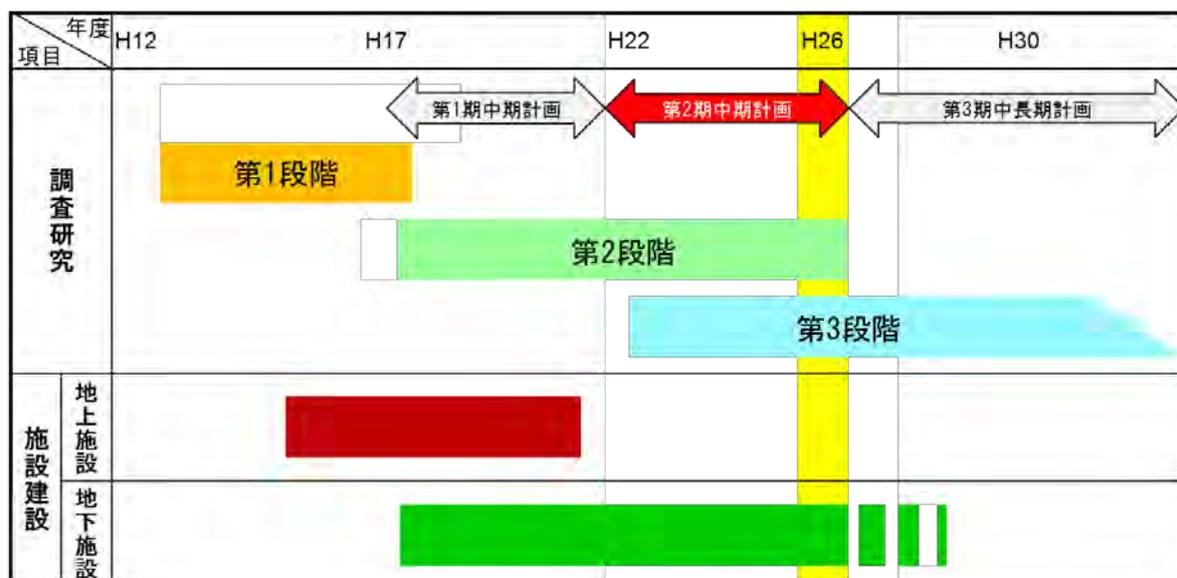
*7 : <http://kms1.jaea.go.jp/CoolRep/index.html>（2015. 7. 1）

*8 : http://www.jaea.go.jp/04/tisou/kongono_kenkyu_kadai/kenkyu_kadai.html（2015. 7. 1）

*9 : <http://www.meti.go.jp/press/2014/04/20140411001/20140411001-1.pdf>（2015. 7. 1）

2. 平成26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）。



- 第1段階：地上からの調査研究段階
- 第2段階：坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階
- 第3段階：地下施設での調査研究段階

図 1 幌延深地層研究計画の全体スケジュール

平成26年度は、「幌延深地層研究計画 平成26年度調査研究計画」⁽¹⁾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」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*¹⁰の高度化、の2項目の研究課題を設定しています⁽²⁾。

地下施設の建設では、東立坑を深度380mまで掘削するとともに深度350m調査坑道の整備を行い、平成22年度から導入しているPFI契約のうち

*10: 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。

の施設整備業務を平成26年6月末に完了しました。引き続き、地下施設の維持管理を実施しています。

平成26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あわせて、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、本計画を着実かつ効率的に進めます。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26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26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。

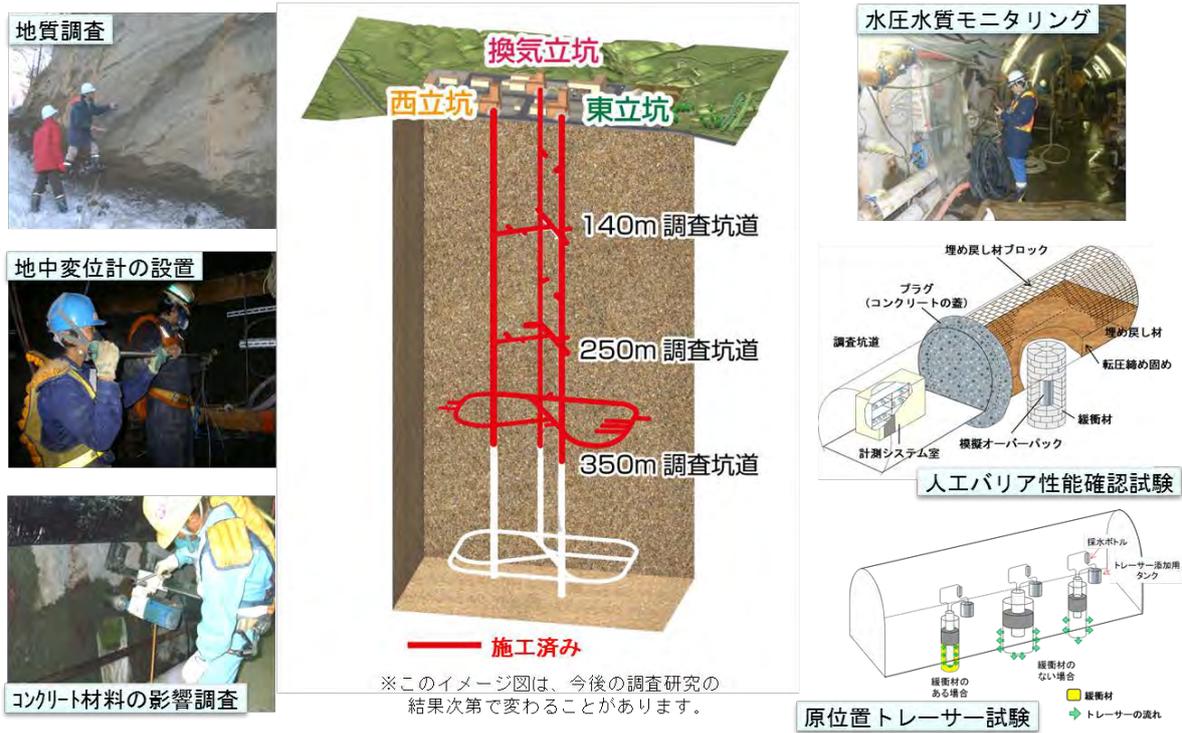


図 2 平成 26 年度の調査研究のイメージ



図 3 研究所用地における主な施設と観測装置の配置

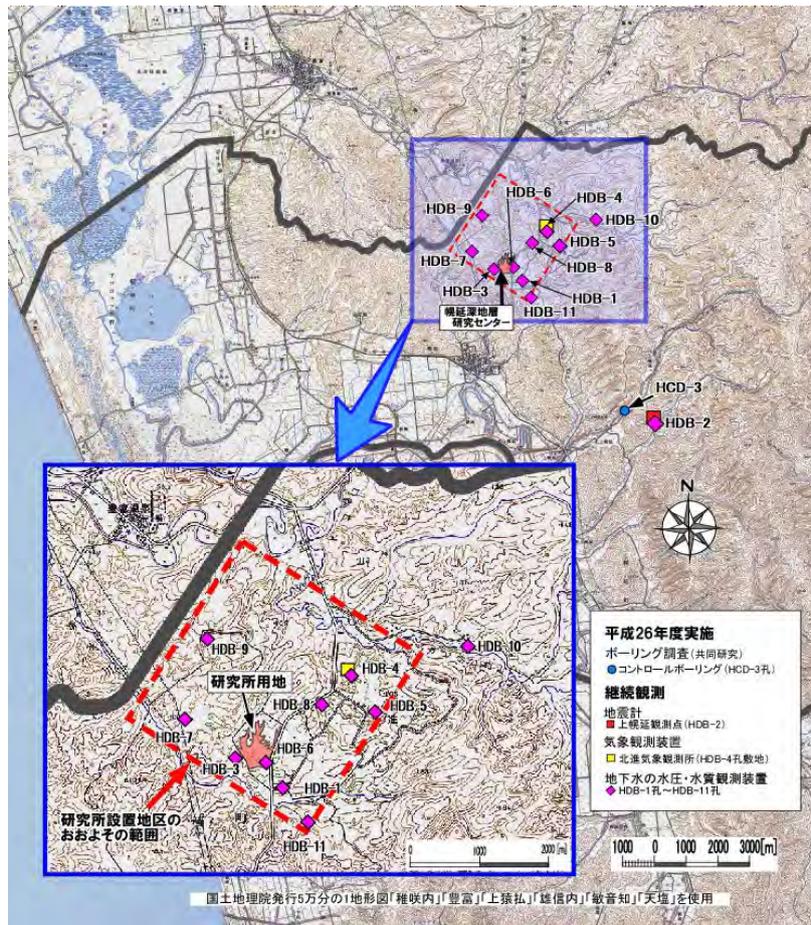


図 4 ボーリング孔の位置および観測装置の設置場所

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

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段階で構築した地質構造モデル^{*11}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26年度は、350m調査坑道における坑道壁面の観察によって取得された岩相および割れ目の記載データに基づき、350m調査坑道に分布する割れ目の特徴を明らかにしました。坑道壁面観察では、割れ目を表 1に示す基準に基づき分類しています。350m調査坑道では断層（割れ目F）の分布や性状を、図 5に示す通り把握することができました⁽³⁾。350m調査坑道は稚内層に位置し、第1段階で構築した地質構造概念⁽⁴⁾に基づくと、割れ目Fは、層理面に平行な断層（以下、層面断層）と層理面と交差する断層（以下、交差断層）に分類されます。

350m調査坑道において観察された層面断層は、断層ガウジを主体とした1cm程度の幅の断層岩を介在し、断層岩を介在しない割れ目（割れ目S）への連続が認められました。局所的には、東周回坑道の北側において比較的厚い幅（30cm程度）の断層岩を介在する層面断層（S1断層）が認められました（図 5）。S1断層の上盤側（断層の南西側）では、せん断性の割れ目SがS1断層と平行に発達するとともに、引張性の割れ目TSがS1断層と直交する方向に発達していました（図 6、図 7）。

一方、交差断層は幅数cmから数十cmの断層角礫を主体とした断層岩を介在し、交差断層の近傍では、割れ目TSがスプレークラック^{*12}として発達していました（図 8の上）。また、雁行配列する交差断層が密集する割れ目Sによって連結する部分が認められました（図 8の下）。交差断層が出現した区間では、顕著な湧水が認められました。これらの観察結果は、第1段階で構築された地質構造概念と整合的でした。

割れ目Sや割れ目TSなどの掘削前から天然に存在する割れ目（以下、天

*11：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。

*12：断層の末端部において、変位量を解消するために発達するほうきのように配列する割れ目のことです。

然割れ目) は、割れ目Fに伴って発達する場合がほとんどであり、割れ目Fが分布しない試験坑道2~4においては、天然割れ目はほとんど認められませんでした (図 9)。そのような場においては、掘削後の応力解放によって形成された割れ目である割れ目exが顕著に発達しており、このような特徴もまた既往研究⁽⁵⁾に示された概念と整合的でした。

今後は、350m調査坑道の壁面地質観察データを統計的に整理した結果を、坑道スケール (数十から数メートル四方) の地質構造モデルの構築に反映していく予定です。

表 1 割れ目の分類基準⁽⁶⁾

記号	種類	分類基準
F	断層 (Fault)	断層岩が認められるもの
g	癒着割れ目 (Granulation seam)	固結した黒色細粒破碎物が認められるもの
S	せん断割れ目 (Shear fracture)	鏡肌または条線が認められるもの (断層岩は認められない)
T	伸張割れ目 (Tensile fracture)	羽毛状構造が認められるもの
TS	引張せん断割れ目 (Sheared tensile fracture)	引張性の痕跡 (羽毛状構造) が優勢で、せん断性の痕跡 (鏡肌, 条線) を伴うもの
ST	せん断引張割れ目 (Tensile shear fracture)	せん断性の痕跡 (鏡肌, 条線) が優勢で、引張性の痕跡 (羽毛状構造) を伴うもの
ex	ゆるみ割れ目 (exfoliation fracture)	掘削に伴う応力開放により形成されたと考えられるもの (機械割れ目は含まない)
u	成因不明割れ目 (Unknown fracture)	上記のいずれにも当てはまらないもの (人為的と考えられる割れ目は含まない)

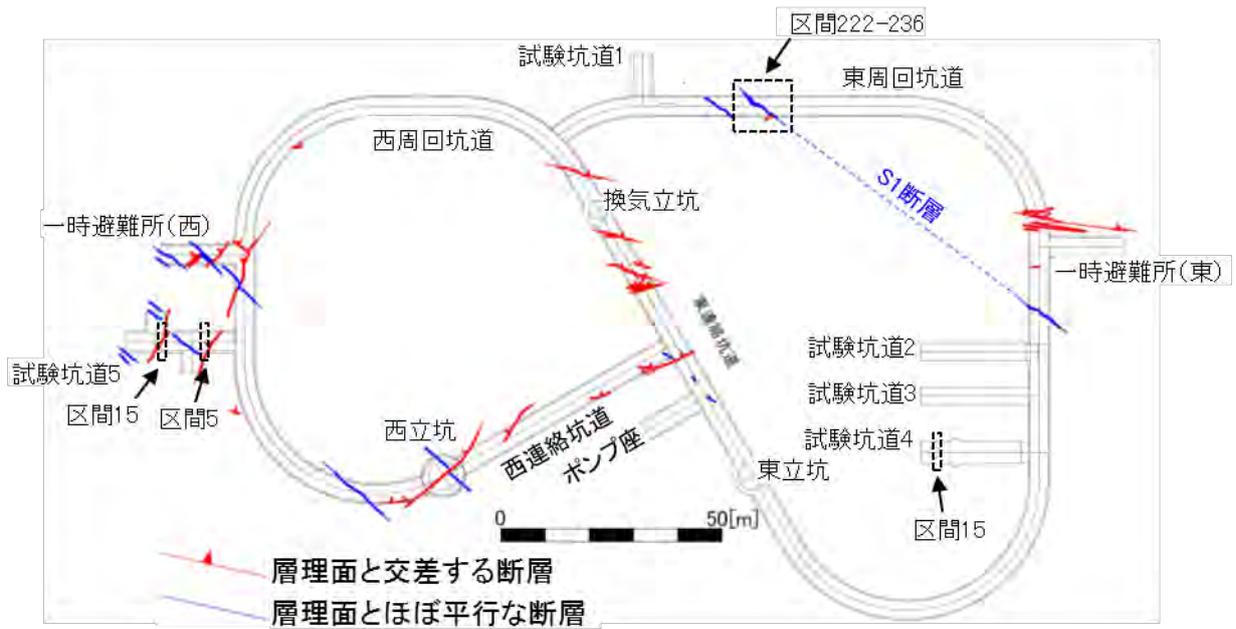


図 5 350m 調査坑道に分布する断層

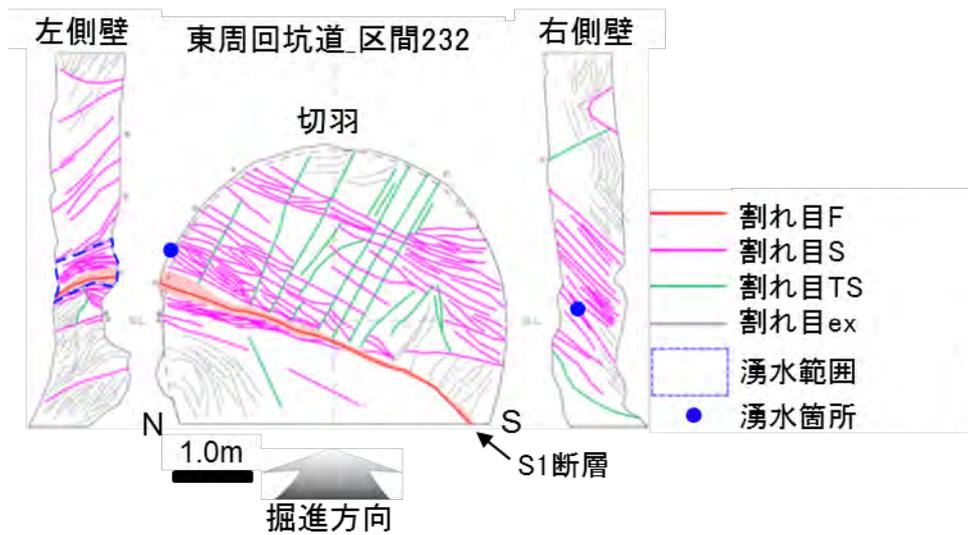


図 6 東周回坑道の区間 232 における割れ目スケッチ

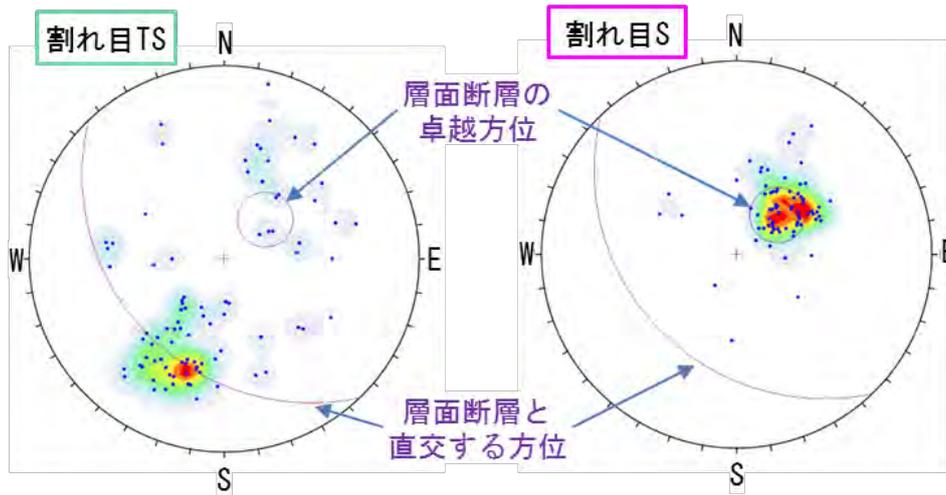


図 7 東周回坑道の区間 222 から 236 における割れ目の方向分布

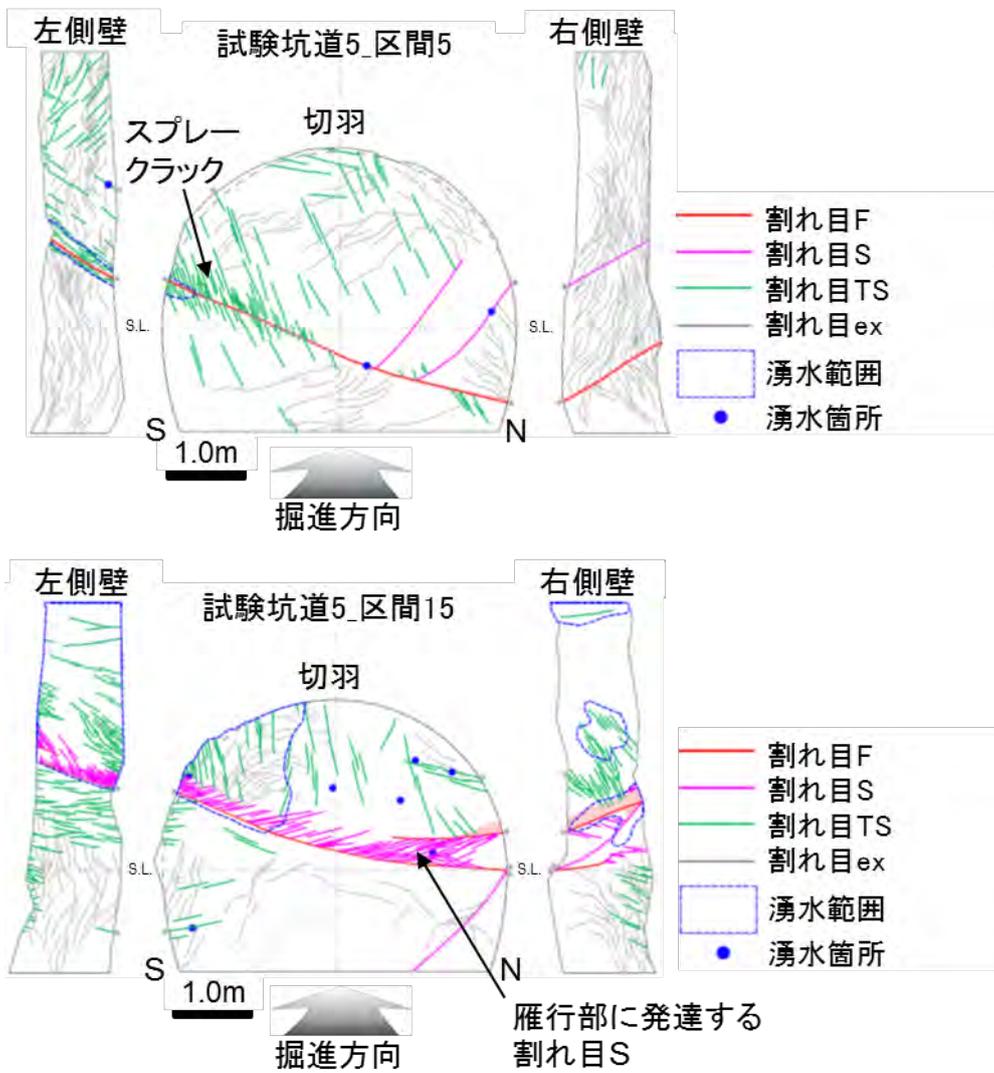


図 8 試験坑道 5 の区間 5(上)および 15(下)における割れ目スケッチ

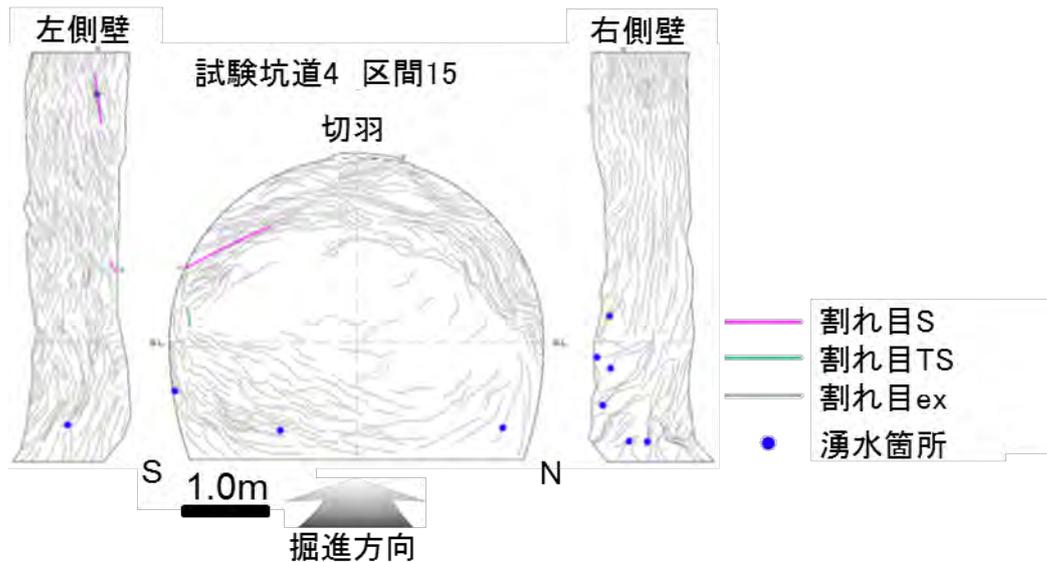


図 9 試験坑道 4 の区間 15 における割れ目スケッチ

(2) 岩盤の水理

表層水理調査や第1段階で掘削したボーリング孔での間隙水圧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26年度は、平成25年度に引き続き、HDB各孔およびPB-V01孔に設置したモニタリング装置による地下水の間隙水圧の観測を行いました。その結果、地下施設近傍のボーリング孔（HDB-3, 6孔およびPB-V01孔）ではこれまでと同様に地下施設建設の影響と考えられる水圧低下が引き続き認められましたが、その低下速度は平成25年度以前と比べると全体的に小さくなりました（図 10は換気立坑から17m離れたPB-V01孔の例）。一方、地下施設から離れたボーリング孔（HDB-3, 6孔およびPB-V01孔以外）では、間隙水圧の低下は依然として認められませんでした（図 11は西立坑から約1,200m離れたHDB-7孔の例）。

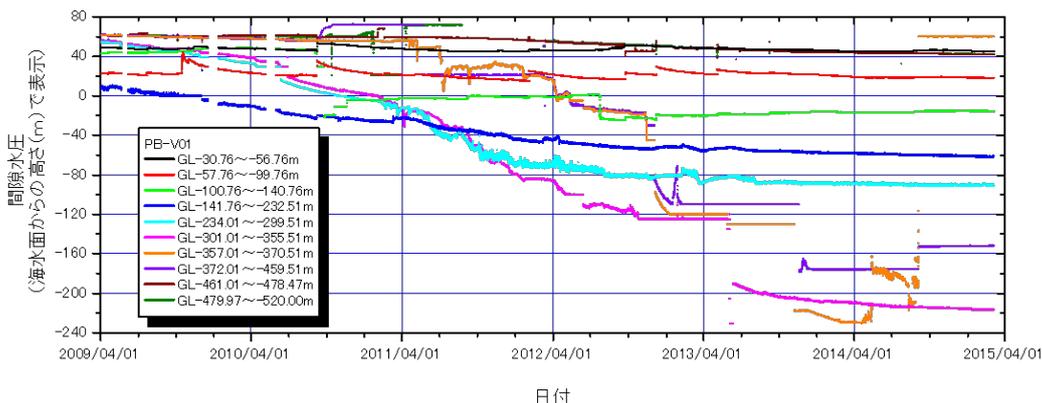


図 10 PB-V01 孔における地下水の間隙水圧の測定結果
 図中で急激に水圧が変化している箇所は、装置の不具合による変動です。

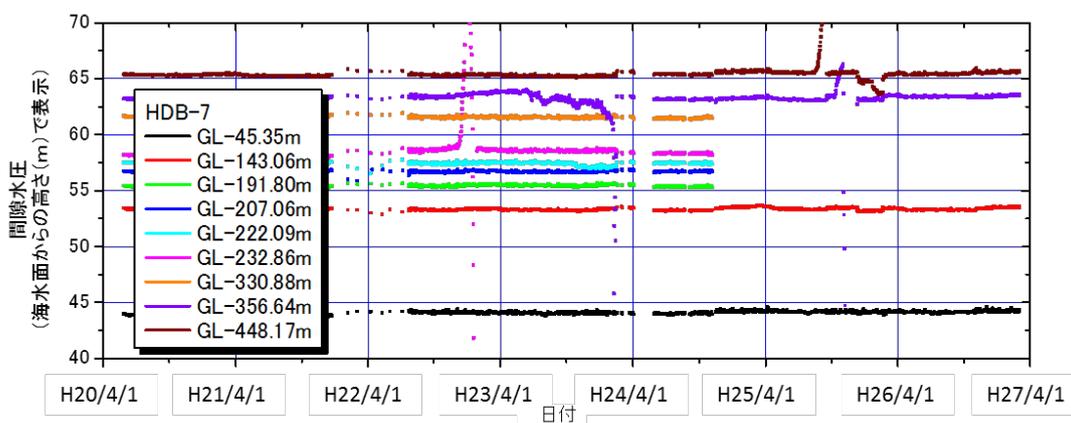


図 11 HDB-7 孔における地下水の間隙水圧の測定結果
 図中で急激に水圧が変化している箇所は、装置の不具合による変動です。

これまでに実施してきた地下施設近傍の間隙水圧観測孔（HDB-3，6孔およびPB-V01孔）において、稚内層中の断層に伴う割れ目ネットワークが発達していることを示唆する水圧応答が認められてきたことを受け、稚内層を均質化させたモデル（個々の断層を表現しないモデル）でその水圧応答を再現し得るかどうかを解析的に検討しました。通常、断層を表現したモデルを用いる場合は個々の断層の三次元分布情報が必要となりますが、今回用いたような均質的なモデルではそのような情報を必要としません。用いたモデルは、第1段階で作成した水理地質構造モデルをベースとして勇知層・声問層・稚内層浅部・稚内層深部および増幌層の地層からなり（図 12(a))、ここでは試験的にS1断層（前年度の成果報告書⁽³⁾に詳

細を記載)も、その遮水性を検討するためにモデルの中に表現しています(同断層は断層粘土部の幅を10cm、亀裂発達部の片側幅を5mとしてモデル化)。稚内層の透水性は地上からのボーリング調査で得られた断層部を対象とした透水試験結果⁽⁷⁾に基づいて設定し、解析には、グラウト施工による岩盤改良の影響のない平成20年10月9日以降の1年間における坑内日湧水量と水圧観測データを用いました。同期間は換気立坑が稚内層に到達して湧水量が有意に増加し始めた期間に相当します(期間中の湧水量は1日あたり40~80m³で推移)。解析の結果、いくつかのケースで、断層部に対応する水圧観測区間の水位(実測)と数メートル以内の誤差で一致する解析結果を得ることができました(図12(b)はその一例)。このような結果は、断層に伴う割れ目ネットワークが発達する場合には、断層を個々に表現しない均質的なモデルでも、断層部の水圧挙動を簡便的に再現できることを示唆します。得られた結果については、今後もさらに検討していく予定です。

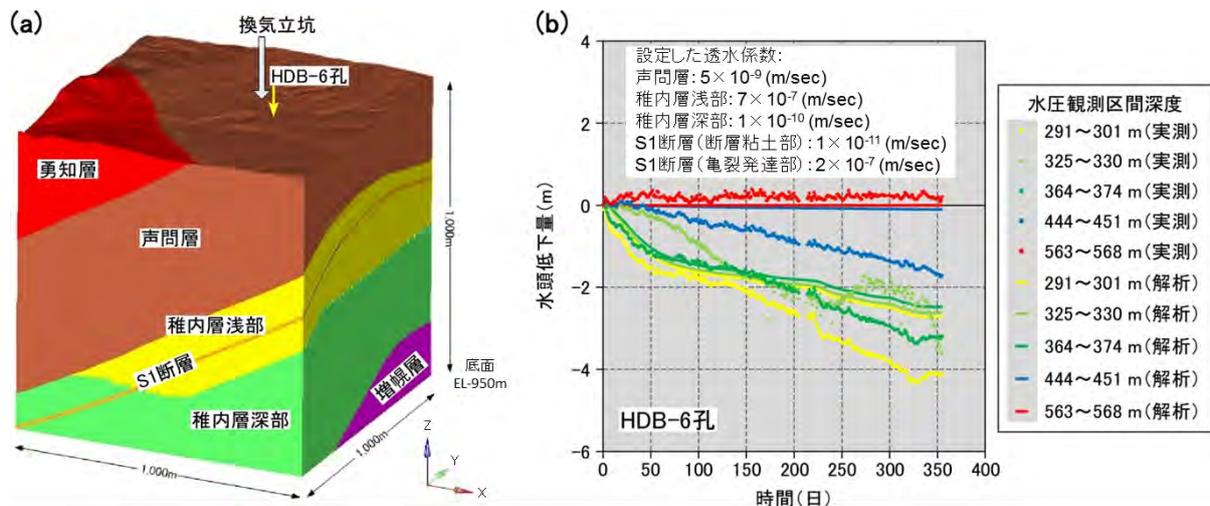


図 12 地下水流動解析の結果

(a) 解析に用いたモデル (b) HDB-6 孔の水圧観測結果と解析結果

坑道周辺の掘削影響を被った岩盤の透水性を把握するための原位置透水試験を350m調査坑道で行いました。ここではその一例として、H4-2孔の調査結果を示します。H4-2孔は、平成25年度に、試験坑道3の側壁から試験坑道4の人工バリア性能確認試験用の試験孔の西側に向けて、同試験孔掘削後に掘削したボーリング孔です（図 13(a)）。ボーリング孔壁観察の結果、試験孔の孔壁から西方約1mの箇所（ボーリング孔の掘削深度11m付近）にて、特徴的な亀裂の発達領域を確認しました（図 13(b)）。同箇所には東方に緩く傾斜する亀裂が限定的に発達しており、そのような亀裂は試験孔の掘削によって新たに形成されたものと解釈されます。同亀裂発達領域を対象に透水試験を実施した結果（図 13(c)の区間2）から、試験坑道3沿いの亀裂発達領域（図 13(c)の区間5に相当）と同程度の透水性が計測されました。このことから、試験坑道4の試験孔近傍にも試験坑道3近傍と同様な透水性を有する亀裂発達領域が形成されたことが示唆されます。しかし、試験孔南側近傍の水分量計測孔（図 13(a)；試験孔との最短距離：25cm）ではそのような亀裂発達領域が確認されませんでした。今後も計測を継続し、試験孔内に設置された緩衝材の膨張や周辺の間隙水圧の変化が亀裂発達領域の透水性に与える影響などを確認していく予定です。

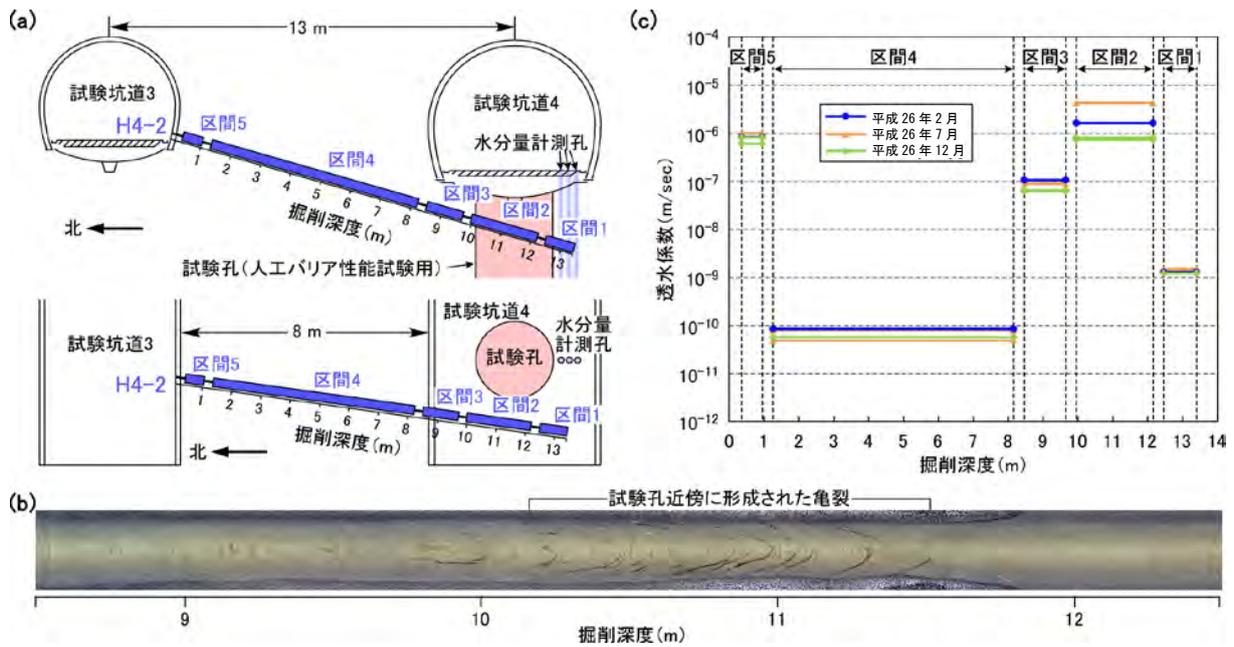


図 13 H4-2 孔の孔壁画像と透水試験結果

(a) ボーリング孔レイアウト (上図：鉛直断面；下図：水平断面)

(b) 孔壁画像 (c) 試験区間の透水性

地上から行うボーリング調査の配置・数量（情報量）と地下水流動解析の予測結果の関係を評価するために、既往の水理地質構造モデルに基づく仮想的なサイト（以下、仮想サイト）を設定し、その仮想サイトにおいてボーリング調査、モデル作成および地下水流動解析を繰り返すシミュレーションを行いました。

シミュレーションでは、断層や割れ目が多く（3.1.1(1)参照）、透水性のばらつきが大きい稚内層の透水係数を仮想サイトにおける未知情報とし、稚内層以外の地層の透水係数、地形や地質構造などの形状、境界条件は既知情報としました。仮想サイトにおけるボーリング調査は10箇所として、ボーリング調査毎に断層や割れ目の分布による透水性のばらつきが考慮された既往の水理地質構造モデルにおける稚内層の平均的な透水係数を求めた後、稚内層を均質化させたモデル（個々の断層、割れ目を表現しないモデル）を作成しました。解析ケースは、調査の位置と順序を変化させて設定し、第1段階で実施したHDB-1～11孔（HDB-2孔を除く）のボーリング調査の通り実施する場合（HDB孔ケース）と調査位置を研究坑道中心から半径1.0km、半径2.5kmおよび半径5.0kmの範囲においてランダムに

実施する場合（それぞれ‘半径1.0kmケース’、‘半径2.5kmケース’、‘半径5.0kmケース’）としました。ランダムに実施するケースにおいては、それぞれ10パターン実施しました。

解析結果の評価に関しては、全10箇所ボーリング孔位置の標高0mから-1000mまでの100m間隔毎に評価地点を設け、全水頭*13について仮想サイトにおける正解値（既往の水理地質構造モデルを用いた地下水流動解析結果）とシミュレーションにおける解析値を比較し、それらの誤差の二乗平均平方根（RMSE:Root Mean Square Error）を指標として全水頭分布の再現性を評価しました。RMSEが小さいほど再現性が高いことを意味します。

その結果、HDB孔ケースにおいては、5箇所目の調査後にRMSEが収束しました（図 14）。半径1.0kmケースでは、1箇所目のボーリング調査におけるRMSEは大きく、調査の進行とともにRMSEが小さくなる傾向がみられました。一方、半径2.5kmのケースおよび半径5.0kmのケースでは、1箇所目の調査後からRMSEが小さくなるパターンがほとんどでした。しかし、いずれのケースにおいても、稚内層の透水係数が仮想サイトにおける平均的な値とかけ離れて設定されることによってRMSEが極端に大きくなるパターンが含まれていました（図 14）。このようなパターンについてRMSEの平面的な分布を確認してみると、大曲断層の上盤側（北東側）の領域においてRMSEが大きくなっていることがわかりました（図 15）。このようなRMSEが大きくなる領域は、稚内層の透水性に関する不確実性の影響を受けやすい領域といえます。半径1.0kmケースでは、評価地点がRMSEの大きい領域に集中するため、2.5kmケースおよび半径5.0kmケースと比較して、情報量が少ない調査の初期段階においてRMSEが大きくなる傾向を示したと考えられます。

*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。

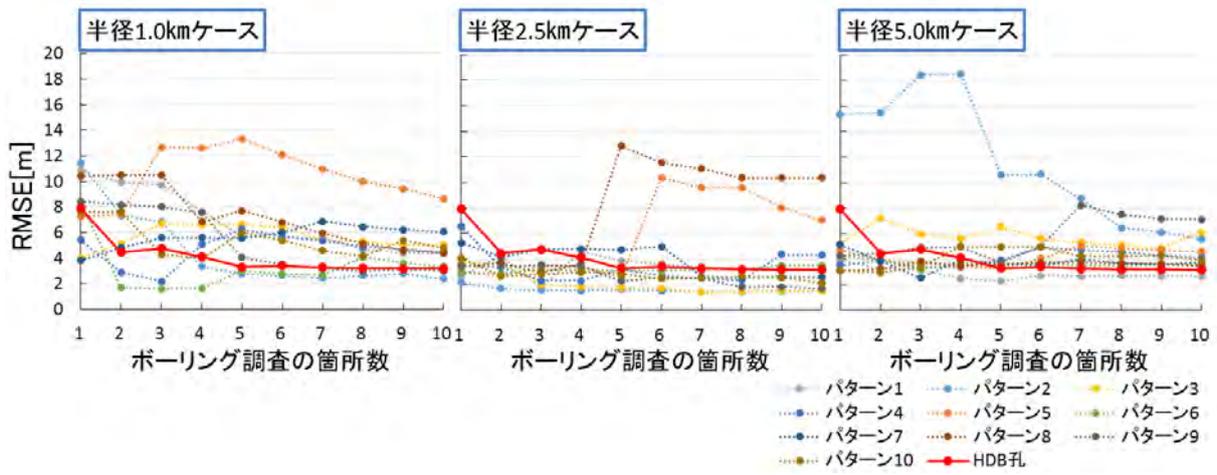


図 14 ボーリング調査の箇所数と RMSE の関係

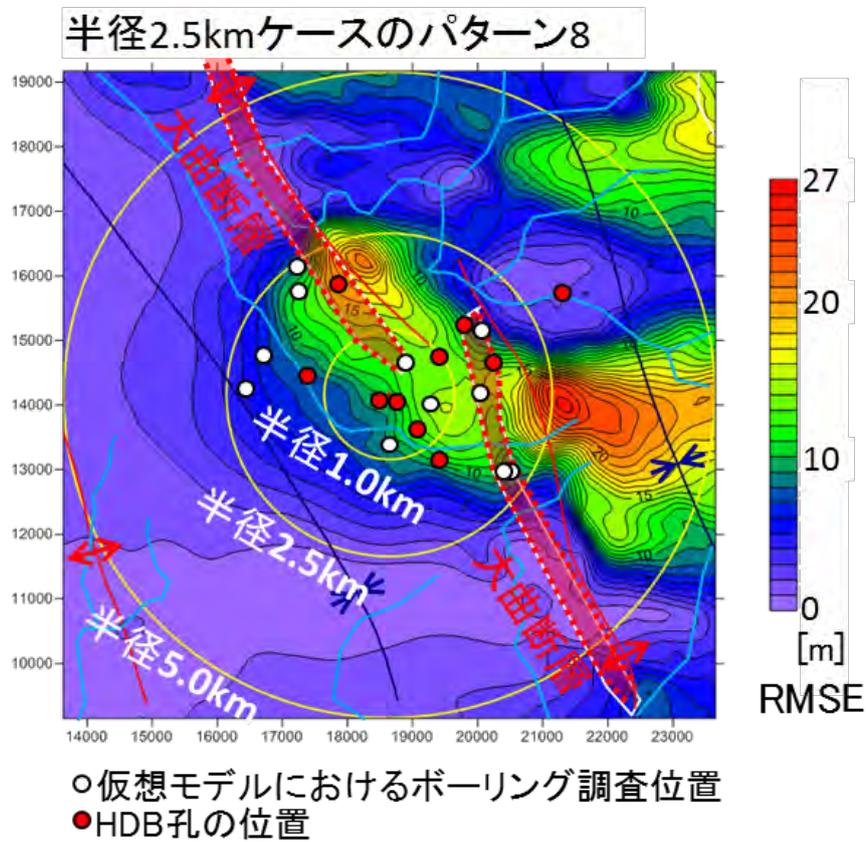


図 15 RMSE の分布 (半径 2.5 km ケースのパターン 8 の例)

第3期中長期計画（平成27年4月1日～平成34年3月31日）における地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証⁽⁸⁾に向けて、断層の透水性に関する国内外の研究成果のレビューを行いました。レビューの結果、既往のボーリング調査において断層部に検出された水みちの透水性がダクティリティインデックス（岩石の強度・応力状態を表す指標の一つ：平均有効応力÷引張強度で表される）に強く規制されていることがわかりました⁽⁷⁾（図16）。今回のレビューの対象とした断層はいずれも過去に多くの断層運動を経験したものであり、ある岩石中のある深度に存在する断層の透水性は、断層運動が生じた場合でも図16に示される関係性を超えて不可逆的に上昇しないことが示唆されます⁽⁷⁾。このような知見は地下における断層の長期的な透水性の予測を可能とするものであり、今後も更なる検討を加えていく必要があります。第3期中長期計画では今回得られた知見を検証するために、地下施設を利用した原位置試験（断層を対象とした擾乱試験⁽⁸⁾）や室内試験を行う予定です。

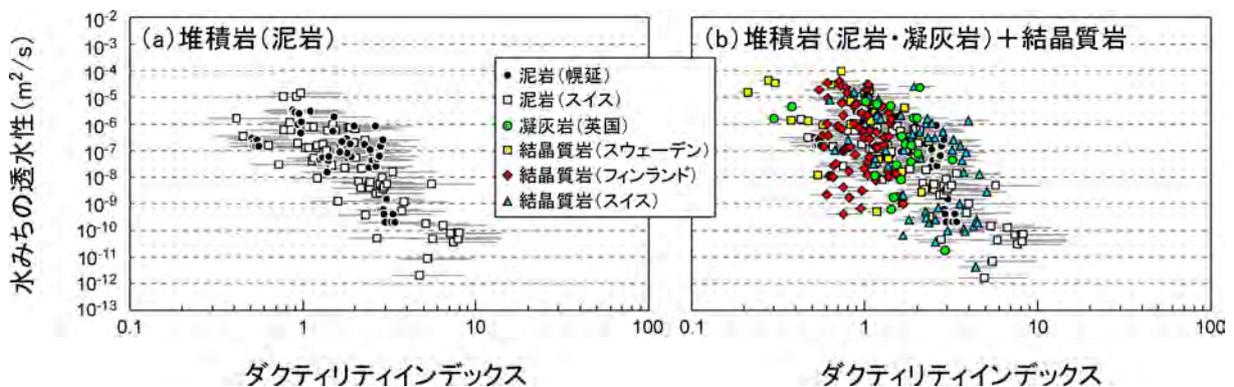


図 16 断層部に検出された水みちの透水性とダクティリティインデックス⁽⁷⁾

(3) 地下水の地球化学

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・解析技術の開発を行っています。このため、坑道内で採取した地下水のpHや電気伝導度^{*14}、酸化還元電位^{*15}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26年度は、平成25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^{*16}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 17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。集水リングで採取された地下水（図中で○印のデータに相当）では、深度100m～200m程度の位置で採水された地下水の多く（たとえば、WR-V-98.0、WR-V-132.0、WR-E-100.0、WR-V-168.0、WR-V-202.0、WR-E-169.0、WR-E-202.0）は、他の深度で採水された地下水と比べると相対的に塩分濃度の変動が大きい傾向があります。また、坑道内から掘削されたボーリング孔から採取された地下水（図中で□印のデータに相当）では、集水リングで採取された地下水に比べて塩分濃度の変動が小さいことがわかります。

次に、立坑周辺の地下水の水質分析結果に基づいて、立坑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、その変化について考察しました。図 18に東立坑の掘削開始前から平成26年度までのデータに基づく東立坑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26年度は、これまでの坑道内のボーリング孔のほかに、深度350m調査坑道から掘削されたボーリング孔、東立坑の南約90mに位置するHDB-6孔の2区間（深度288.66～302.90m、深度362.39～385.70m）において採水を実施し、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、平成25年度と同様に浅部において塩分濃度

*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。

の低下が確認されました。また、平成26年度と平成22年度の結果を比較すると、東立坑周辺の稚内層上部に位置する箇所では、平成26年度の方がやや塩分濃度が高くなっているように見えます。これは、深度350m調査坑道から新たに得られたデータを加えたことにより、地下水中の塩分濃度分布の詳細がより明らかになったためと考えられます。なお、稚内層下部における塩分濃度分布については、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い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あわせて、地球化学モデル^{*17}を更新していきます。

さらに、平成26年度は、地下水年代測定用の採水装置として、採水ラインを全てステンレス製にした地下水循環装置を製作し、これを深度350m調査坑道東周回坑道の既存ボーリング孔に設置しました（写真 1）。地下水年代測定方法の1つに、地下水に溶けているヘリウムガスの量を調べる方法があります。水質分析のための地下水採水に使用している地下水循環装置では、通常、ナイロン製チューブを用いますが、地下水に溶けているヘリウムガスは、ナイロン製チューブを透過する可能性があります。そこで、ガスを透過しないステンレス製チューブを用いて採水する地下水循環装置を製作・設置し、より原位置の地下水の状態で採水できるようにしました。今後、この装置を用いて地下水中の正確なヘリウムガスの量を調べ、電力中央研究所^{*18}との共同研究を通じて地下水の年代測定を行う予定です。

また、平成26年度は、深度350m調査坑道の試験坑道5とその周辺において、割れ目の多い箇所と少ない箇所を対象に地下水の水圧・水質の長期変化を観測するため、3孔のボーリング孔掘削と観測装置の設置を行い、観測を開始しました。

*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。

*18：一般財団法人 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。

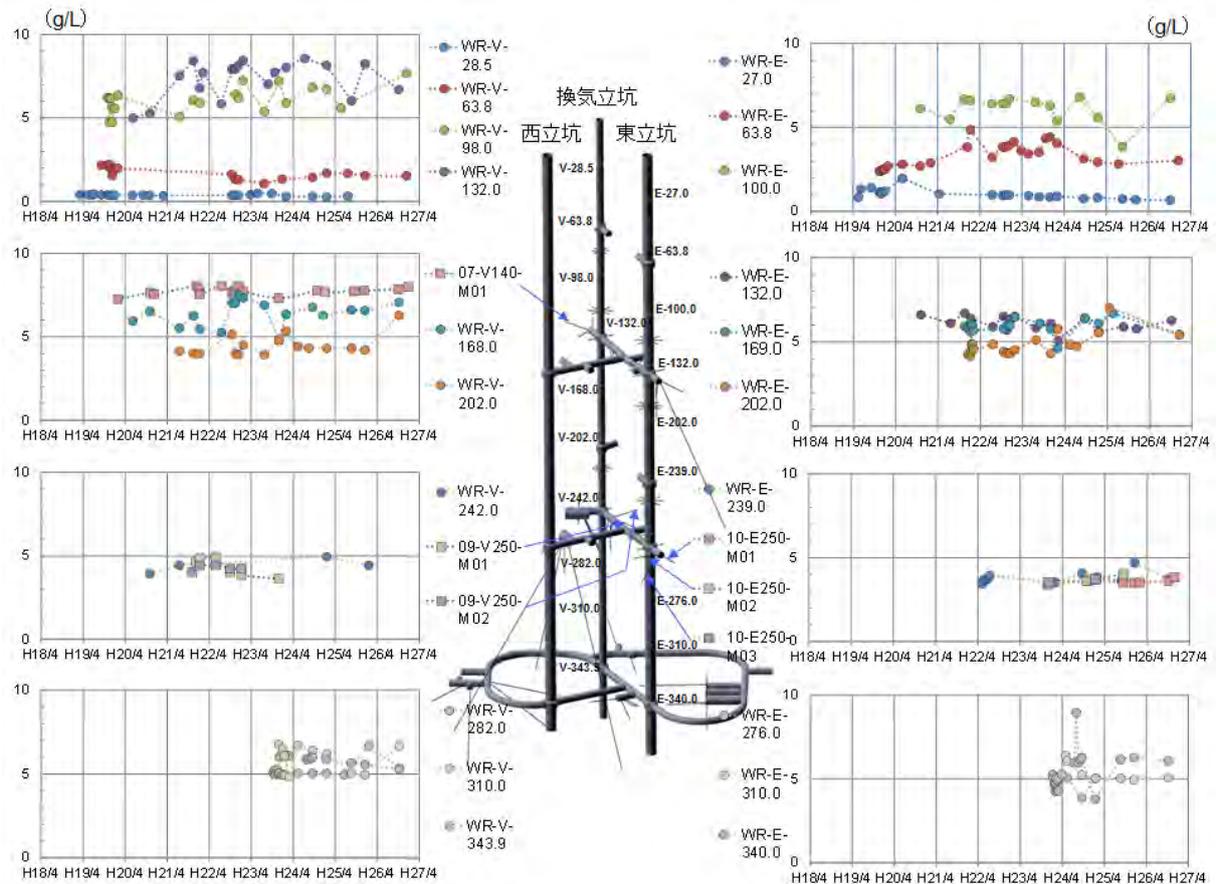
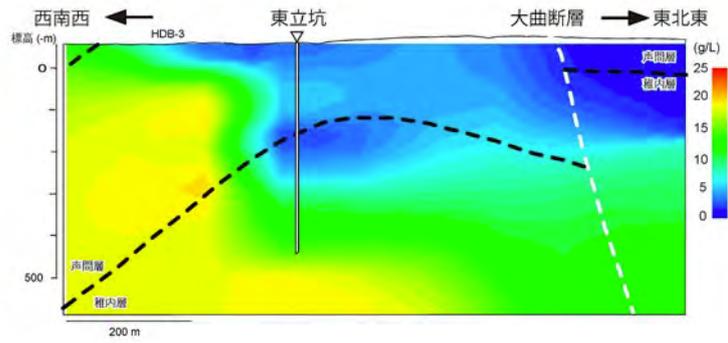
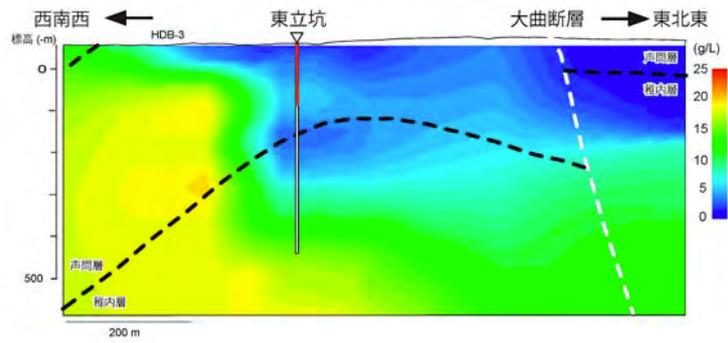


図 17 坑道内で採取した地下水の塩分濃度の経時変化

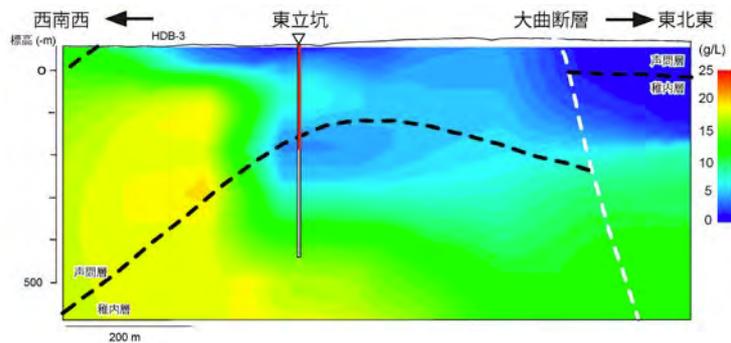
図中の“V”および“E”はそれぞれ“換気立坑”と“東立坑”を、“WR”は集水リングを表しています。VまたはEのうしろの数字は深度(m)を表しています。また、○は集水リング、□は坑道内で掘削したボーリング孔から採取した地下水のデータを表しています。



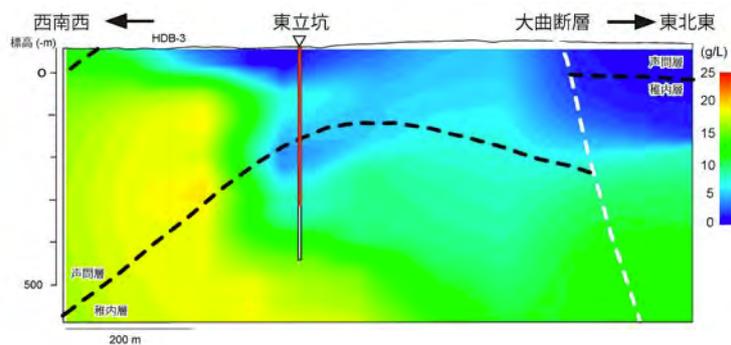
(a) 第1段階調査時（東立坑掘削前）



(b) 平成20年度（東立坑：地表から140mまで掘削）



(c) 平成22年度（東立坑：地表から250mまで掘削）



(d) 平成26年度（東立坑：地表から380mまで掘削）

図18 東立坑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。



写真 1 採水ラインを全てステンレス製にした地下水循環装置

(4) 岩盤力学

第1段階で構築した岩盤力学モデル*19の妥当性を評価するために、地下施設において初期地圧を測定しています。平成26年度は、350m調査坑道の東周回坑道で測定を実施しました（図 19）。本測定では、方向・傾斜の異なる3本のボーリング孔を掘削し、水圧破碎法*20により初期地圧を三次元的に測定しました。

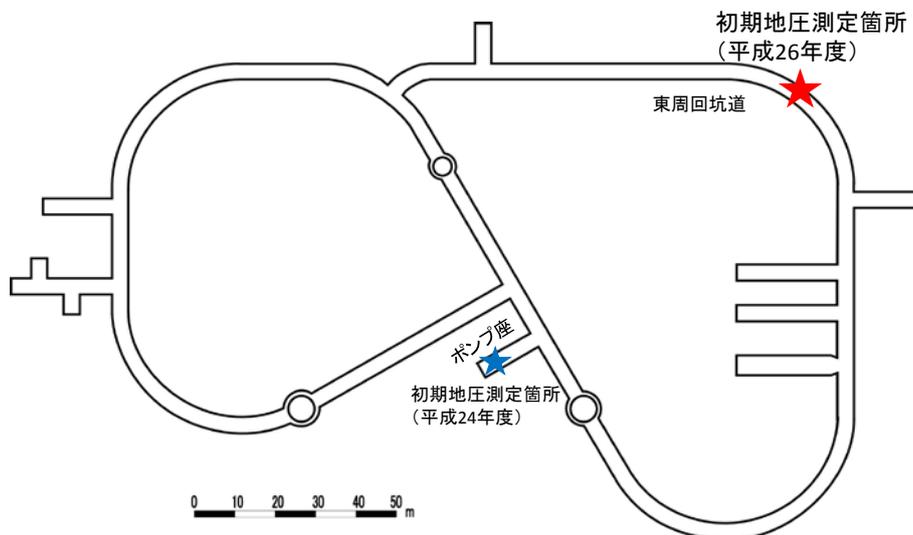


図 19 350m 調査坑道における初期地圧測定箇所

*19：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。
 *20：ボーリング孔内のある区間をパッカーで区切り、同区間に高水圧を作用させて岩盤に人工的な亀裂を発生させ、その時の亀裂開口圧や亀裂方位などを調べ、これらの結果から初期地圧を求める方法です。

初期地圧測定結果を図 20に示します。図中●は最大主応力 σ_1 、▲は中間主応力 σ_2 、■は最小主応力 σ_3 を表しています。赤色が今回得られた結果であり、青色は平成24年度にポンプ座にて実施された結果を示したものです。東周回坑道で得られた各応力の方位は、最大主応力がほぼ鉛直方向、中間主応力が北西方向、最小主応力が南西方向となりました。また、最大主応力と中間主応力がほぼ同じ値を示しました。各主応力とも、ポンプ座で得られた値よりも小さい結果となりました。この原因の一つとして、東周回坑道における測定値は、坑道掘削や坑内排水による地下水位の変動を反映している可能性があり、今後間隙水圧の変化の観点から考察していく予定です。

図 21に地上からの調査で得られた結果と、坑道内で測定した結果をあわせて示します。坑道内で測定された各主応力の値は、地上からの調査で得られた値よりも小さい結果となりました。また、坑道内で取得した最大主応力の方位に関しては、一部の例外はあるものの、概ね東西方向から±30°で分布しており、地上からの調査結果にほぼ整合する結果となりました。

今後は、350m調査坑道で取得した内空変位^{*21}測定結果から逆解析的に初期地圧状態を検討するとともに、地下施設周辺の応力状態の総合的な解釈を進めていきます。また、間隙水圧の変化に伴う地圧変化についても検討を進め、坑道における地圧測定値が地上からの調査結果よりも小さい原因について検討していきます。

*21：坑道内で吹付けコンクリート内側の断面の相対変位量を計測することです。

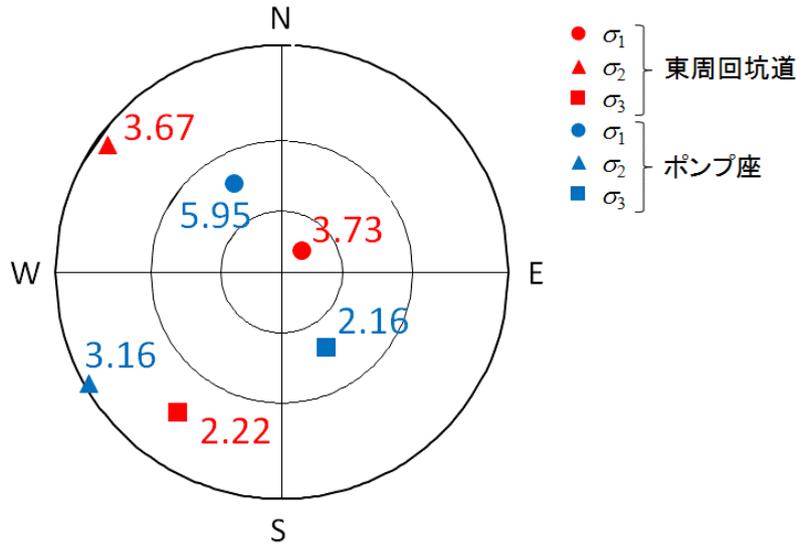


図 20 350m 調査坑道における初期地圧測定結果（単位：MPa）

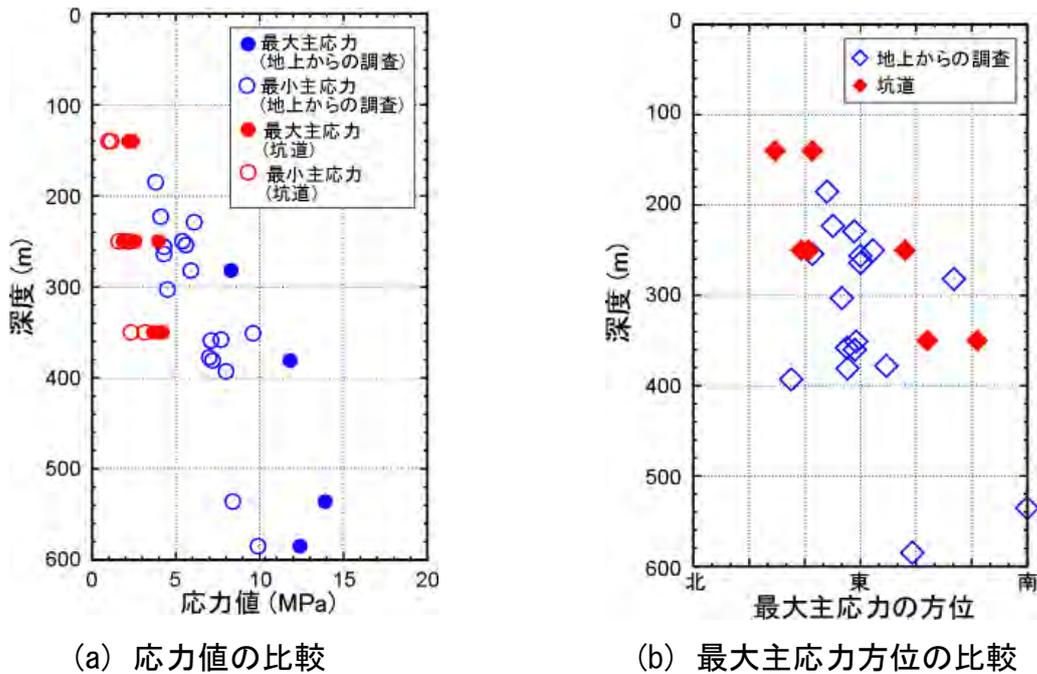


図 21 地上からの調査と坑道で取得された水平面内の地圧状態の比較

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、岩盤の力学に関する調査技術のほか、コントロールボーリングを用いたモニタリング技術の開発を実施しました。

(1) 地下水の地球化学特性に関する調査技術の開発

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を目的とした調査技術の開発を行っています。調査技術の開発の中で得られたデータは、岩盤の水理モデル^{*22}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に利用します。

地下水の地球化学特性に関する調査技術の開発においては、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平成25年度に350m調査坑道に設置し、平成26年度も継続して水圧・水質モニタリングを実施しました。350m調査坑道の試験坑道2および試験坑道4周辺における水圧・水質モニタリングの実施箇所を図 22に示します。

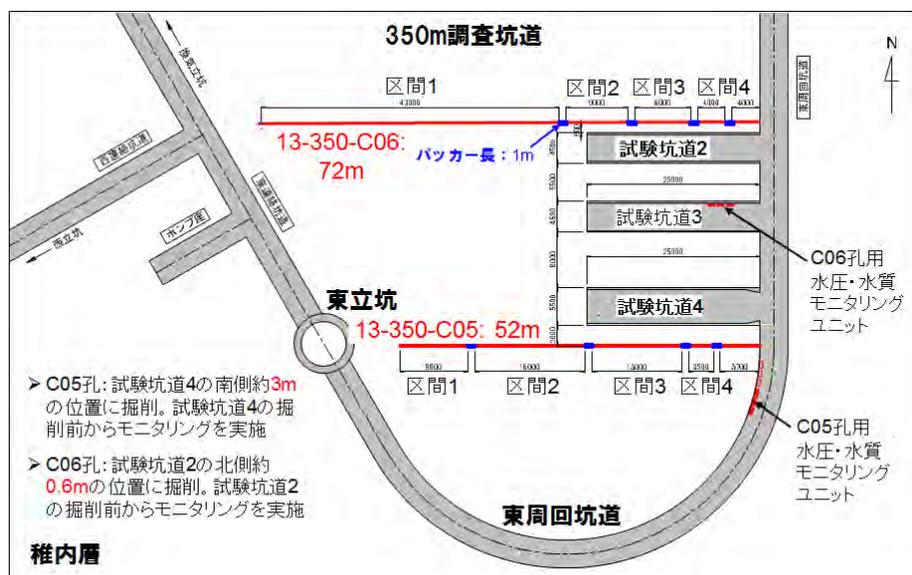


図 22 試験坑道2および試験坑道4周辺における水圧・水質モニタリング実施箇所

*22: 地質構造の分布や形状にあわせて透水係数などの水理学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。

モニタリング対象としたボーリング孔は、13-350-C05孔および13-350-C06孔（以下、「C05孔」および「C06孔」と略します）の2孔です。C05孔は、平成25年の3月に試験坑道4の南側約3mの位置に掘削した孔長52mのボーリング孔で、C06孔は、平成25年の6月に試験坑道2の北側約0.6mの位置に掘削した孔長72mのボーリング孔です。両孔とも、試験坑道2および試験坑道4の掘削前に掘削しました。また、孔内にはパッカーを設置し、区間1～区間4の4区間の地下水について、試験坑道2および試験坑道4の掘削前から、水圧・水質モニタリングを開始しました。図 23に、350m調査坑道に設置した水圧・水質モニタリングユニットを示します。モニタリングユニットは、データ収録ユニット・水質モニタリングユニット・水圧モニタリングユニットで構成されます。



図 23 水圧・水質モニタリングユニット

このモニタリングユニットを用いた水圧モニタリングの結果を図 24 および図 25に示します。図 24は、C05孔における区間1～区間4の水圧モニタリング結果です。試験坑道4の掘削前後における各区間の水圧を見てみると、試験坑道4の掘削長（25m）の範囲に含まれる区間3および区間4では、試験坑道4の掘削後、水圧の低下が顕著であることがわかります。また、試験坑道4より、やや離れた場所に位置する区間2では、区間3および区間4ほど顕著ではありませんが、時間の経過とともに、水圧が低下しています。一方、試験坑道4から離れた場所に位置する区間1では、試験坑道4の掘削による水圧への影響はほとんど認められていません。試験坑道の掘削による周辺岩盤中の地下水の水圧への影響については、C06孔における水圧モニタリングにおいても同様な結果が示されています（図 25）。

なお、地下水の水質については、C05孔およびC06孔のいずれの区間においても、試験坑道の掘削前後で顕著な変化は認められず、pHは7程度、酸化還元電位は-200~-280mV程度の還元性の値が維持されていました。今後も水圧・水質モニタリングを継続し、試験坑道掘削後の経時変化を把握していく予定です。

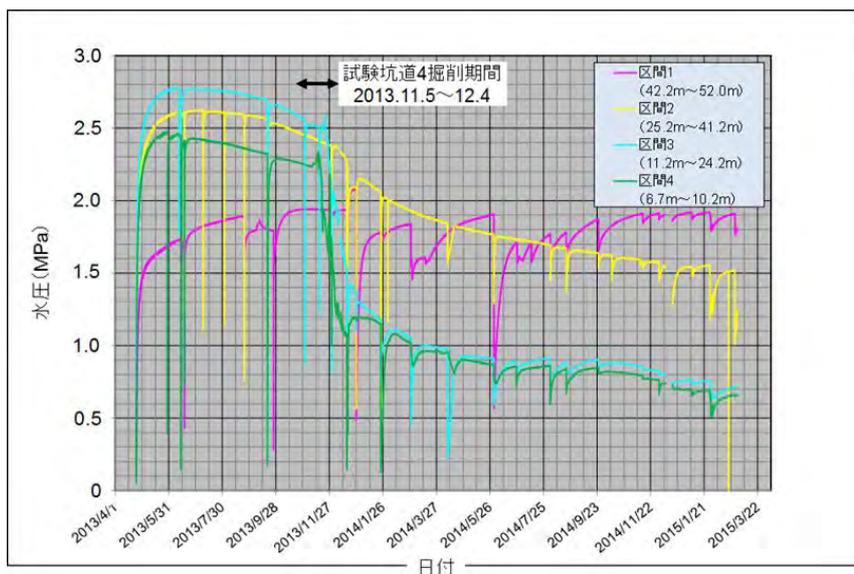


図 24 C05孔における水圧モニタリング結果

図中で急激に水圧が変化している箇所は、メンテナンスによる影響です。

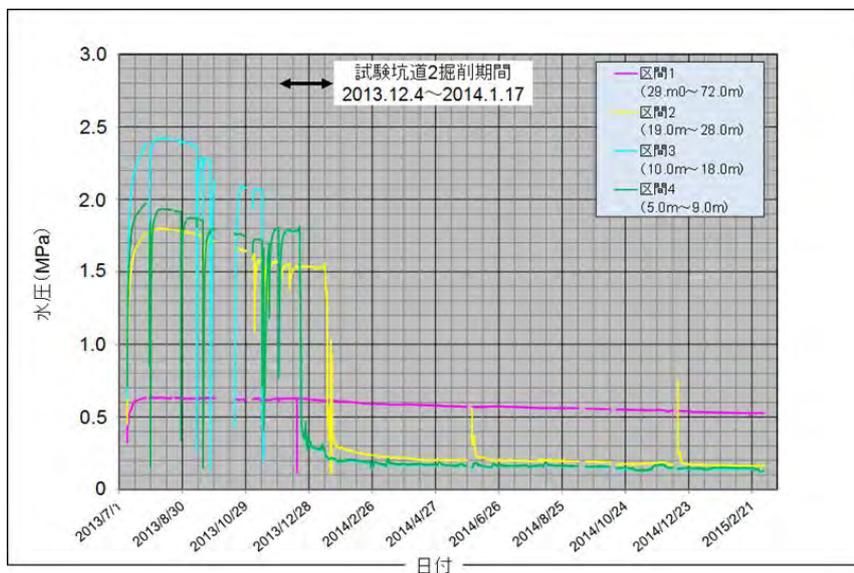


図 25 C06孔における水圧モニタリング結果

図中で急激に水圧が変化している箇所は、メンテナンスによる影響です。

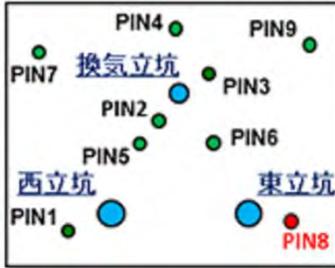
(2) 坑道掘削の影響調査に関する調査技術の開発

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立することを目的として、立坑の周辺（半径100m以内）に9台、東立坑の深度140mの接続部付近に1台、立坑周辺から1km程度離れたHDB-8孔近傍に1台の高精度傾斜計^{*23}を配置し、坑道掘削に伴う地表付近における岩盤の傾斜の変化を計測しています。平成26年度は、平成25年度と同様の方法⁽⁹⁾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26年度の主要な掘削工事は東立坑の深度371mから深度380mの掘削のみで、施工期間も2週間ほどであったため、掘削による影響は確認されませんでした。

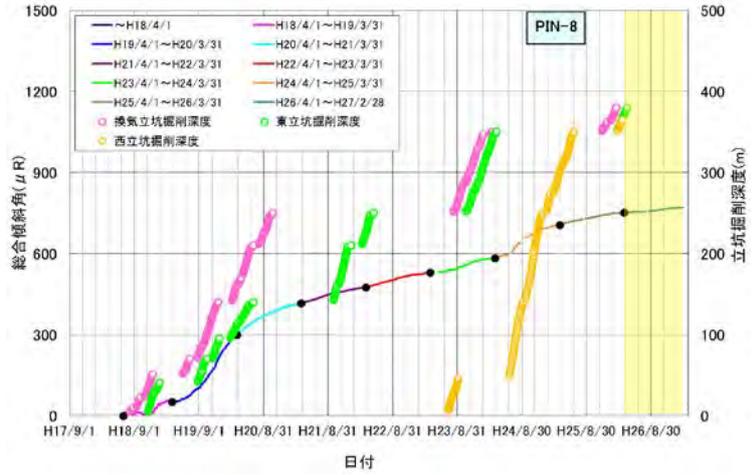
平成26年度に得られた傾斜データの全体的な傾向として、前年度までと比較して立坑・水平坑道掘削の終了に伴い傾斜の増大の割合が低下していることが確認されました。地下施設建設の影響を示すため、東立坑近傍にあるPIN8の傾斜量と傾斜方向およびHDB-8孔近傍のPIN10の傾斜量を図 26に示します。PIN8では前年度以前の掘削時に比べて傾斜の増大の割合は低下していますが（図 26(a)）、傾斜方向は東および西立坑方向を維持しています（図 26(b)）。一方、西立坑から北東方向へ約1km離れたPIN10（図 26(c)）では、地下施設建設に伴う地表の傾斜はほとんど観測されていません。

これまでの計測データにより掘削工事での変化があることから、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付近での傾斜量やその傾斜方向が検知できることを確認しました。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するとともに、地下深部の岩盤の挙動との関係について検討していきます。

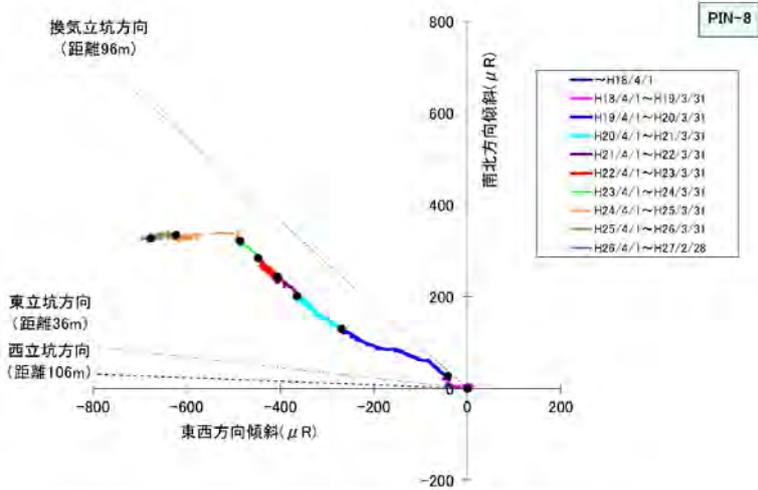
*23：通常の傾斜計が計測できる角度は約3,600分の1度であるのに対し、約1億分の6度の傾斜量を計測することができる非常に計測精度の高い傾斜計です。



高精度傾斜計の配置



(a) PIN8 (傾斜量)

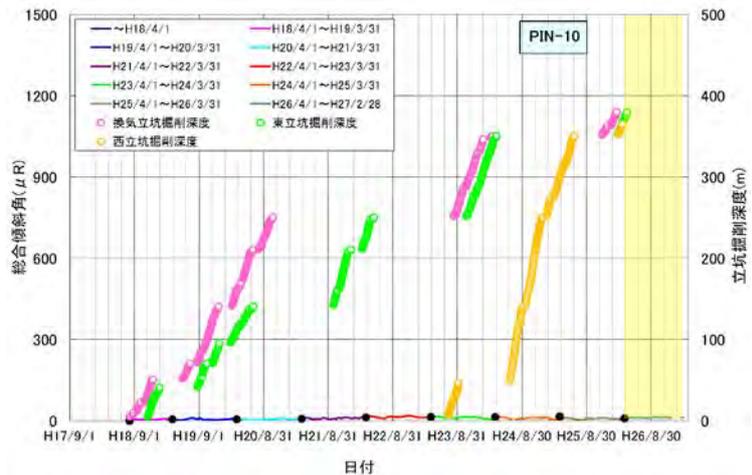


(b) PIN8 (傾斜方向)



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



(c) PIN10 (傾斜量)

図 26 傾斜計データの一例

- ・ グラフの縦軸の単位 μR (マイクロラジアン) は角度の単位で、1,000 μR が約 0.06° に相当します。
- ・ グラフ中の色分け部分が平成26年度のデータになります。

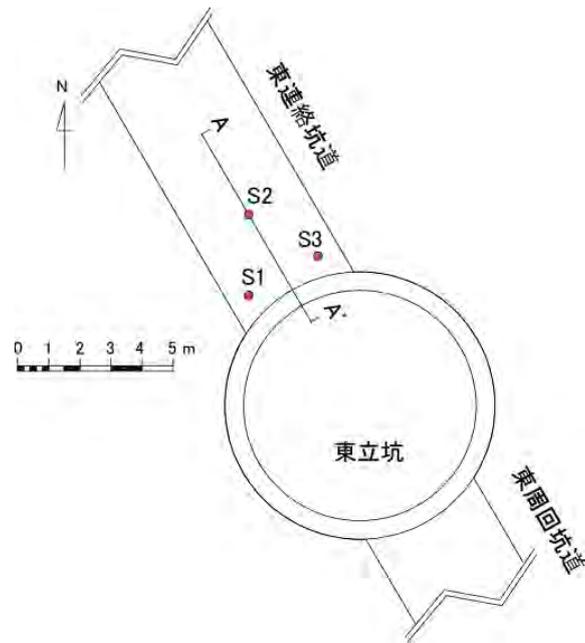
(3) 岩盤力学に関する調査技術の開発

平成 25 年度から、(株)大林組との共同研究として、マルチ光計測プローブとよばれる調査機器を開発し、東立坑掘削時における周辺岩盤のモニタリングに適用しました。本機器は、複数の光ファイバー式センサーを 1 本のボーリング孔に設置して様々なデータを取得できるため、センサー設置のためのボーリング孔掘削の費用の大幅な削減が可能となります。

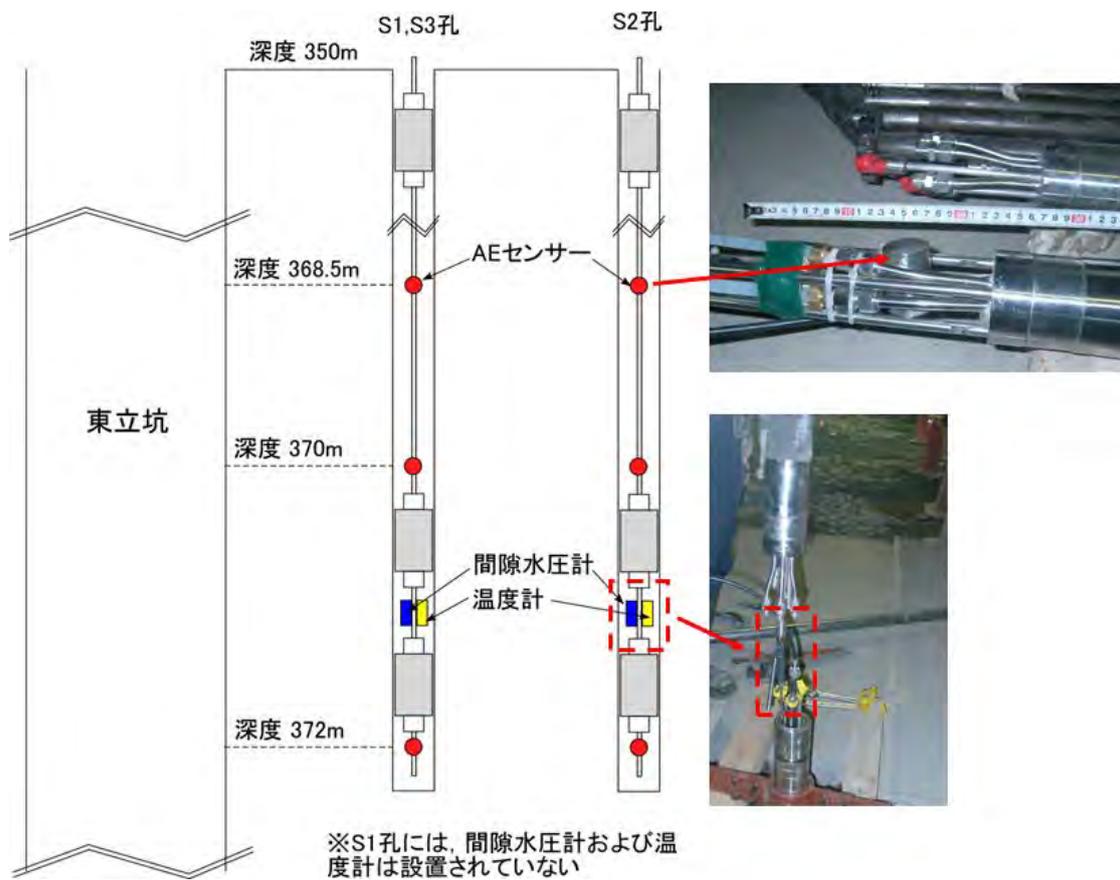
図 27に示すように、東立坑の350m接続部付近で3本のボーリング孔 (S1～S3孔) を掘削し、岩盤に割れ目が生じたときに発生する微小振動 (アコースティックエミッション、以下AE^{*24})、間隙水圧、温度を計測するセンサーを設置して、350m以深の立坑掘削時の岩盤挙動を測定しました。

坑道掘削中のAEの発生数、間隙水圧と温度の経時変化を図 28に示します。(a)には、立坑壁面から約1.5m離れた位置に設置したセンサー (S1孔) により取得されたAE発生数の経時変化を例として示します。本図から、センサー設置深度付近を施工している期間に、AEの発生数が多くなることがわかります。また、(b)には、立坑から約1.5m (S3孔) および約3.5m (S2孔) 離れた位置に設置したセンサーにより取得された間隙水圧および温度の変化を示します。S3孔では、センサー設置深度付近を掘削中に、壁面周辺の間隙水圧が急激に変化しています。これは、掘削に伴い岩盤内に割れ目が生じたことにより、地下水の流れが変わったためと考えられます。今後、AE発生位置の特定や、坑道周辺の割れ目発生のメカニズム、透水性の増大などに関するデータ分析を行い、立坑周辺の掘削影響領域に関する詳細な検討を進めていきます。

*24 : AE : Acoustic Emission の略。固体材料が変形・破壊する時に、ひずみが解放されて発生する微小な音波。これを分析することにより、掘削影響領域の評価に役立てます。

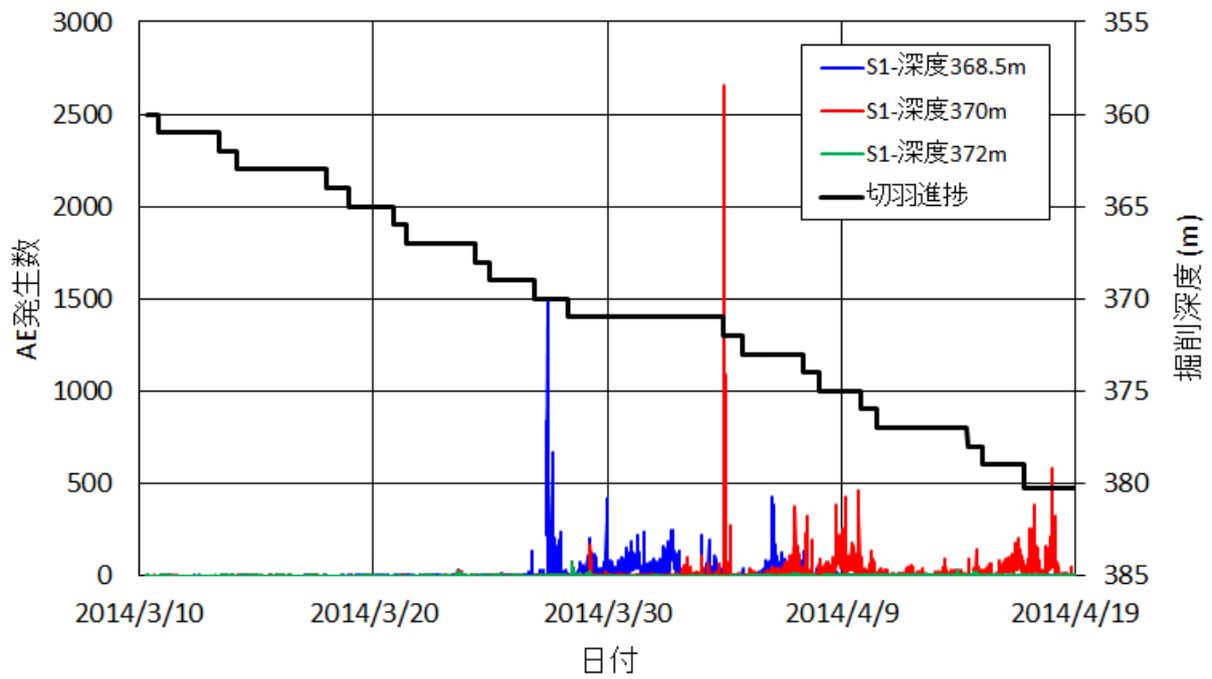


(a) センサー設置孔平面図

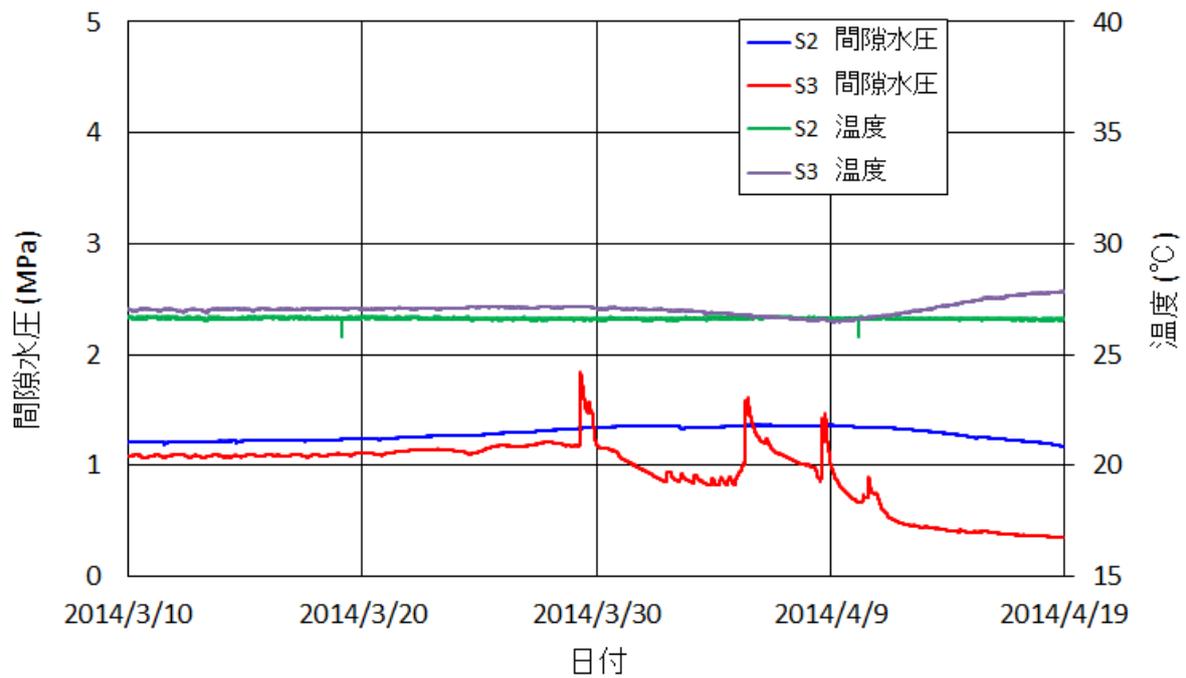


(b) センサー設置位置断面図 (A-A' 断面)

図 27 センサー設置レイアウト



(a) AE発生数の経時変化 (S1孔)



(b) 間隙水圧と温度の経時変化 (S2・S3孔)

図 28 立坑掘削時の AE、間隙水圧、温度測定結果

(4) コントロールボーリング技術の開発

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年度で終了しました。平成26年度は、掘削が終了したコントロールボーリング孔を利用し、地下水の水圧観測を継続しながら、モニタリング技術の開発を進めました。具体的には、太陽光や風力による自家発電機能を有し、無人観測やデータ送信が可能な観測システムを開発するため、システムの概念設計を行いました。これは、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業（岩盤中地下水移行評価確証技術開発）を受託した電力中央研究所との共同研究により実施しました。平成27年度は、概念設計に基づき現地環境に適合した無人観測システムを製作し、システムの運用を開始する予定です。

3.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

平成26年度には地下施設内の既設の地震計に加え、新たに西立坑アクセスルームに地震計を設置し、計測を開始しました。既設の地震計は250m調査坑道と350m調査坑道に埋設型の地震計を1台ずつ、350m調査坑道に2台の地震計をそれぞれ床面に設置してあります（図 29）。埋設型の地震計は坑道の床面から下に5m程掘削した孔内に設置し、岩盤の揺れそのものを計測します。一方、坑道の床面に設置した地震計は、開放面となっている坑道の揺れを計測するため、揺れが大きくなると予想される箇所（1台は断層との交差部、もう1台は立坑と水平坑道の接続部）に設置しています。

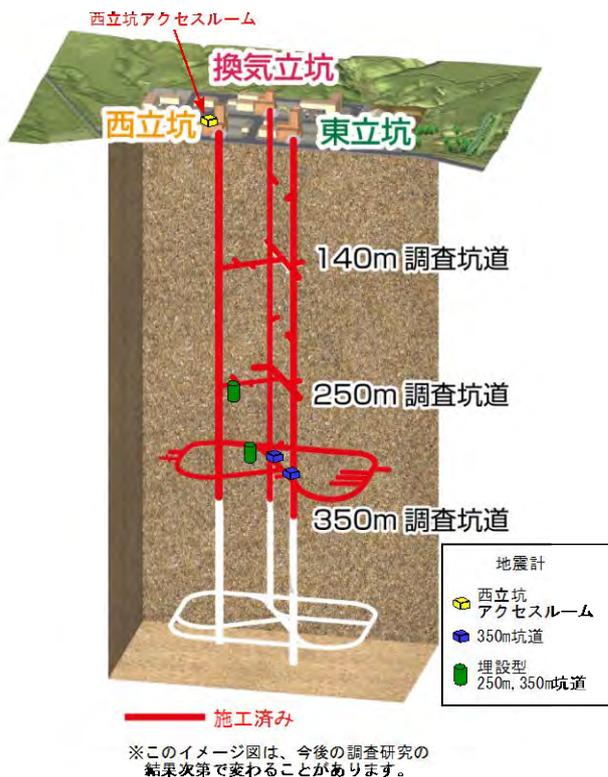


図 29 地震計設置位置

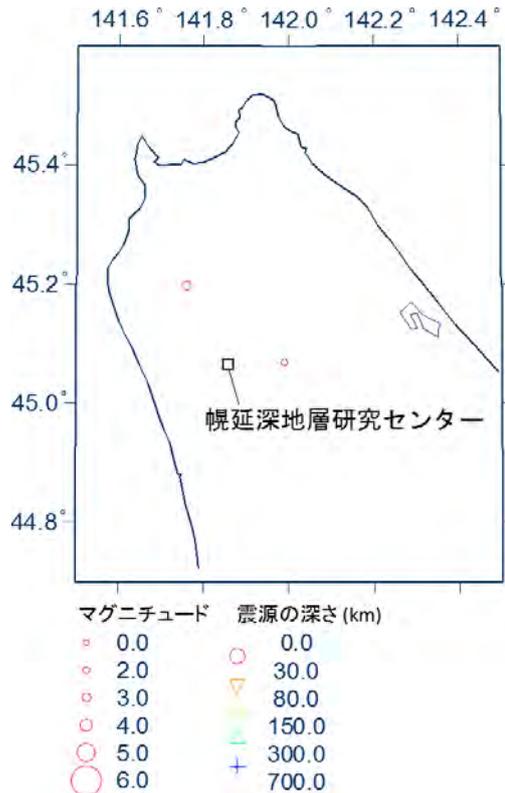


図 30 震央分布 (M ≥ 2.5)

西立坑アクセスルームでの計測開始後に宗谷地方で2つの有感地震が発生しました (図 30)。平成27年1月3日 (豊富町西6条:震度2、稚内市沼川:震度1、幌延町宮園町:震度1) と2月3日 (幌延町宮園町:震度1) の地震の加速度波形を図 31に示します。加速度波形を見ると、西立坑アクセスルームでの地表での揺れが地下での揺れよりも大きくなっています。一般に地震波のエネルギーは震源から離れると小さくなっていきますが、固い岩盤から地表の相対的に柔らかい地盤へ地震動が伝わると、S波の速度が遅くなり、波のエネルギーが集中して増幅するので、西立坑アクセスルームでは揺れが大きくなったと考えられます。

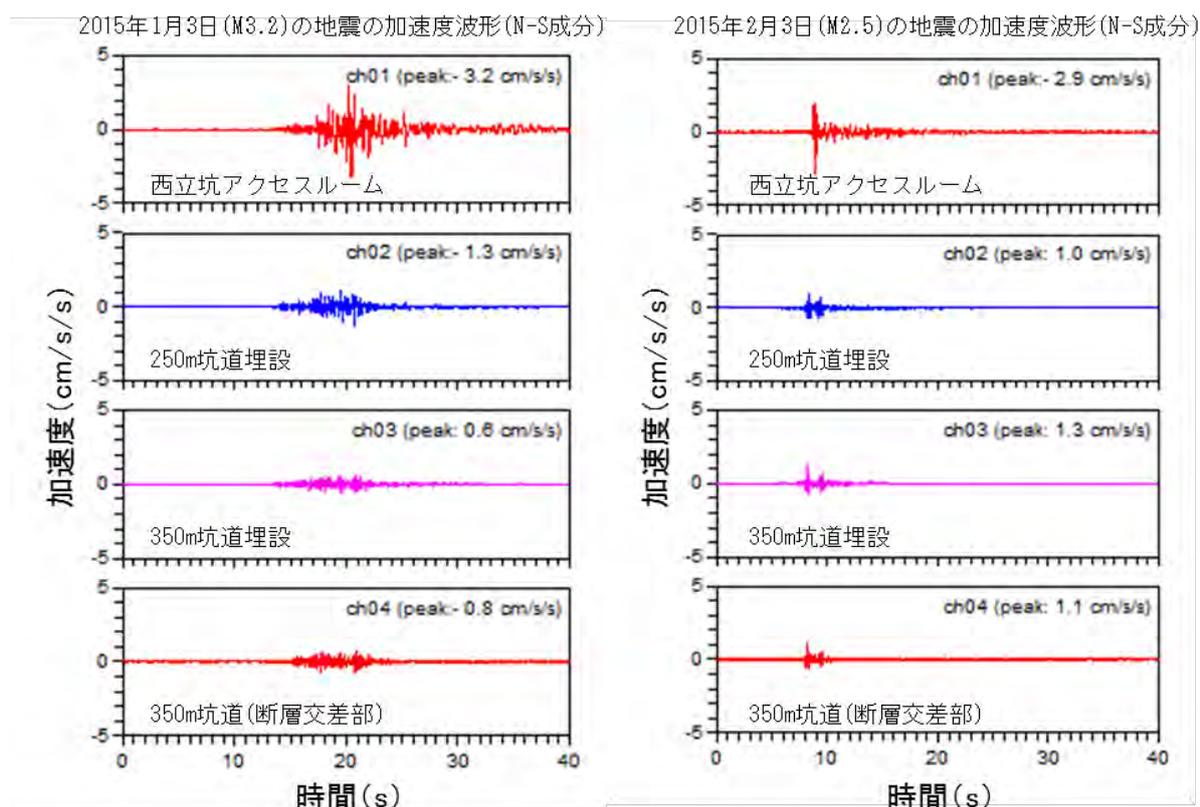


図 31 2015年1月3日(M3.2)と2月3日(M2.5)の地震の加速度波形

2つの地震波形を比べると、1月3日の地震の波形は初動から徐々に振幅が大きくなりその後減衰するのに対し、2月3日の地震の波形は初動直後に最大振幅となりその後減衰しています。震源の深さは2つの地震ともほぼ同じですが幌延深地層研究センターからの距離が異なっており、1月3日の地震は約20kmと距離があるためP波とS波の到達に時間差が生じ、増幅と減衰の時間に幅が生じているのに対して、2月3日の波は11kmと近距離のためP波とS波がほぼ同時に到達しているためと考えられます。

地下施設の耐震安定性に関しては、平成25年度に施工時の地質区分や岩盤状況のデータを用いて立坑の掘削解析による静的解析と地震動を考慮した動的解析を実施しており、平成26年度はそのモデルを用いて本震後の余震を考慮した解析を行いました。

一般に大規模な地震は余震を伴うことが知られており、余震の震源が近い場合には本震よりも地震動が大きくなることもあります。今回はサロベツ断層帯を対象に、確率論的な余震活動モデルを検討し、公開データで想定されているマグニチュード7.6の本震に対してマグニチュード7.3

の余震を想定し、これが地下施設での最大加速度を与えると仮定して地震動を設定しました（図 32）。

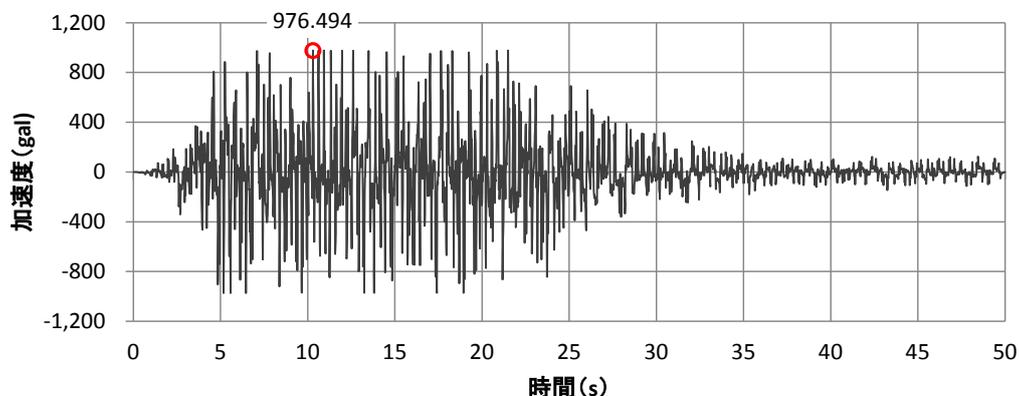


図 32 地震動の時刻歴波形（最大余震）

解析に際して立坑全体を三次元でモデル化しています(図 33)。立坑全体の解析の結果、地震時の覆工コンクリートの最大主応力は、局所的に設計基準強度を超える箇所がありますが、コンクリートの圧縮強度試験によって実際の強度には余裕があることを確認しています。応力集中は拡幅されている立坑と水平坑道の接続部底部に生じており、立坑としての形状と、底盤と側壁が直角に接合しているため応力集中していると考えられます。立坑を安定に保つために重要な応力方向である周方向応力は、最大値を示した GL. -250m 付近の接続部(図 34) においても 27.8MPa と、設計基準強度 40MPa に対し十分な余裕があることが確認されました。

今後とも、地震データの解析結果とあわせて地下施設の耐震性評価技術の整備を進めていきます。

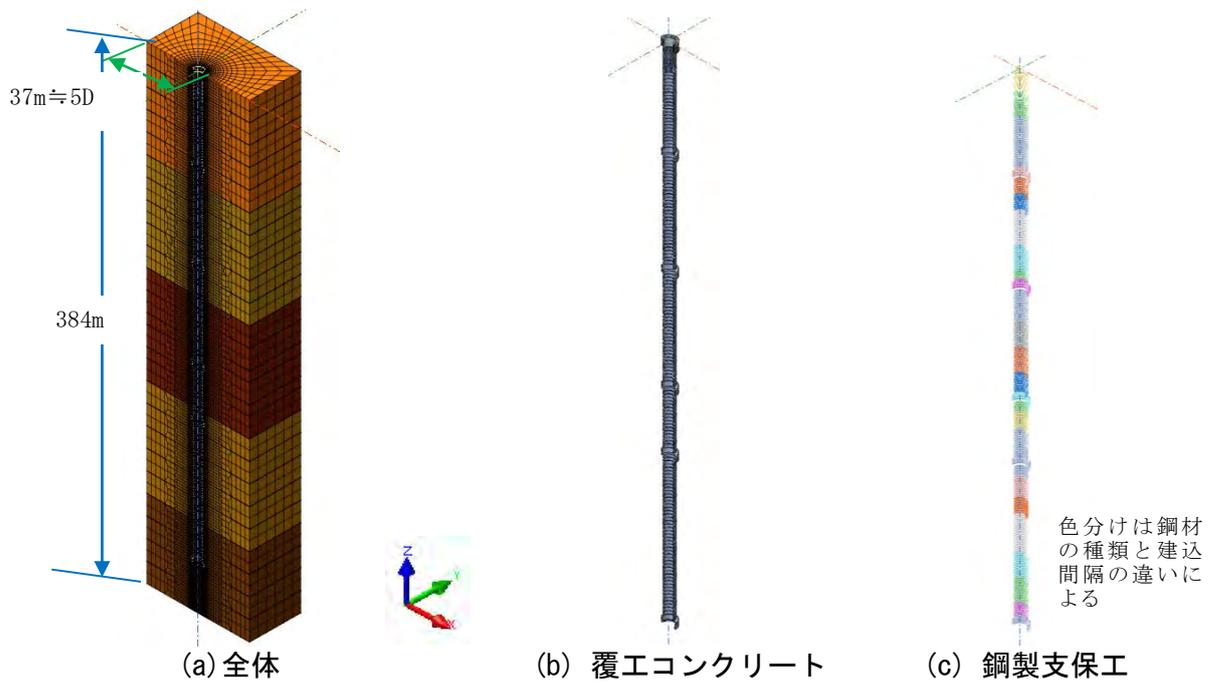


図 33 耐震性評価 解析モデル図

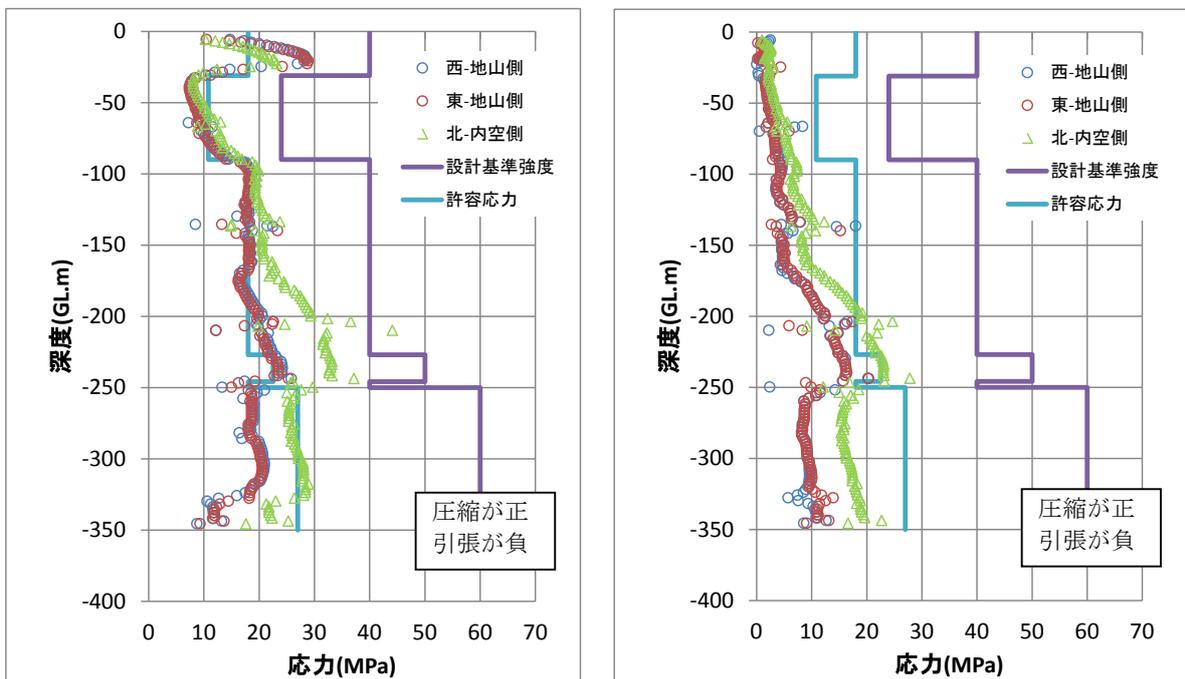


図 34 覆エコンクリート最大圧縮応力深度分布 (地震発生時)

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、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^{(10), (11)}。

平成25年度には、地形・地質構造の長期的な変遷に関する調査研究の成果⁽¹²⁾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、幌延地域で実際に確認されている地下深部の高い水圧を再現できることを確認しました⁽³⁾。平成26年度は、堆積・圧密・隆起・侵食などの作用とともに地殻変動に伴う岩盤の圧縮変形を考慮して、一次元および二次元の解析を実施し、地下深部の高い水圧分布の再現性の検討を行いました^{(13)、*25}。

解析の結果、地殻変動に伴う岩盤の圧縮変形を考慮した場合、大曲断層より東側の稚内層以深において水圧の高い領域が広く分布する傾向が確認されました⁽¹³⁾。この結果は、第1段階で掘削したボーリング孔における実際の観測結果とも整合的であり、岩盤の圧縮変形が地下深部の高い水圧の発生に影響している可能性があることが示されました。

今後は、三次元での解析を実施して、より詳細な検討を行っていく予定です。

3.3.2 地震研究

地震の活動や断層の動きが地下水の流れや水質などの地質環境に与える影響を推定するための手法を開発することを目的として、平成25年度より開始した上幌延観測点（図4のHDB-2孔敷地）における地震観測を継続しました。平成26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（3.2参照）。

また、平成26年度は、350m調査坑道の試験坑道1と周辺（計3カ所）に、

*25：本研究は、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業（平成26年度地層処分技術調査等事業：地質環境長期安定性評価確認技術開発）の一環として実施しました。

岩盤中で生じる小さな振動を観測するための地震計を設置し（図 35）、観測を開始しました。

今後は、これらの観測点において岩盤中の微小地震の観測を継続するとともに、観測データから微小地震の分布を把握して、地震や断層活動が地質環境に与える影響について推定していく予定です。

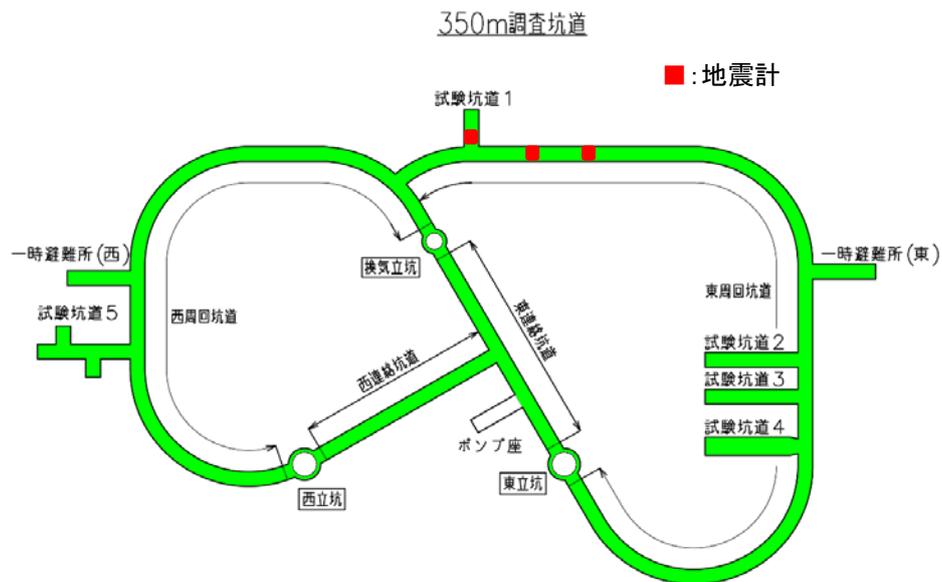


図 35 350m 調査坑道の地震計設置状況

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26年度は、人工バリア性能確認試験およびオーバーパック腐食試験を開始するとともに、緩衝材の定置試験、オーバーパックの溶接部腐食試験、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) 人工バリア性能確認試験

350m調査坑道の試験坑道4（図 36）における人工バリア性能確認試験（図 37）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⁽¹⁴⁾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^{*26}や埋め戻し材の設計手法の適用性確認、③熱・水理・応力・化学連成挙動^{*27}に係るデータの取得を目的として実施するものです。

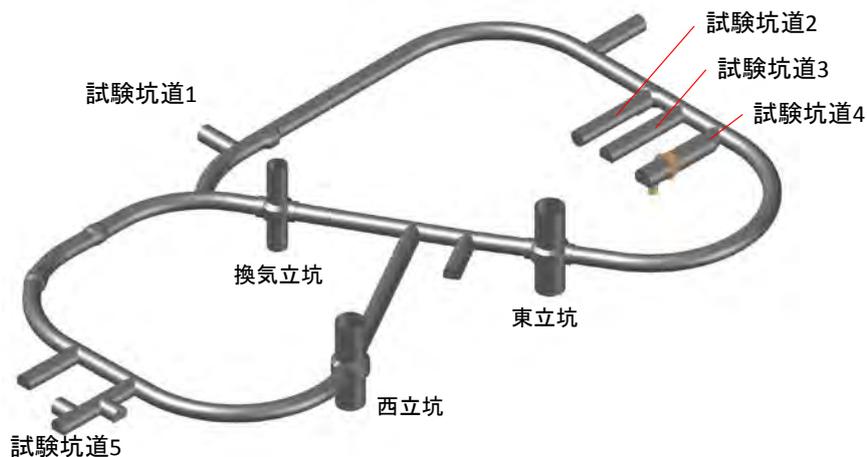


図 36 350m 調査坑道レイアウト

*26：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。

*27：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。

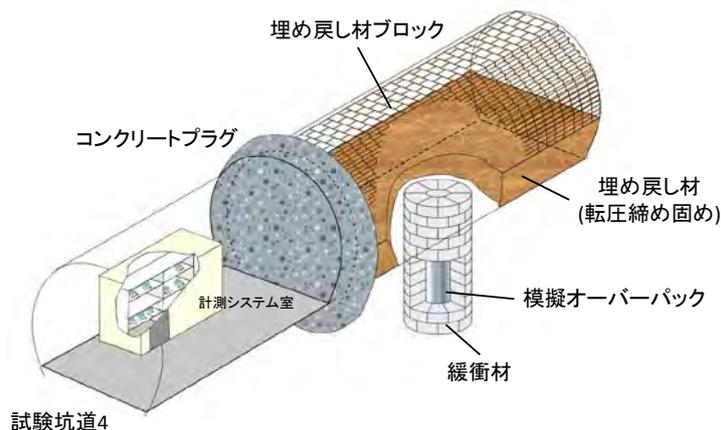


図 37 人工バリア性能確認試験の概念図

平成26年度は、目的の①について緩衝材、模擬オーバーパックの設置、坑道の埋め戻しおよびプラグの設置を行うとともに、目的の③について、各種計測センサーによる測定を開始しました。なお、目的の②ならびに模擬オーバーパックの製作については、4.1.2に記載します。

平成25年度に試験坑道4に掘削した試験孔（直径2.4m、深さ4.2m）に、緩衝材ブロック⁽³⁾（写真 2、写真 3）と各種計測センサー（写真 4）を設置しながら、緩衝材を7段目まで設置した後、中心部に模擬オーバーパックを設置しました（写真 5）。模擬オーバーパック内部には、実物の重量（5.8t）と合わせるためのおもりと、廃棄体からの発熱を模擬するための電気ヒーターを設置しました（写真 6、写真 7）。その後、緩衝材を12段目まで設置し、緩衝材の設置が終了しました（写真 8）。

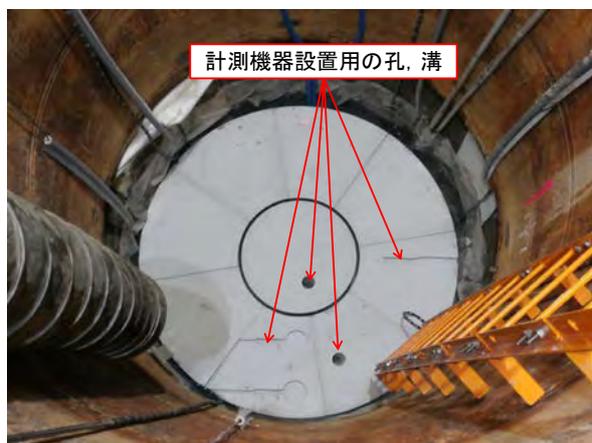


写真 2 緩衝材1段目設置完了
緩衝材ブロック9個（扇形8個、円柱形1個）で1段分です。

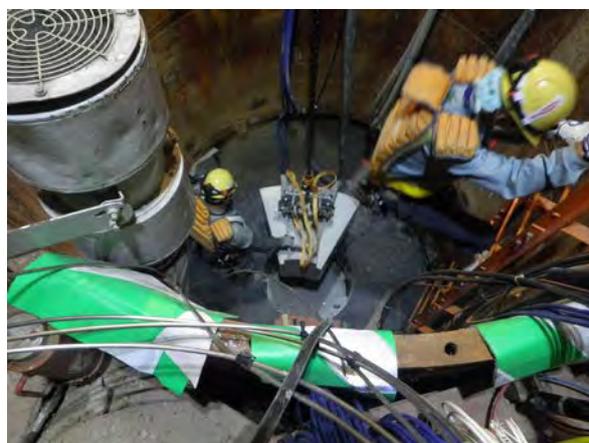


写真 3 緩衝材5段目設置
設置した緩衝材の上には保護のためゴムシートを敷いております。



写真 4 計測センサー設置状況
計測機器設置後は、緩衝材と同じ混合材料（ベントナイト*28：ケイ砂=7:3）で隙間を埋めます。



写真 5 模擬オーバーパックの設置



写真 6 おもりの設置
模擬オーバーパック内部におもりを設置します。



写真 7 模擬オーバーパック設置完了
内部に熱を均等に伝えるためのオイルを充填し、加熱用ヒーターを設置しました。



写真 8 緩衝材設置完了（12段）

*28：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。

緩衝材の設置が完了した後、その上部の坑道（長さ約7mの部分）をベントナイト（40％）に350m調査坑道の掘削土（ズリ）（60％）を混合した埋め戻し材を用いて埋め戻しました。図 38に示すように、坑道の下部はハンドガイドローラーを用いた現場での転圧締め固め（写真 9）により、上部はプレス機で圧縮成型して作製した埋め戻し材ブロック（縦30cm×横30cm×高さ10cm、16.5kg）を積み重ねることにより施工しました（写真 10）。一番手前の部分には、埋め戻し材の崩落防止のための鋼製の土止め壁を設置しました（写真 11、写真 12）。その後、埋め戻し材の膨潤や埋め戻した部分からの漏水を防ぐために厚さ3mのコンクリートプラグを施工しました（写真 13）。プラグに使用するコンクリートには低アルカリ性セメント系材料を使用しました。



図 38 坑道の埋め戻しの概念図



写真 9 埋め戻し材の転圧締め固め状況



写真 10 埋め戻し材ブロックの設置状況



写真 11 埋め戻しブロック設置完了、鋼製壁の設置状況



写真 12 鋼製壁の設置完了



写真 13 コンクリートプラグ施工完了

人工バリア性能確認試験の目的の③である各種のデータ計測として、緩衝材、模擬オーバーパック、埋め戻し材およびコンクリートプラグに合計193個の各種計測センサーを設置し、測定を開始しました（表 2）。今後、数年間にわたり熱・水理・応力・化学連成挙動に係るデータの取得を継続し、あわせて計測センサーの耐久性を確認します。

表 2 人工バリア性能確認試験の計測項目

計測センサー		個数			
		緩衝材	模擬オーバーパック	埋め戻し材	コンクリートプラグ
間隙水圧計		16	-	-	-
土圧計		13	-	31	10
水分計	湿度計	6	-	-	-
	サイクロメーター	9	-	-	-
	FDR-V(複素誘電率計測法)	6	-	15	-
炭素鋼腐食センサー		12	-	-	-
白金電極		9	-	-	-
変位計		6	-	-	-
光学式pH計		9	-	-	-
温度計		12	10	-	-
緩衝材膨出センサー(歪み計)		14	-	-	-
歪み計		-	-	-	8
比抵抗トモグラフィ		3断面 (262)**	-	-	-
無線センサー*	間隙水圧計	2	-	2	-
	土圧計	1	-	2	-
小計		115	10	50	18
合計		193			

*：(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター^{*29}との共同研究にて設置。

**：小計・合計には含まない。

試験坑道4に、これらの計測センサーからのデータを収集するコンピュータなどを収納する計測システム室を設置するとともに、地下施設の見学会などで、試験坑道4を訪れる方々への説明のために、緩衝材などの設置作業からコンクリートプラグの設置までの一連の作業をまとめた、映像資料を上映するための設備を整備しました。また、試験孔内の緩衝材の設置状況を理解してもらうため、実際の試験に使用しているものと同じ緩衝材ブロックなどを展示しました。(写真 14)。

*29：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。



(a) 試験坑道4全景



(b) 映像資料上映設備および計測システム室



(c) 緩衝材設置状況(展示)

写真 14 試験坑道4の整備状況

(2) オーバーパック腐食試験

350m調査坑道の試験坑道3(図 36)におけ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^{*30}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。本試験では、オーバーパックの耐食性を中心に、コンクリート支保の影響についても検討するため、実物よりも縮小した模擬オーバーパックおよび緩衝材を、低アルカリ性のコンクリート材料の中に設置しました(図 39)。

*30：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。

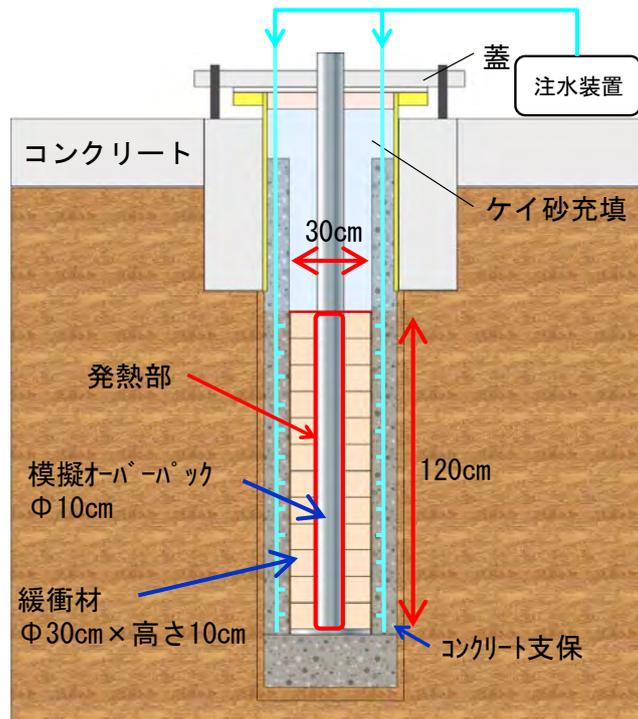


図 39 オーバーパック腐食試験の概念図

平成26年度は、平成25年度に設計した模擬オーバーパック（直径10cm、発熱部の長さ120cm）を製作し（写真 15）、ドーナツ型の緩衝材（写真 16）に計測センサーを設置しながら模擬オーバーパックの周りに積み上げ、コンクリート支保の中に設置しました（写真 17）。また、コンクリート支保の影響に関するデータを取得するため、深度350mにおける地下水をコンクリート支保の中に注水し、コンクリート材料と反応した地下水を緩衝材および模擬オーバーパックに供給できる構造としました。さらに、廃棄体からの発熱を模擬するために、模擬オーバーパック内部に電気ヒーターを設置しました。本試験は、人工バリア性能確認試験と同様に、数年間の計測を行う計画であり、試験終了後は模擬オーバーパックと緩衝材を取り出して腐食量などを分析し、計測データとの比較を行う計画です。表 3に緩衝材中に設置した計測センサーを示します。



写真 15 オーバーパック腐食試験用模擬オーバーパック



写真 16 ドーナツ型の緩衝材
直径30cm、厚さ10cmで、計測センサー設置用の溝が掘ってあります。



写真 17 ドーナツ型緩衝材の設置

表 3 オーバーパック腐食試験の計測項目

計測センサー	個数
炭素鋼腐食センサー	12
光学式pH計	6
温度計	6
白金電極（自然電位）	6
サイクロメーター	6

(3) 緩衝材の定置試験

(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター（以下、原環センター）が受託した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いて、平成25年度までに整備した地上の設備を利用し、原環センターとの共同研究（「地層処分実規模設備運営等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可視化装置を用いた浸潤試験を継続しました。

緩衝材定置試験は、図 40に示した緩衝材定置試験設備を使用し、模擬処分孔にコンクリート製の模擬緩衝材ブロックを3段目まで定置した状態で、4段目の模擬緩衝材ブロックを連続運転によって定置し、その速度や精度などを確認しました。試験は2日間で合計22回実施し、平成25年度に実施した定置試験結果と同様の速度および精度での定置が可能であることを確認しました。なお、本試験は「おもしろ科学館2014 in ほろのべ」（平成26年9月）で一般公開しました(写真 18)。

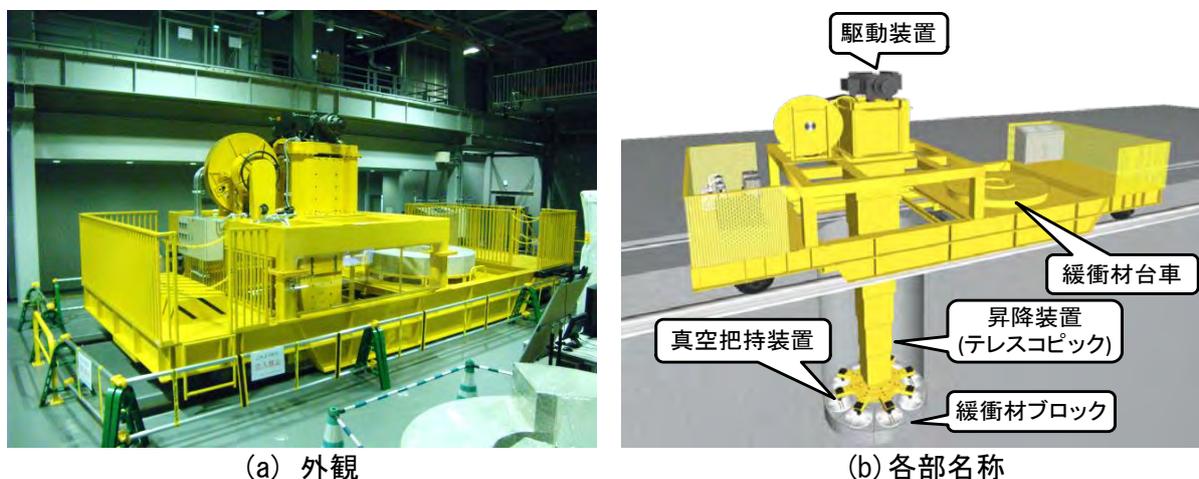


図 40 緩衝材定置試験設備の外観および各部の名称



写真 18 緩衝材定置試験の公開の様子

(4) 人工バリアなどの健全性評価および無線計測技術の適用性に関する研究

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処分システム工学確証技術開発⁽¹⁵⁾、⁽¹⁶⁾、⁽¹⁷⁾に係わる共同研究として、オーバーパックおよび緩衝材の健全性評価手法の構築および地中無線計測技術に関わる研究を実施しました。

オーバーパックおよび緩衝材の健全性評価手法の構築に関しては、これまでの研究により、オーバーパックの溶接部分の腐食現象や、定置された緩衝材が湧水によって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影響を及ぼすことがわかっています。このため、人工バリアの長期健全性評価技術に対する信頼性向上のためには、地下の環境条件で、オーバーパックと緩衝材に生じるこれらの現象を調査することが重要です。一方、無線計測技術に関しては、これまでに処分場の操業期間中における人工バリアのモニタリングに係わる要素技術の開発を進めてきましたが、実際の深部地下環境での活用を通して、これらの技術の信頼性を高めることが重要です。このような背景のもと、平成25年度に地下施設での試験を計画し、オーバーパック溶接部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関する試験孔を掘削しました⁽³⁾。平成26年度は、試験装置の設置作業を行い、試験を開始するとともに、地中無線技術の地下環境での性能を確認するため、人工バリア性能確認試験の緩衝材および埋め戻し材中に無線モニタリング装置を設置し、計測を開始しました。

①オーバーパットの溶接部の腐食試験

地上の実験室で行われる溶接部の腐食試験では、試験片の大きさが実際のオーバーパットよりも小さく、また地下の環境条件を完全に模擬することができません。本試験では、現実の地下環境においてオーバーパット溶接部に生じる腐食現象を調査します。

試験体は直径10cm、長さ125cmの鍛造で製作した炭素鋼模擬オーバーパットで、溶接部分を多くするために長手方向にTIG(Tungsten Inert Gas)溶接で溶接線を設けました(写真 19(a))。緩衝材ブロックは直径30cm、厚さ10cmのリング状で、ブロック内部には温度、含水率、腐食速度などを計測するセンサーを埋め込みました(写真 19(b))。緩衝材ブロックを積み上げ、内部に模擬オーバーパットを挿入し、地層処分における人工バリアを模擬しました。この模擬人工バリアを、350m調査坑道の試験坑道5の床面に掘削した試験孔(写真 19(c))に設置し、岩盤からの湧水を利用した腐食試験を開始しました。写真 20に設置作業の状況と設置完了後の状況を示します。

今後は、緩衝材ブロックの繋ぎ目や緩衝材の浸潤挙動が、オーバーパット溶接部の腐食挙動に及ぼす影響を、設置したセンサーによる連続的な計測で確認し、オーバーパットの長期健全性評価に反映していきます。



(a) 模擬オーバーパックの溶接



(b) 緩衝材ブロックとセンサー



(c) 岩盤に掘削した試験孔

写真 19 オーバーパック溶接部腐食試験を構成する要素



(a) 試験体設置状況



(b) 試験体設置完了状況

写真 20 オーバーパック溶接部腐食試験の実施状況

②緩衝材のパイピング/エロージョン現象に関する研究

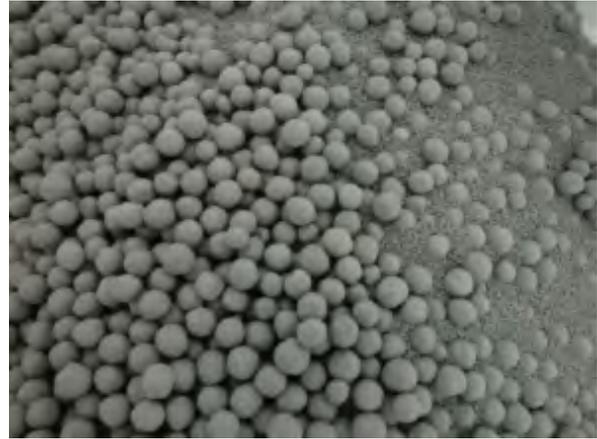
緩衝材は水を吸うと膨潤する性質があります。そのため、地下水が浸透することによって緩衝材ブロック同士、またはブロックと岩盤の隙間を埋めることができます。ただし、地下水の湧水量が多い場合や塩水系の地下水環境などによっては均一に膨潤しにくくなり、膨潤が遅れた部分に水みちが形成される可能性があります。実験室でのアクリル製容器を用いた試験では、水みちの形成により緩衝材が水の流れに伴って流出する現象が確認されました。緩衝材が大量に流出する場合には、緩衝材の密度が低下し、それに伴って緩衝材に期待される安全機能が損なわれる可能性があります。そのようなことのないよう、工学的な対策の検討が必要です。

平成26年度は、地下環境における緩衝材の膨潤挙動を調査するため、平成25年度に岩盤に掘削した試験孔に、緩衝材ブロック(写真 21(a))を1段設置し、岩盤との隙間を空隙とした場合と、緩衝材を6段設置し、岩盤との隙間に緩衝材ペレット(写真 21(b)：直径4mmと0.3mmを1:1に混合)を充填した場合の2つの条件での試験を実施しました。写真 22は緩衝材ブロックと岩盤との隙間を空隙とした場合の試験結果です。緩衝材ブロックの設置直後には約2cmの隙間があったものが(写真 22(b))、20時間後には緩衝材が膨潤し、隙間を埋めている様子が確認できます(写真 22(c))。一方、緩衝材ペレットを充填した場合、1ヶ月後の試験終了時点で、膨潤によりペレットの形は残っておらず、壁面と密着している様子が確認できました。

今後は、緩衝材の流出や流出に対する工学的対策について、地下の岩盤と地下水を利用した試験を実施しながら、より詳細に検討していきます。



(a) 緩衝材ブロック

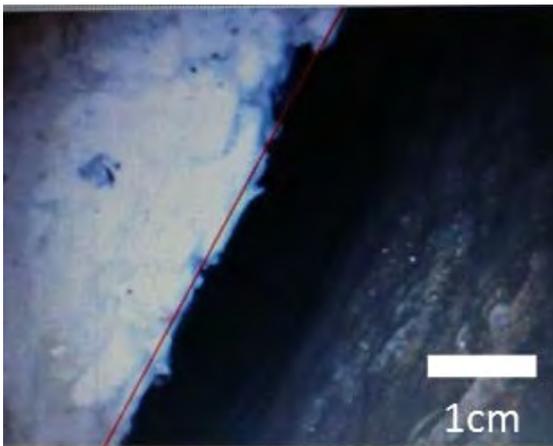


(b) 緩衝材ペレット(直径4mm、0.3mm)

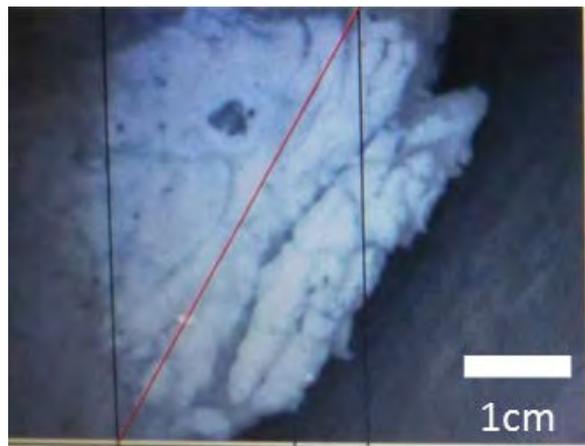
写真 21 試験に使用した緩衝材



(a) 緩衝材ブロック設置



(b) 設置直後



(c) 膨潤後(20時間後)

写真 22 自然湧水環境における緩衝材の膨潤挙動

湧水の塩分濃度は海水の1/3程度。(a)の赤丸部分の拡大が(b)、(c)です。写真中の赤線は、膨潤前のベントナイトブロックの位置を示しています。

③無線モニタリング装置の適用性確認

人工バリア性能確認試験の計測の一部に無線計測技術を適用し、従来用いられている有線の計測技術との比較を行い、無線計測技術の適用性を検証します。平成26年度は、地中無線計測装置を人工バリア性能確認試験の緩衝材および埋め戻し材部分に設置し、計測データの取得を開始しました。

設置した装置は、センサー（土圧計または間隙水圧計）を接続した地中無線送信装置、受信装置（本体およびアンテナ）、データ記録用PCで構成されています（図 41）。地中無線送信装置を緩衝材ブロックと坑道埋め戻し材ブロックに設置し、計測した土圧や間隙水圧のデータを、坑道に設置した受信装置に無線で送ります。受信装置に接続したアンテナはプラグや鋼製支保の影響を避けるため、試験坑道の側壁に掘削したボーリング孔内に設置しました。写真 23に緩衝材ブロックに設置した地中無線送信装置を示します。

今後は、計測データの取得を継続し、無線計測技術の適用性を確認していきます。

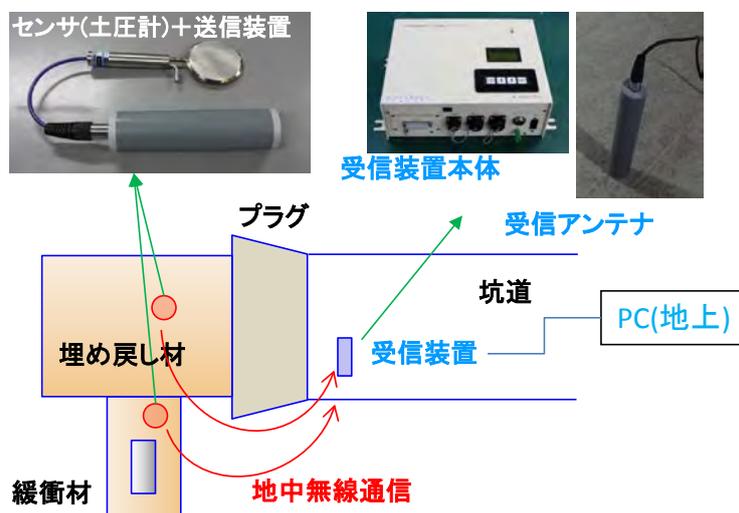


図 41 地中無線計測の概念図



写真 23 緩衝材ブロックに設置した地中無線送信装置およびセンサー

4.1.2 設計手法の適用性確認

緩衝材およびオーバーパックの候補材料であるベントナイトおよび炭素鋼などの金属材料の特性は、地下水の組成や地下施設の支保工材料として用いられるセメントなどの影響を受けることが知られています。このため、原子力機構の核燃料サイクル工学研究所における室内試験を通じて、人工バリア材料と地下水やセメントとの反応についての理解を深めるとともに、熱・水理・応力・化学といった複雑な現象に関するモデルの開発を進めてきました。また、これまでに構築してきた設計手法により、人工バリア性能確認試験で用いる人工バリア材料や埋め戻し材の仕様の検討を行い、手法の妥当性を確認しました。

平成26年度は、室内試験を継続するとともに、平成25年度に実施した設計に基づき、人工バリア性能確認試験およびオーバーパック腐食試験で用いる模擬オーバーパックを製作しました。また、人工バリア性能確認試験の埋め戻し材の転圧締め固めの品質確認のための試験などを実施しました。

(1) 模擬オーバーパットの製作

人工バリア性能確認試験およびオーバーパット腐食試験で使用する模擬オーバーパットの仕様を表 4に示します。オーバーパットの候補材料のひとつである炭素鋼は、その製造方法によって鍛造鋼、鋳造鋼、圧延鋼などに分類されます。このうち、鍛造鋼材料は品質に対する信頼性が高く、長期の健全性が求められるオーバーパットに適切な材料と考えられています。本試験では、溶接により密閉性が確保されることがわかっており、日本工業規格（JIS）にて圧力容器用として規格化されている鍛造鋼材料(SFVC1^{*31})を選定しました。鍛造鋼材料は、図 42に示すように、母材である炭素鋼のかたまりを加熱、鍛造^{*32}、熱処理、機械加工することで製造されます。人工バリア性能確認試験用の模擬オーバーパットの製作状況を写真 24～写真 31に示します。オーバーパット腐食試験用の模擬オーバーパットも同様の工程で製作しました。

表 4 模擬オーバーパットの仕様

		人工バリア性能確認試験	オーバーパット腐食試験
材質		炭素鋼：SFVC1	
大きさ	直径	82cm	10cm
	高さ	173cm	220cm
重量		5.8t おもり、ヒーター、オイルを含む	111kg ヒーターを含む
ヒーター	長さ(発熱部)	135cm	120cm
	容量	13kW	3kW

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

*32：金属に力を加えて形を変える(成形)とともに金属組織を強くすることで、「鍛」は鍛錬の「鍛」、「造」は造る、つまり鍛えて造るという意味です。(一般社団法人 日本鍛造協会 HP)

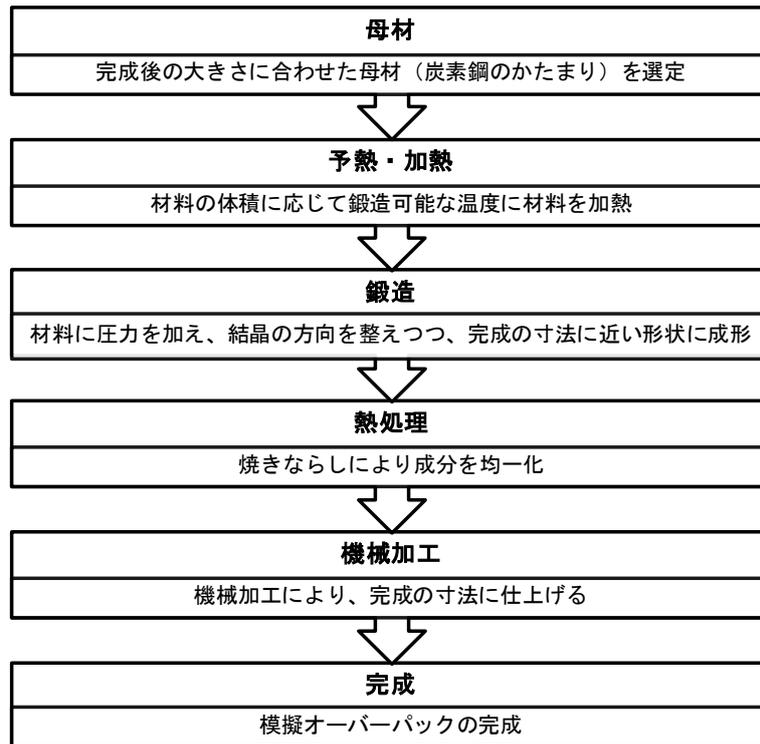


図 42 模擬オーバーバックの製作手順



写真 24 母材



写真 25 予熱・加熱
(取り出し状況)



写真 26 鍛造(1)



写真 27 鍛造(2)



写真 28 鍛造(3)(中空鍛造)



写真 29 熱処理



写真 30 機械加工



写真 31 仕上がり状況

(2) 埋め戻し材の品質確認

人工バリア性能確認試験の坑道の埋め戻しについては、平成 24 年度から 25 年度にかけて、幌延地域の地下環境条件に基づき、施工・製作性、低い透水性および膨潤性を考慮した設計を行い、表 5 に示すような埋め戻し材の仕様⁽³⁾、⁽¹⁸⁾を設定しました。平成 26 年度は、人工バリア性能確認試験における埋め戻し材の施工時を事例として、品質管理手法の検討を行いました。具体的には、表 5 に示す目標乾燥密度が確保されているかを確認するため、直接のサンプリングによる乾燥密度の確認やブロックの寸法・重量測定などによりデータを取得しました。坑道下部の転圧締め固めでは、施工中に締め固めた埋め戻し材をサンプリングして体積および重量から乾燥密度を確認し、坑道上部の埋め戻し材ブロックは、抜き取り検査により、ブロックの重量および寸法を測定し、乾燥密度を確認しました。図 43 に坑道下部からのサンプリング位置を、写真 32 にサンプリング状況を示します。乾燥密度の確認結果を表 6 に示します。

表 5 坑道の埋め戻し材の仕様

	坑道下部	坑道上部
施工方法	転圧締め固め	埋め戻し材ブロック
目標乾燥密度	1.2Mg/m ³	1.4Mg/m ³
厚さ、大きさ	10cm撒き出し、6.5cm仕上げ	30cm×30cm×10cm
数量	37層(約113t)	約8700個(約139t)
品質確認	砂置換法(JIS A 1214) (3個/1層、12層からサンプリング)	抜き取り検査 (639個)

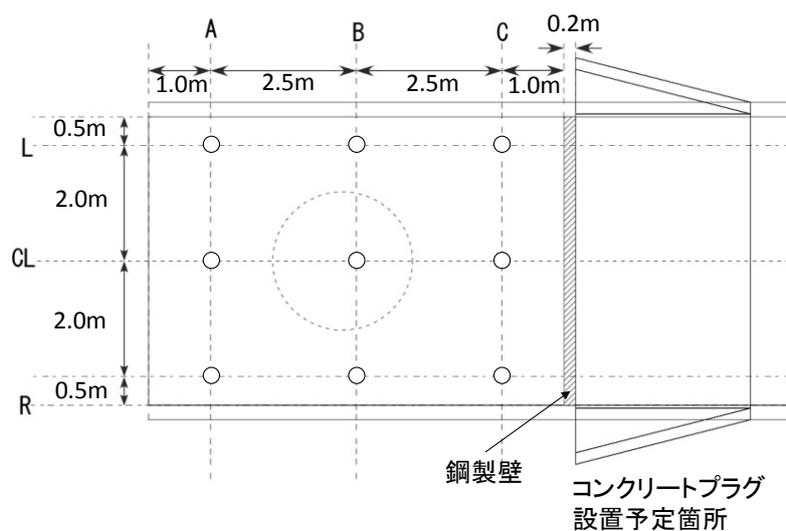


図 43 埋め戻し材（転圧締め固め）からのサンプリング位置
 1層あたり3個（A, B, Cのどれか1測線）からサンプリング、3個の平均により
 乾燥密度を算出。



写真 32 坑道下部からのサンプリング状況（27層目）

表 6 埋め戻し材の品質確認結果

坑道下部(転圧締め固め)		坑道上部(埋め戻し材ブロック)	
サンプリング位置		乾燥密度(3個の平均)	乾燥密度(639個の平均)
層	測線	(Mg/m ³)	(Mg/m ³)
4層目	B	1.232	(抜き取り検査)
7層目	B	1.238	
14層目	B	1.234	
18層目	A	1.223	
20層目	C	1.209	
22層目	B	1.210	
26層目	C	1.217	
27層目	A	1.217	
31層目	B	1.216	
33層目	C	1.223	
35層目	A	1.220	
36層目	B	1.214	
-	-	平均 : 1.221	

表 6から、転圧締め固めでは、確認した全ての層で目標値 (1.2Mg/m³) 通りに施工できたことがわかります。埋め戻し材ブロックの乾燥密度が目標値 (1.4Mg/m³) よりも若干低くなっていますが、これは製作・施工中に乾燥することを考慮し、含水比を高めめに設定したことが原因と考えられます。

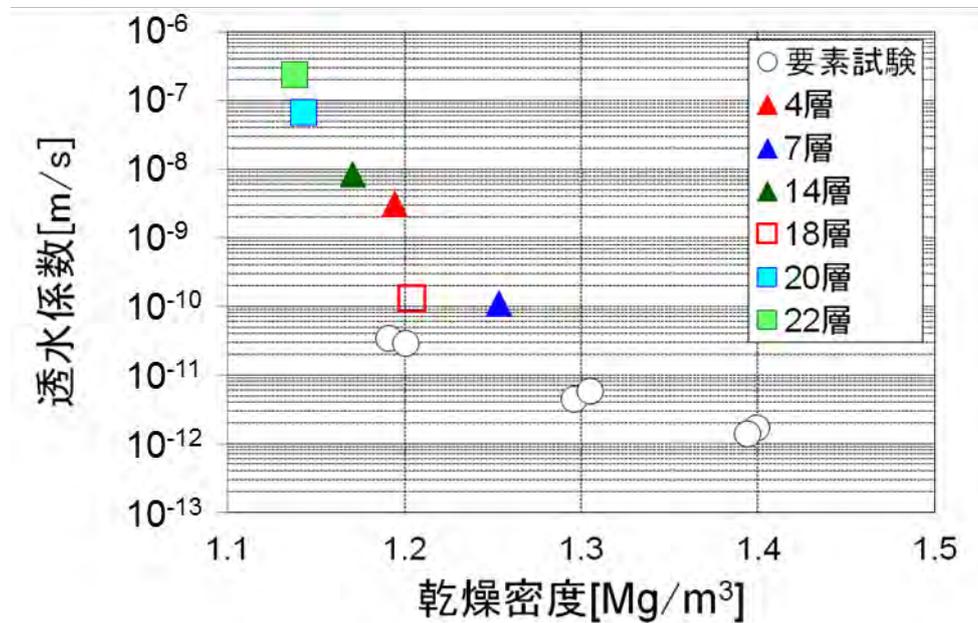
また、転圧締め固めで施工した埋め戻し材の品質管理の一環として、今回は、施工場所から採取した 12 試料のうち 6 試料を対象に、幌延地域の地下水と同程度の塩濃度に調整した溶液 (NaCl 濃度 : 0.2mol/L) を用いて、透水試験および膨潤圧試験を行い、当初の設計通りの性能が確保されているか確認しました。

図 44 に、透水試験および膨潤圧試験の結果を示します。図には、埋め戻し材料を均一に圧縮成型して作製した試料を用いて行った試験 (以下、要素試験) の結果をあわせて示しています。

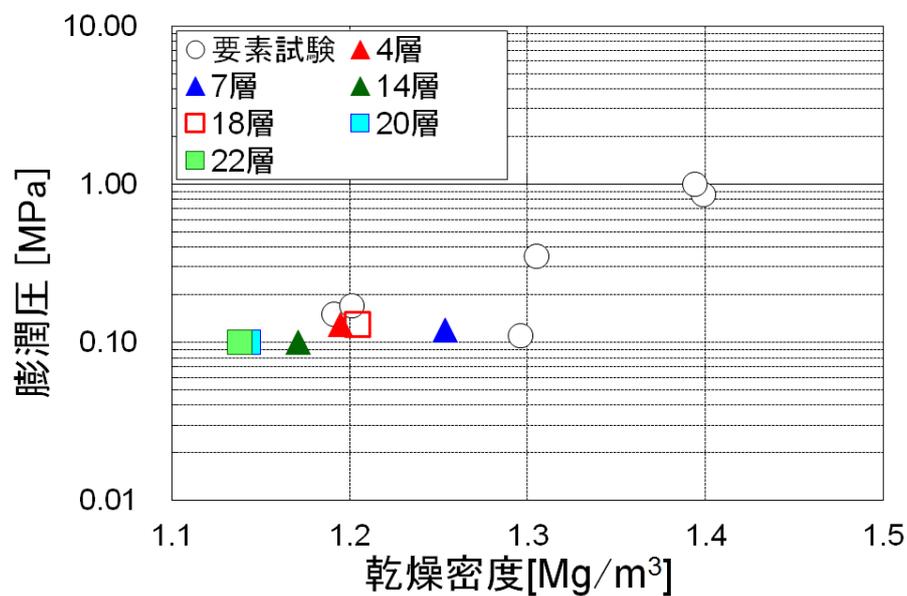
これらの図から、現場での試料の採取時や試験装置への試料の設置時の影響などに起因した密度のばらつきなどにより、一部高い透水係数を示している結果があるものの、必要とされる膨潤圧 (0.1MPa) が発生していることを確認しました。

今後、採取した他の試料による試験結果との比較などを行って密度の

ばらつきの影響を検討するとともに、これらの検討結果をもとに、埋め戻し材の品質管理手法を整備していきます。



(a) 乾燥密度と透水係数の関係



(b) 乾燥密度と膨潤圧の関係

図 44 埋め戻し材の透水試験および膨潤圧試験の結果
 ※図中に示す4層、7層、14層、18層、20層、22層は、サンプリング位置を表します。

(3) オーバーパック腐食試験

原子力機構の核燃料サイクル工学研究所において、炭素鋼に対するセメントの影響を考慮した高アルカリ性の塩水系地下水を用いた腐食試験や、代替材料であるチタンに対してHDB-6孔の地下水を用いた腐食試験を継続しました。また、平成25年度に引き続き緩衝材中における腐食挙動のモニタリングを継続しました。さらに、平成24年度に考案した炭素鋼腐食センサーを緩衝材中に埋め込んで、幌延地域から採取した地下水を浸潤させながら緩衝材の浸潤に伴う腐食挙動の変化を観察しました。その結果、図 45に示すように、緩衝材が地下水で十分浸潤（図中、 R_s の値が一定）した後は、時間とともに腐食速度が低下する（図中、 R_p の値が増加）傾向が確認されました。また、この炭素鋼腐食センサーをオーバーパック腐食試験（試験坑道3）のほか、人工バリア性能確認試験（試験坑道4）に適用し、原位置でのデータ取得に着手しました。

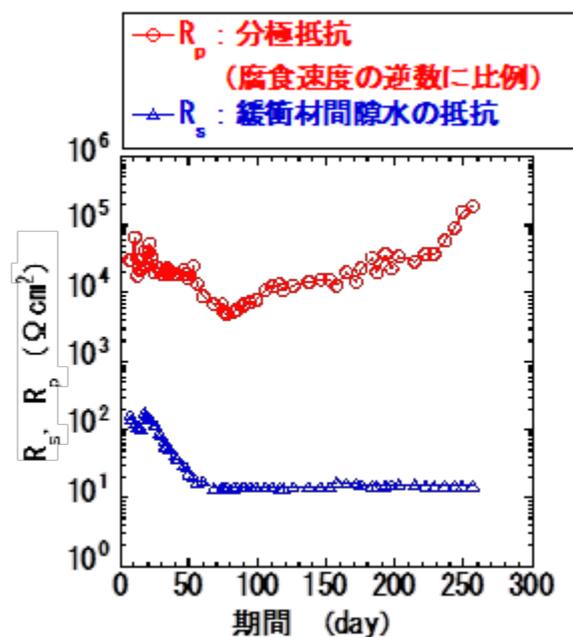


図 45 緩衝材中での腐食モニタリング試験結果の一例

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を解析・評価するための基礎データや知見を整備しています^{*33}。平成26年度は、250m調査坑道で実施した原位置トレーサー試験の評価を継続するとともに、350m調査坑道での原位置トレーサー試験を開始しました。また、原位置トレーサー試験を補完・検証するための室内試験の準備も進めました。なお、原位置トレーサー試験で使用したトレーサーは全て一般に販売されている試薬であり、放射性トレーサーは使用しません。

(1) 健岩部を対象とした物質移行試験

350m調査坑道での原位置トレーサー^{*34}試験のひとつとして、東周回坑道の北部において、健岩部を対象とした物質移行試験を開始しました⁽³⁾。試験孔は3孔として、鉛直方向に長さ3m程度のボーリングを行いました（写真 33）。割れ目が存在しない、いわゆる健全な岩盤状況の場所を選定し、水理試験を行い（写真 34）、その結果を用いて物質移行試験の対象深度を選定しました。注入・採水ラインを有するパッカー装置と間隙水圧と流量を観測する装置を組み合わせた原位置トレーサー試験装置（図 46）を設置し、試験区間にトレーサーを循環させて、定期的にトレーサーを採取することにより、トレーサー濃度の分析を開始しました。今後もトレーサー濃度を分析し、拡散^{*35}現象を把握していきます（写真 35）。また、ボーリング孔内に緩衝材を設置することで、緩衝材中の物質の移動特性を把握します。トレーサーは重水や蛍光染料などの非収着および、セシウムやユウロピウムなどの収着^{*36}性トレーサーを混合したものを使用しました。今後は、ボーリングによりコア試料を採取して、トレーサー濃度の分析を行う予定です。

*33：岩盤を対象とした原位置トレーサー試験については、これまで調査技術開発として地層科学研究の項目に記載していましたが、人工バリアを対象とした原位置トレーサー試験とあわせて実施することから、安全評価手法の高度化の項目にまとめて記載しています。

*34：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。

*35：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。

*36：地下水中有る元素が、岩盤などに取り込まれる現象です。



写真 33 健岩部を対象としたボーリング実施状況



写真 34 健岩部を対象とした単孔水理試験状況（モニター確認）

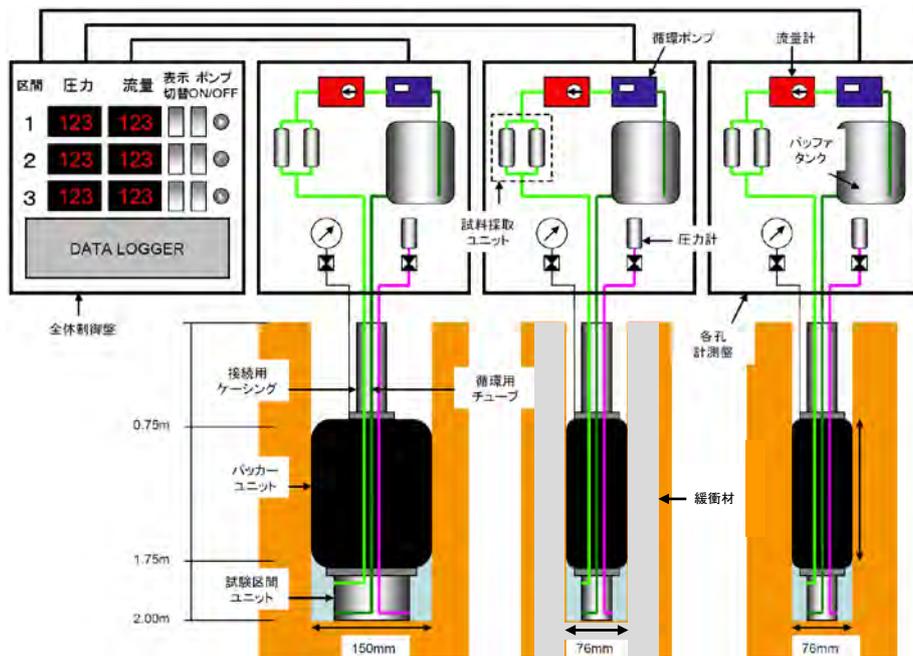


図 46 健岩部を対象とした原位置トレーサー試験装置の概念図



写真 35 健岩部を対象とした原位置トレーサー試験状況（装置設置）

(2) 単一割れ目を対象とした物質移行試験

350m調査坑道での原位置トレーサー試験のひとつとして、西周回坑道の北部において単一割れ目を対象とした物質移行試験を開始しました。試験の概念図を図 47に示します。試験孔は9孔として、坑道内の側壁から水平方向に長さ3m程度のボーリングを行いました。試験孔の掘削状況を写真 36に、試験孔の配置を図 48に示します。孔間水理試験の結果を用いて孔間の連結性を評価し、孔間での高い連続性が確認された単一割れ目を対象として、物質移行試験を行いました。試験区間となる注入孔および揚水孔には、試験深度に孔内部装置（写真 37）を挿入し（写真 38）、他の試験孔には間隙水圧を計測する装置を設置しました（写真 39）。注入孔からトレーサーを注入し、揚水孔から回収することで、トレーサーの流れや拡がり方を把握します（写真 40）。1試験区間での物質移行試験は、トレーサーの濃度・流量などの条件を変えて複数回行います。また、試験区間（注入孔と揚水孔の組み合わせ）も複数のパターンについて行い、対象とする割れ目の物質移行特性の不均質性や異方性を把握します。平成26年度は、1パターン目の物質移行試験を開始しました。今後は引き続き複数のパターンの物質移行試験を行い、その後、ボーリングによりコア試料を採取して、トレーサー濃度の分析を行う予定です。

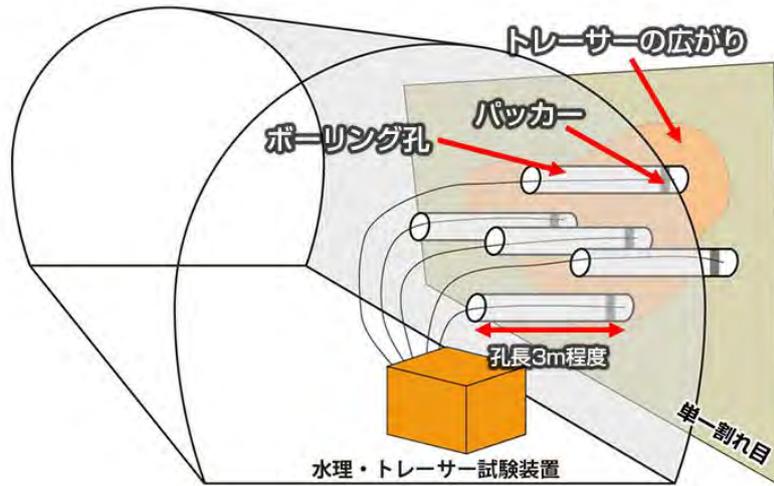


図 47 単一割れ目を対象とした原位置トレーサー試験の概念図



写真 36 単一割れ目を対象としたボーリング実施状況

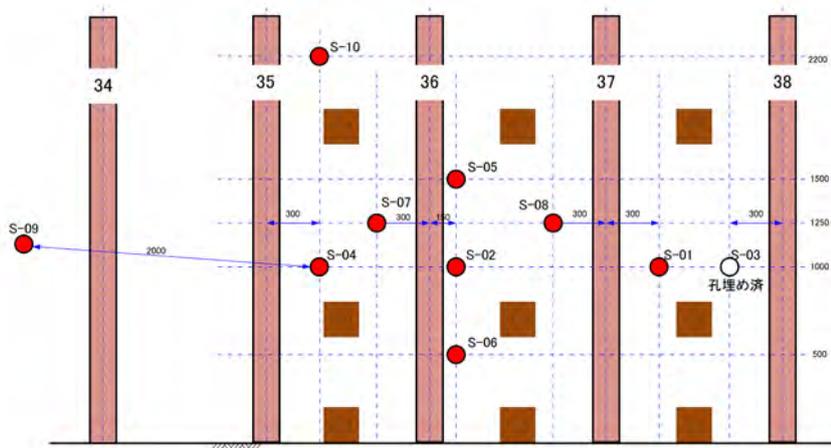


図 48 単一割れ目を対象とした試験孔の配置



写真 37 孔内部装置
(左：注入孔用、右：揚水孔用)



写真 38 単一割れ目を対象とした
原位置トレーサー試験
(孔内部装置設置状況)



写真 39 単一割れ目を対象と
した原位置トレーサー試験
(孔内部装置設置後)



写真 40 単一割れ目を対象とした
原位置トレーサー試験状況
(モニター確認)

5. 地下施設の建設および維持管理

5.1 地下施設の建設および維持管理

平成26年度は、東立坑を深度371mから深度380mまで掘削（写真 41）するとともに、深度350m調査坑道の整備を行い、平成22年度から導入しているPFI契約のうちの施設整備業務を平成26年6月末に完了しました。引き続き、維持管理業務として、地下施設内の機械設備や電気設備などの保守点検や修繕を行い、地下施設の安全性確保に努めています（写真 42）。なお、PFI契約による地下施設の維持管理業務は、平成31年3月末まで続きます。



写真 41 地下施設の建設状況（東立坑の掘削）



写真 42 地下施設の維持管理状況（検知器の点検）

5.2 掘削土(ズリ)の管理

地下施設の建設により発生した掘削土(ズリ)には重金属などが含まれていますが、自然由来であることから土壤汚染対策法の適用外となっています。しかし、当センターでは、周辺環境の保全に万全を期すため、土壤汚染対策法に準拠した管理を行っています。具体的には、対象となる物質が土壤汚染対策法に定める範囲内であることを確認するため、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)を定期的実施し、同法に準じた適切な管理のもと掘削土(ズリ)置場へ搬入し、保管しています(写真 43)。掘削土(ズリ)置場は、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(図 49)となっています。

掘削土(ズリ)の公定分析結果については、「6.2 掘削土(ズリ)の土壤溶出量調査結果」に示します。



写真 43 掘削土(ズリ)の保管状況

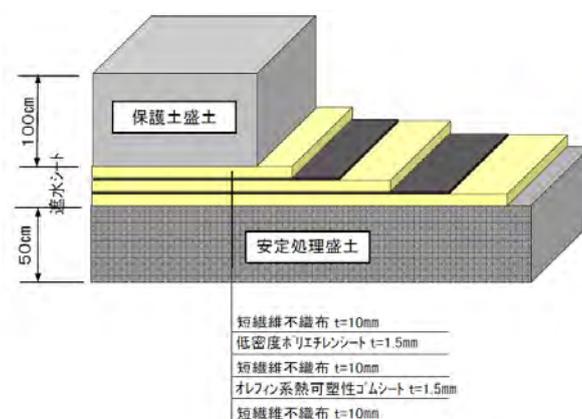
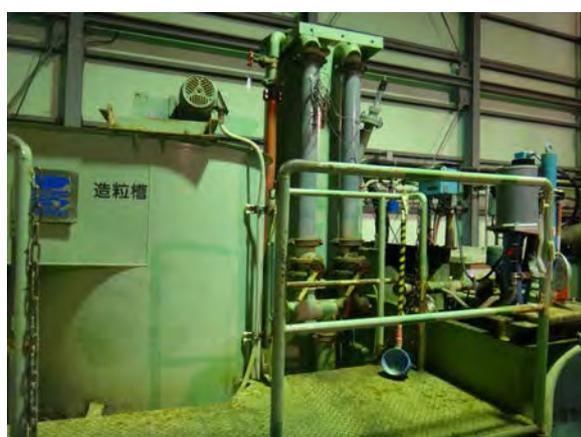


図 49 掘削土(ズリ)置場の構造

5.3 排水の管理

地下施設からの排出水と掘削土（ズリ）置場に設置している浸出水調整池の浸出水については、濁水処理設備、脱ホウ素設備、脱窒素設備、揚水設備から構成される排水処理設備（写真 44）で処理を行っています。処理済排水は、排水基準値を超過していないことを確認した後、排水管路を通じて天塩川へ放流しています。

地下施設からの排水の公定分析結果については、「6.1（2）地下施設からの排水の水質調査結果」に示します。



（濁水処理設備）



（脱ホウ素設備）



（脱窒素設備）



（揚水設備）

写真 44 排水処理設備の状況

6. 環境モニタリング

平成 25 年度に引き続き、地下施設からの排水などの水質調査および掘削土（ズリ）の土壌溶出量調査並びに当センター周辺の環境影響調査を実施しました。

6.1 排水量および水質調査結果

排水処理設備から天塩川へ放流している排水量について監視を行うとともに、排水処理前後の水質、天塩川の水質、浄化槽排水の水質について調査を行っています。また、掘削土（ズリ）置場の環境への影響を監視するため、清水川および掘削土（ズリ）置場周辺の地下水についても水質調査を行っています。これらの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^{*37}で公開しています。なお、水質の分析については、公的な分析資格を持つ民間の会社に委託しています。当センターにおける排水系統と各水質分析用試料の採取点を図 50 に示します。

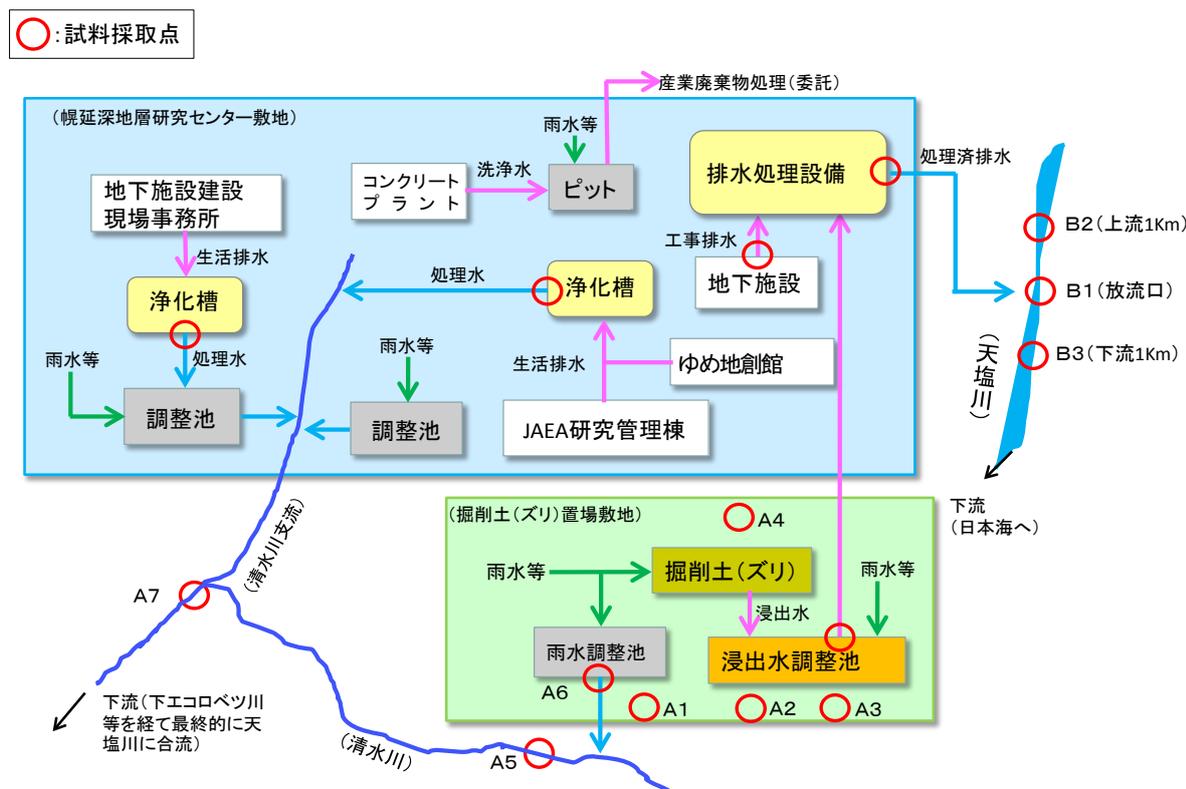


図 50 排水系統と各水質分析の試料採取点

*37 : <http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/suishitsu.html> (2015. 7. 1)

(1) 天塩川への排水量

地下施設からの排出水および掘削土（ズリ）置場の浸出水は、排水処理施設において処理を行った後、排水管路を通じて天塩川に放流しています。

平成 26 年度における天塩川への排水量は、表 7 に示す通りです。合計排水量は 63,243 m³であり、平成 25 年度（83,408 m³）の約 76%でした。排水量が減少した主な理由としては、追加で実施した湧水抑制対策による効果と、積雪量が比較的少なく融雪時期の浸出水が少なかったことが考えられます。日最大排水量は、豪雨により増水した掘削土（ズリ）置場浸出水調整池からの排水を処理した 8 月の 551 m³が最大値となっており、北るもい漁業協同組合との協定値（最大 750 m³/日）を満足しています。また、月排水量および日平均排水量は、融雪に伴い掘削土（ズリ）置場の浸出水を多く処理した 4 月が最大となっており、排水量が 8,260 m³、日平均排水量が 275.3 m³でした。

表 7 天塩川への排水量

年 月	月排水量 (m ³)	日最大排水量 (m ³) ※1	日平均排水量 (m ³) ※2
平成 26 年 4 月	8,260 ^{※3}	406	275.3 ^{※3}
平成 26 年 5 月	4,938	335	159.3
平成 26 年 6 月	5,128	331	170.9
平成 26 年 7 月	4,556	329	147.0
平成 26 年 8 月	7,255	551 ^{※3}	234.0
平成 26 年 9 月	5,549	365	185.0
平成 26 年 10 月	4,616	374	148.9
平成 26 年 11 月	4,957	364	165.2
平成 26 年 12 月	4,052	294	130.7
平成 27 年 1 月	4,062	256	131.0
平成 27 年 2 月	3,373	292	120.5
平成 27 年 3 月	6,497	381	209.6
年 間	63,243	-	-

※1：北るもい漁業協同組合との協定値は 750 m³/日

※2：月排水量を月の日数で除した値

※3：各項目の最大値

(2) 地下施設からの排水の水質調査結果

地下施設から排出される「立坑の原水」および「掘削土（ズリ）置場の浸出水調整池の原水」については、図 51 に示す通り、濁水処理や脱ホウ素、脱窒素の排水処理を行った後、「揚水設備における処理済排水」として排水管路を通じて天塩川に放流しています。これらの排水については、排水処理の前と後で定期的（原則 1 回/月）に水質調査を実施しています。

平成 26 年度における水質調査結果は、表 8 の通りであり、排水基準値を超える処理済排水はありませんでした。

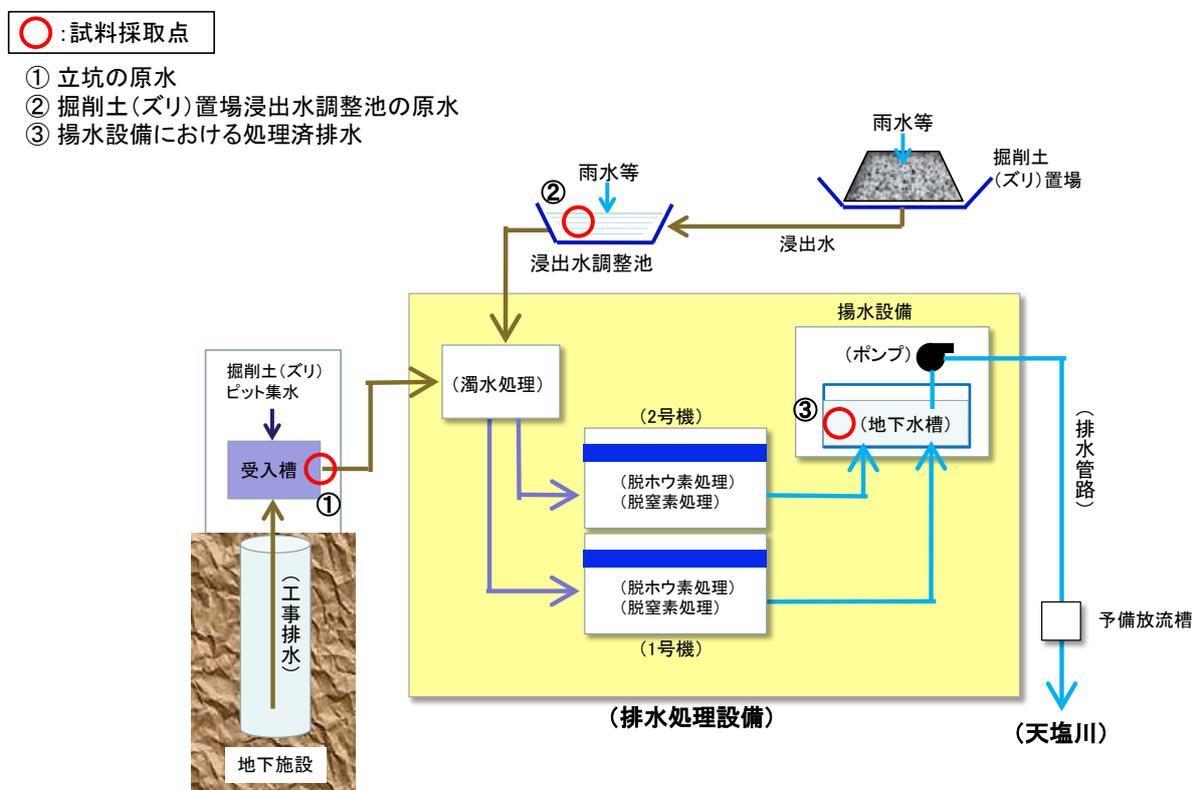


図 51 地下施設からの排水の採水地点

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	採水地点※2	過年度	平成26年度	(参考値) 水質汚濁防止法 排水基準
		平成18年12月 ～平成26年3月	平成26年4月 ～平成27年3月	
カドミウム (mg/L)	立坑の原水	<0.01	<0.01	平成26年4月～11月 : 0.1 平成26年12月以降 : 0.03
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	<0.01	<0.01	
	揚水設備における処理済排水	<0.01	<0.01	
ヒ素 (mg/L)	立坑の原水	<0.01～0.08	<0.01	0.1
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	<0.01～0.02	<0.01	
	揚水設備における処理済排水	<0.01～0.02	<0.01	
セレン (mg/L)	立坑の原水	<0.01～0.02	<0.01	0.1
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	<0.01～0.04	<0.01～0.02	
	揚水設備における処理済排水	<0.01	<0.01	
フッ素 (mg/L)	立坑の原水	<0.8～3.5	<0.8	8
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	<0.8	<0.8	
	揚水設備における処理済排水	<0.8	<0.8	
ホウ素 (mg/L)	立坑の原水	<0.1～160	76～94	10
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	<0.1～37	0.9～14	
	揚水設備における処理済排水	<0.1～3.0	<0.1～1.2	
全窒素 (mg/L)	立坑の原水	0.41～117	84～90	120 (日間平均 60)
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	6.79～150	56～97	
	揚水設備における処理済排水	0.60～48	15～27	
全アンモニア (mg/L)	立坑の原水	0.12～110	55～74	—
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	0.37～22	0.30～2.1	
	揚水設備における処理済排水	<0.05～5.92	<0.05～1.4	
pH	立坑の原水	7.5～9.5	8.1～8.3	5.8～8.6
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	6.7～8.7	7.0～7.7	
	揚水設備における処理済排水	6.9～8.6	7.3～8.3	
浮遊物質 (mg/L)	立坑の原水	4～580	5～28	200 (日間平均 150)
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	5～170	10～16	
	揚水設備における処理済排水	<1～9	<1～3	
塩化物 イオン (mg/L)	立坑の原水	20～4,100	2,900～4,300	—
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	18.2～1,500	44～500	
	揚水設備における処理済排水	38～4,600	3,000～4,700	

※1：主な分析項目を抜粋

※2：採水地点は図 51 参照

(3) 天塩川の水質調査結果

地下施設からの排水の放流先である天塩川の採水地点（図 52）において、定期的（原則 1 回/月）に採水を行い（写真 45）、水質調査を実施しています。

平成 26 年度における調査結果は、表 9 に示す通りです。浮遊物質質量については北るもい漁業協同組合との協定値（20mg/L）を超過した時期（融雪時期と降雨による増水時期）がありましたが、放流口の上流側（B2）においても高い値を示しており、同日に採取した地下施設からの排水の浮遊物質質量は低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、融雪や降雨などに伴う自然的な原因によるものと考えられます。



図 52 天塩川の採水地点



写真 45 天塩川の採水状況

表 9 天塩川の水質調査結果

分析項目※1	採水地点※2	過年度		平成26年度	北るもい 漁業協同組合 協定値	
		平成18年6月 ～平成18年11月 (放流前)	平成18年12月 ～平成26年3月 (放流後)	平成26年4月 ～平成27年3月		
ホウ素 (mg/L)	B1	表層	<0.02～0.04	<0.01～0.35	0.01～0.04	5
		中層	—	<0.01～3.5	0.01～0.81	
		深層	<0.02～3.35	<0.01～4.9	0.01～4.1	
	B2	表層	<0.02～0.04	<0.01～0.27	<0.01～0.03	
		中層	—	<0.01～3.7	<0.01～1.1	
		深層	<0.02～3.28	<0.01～5.0	<0.01～3.9	
	B3	表層	<0.02～0.07	<0.01～0.26	<0.01～0.06	
		中層	—	<0.01～2.5	<0.01～0.81	
		深層	<0.02～1.03	<0.01～4.5	<0.01～3.9	
全窒素 (mg/L)	B1	表層	0.37～1.06	0.11～2.2	0.24～1.0	20
		中層	—	0.15～2.1	0.38～1.1	
		深層	0.42～1.50	0.15～6.5	0.38～1.1	
	B2	表層	0.37～1.14	0.14～2.1	0.23～1.1	
		中層	—	0.15～2.2	0.30～1.1	
		深層	0.4～1.16	0.16～2.3	0.36～1.1	
	B3	表層	0.4～1.31	0.16～2.2	0.24～1.0	
		中層	—	0.11～2.2	0.30～1.1	
		深層	0.49～1.24	0.16～2.2	0.36～1.1	
全アンモニア (mg/L)	B1	表層	—	<0.05～0.83	<0.05～0.08	2※3
		中層	—	<0.05～0.92	<0.05～0.08	
		深層	—	<0.05～0.85	<0.05～0.08	
	B2	表層	<0.01～0.13	<0.05～0.89	<0.05～0.09	
		中層	—	<0.05～0.76	<0.05～0.09	
		深層	0.01～0.35	<0.05～0.85	<0.05～0.09	
	B3	表層	0.01～0.21	<0.05～0.89	<0.05～0.09	
		中層	—	<0.05～0.90	<0.05～0.09	
		深層	0.02～0.17	<0.05～0.96	<0.05～0.08	
pH	B1	表層	7.1～7.4	6.7～7.7	6.6～7.3	5.8～8.6
		中層	—	6.8～7.6	6.7～7.3	
		深層	7.0～7.6	6.8～8.0	6.7～7.3	
	B2	表層	7.1～7.4	6.8～7.9	6.9～7.3	
		中層	—	6.8～7.6	6.9～7.2	
		深層	7.2～7.6	6.9～8.0	7.0～7.2	
	B3	表層	7.0～7.6	6.7～7.9	6.8～7.2	
		中層	—	6.7～7.6	6.8～7.2	
		深層	7.1～7.4	6.8～8.0	6.8～7.2	
浮遊物質 (mg/L)	B1	表層	3～34	<1～260	<1～46	20
		中層	—	<1～390	<1～58	
		深層	6～86	<1～400	<1～55	
	B2	表層	3～36	<1～340	<1～51	
		中層	—	<1～360	<1～54	
		深層	5～47	<1～460	<1～56	
	B3	表層	3～35	<1～420	<1～56	
		中層	—	<1～460	<1～58	
		深層	5～49	<1～650	<1～60	

※1：主な分析項目を抜粋

※2：採水地点は図 52 参照。表層（水面下 10cm 付近）、中層（塩水層と淡水層の間もしくは 1/2 深度）、深層（川底付近）

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

(4) 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果

地下施設の建設により発生した掘削土（ズリ）は、二重に遮水された掘削土（ズリ）置場で管理していますが、遮水された外側となる掘削土（ズリ）置場周辺への影響を監視するため、図 53 に示す採水地点において、観測用のボーリング孔から地下水の採水を定期的（原則 4 回/年）に行い（写真 46）、水質調査を実施しています。

平成 26 年度における調査結果は、表 10 に示す通り、A1 地点のヒ素濃度が 0.012mg/L と、これまでの最高値（0.007 mg/L）より高い値を示しましたが、同日に採取した掘削土（ズリ）置場浸出水調整池の原水においてヒ素は検出されていないことから、周辺の土壤に含まれる自然由来によるものと考えられます。また、A2 地点の pH が 3.7 と、これまでの値（pH4.6）より酸性傾向を示しましたが、同日に採取した掘削土（ズリ）置場浸出水調整池の原水の pH は 7.6 と通常範囲であったことから、掘削土（ズリ）置場との関連性はなく、周辺の土壤に起因する自然的要因と考えられます。その他の調査項目については、これまでの調査結果の範囲内であることから、掘削土（ズリ）置場周辺の環境に影響を与えていないものと判断しています。



図 53 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の採水地点



写真 46 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の採水状況

表 10 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	過年度		平成 26 年度			
		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26年3月 掘削土(ズリ) 搬入後	平成26年			平成27年
				5月	8月	11月	2月
カドミウム (mg/L)	A1	<0.001～0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A2	<0.001～0.004	<0.001～0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A3	<0.001～0.003	<0.001～0.009	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A4	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
鉛 (mg/L)	A1	<0.005～0.171	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A2	<0.005～0.006	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A3	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A4	<0.005～0.022	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
ヒ素 (mg/L)	A1	<0.005	<0.005～0.007	<0.005	<0.005	0.012	<0.005
	A2	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A3	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A4	<0.005	<0.005	<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	<0.002～0.003	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A3	<0.002	<0.002～0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A4	<0.002	<0.002～0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素 (mg/L)	A1	<0.1～0.3	<0.1～0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A2	<0.1～0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A3	<0.1～0.2	<0.1～0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A4	<0.1	<0.1～0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
ホウ素 (mg/L)	A1	19.8～50.7	0.40～63.0	5.5	31	8.5	12
	A2	1.29～43.5	0.43～8.99	0.67	9.0	0.51	3.0
	A3	12.5～34.0	0.18～41.8	24	23	26	29
	A4	<0.02～0.06	<0.02～0.47	<0.02	0.47	<0.02	0.08
pH	A1	6.9～7.2	6.6～7.3	6.9	7.1	7.2	6.7
	A2	4.6～6.3	5.2～6.6	5.6	6.0	3.7	6.3
	A3	6.8～7.3	4.2～7.3	7.2	7.1	7.2	7.0
	A4	5.4～6.6	5.2～6.7	5.6	5.2	5.2	5.4
塩化物イオン (mg/L)	A1	1,810～2,760	210～3,400	270	3,000	340	730
	A2	147～2,910	46～620	60	430	23	160
	A3	631～1,550	27～1,700	970	1,200	1,000	1200
	A4	9.7～11.9	9.3～17	11	13	8.4	10

※1：主な分析項目を抜粋

※2：採水地点は図 53 参照

(5) 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

掘削土（ズリ）置場雨水調整池による清水川への影響がないことを確認するため、図 54 に示す清水川の上流と下流の 2 地点および掘削土（ズリ）置場雨水調整池において、定期的（原則 1 回/月）に採水を行い（写真 47）、水質調査を実施しています。

平成 26 年度における調査結果は、表 11 に示す通りです。清水川下流の A7 地点において、微量のヒ素（0.009mg/L）と鉛（0.008mg/L）が検出されましたが、流入元である雨水調整池の A6 地点と掘削土（ズリ）置場に近い清水川上流の A5 地点において、いずれも低い値（ヒ素：不検出～0.005mg/L、鉛：不検出）であり、過去に行った川底の土壌分析結果においてヒ素や鉛が検出されていることから、自然由来によるものと考えられます。



図 54 清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の採水地点



写真 47 清水川の採水状況

表 11 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	過年度		平成26年度
		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26年3月 掘削土(ズリ) 搬入後	平成26年4月 ～平成27年3月
カドミウム (mg/L)	A5	<0.001	<0.001	<0.001
	A6	<0.001～0.001	<0.001～0.002	<0.001
	A7	<0.001	<0.001	<0.001
鉛 (mg/L)	A5	<0.005	<0.005	<0.005
	A6	<0.005	<0.005～0.006	<0.005
	A7	<0.005	<0.005	<0.005～0.008
ヒ素 (mg/L)	A5	<0.005	<0.005	<0.005
	A6	<0.005～0.011	<0.005～0.015	<0.005～0.005
	A7	<0.005	<0.005	<0.005～0.009
セレン (mg/L)	A5	<0.002	<0.002～0.002	<0.002
	A6	<0.002	<0.002～0.003	<0.002
	A7	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素 (mg/L)	A5	<0.1～0.1	<0.1～0.2	<0.1～0.1
	A6	<0.1～0.7	<0.1～1.1	<0.1～0.1
	A7	<0.1	<0.1～0.3	<0.1
ホウ素 (mg/L)	A5	0.03～0.25	<0.02～0.44	0.05～0.29
	A6	<0.02～0.09	0.02～0.43	0.04～0.20
	A7	0.03～0.30	<0.02～0.42	0.06～0.30
pH	A5	6.4～7.1	6.2～7.7	6.7～7.9
	A6	5.8～7.4	5.7～9.1	6.5～8.4
	A7	6.5～7.0	6.4～7.5	6.6～7.5
浮遊物質量 (mg/L)	A5	1～20	<1～66	1～14
	A6	12～173	<1～500	<1～46
	A7	1～11	<1～270	2～7
塩化物イオン (mg/L)	A5	14.4～30.5	10～70	7.2～53
	A6	5.1～24.7	3.9～269	2.9～42
	A7	15.6～28.7	14～100	8.1～37

※1：主な分析項目を抜粋

※2：採水地点は図 54 参照

(6) 浄化槽排水の水質調査結果

当センター用地から排出される生活排水による、環境への影響を監視するため、研究管理棟および地下施設現場事務所の浄化槽において、定期的（原則1回/4週）に水質調査を実施しています。

平成26年度における水質調査結果は、表12に示す通り、全ての項目において協定値を満足しています。

表 12 浄化槽排水の水質調査結果

分析項目	採水地点	過年度	平成26年度	北るもい 漁業協同組合 協定値
		平成18年12月 ～平成26年3月	平成26年4月 ～平成27年3月	
pH	研究管理棟	5.9～7.4	5.9～7.2	5.8～8.6
	地下施設 現場事務所	6.8～7.9	7.2～7.8	
生物化学的 酸素要求量 (mg/L)	研究管理棟	<0.5～17	1.1～15	20
	地下施設 現場事務所	<0.2～28	<0.5～2.6	
浮遊物質 量(mg/L)	研究管理棟	0.5～10	2.0～9.0	20
	地下施設 現場事務所	<0.5～7.0	<1.0～2.0	
全窒素 (mg/L)	研究管理棟	6.6～52	12～44	60
	地下施設 現場事務所	1.4～45	0.6～6.4	
全リン (mg/L)	研究管理棟	0.5～4.4	1.9～4.1	8
	地下施設 現場事務所	0.2～7.8	<0.1～0.8	
透視度 (cm)	研究管理棟	30以上	30以上	30
	地下施設 現場事務所	30以上	30以上	
大腸菌群数 (個/mL)	研究管理棟	0～30	0	3,000
	地下施設 現場事務所	0～1,500	0～12	

6.2 掘削土（ズリ）の土壤溶出量調査結果

地下施設の建設により発生した掘削土（ズリ）には、重金属などが含まれていますが、自然由来であることから土壤汚染対策法の適用外となっています。しかし、当センターでは、周辺環境の保全に万全を期すため、土壤汚染対策法に準拠した管理を行っており、対象となる物質が同法に定める範囲内であることを確認するための土壤溶出量分析を定期的に行っています。

平成26年度に掘削を行った東立坑からの掘削土（ズリ）の分析結果は、表13に示す通り、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。

表 13 掘削土(ズリ)の土壤溶出量調査結果

分析項目	立 坑	過年度	平成 26 年度	参考値 (土壤汚染対策法)	
		平成 18 年 3 月 ～平成 26 年 3 月	平成 26 年度 ^{※1} (東立坑)	溶出量 基準値 ^{※2}	第2溶出量 基準値 ^{※2}
ホウ素 (mg/L)	換気立坑	0.1～10	—	1	30
	東立坑	<0.1～10	5.1		
	西立坑	0.1～12	—		
ヒ素 (mg/L)	換気立坑	0.005～0.067	—	0.01	0.3
	東立坑	<0.001～0.058	0.047		
	西立坑	0.004～0.055	—		
フッ素 (mg/L)	換気立坑	<0.08～0.41	—	0.8	24
	東立坑	<0.08～0.18	0.19		
	西立坑	<0.08～0.38	—		
セレン (mg/L)	換気立坑	0.004～0.031	—	0.01	0.3
	東立坑	<0.001～0.027	0.009		
	西立坑	0.004～0.027	—		
カドミウム (mg/L)	換気立坑	<0.001	—	0.01	0.3
	東立坑	<0.001	<0.001		
	西立坑	<0.001～0.10	—		
鉛 (mg/L)	換気立坑	<0.001～0.006	—	0.01	0.3
	東立坑	<0.001～0.007	0.003		
	西立坑	0.002～0.014	—		
シアン (mg/L)	換気立坑	<0.1 (不検出)	—	検出されな いこと	1
	東立坑	<0.1 (不検出)	<0.1 (不検出)		
	西立坑	<0.1 (不検出)	—		
六価クロム (mg/L)	換気立坑	<0.005	—	0.05	1.5
	東立坑	<0.005	<0.005		
	西立坑	<0.005	—		
水銀 (mg/L)	換気立坑	<0.0005	—	0.0005	0.005
	東立坑	<0.0005	<0.0005		
	西立坑	<0.0005	—		
アルキル水 銀(mg/L)	換気立坑	<0.0005 (不検出)	—	検出されな いこと	検出されな いこと
	東立坑	<0.0005 (不検出)	<0.0005 (不検出)		
	西立坑	<0.0005 (不検出)	—		

※1：平成 26 年度は、掘削工事を行った東立坑について、平成 26 年 4 月に 1 回実施しました。

※2：土壤汚染対策法の基準値であり、溶出量基準値を超え、第 2 溶出量基準値以下のものが、同法に定められた遮水型などの方法で保管が可能（第 2 溶出量基準値を超えたものは別途処理が必要）です。

6.3 センター周辺の環境影響調査結果

平成 25 年度に引き続き、当センター周辺の環境影響調査を図 55 に示す地点にて実施しました。調査項目は、騒音、振動、清水川の水質、魚類および植物群落です。平成 26 年度における各調査結果については、平成 25 年度までと比較して大きな変化がないことを確認しています。

本環境影響調査は、造成工事を開始した平成 15 年度以降、工事が環境に与える影響を評価することを目的として実施してきました。平成 22 年度から導入している PFI 契約のうちの施設整備業務が平成 26 年 6 月末で完了となり、工事が一時休止となることから、工事による影響の監視を目的として実施してきた騒音・振動の調査を平成 26 年度の調査をもって休止とします。また、造成工事に伴う影響を監視してきた植物群落調査については、安定した状態にあることから、平成 26 年度の調査をもって完了とします。

- : 騒音・振動調査箇所
- : 水質調査箇所
- : 植物群落調査箇所

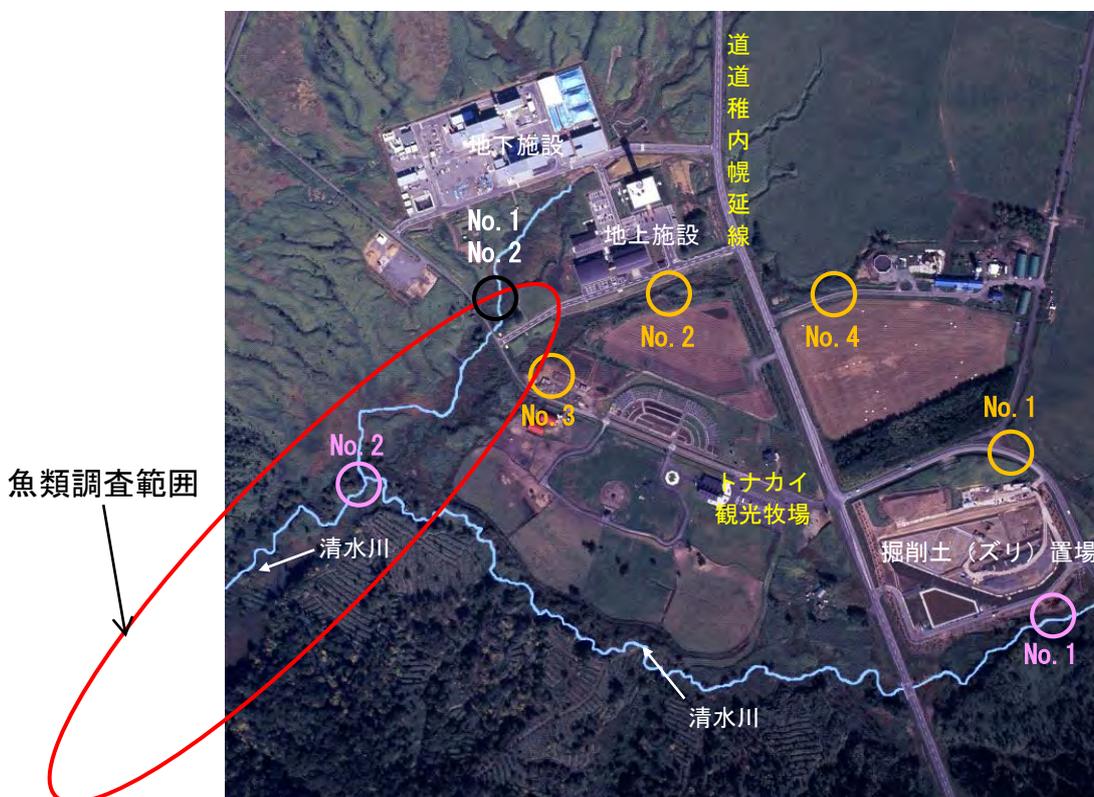


図 55 環境調査実施場所

(1) 騒音の調査結果

騒音の調査については、規制の対象区域外ではあるものの「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（第2号区域）：85dB」に準拠し、定期的（原則4回/年）に測定を行ってきました（写真48）。

平成14年度の工事前から平成26年度までの調査結果は、図56に示す通り、全期間にわたって全て基準値（85dB）以下でした。騒音の調査については、平成22年度から導入しているPFI契約のうちの施設整備業務が平成26年6月末で完了したことから、工事が一時休止となり、特定建設作業が行われないことから、平成26年度の調査をもって休止とします。



写真 48 騒音調査

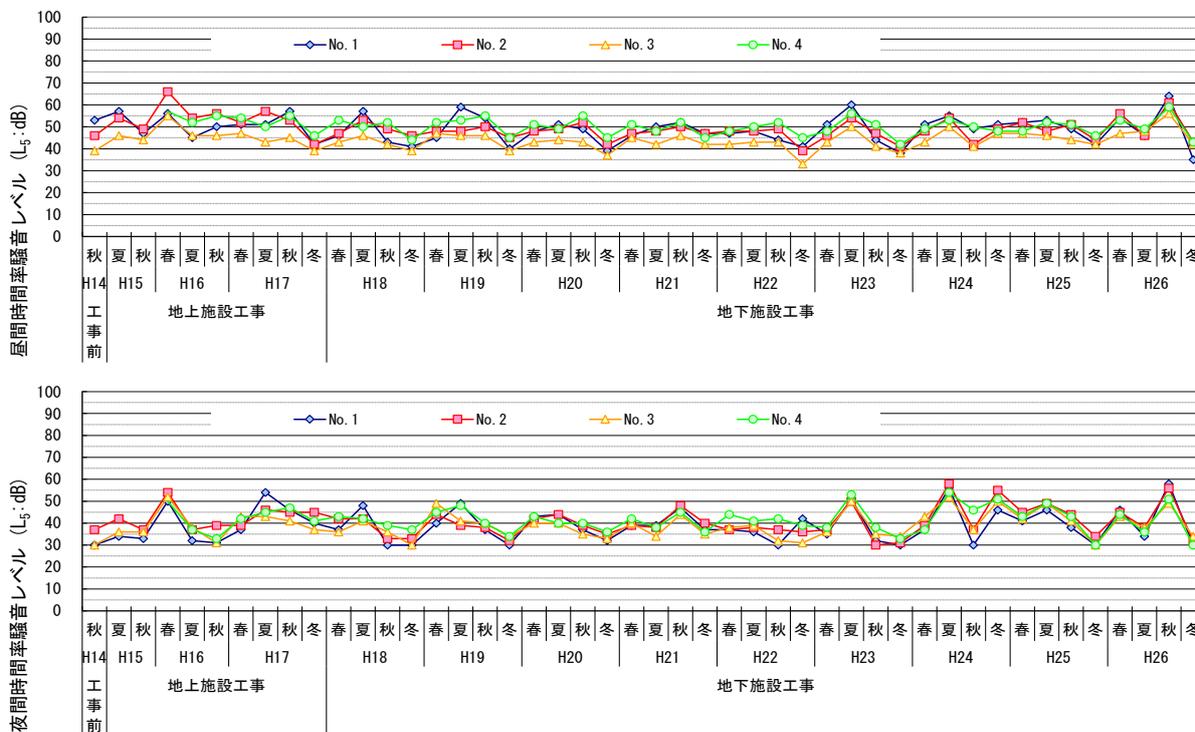


図 56 騒音測定結果

(2) 振動の調査結果

振動の調査については、規制の対象区域外ではあるものの「特定建設作業の規制に関する基準（第2号区域）：75dB」に準拠し、定期的（原則4回/年）に測定を行ってきました（写真49）。

平成14年度の工事前から平成26年度までの調査結果は、図57に示す通り、全期間にわたって全て基準値（75dB）以下でした。振動の調査については、平成22年度から導入しているPFI契約のうちの施設整備業務が平成26年6月末で完了したことから、工事が一時休止となり、特定建設作業が行われないことから、平成26年度の調査をもって休止とします。



写真 49 振動調査

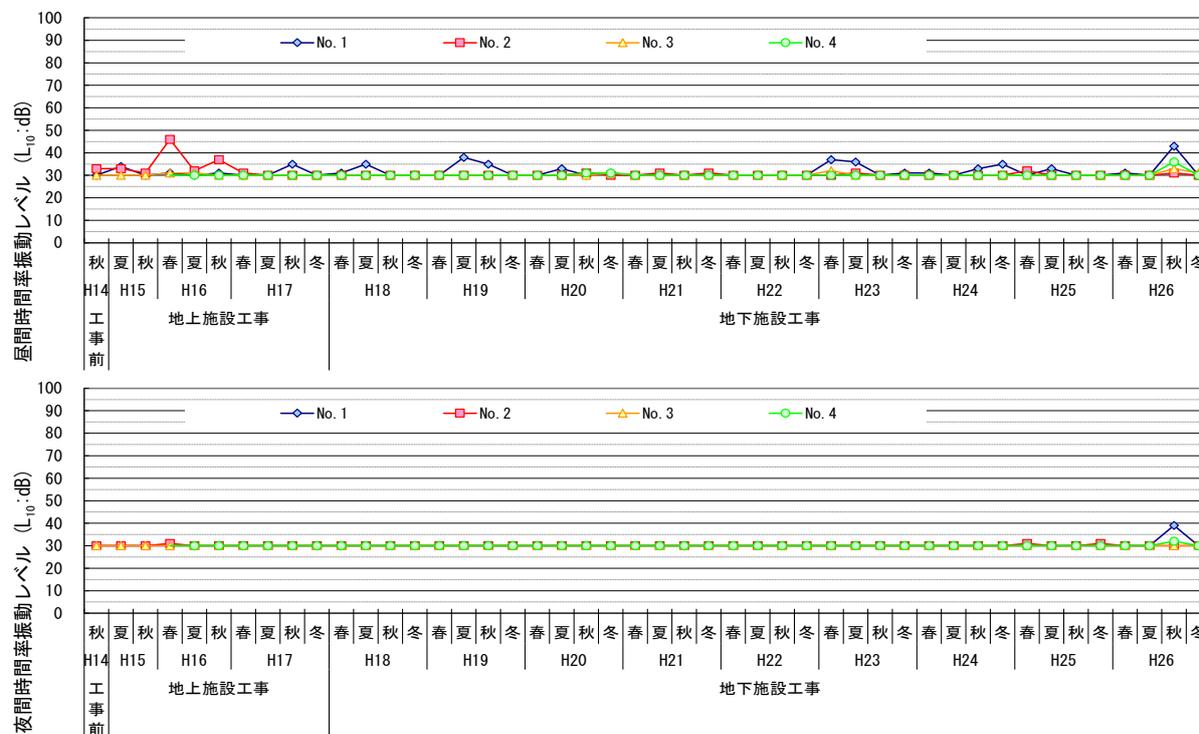


図 57 振動測定結果

(3) 清水川の水質調査結果

清水川の 2 地点において定期的（原則 4 回/年）に採水を行い（写真 50）、水質調査を実施しています。本調査は、清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査とは別に、「水質汚濁に係る環境基準」に準拠して実施しているものです。

平成 26 年度における調査結果は、表 14 に示す通り、全ての項目において特異な値は認められませんでした。なお、清水川の水質調査については、掘削土（ズリ）置場の運用を継続することから、平成 27 年度以降も引き続き実施します。



写真 50 清水川の水質調査

表 14 清水川の水質調査結果

分析項目 ※1	採水地点 ※2	過年度	平成 26 年度			
			平成 26 年			平成 27 年
		平成14年8月 ～平成26年2月	6 月	9 月	11 月	2 月
pH	No. 1	6.3～7.8	7.5	6.9	7.0	7.3
	No. 2	6.4～7.4	7.1	7.1	6.9	7.7
生物化学的 酸素要求量 (mg/L)	No. 1	<0.5～31	14	1.3	1.3	0.7
	No. 2	<0.5～6.8	1.0	0.7	3.0	2.5
浮遊物質 量 (mg/L)	No. 1	1～70	2	21	2	1
	No. 2	<1～69	3	3	2	3
溶存酸素量 (mg/L)	No. 1	6.7～13.8	9.1	9.5	11	13
	No. 2	5.5～12.5	9.1	9.1	10	8.2
大腸菌群数 (MPN/100mL)	No. 1	0～54,000	4.5	4.5	170	140
	No. 2	2～170,000	33	2,300	1,300	700

※1：主な分析項目のみを抜粋

※2：採水地点は図 55 参照

(4) 魚類の調査結果

清水川において、定期的（原則3回/年（春・夏・秋））に生息魚類の調査を行っています（写真51）。

平成26年度における調査結果は、これまでと大きな変化は認められませんでした。重要種としては、表15に示す通り、スナヤツメ、エゾウグイ、エゾホトケドジョウ、ヤマメ、エゾトミヨ、ハナカジカの6種が確認されました。なお、魚類の調査は、掘削土（ズリ）置場の運用を継続することから、平成27年度以降も引き続き実施します。



写真 51 魚類生息調査

表 15 確認された重要種（魚類）

目	科	種	選定根拠 ^{※1}							
			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 ^{※2}			VU	VU		希		
コイ	コイ	エゾウグイ					N			
コイ	ドジョウ	エゾホトケドジョウ			VU	EN	En			
サケ	サケ	ヤマメ（サクラマス）				NT ^{※3}	N ^{※4}	減 ^{※5}		
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

EN：絶滅危惧 IB 類 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 2013 年）の記載種

EN：絶滅危惧 IB 類 VU：絶滅危惧 II 類 NT：準絶滅危惧 DD：情報不足

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

Cr：絶滅危機種 En：絶滅危惧種 R：希少種 N：留意種

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

危：危急種 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ます。

※3、※4：ヤマメが対象

※5：サクラマスが対象

(5) 植物群落の調査結果

造成工事や地下施設の建設による地下水位の変化が植物の植生に影響を与えていないことを監視するため、2 地点において定期的（原則 3 回/年（春・夏・秋））に植物群落の調査を行ってきました。

これまでの調査結果を写真 52 に例示します。No. 1 地点では、平成 20 年からヨシの被度が増加する一方、クマイザサの減少が見られるなど、湿性植物の生育に適した地下水位の高い状態が維持されています。また、No. 2 地点においても平成 21 年度から湿性植物であるオオバセンキュウの増加が見られるなど、安定した地下水位を保った湿性環境が維持されていると考えられます。これまでの調査により植生が安定した状態にあることが確認され、植生環境に影響を与える新たな土地改変も生じないことから、平成 26 年度の調査をもって本調査を完了とします。

	No. 1	No. 2
平成17年度春季	<p>クマイザサ</p> <p>ヨシなど</p>	<p>クマイザサ</p> <p>オオバセンキュウなど</p>
平成20年度春季	<p>クマイザサ</p> <p>ヨシなど</p>	<p>クマイザサ</p> <p>オオバセンキュウなど</p>
平成26年度春季	<p>クマイザサ</p> <p>ヨシなど</p>	<p>クマイザサ</p> <p>オオバセンキュウなど</p>

写真 52 植物群落調査結果

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おいては、作業の計画段階からリスクアセスメント評価を実施し、安全対策の妥当性の確認や改善の指導を行いました。

そのほか、所長や保安・建設課などによる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ました（写真 53）。

さらに、新規配属者や請負作業・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ました（写真 54）。



写真 53 安全パトロールの状況



写真 54 安全行事の状況（安全大会）

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、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26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

信州大学

坑道の掘削に伴って周辺岩盤に生じる損傷に関する詳細な知見を得ることを目的として、東立坑および換気立坑における岩盤壁面の割れ目情報の統計処理を行い、割れ目の密度や方位・傾斜の傾向を明らかにしました。その結果、発破掘削を行った東立坑では、機械掘削を行った換気立坑に比べて、掘削により発生したと推定される割れ目の密度が2倍程度大きいことがわかりました。このデータを活用し、さらに原位置試験の結果と組み合わせることにより、立坑周辺岩盤の割れ目の概念モデルの作成を進めていきます。

室蘭工業大学

三次元レーザスキャナを用いた壁面地質観察の手法整備の一環として、坑道壁面の地質観察時に三次元レーザスキャナによって取得された点群データ（以下、点群データ）の解析に関する共同研究を実施しました。平成26年度は、主に試験坑道3を対象として、点群データが表す坑道壁面の三次元形状から取得できる壁面地質観察に関する地質情報を確認しました。その結果、試験坑道3の近傍において発達する坑道掘削後に形成された割れ目（以下、EDZ割れ目）の方向解析やその可視化が可能であることを確認しました。今後は、室蘭工業大学において整備した、点群データから割れ目面を抽出するためのプログラムを用いてEDZ割れ目の方向解析とその可視化を進めていきます。

8.1.2 その他の機関との研究協力

幌延地圏環境研究所^{*38}

両機関の試験設備を活用した研究協力として、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。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に活用しています。

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の開発、岩盤中の地下水移行評価技術の開発（地下水年代測定）およびコントロールボーリング孔を用いたモニタリング技術の開発について、共同研究を実施しました。坑道掘削影響領域の調査技術の開発については、地下施設において、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、主に地下施設の坑道内で採取した地下水を対象とした調査を行い、140m調査坑道内から採取した声間層中の地下水は、塩素の同位体を用いた年代測定により100年以上前の化石海水であると推定されました。コントロールボーリング孔を用いたモニタリング技術の開発の内容については、3.1.2(4)で述べたとおりです。なお、地下水年代測定とコントロールボーリング孔を用いたモニタリング技術の開発は、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実施しているものです。

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調査坑道から採取した地下水や地下環境で沈殿した方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、産

*38：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。

状の違う方解石はそれぞれ異なる時期に形成した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、立坑掘削に伴う覆工コンクリートの健全性のモニタリングを行いました。

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26年度は、深度370m以深の立坑掘削時および掘削後の周辺岩盤の損傷や、それに伴う水の流れに関する測定を実施しました。

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が進める地層処分実規模試験施設を利用した研究開発および処分システムの工学技術に関する研究開発について、共同研究を実施しました。

地層処分実規模試験施設は、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・体感できる地上設備を利用し、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26年度は、4.1.1(3)でも述べたように、平成25年度に引き続き、地層処分実規模試験施設において緩衝材の定置試験を実施し、そ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。

処分システムの工学技術に関する研究開発は、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26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として、平成25年度に掘削した試験孔に装置を設置し、オーバーパック溶接部の腐食挙動に関わる試験を開始し、緩衝材のパイピング/エロージョンに関わる緩衝材の流出試験を実施しました。また、無線モニタリング装置の適用性確認として、人工バリア性能確認試験の一部に無線計測装置を設置し、装置の長期健全性を確認する試験および有線で取得するデータとの比較のためのデータ取得もあわせて開始しました。

石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）^{*39}、国際超電導産業技術研究センター（ISTEC）^{*40}

平成26年度より、高精度な電磁探査^{*41}技術の適用性を検討するために、超電導磁気センサー^{*42}を用いた電磁探査システムに関する共同研究を開始しました。これは、JOGMECとISTECが、石油や天然ガスの資源探査へ応用するため、電磁探査の精度を飛躍的に向上させるべく開発している新たなシステムです。

平成26年度は、深度350m調査坑道において、地下深くと地上の気圧差が超電導磁気センサーの動作に与える影響を調べる試験を実施しました。深度350m調査坑道に、超電導磁気センサーをマイナス194℃以下に冷却するための液体窒素を収納した容器を置いて、容器内の温度・圧力の変化を調べました。この試験により、石油の井戸の底のような地下深くの環境で、超電導磁気センサーを動作させるための基礎データを収集することができました。

*39：独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構は、石油・天然ガス、非鉄金属鉱物および石炭・地熱資源の安定供給確保を担う経済産業省所管の法人です。

*40：公益財団法人 国際超電導産業技術研究センターは、超電導に関する基礎から応用にわたる総合的な研究開発、調査等を行うことを目的に設置された法人です。

*41：電磁波を利用して、対象となる岩盤などの電気的特性を観測し、その性質・状態を推定する調査手法です。

*42：金属などの電気抵抗が低温でゼロになる現象を利用した、高感度磁気センサー。開発中の超電導磁気センサーを動作させるためには、液体窒素によりマイナス194℃以下に冷却する必要があります。

8.2 国外機関との研究協力

モンテリ・プロジェクト^{*43}

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」に参加しています。平成26年度は、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。

これらの手法や原位置での試験に関する情報などは、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。

また、平成26年5月にモンテリ・プロジェクトの運営会議とあわせてワークショップ（情報交換会）を幌延町にて開催しました。

上記のほか、クレイクラブ（Clay Club）^{*44}定例会合（平成26年10月）に出席し、粘土質媒体を対象とした拡散現象の評価方法について、諸外国の専門家らとの情報交換を行いました。

*43: 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。

*44: 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) 花室孝広 (編) (2014) : “幌延深地層研究計画 平成 26 年度調査研究計画”, JAEA-Review 2014-017, 24p.
- (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) 花室孝広 (編) (2014) : “幌延深地層研究計画 平成 25 年度調査研究成果報告”, JAEA-Review 2014-039.
- (4) 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.
- (5) Tokiwa, T., Tsusaka, K., Matsubara, M. and Ishikawa, T. (2014): “Fracture characterization around a gallery in soft sedimentary rock in Horonobe URL of Japan”, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 65, pp.1-7.
- (6) 稲垣大介, 常盤哲也, 村上裕晃 (2012) : “幌延深地層研究計画 平成 23 年度地下施設計測データ集”, JAEA-Data/Code 2012-029.
- (7) Ishii, E. (in press): “Predictions of the highest potential transmissivity of fractures in fault zones from rock rheology: preliminary results”, Journal of Geophysical Research-Solid Earth.
- (8) 日本原子力研究開発機構 (2014) : “日本原子力研究開発機構の改革計画に基づく「地層処分技術に関する研究開発」報告書—今後の研究課題について—”, 平成 26 年 9 月 30 日, 24p.
- (9) 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.
- (10) 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.
- (11) 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.
- (12) 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.

- (13) 日本原子力研究開発機構 (2015) : “平成 26 年度地層処分技術調査等事業 地質環境長期安定性評価確証技術開発 報告書” .
- (14) 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－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ－ 分冊 2 地層処分の工学技術”, JNC TN1400 99-022.
- (15) 原子力環境整備促進・資金管理センター : “平成 26 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) －人工バリア品質/健全性評価手法の構築－オーバーパック” 2015.
- (16) 原子力環境整備促進・資金管理センター : “平成 26 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) －人工バリア品質/健全性評価手法の構築－緩衝材” 2015.
- (17) 原子力環境整備促進・資金管理センター : “平成 26 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) モニタリング関連技術の整備” 2015.
- (18) 中山雅(編) (2014) : “幌延深地層研究計画 平成 24 年度調査研究成果報告” , JAEA-Review 2013-037.

参考資料

(平成 26 年度外部発表)

著者アルファベット順に記載

阿部真也, 片田偉奈雄, 星野雅人, 徳永博昭, 堀越秀彦 (2014) : “幌延深地層研究センターゆめ地創館を活用したリスク・コミュニケーションについて”, JAEA-Review 2014-034, 81p.

青柳和平, 石井英一, 近藤桂二, 津坂仁和, 藤田 朝雄 (2015) : “幌延深地層研究所における三軸圧縮試験による岩石強度特性の検討”, JAEA-Research 2015-001, 46p.

Aoyagi, K., Tsusaka, K., Kondo, K. and Inagaki, D. (2014) : “Quantitative assessment of an Excavation Damaged Zone from variations in seismic velocity and fracture distribution around a gallery in the Horonobe Underground Research Laboratory”, Rock Engineering and Rock Mechanics; Structures in and on Rock Masses, 487-492.

青柳和平, 津坂仁和, 窪田健二, 常盤哲也, 近藤桂二, 稲垣大介 (2014) : “幌延深地層研究所の 250m 調査坑道における掘削損傷領域の経時変化に関する検討”, 土木学会論文集 C, 70(4), 412-423.

Aoyagi, K., Tsusaka, K., Nohara, S., Kubota, K., Tokiwa, T., Kondo, K. and Inagaki, D. (2014) : “Hydrogeomechanical investigation of an excavation damaged zone in the Horonobe Underground Research Laboratory”, Proceedings of 8th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS-8), 8p. (USB Flash Drive)

Asahina, D., Aoyagi, K., Tsusaka, K., Houseworth, J. and Birkholzer, J. (2014) : “Modeling damage processes in laboratory tests at the Horonobe Underground Research Laboratory”, Proceedings of 8th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS-8), 9p. (USB Flash Drive)

藤田朝雄 (2014) : “幌延深地層研究センターにおける人工バリア性能確認試験”, 岩の力学ニュース, 111, 4p.

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 (2015) : “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 2014-031, 44p.

花室孝広(編) (2014) : “幌延深地層研究計画, 平成 25 年度調査研究成果報告”, JAEA-Review 2014-039, 69p.

- 花室孝広(編) (2014) : “幌延深地層研究計画, 平成 26 年度調査研究計画”, JAEA-Review 2014-027, 24p.
- 早野明, 天野健治, 大山卓也, 松岡稔幸, 下茂道人, 熊本創 (2015) : “地下水流動解析における水頭分布の再現性向上に関する検討”, 日本原子力学会 2015 年春の年会予稿集 (CD-ROM), B09, 45.
- Hayano, A., Matsukawa, S., Xu, Z. and Itakura, K. (2014) : “Application of three-dimensional laser scanning data to acquire geometrical data for fractured rock mass modeling”, Proceedings of 8th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS-8), 9p. (USB Flash Drive)
- 神和美, 名合牧人 (2014) : “ヒューマンエラーの防止とレジリエンスの向上; 危険感受性を向上させるための災害事例を用いた背後要因推定訓練”, 創立 50 周年記念全国建設業労働災害防止大会資料集, 123-127.
- 加藤信義, 津坂仁和, 名合牧人, 山上順民, 松原誠, 重廣道子, 相澤隆生, 亀村勝美 (2014) : “地下構造物建設における地盤・地質情報の三次元化適用事例”, 地質と調査, 139, 17-22.
- 松岡稔幸, 笹尾英嗣, 栗原新 (2015) : “調査の進展に伴う断層分布の不確実性評価”, 日本原子力学会 2015 年春の年会予稿集 (CD-ROM), B08, 44.
- Miyakawa, K., Nohara, T., Tokiwa, T. and Yamazaki, M. (2014) : “Seven-year history of vertical hydraulic diffusivity related to excavation around an underground facility”, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 70, 332-342.
- 宮川和也, 水野崇, 廣田明成, 小松大祐, 角皆潤 (2014) : “幌延地域の地下深部環境におけるメタンおよび二酸化炭素の生成過程について”, 2014 年度日本地球化学会第 61 回年会講演要旨集, p. 97.
- 村上拓馬, 水野崇, 笹本広, 鴻上貴之, 佐々木隆之 (2014) : “北海道幌延地域に分布する堆積岩に認められる炭酸塩鉱物の REE パターン”, 2014 年度日本地球化学会第 61 回年会講演要旨集, p. 279.
- 酒井利啓, 松岡稔幸, 天野健治 (2014) : “幌延地域を対象とした 10m グリッド数値標高モデルを用いた精密地形解析図の作成”, JAEA-Data/Code 2014-005, 43p.
- 笹本広 (編) (2014) : “沿岸域プロジェクト, 関係機関における議論の内容と得られた成果の概要”, JAEA-Review 2014-015, 35p.

- 笹本広, 山本信幸, 宮川和也, 水野崇 (2015) : “幌延深地層研究計画で得られた地下水の水質データ, 2011年度~2013年度”, JAEA-Data/Code 2014-033, 43p.
- 笹本広 (2014) : “幌延地域における深部地下水の地球化学的研究—地下水中のNH₄⁺濃度を支配する反応の推定”, 2014年度日本地球化学会第61回年会講演要旨集, p. 274.
- Tsusaka, K., Inagaki, D., Nago, M. and Ijiri, Y. (2014) : “A Study of mechanical stability of support elements and surrounding rock mass during shaft sinking through a fault”, Proceedings of 8th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS-8), 9p. (USB Flash Drive)
- Tsusaka, K., Inagaki, D., Niunoya, S. and Jo, M. (2014) : “An Investigation on mechanical properties of in-situ rock mass at the Horonobe Underground Research Laboratory”, Proceedings of 8th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS-8), 9p. (USB Flash Drive)
- 山本信幸, 松岡稔幸 (2015) : “2003年~2014年北進気象観測統計”, JAEA-Data/Code 2014-032, 33p.
- Yokota, H. and Tanaka, S. (2014) : “Preliminary analysis of dipole tracer migration experiments in fractured sedimentary rock at Horonobe URL of Japan”, Proceedings of 19th Pacific Basin Nuclear Conference (PBNC 2014), 10p. (USB Flash Drive)