

幌延深地層研究計画における坑道掘削(地下施設建設)
時の調査研究段階(第2段階：深度350mまで)
研究成果報告書

Horonobe Underground Research Laboratory Project
Synthesis of Phase II (Construction Phase) Investigations to a Depth of 350m

佐藤 稔紀 笹本 広 石井 英一 松岡 稔幸
早野 明 宮川 和也 藤田 朝雄 棚井 憲治
中山 雅 武田 匡樹 横田 秀晴 青柳 和平
大野 宏和 茂田 直孝 花室 孝広 伊藤 洋昭

Toshinori SATO, Hiroshi SASAMOTO, Eiichi ISHII, Toshiyuki MATSUOKA
Akira HAYANO, Kazuya MIYAKAWA, Tomoo FUJITA, Kenji TANAI
Masashi NAKAYAMA, Masaki TAKEDA, Hideharu YOKOTA, Kazuhei AOYAGI
Hirokazu OHNO, Naotaka SHIGETA, Takahiro HANAMURO and Hiroaki ITO

バックエンド研究開発部門
幌延深地層研究センター
深地層研究部

Horonobe Underground Research Department
Horonobe Underground Research Center
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management

March 2017

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2017

幌延深地層研究計画における坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階
（第 2 段階：深度 350m まで）
研究成果報告書

日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開発部門
幌延深地層研究センター 深地層研究部

佐藤 稔紀，笹本 広，石井 英一，松岡 稔幸，早野 明，宮川 和也，藤田 朝雄*，棚井 憲治，
中山 雅，武田 匡樹，横田 秀晴，青柳 和平，大野 宏和，茂田 直孝，花室 孝広，伊藤 洋昭⁺¹

（2016 年 12 月 21 日受理）

幌延深地層研究計画は、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関わる研究開発の一環として、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が北海道幌延町で進めているプロジェクトである。この計画は、「深地層の科学的研究」と「地層処分研究開発」を、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」の 3 段階で 20 年程度をかけて進めている。

本報告書は、深度 350m の研究坑道掘削終了までの期間（2005 年 4 月～2014 年 6 月）に行われた第 2 段階における調査研究の成果を取りまとめたものである。この取りまとめは、第 2 段階目標に対して、その達成度を評価するとともに、第 1 段階の予測結果の妥当性を確認し、地上からの調査のあるべき姿を示すうえで重要な意味を持っている。さらに、ここで取りまとめた成果は、処分事業と安全規制の両面を支える地層処分技術の知識基盤として有効に活用されるものである。

第 2 段階における深地層の科学的研究では、「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」を、地層処分研究開発では、「処分技術の信頼性向上」、「安全手法の高度化」を実施し、これらに加えて「地下施設の建設」、「環境モニタリング」を実施し、当初の目標どおりの成果を得た。「地質環境調査技術開発」では、坑道掘削中の地質環境の変化を把握するとともに、第 1 段階で予測した結果の妥当性を確認した。「深地層における工学的技術の基礎の開発」においては、地下施設の建設に適用した工学的技術の有効性を確認した。「地質環境の長期安定性に関する研究」ならびに地層処分研究開発の「処分技術の信頼性向上」と「安全手法の高度化」では、この期間の研究成果をまとめた。「地下施設の建設」では坑道掘削の実績を整理した。「環境モニタリング」では、環境調査などを継続し、地上及び地下施設の建設に伴う影響の低減を図る措置が適切であることを確認した。

幌延深地層研究センター：〒098-3224 北海道天塩郡幌延町字北進 432 番地 2

+1: 地層処分研究開発推進部

*: 資源エネルギー庁へ出向中

Horonobe Underground Research Laboratory Project
Synthesis of Phase II (Construction Phase) Investigations to a Depth of 350m

Toshinori SATO, Hiroshi SASAMOTO, Eiichi ISHII, Toshiyuki MATSUOKA,
Akira HAYANO, Kazuya MIYAKAWA, Tomoo FUJITA*, Kenji TANAI, Masashi NAKAYAMA,
Masaki TAKEDA, Hideharu YOKOTA, Kazuhei AOYAGI, Hirokazu OHNO,
Naotaka SHIGETA, Takahiro HANAMURO and Hiroaki ITO⁺¹

Horonobe Underground Research Department
Horonobe Underground Research Center
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management
Japan Atomic Energy Agency
Horonobe-cho, Teshio-gun, Hokkaido

(Received December 21, 2016)

The Horonobe Underground Research Laboratory (URL) Project is being pursued by the Japan Atomic Energy Agency (JAEA) to enhance the reliability of relevant disposal technologies through investigations of the deep geological environment within the host sedimentary formations at Horonobe, northern Hokkaido. The project consists of two major research areas, “Geoscientific Research” and “R&D on Geological Disposal”, and proceeds in three overlapping phases, “Phase I: Surface-based investigation”, “Phase II: Construction” and “Phase III: Operation”, over a period of 20 years.

This report summarizes the results of the Phase II investigations carried out from April 2005 to June 2014 to a depth of 350m. Integration of work from different disciplines into a “geosynthesis” ensures that the Phase II goals have been successfully achieved and identifies key issues that need to be addressed in the Phase II investigations. Efforts are made to summarize as many lessons learnt from the Phase II investigations and other technical achievements as possible to form a “knowledge base” that will reinforce the technical basis for both implementation and the formulation of safety regulations.

Keywords: Horonobe URL Project, Phase II, Geoscientific Research, R&D on Geological Disposal

+1: Geological Disposal Research and Development Department

*: On loan to Agency for Natural Resources and Energy

目次

1. はじめに.....	1
1.1 深地層の研究施設計画の位置付けと役割.....	1
1.1.1 深地層の研究施設計画の位置付け.....	1
1.1.2 深地層の研究施設計画の目標.....	3
1.1.3 深地層の研究施設計画の役割.....	4
1.2 幌延深地層研究計画における研究開発の概要.....	6
1.2.1 幌延深地層研究計画における研究開発の目標と課題.....	6
1.2.2 幌延深地層研究計画の経緯.....	7
1.2.3 幌延深地層研究計画における第1段階成果の概要.....	8
1.2.4 幌延深地層研究計画における第2段階調査研究の概要.....	8
1.3 幌延深地層研究計画における第2段階成果の取りまとめ.....	11
1.3.1 第2段階成果の取りまとめの方針.....	11
1.3.2 報告書の構成.....	11
参考文献.....	11
2. 地質環境調査技術開発.....	14
2.1 地上からの調査・解析手法の妥当性確認と地質環境モデルの構築・更新.....	14
2.1.1 地質構造.....	14
2.1.2 岩盤の水理.....	22
2.1.3 地下水の地球化学.....	34
2.1.4 岩盤力学.....	40
2.2 掘削影響領域の地質環境特性の把握.....	50
2.3 地質環境モニタリング技術の開発.....	64
2.3.1 地上からの調査機器・調査技術開発.....	64
2.3.2 地下における調査機器・調査技術開発.....	82
参考文献.....	96
3. 深地層における工学的技術の基礎の開発.....	100
3.1 地下施設建設における設計の適用性確認・更新.....	100
3.1.1 実施設計・施工計画.....	100
3.1.2 地下施設の耐震設計の適用性確認.....	112
3.1.3 地下施設の通気挙動評価技術.....	115
3.2 掘削技術.....	123
3.3 施工対策技術.....	131
3.3.1 湧水抑制対策.....	131
3.3.2 地山崩落対策.....	133
参考文献.....	133
4. 地質環境の長期安定性に関する研究.....	135
4.1 地質環境の長期変遷に関する研究.....	135
4.1.1 過去から現在に至るまでの地形・地質構造の変遷に関する解析.....	135
4.1.2 古気候の調査.....	148
4.1.3 現在の地殻変動の調査.....	150
4.1.4 地殻変動にともなう地質環境特性変化の調査.....	152

4.1.5 地質環境の長期的変化モデル解析	154
4.2 地震研究	160
4.2.1 過去の地震活動	160
4.2.2 現在の地震活動	161
4.2.3 断層活動が地質環境に与える影響	167
4.2.4 地震時の地下水流動の変化	169
参考文献	172
5. 地層処分研究開発	174
5.1 処分技術の信頼性向上	174
5.1.1 人工バリアなどの工学技術の検証	174
5.1.2 設計手法の適用性確認	187
5.2 安全評価手法の高度化	192
5.2.1 安全評価モデルの高度化	192
5.2.2 安全評価手法の適用性確認	197
参考文献	203
6. 地下施設建設	207
6.1 地下施設レイアウト	207
6.2 地上設備	208
6.3 施工実績	210
6.4 排水処理およびズリ処理	215
6.5 環境モニタリング	215
6.6 契約形態	216
参考文献	216
7. おわりに	217
付録	219

Contents

1. Introduction	1
1.1 General background.....	1
1.1.1 URL projects in the context of Japanese geological disposal programme.....	1
1.1.2 R&D goals of the URL projects	3
1.1.3 Roles of the URL projects	4
1.2 The Horonobe URL Project	6
1.2.1 R&D goals and tasks	6
1.2.2 Progress to date	7
1.2.3 Overview of Phase I investigations in Horonobe Underground Research Laboratory Project	8
1.2.4 Overview of Phase II investigations in Horonobe Underground Research Laboratory Project	8
1.3 Synthesis of the Phase II investigations	11
1.3.1 Concept, aims and scope	11
1.3.2 Organization of this report	11
References.....	11
2. Development of techniques for investigating the geological environment.....	14
2.1 Modelling of geological environment • Evaluation of methodologies for investigation/analysis and for modeling of the geological environment.....	14
2.1.1 Geology	14
2.1.2 Hydrogeology	22
2.1.3 Hydro-geochemistry.....	34
2.1.4 Rock mechanics	40
2.2 Characterization of geological environment in the excavation disturbed zone	50
2.3 Development of techniques for long-term monitoring of the geological environment ...	64
2.3.1 Development of investigation techniques and equipment from the surface	64
2.3.2 Development of investigation techniques and equipment from under the ground	82
References.....	96
3. Development of engineering technique.....	100
3.1 URL Facility design and the construction	100
3.1.1 Design and construction plan	100
3.1.2 Earthquake-resistant design	112
3.1.3 Evaluation of the ventilation in gallery.....	115
3.2 Construction technique.....	123
3.3 Countermeasure technique	131
3.3.1 Countermeasure technique against inflow	131
3.3.2 Countermeasure technique against rock burst	133
References.....	133
4. Study on the long-term stability of the geological environment	135
4.1 Study on the evolution of the geological environment	135

4.1.1 Analysis of the evolution of the topography and geological structure	135
4.1.2 Investigation on paleoclimate	148
4.1.3 Investigation on present diastrophism.	150
4.1.4 Investigation on change of geological environment due to diastrophism	152
4.1.5 Analysis of evolution of the geological environment.....	154
4.2 Study on earthquakes	160
4.2.1 Previous earthquake activities	160
4.2.2 Present earthquake activities.....	161
4.2.3 Impact on geological environment due to activities of faults	167
4.2.4 Groundwater change due to earthquakes.....	169
References.....	172
5. Research and development on geological disposal technology.....	174
5.1 Improvement of reliability of disposal technology	174
5.1.1 Demonstration applicability of engineering technology	174
5.1.2 Demonstration applicability of repository design.....	187
5.2 Development of advanced safety assessment methodologies.....	192
5.2.1 Development of advanced safety assessment model.....	192
5.2.2 Confirmation of the applicability of safety assessment methodology	197
References.....	203
6. Construction of underground research facility.....	207
6.1 Layout of underground facilities	207
6.2 Surface facilities	208
6.3 Actual excavation works	210
6.4 Mucked rock and water treatment	215
6.5 Environmental impact monitoring	215
6.6 Private finance initiative.....	216
References.....	216
7. Conclusion	217
Appendix.....	219

図リスト

図 1.1.1-1 研究開発目標と研究開発項目の展開	3
図 1.1.1-2 深地層の研究施設（瑞浪超深地層研究所・幌延深地層研究所）	3
図 1.2.1-1 幌延深地層研究所計画のスケジュール	7
図 1.2.4-1 幌延深地層研究センターの位置と航空写真	9
図 1.2.4-2 幌延深地層研究所の地下施設の状況	10
図 1.2.4-3 調査研究の実施項目の推移	10
図 2.1.1-1 立坑壁面の地質観察結果の例（2008 年度実施分）	15
図 2.1.1-2 坑道壁面観察結果の 3 次元可視化の例（深度 250m 調査坑道掘削まで）	16
図 2.1.1-3 声問層と稚内層の地層境界の深度の確認位置	16
図 2.1.1-4 地山強度比に基づく岩盤領域の区分と亀裂の性状／透水性	17
図 2.1.1-5 稚内層浅部（換気立坑 250m）で観察される断層沿いの引張割れ目	18
図 2.1.1-6 稚内層中の主要な水みち（割れ目）の例	18
図 2.1.1-7 深度 350 m 調査坑道における断層分布	19
図 2.1.1-8 地表露頭調査における断層の特徴	19
図 2.1.1-9 換気立坑および東立坑近傍の地下浅部の地質構造の概念	20
図 2.1.1-10 地質構造モデル（2008 年度までの調査結果に基づき構築したモデル）	21
図 2.1.1-11 地質構造モデル（2011 年度までの調査結果に基づき構築したモデル）	21
図 2.1.2-1 表層水理調査位置（2011 年度）	23
図 2.1.2-2 研究用地周辺の領域における地下水涵養量の変化（2009 年）	23
図 2.1.2-3 研究用地周辺における地下水位観測用の浅層ボーリング孔の位置	24
図 2.1.2-4 研究用地周辺における地下水位の経時変化（2006 年～2009 年）	25
図 2.1.2-5 地下水の長期モニタリング孔の位置図	25
図 2.1.2-6 地下水圧の長期モニタリング結果の例（PB-V01 孔）	26
図 2.1.2-7 地下水圧の長期モニタリング結果の例（HDB-7 孔）	26
図 2.1.2-8 地質構造モデルと岩盤水理モデル	29
図 2.1.2-9 地下施設の建設に伴う湧水量の予測と実測の比較	29
図 2.1.2-10 調査の数量と全水頭誤差の相関性	30
図 2.1.2-11 各解析ケースにおける全水頭分布	31
図 2.1.2-12 声問層と勇知層の境界分布を見直した水理地質構造モデル	32
図 2.1.2-13 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	33
図 2.1.2-14 稚内層を均質化させた水理地質構造モデルによる地下水流動解析結果	33
図 2.1.3-1 換気立坑の集水リングにおける水質モニタリングの結果	35
図 2.1.3-2 坑道内で採取した地下水の塩分濃度の経時変化	36
図 2.1.3-3 坑道周辺の地球化学反応と水質変化の要因	37
図 2.1.3-4 坑道周辺の溶存ガスの脱ガスによる pH の変化	38
図 2.1.3-5 坑道周辺の地球化学反応と岩石鉱物の変化量	38
図 2.1.3-6 坑道周辺の溶存ガスの脱ガスにより形成される 不飽和帯の広がり の予測結果	38
図 2.1.3-7 東立坑周辺における地下水中の塩分濃度の空間分布	39
図 2.1.4-1 室内物理試験・力学試験の結果	40
図 2.1.4-2 初期応力測定 の位置	42

図 2.1.4-3 初期応力の測定結果（ウルフネット・下半球投影）	43
図 2.1.4-4 水平面内における最大・最小主応力の深度分布	43
図 2.1.4-5 水平面内における最大主応力の方向	44
図 2.1.4-6 岩盤力学概念モデル	45
図 2.1.4-7 立坑掘削を対象とした解析メッシュ	46
図 2.1.4-8 立坑掘削解析の結果（塑性域の分布と立坑掘削時の変形）	47
図 2.1.4-9 立坑壁面近傍における変位，応力，ひずみの深度分布	48
図 2.1.4-10 各深度における立坑壁面近傍の変位と切羽進行との関係	49
図 2.1.4-11 深度 250m 調査坑道掘削の予測解析モデル	50
図 2.1.4-12 深度 250m 調査坑道掘削時の内空変位と予測解析結果の比較	50
図 2.2-1 深度 140m 調査坑道における掘削影響試験のレイアウト	51
図 2.2-2 東立坑深度 140m における掘削影響試験のレイアウト	52
図 2.2-3 深度 350m 調査坑道における掘削影響試験のレイアウト	52
図 2.2-4 立坑掘削に伴う地中変位計測の結果の例（東立坑深度 140m）	53
図 2.2-5 立坑掘削に伴う先行変位の計測結果（換気立坑深度 250m）	54
図 2.2-6 立坑掘削前後の透水試験レイアウト（東立坑深度 350m）	54
図 2.2-7 立坑掘削前後の透水試験結果（東立坑深度 350m）	54
図 2.2-8 深度 140m 調査坑道における掘削影響試験（掘削前の間隙水圧分布）	55
図 2.2-9 深度 140m 調査坑道における掘削影響試験（透水試験結果）	56
図 2.2-10 深度 140m 調査坑道における掘削影響試験（間隙水圧および水分計測結果） ..	57
図 2.2-11 深度 140m 調査坑道における掘削影響試験（弾性波トモグラフィ調査結果） ..	58
図 2.2-12 深度 250m 調査坑道における掘削影響試験 （弾性波トモグラフィ調査レイアウト）	59
図 2.2-13 深度 250m 調査坑道における掘削影響試験（弾性波トモグラフィ調査結果） ..	60
図 2.2-14 深度 250m 調査坑道における掘削影響試験（弾性波屈折法探査結果）	61
図 2.2-15 深度 250m 調査坑道における掘削影響試験（透水試験結果）	61
図 2.2-16 深度 350m 調査坑道における掘削影響試験（埋設ひずみ計測レイアウト）	62
図 2.2-17 深度 350m 調査坑道における掘削影響試験（埋設ひずみ計測結果）	63
図 2.2-18 深度 350m 調査坑道における掘削影響試験（透水試験結果）	63
図 2.3.1-1 表層水理調査の体系	64
図 2.3.1-2 ライシメータによる観測の概念と設置状況	65
図 2.3.1-3 時間蒸発散量の変化（ライシメータとペンマン法の比較）	65
図 2.3.1-4 MP システムの概念図	66
図 2.3.1-5 SPMP システムの概念図	67
図 2.3.1-6 PIEZO システムの概念図	67
図 2.3.1-7 スタンドパイプ式 10 連装パッカーシステムの概念図	68
図 2.3.1-8 PIEZO システムによる地下水の揚水量とそれに伴う水圧の経時変化	68
図 2.3.1-9 電気探査の測線配置	69
図 2.3.1-10 電気探査の結果（測線 1）	70
図 2.3.1-11 電気探査の結果（測線 2）	71
図 2.3.1-12 立坑掘削時の湧水量の変化	71
図 2.3.1-13 換気立坑集水リングにおける地下水の水質モニタリング結果	72
図 2.3.1-14 東立坑集水リングにおける地下水の水質モニタリング結果	72

図 2.3.1-15 弾性波アクロスの概念.....	74
図 2.3.1-16 遠隔監視システムにおける観測データの処理・解析の概略的なフロー.....	74
図 2.3.1-17 遠隔監視システムの観測機器の配置	75
図 2.3.1-18 立坑掘削を想定した弾性波伝播シミュレーションの結果	75
図 2.3.1-19 遠隔監視システムの波動場シミュレーションの結果	76
図 2.3.1-20 研究所用地における主な施設と観測装置の配置	78
図 2.3.1-21 傾斜計データに含まれる周波数の高いノイズの例.....	78
図 2.3.1-22 傾斜計データに含まれる周波数の低いノイズを除去した例.....	78
図 2.3.1-23 傾斜計データ（計測結果と解析結果の比較）	79
図 2.3.1-24 地表傾斜シミュレーションのためのモデル.....	79
図 2.3.1-25 深度 140m 調査坑道掘削時の傾斜計データ（計測値と解析値の比較）	80
図 2.3.1-26 傾斜計データの一例（2012 年度まで）	81
図 2.3.2-1 光ファイバー式岩盤変位計の概念図	83
図 2.3.2-2 光ファイバー式岩盤変位計の構成.....	83
図 2.3.2-3 光ファイバー式岩盤変位計の原位置適用性試験レイアウト.....	83
図 2.3.2-4 光ファイバー式岩盤変位計による計測結果（換気立坑深度 70m）	83
図 2.3.2-5 光ファイバー式岩盤変位計による計測結果（東立坑深度 160m）	84
図 2.3.2-6 地下水の間隙水圧・水質モニタリング装置の概要（深度 140m 調査坑道）	85
図 2.3.2-7 間隙水圧・水質モニタリング装置による計測結果（深度 140m 調査坑道）	86
図 2.3.2-8 間隙水圧・水質モニタリング装置改良の概要（深度 140m 調査坑道）	86
図 2.3.2-9 改良した間隙水圧・水質モニタリング装置による計測結果 （深度 140m 調査坑道）	87
図 2.3.2-10 間隙水圧・水質モニタリング装置の概要（深度 350m 調査坑道）	87
図 2.3.2-11 間隙水圧・水質モニタリング実施箇所（深度 350m 調査坑道）	88
図 2.3.2-12 間隙水圧・水質モニタリング結果（深度 350m 調査坑道）	88
図 2.3.2-13 還元環境回復能力に関わる調査試験装置の概念	89
図 2.3.2-14 還元環境回復能力に関わる調査試験の結果（深度 140m 調査坑道）	90
図 2.3.2-15 還元環境回復能力に関わる調査試験装置（深度 250m 調査坑道）	90
図 2.3.2-16 物質移行試験装置の概念図.....	92
図 2.3.2-17 遊離ガスを試験区間から取り除くための試験手順.....	92
図 2.3.2-18 物質移動試験装置の改良前後の試験結果の比較 （揚水孔フローセルの測定結果）	93
図 2.3.2-19 原位置拡散試験装置の概念図	93
図 2.3.2-20 エアノッカー式ハンマー	94
図 2.3.2-21 マルチ光計測プローブのセンサー設置レイアウト	95
図 2.3.2-22 マルチ光計測プローブによる立坑掘削時の AE, 間隙水圧, 温度測定結果....	95
図 3.1.1-1 日常管理計測とステップ管理計測の主要項目および解析評価のフロー図	104
図 3.1.1-2 日常管理計測とステップ管理計測の実施予定位置.....	104
図 3.1.1-3 情報化施工プログラムに基づく計測データの解析評価結果の反映先	105
図 3.1.1-4 換気立坑深度 83m の覆工コンクリート応力計測結果	106
図 3.1.1-5 換気立坑深度 177m の覆工コンクリート応力計測結果	106
図 3.1.1-6 東立坑深度 120m のロックボルト軸力計測結果	107
図 3.1.1-7 東立坑深度 160m の計測結果.....	108

図 3.1.1-8 東立坑深度 220m を対象とした三次元逐次掘削解析のステップ	108
図 3.1.1-9 東立坑深度 220m における覆工コンクリートの円周方向の応力分布	109
図 3.1.1-10 東立坑深度 220m における応力計の配置	109
図 3.1.1-11 東立坑深度 220m における覆工コンクリート円周方向応力の解析結果と 計測結果	109
図 3.1.1-12 断面内の最大・最小円周方向応力発生箇所	110
図 3.1.1-13 深度 140m 東側調査坑道の鋼製支保応力計測結果	110
図 3.1.1-14 岩盤載荷試験の概要	111
図 3.1.1-15 岩盤載荷試験位置における岩盤の状況	111
図 3.1.1-16 原位置における岩盤載荷試験結果と事前予測結果の比較	112
図 3.1.2-1 地震計設置位置	113
図 3.1.2-2 2015 年 1 月 3 日と 2 月 3 日に発生した地震の震央分布 ($M \geq 2.5$)	113
図 3.1.2-3 2015 年 1 月 3 日と 2 月 3 日に発生した地震の加速度波形	114
図 3.1.2-4 サロベツ断層帯を対象とした想定地震動の時刻歴波形 (最大余震)	114
図 3.1.2-5 耐震性評価における解析モデル	115
図 3.1.2-6 覆工コンクリート最大圧縮応力深度分布 (地震発生時)	115
図 3.1.3-1 坑内火災を模擬した通気試験装置	117
図 3.1.3-2 坑内火災を模擬した通気試験の結果	118
図 3.1.3-3 坑内火災を模擬した通気挙動解析結果の一例	119
図 3.1.3-4 模型実験の模式図 (温度変化の測定)	120
図 3.1.3-5 模型実験による温度変化測定結果の一例	121
図 3.1.3-6 温度変化解析結果 (立坑 2 本・水平坑道 2 本モデル, 火災発生から 200 秒後)	122
図 3.1.3-7 西立坑深度 140m 接続部火災モデルでの通気解析結果 (火災発生 500 秒後)	122
図 3.2-1 三次元レーザースキャナによる岩盤壁面の形状計測	125
図 3.2-2 立坑壁面の割れ目分布と凹凸状況 (換気立坑深度 250.5~300m)	126
図 3.2-3 崩落深度と掘削深度の関係	127
図 3.2-4 換気立坑の覆工コンクリートのクラックと壁面の崩落状況	128
図 3.2-5 覆工コンクリート内の鉛直応力分布の解析結果	128
図 3.2-6 崩落範囲を反映した支保選定フロー	129
図 3.2-7 断層出現位置	129
図 3.2-8 西立坑深度 320m を対象とした三次元解析メッシュ	130
図 3.2-9 覆工コンクリート周方向応力の縦断方向の比較	130
図 3.2-10 覆工コンクリート水平変位の縦断方向の比較	130
図 3.3.1-1 深度 250m から施工するプレグラウト工の概念	131
図 3.3.1-2 深度 250m から施工したプレグラウト工の結果 (注入量とルジオン値)	132
図 3.3.1-3 立坑壁面における割れ目とグラウト材の充填に関する概念図	132
図 3.3.1-4 予測した断層とプレグラウト工による単位注入量	133
図 4.1.1-1 過去約 250 万年間の地質構造の変遷	135
図 4.1.1-2 上幌延地区の大曲断層付近の珪藻化石の保存状態の違い	136
図 4.1.1-3 研究所設置地区から幌延町市街地付近にいたる地下の地質構造	137

図 4.1.1-4 北進地区の地質，段丘および地すべり地形の分布（上）， 各地層の地形断面図（下）	138
図 4.1.1-5 浜里地区の北部に分布する砂丘の地形と年代	139
図 4.1.1-6 過去の海水準変動	143
図 4.1.1-7 幌延町北進地区とその周辺における地形区分図	144
図 4.1.1-8 データベースの設計思想（案）	147
図 4.1.2-1 最終氷期の最寒冷期（約 1.8 万年前）における植生の分布と 化石凍結割れ目の分布	148
図 4.1.2-2 トナカイ観光牧場付近の泥炭層に含まれる花粉	149
図 4.1.2-3 幌延地域とサハリンの位置関係	150
図 4.1.3-1 GPS，電磁観測点の位置および地震の震央位置	151
図 4.1.3-2 HDB-1 孔観測点と各 GEONET 観測点との基線長の変化	151
図 4.1.3-3 北海道北部地域における地殻の水平変位速度	152
図 4.1.4-1 北星園観測点で観測された比抵抗の変化	153
図 4.1.4-2 北星園観測点の地下における比抵抗構造	154
図 4.1.5-1 過去約 150 万年間の地形・地質構造の変遷	155
図 4.1.5-2 地下水流動と塩分濃度の長期的変遷の解析例	155
図 4.1.5-3 SMS における地下水流動解析の手順	156
図 4.1.5-4 地下水流動の解析結果をアニメーション表示するための描画システムの イメージ	156
図 4.1.5-5 地形変化の初期設定（左）と SMS3D による地形変化の出力例（右）	157
図 4.1.5-6 地下水流動解析の結果（例）	158
図 4.1.5-7 地形・地質構造の変遷モデル	159
図 4.1.5-8 解析結果の一例と解析の対象とした断面の位置	159
図 4.2.1-1 北海道とその周辺で発生した被害地震の分布	161
図 4.2.2-1 幌延町周辺に設置されている地震計の位置	162
図 4.2.2-2 北海道北部地域における地震の震源分布（2003.12.20～2006.9.30）	162
図 4.2.2-3 原子力機構の地震観測点で捉えられた観測結果に基づく北海道北部 地域における地震の震源分布（2003.12.20～2007.9.30）	163
図 4.2.2-4 北海道北部地域で発生した地震の震源分布（2007.10.1～2008.10.4）	164
図 4.2.2-5 2008 年 10 月 4 日 16 時 24 分頃に上幌延観測点地上（左図） および地下（右図）地震計で記録された南北方向成分の地震波形	164
図 4.2.2-6 北海道北部地域で発生した地震の震源分布（2007.10.1～2009.9.30）	165
図 4.2.2-7 ボーリング孔の位置および観測装置の設置場所	166
図 4.2.3-1 数値解析によって推定した大曲断層の活動に伴う 北海道北部地域の鉛直変動量	167
図 4.2.3-2 大曲断層より東側の地点における過去の岩石の方位	168
図 4.2.3-3 数値解析によって推定した地面の鉛直変動および応力軸の回転	169
図 4.2.4-1 平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の震央と幌延で観測された 地震波形	170
図 4.2.4-2 平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の発生前後における 地下水の間隙水圧のモニタリングデータ	171
図 5.1.1-1 HFSC を用いたコンクリートの圧縮強度試験結果（材齢 28 日）	175

図 5.1.1-2 水平坑道における低アルカリ性セメントの施工性に関する 原位置試験のフロー.....	176
図 5.1.1-3 鉄筋の腐食状況 (HFSC)	177
図 5.1.1-4 鉄筋の腐食状況 (OPC)	177
図 5.1.1-5 腐食面積率の変化.....	177
図 5.1.1-6 腐食減量率の変化.....	177
図 5.1.1-7 HFSC を用いた吹付けコンクリートの原位置施工試験範囲 (深度 140m 調査坑道)	179
図 5.1.1-8 原位置施工試験実施状況	179
図 5.1.1-9 HFSC を用いた吹付けコンクリートの原位置施工試験 (深度 250m 調査坑道)	180
図 5.1.1-10 採水装置のイメージ	181
図 5.1.1-11 低アルカリ性の吹付けコンクリート施工試験	182
図 5.1.1-12 深度 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 ..	183
図 5.1.1-13 低アルカリ性グラウト材料の原位置試験計画位置.....	184
図 5.1.1-14 低アルカリ性セメント系グラウト材料の原位置試験レイアウト	184
図 5.1.1-15 低アルカリ性グラウト材料の施工範囲.....	185
図 5.1.1-16 透水試験のボーリング孔配置 (西立坑側を見た図)	185
図 5.1.1-17 緩衝材定置試験装置製作状況	186
図 5.1.1-18 把持試験の様子	187
図 5.1.2-1 スメクタイトの部分密度に対する膨潤圧の実測データと計算値	188
図 5.1.2-2 スメクタイトの部分密度に対する様々な塩濃度条件での膨潤圧の実測値と 計算値	189
図 5.2.1-1 堆積岩中の拡散係数 (D_e) を各物質の水中の拡散係数 (D_o) で規格化した 値 (D_e/D_o) と間隙率の関係	193
図 5.2.1-2 岩石および粘土鉱物へのセシウムの収着分配係数と カリウム濃度との関係.....	195
図 5.2.2-1 地下施設周辺に分布する透水性割れ目の方向性に関する下半球投影図の例.	198
図 5.2.2-2 透水性割れ目のトレース長に関する累積分布図	199
図 5.2.2-3 三次元不連続割れ目ネットワークモデル	200
図 5.2.2-4 主な天然現象, プロセスおよび安全機能の時間フレーム	201
図 5.2.2-5 三次元割れ目ネットワークモデル (左) と地下水流動解析により得られた 全水頭分布 (右)	202
図 6.1-1 地下施設のレイアウト.....	207
図 6.1-2 調査坑道のレイアウト.....	208
図 6.2-1 地上施設の配置図 (H24.10.8 撮影)	208
図 6.2-2 地上設備の建設状況 (換気立坑)	209
図 6.2-3 地上設備の建設状況 (東立坑)	209
図 6.2-4 地上設備の建設状況 (その他の施設)	209
図 6.3-1 各坑道の掘削進捗.....	211
図 6.3-2 換気立坑の施工順序 (機械掘削)	211
図 6.3-3 東立坑の施工順序 (発破掘削の例)	212
図 6.3-4 西立坑の施工順序 (発破掘削・機械掘削)	213

図 6.3-5 立坑の施工状況	213
図 6.3-6 調査坑道の施工順序	214
図 6.3-7 調査坑道の施工状況	215

表リスト

表 2.1.1-1 声問層と稚内層の地層境界の深度	17
表 2.1.2-1 水収支の算出結果（2004 年 12 月～2009 年 11 月）	23
表 2.1.2-2 地下水の長期モニタリング孔の装置および観測期間	26
表 2.1.2-3 解析ケースの設定条件.....	30
表 2.1.2-4 声問層と勇知層の境界分布を見直した 水理地質構造モデルによる解析ケース.....	32
表 2.1.4-1 立坑掘削を対象とした解析用物性値	45
表 2.3.1-1 地下水の長期モニタリング孔の装置および観測年数	66
表 3.1.1-1 情報化施工プログラム策定時に抽出した計測項目と計測の目的	103
表 3.1.1-2 岩盤等級区分	105
表 4.1.1-1 幌延地域における過去約 13 万年間の気候および地質現象の編年表.....	141
表 4.1.1-2 幌延地域における過去約 260 万年間の気候および地質現象の編年表.....	145
表 5.1.1-1 HFSC を用いた覆工コンクリートの基本配合	178
表 5.1.1-2 HFSC を用いた覆工コンクリートの目標性能および試験結果	178
表 5.1.1-3 HFSC 吹付けコンクリートの配合（深度 140m 調査坑道原位置施工試験） ..	179
表 5.1.1-4 材齢 28 日での圧縮強度の比較（深度 140m 調査坑道原位置施工試験）	179
表 5.1.1-5 HFSC 吹付けコンクリートの配合（深度 250m 調査坑道原位置施工試験） ..	180
表 5.1.1-6 材齢 28 日での圧縮強度の比較（深度 250m 調査坑道原位置施工試験）	180
表 5.1.1-7 水質分析結果（2010 年度）	181
表 5.1.1-8 水質分析結果（2011 年度）	182
表 6.5-1 環境モニタリング調査項目.....	215

1. はじめに

幌延深地層研究計画は国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という）が、前身である核燃料サイクル開発機構（以下、「サイクル機構」という）以来、北海道幌延町で進めている堆積岩を対象とした総合的な研究開発計画であり、結晶質岩を対象として岐阜県瑞浪市で実施中の超深地層研究所計画と並んで、「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」¹⁾（以下、「原子力長期計画」という）や「原子力政策大綱」²⁾に示された深地層の研究施設計画の一つである。2015 年 5 月に閣議決定された特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針では、特定放射性廃棄物の最終処分に係る技術の開発に関する事項として、「国及び関係研究機関は、最終処分の安全規制・安全評価のために必要な研究開発、深地層の科学的研究等の基盤的な研究開発及び最終処分技術の信頼性の向上に関する技術開発等を積極的に進めていくものとする。」とされており³⁾、これらの研究を進めるための重要な施設のひとつである。

幌延深地層研究計画では、「深地層の科学的研究」と「地層処分研究開発」の二つの領域で研究開発を進めており、そのうち本報告書は、深地層の科学的研究を主な対象として、幌延深地層研究計画の第 2 段階である坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階における調査研究の成果を取りまとめたものである。なお、深地層の科学的研究のうちの地質環境の長期安定性に関する研究および一部を除く地層処分研究開発については、第 3 段階を開始した 2010 年度までの調査研究の成果の概要を取りまとめた。

1.1 深地層の研究施設計画の位置付けと役割

1.1.1 深地層の研究施設計画の位置付け

わが国における高レベル放射性廃棄物の地層処分計画は、サイクル機構（現、原子力機構）が 1999 年に公表した技術報告書「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―」⁴⁾（以下、「第 2 次取りまとめ」という）を技術的な拠り所として、2000 年 6 月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（2000 年、法律第 117 号、以下、「最終処分法」という）が公布され、地層処分の事業と安全規制の施策を進めていく事業段階へと進展した。この法律に基づいて同年 10 月に処分事業の実施主体である原子力発電環境整備機構（以下、「原環機構」という）が発足した。一方で、原子力安全委員会放射性廃棄物安全規制専門部会により、「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第 1 次報告）」⁵⁾が公表されるなど、処分事業と安全規制を進めていくうえでの基本的な枠組みが整備された。

この状況を踏まえ、原子力委員会は、原子力長期計画¹⁾において最終処分の実施に向けて必要となる取り組みと役割分担を示した。すなわち、実施主体である原環機構は「最終処分事業の安全な実施、経済性及び効率性の向上等を目的とする技術開発」を、また、国及び関係機関は「最終処分の安全規制、安全評価のために必要な研究開発や深地層の科学的研究等の基盤的な研究開発及び地層処分技術の信頼性の向上に関する技術開発等」を進めることとした。特に、サイクル機構には「これまでの研究開発成果を踏まえ、今後とも深地層の研究施設、地層処分放射化学研究施設等を活用し、地層処分技術の信頼性の確認や安全評価手法の確立に向けて研究開発を着実に推進すること」が求められた。

サイクル機構は、原子力長期計画などに示された研究開発の役割を踏まえ、第 2 次取りまとめ以降の事業段階における研究開発計画を策定し、2001 年に「高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の全体計画」⁶⁾（以下、「全体計画」という）として公表した。全体計画では、第 2 次取りまとめが示した「わが国における地層処分の技術的信頼性」をさらに向上させ、処分事業や安全規

制を支える技術基盤を強化していくという観点から、「実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認」と「地層処分システムの長期挙動の理解」の二つの研究開発目標を設定した（図 1.1.1-1）。前者は、これまでに整備してきた地層処分に関連する様々な技術を実際の地質環境へ適用することを通じて、その信頼性や実用性を確認していくことであり、後者は、処分システムに関連する様々な現象への理解をさらに深めながら、モデルやデータベースを改良し、評価の信頼性や裕度を高めていくことである。このうち、深地層の研究施設は、主として第 1 の目標である「実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認」を進めるための中核となる研究施設である。全体計画では、これら二つの研究開発目標を達成するために、「処分技術の信頼性向上」と「安全評価手法の高度化」から構成される「地層処分研究開発」と、その基盤となる「深地層の科学的研究」を設け、それぞれに研究開発課題を設定した（図 1.1.1-1）。原子力機構の発足後も、引き続き上記の二つの研究開発目標や研究開発課題に沿って研究開発を進めており、「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）（平成 17 年 10 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日）」⁷⁾（以下、「中期計画」という）において、「深地層の科学的研究」と「地層処分研究開発」の二つの領域を設けて研究開発を進めていくことや、北海道幌延町と岐阜県瑞浪市における二つの深地層の研究施設計画を進めていくことを明記している。

第 2 次取りまとめまでの研究開発は、具体的な地質環境を特定せずに、わが国における地層処分の成立性を科学的根拠に基づき概括的に示すことを目標として進められてきた。地層処分技術の信頼性をさらに向上させ、処分事業や安全規制の段階的な進展にあわせて、その技術基盤を強化していくためには、第 2 次取りまとめで示したような技術を実際の地質環境に適用して、その実用性や信頼性を確認することが重要となる。これを総合的に行う場が深地層の研究施設である。

深地層の研究施設については、わが国の地質環境の特性と分布を考慮して「複数の設置が望まれる」⁹⁾とされてきた。これを受けて、原子力機構では、堆積岩と塩水系地下水を対象とした幌延深地層研究計画（北海道幌延町）¹⁰⁾及び結晶質岩と淡水系地下水を対象とした超深地層研究所計画（岐阜県瑞浪市）¹¹⁾の二つの計画を進めている（図 1.1.1-2）。いずれも、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 段階からなる全体で 20 年程度の計画である。なお、原環機構が行う処分地選定のための調査も、最終処分法に基づいて、文献調査、概要調査、精密調査（前段の地上からの精密調査と後段の地下施設を利用した精密調査）と段階的に進められ、概要調査の開始から精密調査の終了までが 20 年程度の計画である¹²⁾。深地層へのアプローチの方法としては、おおむね、深地層の研究施設計画における第 1 段階が概要調査と地上からの精密調査に、また、第 2 段階及び第 3 段階が地下施設を利用した精密調査に対応する。このうち、概要調査のための技術基盤は、第 2 次取りまとめやその後の深地層の研究施設計画における第 1 段階での調査研究などにより整備されてきた。地下施設の設置を前提として行われる地上からの精密調査の技術基盤を強化していく観点から、深地層の研究施設計画の第 2 段階に得られる地質環境データに基づき、第 1 段階に構築した地質環境モデルを確認することなどを通じて地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性を評価し、その信頼性を高めていくことが重要である。国の基盤研究開発に関する全体計画^{13),14)}においても、地質環境調査評価技術に関するフェーズ 2 の段階目標を「精密調査の前半段階（地上からの調査）に必要となる技術基盤の整備・強化」、フェーズ 3 の段階目標を「精密調査の後半段階（地下調査施設での調査）に必要となる技術基盤の整備・強化」としている。

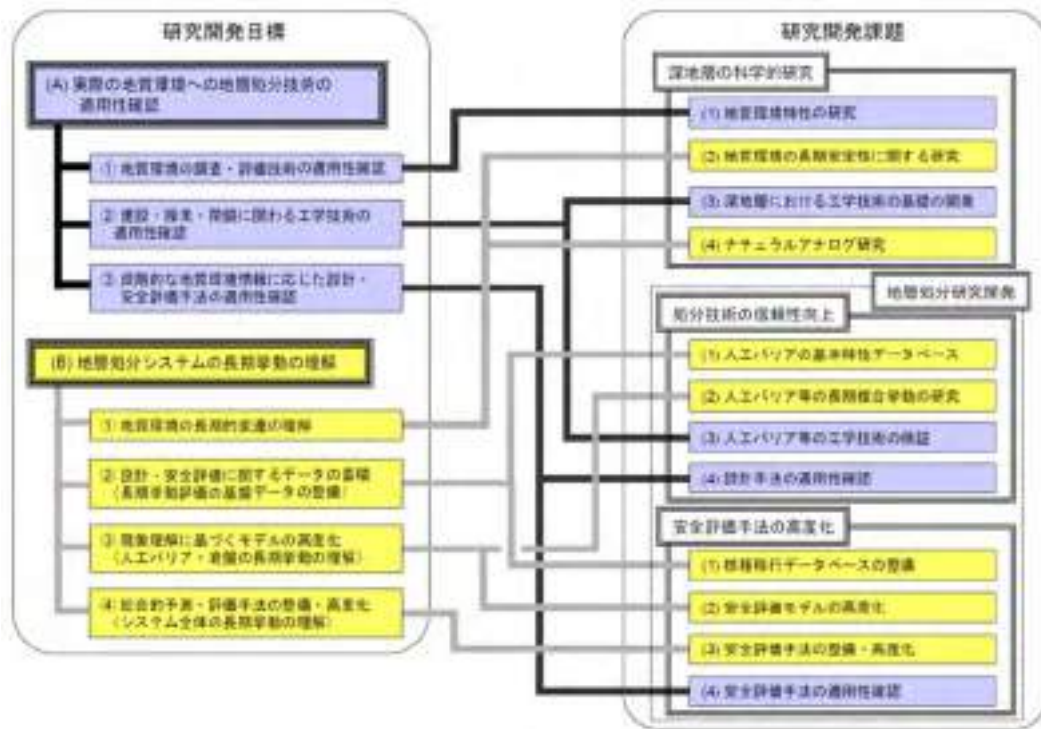


図 1.1.1-1 研究開発目標と研究開発項目の展開



図 1.1.1-2 深地層の研究施設（瑞浪超深地層研究所・幌延深地層研究所）

1.1.2 深地層の研究施設計画の目標

第2次取りまとめで示したような地層処分に関連する技術を実際の地質環境に適用し、その実用性や信頼性を確認することを通じて、地層処分技術の信頼性を向上させていくことが深地層の研究施設計画における大きな研究開発目標である。第2次取りまとめでは、東濃鉱山（堆積岩）や釜石鉱山（花崗岩）の既存坑道を活用した調査研究、あるいは海外の地下研究施設での共同研究の成果などに基づいて、地質環境を調査・評価するための要素技術や基盤的な手法を整備した。

また、これらの研究で得られた情報や文献情報を比較検討したうえで、現状あるいはその延長

上にある工学的技術により処分場を合理的に設計・施工し、地層処分の長期的な安全性を解析的に評価できる見通しなどを示した。第2次取りまとめは、質・量の異なる様々な分野の情報を組み合わせて解析・評価することにより、理論的に地層処分の成立性を示したといえる。

これを受け、二つの深地層の研究施設計画では、第2次取りまとめで示したような地層処分に関連する様々な技術を実際の地質環境に適用して、未擾乱の状態から段階的に調査研究を進めながら、順次得られてくる地質環境情報に基づき、実証的に地層処分技術としての信頼性を確認していく。調査研究を段階的に進めることにより、地下深部の地質環境についての理解を深め、また、理解の程度を確かめながら、これを体系的に調査・評価するための技術基盤を整備していく。

また、得られた地質環境情報に基づき、地下施設の設計・施工を通じて、地層処分に特有の「情報の取得や技術の実証を目的とした地下施設」を設置するための工学的技術の基盤を整備していく。

この「地質環境の調査・評価技術」と「深地層における工学的技術」の基盤を整備していくことが、深地層の研究施設計画における深地層の科学研究としての重要な技術課題である。加えて、幌延深地層研究計画では、幌延地域を事例として、地震活動や隆起・侵食などの天然現象に関する過去の記録や、過去から現在に至る地質環境特性の変遷に関する情報などを取得するための体系的な調査技術の整備を進める。

一方、深地層の科学研究を通じて得られた情報や知見、あるいは岩石や地下水の試料などは、処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化を目指した地層処分研究開発における重要な基盤情報として活用していく。その際、調査研究の進展に応じて得られる、より詳細な地質環境情報に基づき、第2次取りまとめで示したような「人工バリア性能に関する工学要素技術の信頼性、設計や安全評価の手法の適用性」などを確認しながら、それらの技術や手法の高度化を繰り返し図っていくことが重要となる。これにより、地層処分技術全体としての適用性を確認することができ、その検討結果を調査研究側へフィードバックすることにより、地質環境の理解度と安全評価上の感度や必要な調査量との関係などを検討することができる。また、調査研究の段階的な進展や地質環境に対する理解の程度に応じて、設計・施工に関する検討や解析・評価などを進める際の留意点などを、地層処分技術の知識基盤として整理することができる。さらに、深地層の研究施設における特定の地質環境下での調査・試験結果と比較検討しながら、条件を制御した室内・工学試験や放射性核種を用いた試験を行うことにより、地層処分システムに関連する様々な現象に対する理解や一般化を進め、設計・安全評価に係る技術の信頼性向上を図ることができる。なお、幌延深地層研究計画においては、深地層の科学研究とあわせて地層処分研究開発を進めており、特に、第2段階以降では、堆積岩における人工バリアの施工技術や性能を確認するための調査試験、安全評価モデルの信頼性向上に向けた原位置試験など、水平坑道を利用した研究開発を実施してきた。

1.1.3 深地層の研究施設計画の役割

深地層の研究施設計画で成すべきことを端的に表現すれば、「技術が現場で実際に、体系的に機能することの確認」といえる。この確認は、データの取得や技術の適用性評価といった課題設定のもと、「地質環境を的確に理解する」という目標意識によって達成される。その成果は、技術の最適化や改良・高度化を果たすと同時に、技術の精度や限界に対する理解と経験をもたらす。技術の限界を知ることは、処分事業における具体的な計画や安全規制に関する現実的な方法論を検討するうえでの基本となる。処分事業は最終処分法に基づいて段階的に進められ、これに伴い安全規制に関する指針なども段階的に整備されていくため、その技術基盤となる研究開発は、それらの進展に先行して進めることが必要である。特に、深地層の研究施設計画における各調査研究

段階の成果については、処分地の選定プロセスに対して適切なリードタイムをもって整備していくことが重要である。その一方で、1.1.2 に述べたように、深地層の研究施設計画で得られる実際の地質環境に関する情報や知見を活用して、地層処分システムの設計や安全評価手法に関する検討を進めていくことが重要となる。このような検討の過程を通じて、地質環境を合理的に調査・評価する技術や、限られた地質環境情報あるいは段階的に得られてくる情報に基づき、効率的に処分システムの設計や安全性の検討を進める手法などが整備されていくことになる。

地質環境を調査・評価し、その結果を踏まえて処分システムの設計・安全性の検討を進めていくうえでの大きな課題は、実際の地質環境が有する空間的な不均質性をどう理解し、これに起因する不確実性にいかに対処していくかである。そこには多くの試行錯誤や反復的なフィードバック作業が伴う。一般的に言えば、調査の量に応じて理解は深まるが、調査が進むにつれて調査量に対する理解の感度は鈍くなり、コストパフォーマンスは低下していく。地質環境を詳細に調べるためには大きな費用が必要となるが、いかに詳細な調査を行っても地質環境を完全に理解し尽くすことはできない。地層処分は本来的に、様々な不確実性を包含して成り立つシステムであるが、地質環境の理解に伴う不確実性の程度に応じて、評価に見込むべき安全裕度が違ってくる。実際の処分事業であれば、それが処分場の設計における安全率の取り方、ひいては建設コストに反映される。地質環境をどの程度まで理解し、残る不確実性を設計や安全評価上の裕度としてどう扱うかは、まさに総合的課題である。その中で、地質環境の調査・評価には、不確実性をできるだけ低減し、また、その幅を妥当な範囲に限定することが求められる。そのため、処分地の選定に向けた各調査段階においては、その段階で目標とすべき理解の程度や判断すべき要件と、次段階に保留すべき課題や不確実性などを見極めながら、調査の目的や内容を検討することが重要となる。また、同規模の調査であっても、対象とするサイトの地質・地形条件や社会的な制約などに応じて、得られる情報の精度や理解の程度は異なってくる。このような現実の条件に対応していくためには、調査技術や機器のカタログを整備するだけではなく、現場での経験を積み、実際の適用事例に学ぶことが重要である。深地層の研究施設計画での現実の地質環境を通して培った経験は、処分地選定の調査を進めるための技術を支え、安全規制を具体化していくための議論を支える知識として生かしていかなければならない。深地層の研究施設計画を進めていくにあたっては、学術的な成果や技術開発の実績だけではなく、失敗事例なども含めた経験やノウハウを重要な研究の成果と認識し、それらをできるだけ知識化、体系化して継承していく工夫が必要である。

このような認識のもと、深地層の研究施設計画においては、淡々と調査を進めるのではなく、調査の段階とその進展を明確に認識して、段階ごとに計画から実施、評価までの流れを意識的に繰り返していくアプローチをとっている。これは、調査の進捗と理解の進展や不確実性の低減との関係を明確に意識することにより、前段階の成果を次段階に反映しつつ調査全体を最適化し、収束を図っていくことを意図している。それは、理解や不確実性の程度を定量的にとらえ、経験を知識化していくプロセスでもある。

一方、深地層の研究施設は、「学術研究の場であるとともに、国民の地層処分に関する研究開発の理解を深める場としての意義を有し、その計画は、処分施設の計画と明確に区分して進めることが必要」¹⁾とされている。このため、深地層の研究施設においては、国内外の研究機関や専門家との研究協力を積極的に進め、また、広く学術的な研究の場としての活用を図るとともに、国民が地下深部の環境を実際に体験・学習し、研究者との対話を通じて、地層処分やその研究開発に対する理解を深める場としても整備していく。また、計画の内容や得られた成果については、地域の方々をはじめ広く国民に公開し、透明性の確保に努めていく。なお、深地層の研究施設計画を進めるにあたっては、放射性廃棄物を持ち込まないことや将来にわたって処分場としないことなどを関係自治体との協定により約束している。

1.2 幌延深地層研究計画における研究開発の概要

1.2.1 幌延深地層研究計画における研究開発の目標と課題

幌延深地層研究計画では、北海道幌延町に分布する堆積岩を対象として、以下の三つの全体目標を設定し、全体計画で示された深地層の科学的研究と地層処分研究開発に関する調査研究を実施している¹⁵⁾。

- ① 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備
- ② 深地層における工学的技術の基盤の整備
- ③ 実際の地質環境での地層処分技術の適用性確認

深地層の科学的研究については、全体計画において設定された「地質環境特性の研究」を「地質環境調査技術開発」と「地質環境モニタリング技術の開発」の2項目に分け、「地質環境の長期安定性に関する研究」及び「深地層における工学的技術の基礎の開発」とあわせて4項目の研究開発課題を設定している。一方、地層処分研究開発のうち、処分技術の信頼性向上に関しては、「人工バリア等の長期複合挙動の研究」、「人工バリア等の工学的技術の検証」及び「設計手法の適用性確認」の3項目の研究開発課題を、安全評価手法の高度化に関しては、「安全評価モデルの高度化」及び「安全評価手法の適用性確認」の2項目の研究開発課題をそれぞれ設定している。これらの研究開発課題については、地下施設の建設前から地下施設の完成後までの20年程度をかけて、三つの段階において調査研究を実施することにより取り組むこととしている（図1.2.1-1）。その第1段階となる地上からの調査研究段階においては、人工バリア等の長期複合挙動の研究と安全評価モデルの高度化を除く7項目の研究開発課題に関する調査研究を、第2段階の坑道掘削（地下施設建）時の調査研究段階においては、人工バリア等の長期複合挙動の研究を除く8項目の研究開発課題に関する調査研究を実施する。さらに、第3段階の地下施設での調査研究段階においては、9項目のすべての研究開発課題について調査研究を進めていく計画である¹⁵⁾。

幌延町には、白亜系を基盤岩として、古第三紀から前期更新世にかけての堆積岩類（羽幌層、曲渕層、宗谷夾炭層、鬼志別層、増幌層、稚内層、声間層、勇知層、更別層）、中期更新世以降の段丘堆積物群、及び完新世堆積物（砂丘、沖積層）が分布している¹⁶⁾。また、北北西－南南東走向の規模の大きな2本の断層と褶曲構造が認められ^{17),18)}、幌延町の東部及び西部には、活断層、撓曲、傾動などの第四紀の活構造も認められる¹⁹⁾。さらに、調査研究の対象となる新第三系堆積岩類（主として稚内層及び声間層）は透水性が比較的低いこと、地層中に存在する地下水が塩水系地下水と淡水系地下水の2種類に分類されること、地下水には溶存ガスが存在することなどが確認されており、幌延深地層研究計画では、このような地質環境の特徴を活かして調査研究を進めていく。

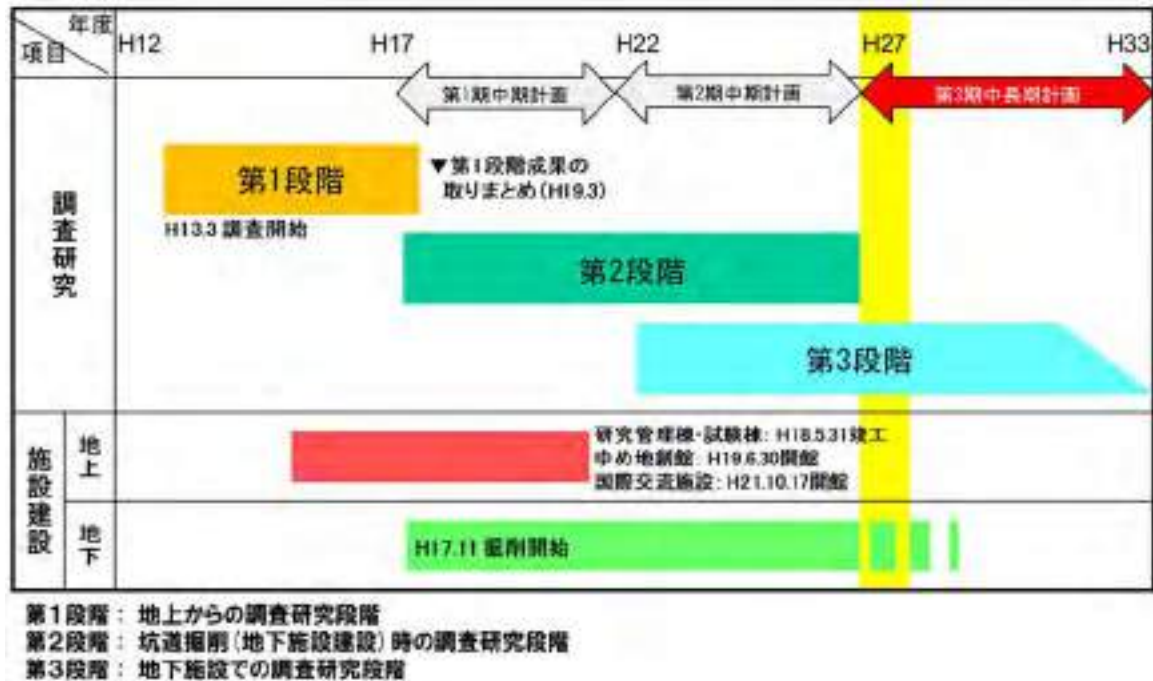


図 1.2.1-1 幌延深地層研究所計画のスケジュール

1.2.2 幌延深地層研究計画の経緯

幌延深地層研究計画は、2000年11月に国（科学技術庁、現、文部科学省）の立ち会いの下に、幌延町、北海道及びサイクル機構（現、原子力機構）間で「幌延町における深地層の研究に関する協定」を締結し、2001年3月より第1段階の調査研究を開始した。協定には、「研究実施区域に放射性廃棄物を持ち込むことや使用することはしない」、「深地層研究所を放射性廃棄物の最終処分を行う実施主体へ譲渡、貸与しない」、「研究終了後は地上の施設を閉鎖し、地下施設を埋め戻す」、「研究実施区域を将来とも放射性廃棄物の最終処分場とせず、幌延町に放射性廃棄物の中間貯蔵施設を将来とも設置しない」ことなどが定められている。2002年7月には、前年度に実施した既存情報を用いた調査や空中・地上からの広域調査の結果などを踏まえ、地質環境と安全に関する基本的な要件に基づき、また、社会的条件や環境条件なども加味して、地上からの調査研究を展開していく主な領域（研究所設置地区）として、幌延町北中部に位置する北進地区の3km四方を選定した。これに引き続き、社会的条件や道路・土地利用状況などの観点から、幌延町市街地北方約3kmの位置に地下施設及び地上施設を建設するための用地（研究所設置場所）を選定し、2003年3月にこの用地を購入取得した。2003年7月には研究所用地の造成に着手し、2005年11月からは地下施設工事（第Ⅰ期工事）に着工し、立坑の一つである換気立坑の掘削を開始した。第1段階の調査研究は、2006年3月末までの約5年間にわたって実施し、研究所設置地区及びその周辺において、空中物理探査及び地上からの様々な調査研究を展開するとともに、そこで得られた地質環境情報、あるいは岩石や地下水の試料などを利用した調査研究を進めてきた。2005年11月に開始した地下施設工事では、2006年9月に東立坑の掘削を開始し、2011年3月には3本目の立坑となる西立坑の掘削を開始した。この間、深度140mおよび深度250mの調査坑道を整備するとともに、深度350mの調査坑道は2014年1月に掘削が完了した。

1.2.3 幌延深地層研究計画における第1段階成果の概要^{20),21)}

第1段階における深地層の科学研究では、「研究所設置地区及び研究所設置場所の選定」、「地上からの地質環境の調査研究」、「深地層における工学的技術の基礎の開発」、「地下施設建設に伴う周辺環境への影響調査」を実施し、当初の目標どおり、坑道掘削前の深部地質環境を把握するとともに地下施設の設計・施工計画を策定し、第2段階以降における調査研究の課題を具体化した。「研究所設置地区及び研究所設置場所の選定」では、その実経験を通じて確認した地区・用地の選定上の要件や考慮すべき条件とその重要性を示した。「地上からの地質環境の調査研究」においては、調査結果の解釈とモデル化を通じて、地層処分にとって重要な地質環境の特性・プロセスを把握し、その過程で得られた技術的知見を踏まえて統合化データフローを構築した。また、地上からの調査研究における主要な調査技術の有効性や技術課題などを整理し、堆積岩を対象とした地上からの調査・評価技術の整備を図った。「深地層における工学的技術の基礎の開発」では、堆積岩（軟岩）中での地下施設の仕様・レイアウトを決定し、地下施設を安全に建設・維持するための設計・施工計画を策定した。地層処分研究開発においては、第1段階で得られた情報をもとに、処分場の設計技術や性能評価技術それぞれの適用性について論じるとともに、技術の改良や代替技術の開発状況を取りまとめた。「地下施設建設に伴う周辺環境への影響調査」では、環境調査などを継続し、地上及び地下施設の建設に伴う影響の低減を図る措置が適切であることを確認した。

1.2.4 幌延深地層研究計画における第2段階調査研究の概要^{22),23)}

1) 第2段階の調査研究の概要

本段階では、まず坑道の掘削を開始する。坑道の掘削と並行して、地質環境に関する情報を取得する。断層や割れ目帯、酸化還元境界などの重要な調査研究対象が認められた地点においては、必要に応じて立坑から小さな坑道などを設け、詳細な調査研究を実施する。これらの調査研究により取得する情報に基づき、第1段階において構築した地質環境モデル（数 km～数百 m 四方のスケール：施設スケール）の妥当性や調査・解析手法の有効性を確認する。また、坑道掘削に伴う地質環境の変化を実際に把握する。さらに、新たに取得する地質環境情報に基づき、地質環境モデル（数十 m～数 m 四方のスケール：坑道スケール）を構築し、坑道を利用した調査研究段階において展開する水平坑道周辺の地質環境を推定する。本段階においても、「地質環境の概念の提示→調査研究計画の立案→調査の実施→モデルの構築および解析→評価」といった一連の手順の繰り返しにより、地質環境の調査・解析・評価手法を段階的に整備する。これらの調査研究と合わせて、本段階までに取得する地質環境に関する情報を踏まえて、坑道を利用した調査研究の課題を抽出する。また、坑道を利用した研究段階における調査研究計画を詳細化および具体化する。一方、坑道の施工・維持・管理に関わる工学的技術については、既存技術の有効性を確認するとともに高度化を行う。なお、本段階において実施する調査研究の内容については、今後取得する地質環境に関する新たな情報や知見に基づいて、適宜最適化を図る。また、調査研究スケジュールについても、適宜見直しを行い、最適化を図る。

2) 調査研究の目標

第2段階では、以下の4つの目標を設定し調査研究を進める。

- ・坑道の掘削（地下施設の建設）に伴う一連の深部地質環境の調査・解析・評価技術の整備
- ・深地層における工学的技術の基盤の整備
- ・地層処分技術に関する工学技術の有効性の確認
- ・安全評価手法の適用性の確認

3) 地下施設の建設

地下施設は、深度 500m 程度の立坑（東立坑、西立坑、換気立坑）3 本と水平坑道から構成される。センターの位置と航空写真を図 1.2.4-1 に、地下施設イメージを図 1.2.4-2 に示す。一般に、本地域のような堆積岩中にはメタンなどの可燃性ガスが含まれていることが多く、研究所用地周辺においても可燃性ガスの存在が確認された。そのため、防爆仕様の機器の採用やガス濃度の監視などの可燃性ガス対策を行うとともに、「万が一いかなる箇所で火災などの災害が発生しても、通気制御などにより安全区画を確保し、入坑者が安全に地上まで避難することができる防災システム」を基本とした安全対策を実施する。

4) 調査研究の概要

上記の目標を達成するために、以下に示す実施項目を設定する。これらの実施項目は、調査研究の進捗などを踏まえて、逐次見直しを行ってきた（図 1.2.4-3）。主な実施項目を以下に示す。

- ・地質環境調査技術開発
 - ①地質環境データの取得
 - ②地上からの調査・解析手法の妥当性確認と地質環境モデルの構築
 - ③調査技術開発
- ・地質環境モニタリング技術の開発
- ・深地層における工学的技術の開発
- ・地質環境の長期安定性に関する研究
- ・地層処分研究開発
 - ①処分技術の信頼性向上
 - ②安全評価手法の高度化



図 1.2.4-1 幌延深地層研究センターの位置と航空写真



図 1.2.4-2 幌延深地層研究所の地下施設の状況

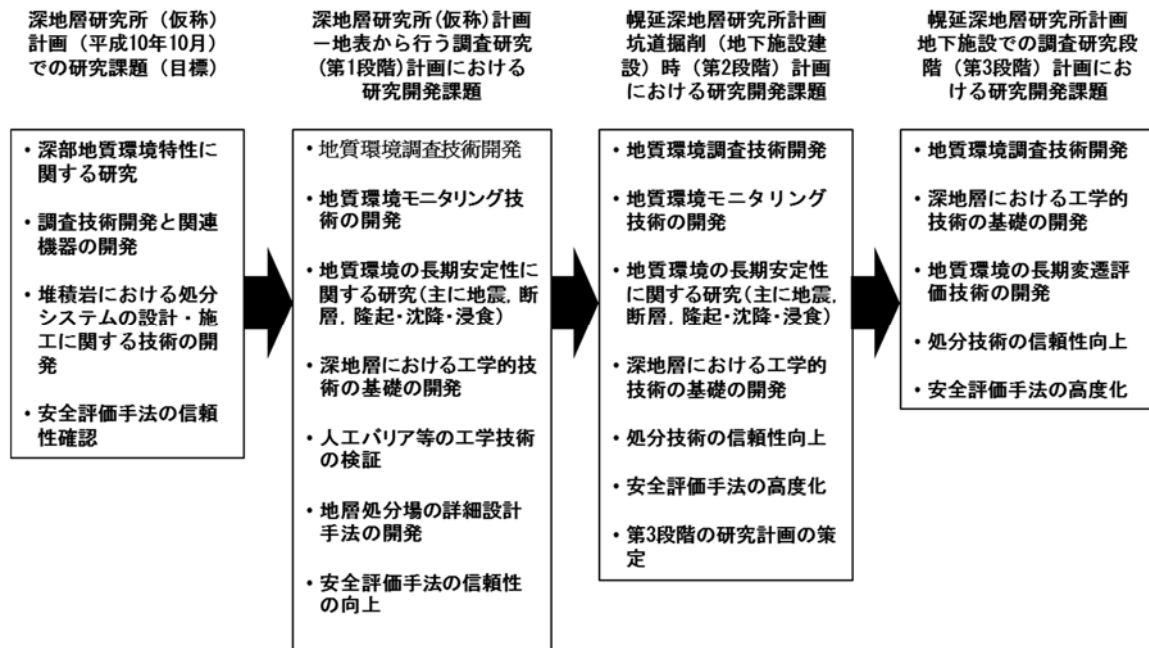


図 1.2.4-3 調査研究の実施項目の推移

1.3 幌延深地層研究所計画における第2段階成果の取りまとめ

1.3.1 第2段階成果の取りまとめの方針

幌延深地層研究計画の第2段階における調査研究の成果の取りまとめ（以下、「第2段階成果取りまとめ」という）は、2014年度までに行った第2段階の坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究によって得られた成果を取りまとめたものである。この取りまとめは、全体目標を踏まえて設定した第2段階における調査研究の目標¹⁴⁾に対して、その達成度を評価するとともに、第1段階の予測結果の妥当性を確認し、地上からの調査のあるべき姿を示すうえで重要な意味を持っている。

また、ここで取りまとめる成果は、中期計画^{7),8)}に示したように、原環機構による処分事業（例えば、処分地の選定に向けた概要調査や地上からの精密調査）と国による安全規制（例えば、精密調査地区選定に係わる環境要件や安全審査基本指針などの策定）の両面を支える地層処分技術の知識基盤として、特に地上から地下深部の地質環境を体系的に調査・評価するための技術基盤として、有効に活用されるものであることが重要となる。

第1期中期計画期間（2005年10月1日～2010年3月31日）における研究成果については「CoolRepH22」²⁴⁾として取りまとめた。第2期中期計画期間（2010年4月1日～2015年3月31日）における研究成果については「CoolRepH26」として取りまとめるとともに、取りまとめ報告書²⁵⁾を発行している。このため、第2段階成果取りまとめにおいては、「第2段階目標のうち、坑道の掘削に伴う一連の深部地質環境の調査・解析・評価技術の整備、および、深地層における工学的技術の基盤の整備について、主に坑道掘削に伴う地質環境の変化の把握と、適用した工学的技術の有効性の確認を示すことに重点を置いて取りまとめること」を基本的な方針とし、地質環境の長期安定性に関する研究ならびに地層処分研究開発（一部を除く）については、第3段階を開始した2010年度までの調査研究の成果の概要を取りまとめることとした。

1.3.2 報告書の構成

本報告書は、幌延深地層研究計画の第2段階における調査研究の成果^{26),27),28),29),30),31),32),33),34)}を取りまとめたものであり、全7章から構成される。2章「地質環境調査技術開発」では、各分野における地質環境データの取得、地上からの調査・解析手法の妥当性確認と地質環境モデルの構築ならびに調査技術・調査機器開発の成果について示す。3章「深地層における工学的技術の基礎の開発」では、地下施設建設に適用した工学的技術の有効性について示す。4章「地質環境の長期安定性に関する研究」では、地質環境の長期変遷に関する研究ならびに地震研究の成果について示す。5章「地層処分研究開発」では、処分技術の信頼性向上ならびに安全評価手法の高度化に関する研究開発の成果について示す。6章「地下施設建設」では、立坑および水平坑道の掘削の実績等について取りまとめる。最後の7章「おわりに」では、2章から6章までの記述を踏まえて、第2段階における調査研究の成果を総括するとともに、今後の展開について記述する。

参考文献

- 1) 原子力委員会：“原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画”，平成12年11月24日（2000）。
- 2) 原子力委員会：“原子力政策大綱”，平成17年10月11日（2005）。
- 3) 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針：平成27年5月22日閣議決定。
- 4) 核燃料サイクル開発機構：“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—”，総論レポート，JNC TN1400 99-020，634p.（1999）。
- 5) 原子力安全委員会放射性廃棄物安全規制専門部会：“高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全

- 規制の基本的考え方について（第1次報告）”，平成12年11月6日（2000）。
- 6) 核燃料サイクル開発機構研究開発課題評価委員会：“平成13年度研究開発課題評価（中間評価）報告書 研究課題「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の全体計画」”，JNC TN1440 2001-008, 265p.（2001）。
 - 7) 日本原子力研究開発機構：“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）（平成17年10月1日～平成22年3月31日）”，（2005）。
 - 8) 日本原子力研究開発機構：“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）（平成22年4月1日～平成27年3月31日）”，（2010）。
 - 9) 原子力委員会：“原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画”，平成6年6月24日（1994）。
 - 10) 核燃料サイクル開発機構：“深地層研究所（仮称）計画 地表から行う調査研究（第1段階）計画”，JNC TN1410 2001-001, 32p.（2001）。
 - 11) 核燃料サイクル開発機構：“超深地層研究所 地層科学研究基本計画”，JNC TN7410 2001-018, 103p.（2002）。
 - 12) 原子力発電環境整備機構：“特定放射性廃棄物の概要調査地区等の選定手順の基本的考え方について”，官報，号外第238号，平成13年11月8日（2001）。
 - 13) 資源エネルギー庁，日本原子力研究開発機構：“高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画”，（2007）。
 - 14) 地層処分基盤研究開発調整会議：“地層処分基盤研究開発に関する全体計画【研究開発マップ】（平成25年度～平成29年度）”（2014）。
 - 15) 核燃料サイクル開発機構研究開発課題評価委員会：“平成16年度研究開発課題評価（中間評価）報告書 評価課題「幌延深地層研究計画」”，JNC TN1440 2005-002, 250p.（2005）。
 - 16) 岡孝雄，五十嵐八枝子：“北海道・天塩平野北部の上部新生界一特に勇知層・更別層の堆積相と花粉化石層序について”，加藤誠教授退官記念論文集，pp.341-365（1997）。
 - 17) 岡孝雄：“北海道の後期新生代堆積盆の分布とその形成に関わるテクトニクス”，地団研専報，No.31，pp.295-320（1986）。
 - 18) 秋山雅彦，保柳康一：“新第三系，天北地域”，「日本の地質1 北海道地方」，共立出版会，pp.105-106（1990）。
 - 19) 中田 高，今泉俊文（編）：“活断層デジタルマップ”，東京大学出版会（2002）。
 - 20) 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：“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 2007-004, 434p.（2007）。
 - 21) 藤田朝雄，谷口直樹，松井裕哉，棚井憲治，西村繭果，小林保之，平本正行，前川恵輔，澤田淳，牧野仁史，笹本 広，吉川英樹，柴田雅博，若杉圭一郎，濱 克宏，操上広志，國丸貴紀，石井英一，竹内竜史，中野勝志，太田久仁雄，瀬尾俊弘，宮原 要，内藤守正，油井三和：“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「地層処分研究開発」”，JAEA-Research 2007-045, 140p.（2007）。
 - 22) 核燃料サイクル開発機構：“幌延深地層研究計画 坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階（第2段階）計画”，JNC TN5400 2005-002, 47p.（2005）。
 - 23) （編）岩月輝希，佐藤治夫，野原 壮，棚井憲治，杉田 裕，天野健治，藪内 聡，大山卓也，天野由記，横田秀晴，新里忠史，常盤哲也，稲垣大介，阿部寛信，中山 雅，操上広志：“幌延深地層研究計画 第2期中期計画（平成22年度～平成26年度）調査研究計画書”，JAEA-Research 2011-009, 73p.（2011）。

- 24) 梅木博之, 日置一雅, 大澤英昭, 藤田朝雄, 柴田雅博, 牧野仁史, 岩月輝希, 竹内真司, 石丸恒存 (編): “地層処分研究開発成果取りまとめ: CoolRep H22 “, JAEA-Review 2010-073, 255p. (2011).
- 25) 濱 克宏, 水野 崇, 笹尾英嗣, 岩月輝希, 三枝博光, 佐藤稔紀, 藤田朝雄, 笹本 広, 松岡稔幸, 横田秀晴, 石井英一, 津坂仁和, 青柳和平, 中山 雅, 大山卓也, 梅田浩司, 安江健一, 浅森浩一, 大澤英昭, 小出 馨, 伊藤洋昭, 長江衣佐子, 夏山諒子, 仙波 毅, 天野健治: “第2 期中期計画期間における研究成果取りまとめ報告書; 深地層の研究施設計画および地質環境の長期安定性に関する研究”, JAEA-Research 2015-007, 269p. (2015).
- 26) 松井裕哉, 中山 雅, 真田祐幸 (編): “幌延深地層研究計画 平成 18 年度調査研究成果報告”, JAEA-Research 2007-092, 83p. (2007).
- 27) 中山 雅, 真田祐幸, 杉田 裕 (編): “幌延深地層研究計画 平成 19 年度調査研究成果報告”, JAEA-Research 2008-074, 72p. (2008).
- 28) 中山 雅, 佐野満昭, 真田祐幸, 杉田 裕 (編): “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, 68p. (2009).
- 29) 中山 雅, 佐野満昭, 真田祐幸, 杉田 裕 (編): “幌延深地層研究計画 平成 21 年度調査研究成果報告”, JAEA- Review 2010-039, 67p. (2010).
- 30) 中山 雅, 澤田純之, 杉田 裕 (編): “幌延深地層研究計画 平成 22 年度調査研究成果報告”, JAEA- Review 2011-033, 80p. (2011).
- 31) 中山 雅, 天野健治, 常盤哲也, 山本陽一, 大山卓也, 天野由記, 村上裕晃, 稲垣大介, 津坂仁和, 近藤桂二, 横田秀晴, 南條 功, 新里忠史, 田中真悟, 大原正嗣, 神 和美: “幌延深地層研究計画 平成 23 年度調査研究成果報告”, JAEA-Review 2012-035, 63p. (2012).
- 32) 中山 雅 (編): “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, 63p. (2013).
- 33) 花室孝広 (編): “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. (2014).
- 34) 花室孝広 (編): “幌延深地層研究計画 平成 26 年度調査研究成果報告”, JAEA- Review 2015-017, 95p. (2015).

2. 地質環境調査技術開発

2.1 地上からの調査・解析手法の妥当性確認と地質環境モデルの構築・更新

第2段階では、深度380mまでに展開される立坑と水平坑道の掘削と並行して地質環境情報の取得を継続した。断層や割れ目帯、酸化還元境界などの重要な調査研究対象が認められた地点においては調査坑道から小さな坑道やボーリング孔などを掘削し、詳細な調査研究を実施した。これらの調査研究により取得する情報に基づき、第1段階で構築した地質環境モデル（数km～数百m四方のスケール：施設スケール）の妥当性や調査・解析手法の有効性を確認するとともに、それまでの情報に基づいて、地上からの地質環境調査に必要な調査解析技術や得られる情報の品質や不確実性を把握した。また、坑道掘削に伴う地質環境の変化（坑道掘削影響）を実際に把握するための原位置測定を調査坑道で実施し、地下施設の建設過程における周辺地質環境の変化の過程や程度などについて把握した。更に、新たに取得する地質環境情報に基づき、地質環境モデル（数十m～数m四方のスケール：坑道スケール）を構築し、坑道を利用した調査研究段階（第3段階）において展開する調査坑道周辺の地質環境を推定した。以下に、各分野において実施した調査試験について、主な結果を示す。

2.1.1 地質構造

第2段階の調査研究として、坑道掘削時に壁面地質観察（声問層、稚内層）やボーリング孔を利用した岩芯地質観察・孔壁観察（声問層、稚内層）を実施し、それにより得られる割れ目の分布・連続性・連結性・方向性・幾何学的形状・地質学的産状などのデータを整理し、それに基づいて、第1段階で構築した概念と予測した地質分布の妥当性を確認した。さらに、その結果に基づいて、地上からの調査研究段階で実施した割れ目に関する一連の調査手法やモデル化・解析方法を体系的に整備するとともに、それらの適用範囲を明確にした。モデルの構築・更新では、坑道掘削時の壁面地質観察およびボーリング孔を利用した岩芯地質観察・孔壁画像観察を継続し、得られた地質データを用いて地質構造モデルを必要に応じて確認し、主要な地下水の流動経路となり得る割れ目の三次元分布やネットワーク構造を再解釈するとともに、内部構造や組織、地質構造発達過程に関する情報を取得した。それら新規に得られるデータと既存データを統合し、各地質環境モデルや安全評価モデルの基盤となる地質構造モデルを更新した。

1) 岩盤の地質学的不均質性

立坑や水平坑道において地質観察を行い、岩相の分布、断層の性状、湧水状況などについて把握した。図2.1.1-1に声問層と稚内層の境界が換気立坑に出現した2008年度の観察結果を示す。また、すべての立坑壁面観察の結果は付録Aに示す。また、図2.1.1-2に坑道壁面観察結果の3次元可視化の例を示す。坑道壁面における地質観察の結果や、地表および坑道内からのボーリング調査で採取したコアの鉱物組成分析などの結果も含めて、対象となる岩盤の分布や形状、それらの不均質性について把握した結果を以下に示す。

- ・声問層と稚内層の地層境界については、シリカ鉱物相の違いにより決定されており、第2段階においては、坑道壁面の地質観察や坑道からのボーリング調査で採取したコアの鉱物組成分析に基づき、第1段階と同様の識別で声問層と稚内層の地層境界を区分できることや、第1段階で得られた声問層、稚内層の空隙率や硬度の範囲内に値が分布していることが確認された¹⁾。
- ・深度250m調査坑道および同坑道から掘削したボーリング孔において確認された声問層と稚内層の境界は、第1段階で予測した深度と数mの違いしか認められなかった（図2.1.1-3および表2.1.1-1）¹⁾。

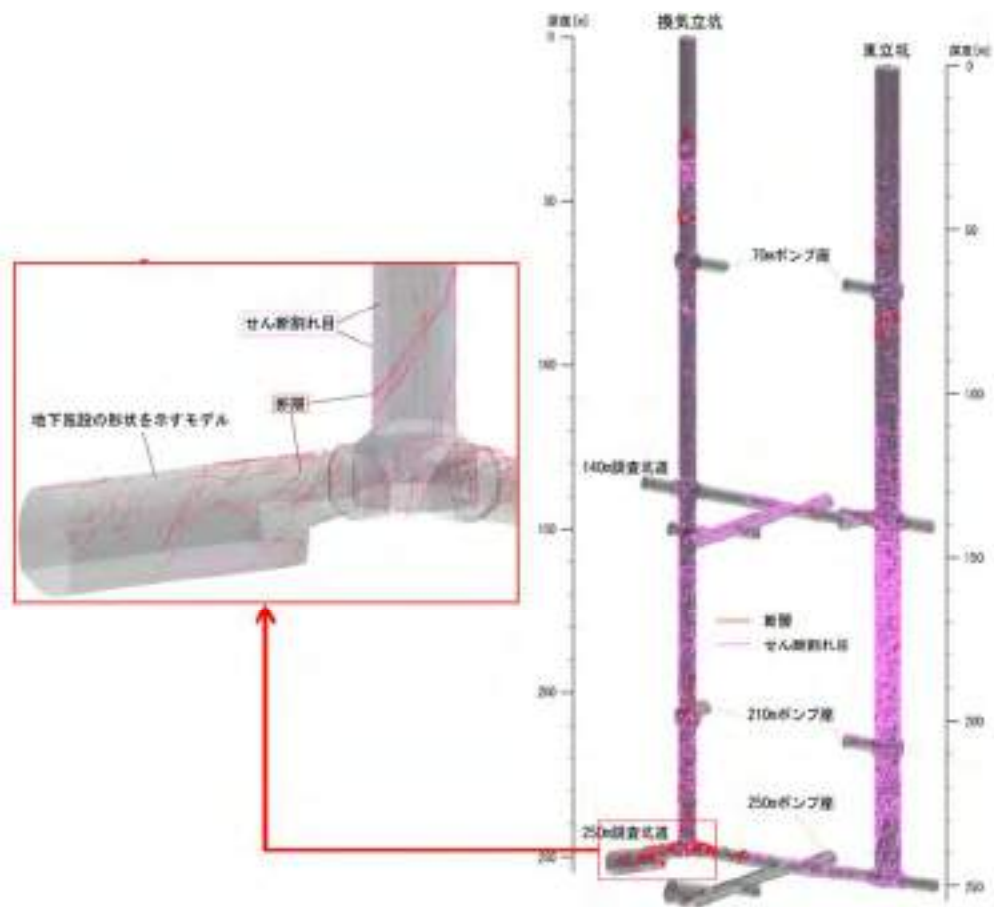


図 2.1.1-2 坑道壁面観察結果の 3 次元可視化の例（深度 250m 調査坑道掘削まで）

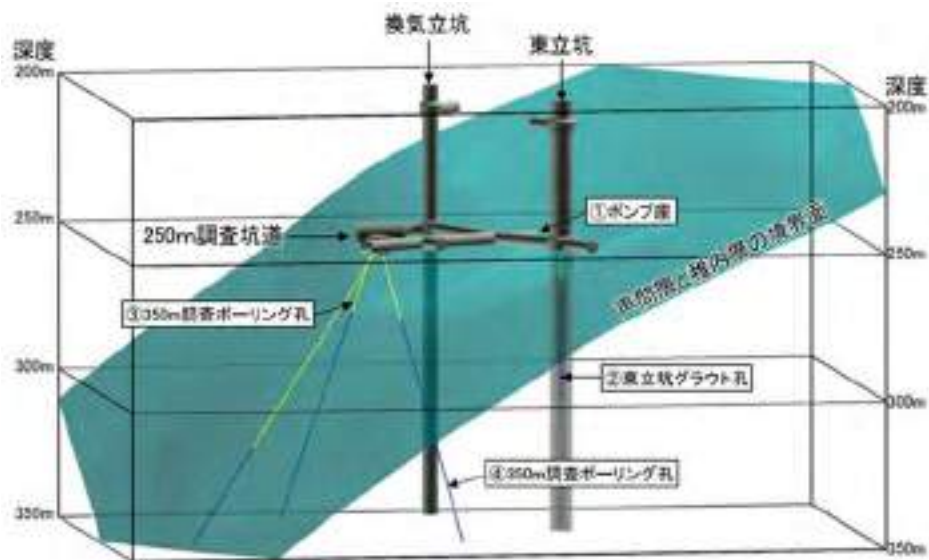


図 2.1.1-3 声間層と稚内層の地層境界の深度の確認位置

表 2.1.1-1 声問層と稚内層の地層境界の深度

確認位置	観察・分析種別	予測深度	確認深度
①	ポンプ座の底盤地質観察	GL-249m	GL-251m
②	東立坑グラウト孔のコアの分析結果	GL-260m	GL-261m
③	350m 調査ボーリング孔のコアの分析結果	GL-275m	GL-274m
④	350m 調査ボーリング孔のコアの分析結果	GL-276m	GL-275m

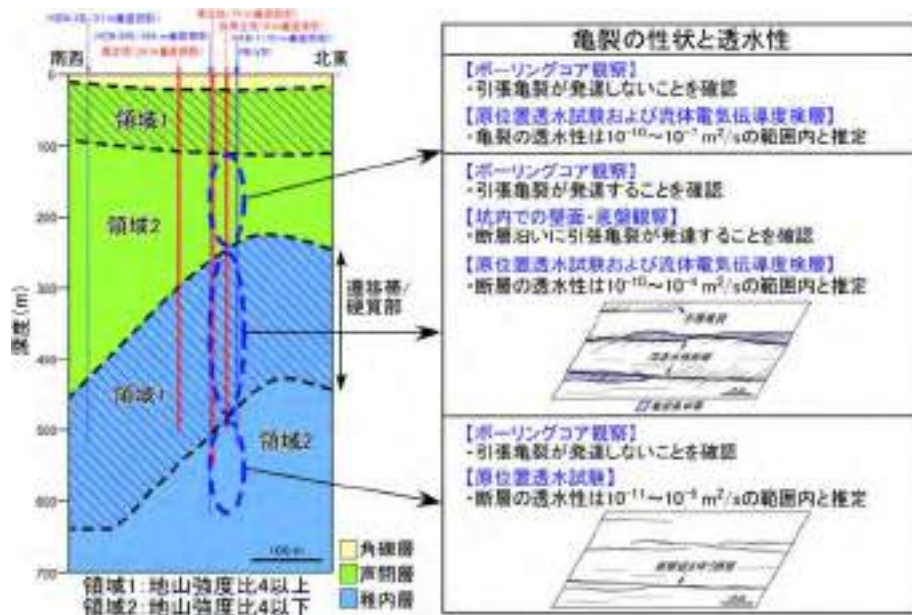


図 2.1.1-4 地山強度比に基づく岩盤領域の区分と亀裂の性状／透水性

2) 物質の移動経路として重要な構造（断層・割れ目）

地質・地質構造に関する情報は、各分野のモデル化や数値解析を行うにあたり、基礎的情報として重要である。特に、断層や割れ目については地下水の主要な移行経路となるため、それらを把握することが重要である。各岩相における断層や割れ目の特徴について把握した結果を以下に示す。

- ・坑道壁面および底盤の地質観察の結果から、声問層の断層・割れ目のほとんどが湧水を伴わないことが確認された^{5),6)} (図 2.1.1-1)。
- ・声問層中の割れ目の特徴について、坑道壁面および底盤の地質観察結果から、稚内層との境界付近ではトレースの長さが数 m 以上の連続性・連結性を有する断層が複数認められるが、それ以外の箇所では断層のトレースの長さはいずれも数 m 以下であり、その他の割れ目についても数十 cm 程度と短いことが確認された^{5),6)}。
- ・稚内層中の断層・割れ目については、坑道壁面および底盤の地質観察などの結果から、第 1 段階のモデルで予測されたスプレークラック（引張割れ目）が層理面に交差する断層沿いに発達していることが確認された⁷⁾ (図 2.1.1-5)。
- ・稚内層中においては、層理面に交差する断層と断層沿いの割れ目が主要な水みちであることが確認された (図 2.1.1-6)⁷⁾。
- ・地表から実施した複数のボーリング調査によって、稚内層中で抽出された北東－南西走向または東－西走向を有する 19 条の高角な断層のうち、深度 350m 調査坑道と交差すると推定されていた 6 条の断層について、深度 350m 調査坑道における地質観察の結果から、断層の分布の

連続性については推定結果と異なる箇所が認められたものの、その位置や方向については推定結果と整合的であることが確認された（図 2.1.1-7）⁸⁾。

- 2013 年 2 月に、深度 350m 調査坑道の S1 断層が分布する区間（東周回坑道の北側）の掘削作業中に湧水の一時的な増加があった。これは主要な水みちである交差断層である F1 断層が層理面にほぼ平行な断層である 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た。このため、層理面に平行な断層とそれと交差する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稚内層の同様な構造が地表に分布する地点において剥ぎ取り露頭調査を行った。その結果、それらの断層の一部の交差部では、層理面に平行な断層とそれと交差する断層がオーバーラップして分布し、その部分では、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）が観察された⁸⁾（図 2.1.1-8）。

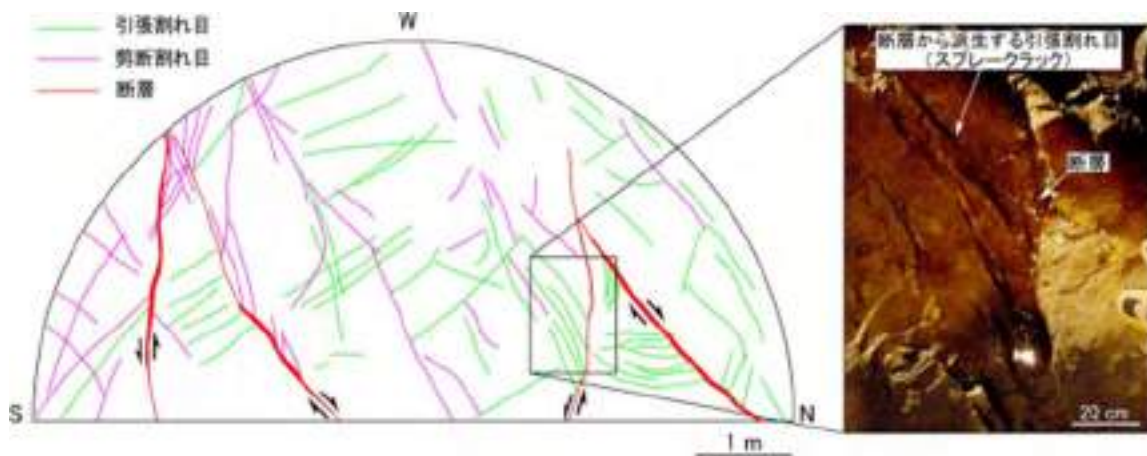


図 2.1.1-5 稚内層浅部（換気立坑 250m）で観察される断層沿いの引張割れ目
（北東－南西走向と東西走向の層理面に高角な断層が連結している状況が観察された。）

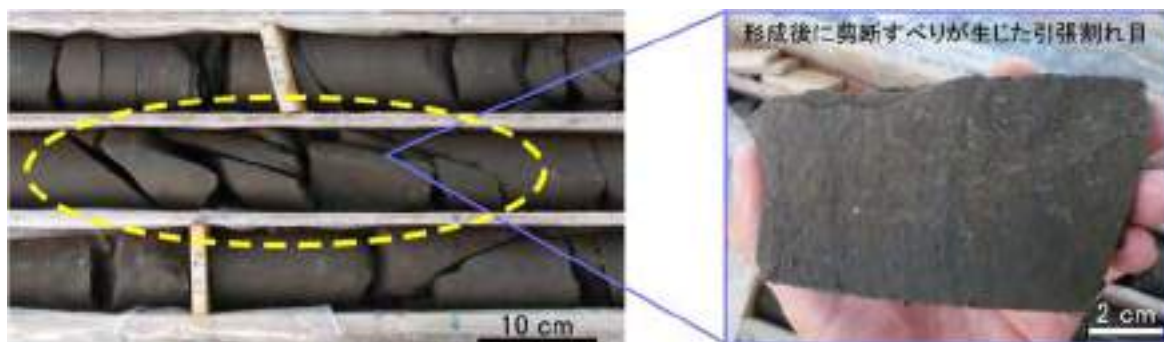


図 2.1.1-6 稚内層中の主要な水みち（割れ目）の例
（換気立坑底盤からの鉛直ボーリング孔で観測された湧水割れ目（深度 248.6m））

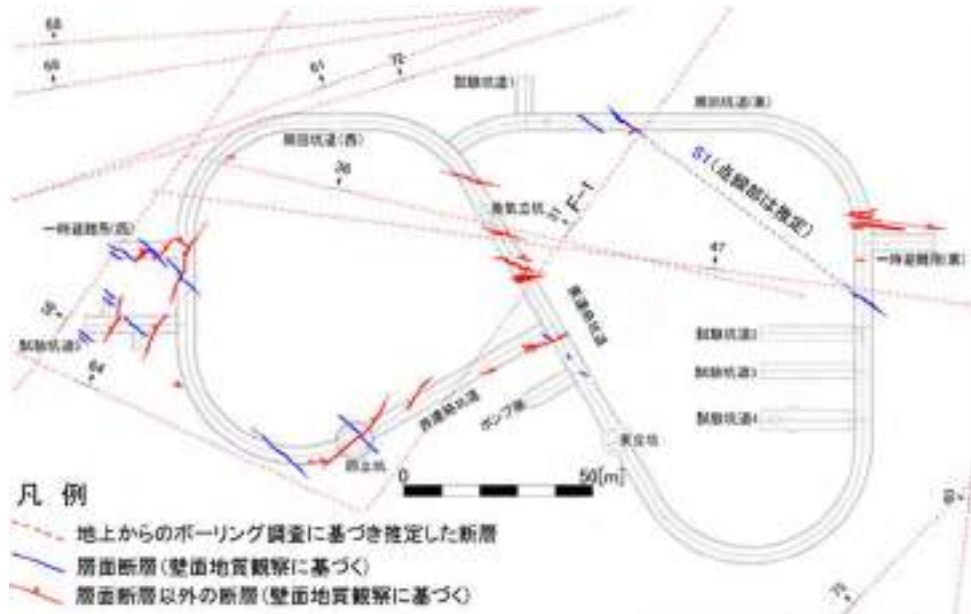


図 2.1.1-7 深度 350m 調査坑道における断層分布

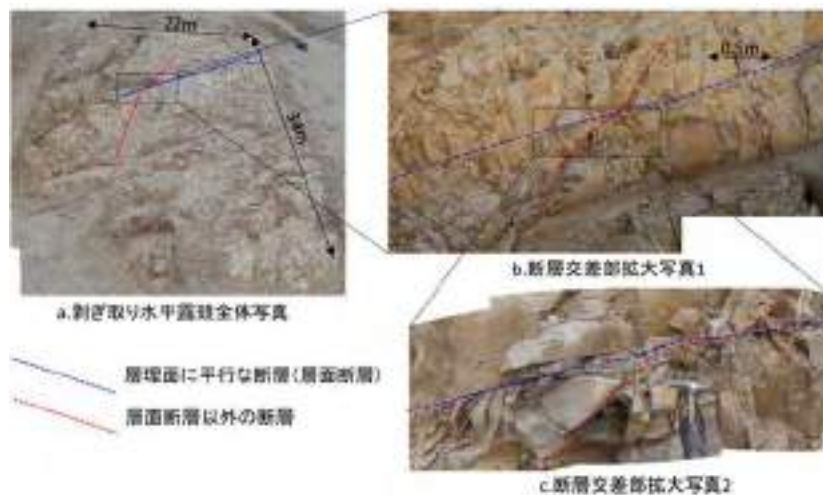


図 2.1.1-8 地表露頭調査における断層の特徴

3) 地質構造モデル

地質構造モデルについては、1) に示した坑道壁面の地質観察結果に基づき、第 1 段階で構築したモデルの妥当性を確認することで、第 2 段階で得られた情報の有効性を示した。第 1 段階の調査結果に基づくモデルの主な特徴としては以下のとおりである。

- ・声問層中の割れ目は連続性・連結性（あるいは開口性）に乏しく、それらは地下水の流れに大きな影響を与えていない⁹⁾。
- ・稚内層中の割れ目は層理面にほぼ平行な割れ目（研究所設置地区では北西－南東走向で南西傾斜）と層理面に交差する割れ目（同地区では東西走向で高角度傾斜）に大別され、後者の割れ目の一部が地下水の主要な水みちとなっている¹⁰⁾。
- ・稚内層において、断層運動に伴って引張割れ目が発達しやすい領域（研究所設置地区では概ね深度 400m 以浅の稚内層）では層理面に交差する断層（破碎物を伴うせん断割れ目）が引張割れ目（スプレークラック）の派生を伴って発達しており、それらが特に高い透水性を持つ¹¹⁾。

第2段階ではこれらのモデルの妥当性確認と更新を行うことが重要となる。以下に、第2段階の地質構造モデルの更新の状況と、第1段階モデルの妥当性の確認について、主な結果を示す。なお、地質構造モデルの更新にあたっては、地層ごとに地形の分布や形状が異なる特徴(4.1.1 参照)を踏まえて、地表踏査データと地形データを用いた解析を行い、第1段階に構築した幌延地域の地質図を更新し、地質構造モデルに反映した^{12),13)}。

- ・図 2.1.1-9 に立坑周辺の浅層ボーリング孔の調査結果に基づく地下浅部の地質構造概念(立坑掘削前)と換気立坑および東立坑の壁面観察結果に基づく地下浅部の地質構造概念(立坑掘削後)を示す。先行して実施した浅層ボーリング孔のコア観察の結果から声問層の物理的風化部と判断していた岩相は、立坑における壁面の地質観察の結果から、礫同士が接し合う礫支持の角礫層であることなどが分かった。このように立坑の壁面を詳細に観察することで、ボーリング調査では予測できなかった岩盤の状態を知ることができ、ボーリング調査での予測結果を立坑で確認することの重要性が改めて示された。
- ・図 2.1.1-10 に、2008 年度までの坑道壁面の地質観察や既存のボーリング調査におけるコア観察で得られた地質・地質構造に関するデータ(地層や断層の分布など)を用いて更新した地質構造モデルを示す。モデルでは、地下施設周辺の地層や高透水性ゾーンの詳細な分布を三次元的に表現している。
- ・2008 年度までの情報に基づいて更新したモデルに対して声問層と稚内層の境界深度が立坑位置とその近傍で確定した結果を反映するとともに、高透水性ゾーンとして予測された稚内層浅部において、さらに詳細な湧水箇所を予測するために、既存のボーリング調査において確認した断層を決定論的な断層として反映したモデルを構築した(図 2.1.1-11)。このモデルと壁面地質観察の結果を比較した結果、断層の位置や方向は、推定結果とおおよそ整合的であった¹⁴⁾。
- ・第1段階の調査結果に基づいて構築したモデルとの比較においては、声問層では湧水がほとんど認められないこと、稚内層中の割れ目のうち層理面に交差する割れ目の一部が地下水の主要な水みちとなっていること、特に、層理面に交差する断層が引張割れ目の派生を伴って発達していることが特徴であることが観察されるなど、第2段階の調査の結果と第1段階モデルとは整合的であり、第1段階モデルの妥当性が確認されたと考えられる。

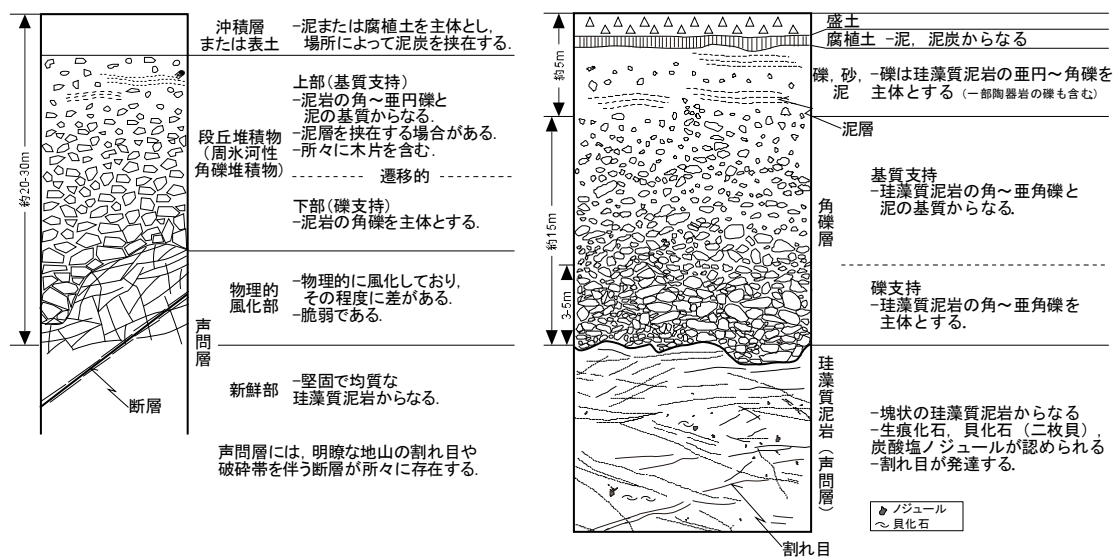


図 2.1.1-9 換気立坑および東立坑近傍の地下浅部の地質構造の概念

(左図：立坑周辺の浅層ボーリング孔の調査結果に基づき構築した地質構造の概念。右図：換気立坑および東立坑の壁面の地質観察結果に基づき見直した地質構造の概念。)

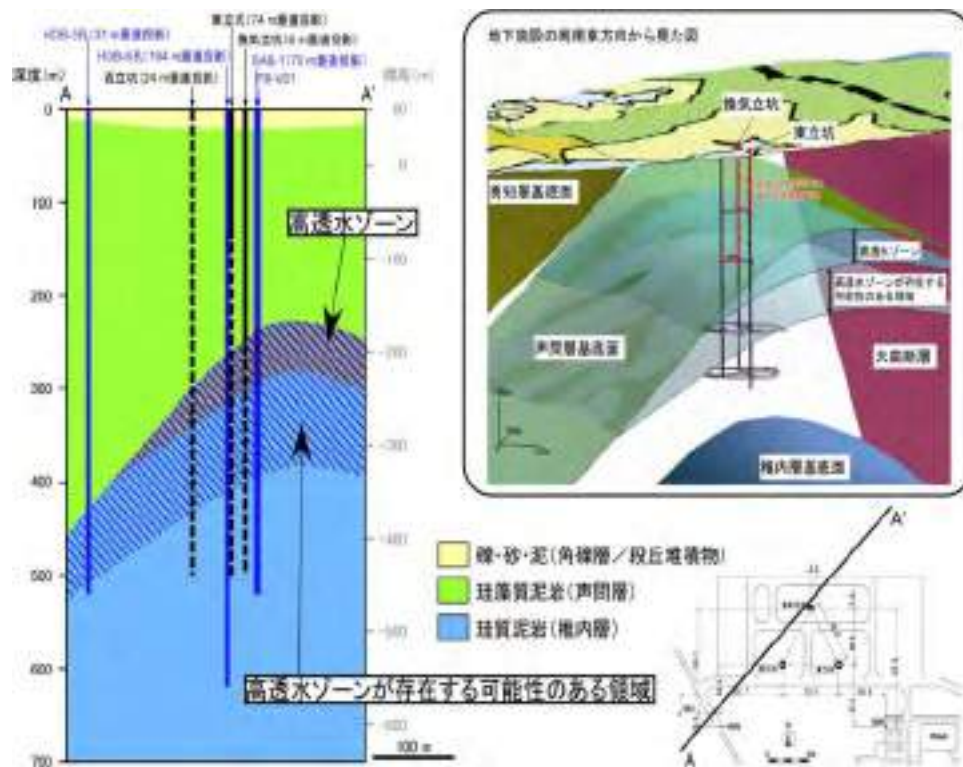


図 2.1.1-10 地質構造モデル
(2008 年度までの調査結果に基づき構築したモデル)

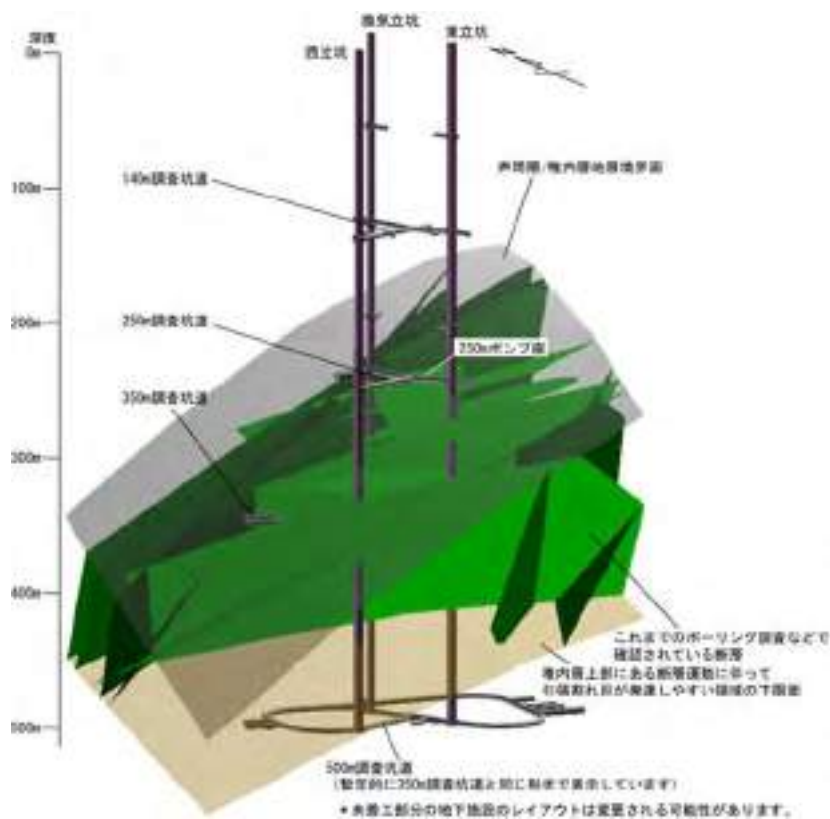


図 2.1.1-11 地質構造モデル
(2011 年度までの調査結果に基づき構築したモデル)

2.1.2 岩盤の水理

第2段階では、第1段階で整備した観測システムによる表層水理調査を継続し、地下水涵養量の算定に必要なデータの拡充、涵養量の年単位の変動幅などの評価を行った。また、第1段階で得られた流域ごとの涵養量に基づいた現地調査などにより、水理学的な境界である分水界の詳細な確認などを通じて、流域設定の妥当性の評価を実施した。さらに、表層付近の地下水流動と植生、地質などとの関連から、観測データに基づく水文諸量の空間分布の推定手法の検討を行った。これらの結果に基づき、地下水涵養量の調査・算定手法の信頼性を評価し、表層水理調査手法の整備を図った。

第1段階で掘削した広域の深層ボーリング孔を用いた地下水の水圧モニタリングや表層水理調査を継続し、坑道掘削に伴う地下水圧や坑道への地下水流入量の変化に関するデータを取得するとともに、坑道内から掘削したボーリング孔を利用した水理特性データの取得を行った。その結果に基づき、第1段階において地上からの調査により推定した地下水流動特性の初期状態について、推定結果の妥当性を確認した。

1) 地下水涵養量の把握

立坑掘削に伴う地下水圧の変化の解析にあたり必要となる地下水の涵養量について、立坑掘削前に開始した気象観測所や河川流量観測地点での降水量および積雪深、気温・水温、河川流出高を観測し、これらの観測結果に基づき推定した¹⁵⁾。地下水涵養量の正確な推定のために、ライシメータによる蒸発散量の計測も実施した^{1),6),7),16),17),18)}。また、研究所設置地区およびその周辺における表層部の地下水の流れ、ならびに立坑掘削の影響を把握するために、浅層ボーリング孔を利用した地下水位観測を実施した¹⁹⁾。図2.1.2-1に表層水理調査の位置図を、表2.1.2-1に水収支の算出結果を示す。図2.1.2-2には、研究所用地周辺の領域における河川流出高、蒸発散量および地下水涵養量の2009年の月別の変化を示す。図2.1.2-2によると、年間の地下水涵養量の半分以上が融雪の最も進む4月に集中していること、6月～9月にかけては蒸発散量が河川流出高を上回ることが分かった⁶⁾。また、わずかながら積雪期においても融雪水の地下への涵養は行われていることなどが分かった。表2.1.2-1に示した調査流域の水収支からは、研究所用地の上流にあたる流域の地下水涵養量が降水量の数%とわずかであるのに対して、研究所用地周辺では降水量の21.1%と比較的多いことが分かった¹⁾。また、図2.1.2-1に示した流域内の地質分布と、これまでのボーリング調査などから得られている地層の透水性に関する情報によると、調査流域の主な涵養域と地質構造との関係が説明できることが分かった。さらに、これらの知見は第1段階で実施したAMT探査²⁰⁾や予察的な地下水の流れの解析の結果²¹⁾と整合していることが確認された。水収支に関する情報は、後述する地下水流動解析の境界条件として利用される。



図 2.1.2-1 表層水理調査位置 (2011 年度)

表 2.1.2-1 水収支の算出結果 (2004 年 12 月～2009 年 11 月)

流域	降水量	蒸発散量	河川流出高	地下水涵養量
P-3	1,537	446 (29.0%)	768 (49.9%)	324 (21.1%)
P-4	1,505	387 (25.7%)	1,090 (72.4%)	28 (1.8%)
P-5	1,597	470 (29.4%)	1,055 (66.1%)	72 (4.5%)
全流域	1,575	458 (29.0%)	986 (62.6%)	131 (8.3%)

単位 (mm/年), () は降水量に対する蒸発散量, 河川流出高および地下水涵養量の割合を表示

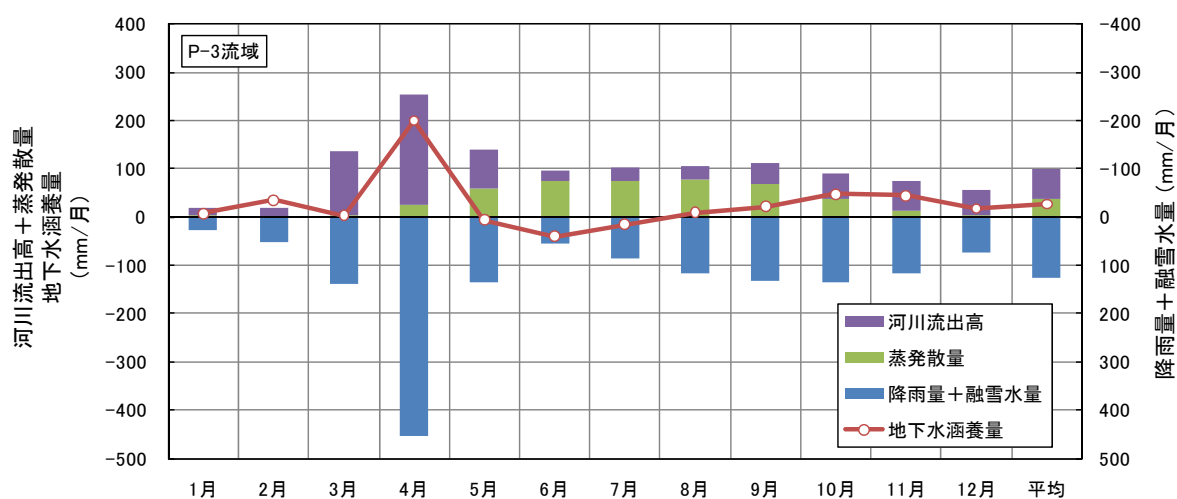


図 2.1.2-2 研究所用地周辺の領域における地下水涵養量の変化 (2009 年)

2) 立坑掘削の影響

図 2.1.2-3 に研究所用地近傍の浅層ボーリング孔の位置を示す。浅層ボーリング孔は図中で HGW-と記載した孔である。また、図 2.1.2-4 に地下水位の経時変化を示す。2009 年 12 月末の段階では、換気立坑が深度 250m、東立坑が深度 180m 付近まで掘削が進んでいるが、浅層ボーリング孔における地下水位の変化に顕著な影響は認められない⁵⁾。

第 1 段階で掘削した深層ボーリング (HDB-1～11 孔) および換気立坑のパイロットボーリングとして掘削した PB-V01 孔において、地下水の長期モニタリングを実施している²²⁾。図 2.1.2-5 に地下水の長期モニタリング孔の位置図を、表 2.1.2-2 に各ボーリング孔のモニタリング装置および観測期間を示す。立坑や調査坑道の掘削に伴う地下水圧の低下とみられる変化は、研究所用地内に掘削された HDB-3、6 孔および PB-V01 孔の 3 孔のみである。図 2.1.2-6 に PB-V01 孔 (換気立坑との水平離間距離：17m) のモニタリング結果を示す。2012 年 4 月初めの深度 350m 調査坑道における高透水性断層部の掘削や、グラウト施工に伴う水圧の低下が深度 357.01～370.51m および深度 372.01～459.51m の区間で観測された。これらの水圧の低下した区間は、第 1 段階で予測した高透水性断層の 3 次元分布と整合的であることが確認できた。HDB-3 孔 (西立坑との水平離間距離：約 140m) については、モニタリング区間のうち、断層 (F-1 断層) が交差する深度 401m 区間では、地下施設における湧水に応じて他のモニタリング区間と比較して顕著な水圧低下が認められていたが、2013 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た。これは深度 350m 調査坑道で掘削していたボーリング孔 (13-350-CO3 孔) が断層 (F-1 断層と推定) と交差した時期と一致しており、同孔における同断層からの湧水・ガス噴出により水位低下速度の増加が生じたと考えられる。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なかった (図 2.1.2-7 は西立坑から約 1,200m 離れた HDB-7 孔の例)。なお、すべてのボーリング孔における地下水圧のモニタリング結果は付録 B に示す。



図 2.1.2-3 研究所用地周辺における地下水位観測用の浅層ボーリング孔の位置

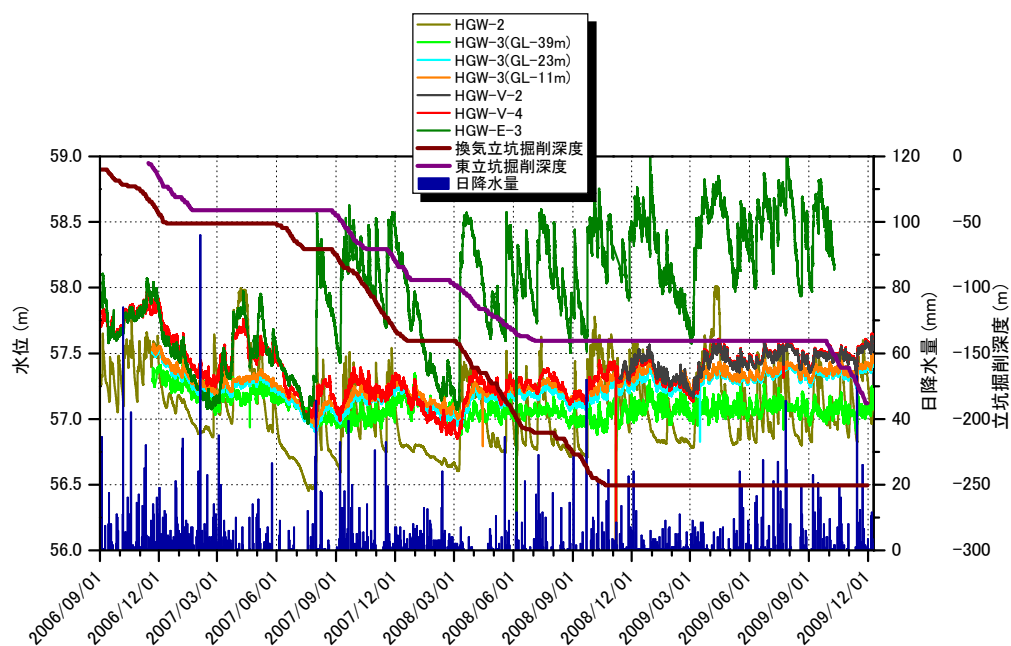


図 2.1.2-4 研究所用地周辺における地下水位の経時変化（2006 年～2009 年）

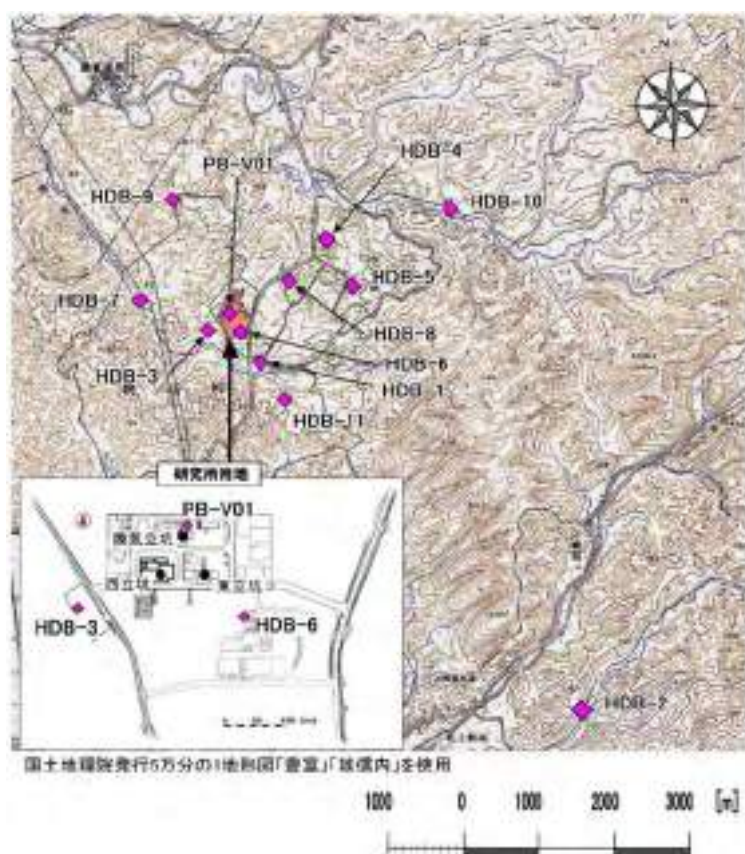


図 2.1.2-5 地下水の長期モニタリング孔の位置図

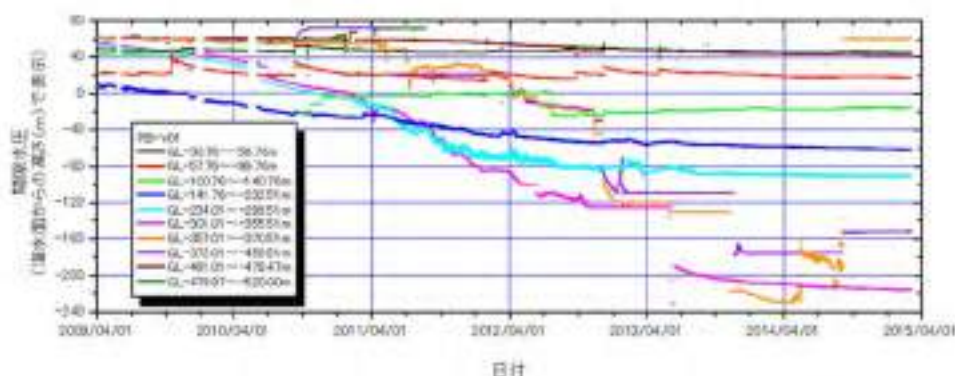
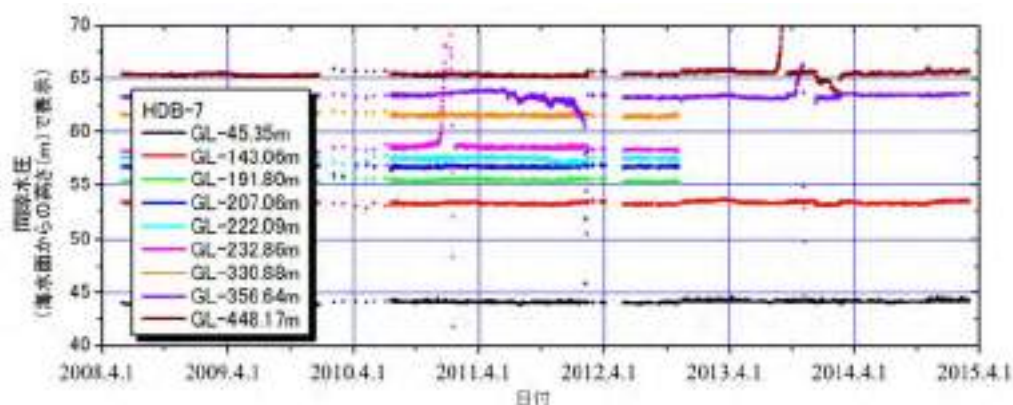
表 2.1.2-2 地下水の長期モニタリング孔の装置および観測期間

ボーリング孔	モニタリング装置	モニタリング期間		観測 区間数
		開始	終了	
HDB-1	MP システム	2003.8.29	継続中	4
HDB-2	SPMP システム	2004.4.14	継続中	7
HDB-3	MP システム	2003.11.21	継続中	7
HDB-4	MP システム	2008.2.28	2009.10.13	6
HDB-5	MP システム	2009.12.15	継続中	6
HDB-6	MP システム	2005.3.4	継続中	11
HDB-7	MP システム	2005.1.29	継続中	9 ^{※1}
HDB-8	MP システム	2005.3.4	2014.8.7	9 ^{※2}
HDB-9	MP システム	2005.10.17	継続中	9 ^{※3}
HDB-10	PIEZO システム	2006.3.9	2013.2.6	11
HDB-11	MP システム	2007.2.10	2012.4.10	15
PB-V01	スタンドパイプ式 10 連装 パッカーシステム	2008.10.27	継続中	10

※1 2012 年 11 月から 4 区間

※2 2011 年 4 月 27 日連続観測終了

※3 2012 年 11 月から 5 区間

図 2.1.2-6 地下水圧の長期モニタリング結果の例 (PB-V01 孔)
(急激な水圧変動は、装置の不具合によるものである。)図 2.1.2-7 地下水圧の長期モニタリング結果の例 (HDB-7 孔)
(急激な水圧変動は、装置の不具合によるものである。)

3) 地下施設における岩盤水理特性調査

坑道の掘削と並行して実施する壁面観察により、湧水を伴う割れ目の分布や性状に関する情報を取得するとともに（2.1.1 地質・地質構造を参照）、坑道への湧水量の経時変化などを把握した（4）岩盤水理モデルを参照）。湧水を伴う割れ目の分布や性状については、声間層および稚内層において、それぞれの特徴を把握するとともに、坑道への湧水量の経時変化については、地下水流動解析の結果と比較することで、モデル化・解析手法の妥当性の確認に資する情報とした。

4) 岩盤水理モデル

坑道掘削に伴う周辺の地質環境への影響の検討および作成した水理地質構造モデルの妥当性の確認を目的として、地下施設の建設に伴う地下水流動の変化を推定するための予測解析を実施した。予測解析では、大曲断層などの地質構造や声間層および稚内層中の割れ目に伴う透水性の不均質性や異方性などの特徴を仮定した三次元モデルにより、立坑を掘削した際の湧水量を推定し、実測値と比較した。モデル化においては、割れ目に伴う地層の不均質な透水係数分布を調査で取得した割れ目の方向などの情報に基づいて等価連続体モデルおよび等価不均質連続体モデルで表現するとともに、各段階の地質概念ごとに複数の透水係数分布を統計的な手法により推定することで、モデル化における不確実性の幅を考慮した。立坑近傍のボーリング孔（HDB-3, HDB-6, PB-V01 および SAB-1 孔）のデータから推定した主要な断層のネットワークの三次元分布を反映したモデルを図 2.1.2-8 に、等価不均質連続体モデルを用いた浸透流解析結果の一例を図 2.1.2-9 に示す。予測解析の結果、透水性が高いと解釈した稚内層の浅部に換気立坑の掘削が進んだ際に湧水量が増加すること（経過時間：800 日付近）、東立坑から深度 250m 調査坑道を掘削することにより、湧水量が増加すること（経過時間：1400 日付近）が推定でき、更新したモデルによる予測解析結果の傾向と実測値が整合する結果が得られた。また、更新したモデルを基に、断層の透水性などの不確実性を考慮した複数のモデルを構築し、今後の地下施設の建設に伴う湧水量を推定するための解析を実施した結果、それぞれのモデルで湧水量がほぼ同程度となる結果が得られ、推定結果の差、すなわち不確実性が減少している結果が得られた。このことから、対象領域の地下水流動に影響を及ぼす主要な地質構造とその水理特性を適切に表現でき、推定結果の確度を向上できたと考えられる。

第 1 段階の調査手法と数値解析による予測結果の妥当性を確認するため、数値解析で予測した地下水の水圧（全水頭：以下、予測値）分布と、ボーリング孔で測定された実際の全水頭（以下、実測値）分布の誤差、ボーリング孔の数に着目し、調査の進展により新たに得られた調査データが、どの程度誤差を小さくするのに効果があったかについての評価を行った。加えて、ボーリング孔の配置にも着目し、各ボーリング孔の中心から 2km 四方の範囲内に存在するボーリング孔の数が、予測値と実測値の誤差に与える影響についての評価を行った。この結果、

- ・ HDB-1 孔および HDB-2 孔のボーリング調査結果のみを基にした第 1 段階初期のモデルを使った解析では、予測値と実測値の全水頭の誤差は約 26m であること、
- ・ 調査の進展によりボーリング調査の数が増加するに従って誤差は小さくなり、HDB-1 孔から HDB-11 孔までの調査結果を基にした第 1 段階の最も後期のモデルを使った解析では、予測値と実測値の誤差は 2～3m 程度まで小さくなること、
- ・ 第 1 段階の最も後期のモデルに、第 2 段階で実施した新たなボーリング孔（PB-V01 孔および SAB-1 孔）による調査結果を追加したモデルを使った解析では、予測値と実測値の誤差はわずかに減少するにとどまること、

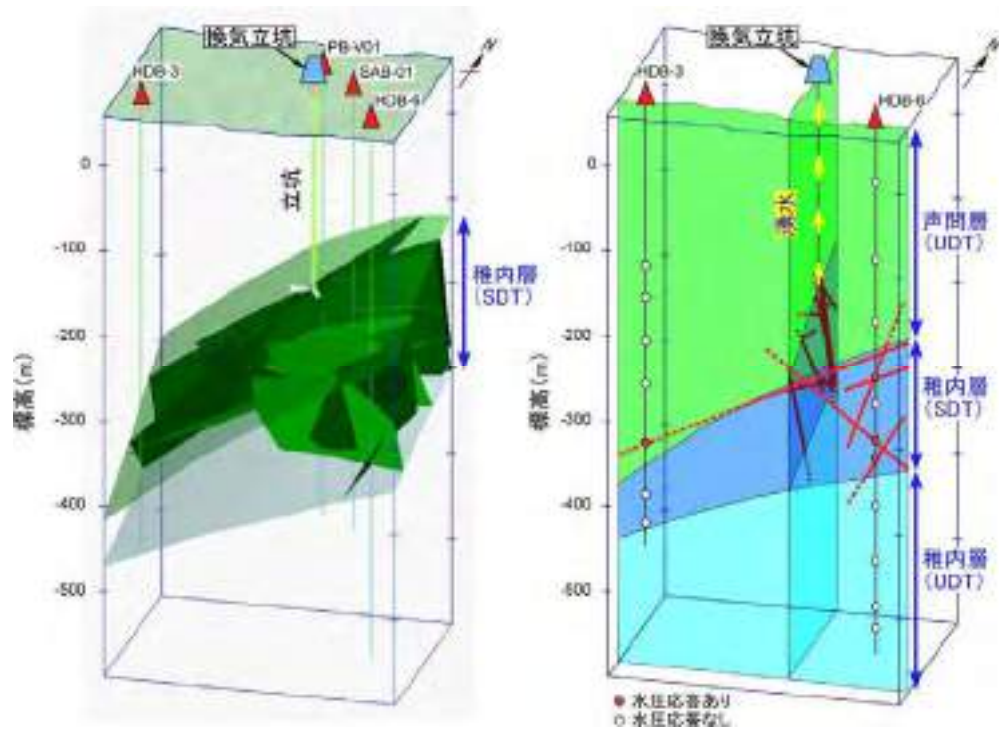
などが分かった（図 2.1.2-10）。これらの検討から、現在の調査解析技術では、幌延地域においては、全水頭は 2～3m 程度の誤差で予測することが可能であること、この程度の誤差で予測するた

めには、2km 四方の範囲に 5 本以上のボーリング孔による調査が必要であること、ただし、それ以上のボーリング調査を実施しても予測値と実測値の誤差の減少に与える影響は小さいことなどが分かった。

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に、予測した地下水の水圧分布と実測との差が認められるボーリング孔（HDB-4, 5, 9 および 10 孔）周辺に関して、その要因のひとつとして考えられる、大曲断層の形状と透水性に着目した解析を行った。これまで、大曲断層は不連続な形状で、透水性の高い構造として解析していたが、今回は、断層が連続し、透水性の低い構造であるとして解析した（表 2.1.2-3）。その結果、解析により求められた地下水の水圧分布と実測値の差は従来の結果とほとんど変わらないか、さらに大きくなることが分かった（図 2.1.2-11）。このことから、大曲断層の形状や透水性が HDB-4, 5, 9 および 10 孔に与えている影響は限られており、差を生じた原因はその他の要因（調査密度、褶曲軸などの地質構造、地下水涵養量など）によるものと考えられた。

このため、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た。HDB-10 孔周辺の声問層と勇知層の分布範囲を見直して、解析を実施した（図 2.1.2-12, 表 2.1.2-4）。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、Case2 では小さくなる結果となった（図 2.1.2-13）。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（ $6.46 \times 10^{-9} \text{m/s}$: 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ロックの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る。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る。ただし、他のボーリング孔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ない。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、それは HDB-10 孔周辺の局所的な範囲であると考えられる。

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た。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 2.1.2-14）、ここでは試験的に S1 断層も、その遮水性を検討するためにモデルの中に表現している（断層粘土部の幅を 10cm, 断層に伴う割れ目の発達部の片側幅を 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 2008 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する（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た（図 2.1.2-14）。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する。



SDT：断層運動に伴って引張割れ目が発達しやすい領域

UDT：断層運動に伴って引張割れ目が発達しにくい領域

図 2.1.2-8 地質構造モデルと岩盤水理モデル

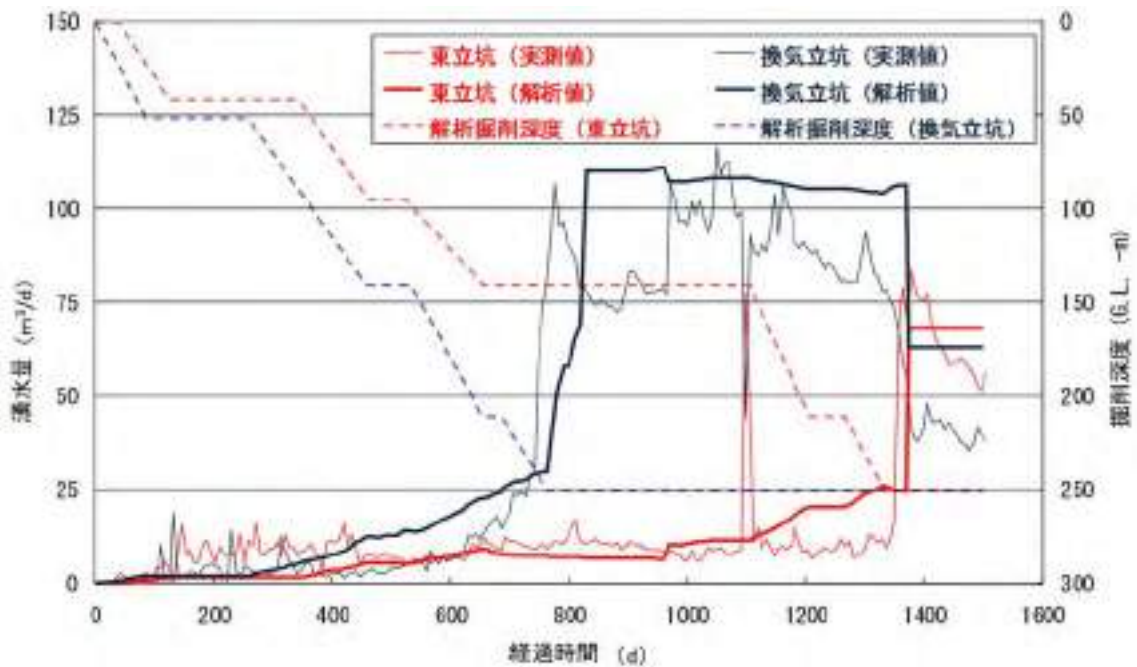


図 2.1.2-9 地下施設の建設に伴う湧水量の予測と実測の比較
(等価不均質連続体モデルを用いた解析結果の一例)

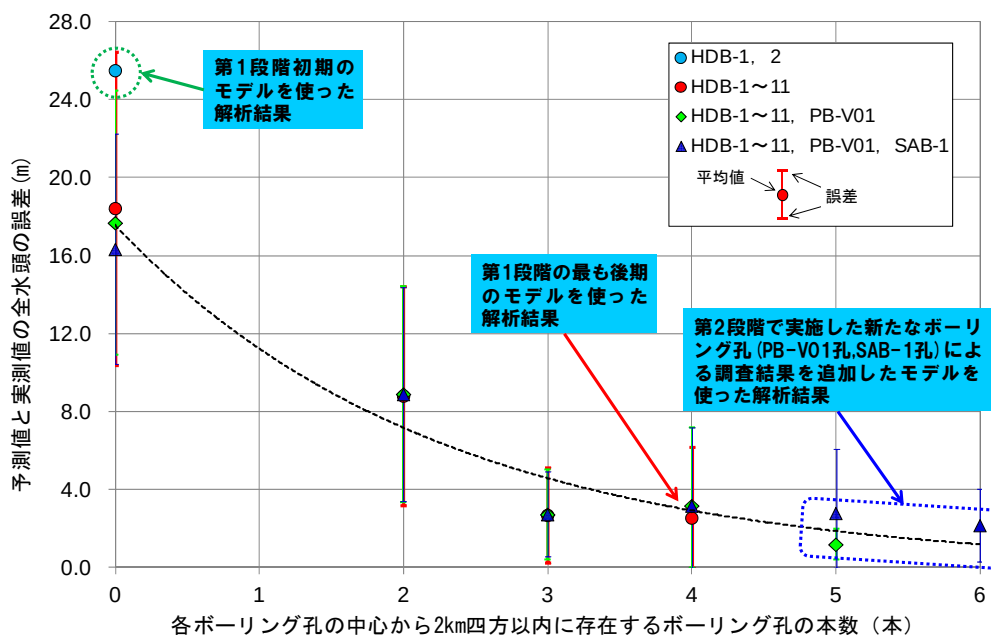


図 2.1.2-10 調査の数量と全水頭誤差の相関性

表 2.1.2-3 解析ケースの設定条件

再解析 ケース	大曲断層の構造の変更点（解析上の設定）	
	透水係数 (m/s)	既往モデルとの形状の違い
既往モデル	1.0×10^{-7}	—
case 1	1.0×10^{-7}	雁行部をつないだケース
case 2		分岐部を延長したケース
case 3		雁行部をつなぎ分岐部を延長したケース (case1+case2)
case 4	1.0×10^{-9}	形状が同じケース
case 5		雁行部をつないだケース
case 6		分岐部を延長したケース
case 7		雁行部をつなぎ分岐部を延長したケース (case5+case6)

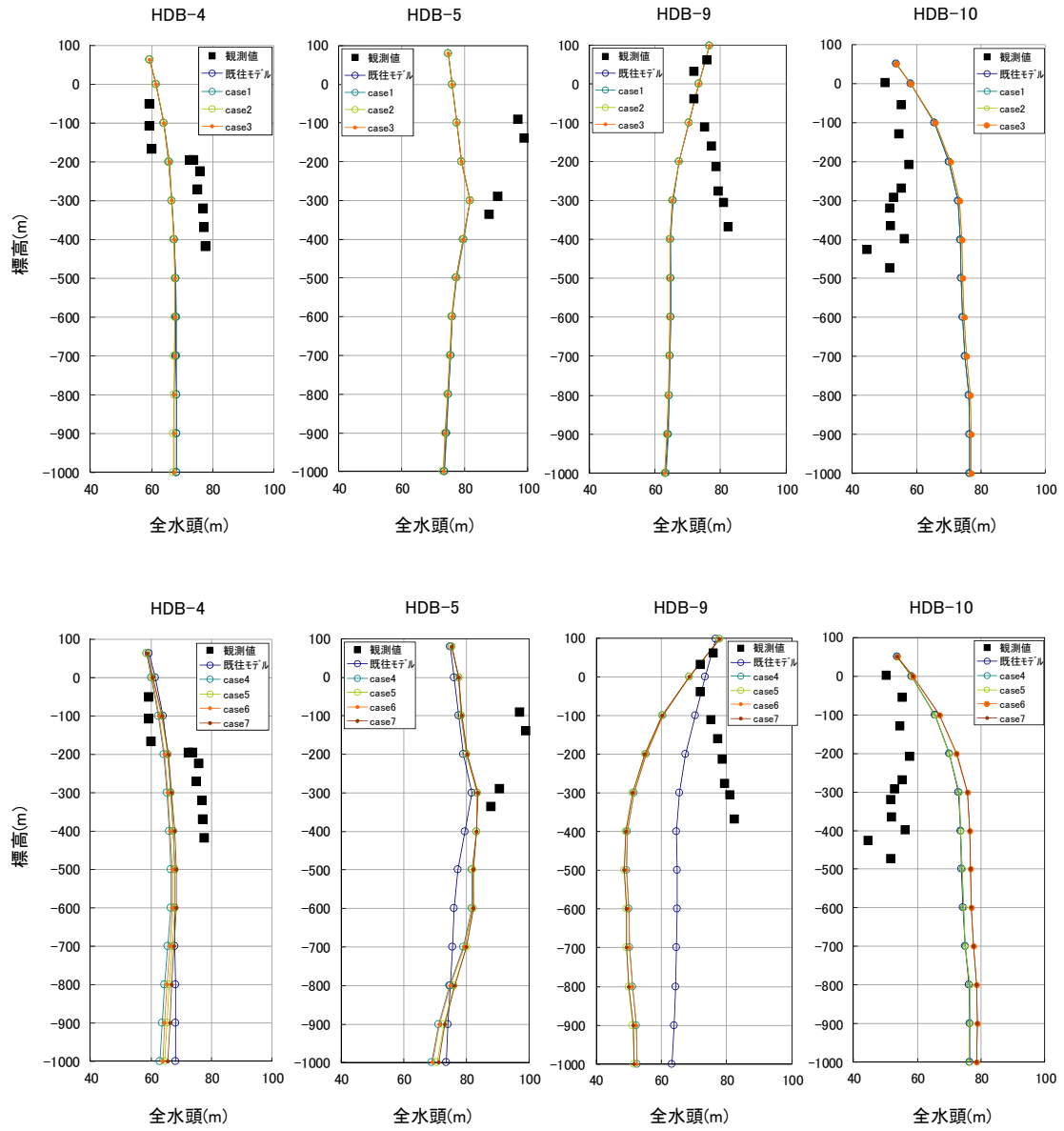


図 2.1.2-11 各解析ケースにおける全水頭分布

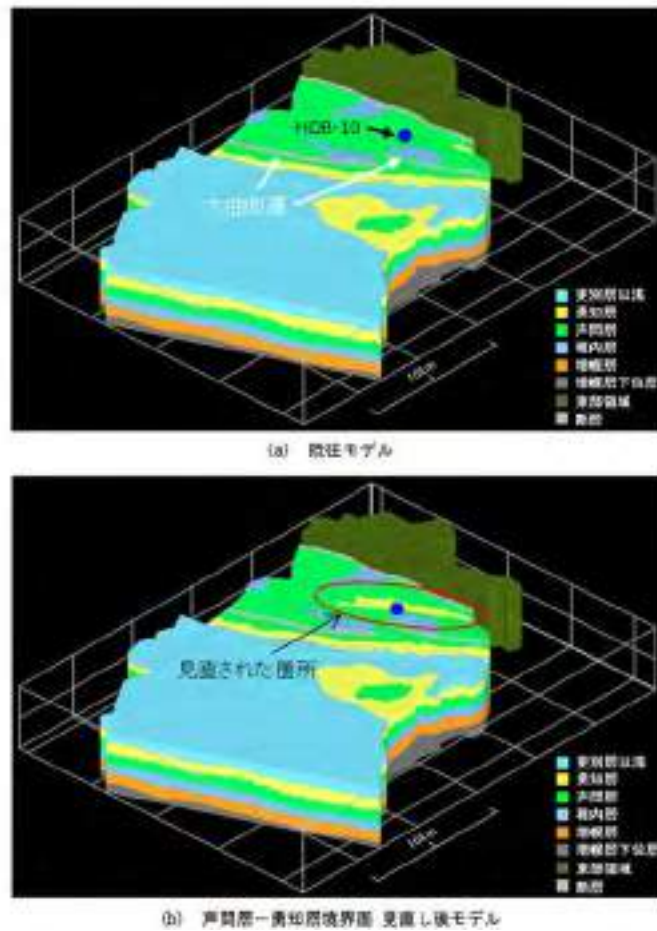


図 2.1.2-12 声問層と勇知層の境界分布を見直した水理地質構造モデル

表 2.1.2-4 声問層と勇知層の境界分布を見直した水理地質構造モデルによる解析ケース

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	9.35E-10		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		9.35E-10	2.53E-07	大曲断層の東側のみ、HDB-10 孔の透水試験結果を反映

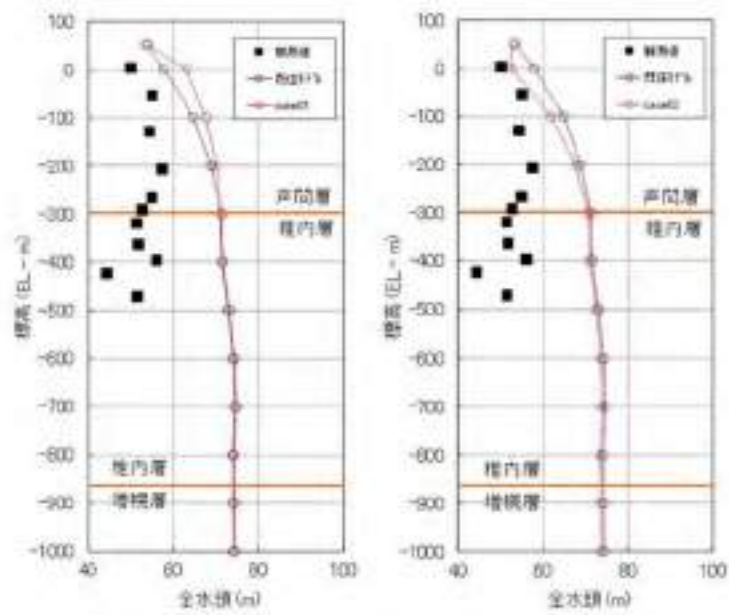


図 2.1.2-13 地下水流動の解析結果と HDB-10 孔の水頭分布（観測値）の比較

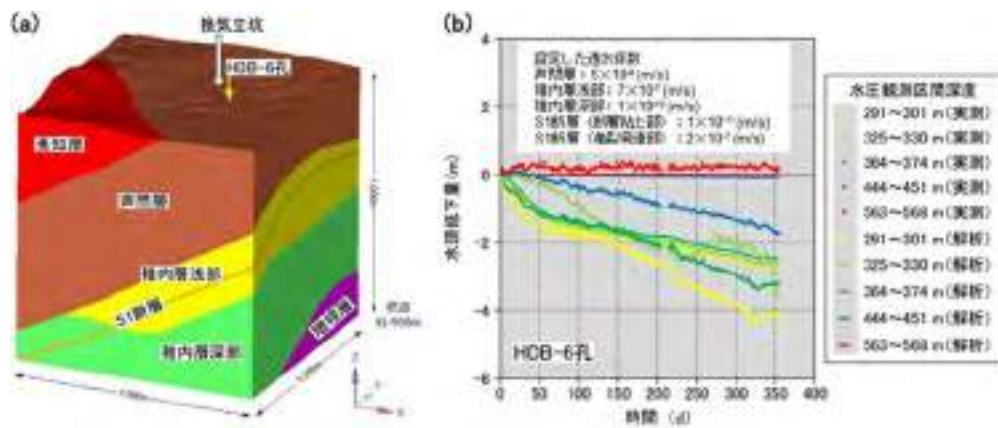


図 2.1.2-14 稚内層を均質化させた水理地質構造モデルによる地下水流動解析結果

2.1.3 地下水の地球化学

第2段階における地下水の地球化学に関する調査研究は、第1段階で推定した地下水の水質の空間分布および地下施設の建設に伴い生じる地下水の水質変化を確認することを目的として、立坑に設置された集水リング、壁面湧水、ボーリング孔等から採取される深度350mまでの地下水を対象として水質分析を行い、立坑掘削時点の地下水水質の深度分布を把握した。主に着目するパラメータとしては、塩分濃度、pHおよび酸化還元電位（Eh）である。このような地下水の水質などに加えて、同位体組成、ガス、微生物などの三次元分布と水理地質構造、地下水流動との相互関係などを把握するとともに、第1段階で予測した深度350mまでの水質分布について、予測の妥当性を確認し地球化学モデルを更新した。

1) 地下水水質の空間分布、地下施設の建設に伴う変化

換気立坑に設置された集水リングにおける水質モニタリングの結果を図2.1.3-1に示す。結果は、換気立坑が深度250mに到達するまでのものである。一部の集水リングにおいては地下水の湧水量が少なくEhや溶存酸素濃度（DO）の値が安定しないが、一定の湧水量がある集水リングにおいては、大気中の酸素や脱ガスによる影響を受けにくい電気伝導度（EC）の値が安定している。一部の深度において水質（塩化物イオン濃度など）が変化しており、立坑掘削による表層水の混入（換気立坑の深度28.5m）や、塩分濃度の濃い地下水の混入（換気立坑の深度133.8m）が確認された。一方で、pHについては、換気立坑の深度28.5mでは、観測当初はpH9前後を示していたが、次第にpH7程度で安定する傾向を示し、大気の影響を受けた表層水の混入による変化であると推察される。その他の深度では、pHは中性～弱アルカリ性を示し、観測開始から現在まで値がほとんど変化していない。また、ECの測定値についても一部の深度で増加する傾向が観測された。この結果は塩分濃度が増加している深度と一致している。

坑道内で採取した地下水の塩分濃度の経時変化を図2.1.3-2に示す²³⁾。観測開始当初は、集水リングの一部の区間では塩分濃度の上昇が観測されており、地下施設の西側あるいは換気立坑の深度140m付近などに分布する塩分濃度の高い地下水が流入している可能性が考えられた。一方、地下水の塩分濃度が低下する区間も確認されており、地下施設の東側に分布している比較的塩分濃度の低い地下水が引き込まれている可能性が考えられた。その後の観測では、比較的浅部に位置している集水リング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、2012年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分かった。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、集水リングで採取された地下水では、深度100～200m程度の位置で採水された地下水の多くは、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る。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分かる。

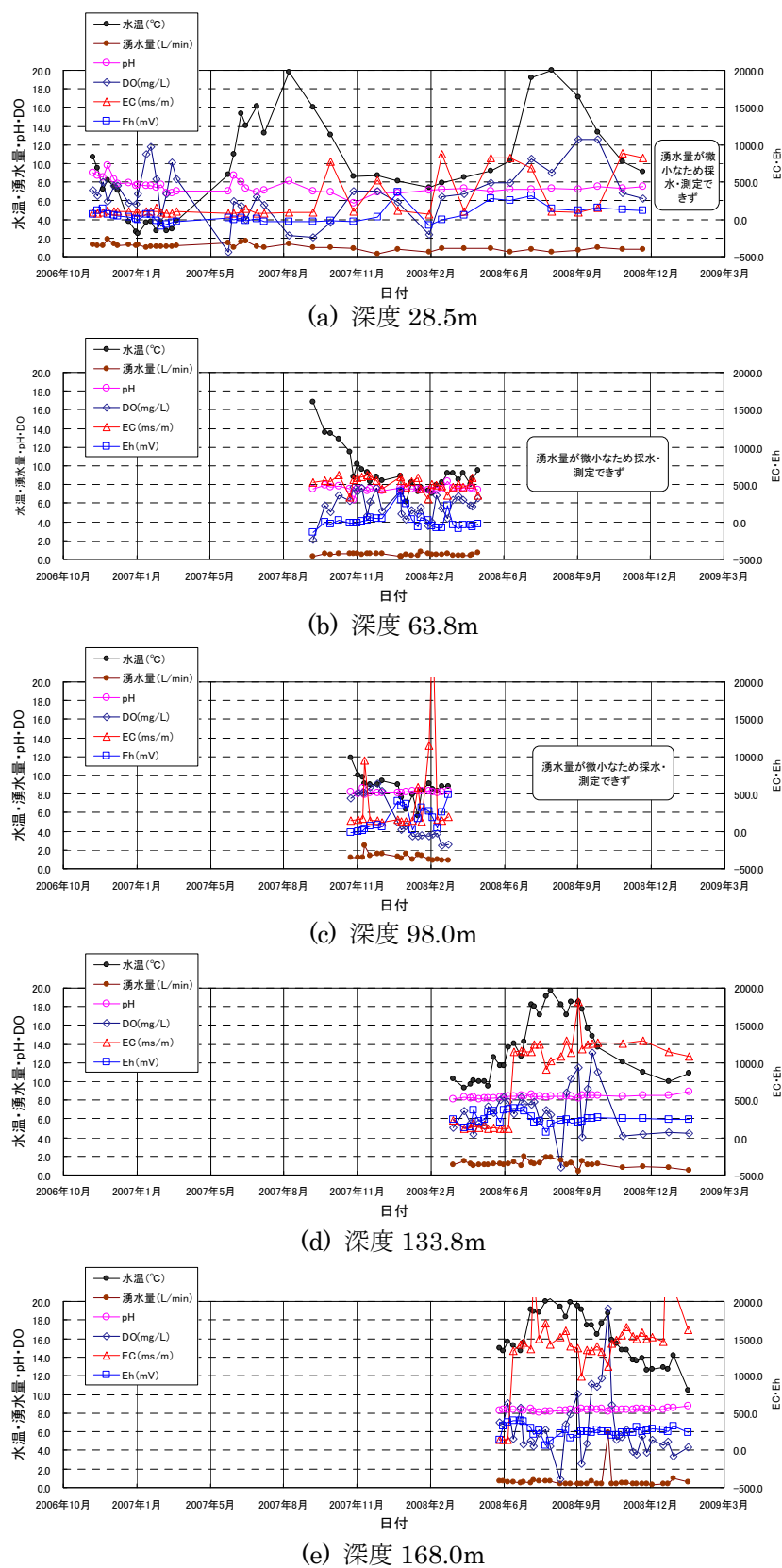
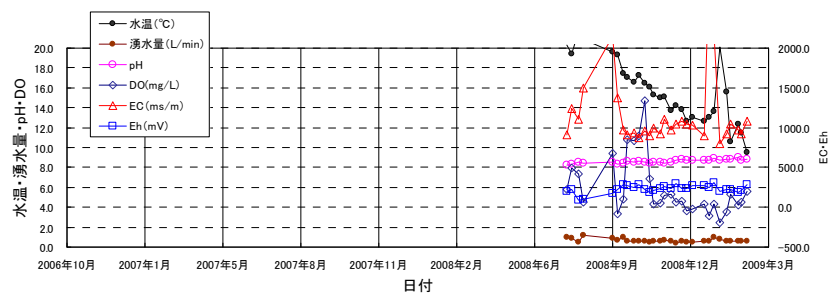
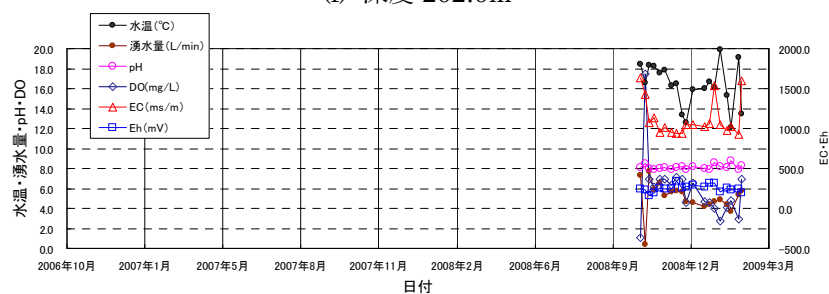


図 2.1.3-1 換気立坑の集水リングにおける水質モニタリングの結果 (1/2)



(f) 深度 202.0m



(g) 深度 242.0m

図 2.1.3-1 換気立坑の集水リングにおける水質モニタリングの結果 (2/2)

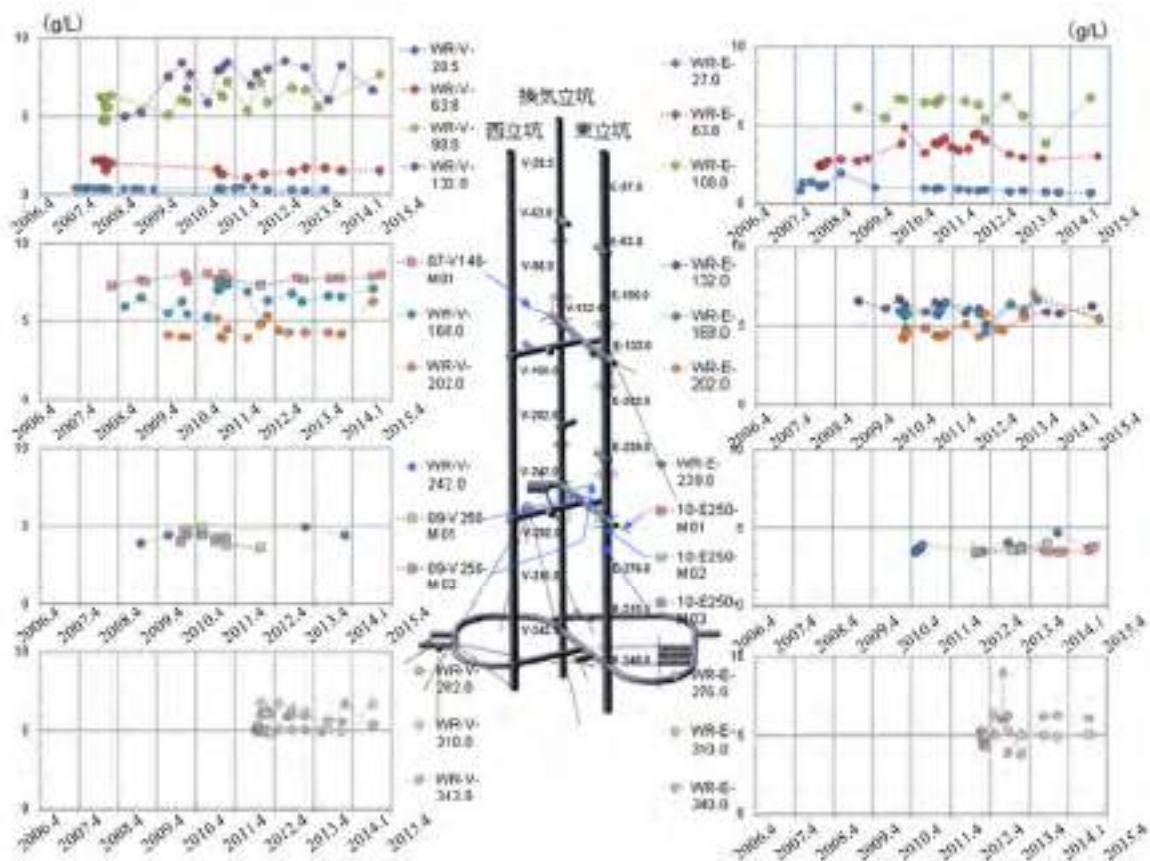


図 2.1.3-2 坑道内で採取した地下水の塩分濃度の経時変化

2) 地下水の地球化学モデル

坑道掘削を行うと、周辺の地下水位が低下することなどにより、地下水や岩石の化学的状態が変化すると考えられる。例えば、地下水中の二酸化炭素が脱ガスすると地下水の pH がアルカリ側に変化すると考えられる。また、坑道掘削後に設置されるコンクリート支保工の近傍では、セメントと地下水の反応により地下水の pH が高くなり、これと接触する岩盤では鉱物の変質と考えられる。このような pH の変化は、地下施設近傍における地下水の水質を変化させると考えられる。このため、坑道周辺における地下水の水質や鉱物の変質に関する概念モデルを検討した（図 2.1.3-3）。この概念モデルに基づき、地下施設の建設に伴ってその周辺で生じる地下水の水質ならびに岩石鉱物の変質を予測する解析技術の開発を行い、解析を実施した。図 2.1.3-4 に坑道周辺の溶存ガスの脱ガスによる pH の変化を示す。図 2.1.3-5 に坑道周辺の地球化学反応と岩石鉱物の変化量についての解析結果を示す。図 2.1.3-6 に、スーパーコンピュータを活用し、坑道周辺の脱ガスによる不飽和帯の広がりについての予測解析を実施した結果を示す。これらの解析により、坑道壁面から深さ数 m の岩盤内部まで化学的酸化が進み、還元的な環境に特有な鉄と硫黄から成る既存の鉱物（黄鉄鉱）の組成が変化し、酸化的环境下に特有な水酸化鉄鉱物（ゲーサイト）が生成することや、声間層と稚内層の地層境界の付近では、地下水中の溶存ガスの脱ガスにより形成される不飽和帯中において、酸素の拡散による化学的変化が起こりやすい可能性が示された。

立坑の集水リングやボーリング孔から採取した地下水の水質分析結果に基づいて、塩分濃度の空間分布図を作成し、立坑掘削前からの経時変化を検討した²³⁾。図 2.1.3-7 に、年度ごとの塩分濃度の空間分布を示す。掘削開始前の塩分濃度の空間分布と立坑内で得られた実測値と比較した結果、ほぼ同様であり、地上からの調査結果に基づいて推測された塩分濃度分布に関わる地球化学モデルの妥当性を確認した。また、換気立坑の掘削過程において、立坑が透水性の高い稚内層浅部付近に達し湧水量が増加した後から、地下施設周辺の塩分濃度がやや上昇する傾向が確認された。ただし、その変動幅は 3.4g/l 未満であり、塩分濃度の著しい変化は起こっていないことが示唆された。この結果は、立坑掘削に伴う周辺水質の変化に関する事前の予測解析結果²⁴⁾とほぼ一致し、解析技術の有効性について確認した。

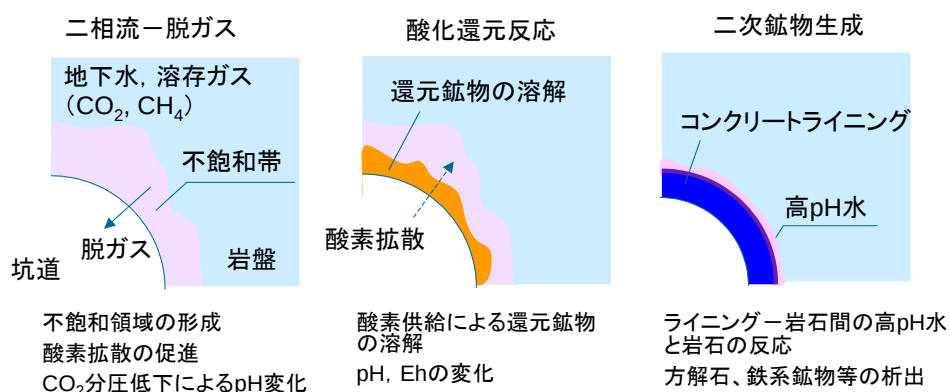
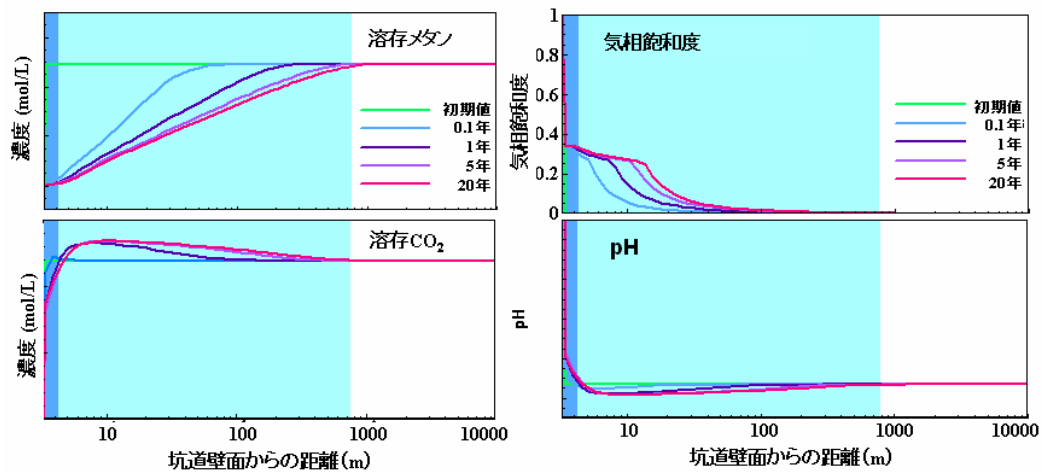


図 2.1.3-3 坑道周辺の地球化学反応と水質変化の要因



青色：二酸化炭素 (CO_2) の脱ガスゾーン 水色：メタン (CH_4) の脱ガスゾーン

図 2.1.3-4 坑道周辺の溶存ガスの脱ガスによる pH の変化

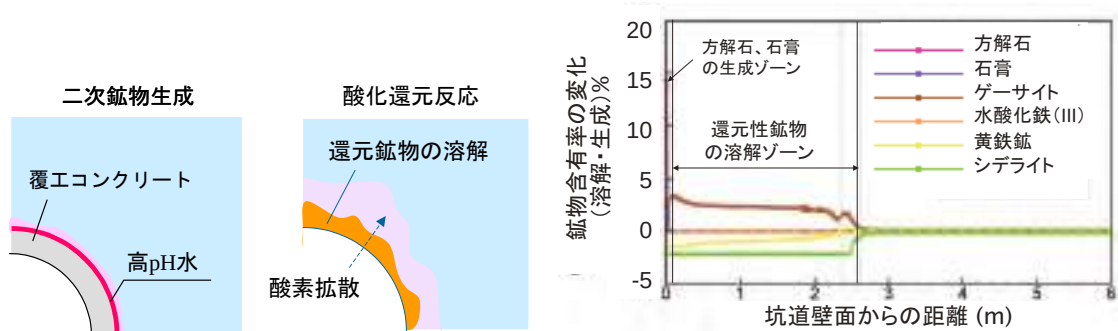


図 2.1.3-5 坑道周辺の地球化学反応と岩石鉱物の変化量

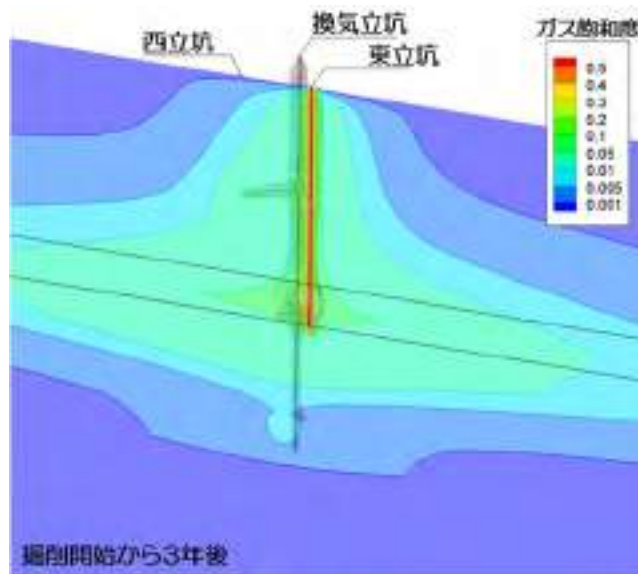
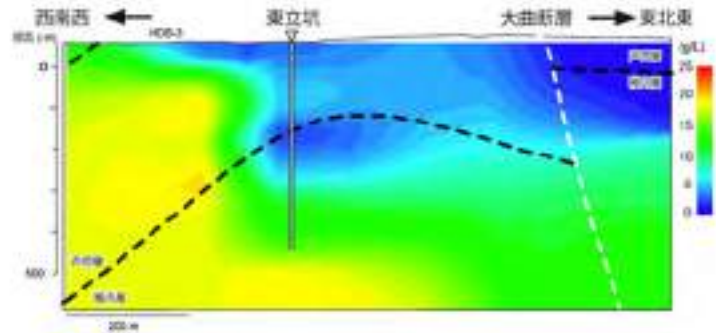
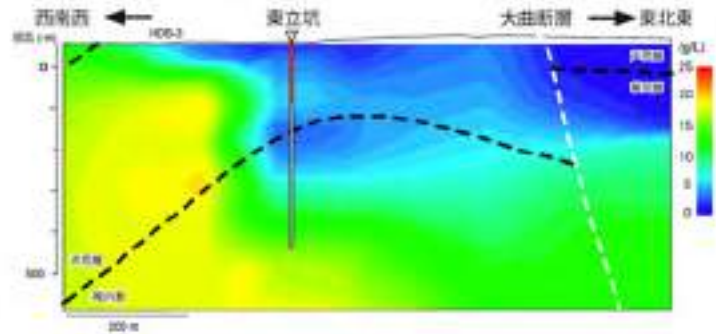


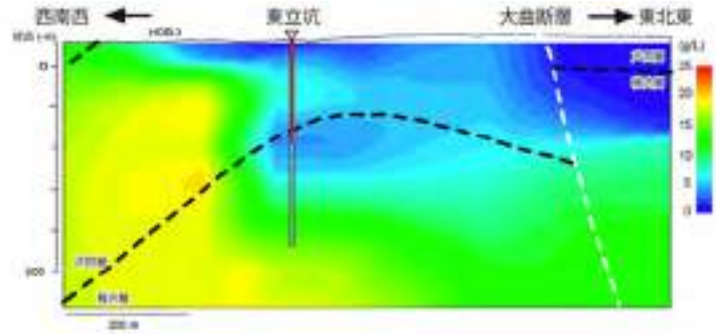
図 2.1.3-6 坑道周辺の溶存ガスの脱ガスにより形成される不飽和帯の広がり予測結果



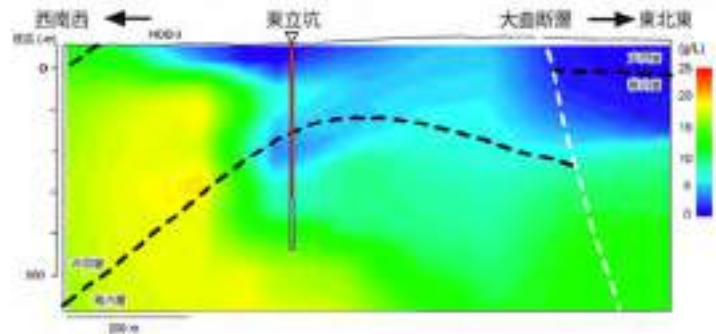
(a) 第1段階調査時（東立坑掘削前）



(b) 2008年度（東立坑：地表から140mまで掘削）



(c) 2010年度（東立坑：地表から250mまで掘削）



(d) 2014年度（東立坑：地表から380mまで掘削）

図 2.1.3-7 東立坑周辺における地下水中の塩分濃度の空間分布

2.1.4 岩盤力学

第2段階における岩盤力学に関する調査研究は、第1段階で構築した岩盤力学モデルの妥当性を確認することを目的として、調査坑道から掘削されるボーリング孔のコアを用いた室内試験（一軸圧縮試験、三軸圧縮試験、圧裂引張試験）や初期応力測定（水圧破碎法、円錐孔底ひずみ法、埋設ひずみ法等）を実施し、岩盤の力学特性や初期応力状態を把握する。

1) 岩盤の力学特性

換気立坑先行ボーリング調査および換気立坑の深度 80m、120m において実施したボーリング調査で得られたコアを用いて室内物理試験・力学試験を実施した。図 2.1.4-1 にコアを用いた室内物理試験・力学試験結果の一例として、有効間隙率，静弾性係数，一軸圧縮強さ，単位体積重量の結果を示す。図では、稚内層と声問層の境界を 0m として物性値を比較している。これまでに取得されている換気立坑近傍のボーリング調査（HDB-3, 6 孔）から取得した物性値²⁵⁾の分布と今回取得された物性値の分布が調和的であることが確認された。

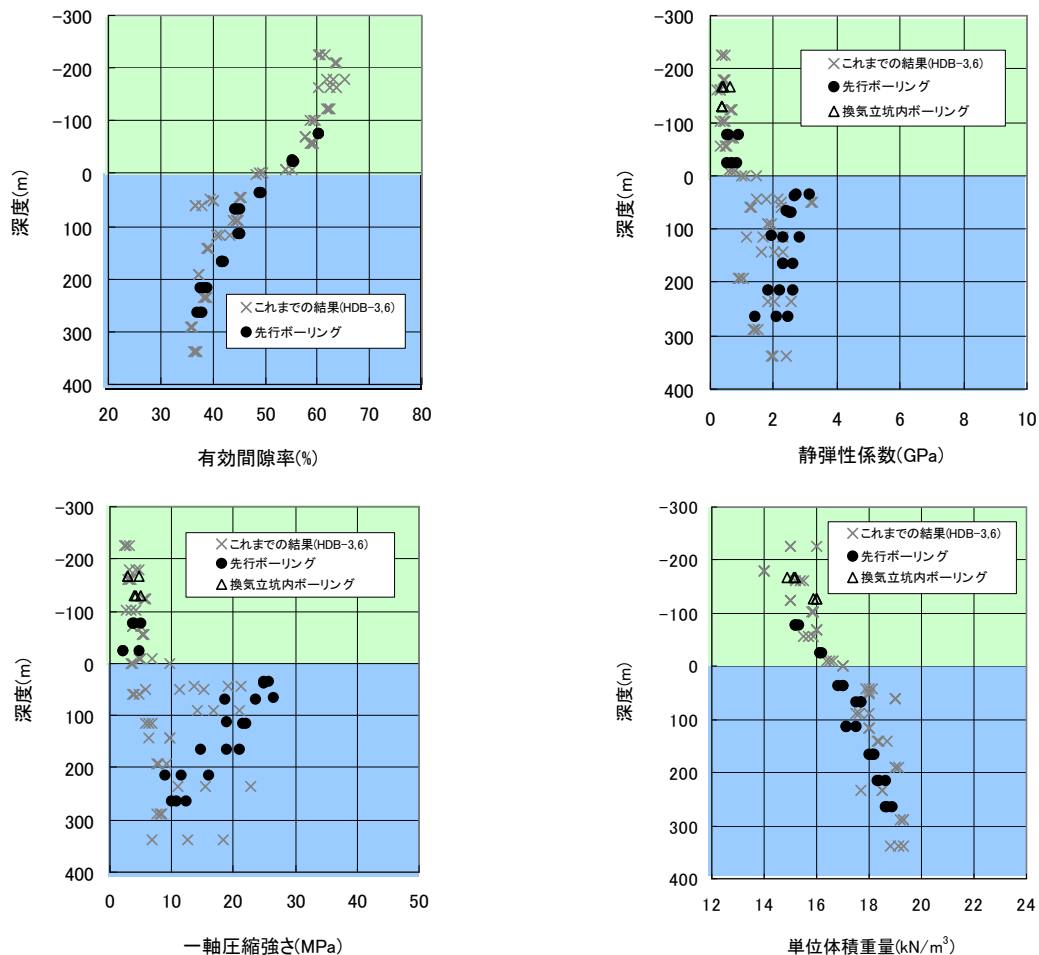


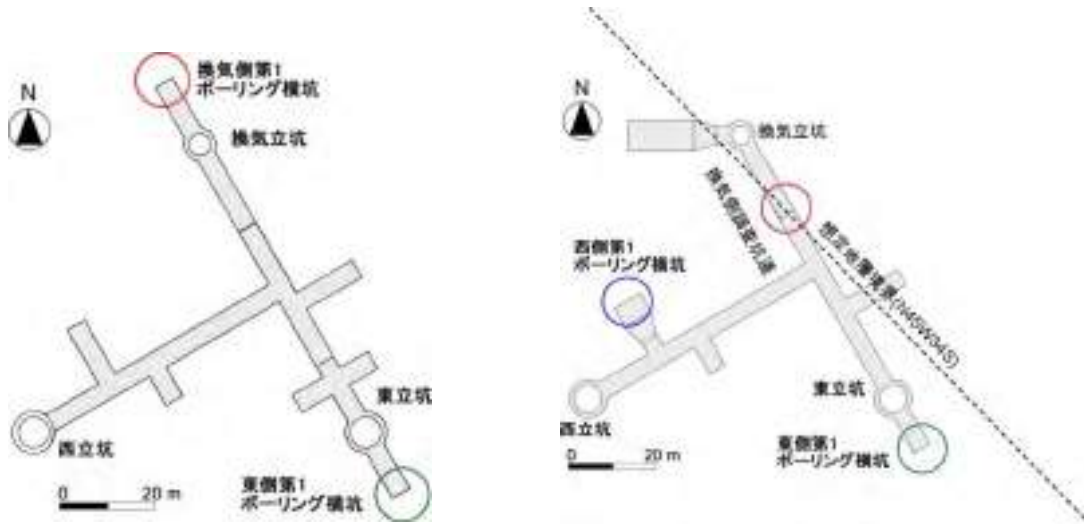
図 2.1.4-1 室内物理試験・力学試験の結果

2) 岩盤の初期応力

岩盤の初期応力測定は、深度 140m 調査坑道で 2 カ所、深度 250m 調査坑道で 3 カ所、深度 350m 調査坑道で 2 カ所の合計 7 カ所において、水圧破碎法により実施した（図 2.1.4-2）。水圧

破碎法による初期応力の測定では、方向の異なる 3 本のボーリング孔を利用し、三次元の初期応力の方向と大きさを測定した。測定には、高剛性水圧破碎システムを導入し、算出される応力値の精度向上を図った。得られた測定結果に基づいて、地上からのボーリング調査で得られた初期応力の方向と大きさを評価した。得られた成果は以下のとおりである。

- 深度 140m 調査坑道で実施した初期応力測定の結果（図 2.1.4-3(a)）では、2 つの地点ともに、各主応力の方向および大きさともに概ね一致し、3 つの主応力の 1 つが概ね鉛直下向きを示した²⁰⁾。
- 声間層と稚内層の地層境界付近に施工された深度 250m 調査坑道で実施した初期応力測定の結果（図 2.1.4-3 (b)）では、各地点にて、各主応力の方向および大きさともにばらつきが認められた。また、主応力の方向については、最も下向きを示す主応力の方向は、鉛直方向から最大で 40°程度傾いた結果を得た²⁶⁾。
- 深度 350m 調査坑道のポンプ座では、主応力軸が鉛直から 45°ほど傾いており²¹⁾、東周回坑道では、主応力の一つはほぼ鉛直であり、最大主応力と中間主応力がほぼ同じ値を示した（図 2.1.4-3 (c)）。主応力値は、第 1 段階で予測された値である、最大主応力約 7.3MPa、中間主応力約 5.6MPa、最小主応力約 5.1MPa と比較して、小さい結果であった。
- 水平面内の主応力の大きさに着目する（図 2.1.4-4）と、坑道内での測定結果は、地上からのボーリング調査での結果に比べて、水平面内最大主応力は約 0.4～0.9 倍、水平面内最小主応力は約 0.5～0.6 倍となった²⁶⁾。
- 水平面内の最大主応力の方向については、地上からのボーリング調査では東西方向であったが、坑道内での調査結果では北東および北西の方向であった²⁶⁾（図 2.1.4-5）。
- 地上からのボーリング調査結果に対して坑道内での調査結果において、主応力の大きさが小さく測定される主な原因の一つは、研究坑道の掘削に伴って岩盤内の間隙水圧が低下し、水圧破碎法で測定する初期応力の全応力が低下するためと考えられる²⁷⁾。
- 幌延地域のように地層が褶曲し、岩盤の力学的な物性が変化する地層境界の付近においては、主応力の一つの方向は、鉛直方向から傾いている可能性がある。したがって、そのような場にて、地上からのボーリング調査において鉛直のボーリング孔で初期応力を測定する場合は、ボーリング孔内のボアホールブレイクアウトの分析やボーリングコアを用いた方法などによって、主応力の方向を総合的に評価する必要がある^{26),27)}。
- なお、複数の手法により算出される地圧結果を比較するために、円錐孔底ひずみ法も実施したが、多くの測定箇所においてボーリング孔底にゲージを貼り付ける際に、孔底からの地下水の染み出しにより、接着剤を用いてゲージを貼り付けることが困難であることから、信頼性に足る地圧測定値を得ることができなかった。



(a) 深度 140m 調査坑道

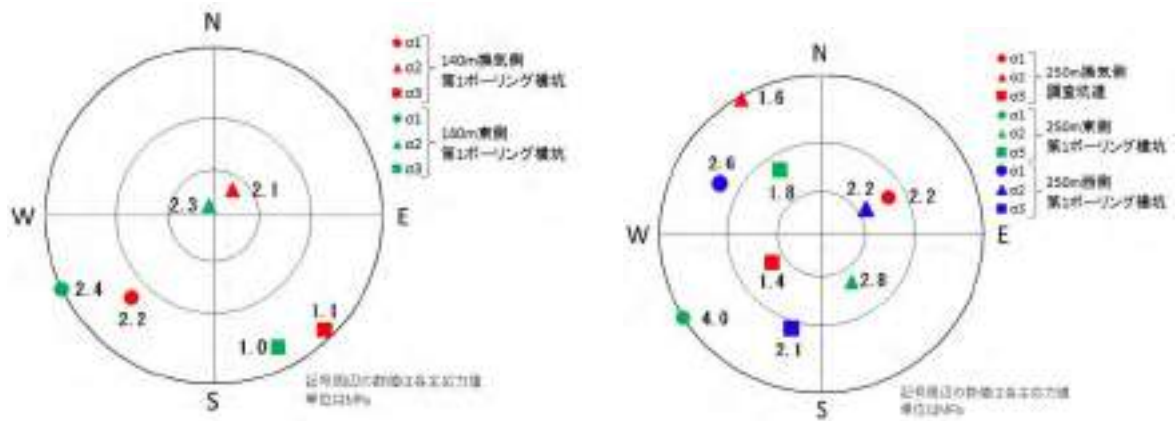
(b) 深度 250m 調査坑道



(c) 深度 350m 調査坑道

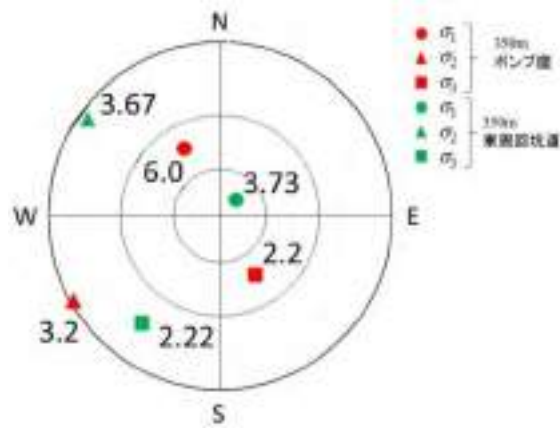
図 2.1.4-2 初期応力測定的位置

図中の○は測定実施場所を示し、色は図 2.1.4-3～2.1.4-5 の色に対応する。



(a) 深度 140m 調査坑道

(b) 深度 250m 調査坑道



(c) 深度 350m 調査坑道

図2.1.4-3 初期応力の測定結果（ウルフネット・下半球投影）

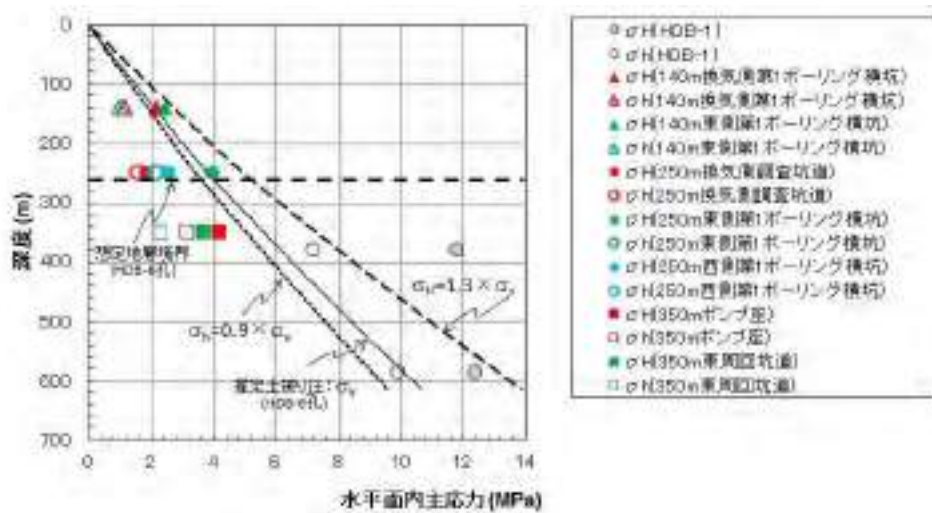


図 2.1.4-4 水平面内における最大・最小主応力の深度分布

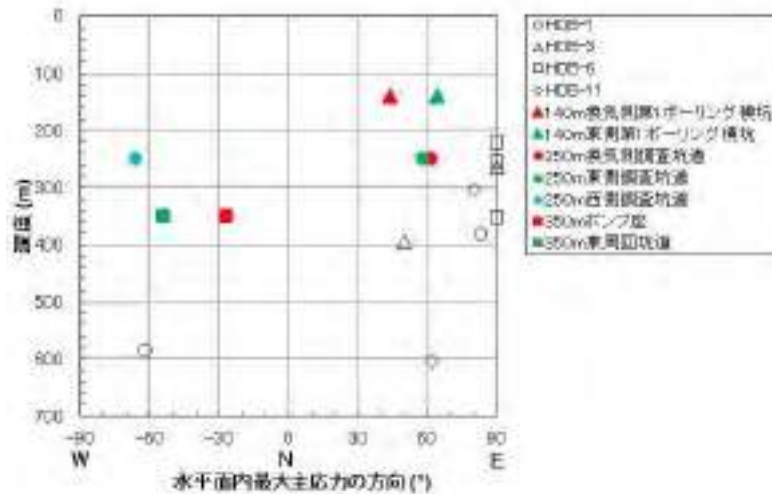


図 2.1.4-5 水平面内における最大主応力の方向

3) 岩盤力学モデル・掘削解析

図 2.1.4-6 に、HDB-11 孔までの調査結果に基づいて構築した岩盤力学概念モデルを示す。地質構造ならびに物理特性や力学特性の差異を考慮して、深度方向に 3 つのゾーンを設定した。なお、ゾーン 2 については領域内での物性変化が大きいので、最小値（ゾーン 1 と同一）と中間値（ゾーン 1 と 3 の中間値）を設定した。立坑掘削の解析は、ひずみ軟化を考慮した 3 次元有限要素法弾塑性解析にて実施した。解析用の物性値を表 2.1.4-1 に、解析メッシュを図 2.1.4-7 に示す。解析では、換気立坑（ $\phi 4.5\text{m}$ ）を対象に、地下施設設計で検討した立坑掘削工法や支保工を可能な限り忠実に再現した。解析結果を図 2.1.4-8 に示す。解析の結果から、立坑の切羽面が対象深度に到達する前から徐々に塑性域が形成されていくこと、ゾーン 1 とゾーン 3 においては発生する塑性領域の範囲は 40～60cm 程度であるが、ゾーン 1 とゾーン 2 の境界深度に近い領域で数 m の塑性領域が発生する可能性があることが分かった²⁸⁾。

上記の解析は、ゾーン毎にメッシュを作成して解析したものであるが、地表から深度 500m までを一括でモデル化した解析も実施した。立坑壁面で生じる最大と最小の変位とひずみを把握するため、水平面内の最大主応力と最小主応力の方向に対して解析結果を出力した（図 2.1.4-9）。また、切羽進行に対する立坑壁面近傍での変位の発生状況を図 2.1.4-10 に示す。これらの図より、大きな物性変化が生じるゾーン 2（図中の黄色着色部）の前後で特に大きな岩盤の変形が見られる可能性があること示唆された。また、坑道の周辺岩盤の変形に関する解析からは、切羽が計測位置から坑道径の 3 倍以上離れても影響の及ぶ可能性のあることが分かった²⁹⁾。

深度 250m 調査坑道を対象とした坑道掘削の予測解析を実施した。調査坑道の 2 つの異なる方向の直線部分を対象に二次元解析と三次元解析を実施し、これらの相違を確認するとともに、掘削解放率の違いについても考察した。二次元解析と三次元解析におけるそれぞれの解析モデルの全体図を図 2.1.4-11 に、解析結果の一例として、坑道掘削に伴う坑道の内空変位の比較図を図 2.1.4-12 に示す。二次元解析については、掘削によって 70%が解放された後に支保工を設置した場合と、60%解放された後に支保工を設置した場合の解析結果を示している。図より、変位の絶対量に差は見られるものの、内空側に変位する傾向とその分布は、二次元解析と三次元解析で同じであることが確認された⁶⁾。

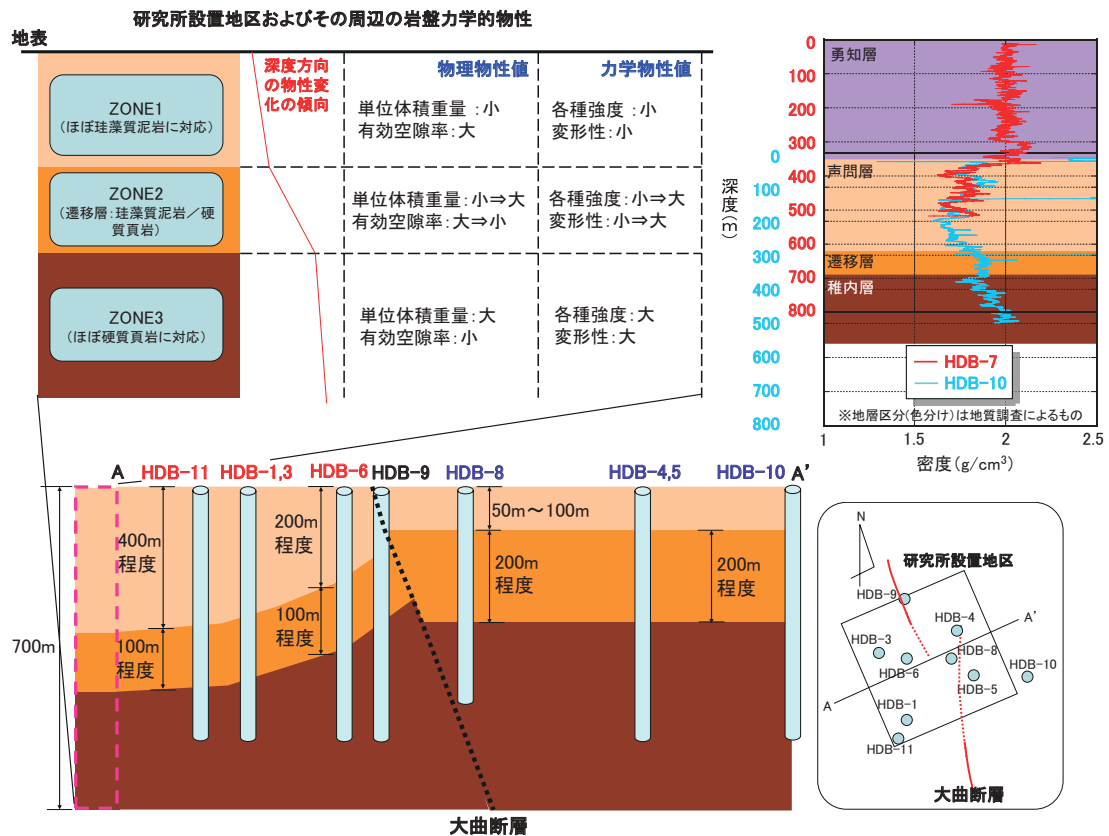


図 2.1.4-6 岩盤力学概念モデル

表 2.1.4-1 立坑掘削を対象とした解析用物性値

深度 (m)	ゾーン	破壊時		残留強度時		ψ (°)	単位 体積 重量 (kN/m ³)	鉛直 応力 σ_v (MPa)	水平面内 主応力		弾性 係数 E (GPa)	ポア ソン 比 ν (GPa)
		粘着力 C (MPa)	内部 摩擦角 ϕ (°)	粘着力 C _r (MPa)	内部 摩擦角 ϕ_r (°)				最大 σ_H (MPa)	最小 σ_h (MPa)		
140	1	1.50	17.0	0.81	16.4	4.0	15.50	2.13	2.77	1.92	0.30	0.15
220		2.00	12.0	1.08	11.6	4.0	15.70	3.39	4.40	3.05	0.40	0.13
280		2.44	17.5	1.32	16.9	4.0	16.30	4.48	5.82	4.03	0.50	0.08
355	2	1.70	15.0	0.80	17.0	3.0	15.80	6.02	7.82	5.42	0.50	0.10
400	3	4.10	25.0	1.30	25.0	3.0	17.10				0.96	0.22
450		3.56	27.5	0.68	31.2	3.0	18.50	7.26	9.44	6.53	1.25	0.26
		4.00	27.5	0.76	31.2	3.0	18.70	8.25	10.73	7.43	1.30	0.26

* ψ : ダイヤタンスー角 (ひずみ軟化解析に必要なパラメータ)

** ゾーン 1, 2, 3 の区分は, 岩盤力学概念モデルに従って設定

*** 初期応力条件は各解析対象断面位置における水平面内主応力値として以下のように設定

ゾーン 1: $\sigma_H=4.40\text{MPa}$, $\sigma_h=3.05\text{MPa}$ ゾーン 2: $\sigma_H=7.82\text{MPa}$, $\sigma_h=5.42\text{MPa}$ ゾーン 3: $\sigma_H=9.44\text{MPa}$, $\sigma_h=6.53\text{MPa}$

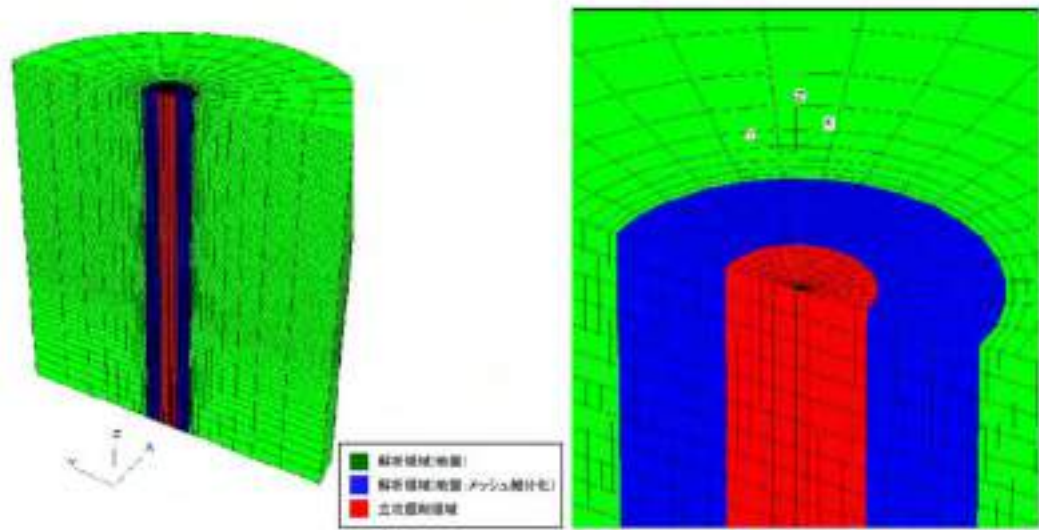


図 2.1.4-7 立坑掘削を対象とした解析メッシュ
(左図：全体メッシュで半断面のみ表示，右図：掘削部を拡大)

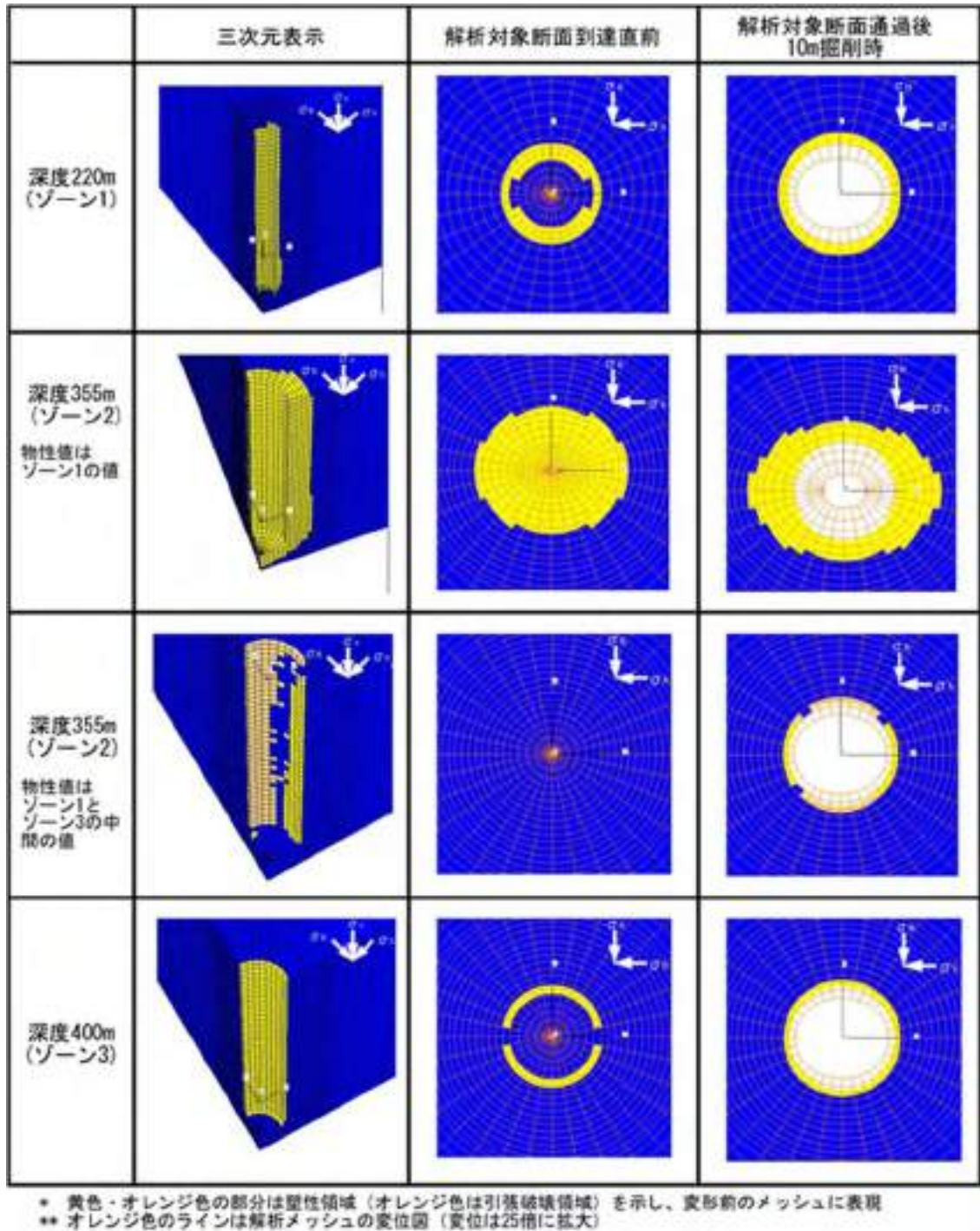
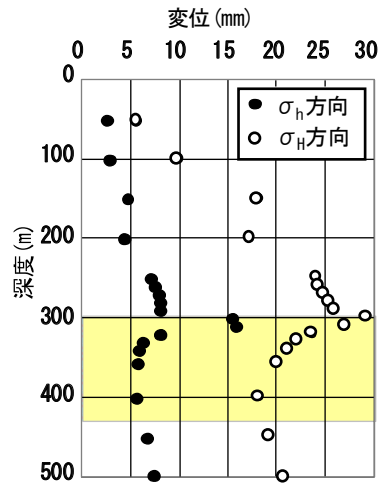
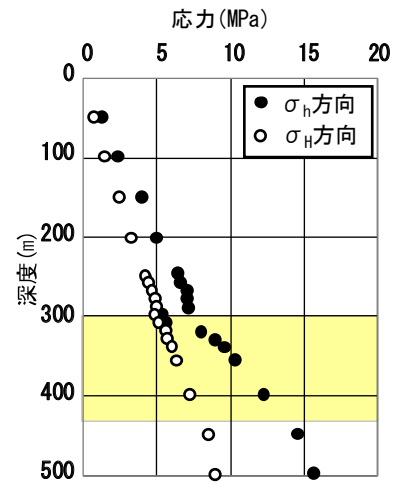


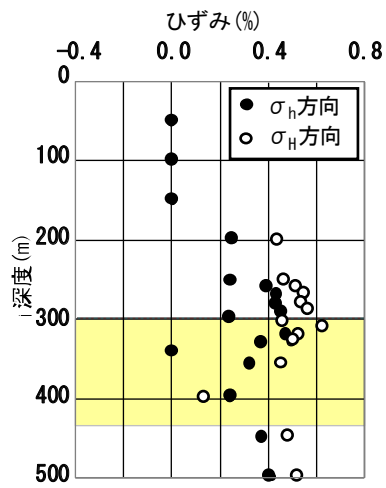
図 2.1.4-8 立坑掘削解析の結果（塑性域の分布と立坑掘削時の変形）



(a) 半径方向変位

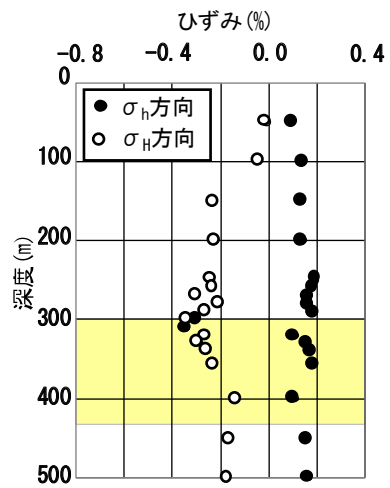


(b) 接線方向応力



(c) せん断ひずみ

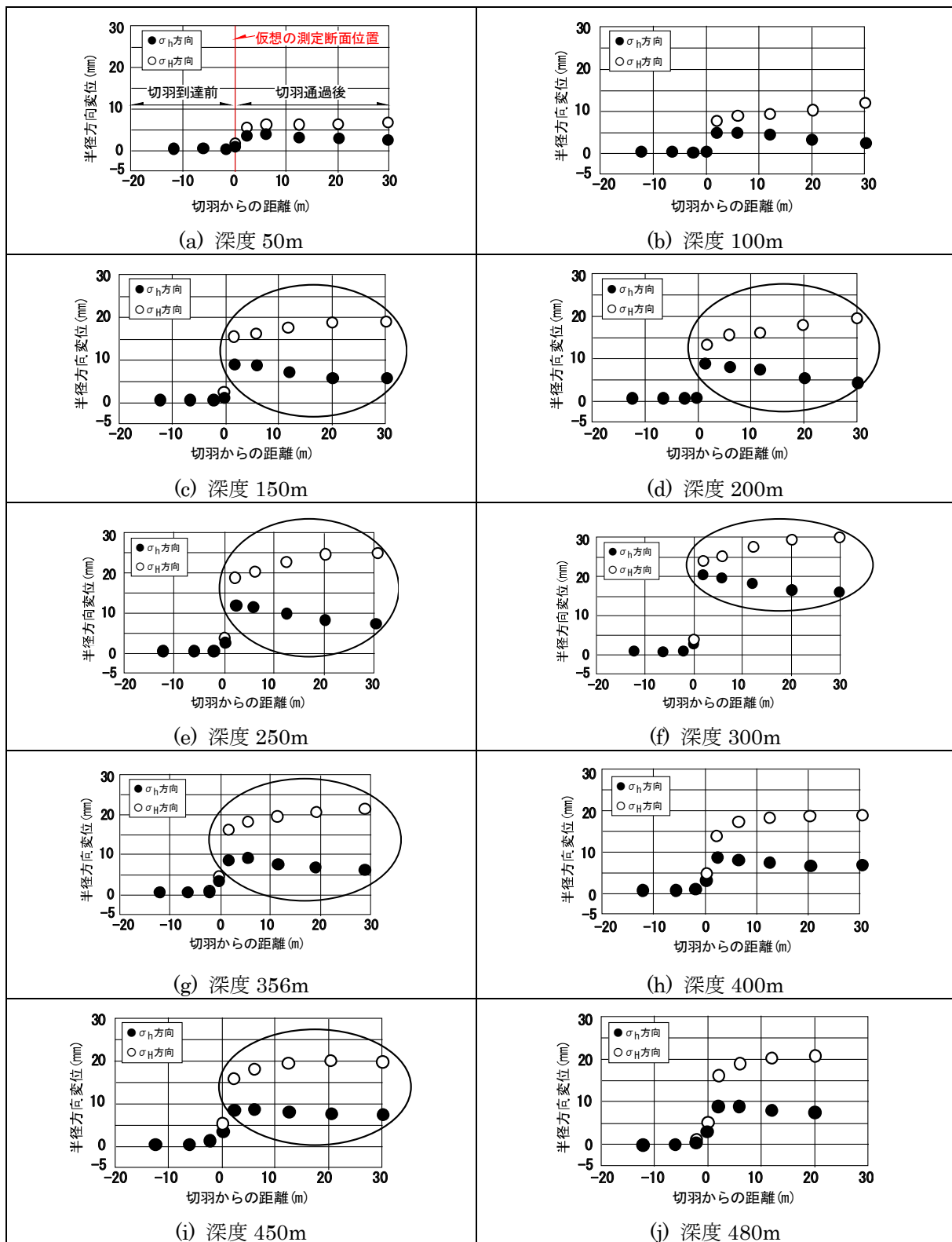
+: 圧縮
-: 膨張



(d) 体積ひずみ

+: 圧縮
-: 膨張

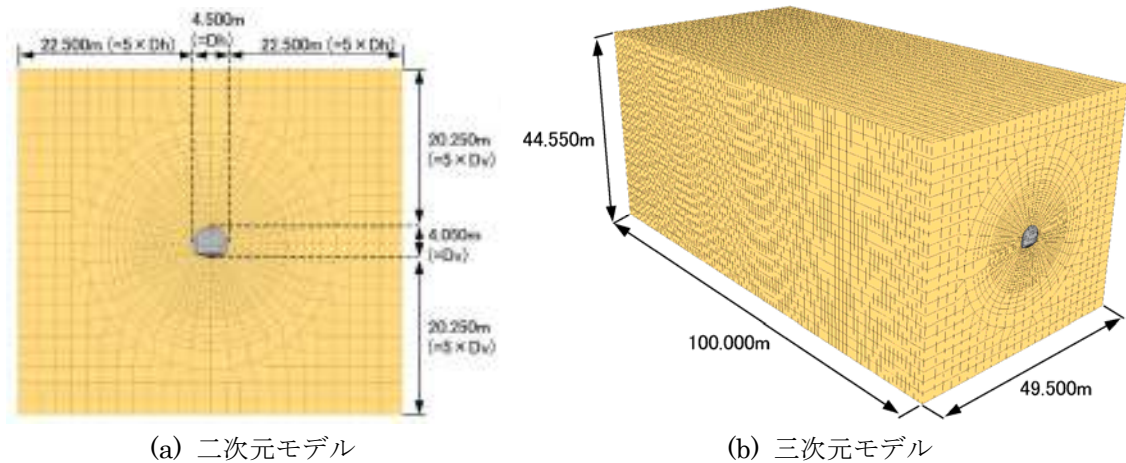
図 2.1.4-9 立坑壁面近傍における変位，応力，ひずみの深度分布
(黄色着色部はゾーン 2 を示す)



+ : 坑道内側への変位, - : 坑道から岩盤側への変位

坑道切羽面が測定断面深度を通過後 3D (D : 坑道径=4.5m) 以上離れても測定断面位置に変位が生じている部分を○で示す。

図 2.1.4-10 各深度における立坑壁面近傍の変位と切羽進行との関係



(a) 二次元モデル

(b) 三次元モデル

図 2.1.4-11 深度 250m 調査坑道掘削の予測解析モデル

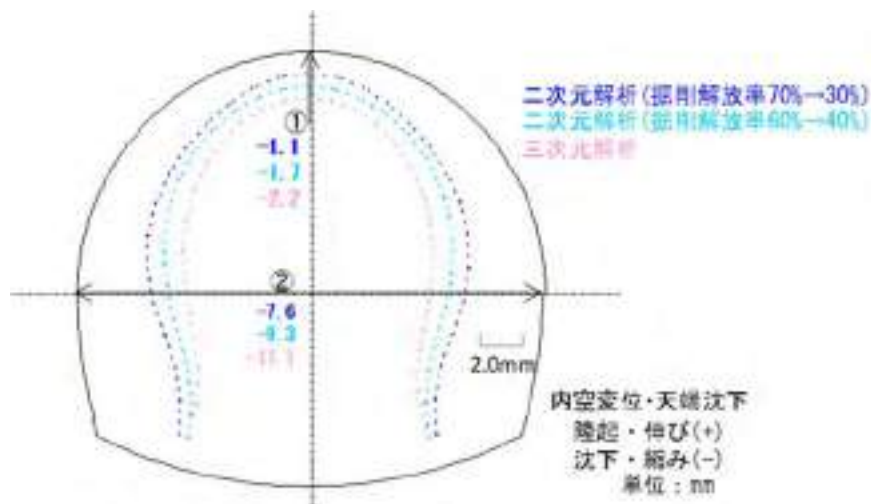


図 2.1.4-12 深度 250m 調査坑道掘削時の内空変位と予測解析結果の比較

2.2 掘削影響領域の地質環境特性の把握

立坑や水平坑道の掘削が周辺の岩盤や地下水の水圧ならびに化学的特性に与える影響として、掘削影響領域 (Excavation disturbed zone [EdZ] と Excavation damaged zone [EDZ] に分けられる³⁰⁾ の形成が挙げられる。EdZ は岩盤の弾性変形や地下水の水圧低下などの可逆的な影響を受けた領域であり、EDZ は掘削による損傷 (既存割れ目の進展や開口、新たな割れ目の発生) などに起因する岩盤の力学特性、水理特性ならびに地下水の化学特性などが不可逆変化を生じた領域である。前者については、安全評価の時間スケール、空間スケールを念頭においてその影響領域の広がりや変化プロセスなどを理解する必要がある一方で、後者は、施設の健全性 (空洞や支保の力学的安定性) や地下水の選択的な移行経路として重要な領域となる。

掘削影響試験のレイアウトの例を図 2.2-1~3 に示す。立坑や調査坑道の掘削前にボーリング調査等により掘削前のデータを取得し、調査機器やセンサーを設置し、坑道掘削中のデータを取得する。さらに坑道掘削後に同様の調査を行い、坑道掘削前、掘削中、掘削後のデータを比較することで、坑道掘削による周辺岩盤や地下水の特性の変化やその範囲、これらの影響のプロセスやメカニズムを解明するものである。

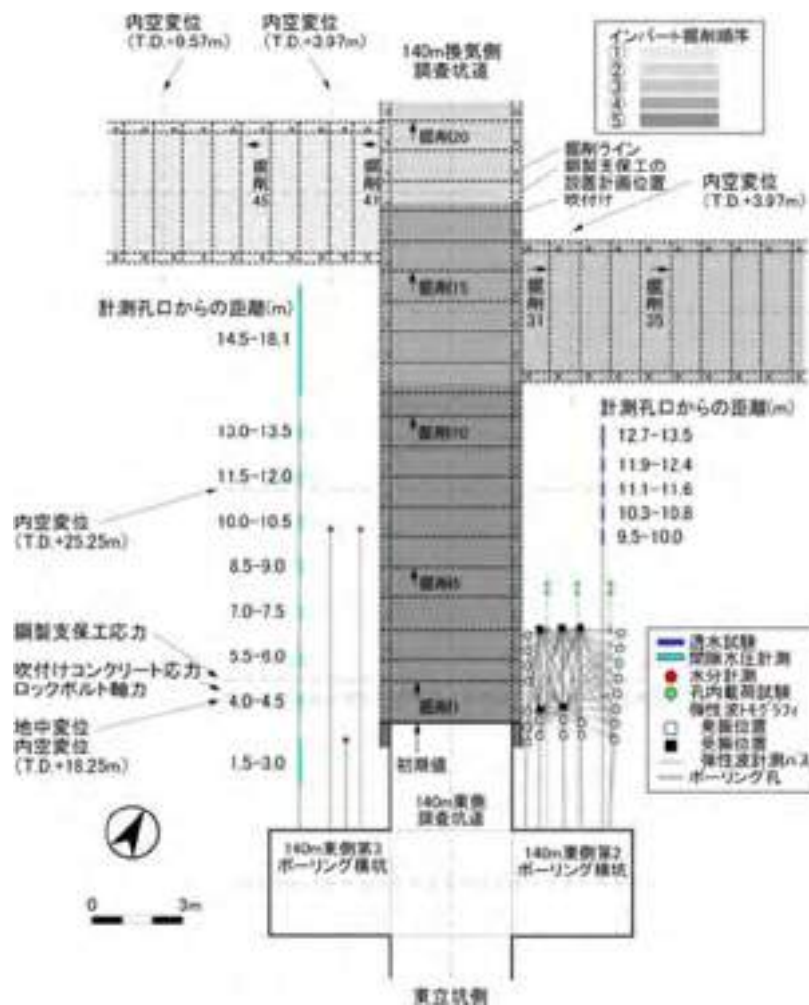


図 2.2-1 深度 140m 調査坑道における掘削影響試験のレイアウト

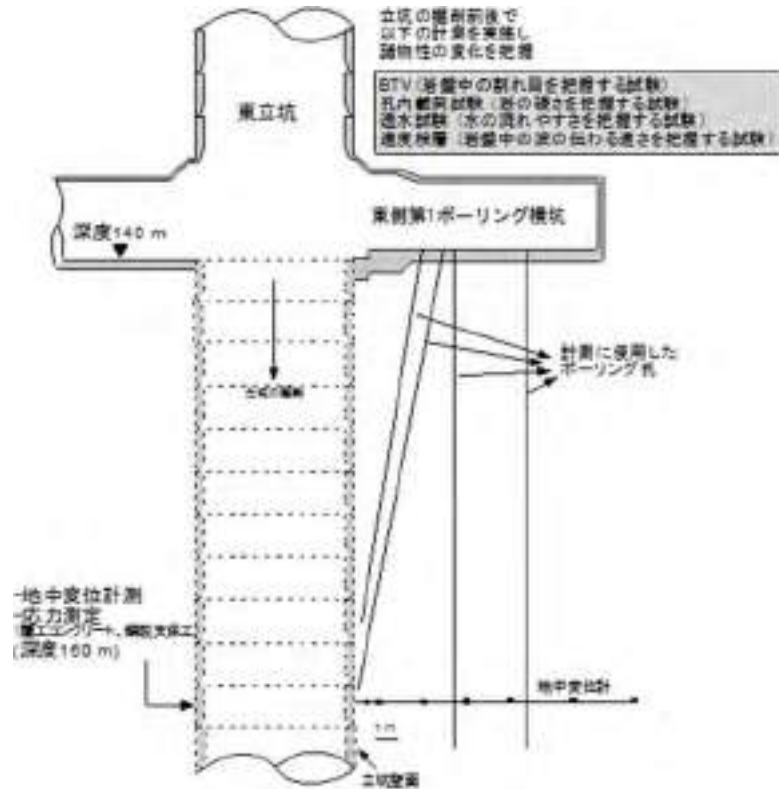


図 2.2-2 東立坑深度 140m における掘削影響試験のレイアウト

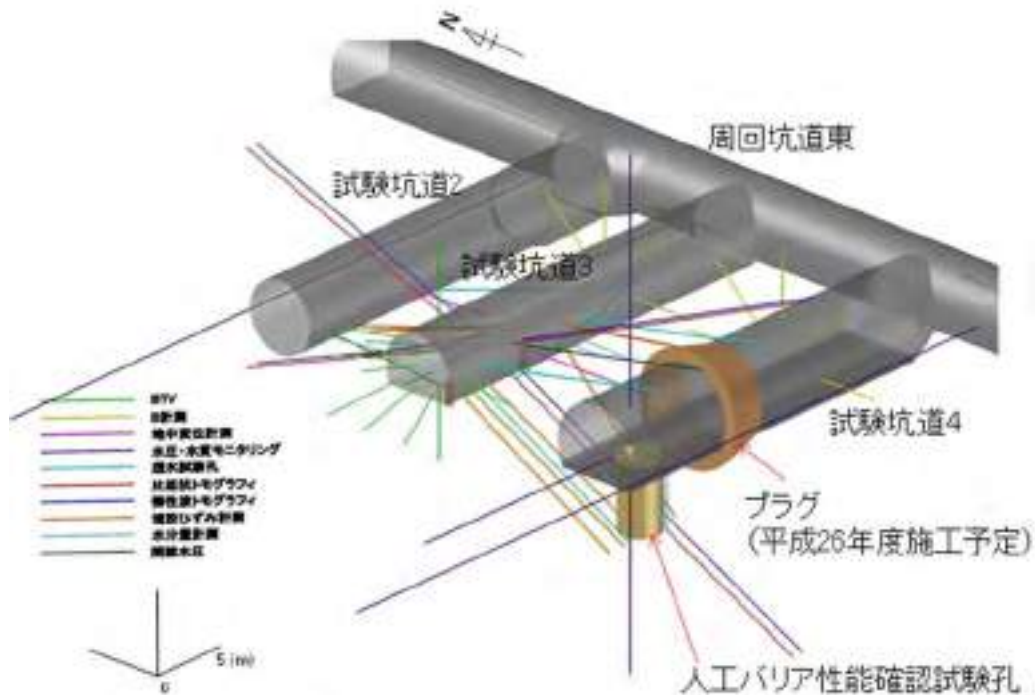


図 2.2-3 深度 350m 調査坑道における掘削影響試験のレイアウト

1) 立坑における掘削影響試験

・深度 140m における掘削影響試験

東立坑の深度 140m 以深の掘削に際して、地中変位計を設置し、立坑掘削に伴う岩盤挙動を把握した。計測結果の一例を図 2.2-4 に示す。本図は立坑南側壁面における計測結果を示したもので、設置直後と掘削が 20m 程度進んだ時点の変位の差をひずみに換算したものである。立坑の壁面近傍では岩盤の圧縮が大きいものの、坑壁から離れるとほとんど変形していないことが分かる。また、透水試験の結果、壁面から約 1m 以内で、透水係数が、健岩部と比較して 1 オーダー程度増大することが確認された。これらの計測結果から、岩盤の力学的な性質が大きく変わる範囲は坑道近傍の 1m 程度であると推定される³¹⁾。

・深度 250m における掘削影響試験

岩盤力学に関する研究では、立坑掘削に伴い取得される岩盤変位や覆工応力などの計測データを使用して、岩盤力学モデルの検証を行っている。立坑の掘削はショートステップ工法で行われているため、立坑の掘削および覆工コンクリートの施工と前後して設置する計測機器で取得される計測データは覆工コンクリートの影響を受ける。これに対して、立坑切羽前方の深度の深い岩盤部分は覆工の影響が小さいと想定される。そのため、掘削予定の岩盤内にあらかじめ先行するボーリング孔を掘削して変位計を設置し、立坑掘削に伴う先行変位を計測することで、掘削に伴う岩盤の力学的な挙動をより正確に把握することが可能になる。図 2.2-5 に示すように、換気立坑の切羽の中心から鉛直下向きに約 23m のボーリング孔を掘削し、先行変位計測用の機器を設置し、鉛直方向の岩盤の変位を計測した。不動点是最深部のアンカーと見なした。計測結果によると、切羽が近づくにつれて岩盤は隆起し、立坑の掘削が進行し計測区間に切羽が最も接近した時に変位が最大となる挙動を示した。このような岩盤の変位挙動はほぼ一様で、10mm 程度に収まることが分かった。

・深度 350m における掘削影響試験

東立坑の深度 350m 以深掘削時の掘削影響領域のモニタリングとして、透水試験、ひずみ測定、水位測定、BTV 観察といった原位置試験を実施した。図 2.2-6 に、透水試験のレイアウトを、図 2.2-7 に透水試験結果を示す。本図から、壁面から 1m 以内の範囲で、立坑掘削後に透水係数が立坑掘削前に比べて約 2~3 オーダー増大したことがわかる。また、壁面から 2m 以内においても、F 孔の 2 区間において、立坑掘削後に透水係数が約 1 オーダー増大した³²⁾。以上から、少なくとも壁面から約 2m の範囲において、EDZ が発達している可能性があることが示された。

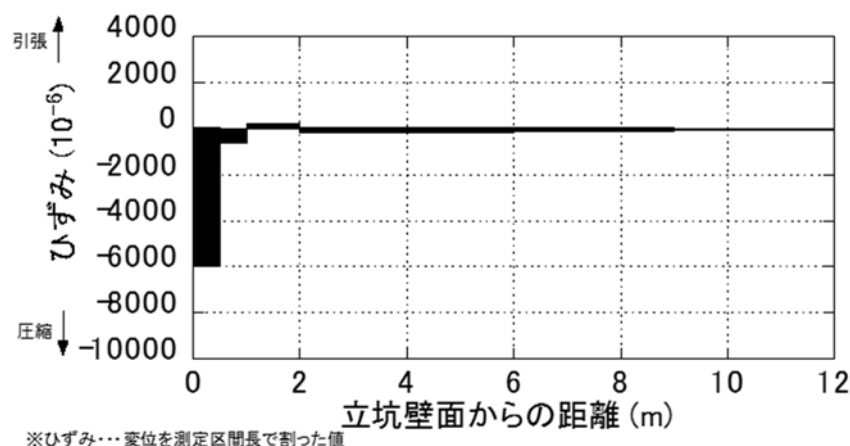


図 2.2-4 立坑掘削に伴う地中変位計測の結果の例（東立坑深度 140m）

立坑南側壁面の岩盤ひずみ（設置直後と掘削が 20m 程度進んだ時点の変位の差を換算）

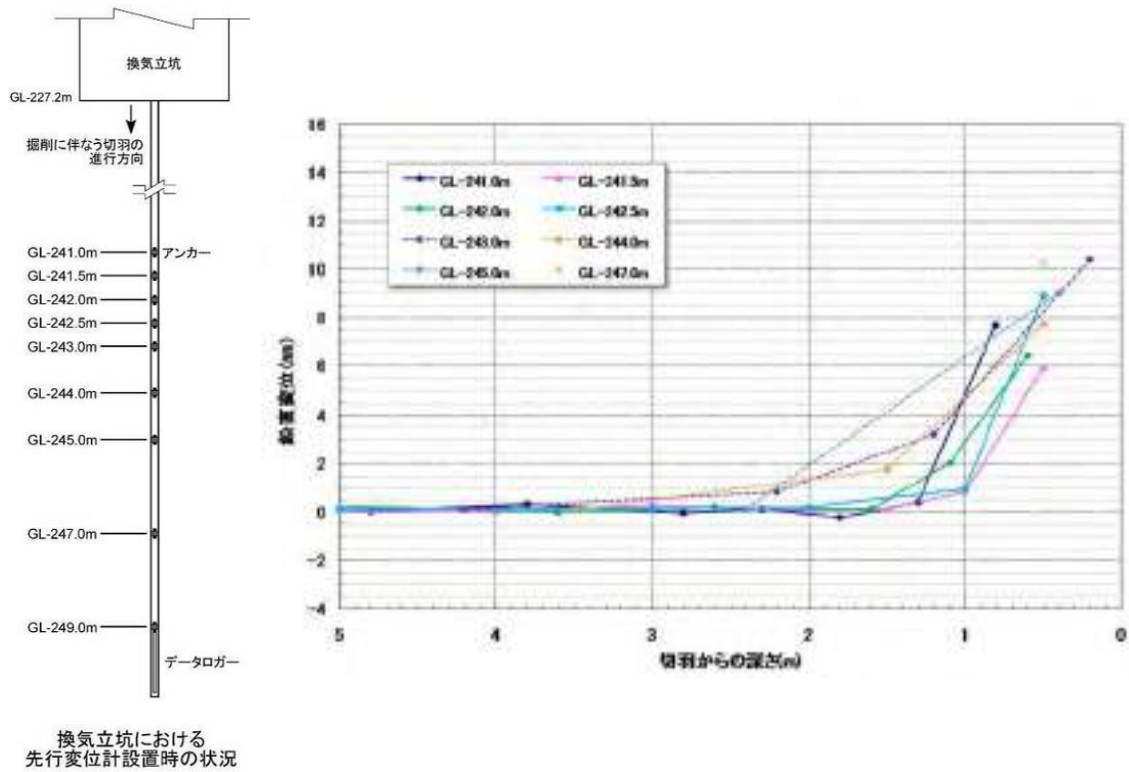


図 2.2-5 立坑掘削に伴う先行変位の計測結果（換気立坑深度 250m）

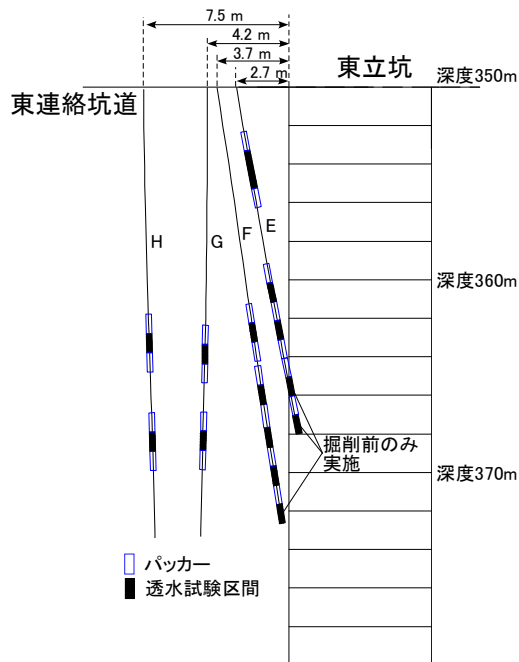


図 2.2-6 立坑掘削前後の透水試験レイアウト（東立坑深度 350m）

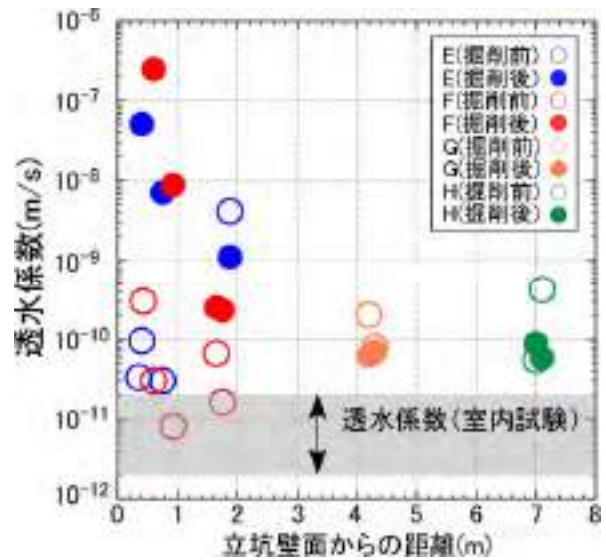


図 2.2-7 立坑掘削前後の透水試験結果（東立坑深度 350m）

2) 深度 140m 調査坑道における掘削影響試験

図 2.2-1 に示したように、東立坑側から換気立坑に向かって坑道を掘削する際に、ボーリング横坑から掘削したボーリング孔において透水試験を実施するとともに、間隙水圧計測と水分計測を実施した。また、弾性波トモグラフィ調査を実施し、岩盤の水利特性や力学特性の坑道掘削による影響を把握した。

深度 140m 調査坑道掘削前の間隙水圧の計測結果を図 2.2-8 に示す。坑道掘削前の地下水の間隙水圧は立坑の壁面に近いほど低くなっていることが分かった。

坑道掘削前後の透水試験の結果を図 2.2-9 に示す。掘削に伴う透水係数の変化は最大 1 オーダー程度であった。同一区間で複数の異なる透水試験方法を適用して得られた結果には類似した傾向がみられるが、試験方法によってバラツキも認められる。特に、パルス試験と他の方法との間には、最大 1 桁程度の差がみられた。このことは、試験中に試験区間内でのガスの発生が圧力へ影響を与えている可能性が考えられる。また、試験区間によって透水係数が異なることは、地層中の割れ目の分布などの不均質性による影響と考えられる。

間隙水圧および水分計測の結果を図 2.2-10 に示す。間隙水圧、水分量とも調査坑道の掘削開始とともに大きく低下したが、掘削完了後の間隙水圧は緩やかに低下する傾向を示し、その後は安定した状態にある。水分量は掘削完了後の 2009 年 9 月頃より再び増加に転じ、その後は 1 年周期の変動が認められる。これは坑内の気温と湿度が冬期に低く、夏期に高いという、周期的な季節変動と同期（気温・湿度が低い時期に水分量が増加）していると考えられる。湿度の低下により坑道が乾燥すると、坑壁奥側からの水分移動を生じさせる可能性があると考えられる³³⁾。

掘削後 650 日までの弾性波トモグラフィ調査の結果を図 2.2-11 に示す。坑道掘削時には 1m 掘削ごとに、坑道掘削後には約 50 日おきに調査を繰り返し行った。弾性波速度の変化率を示した図は、調査坑道の掘削前の試験結果を基準値として、基準値からの弾性波速度の変化率を示したものである。調査の結果、坑道掘削により 50cm 程度の範囲で、5～15%程度で弾性波速度が低下する領域が現れ、坑道壁面近傍においては坑道の掘削が終了した後も、弾性波速度が低下した部分がわずかながら拡大していることが分かった³⁴⁾。

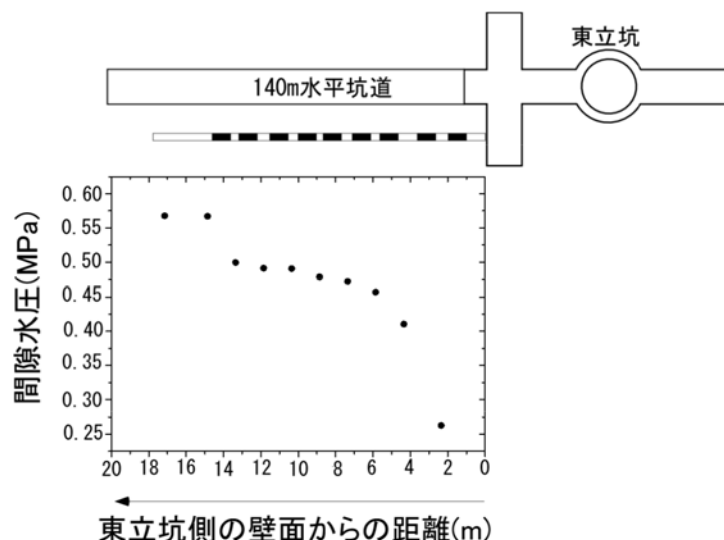


図 2.2-8 深度 140m 調査坑道における掘削影響試験（掘削前の間隙水圧分布）

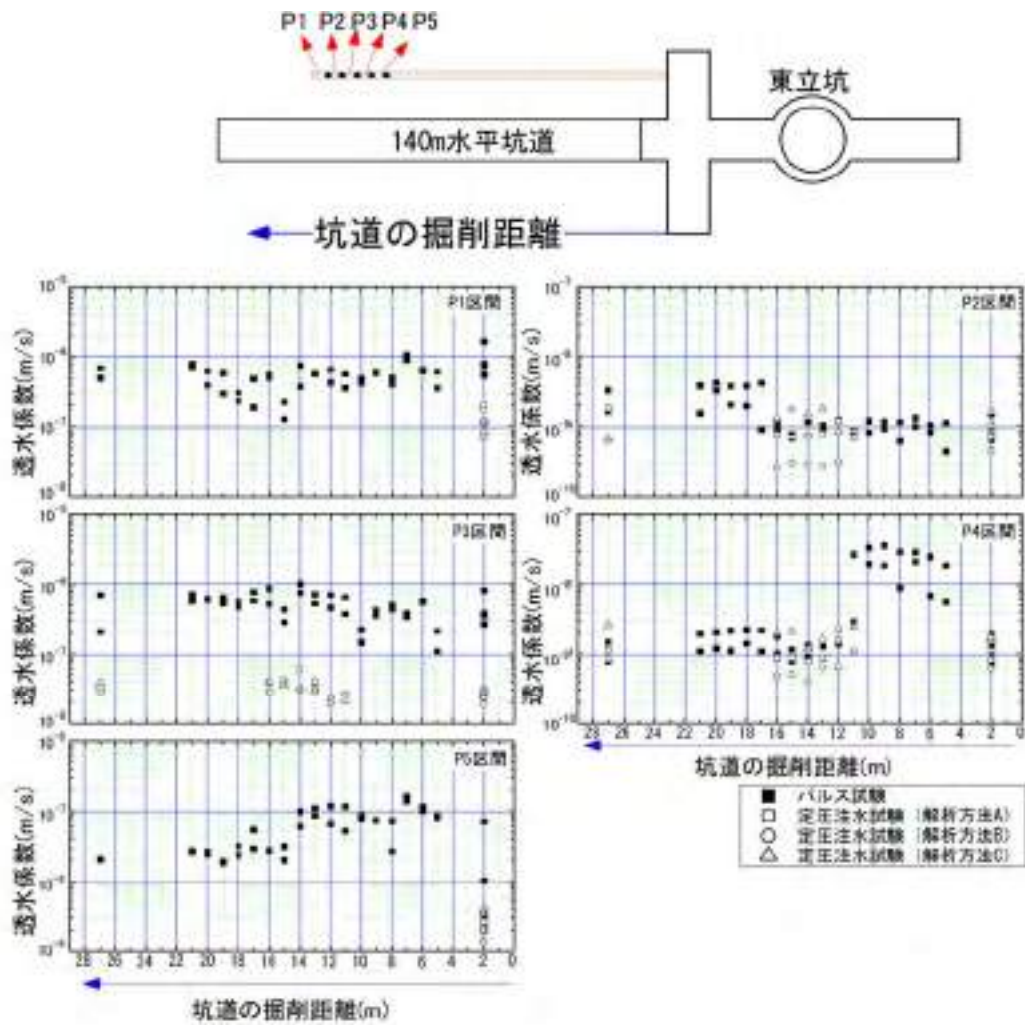


図 2.2-9 深度 140m 調査坑道における掘削影響試験（透水試験結果）

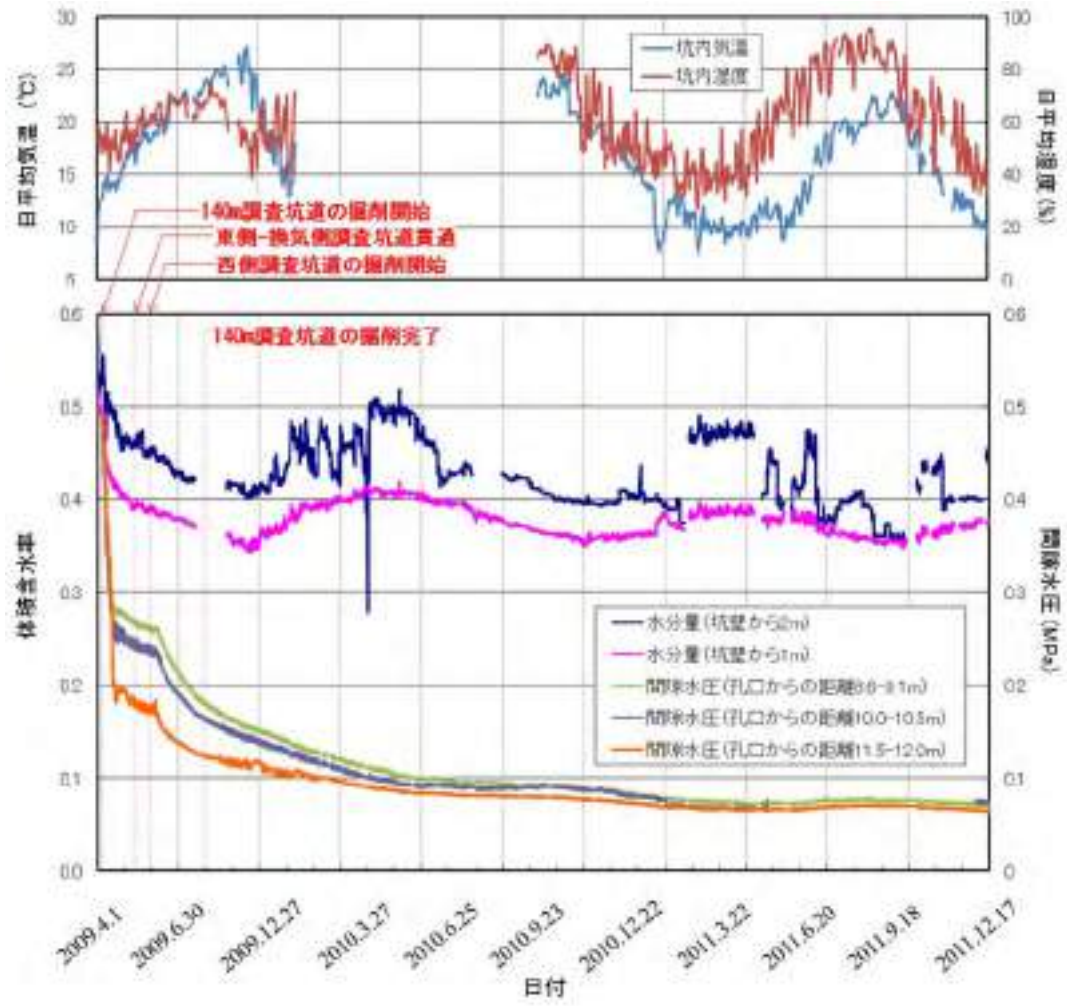


図 2.2-10 深度 140m 調査坑道における掘削影響試験（間隙水圧および水分計測結果）

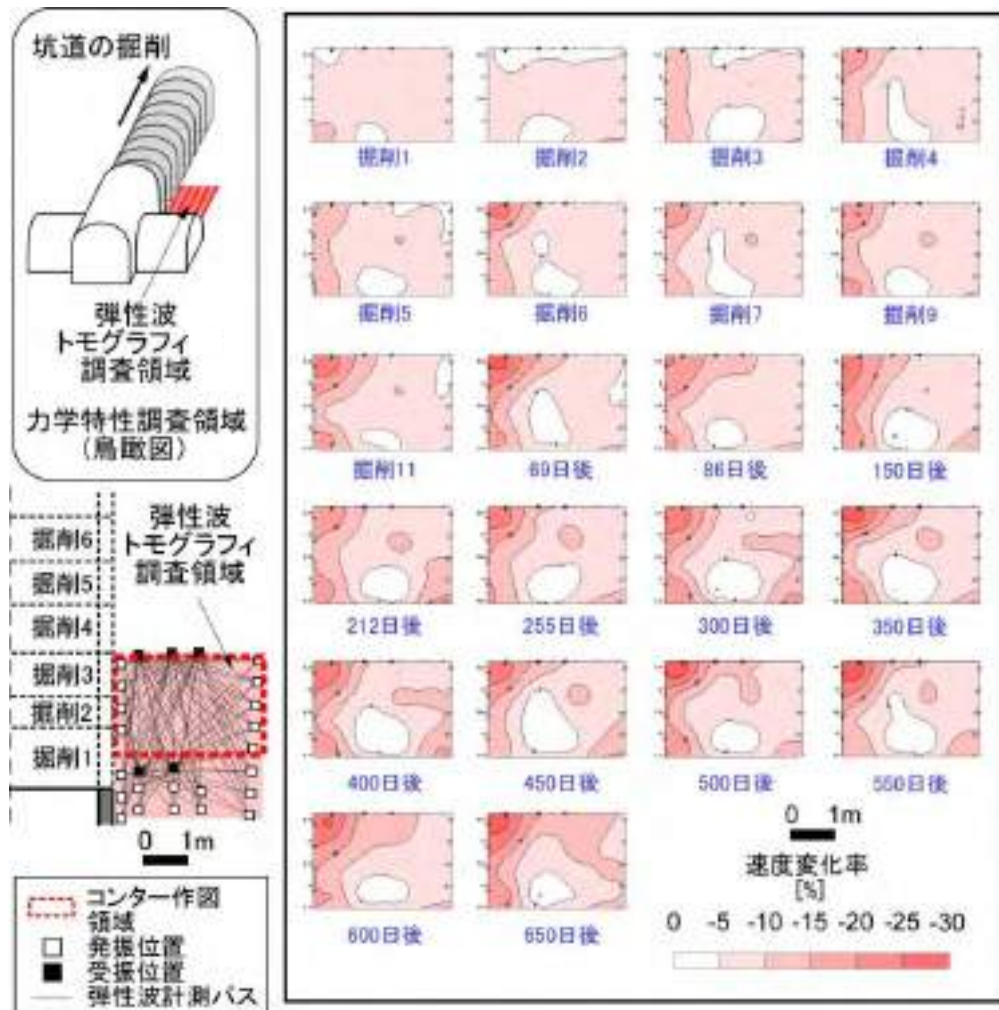


図 2.2-11 深度 140m 調査坑道における掘削影響試験（弾性波トモグラフィ調査結果）

3) 深度 250m 調査坑道における掘削影響試験

深度 140m 調査坑道と同様に、深度 250m 調査坑道の掘削による周辺岩盤への影響について調査試験を実施した。図 2.2-12 に弾性波トモグラフィ調査のレイアウトを、図 2.2-13 に調査結果を示す。掘削中の調査は、掘削切羽が調査領域を通過する前後 6 段階で実施し、調査領域の掘削後から 1 年間は 50 日ごと、それ以降は 100 日ごとに調査を実施した。調査結果によると、掘削切羽が調査領域に到達する掘削 6（同図(c)）までは坑道周辺岩盤の弾性波速度に顕著な低下は見られないが、掘削切羽が調査領域を通過した掘削 12（同図(d)）では、壁面から 1m 以内に、顕著な弾性波速度が低下した領域が見られた^{35),36)}。また、同図(e)～(j)に示す、調査領域掘削後の長期的な弾性波速度の分布を見ると、50～150 日後（同図(e), (f)）の速度低下領域は、掘削 12（同図(d)）に比べて狭くなったが、250～650 日後（同図(g)～(j)）では、速度低下領域は徐々に広がっていく様子が見られた³⁷⁾。

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することを目的として、弾性波屈折法探査を深度 250m 調査坑道の西側で実施した。図 2.2-14 に弾性波屈折法探査結果を示す。図より、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たことから、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た³⁸⁾。

坑道掘削に伴う岩盤の透水性を検討するために、電力中央研究所との共同研究として、深度 250m 調査坑道の西側において透水試験を実施した。図 2.2-15 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($10^{-9} \sim 10^{-10} \text{m/s}$)に比べて 2 桁程度高い透水性($4.9 \times 10^{-8} \text{m/s}$)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($2.9 \times 10^{-10} \text{m/s}$)が確認され、割れ目は認められなかった。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($1.1 \times 10^{-8} \text{m/s}$)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た³⁹⁾。

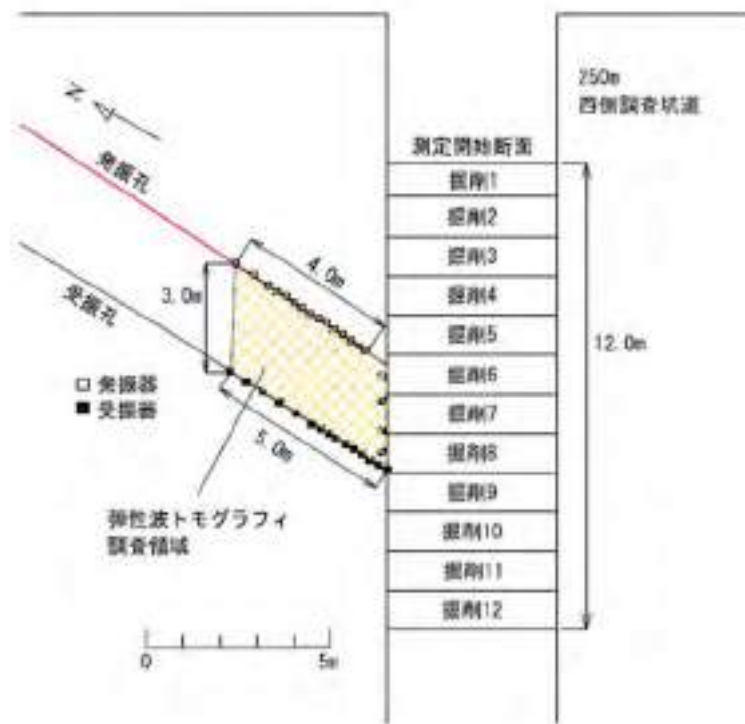


図 2.2-12 深度 250m 調査坑道における掘削影響試験（弾性波トモグラフィ調査レイアウト）

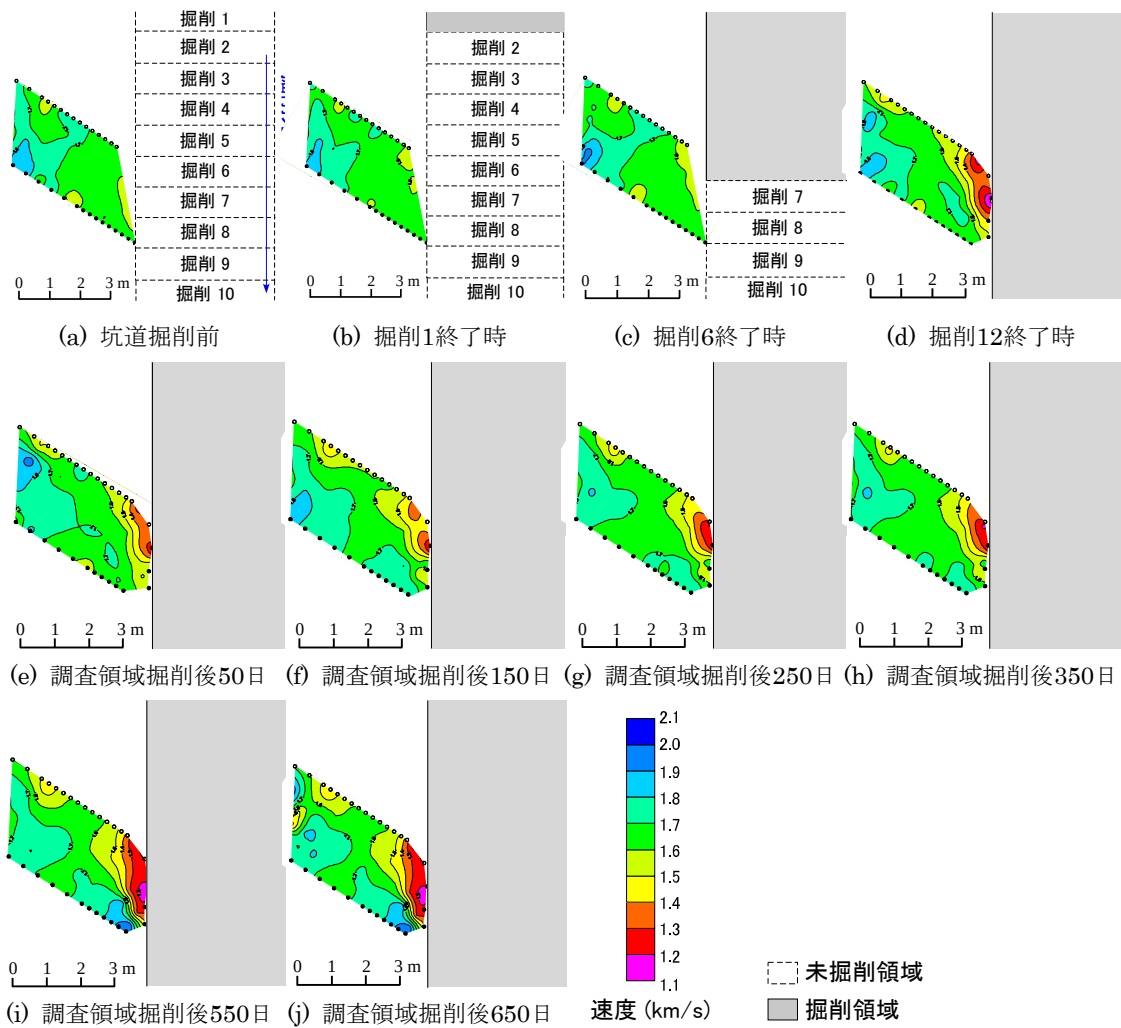


図 2.2-13 深度 250m 調査坑道における掘削影響試験（弾性波トモグラフィ調査結果）

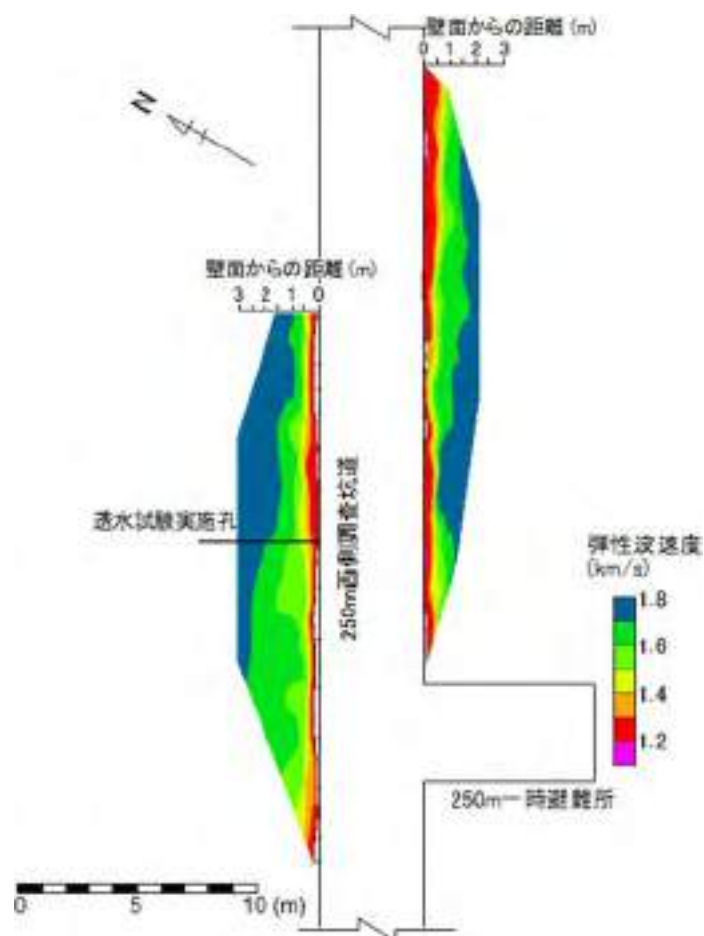


図 2.2-14 深度 250m 調査坑道における掘削影響試験（弾性波屈折法探査結果）

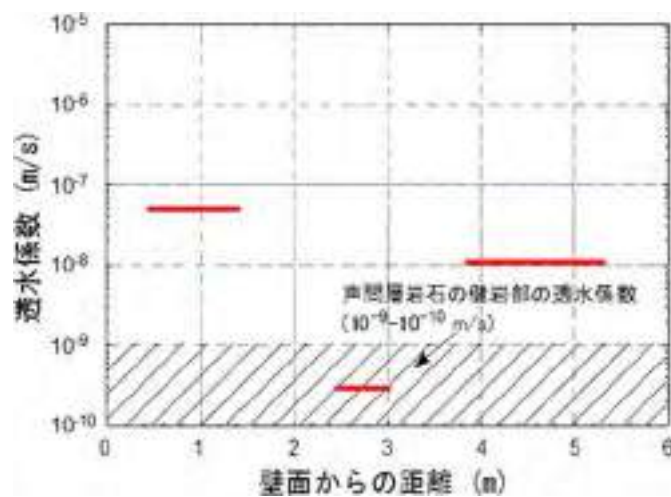


図 2.2-15 深度 250m 調査坑道における掘削影響試験（透水試験結果）

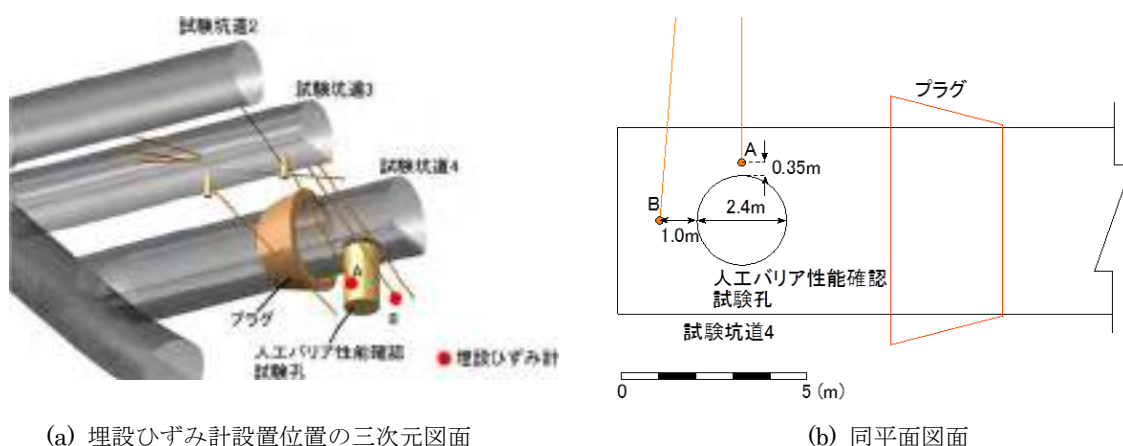
4) 深度 350m 調査坑道における掘削影響試験

図 2.2-3 に示したように、深度 350m 調査坑道の試験坑道 2, 3 および 4 において掘削影響試験を実施した。ボーリング孔における BTV 観察、地中変位計測、水圧・水質モニタリング、透水試験、比抵抗および弾性波度モグラフィー調査、ひずみ計測、水分量計測、間隙水圧計測を実施し

た。試験坑道 2 は円形、試験坑道 4 は三心円馬蹄形に掘削し、掘削断面の相違による掘削影響の違いについても検討した。

図 2.2-16 に試験坑道 4 の人工バリア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のレイアウトを、図 2.2-17 に結果を示す。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して、3 次元の主ひずみを算出できるようにした。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填した。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た。計測結果の例として、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 地点のひずみの経時変化を例として示す。グラフ中のひずみの正值は引張を、負値は圧縮を表す。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た。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、その上部の坑道を埋め戻しており、それらに伴う周辺岩盤の挙動のモニタリングを実施している。

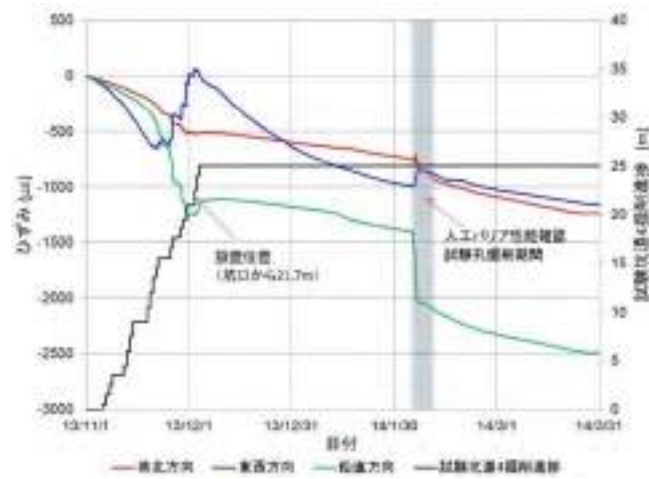
次に、試験坑道 3 の側壁から試験坑道 4 の人工バリア性能確認試験用の試験孔の西側に向けて、同試験孔掘削後に掘削したボーリング孔において実施した透水試験結果について述べる。図 2.2-18 にその結果を示す。ボーリング孔壁観察の結果、試験孔の孔壁から西方約 1m の箇所（ボーリング孔の掘削深度 11m 付近）にて、特徴的な亀裂の発達領域を確認した。同箇所には東方に緩く傾斜する亀裂が限定的に発達しており、そのような亀裂は試験孔の掘削によって新たに形成されたものと解釈された。同亀裂発達領域を対象に透水試験を実施した結果（区間 2）から、試験坑道 3 沿いの亀裂発達領域（区間 5 に相当）と同程度の透水係数であった。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た。しかし、試験孔南側近傍の水分量計測孔（図(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なかったため、局所的な地質の不均質性を反映しているものと推測された⁴⁰⁾。



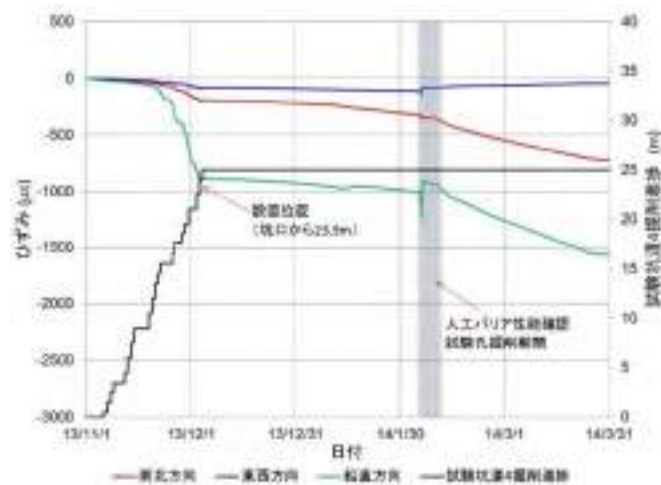
(a) 埋設ひずみ計設置位置の三次元図面
(350m以深から見た図)

(b) 同平面図面

図 2.2-16 深度 350m 調査坑道における掘削影響試験（埋設ひずみ計測レイアウト）



(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 2.2-17 深度 350m 調査坑道における掘削影響試験（埋設ひずみ計測結果）

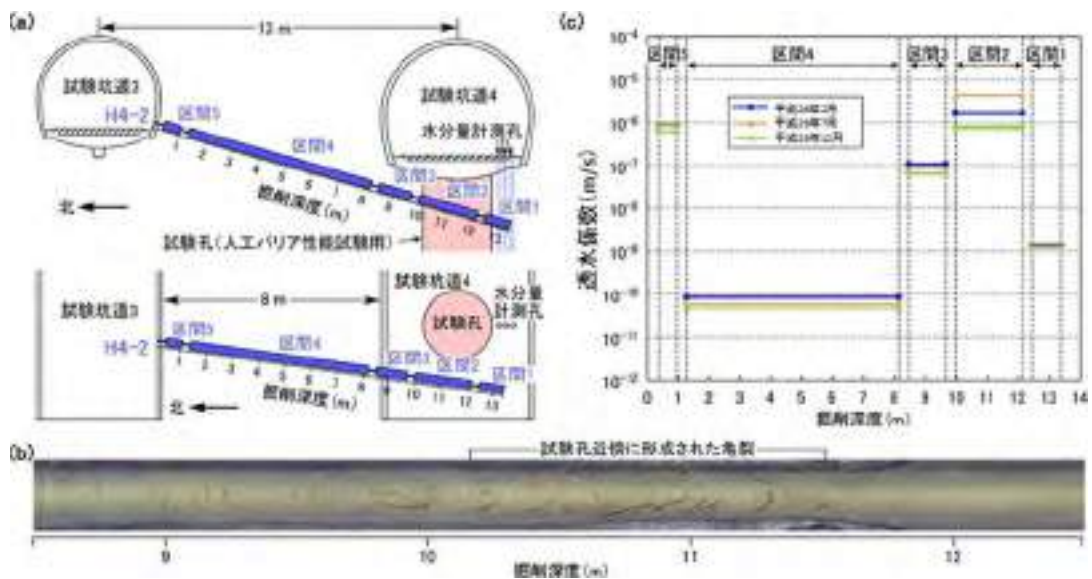


図 2.2-18 深度 350m 調査坑道における掘削影響試験（透水試験結果）

(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

2.3 地質環境モニタリング技術の開発

本節では、地質環境調査のために新たに開発した調査機器や、適用性を評価した調査機器について、地上からの調査と地下における調査に分けて示す。

2.3.1 地上からの調査機器・調査技術開発

1) 表層における地下水流動調査手法の整備

地表部は、地下水の涵養域あるいは流出域であり、地下水涵養量（降水が地表から地下の岩盤に浸透する量）は地下水を流動させる駆動力として、深部岩盤を含めた広域の地下水流動を規定する要因の一つである。そのため、「2.1.2 岩盤の水理」で記述したように、深部の地下水流動の評価に必要な、表層付近の地下水流動と地下水涵養量の把握を目的として表層水理調査を継続して実施した。特に積雪寒冷地固有の現象を考慮した観測機器の選定や取得されるデータの蓄積・評価を通じて、図 2.3.1-1 に示すような表層水理調査手法の整備と適用性の評価を実施した¹⁷⁾。

水文学的手法（水収支法）による地下水涵養量算定で重要となる蒸発散量の算出については、気象観測要素から季節や地形、植生に応じた推定式を用いているが、どの推定式を用いるかによって算出値に年間 200mm 以上の違いがあるほか、同じ推定式を用いた場合でも気象観測項目のデータ処理方法によって年間 100mm 以上の違いが現れている。これらの問題に対して、地下水工学的的手法に追加する形で、2008 年度より設置箇所の降水量、積雪水量、蒸発散量、鉛直浸透量等を直接観測できるライシメータによる観測を開始し（図 2.3.1-2）、各観測データを用いて水収支法における各観測項目の値や得られた涵養量の信頼性などについて評価を行った。

図 2.3.1-3 はライシメータにより観測された蒸発散量と、気象要素から推定する方法の中で草地の蒸発散量推定に適用性が高いとされるペンマン法から求めた蒸発散量とを比較した。図に示した観測期間では、2010 年 8 月 24 日、8 月 29 日～31 日に降雨があった。例えば、降雨後の 8 月 25 日の蒸発散量はライシメータとペンマン法で同程度の値を示しているが、8 月 26 日から降雨前の 8 月 28 日にかけてライシメータの蒸発散量は、ペンマン法の値に比べて小さな値を示していることが分かる。ペンマン法では地面や植被面が水面と同じように水で飽和していることを仮定していることから、上記の例は降雨後に乾燥が進んで実蒸発散量が減少したと考えられる。このようなライシメータの観測データを蓄積することによって、蒸発散量の推定法に対する幌延地域の補正係数を設定することが可能になった。

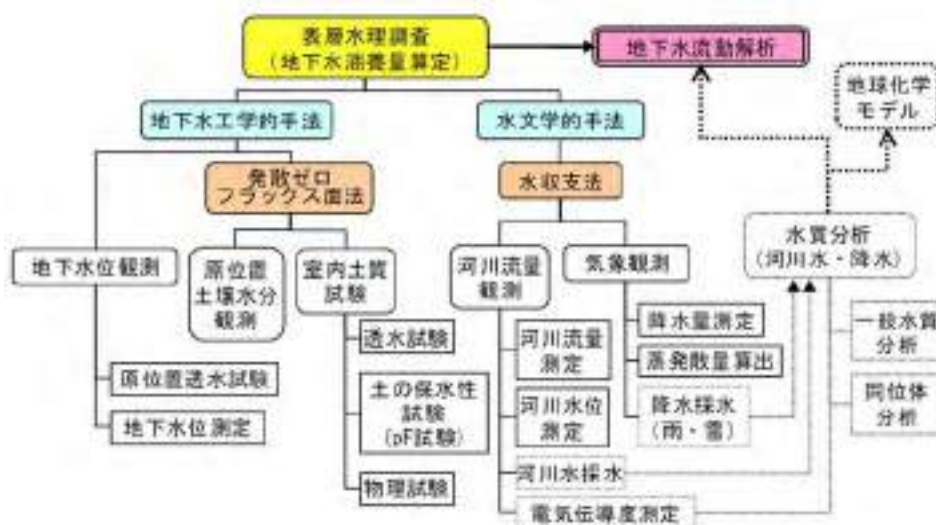


図 2.3.1-1 表層水理調査の体系

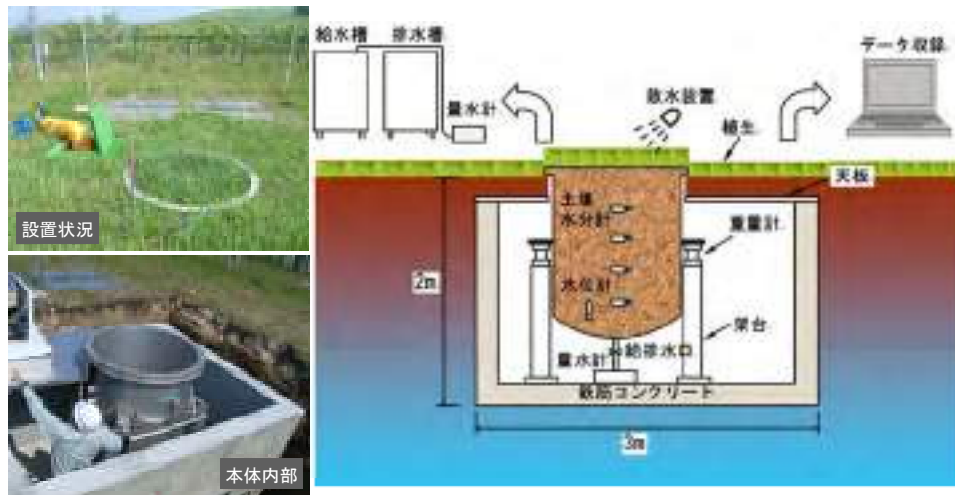


図 2.3.1-2 ライシメータによる観測の概念と設置状況

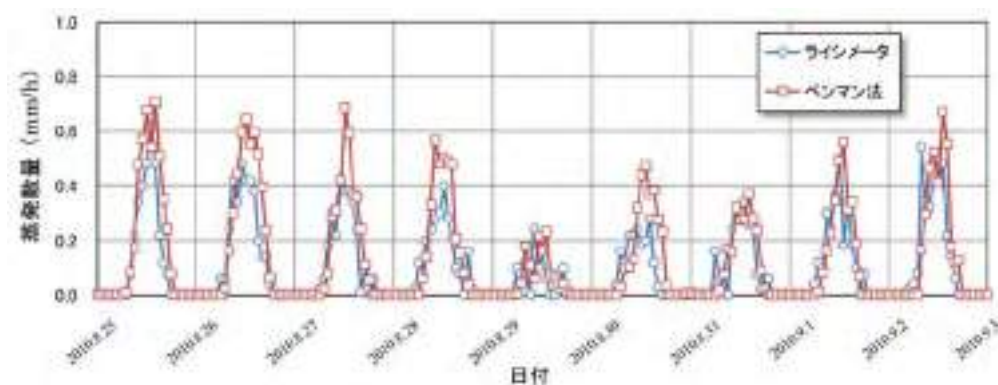


図 2.3.1-3 時間蒸発散量の変化（ライシメータとペンマン法の比較）

2) 地下水の長期モニタリングシステムの開発

2.1.2 岩盤の水理で示したように、第 2 段階では地下施設の建設が地下水の水圧・水質に与える影響を観測する技術の整備、岩盤の水理モデルや地下水の地球化学モデルの構築、地下水流動解析などに必要なデータの取得、および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た。HDB シリーズ孔および PB-V01 孔に地下水の水圧・水質の長期モニタリング装置を設置し、このようなデータを取得するとともに、装置の適用性を評価することとした(表 2.3.1-1)²²⁾。装置は、直接水圧計測方式の Multi-Piezometric Logger System (MP システム: Westbay Instruments 社⁴¹⁾製)、ピエゾ水頭計測方式の Stand-Pipe Multi-Packer System (SPMP システム: Solexperts 社⁴²⁾製)、PIEZO システム (ダイヤコンサルタント社⁴³⁾製)、スタンドパイプ式 10 連装パッカーシステム (アサノ大成基礎エンジニアリング社⁴⁴⁾製)を選定した(図 2.3.1-4～7)²²⁾。MP システムおよび SPMP システムについては、設置してから 10 年を超える観測事例も蓄積されつつある。これらの装置を用いた観測について、以下に示す観点で技術開発を行った。

- ・地下施設建設に伴う地下水圧および水質への影響 (2.1.2 岩盤の水理参照)。
- ・観測データに含まれる様々なノイズ (地震、大気圧の変動、潮汐変動など) を除去する解析手法の適用。

- ・大深度ボーリング掘削において、堆積軟岩では避けられない孔壁保持のために設置するケーシングやケーシング設置時に使用したセメントが地下水の水質に及ぼす影響の調査(採水・分析)。
- ・採水時において、地下水圧をモニタリングする機能の有効性の確認 (PIEZO システム) (図 2.3.1-8)。

表 2.3.1-1 地下水の長期モニタリング孔の装置および観測年数

ボーリング孔	モニタリング装置	モニタリング期間		観測年数※
		開始	終了	
HDB-1	MP システム	2003.8.29	継続中	12
HDB-2	SPMP システム	2004.4.14	継続中	11
HDB-3	MP システム	2003.11.21	継続中	12
HDB-4	MP システム	2008.2.28	2009.10.13	1
HDB-5	MP システム	2009.12.15	継続中	6
HDB-6	MP システム	2005.3.4	継続中	10
HDB-7	MP システム	2005.1.29	継続中	10
HDB-8	MP システム	2005.3.4	2014.8.7	9
HDB-9	MP システム	2005.10.17	継続中	10
HDB-10	PIEZO システム	2006.3.9	2013.2.6	7
HDB-11	MP システム	2007.2.10	2012.4.10	5
PB-V01	スタンドパイプ式 10 連装 パッカーシステム	2008.10.27	継続中	7

※ 2015 年 12 月現在

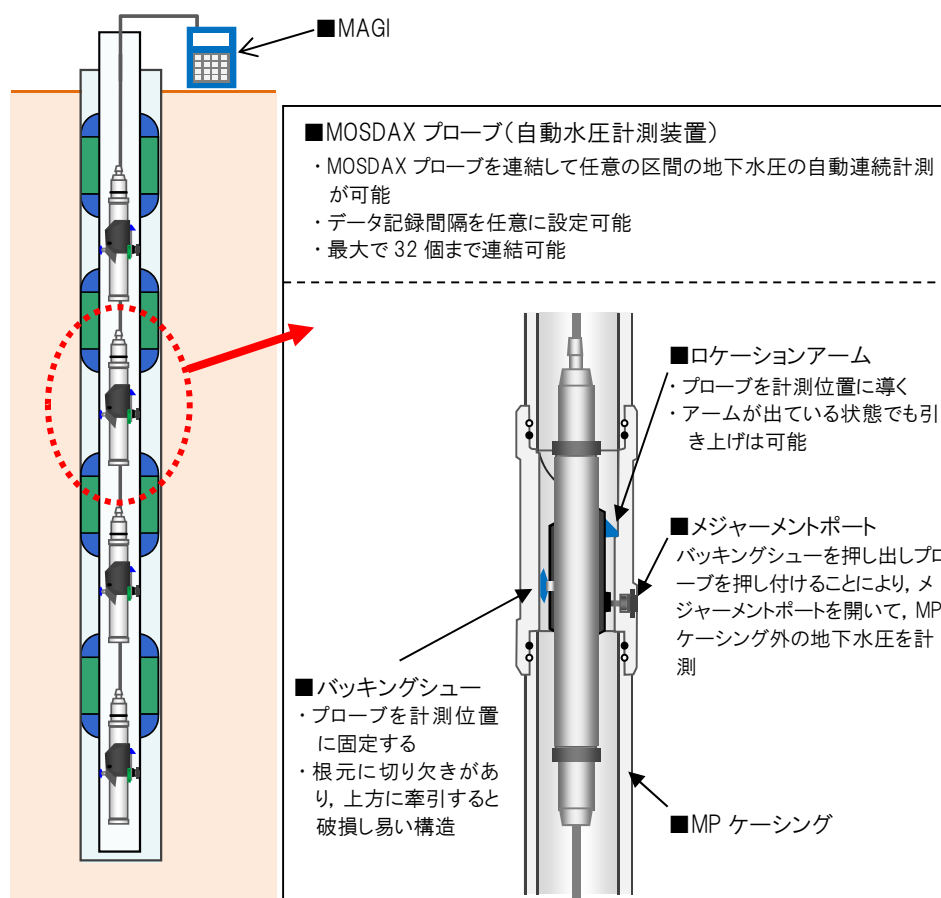


図 2.3.1-4 MP システムの概念図

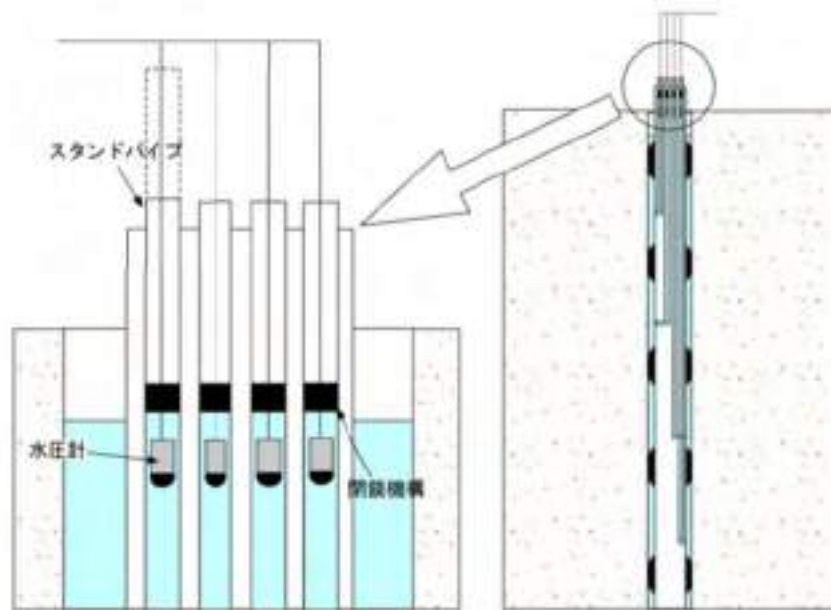


図 2.3.1-5 SPMP システムの概念図

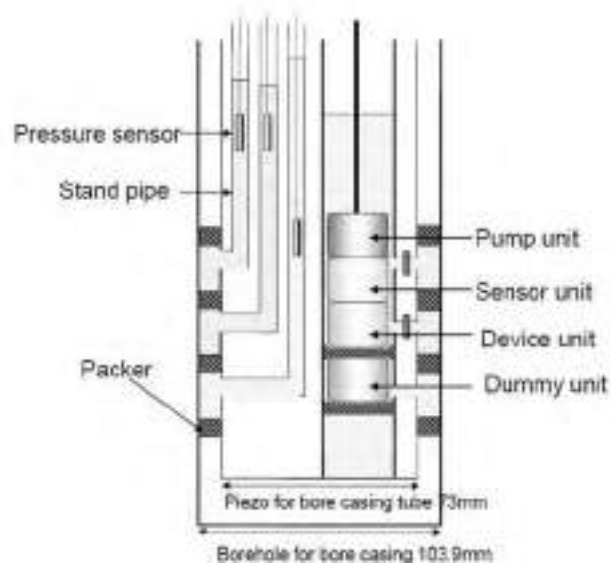


図 2.3.1-6 PIEZO システムの概念図

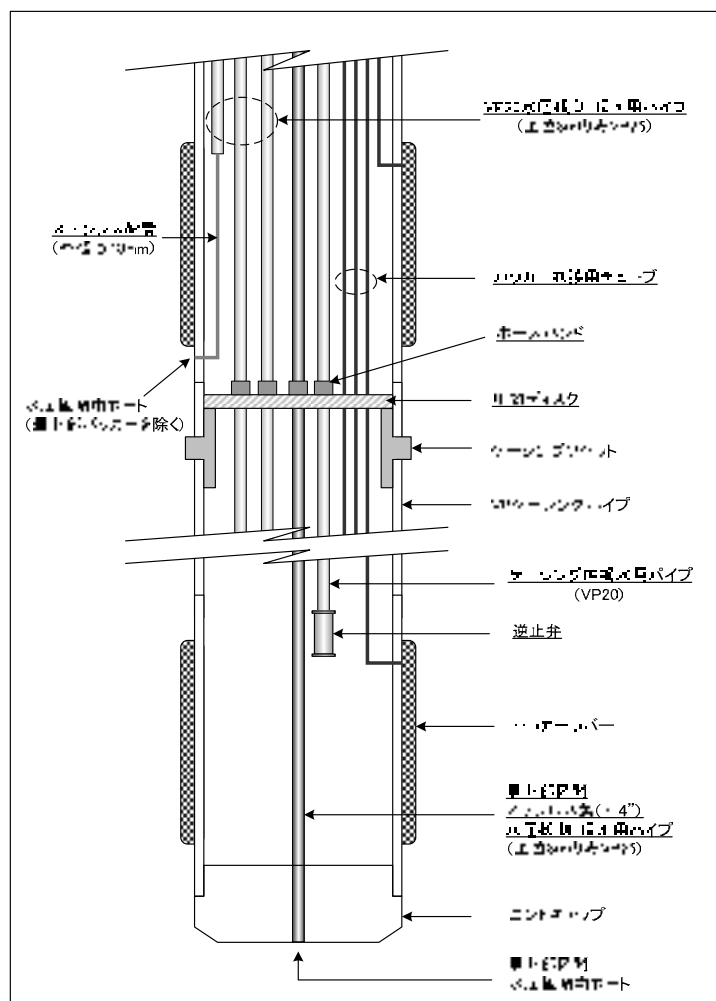


図 2.3.1-7 スタンドパイプ式 10 連装パッカーシステムの概念図

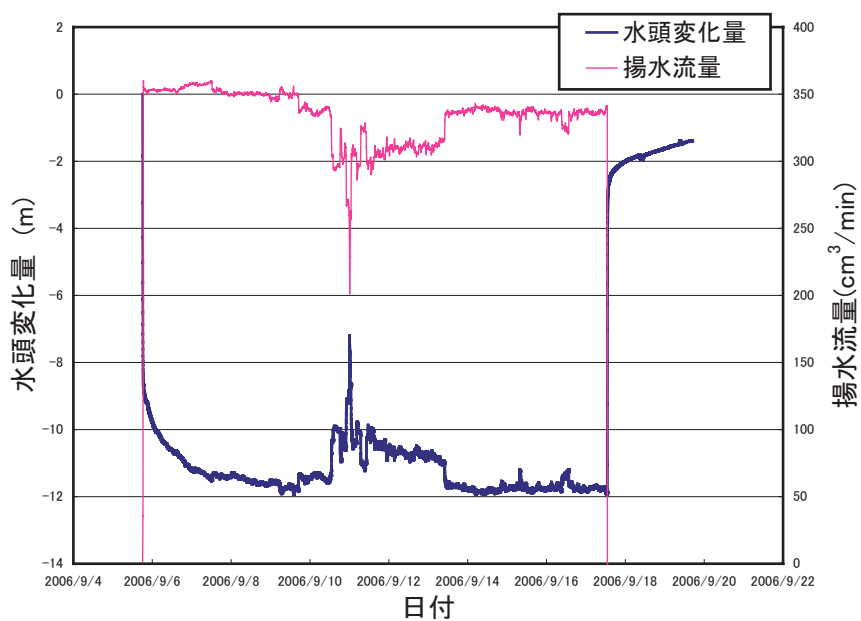


図 2.3.1-8 PIEZO システムによる地下水の揚水量とそれに伴う水圧の経時変化

3) 比抵抗モニタリングを利用した水質調査技術開発

岩盤中の見掛け比抵抗値と地下水の塩化物イオン濃度には相関関係があると考えられることから、見掛け比抵抗値を定期的に測定し変化を捉えることにより、地下施設建設に伴う地下水の流れなどの変化をモニタリングする試みを立坑掘削前の2006年より実施し、適用性の確認を行った。岩盤中の見掛け比抵抗分布は、図2.3.1-9に示すような既存のボーリング孔を結ぶ2つの測線を配置し、電気探査法により測定した。測定の結果を図2.3.1-10および図2.3.1-11に示す。2006年から2008年までの毎年1回の計3回にわたり、測定を実施した。3回の結果を比較すると、深度の深い部分で見掛け比抵抗の変化がやや大きい箇所が認められたが、全体的に見掛け比抵抗の値や分布形状が大きく変わる区域はみられなかった。また、立坑付近に関しては、立坑掘削に起因すると考えられる明瞭な比抵抗の変化域は認められなかった。

立坑周辺の比抵抗分布の変化は、地下施設の建設に伴う湧水などの周辺岩盤の地下水の流れや水質の変化によって生じることが推測されるため、立坑内の湧水量の変化と湧水の水質変化について検討した。図2.3.1-12～14に示す湧水量の変化および水質の変化を見ると、電気伝導度は、500～2,000mS/mの間で推移しており、これを比抵抗値に換算した値(0.5～2Ωm)は、立坑周辺の見掛け比抵抗分布と整合的であることが分かった。一方、地下施設の建設に伴う湧水量(図2.3.1-12)は、第1回、第2回の電気探査時の月当たり約300m³から、第3回には約3,000m³に急激に増加した。しかし、見掛け比抵抗分布には大きな変化は見られなかった。このことは、地下施設の建設による地下水の水質の変化が湧水を含む地下水の流れの変化に比べて緩慢であることを示唆していると考えられる。



図 2.3.1-9 電気探査の測線配置

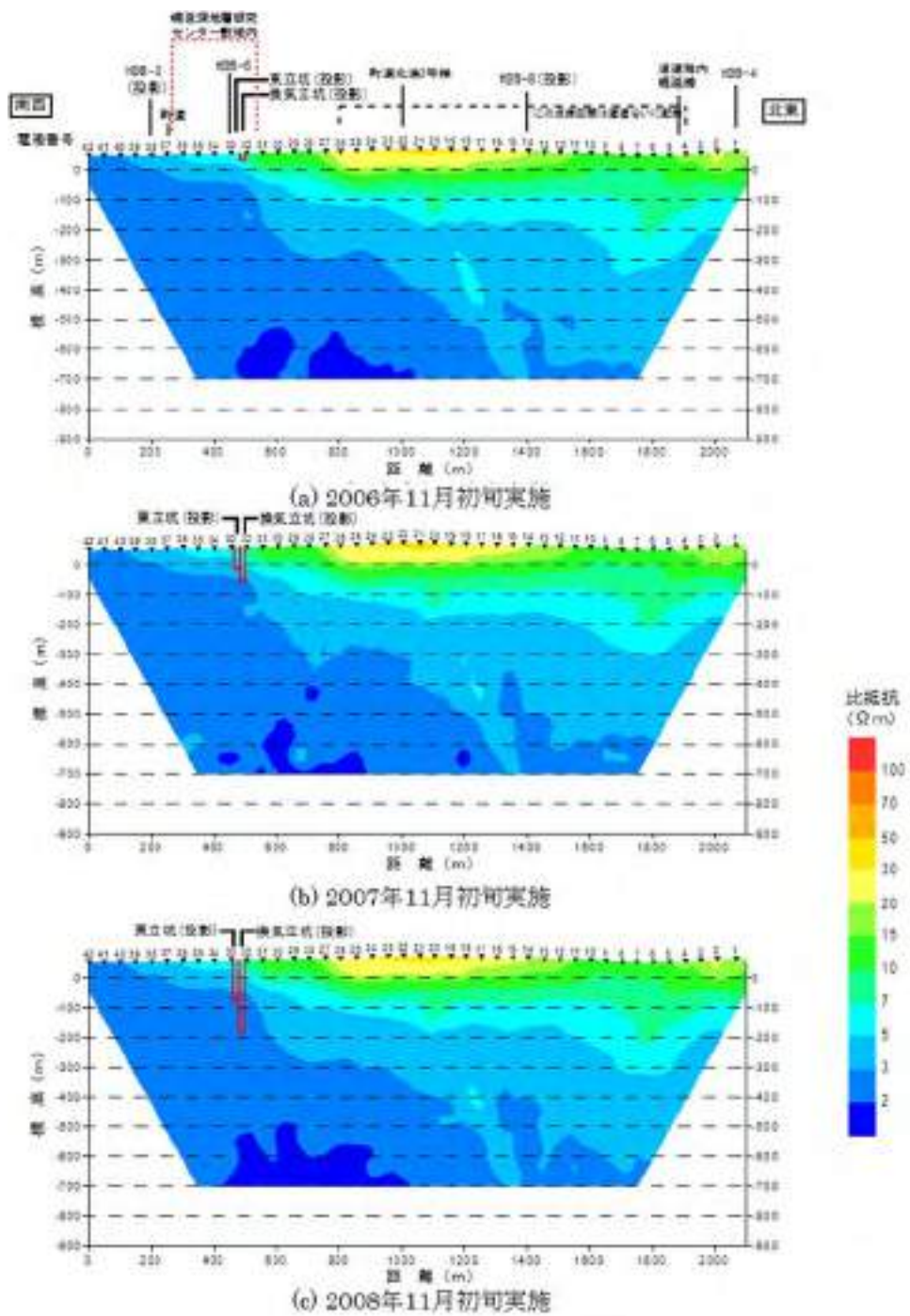


図 2.3.1-10 電気探査の結果（測線 1）

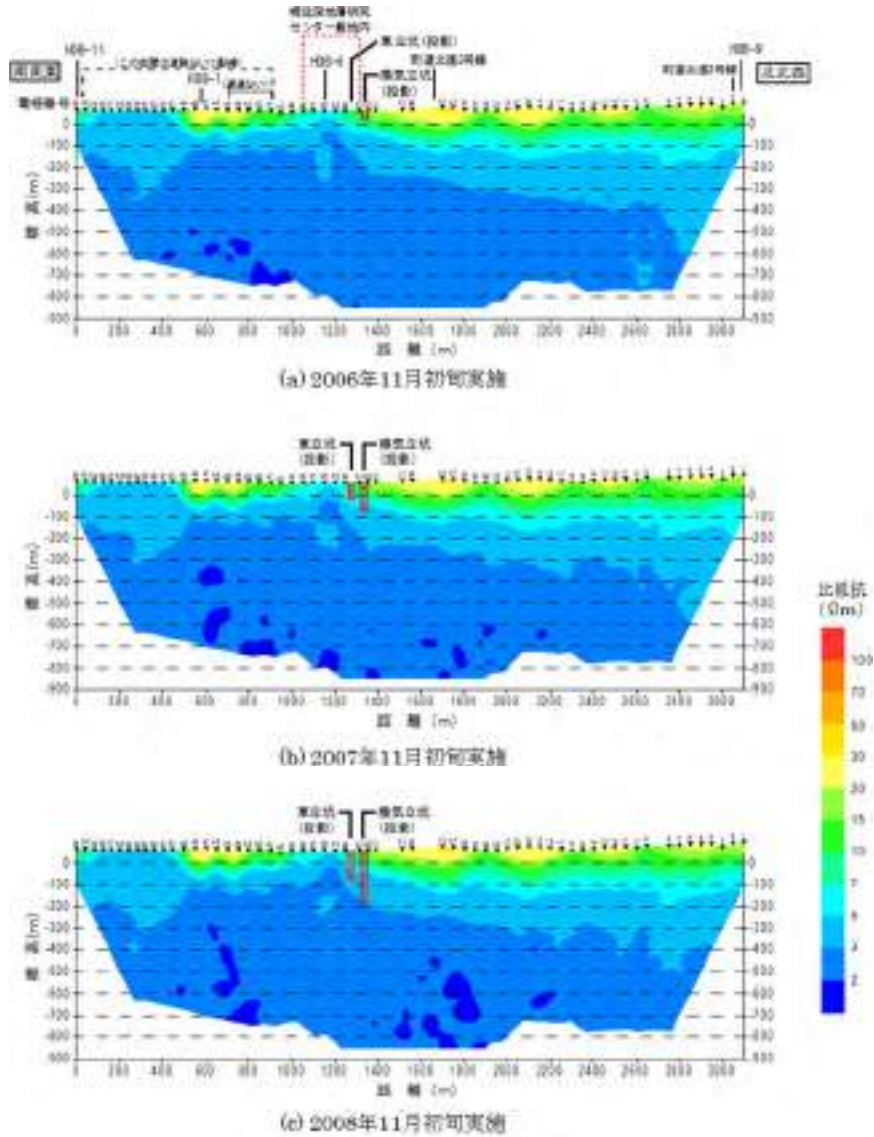


図 2.3.1-11 電気探査の結果（測線 2）

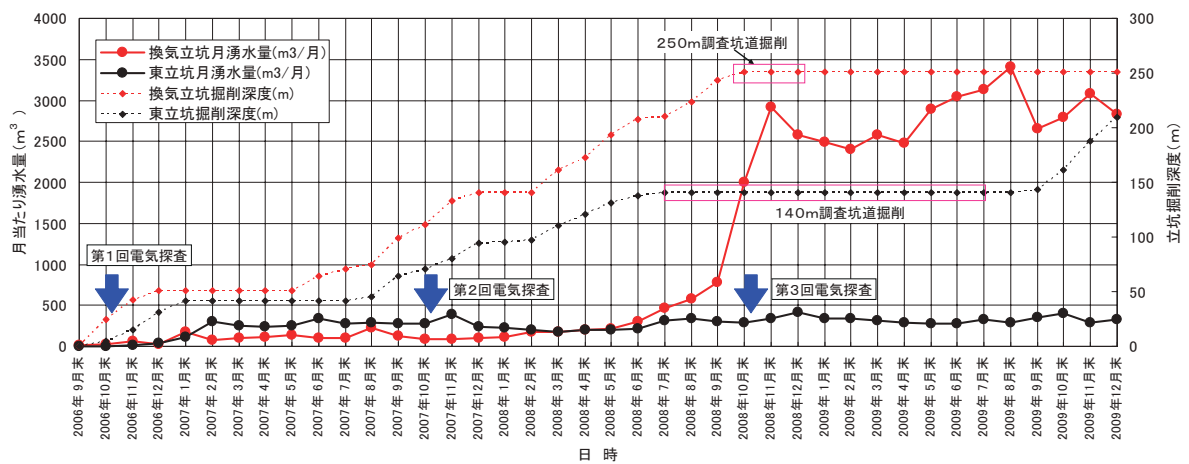


図 2.3.1-12 立坑掘削時の湧水量の変化

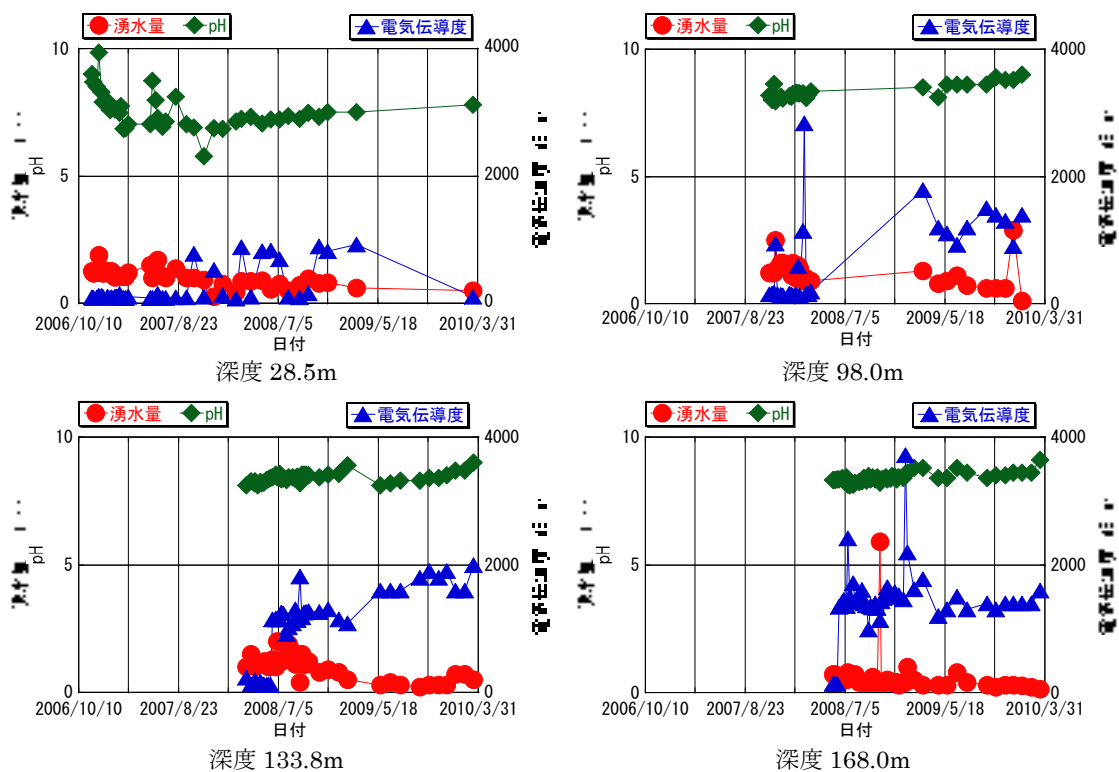


図 2.3.1-13 換気立坑集水リングにおける地下水の水質モニタリング結果

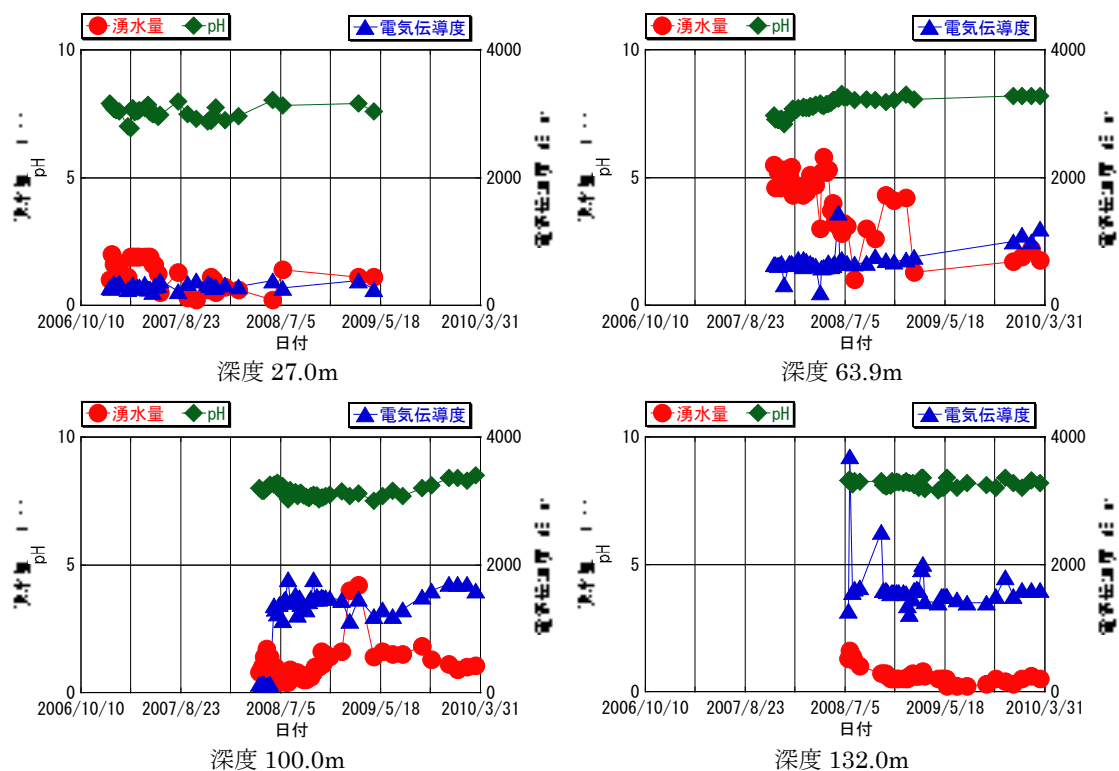


図 2.3.1-14 東立坑集水リングにおける地下水の水質モニタリング結果

4) 遠隔監視システムの開発（アクロス）

遠隔監視システムの開発は、アクロス（精密制御定常信号システム：Accurately Controlled Routinely Operated Signal System）を応用した地下施設の建設に伴う地質環境の変化（地下水位の変動や岩盤の力学的物性の変化など）を地表から観測する技術の確立を目標としている。アクロスは、精密に制御した弾性波と電磁波の連続信号を用いるシステムで、既存の物理探査システムよりも精度良く地下の構造や物性の変化に関する情報を取得することが期待できる。幌延においては 2005 年度までに、弾性波アクロスと電磁アクロスによって構成される遠隔監視システムを設置した。その後、設置した遠隔監視システムを用いて観測を行うとともに、取得したデータの処理・解析の方法について検討した。また、地下施設建設に伴う地質環境の変化が遠隔監視システムの受信信号にどのような変化をもたらすかを検討するためのシミュレーションも実施した。

弾性波アクロスの概念図を図 2.3.1-15 に、遠隔監視システムにおける観測データの処理・解析の概略的なフローを図 2.3.1-16 に示す。また、遠隔監視システムの観測機器の配置を図 2.3.1-17 に示す。弾性波・電磁アクロスともに、送信点は地下施設付近に設置した。

これまでの調査研究によって明らかになった研究所周辺の地質構造、さらには地下施設の建設に伴う立坑近傍の地質環境の変化を想定した地下物性値モデルをもとに、送信された弾性波や電磁波の伝播状況を波動場シミュレーションにより評価した。このようなシミュレーションによって、実際に観測を行っている各受信点、あるいは仮想の受信点ではどのような信号が受信され、地下施設の建設に伴う地質環境の変化により受信信号にどのような変化が現れるかを検討した。

図 2.3.1-18 は、立坑の掘削を想定したシミュレーションの結果を示す。この例は、送信点 (HDB-3) から発せられた弾性波が、地表をどのように伝わっていくかを示しており、暖色系になるほど地表の変位（動き）が大きいことを表している。また、(a)～(d)は、それぞれ弾性波を送信した 0.2 秒後、0.6 秒後、1.2 秒後、1.8 秒後の状態を示している。これらの図より、弾性波が時間の経過とともに、送信点を中心として同心円状に広がっていく様子がわかる。また同図(b)からは、送信点の近傍に位置する立坑で反射する弾性波と、反射せずにそのまま周囲に伝わっていく弾性波があることがわかる。

図 2.3.1-19 は、弾性波の波動場シミュレーションの結果を示す。この例は、立坑からの距離が 450m 以内の領域で地下水の飽和度や密度などが変化した場合の地表で観測される信号変化量を示している。信号変化量は立坑から遠ざかるにつれて小さくなること、方向によって変化の程度が異なること、同じ受信点でも送受信する信号の周波数の違いによって信号変化量が異なることが分かった。

次に弾性波アクロスおよび電磁アクロスのデータ処理により各観測点で得られた伝達関数から、地下の物性あるいは地質環境の変化について何らかの変化を捉えられているかを検討した。その結果、弾性波アクロスおよび電磁アクロスともに送信点に一番近い HDB-8 観測点において、わずかな伝達関数に変化が見られた。この伝達関数の変化の要因が明らかにはなっていないものの、他の要因による伝達関数への影響を考慮し、これを除去することで立坑の掘削による影響を把握できる可能性があると考えられた。

これまでに弾性波アクロスおよび電磁アクロスを用いて、長期間の連続観測を行ってきた。その過程で安定した観測技術を確認するとともにデータ処理技術の改良を重ねることにより、送受信点間の伝達関数を誤差付きで取得し、その変化を確認することができるようになった。このように地上におけるモニタリング技術としてアクロスを用いた基礎的な技術が確認できた。

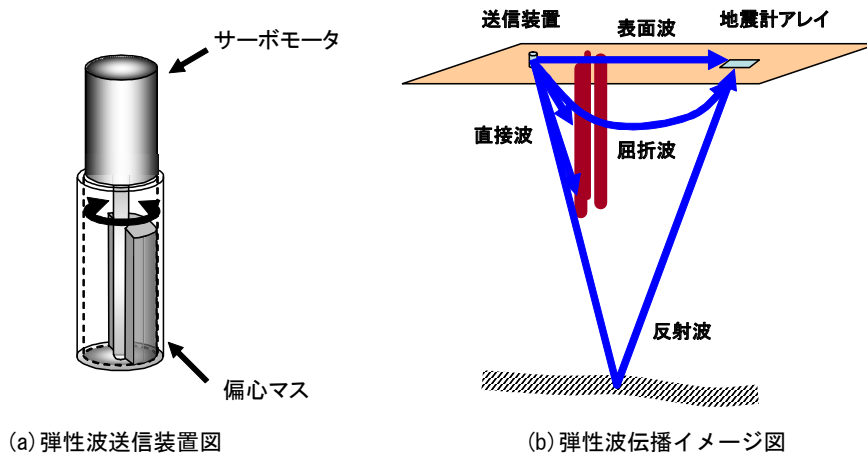


図 2.3.1-15 弾性波アクロスの概念

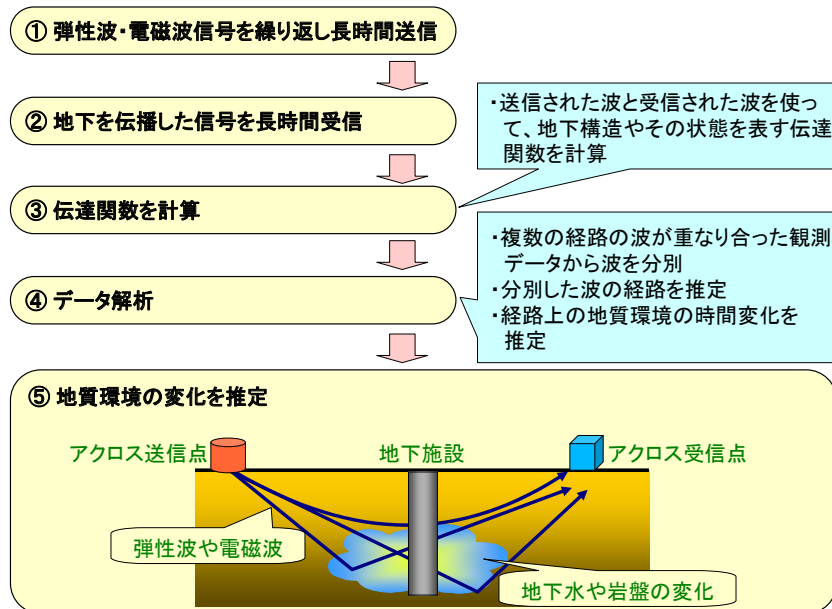


図 2.3.1-16 遠隔監視システムにおける観測データの処理・解析の概略的なフロー



図 2.3.1-17 遠隔監視システムの観測機器の配置

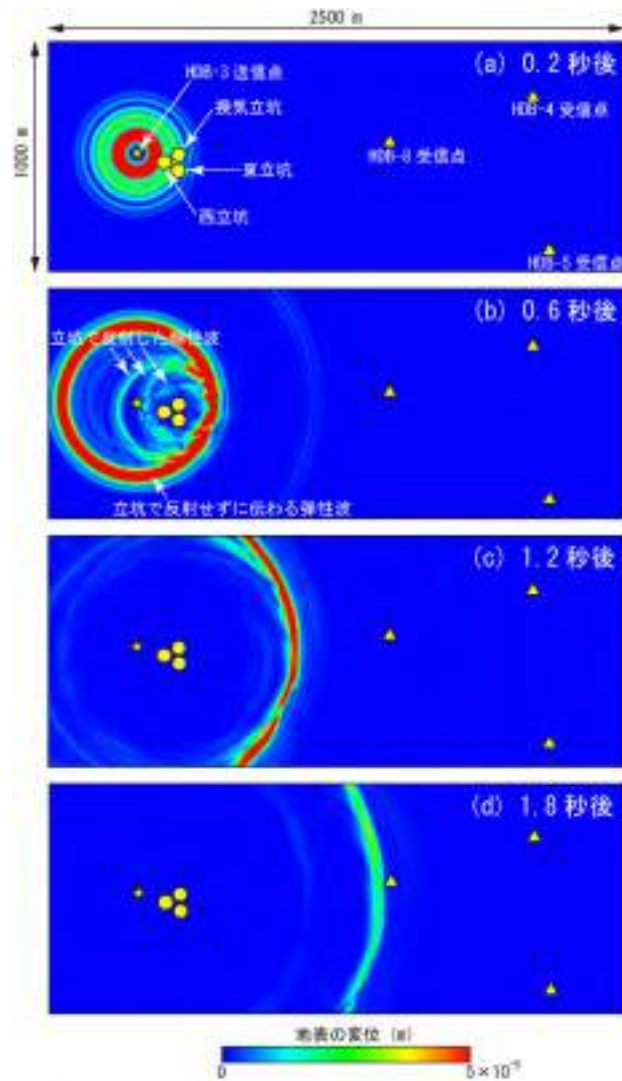


図 2.3.1-18 立坑掘削を想定した弾性波伝播シミュレーションの結果

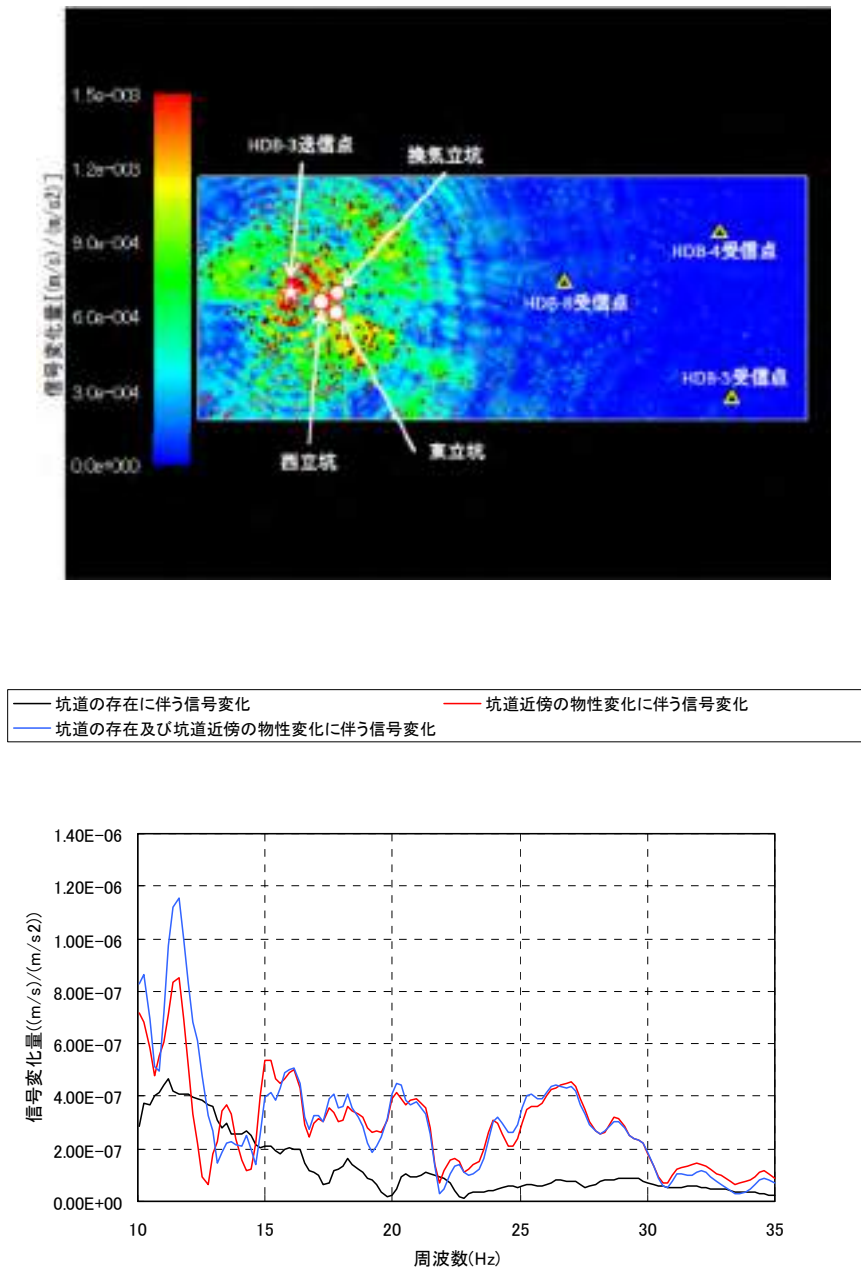


図 2.3.1-19 遠隔監視システムの波動場シミュレーションの結果

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

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

5) 地下施設の建設に伴う表層の変位観測技術開発（傾斜計）

地表面から岩盤を乱すことなく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、立坑周辺から 1km 離れた地点に 1 台の高精度傾斜計を配置し（図 2.3.1-20）、坑道掘削に伴う地表面の傾斜の変化を計測した（45,46,47,48,49,50）。

計測データには、周波数の高い成分を主体とするノイズと、周波数の低い成分のノイズが認められたため、これらを分類し、除去を試みた。周波数の高い成分を主体とするノイズには電気的なノイズ、地上の工事によるノイズ、工事用の重機の移動などによるノイズが含まれ、これらはスパイク状の波形や階段状の波形として観測された。周波数の高い成分を主体とするノイズは平行移動による方法で除去を行った。一方、周波数の低い成分のノイズには気圧、潮汐などの影響によるノイズが考えられたため、モニタリングデータを潮汐や気圧などの応答成分に分離解析する BAYTAP-G (BAYesian Tidal Analysis Program (Grouping method) プログラム⁵¹⁾を使用し、ノイズを除去した。傾斜計データに含まれる周波数の高いノイズの例を図 2.3.1-21 に、周波数の低いノイズを除去した結果を図 2.3.1-22 に示す。

解析により換気立坑の掘削時において、換気立坑に向かう地下水流れの発生がもたらす岩盤の圧密変形を推定し、この変形による地表面の傾斜変化を計算し、観測結果と比較した。図2.3.1-23 に換気立坑中心から半径約20mの距離にある傾斜計で観測された換気立坑へ向かう傾斜成分（投影傾斜角）と、解析結果を比較した。比較の結果、岩盤の透水係数を $5 \times 10^{-8} \text{m/s}$ と設定した場合に、観測された傾斜の変化と解析結果が、変化の傾向や大きさの点で整合的であることが示された。なお、観測結果には、東立坑掘削に伴って生ずる、東立坑方向に向かう傾斜成分が含まれており、これが換気立坑へ向かう傾斜変化とは逆方向であることから、日数の経過とともに換気立坑へ向かう傾斜量は解析結果より小さくなっていくと考えられる。これらのことは、観測された地表面の傾斜変化が、立坑に向かう地下水流れの発生に伴う岩盤の圧密変形に起因するものであることを示すと同時に、地表面の傾斜変化や分布から、地下水流れの変化やそれに伴う岩盤変形を推定することができる可能性を示していると考えられる。

調査坑道の掘削による地下水水圧の減少に伴う岩盤の変形を地表面の傾斜変化として計算し、実測データと比較した。計算では深度 140m 調査坑道の東立坑側と換気立坑側の掘削（東立坑と換気立坑が貫通するまで）を対象としてモデルを作成し（図 2.3.1-24）、掘削工事の実際の工程を可能な限り再現して計算を実施した。計算結果から、深度 140m 調査坑道の掘削に着目すると、坑道の貫通時までは掘削が地表の傾斜変化に与える影響はほとんどないこと、深度 140m 調査坑道の東立坑側と換気立坑側からの貫通後、西立坑側からの掘削あるいは東立坑の掘削の影響と考えられる傾斜変化が確認された（図 2.3.1-25）。

350m までの立坑掘削および深度 250m、深度 350m 調査坑道の掘削においても同様の影響が計測された。計測結果から、掘削が進行する立坑の近傍の傾斜量が増加すること、特に西立坑の深度 250m 以深の掘削によって換気立坑周辺においても地表の傾斜量の増加することなどが確認され、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を捉えることが可能であることを確認した。一方、西立坑から北東方向へ約 1km 離れた地点（PIN10）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なかった。地下施設付近は、地下施設の建設に伴って地表面が微小に傾斜するものの、地下施設から 1km 程度離れるとその地表面への影響はほとんど生じていないと言える（図 2.3.1-26）。

立坑や深度 350m 調査坑道の掘削が終了すると、それ以降の傾斜データの増大の割合は低下することが確認された。PIN10 では、地下施設建設時と同様に、地表の傾斜はほとんど観測されなかった。



図 2.3.1-20 研究所用地における主な施設と観測装置の配置

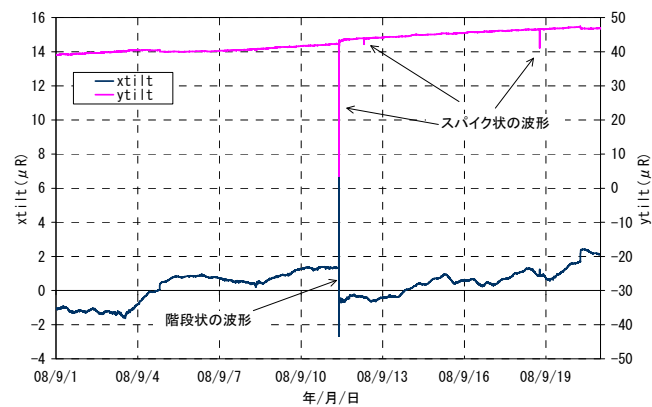


図 2.3.1-21 傾斜計データに含まれる周波数の高いノイズの例

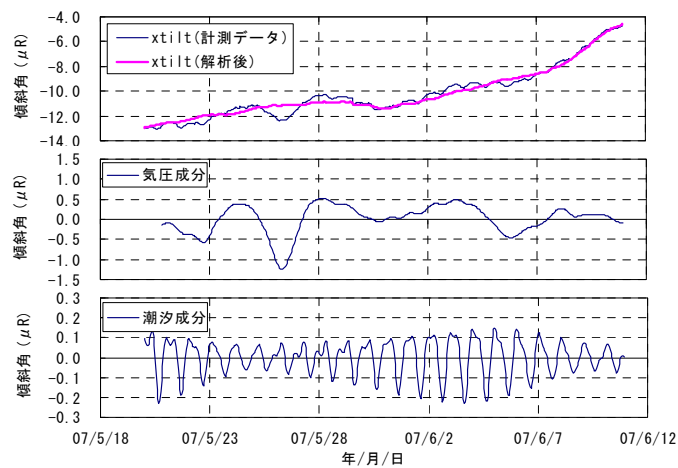


図 2.3.1-22 傾斜計データに含まれる周波数の低いノイズを除去した例

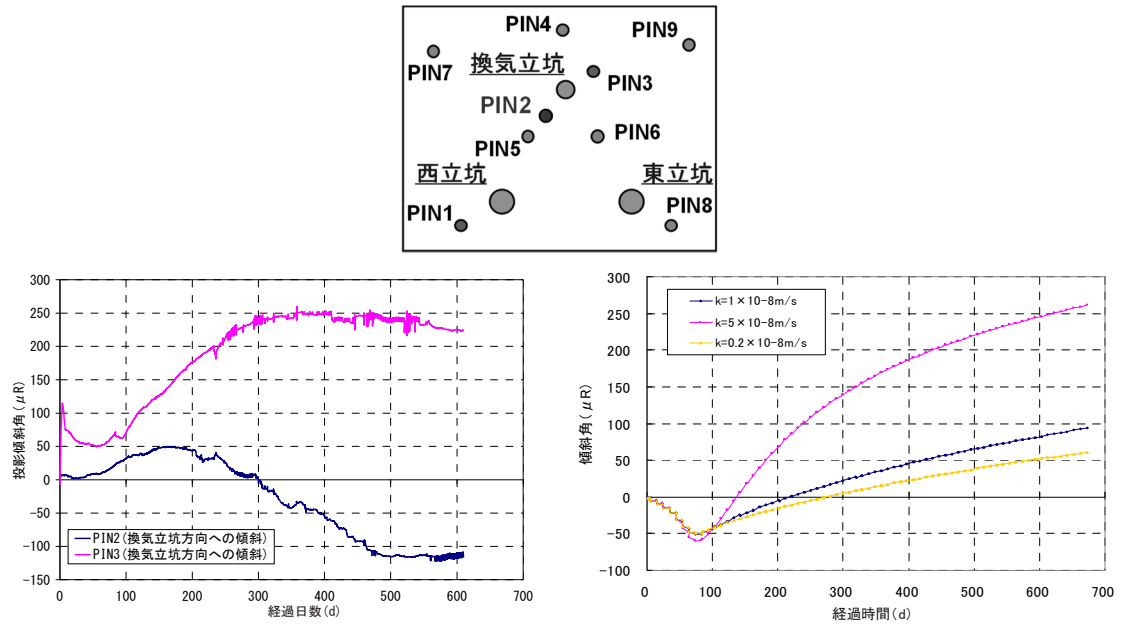


図 2.3.1-23 傾斜計データ (計測結果と解析結果の比較)

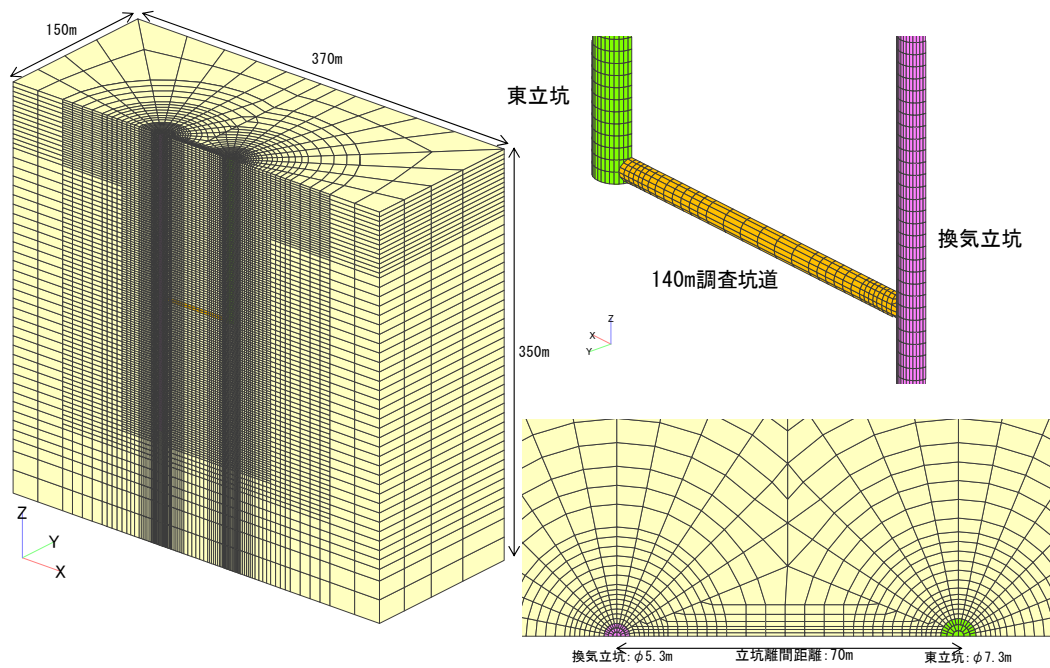
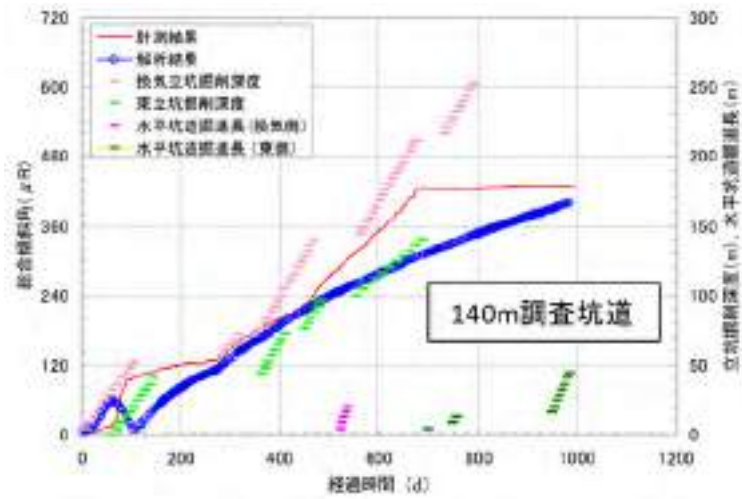
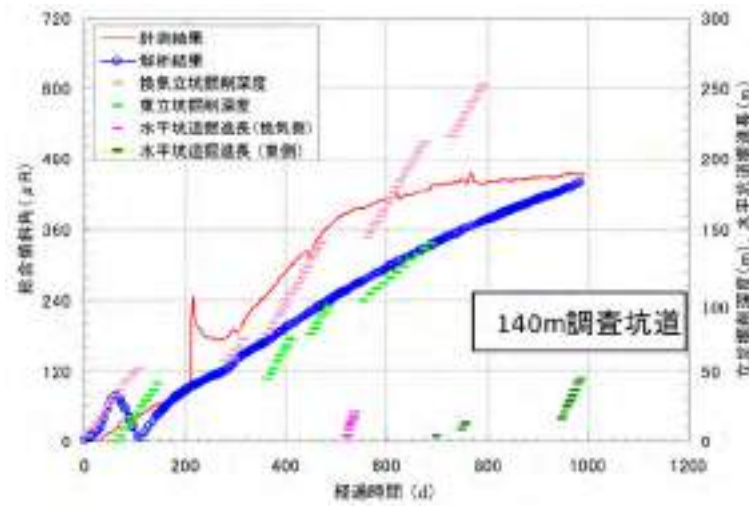


図 2.3.1-24 地表傾斜シミュレーションのためのモデル

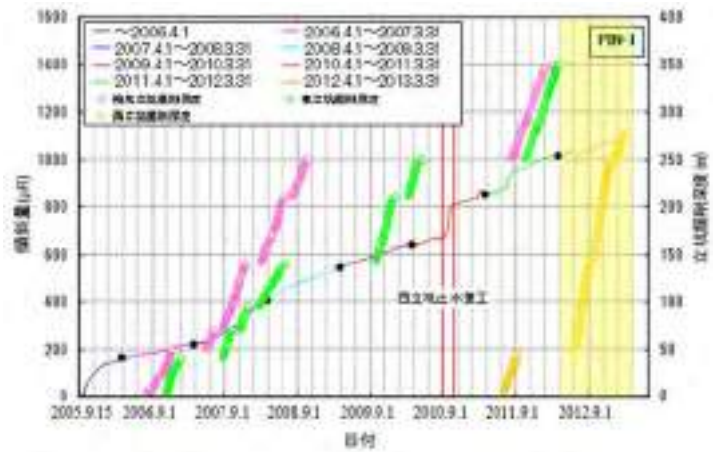
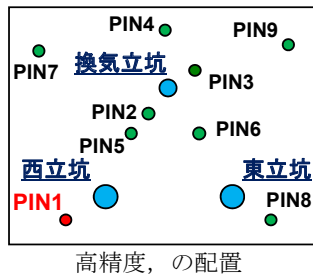


(a) PIN2

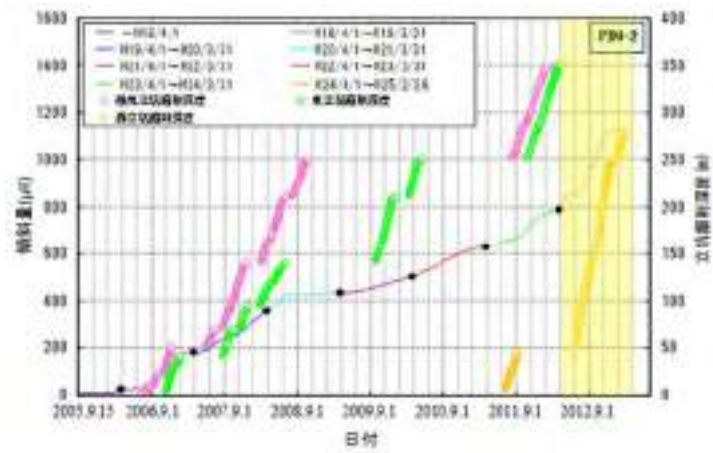
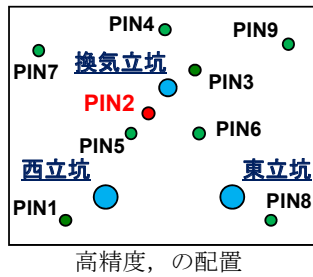


(b) PIN3

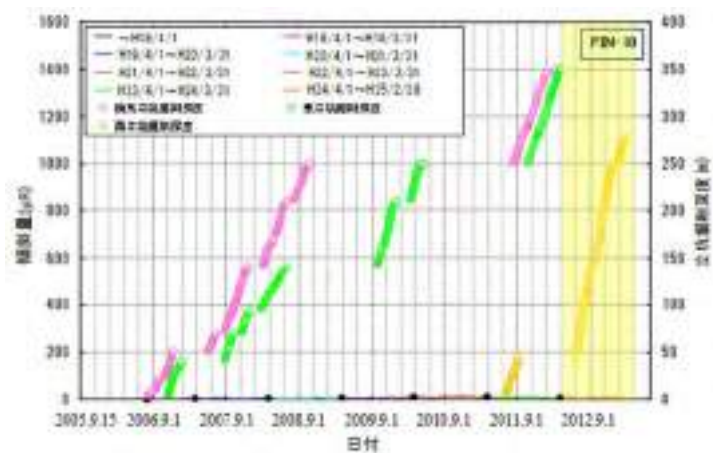
図 2.3.1-25 深度 140m 調査坑道掘削時の傾斜計データ（計測値と解析値の比較）



(a) PIN1



(b) PIN2



(c) PIN10

図 2.3.1-26 傾斜計データの一例 (2012 年度まで)

2.3.2 地下における調査機器・調査技術開発

1) 光ファイバー式岩盤変位計

岩盤力学に関する調査機器開発の一環として、坑道掘削直後からの岩盤の変形を長期的に安定して計測できる光ファイバー式地中変位計の開発を行った。

光ファイバー内に光を入射させると、特定の波長の光だけが反射される。光ファイバーに変位が生じると反射した光の波長の変化が生じる。そのため、反射した光の波長を計測することにより、光ファイバーの変位量を知ることができる。光ファイバー式地中変位計は、上記のような特性を利用したものである。

開発した装置を図 2.3.2-1 に示す。測定装置は、岩盤の大変形を測定するための浅部の測定装置と、小変形を測定するための深部の測定装置で構成されている。光ファイバーは電線などに比べ湿度が高い環境でも長期間安定して動作することや大量のデータを長距離伝送できるという特徴があり、本装置では各測定部に光ファイバーを用いている。光ファイバー式地中変位計は、光ファイバーが収納されている測定部分、固定アンカー、アンカー間を結ぶロッドで構成され、岩盤内に生じる変位（アンカー区間内の変位量）は、アンカー間の変位量と図中の金属板に接着された光ファイバーの反射光の波長変化量との関係より求められる（図 2.3.2-2）。

この装置の性能を確認するため、岩盤中に試錐孔を掘削して実際に装置を設置し、強制的に岩盤変位を与える試験を行い、その性能を確認した。さらに、開発した地中変位計の性能と作業性の確認のために換気立坑における深度 70m の水平坑道にて、原位置適用性試験を行った（図 2.3.2-3）。その後、立坑掘削に伴う岩盤の変形挙動を把握するために設置直後から約 4 ヶ月間の連続計測を行った。図 2.3.2-4 に原位置適用性試験の結果の一例を示す。図の横軸は坑壁からの距離を表し、縦軸は最深部に設置したアンカーを不動点とした場合の累積変位量を示している。時間の経過に伴い累積変位量がわずかに増加しており、岩盤が水平坑道側に変形している可能性があることを示唆している。長期間の計測を想定した場合、変位計の測定部分は温度や湿度の変動などを受けて、光ファイバーの収縮や膨張が生じる可能性が予想される。このため、それらの影響を極力少なくするために室内試験を実施し、金属板と光ファイバーの接着方法の改良も実施した。

東立坑の深度 160m において、開発した光ファイバー式地中変位計と既往の電気式の地中変位計と同じ位置に設置して計測を実施した。両者の計測結果を図 2.3.2-5 に示す。坑壁に近い区間 No.1 において 4mm 程度の縮む側の変位があること、区間 No.3 は伸びる方向の変位があることなどがどちらの計測でも捉えることができた。このように、光ファイバー式と電気式とでは変位量・挙動ともに両者の対応が良く、光ファイバー式は電気式と比べノイズが少なく安定した計測ができることが分かった⁵²⁾。

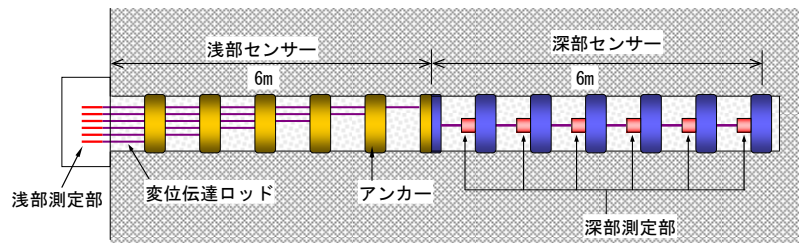


図 2.3.2-1 光ファイバー式岩盤変位計の概念図

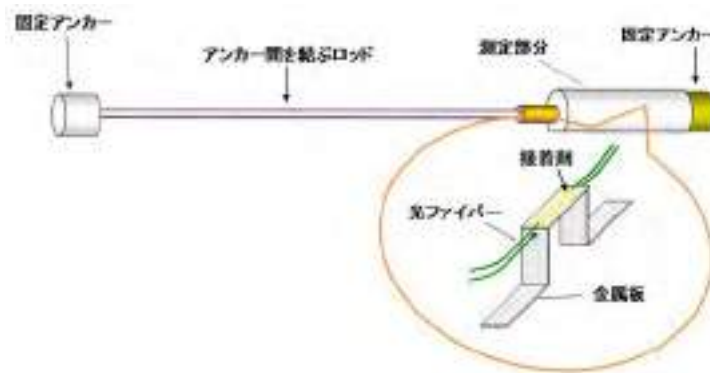


図 2.3.2-2 光ファイバー式岩盤変位計の構成

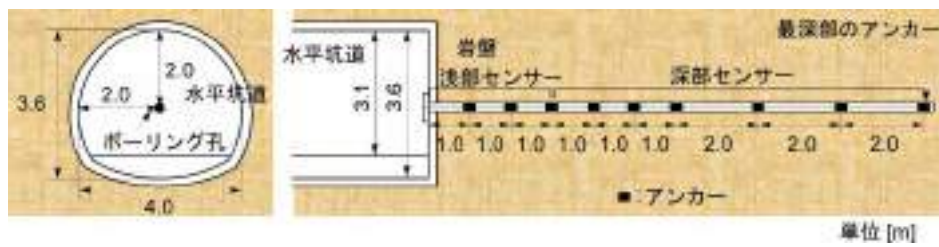


図 2.3.2-3 光ファイバー式岩盤変位計の原位置適用性試験レイアウト

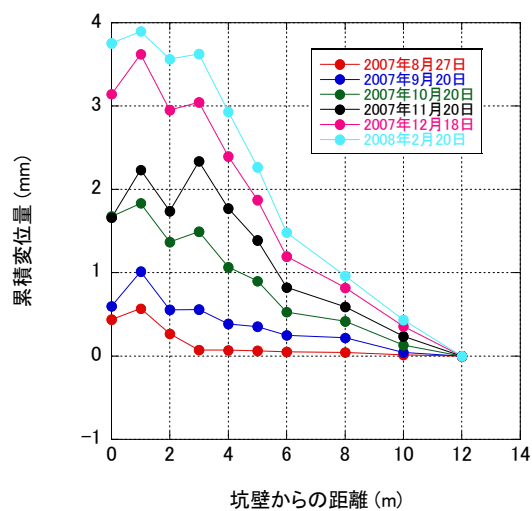


図 2.3.2-4 光ファイバー式岩盤変位計による計測結果（換気立坑深度 70m）

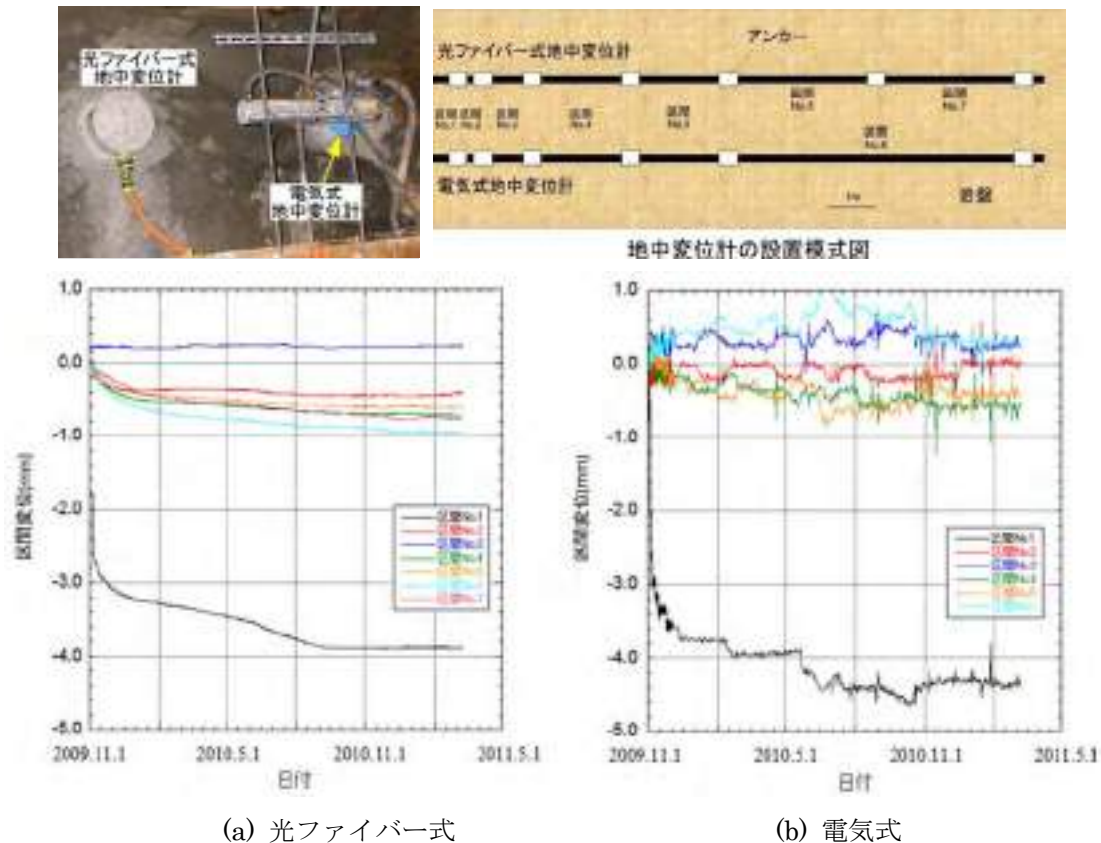


図 2.3.2-5 光ファイバー式岩盤変位計による計測結果（東立坑深度 160m）

2) 間隙水圧・水質モニタリング装置の開発

地下施設の建設が周辺の地下水の水理および地球化学特性に与える影響を調査するための技術開発を目的として、140m 東側第 1 ボーリング横坑の坑壁から掘削したボーリング孔（08-E140-C01 孔：掘削長 100 m，俯角 45°）において、地下水の間隙水圧と水質の同時連続観測が可能なモニタリング装置を設置し、その適用試験を行った。図 2.3.2-6 にモニタリング装置の概要を示す。この装置では、パッカーにより区切られた孔内 5 区間の間隙水圧および地下水の物理化学パラメータ（pH，電気伝導度，溶存酸素，酸化還元電位，水温）の測定を大気に触れないように直接行うことが可能である。湧水の少ない区間では地下水をモニタリング装置に循環させることで、脱ガスのない条件下での連続測定ができる構造となっている⁵³⁾。

各モニタリング区間の水圧観測を行った結果，各区間の水圧は深い区間ほど大きくなっており，各区間の水圧を同時に取得できた（図 2.3.2-7）。また，立坑から遠い区間①に比べ立坑に近い区間③，④，⑤では，坑道掘削の影響と考えられる間隙水圧の低下が確認された。加えて，地下水の水質は中性の pH（約 7）であり，溶存酸素もなく極めて還元的な環境であることが明らかになった。一方で，区間②では地下水を採水する時に地下水中の溶存ガスの遊離と考えられるガスの発生により，圧力異常が確認されており，溶存ガスの多い環境下に対応した水圧・水質モニタリング技術の改良などが課題としてあげられた。

このため，モニタリング装置に付随する観測区間切替バルブ，配管プラグ，注水口・採水口などについて改良を実施した。図 2.3.2-8 にモニタリング装置改良の概要を示す。これらの改良により，溶存ガスの遊離による計測値の異常は確認されず，正常な間隙水圧のモニタリングが可能となった（図 2.3.2-9）。また，各モニタリング区間の間隙水圧観測結果から，全ての観測区間（5 区

間)において、坑道からの距離に応じて緩やかに間隙水圧が低下する傾向が確認された。加えて、水質モニタリングの結果からは、pH および酸化還元電位の測定値は改良前の計測結果と比較してほとんど変化しておらず、間隙水圧の低下の影響を受けている領域においても、化学的擾乱が小さいことが示された。一方で、モニタリング装置内の水質センサーに地下の高水圧を瞬時にかけると、水質センサーが異常値を示すことが確認されたことから、その改良などが今後の課題として挙げられた。

深度 350m で使用可能な耐圧性能を有する観測装置を製作し、深度 350m 調査坑道に設置し、水圧・水質モニタリングを開始した⁵⁴⁾。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することができる。今回開発した装置(図 2.3.2-10)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った。水圧・水質モニタリングの実施箇所を図 2.3.2-11 に示す。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」と略す)の 2 孔である。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た。水圧モニタリングの結果を図 2.3.2-12 に示す。試験坑道 4 の掘削前後における C05 孔の各区間の水圧を見ると、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る。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 ほど顕著ではないが、時間の経過とともに水圧が低下している。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ない。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る。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た。



図 2.3.2-6 地下水の間隙水圧・水質モニタリング装置の概要(深度 140m 調査坑道)

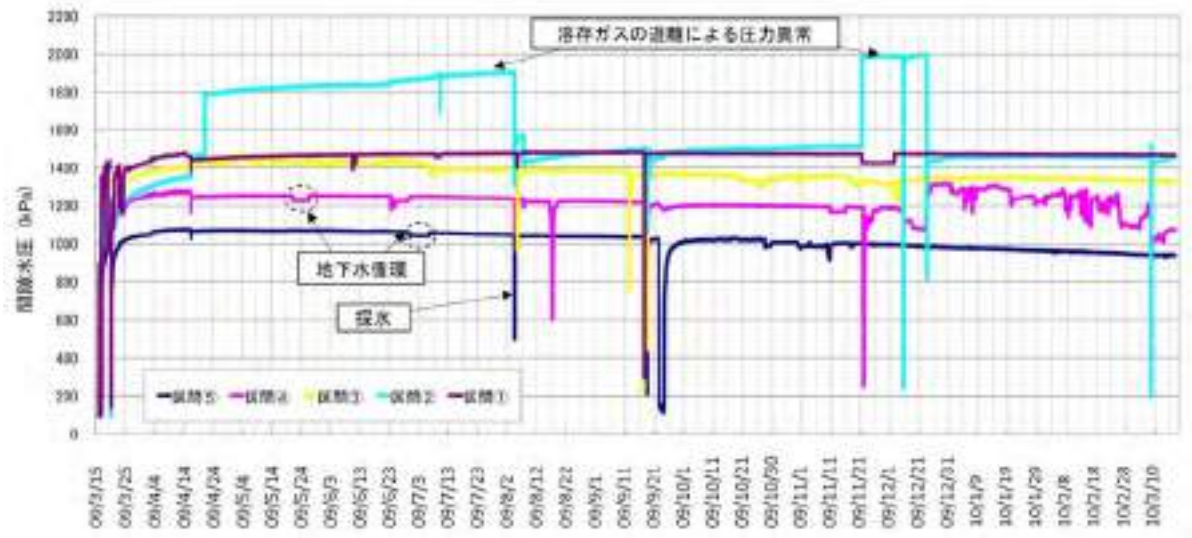


図 2.3.2-7 間隙水圧・水質モニタリング装置による計測結果（深度 140m 調査坑道）

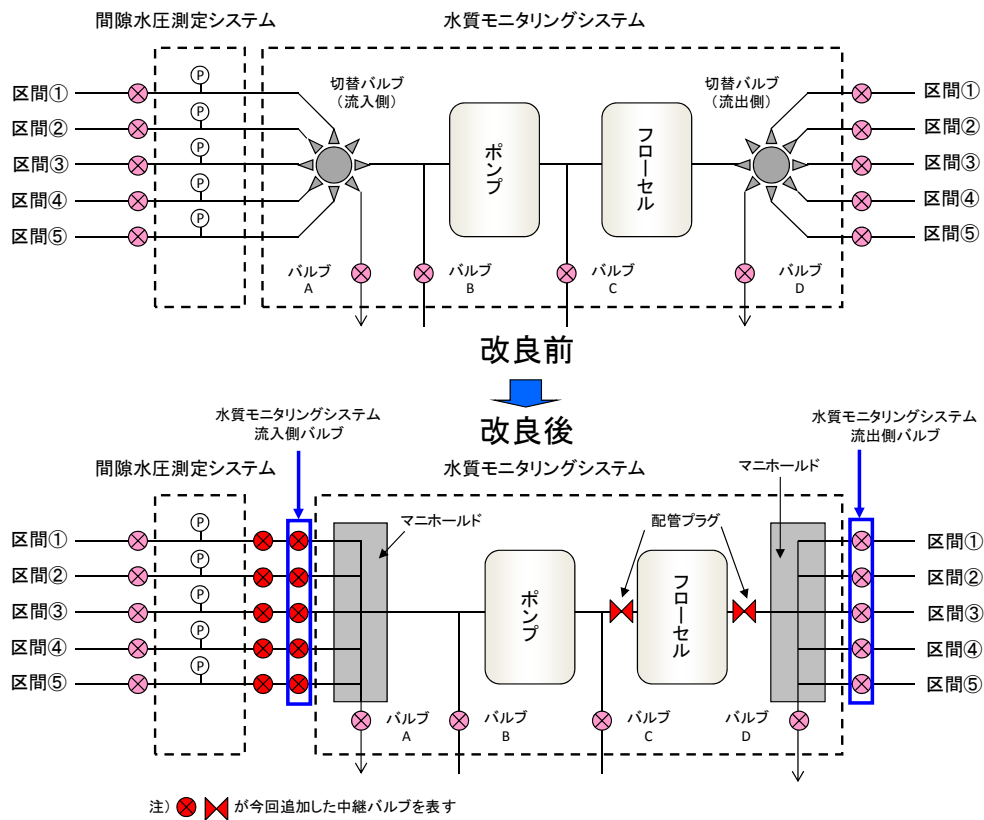


図 2.3.2-8 間隙水圧・水質モニタリング装置改良の概要（深度 140m 調査坑道）

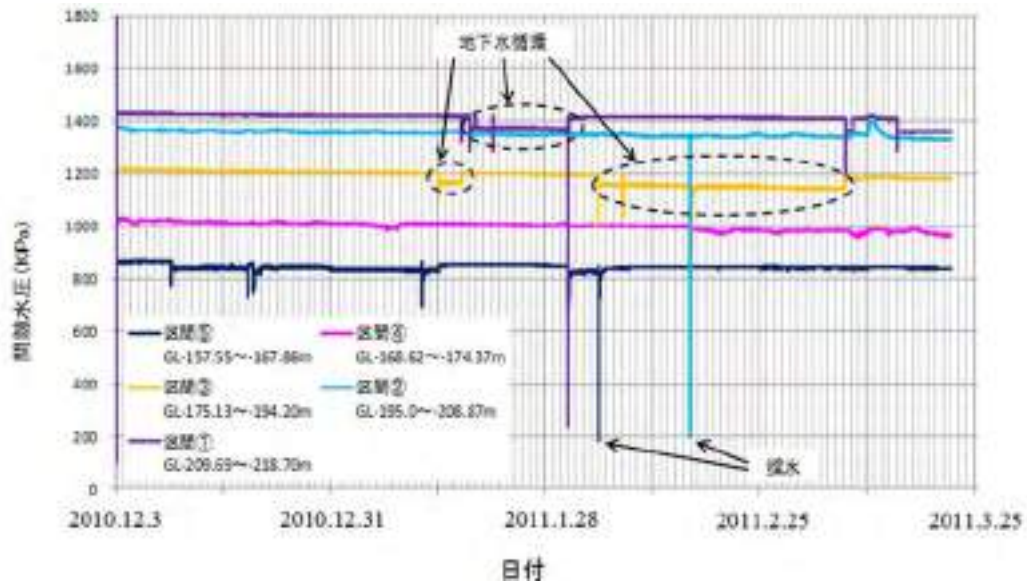


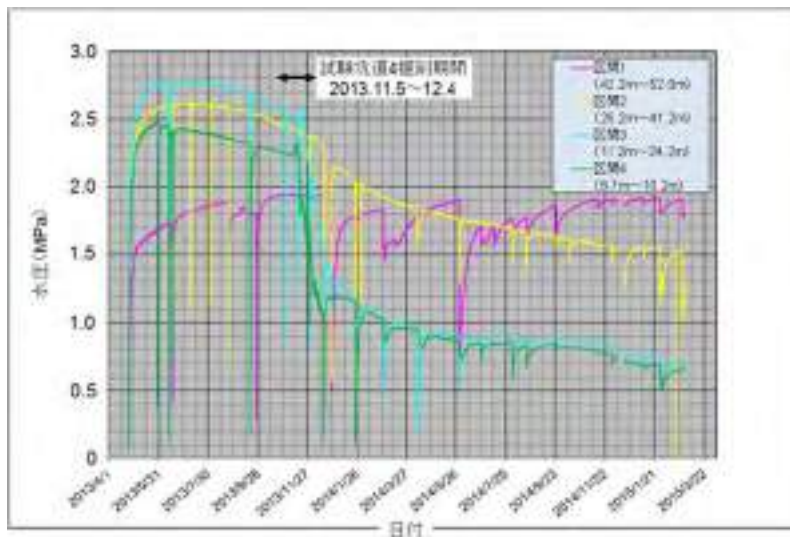
図 2.3.2-9 改良した間隙水圧・水質モニタリング装置による計測結果（深度 140m 調査坑道）



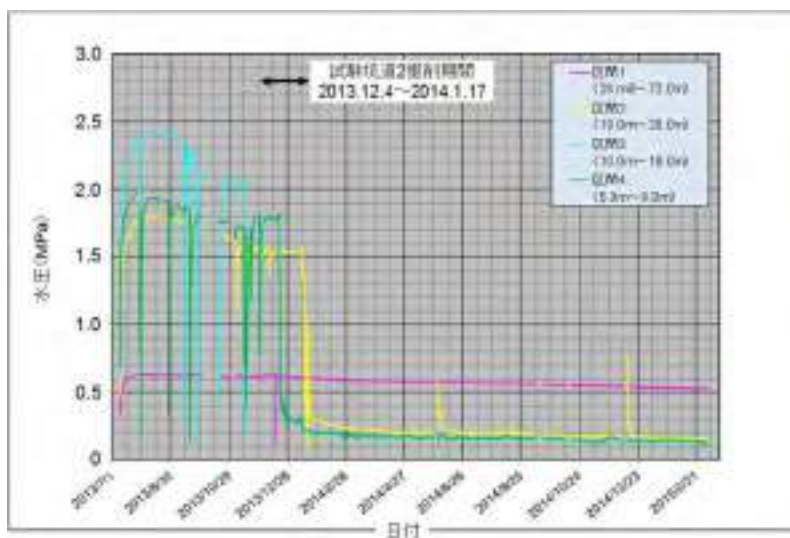
図 2.3.2-10 間隙水圧・水質モニタリング装置の概要（深度 350m 調査坑道）



図 2.3.2-11 間隙水圧・水質モニタリング実施箇所（深度 350m 調査坑道）



(a) C05 孔



(b) C06 孔

図 2.3.2-12 間隙水圧・水質モニタリング結果（深度 350m 調査坑道）

3) 還元環境回復能力に関わる調査試験装置の開発

地下深部の地層内はもともと酸素が無い還元状態であるが、坑道の建設によって酸素が地下に入り込むことになり、地下の環境が擾乱される。将来的に、掘削した部分を埋めることになるが、この一旦乱された地下の環境が元の還元状態に回復するまでに要する時間と、その回復のメカニズムを明らかにする必要がある。地下施設建設によって酸素が供給され酸化状態となった地下環境においては、地下水、岩石の鉱物（有機物）と微生物が相互に作用しあうことにより酸素が消費され、酸素が無い環境（還元環境）の回復が促進されることとなる。

深度 140m の調査坑道のボーリング孔を利用して原位置試験を実施した。ボーリング孔には、地下水に酸素を注入・循環するための試験装置（図 2.3.2-13）を設置し、強制的に酸素を送り込んだボーリング孔内の地下水環境の変化を調査した。これまでに得られた結果から、酸素を強制的にボーリング孔内の地下水に注入しても、酸化還元電位は一週間以内に元の状態まで回復することが分かった（図 2.3.2-14）。換気立坑側、東立坑側の二つの試験用のボーリング孔で試験を実施したが、同じような結果が得られた。また、注入する酸素の量を増大させた場合でも、一週間程度で還元環境に回復することが分かった。

また、深度 250m の坑道周辺の地下水の地球化学特性、微生物特性、岩盤の還元環境回復能力を把握するために、深度 140m 調査坑道に設置した観測装置を改良し、深度 250m 調査坑道に設置した（図 2.3.2-15）。岩盤中の微生物やその栄養源となる有機物、岩盤の還元環境回復能力などを調査した結果、岩盤内においては、坑道から酸素を含む大気が侵入しても、数日で酸素が消費され還元環境が回復することが明らかになった。また、製作した試験装置の有効性を確認することができた。

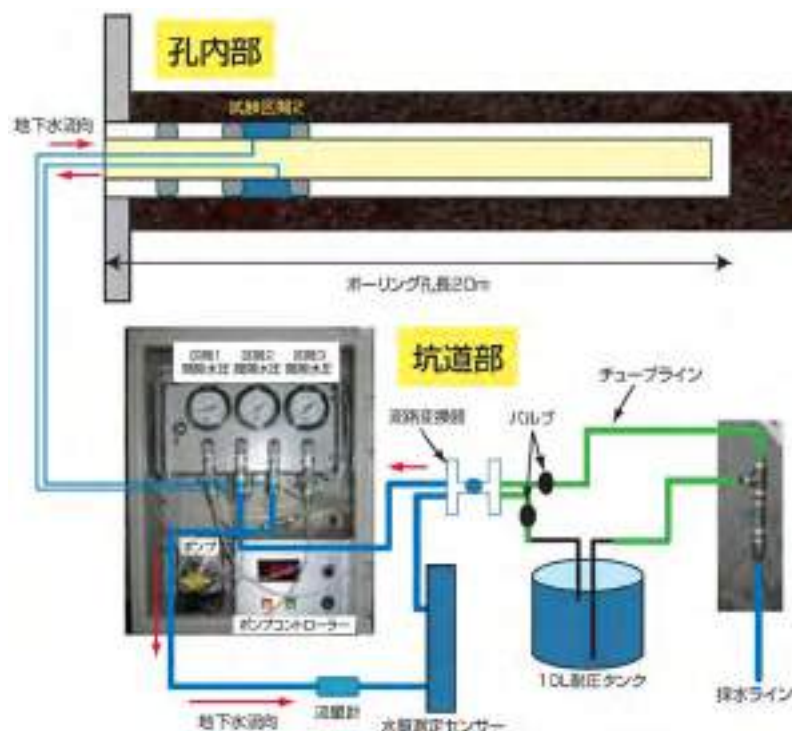


図 2.3.2-13 還元環境回復能力に関わる調査試験装置の概念

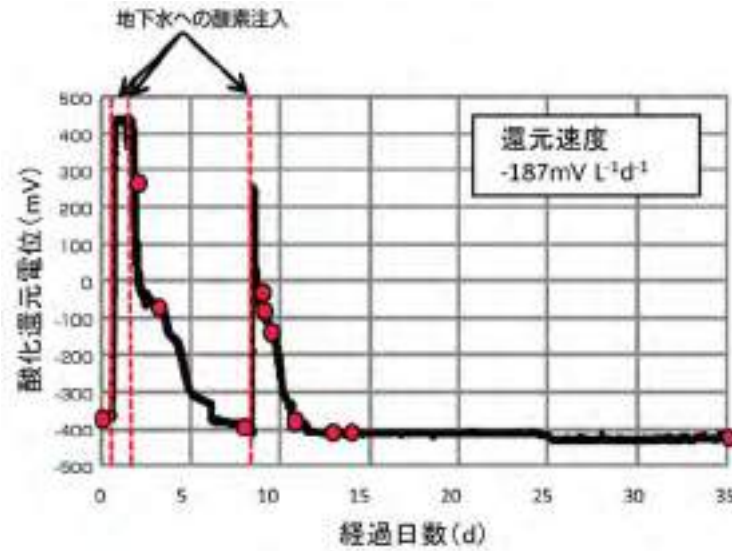


図 2.3.2-14 還元環境回復能力に関わる調査試験の結果（深度 140m 調査坑道）



図 2.3.2-15 還元環境回復能力に関わる調査試験装置（深度 250m 調査坑道）

4) 物質移動試験装置の開発

坑道周辺岩盤の割れ目を対象とした物質の移動特性に関する調査を行うための技術開発として、亀裂性堆積岩・塩水系地下水・遊離ガス発生環境におけるトレーサー試験に適用可能な試験装置および試験手法を検討し、その適用性を確認するために深度 250m 調査坑道において試験を実施した。試験装置の開発においては、既存の孔間水理試験装置にトレーサーを注入・回収する機能や、試験区間内で発生する遊離ガスを排除する機能を付加した（図 2.3.2-16）。また、試験手法の構築においては、試験を実施する際の現場環境における制約条件と期待される成果との関連を評価するとともに、ボーリング孔の掘削位置と方向の選定からトレーサー試験を実施するまでの流れや方法を整理した。その結果に基づいて、試験前にボーリング孔内に存在する遊離ガスを試験区間から排除する試験手順や排除するための装置を導入するとともに、試験中に遊離ガスを発生させない試験方法を採用した（図 2.3.2-17）。

開発した試験装置と試験手法の適用性を確認するために、深度 250m 調査坑道において物質移行試験（孔間トレーサー試験）を実施した。試験では、ウラニン、重水素や、非放射性の元素（ヨウ素、セシウム、ストロンチウム、ユーロピウムなど）をトレーサーとして使用した。試験対象区間で発生した遊離ガスを排除する試験手順を適用した際のデータの品質や、注入・回収したトレーサーの濃度変化の結果、試験条件を変えて複数回実施した試験の結果などから、亀裂性堆積岩・塩水系地下水・遊離ガス発生環境における原位置試験において、試験装置が有効に機能することを実証し、実施した試験手法が適切であることを確認した。

深度 250m 調査坑道における試験結果を踏まえて、トレーサー濃度の計測装置における光ファイバー部の破断防止および濃度計測部の防水を課題として抽出し、必要な改良を行った。また、水圧が作用した状態で電気伝導度や水温などの物理化学パラメータを連続的に取得できる機能を新たに組み込んだ。装置の改良後に動作確認および改良効果の確認のため、ウラニンを使った原位置トレーサー試験を実施した。その結果、図 2.3.2-18 に示すように、改良後（2012 年度）の試験結果では、改良前（2011 年度）までの試験結果と比べて、それまでに認められたトレーサー濃度の計測不良および計測ノイズが改善・低減され、またそれぞれの濃度の値が示すばらつきが小さくなっており（ただし、2012 年度はウラニンの濃度は同じで注入量を 2 倍にしている）、より正確に岩盤内の自然状態を示す物理化学パラメータを取得することが可能となり、高精度かつ信頼性の高い原位置トレーサー試験を実施することが可能になった。

さらに、健岩部での拡散現象を対象とした原位置試験のための装置の製作を行った。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った（図 2.3.2-19）。

このように改良した試験装置を用いて、深度 350m 調査坑道において健岩部ならびに割れ目帯を対象とした物質移動試験を開始した。

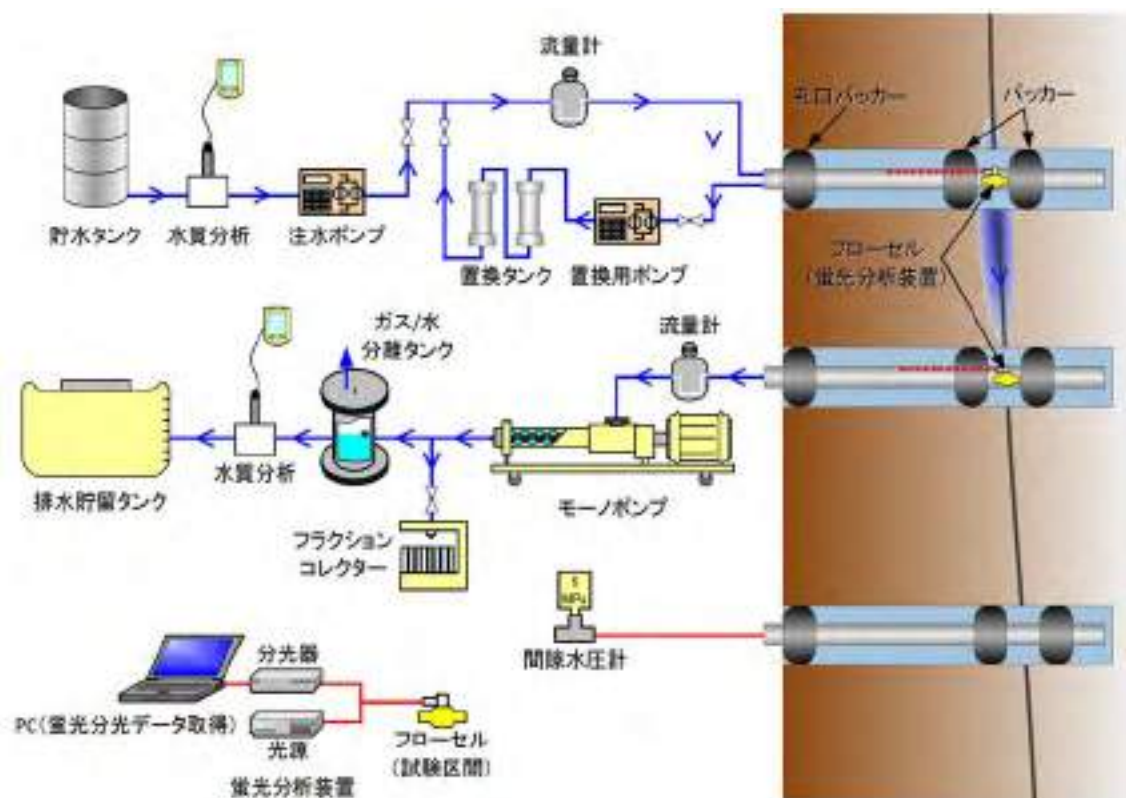


図 2.3.2-16 物質移行試験装置の概念図

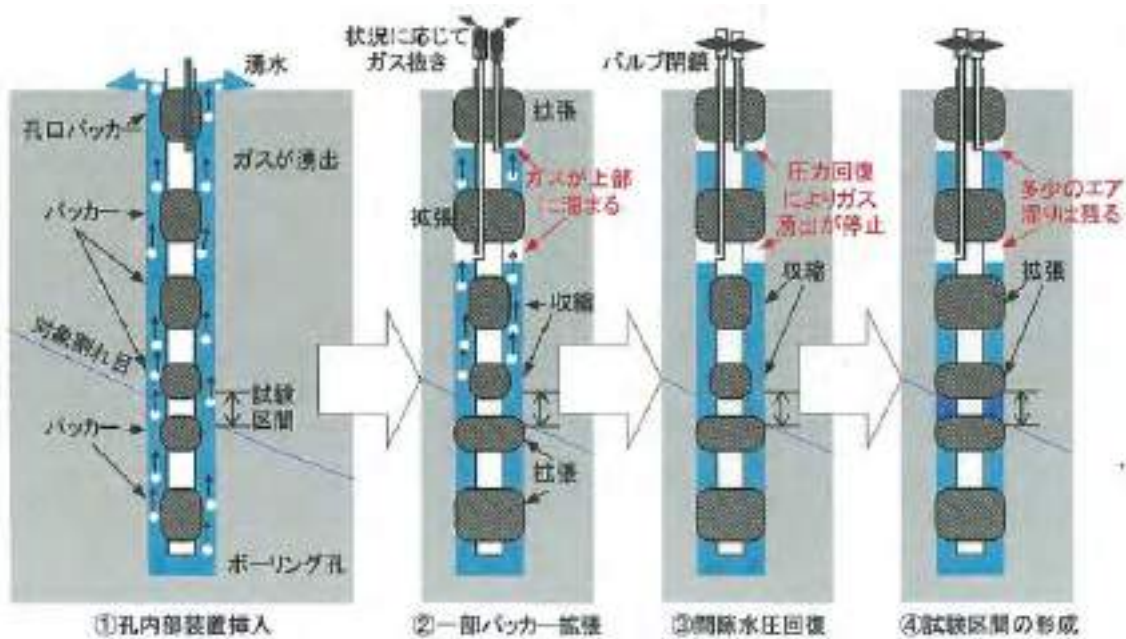


図 2.3.2-17 遊離ガスを試験区間から取り除くための試験手順

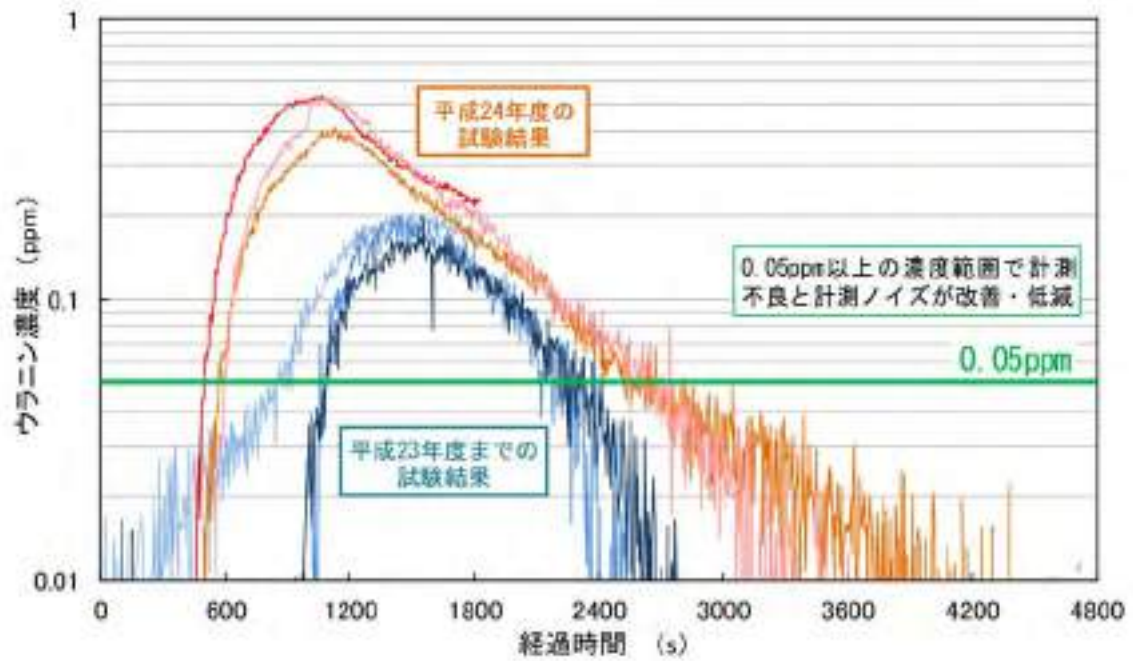


図 2.3.2-18 物質移動試験装置の改良前後の試験結果の比較(揚水孔フローセルの測定結果)

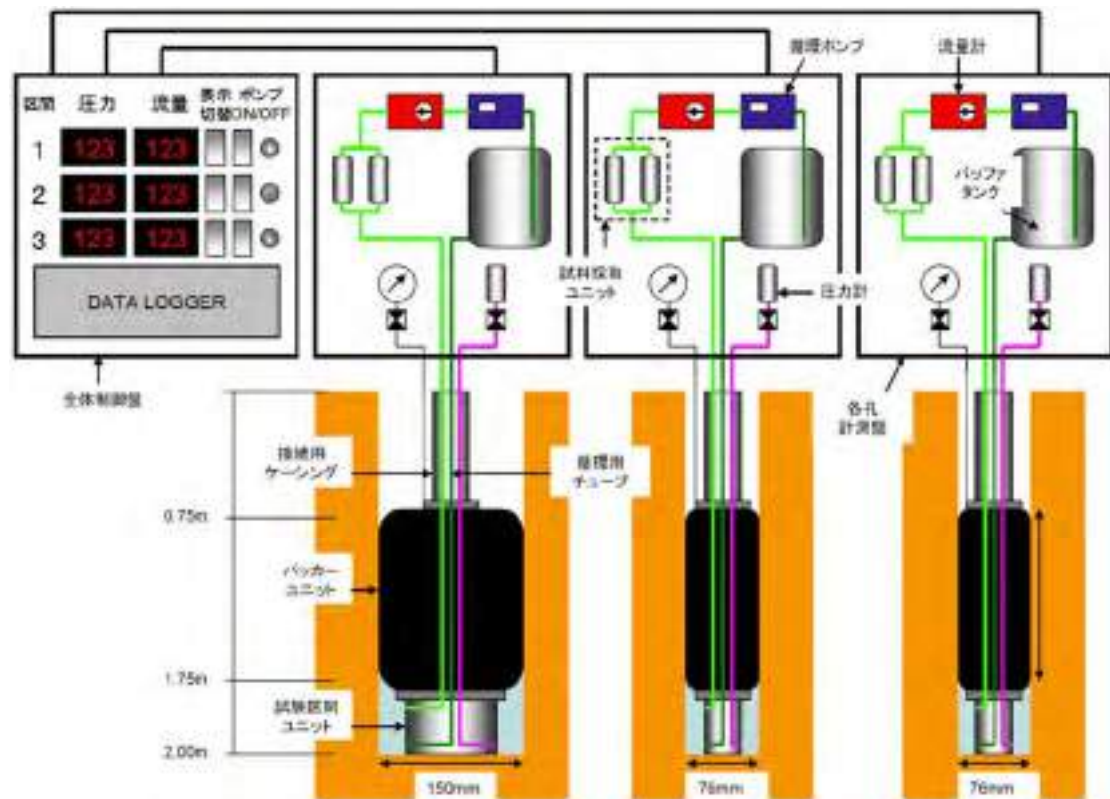


図 2.3.2-19 原位置拡散試験装置の概念図

5) EDZ モニタリング技術開発

2.2 掘削影響領域の地質環境特性の把握で記述したように、EDZ の幅を検討することを目的として、坑道を掘削する際に、弾性波トモグラフィ調査を実施した。弾性波トモグラフィ調査の実施に際しては、弾性波の発振源として、電気雷管やファンクションジェネレーターから発生する弾性波を増幅させてピエゾ震源により発振する事例などが見られるが、地下水に可燃性ガスを伴うような幌延の地質環境条件の下では、防爆の観点から、上述の電気式の発振源の採用は難しい。また、軟岩を対象とした調査のため、繰り返しの打撃による孔壁の損傷を極力抑える必要がある。そこで、図 2.3.2-20 に示す圧縮空気のエネルギーを利用して孔壁を打撃するエアノッカー式ハンマーを開発し⁵⁵⁾、深度 140m 調査坑道および深度 250m 調査坑道における弾性波トモグラフィ調査に採用した。結果としては、2.2 節に示したように、EDZ の長期モニタリング手法として、エアノッカー式発振源による弾性波トモグラフィ調査の有効性を確認することができた。



図 2.3.2-20 エアノッカー式ハンマー

東立坑の深度 350m 以深を掘削する際の EDZ モニタリング技術開発として、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った。

図 2.3.2-21 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 (Acoustic Emission, AE)、間隙水圧、温度を計測するセンサーを設置して、立坑掘削時の岩盤挙動を検討した。

図 2.3.2-22 に、掘削中の AE 発生数、間隙水圧と温度の経時変化を示す。例として、図 2.3.2-22(a)に、立坑壁面から約 1.5m (S1 孔) の位置に設置したセンサーにより取得された AE 発生数の経時変化と立坑の掘削進捗を示す⁵⁶⁾。本図より、センサー設置深度である、深度 370m 付近を掘削中に、AE の発生が急増していることがわかる。また、図 2.3.2-22(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、立坑掘削進捗とともに示す。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の急激な変化が見られた。これは、掘削に伴い立坑周辺岩盤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推定される。

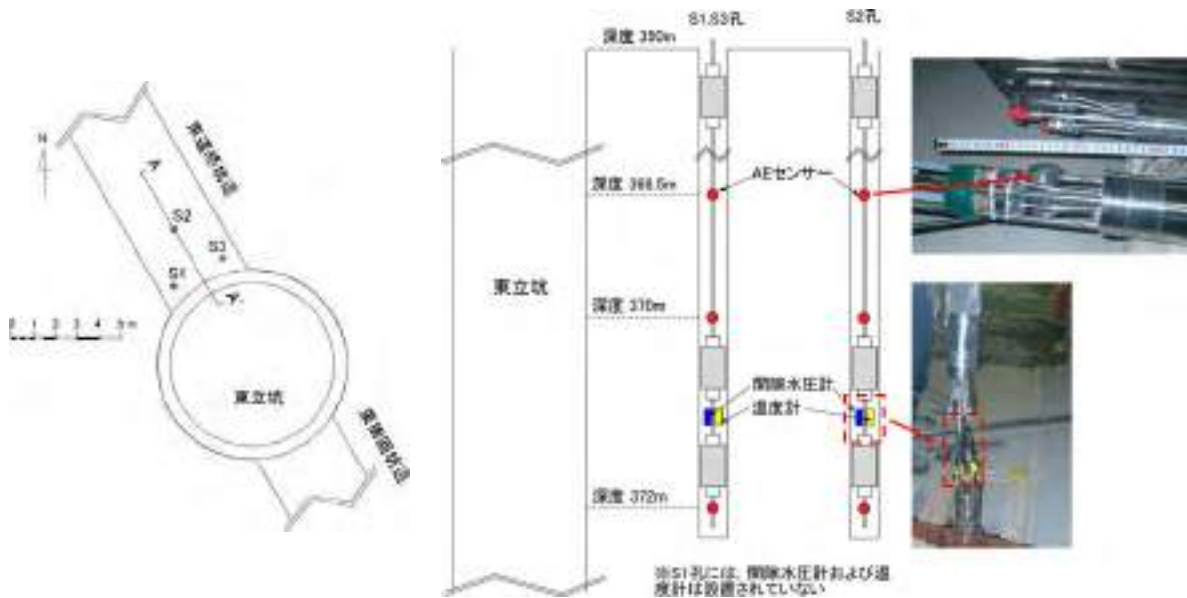


図 2.3.2-21 マルチ光計測プローブのセンサー設置レイアウト

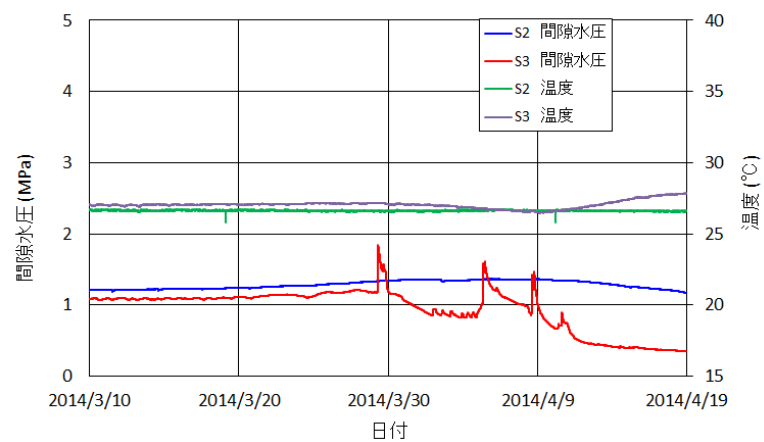
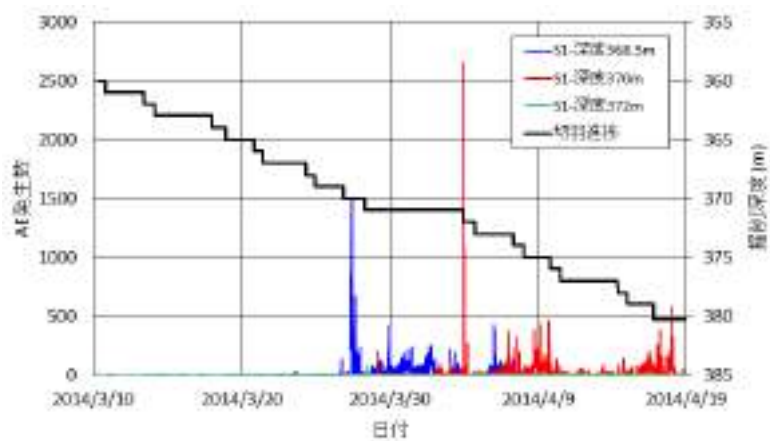


図 2.3.2-22 マルチ光計測プローブによる立坑掘削時の AE, 間隙水圧, 温度測定結果

参考文献

- 1) 中山 雅, 天野健治, 常盤哲也, 山本陽一, 大山卓也, 天野由記, 村上裕晃, 稲垣大介, 津坂仁和, 近藤桂二, 横田秀晴, 南條 功, 新里忠史, 田中真悟, 大原正嗣, 神 和美: “幌延深地層研究計画 平成 23 年度調査研究成果報告”, JAEA-Review 2012-035, 63p. (2012) .
- 2) Ishii, E., Sanada, H., Funaki, H., Sugita, Y. and Kurikami, H. : “The relationships among brittleness, deformation behavior, and transport properties in mudstones: An example from the Horonobe Underground Research Laboratory, Japan”, Journal of Geophysical Research, Vol.116, B09206,(2011).
- 3) Ishii, E., Sanada, H., Iwatsuki, T., Sugita, Y, Kurikami, H. : “Mechanical strength of the transition zone at the boundary between opal-A and opal-CT zones in siliceous rocks”, Engineering Geology, 122, pp.215-221 (2011).
- 4) Ishii, E. : “Microstructure and origin of faults in siliceous mudstone at the Horonobe Underground Research Laboratory site, Japan”, Journal of Structural Geology, 34, pp.20-29 (2012).
- 5) 中山 雅, 佐野満昭, 真田祐幸, 杉田 裕 (編) : “幌延深地層研究計画 平成 21 年度調査研究成果報告”, JAEA-Review 2010-039, 67p. (2010) .
- 6) 中山 雅, 澤田純之, 杉田 裕 (編) : “幌延深地層研究計画 平成 22 年度調査研究成果報告”, JAEA-Review 2011-033, 80p. (2011) .
- 7) 中山 雅, 佐野満昭, 真田祐幸, 杉田 裕 (編) : “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, 68p. (2009) .
- 8) 花室孝広 (編) : “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. (2014).
- 9) 舟木泰智, 石井英一, 常盤哲也: “新第三紀堆積岩中の割れ目は主要な水みちとなり得るか?”, 応用地質, Vol.50, No.4, pp.238-247 (2009) .
- 10) 石井英一, 福島龍朗: “新第三紀珪質岩における断層の解析事例”, 応用地質, Vol.47, No.5, pp.280-291 (2006) .
- 11) Ishii, E., Funaki, H., Tokiwa, T., Ota, K. : “Relationship between fault growth mechanism and permeability variations with depth of siliceous mudstones in northern Hokkaido, Japan”, Journal of Structural Geology, Vol.32, pp.1792-1805 (2010).
- 12) 酒井利啓, 松岡稔幸, 天野健治: “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. (2014).
- 13) 酒井利啓, 松岡稔幸: “幌延地域を対象とした地表踏査および地形データにもとづく地質分布の推定”, JAEA-Research 2015-004, 109p. (2014).
- 14) 中山 雅 (編) : “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, 63p. (2013).
- 15) Yokota, H., Y. Yamamoto, K. Maekawa, M. Hara: “A study on groundwater infiltration in the Horonobe area, northern Hokkaido, Japan”, Proceedings of the ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management ICEM2010, October 3-7, Tsukuba, Japan (2010).
- 16) 山本陽一, 前川恵輔: “1986 年～2009 年 幌延気象観測統計”, JAEA-Data/Code 2010-014, 105p. (2010).
- 17) 山本陽一, 前川恵輔, 横田秀晴, 山崎雅則: “幌延深地層研究計画における表層水理調査流域の水文諸量の空間分布および地下水涵養量の推定－2004 年 12 月～2009 年 11 月－”, JAEA

- Research 2011-042, 97p. (2011).
- 18) 山本信幸, 松岡稔幸: “2003 年～ 2014 年 北進気象観測統計”, JAEA-Data/Code 2014-032, 33p. (2014).
 - 19) 横田秀晴, 山本陽一, 前川恵輔: “北海道幌延地域における地下水位と地質構造に基づく浅部地下水流動に関する検討”, 地下水学会誌 53, pp.193-206 (2011).
 - 20) 石井英一, 安江健一, 田中竹延, 津久井朗太, 松尾公一, 杉山和稔, 松尾重明: “北海道北部, 幌延地域における大曲断層の三次元分布と水理特性”, 地質学雑誌, Vol.112, No.5, pp.301-304 (2006).
 - 21) 操上広志: “幌延深地層研究計画における地下水流動解析—平成 17 年度までの調査結果を踏まえた再解析—”, JAEA-Research 2007-036, 39p. (2007).
 - 22) 吉野浩光, 岸 敦康, 横田秀晴: “幌延深地層研究計画における深層ボーリング孔を利用した長期水圧観測”, JAEA-Data/Code 2015-014, 42p. (2015).
 - 23) 天野由記, 南條 功, 村上裕晃, 藪内 聡, 横田秀晴, 佐々木祥人, 岩月輝希: “北海道幌延地域における深部地下水調査—地上からの地球化学調査の妥当性評価と地下施設建設に伴う地球化学特性変化—”, 地下水学会誌 54, pp.207-228 (2012).
 - 24) Yamamoto, H., Kunimaru, T., Kurikami, H., Shimo, M., Xu, T.: “Long-term simulation of ambient groundwater chemistry at Horonobe underground research laboratory, Japan. - Application of coupled hydro-geochemical model-“, GEOPROC2006, 2nd International Conference on Coupled Thermo-Hydro-Mechanical-Chemical Processes in Geosystems and Engineering, Nanjing, China, pp.382-387 (2006).
 - 25) 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: “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, 434p. (2007).
 - 26) 近藤桂二, 津坂仁和, 稲垣大介, 杉田 裕, 加藤春實, 丹生屋純夫: “幌延深地層研究所における珪藻質泥岩を対象とした水圧破碎法による初期地圧の測定”, 第 13 回岩の力学シンポジウム講演論文集, pp.583-588 (2013).
 - 27) Aoyagi, K., Tsusaka, K., Tokiwa, T., Kondo, K., Inagaki, D. and Kato, H.: “A study of the regional stress and the stress state in the galleries of the Horonobe Underground Research Laboratory”, Proceedings on the 6th International Symposium on In-Situ Rock Stress, 20-22 August 2013, Sendai, Japan, pp.331-338 (2013).
 - 28) 松井裕哉, 中山 雅, 真田祐幸 (編): “幌延深地層研究計画 平成 18 年度調査研究成果報告”, JAEA-Research 2007-092, 83p. (2007).
 - 29) 中山 雅, 真田祐幸, 杉田 裕 (編): “幌延深地層研究計画 平成 19 年度調査研究成果報告”, JAEA-Research 2008-074, 72p. (2008).
 - 30) Tsang C.-F., Bernier F., Davies C.: “Geohydromechanical processes in the Excavation Damaged Zone in crystalline rock, rock salt, and indurated and plastic clays in the context of radioactive waste disposal”, Int Jour. of Rock Mech. & Min. Sci. 42, pp.109-125, (2005).
 - 31) Sanada, H., Nakamura, T., and Sugita, Y.: “Mine-by Experiment in a deep shaft in Neogene sedimentary rocks at Horonobe, Japan” International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 56, pp.127-135 (2012).
 - 32) 青柳和平, 石井英一, 藤田朝雄, 本島貴之: “幌延深地層研究センターの立坑における掘削損傷領域の進展に関する検討”, 第 44 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.313-318

- (2016).
- 33) 藪内 聡, 國丸貴紀, 岸 敦康, 小松 満 : “水平坑道の掘削に伴う坑道周辺の間隙水圧・岩盤水分量モニタリングー幌延深地層研究所 140m 調査坑道での測定ー”, 土木学会論文集 C (地圏工学) , Vol.67, No.4, pp.464-473 (2011).
 - 34) Sugita, Y., Nakamura, T., Sanada, H., Aizawa, T. and Ito, S. : “Seismic Tomography Investigation in 140m Gallery in the Horonobe URL project”, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 1265, AA06-03 (2010).
 - 35) Aoyagi, K., Tsusaka, K., Tokiwa, T., Kondo, K., Inagaki, D. and Kato, H. : “A study of the regional stress and the stress state in the galleries of the Horonobe Underground Research Laboratory”, Proceedings on the 6th International Symposium on In-Situ Rock Stress, 20-22 August 2013, Sendai, Japan, pp.331-338 (2013).
 - 36) 青柳和平, 津坂仁和, 窪田健二, 常盤哲也, 近藤桂二, 稲垣大介 : “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, pp.412-423 (2014).
 - 37) 杉田 裕, 中村隆浩, 真田祐幸 : “弾性波トモグラフィ調査の掘削影響領域モニタリング技術への適用”, 第 40 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.230-235 (2011).
 - 38) 青柳和平, 津坂仁和, 窪田健二, 常盤哲也, 近藤桂二, 稲垣大介 : “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 (地圏工学) , Vol.70, No.4, pp.412-423 (2014).
 - 39) Aoyagi, K., Tsusaka, K., Nohara, S., Kubota K., Kondo, K., and Inagaki, D. : “Hydrogeomechanical investigation on an Excavation Damaged Zone based on seismic surveys and hydraulic tests in the Horonobe Underground Research Laboratory”, Proceedings of 2014 ISRM International Symposium - 8th Asia Rock Mechanics Symposium, pp.2804-2811 (2014).
 - 40) 青柳和平, 石井英一, 中山 雅, 藤田朝雄 : “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孔周辺の岩盤損傷の検討”, 日本材料学会第 65 期通常総会・学術講演会論文集, pp.19-20 (2016).
 - 41) Westbay Instruments Inc., <http://www.westbay.com/> (accessed 2016.6.25).
 - 42) SOLEXPARTS AG, <http://www.solexperts.com/> (accessed 2016.6.25).
 - 43) 株式会社ダイヤコンサルタント, <http://www.diaconsult.co.jp/> (accessed 2016.6.25).
 - 44) 株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング, <http://www.atk-eng.jp/> (accessed 2016.6.25).
 - 45) 名合牧人, 井尻裕二, 木ノ村幸士, 里 優, 重廣道子, 國丸貴紀 : “高精度傾斜計による立坑掘削に伴う岩盤挙動のモニタリング”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会 (2007) .
 - 46) 井尻裕二, 名合牧人, 木ノ村幸士, 杉原 豊, 重廣道子, 里 優, 國丸貴紀 : “高精度傾斜計による岩盤挙動のモニタリング手法の開発”, 日本原子力学会バックエンド部会第 23 回バックエンド夏期セミナー (2007) .
 - 47) 羽出山吉裕, 井尻裕二, 名合牧人, 亀村勝美, 里 優, 佐ノ木 哲, 國丸貴紀 : “立坑掘削に伴う岩盤挙動に関する高精度傾斜計測結果と弾性解析の比較”, 土木学会平成 20 年度全国大会第 63 回年次学術講演会 (2008) .
 - 48) 井尻裕二, 羽出山吉裕, 名合牧人, 亀村勝美, 里 優, 佐ノ木 哲, 國丸貴紀 : “幌延深地層研究所施設工事における高精度傾斜計データの分析”, 土木学会平成 20 年度全国大会第 63 回年次学術講演会, CS05-51 (2008).

- 49) 井尻裕二, 羽出山吉裕, 名合牧人, 里 優, 佐ノ木 哲, 國丸貴紀, 杉田 裕 : “高精度傾斜計による岩盤・地下水挙動のモニタリング手法の開発”, 日本原子力学会バックエンド部会第 25 回バックエンド夏期セミナー (2009) .
- 50) Inagaki, D., Ijiri, Y., Nago, M., Hatsuyama, Y., Sato, M., and Kunimaru, T.: “Groundwater monitoring by high-precision tiltmeter at the Horonobe Underground Research Laboratory”, 11th Annual, Meeting Asia, Oceania Geosciences Society (AOGS 2014) (2014).
- 51) Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe, M. Ishiguro : “A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion”, *geophysical Journal International* 104, pp.507-516 (1991).
- 52) Sanada, H., Sugita, Y. and Kashiwai, Y. : “Development of a multi-interval displacement sensor using Fiber Bragg Grating technology” *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Volume 54, pp.27-36 (2012).
- 53) 南條 功, 天野由記, 岩月輝希, 國丸貴紀, 村上裕晃, 細谷真一, 森川佳太 : “幌延深地層研究センター東立坑 140m 調査坑道における地下水の地球化学モニタリングに関する研究開発”, *JAEA-Research* 2011-048, 162p. (2012).
- 54) 女澤徹也, 宮川和也, 笹本 広, 曾我弘一 : “幌延深地層研究センター350m 調査坑道における地下水の地球化学モニタリング装置の改良・開発”, *JAEA-Technology* 2016-003, 25p. (2016).
- 55) 杉田 裕, 真田祐幸, 相澤隆生, 伊東俊一郎 : “簡易型弾性波トモグラフィ調査システムの開発”, *JAEA-Research* 2011-043, 34p. (2011).
- 56) 畑 浩二, 丹生屋純夫, 青柳和平, 藤田朝雄 : “幌延深地層研究センターの立坑掘削時における力学的・水理学的影響調査”, *土木学会第 70 回年次講演会講演概要集*, pp.5-6 (2015).

3. 深地層における工学的技術の基礎の開発

堆積岩を対象として地上からの調査研究により得られた地質環境情報に基づき、実際の設計・施工を通じ、地層処分に反映可能な基盤技術として、地下施設の設計・施工計画技術、掘削技術、施工対策技術の高度化・体系化を図るとともに、「情報の取得や技術の実証を目的とした地下施設」を安全に建設・維持するための工学技術を確立することが、本開発の目標である。第2段階では、研究坑道の掘削を通じて、計測結果等の分析評価を行い、既往の地下施設設計手法等の適用性の評価を進める。また、実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合、想定外の事象に遭遇した場合、あるいは、坑道の掘削により地質環境を著しく乱す事象が生じた場合などにおいて、柔軟に設計変更ができること、さらに現状の対策工が適切に対応し得ることを示すことにより、設計・施工技術および施工対策技術の有効性を確認する。さらに、地質環境の変化の事前予測や対策工実施後の品質保証のための工学技術の検討を行う。一方、安全衛生面からの坑道の維持・管理や安全確保のための技術開発を実施する。

これらは、地下施設の設計・施工の手順や技術の適用性を明確にし、精密調査に向けて行われる地下施設の設計・施工計画や建設、維持管理を支援するものとなる。本章では、深地層における工学的技術の基礎の開発の一環として実施した、設計・施工計画の妥当性、掘削技術ならびに施工対策技術の適用性を評価した結果を示す。

3.1 地下施設建設における設計の適用性確認・更新

3.1.1 実施設計・施工計画

立坑掘削に先立ち、第1段階で実施した地下施設実施設計¹⁾の妥当性を確認するためのデータ取得と、次の掘削段階における設計・施工方法の最適化を図るための情報化施工プログラムを作成した。具体的には、第1段階での地下施設実施設計の考え方を踏まえ、上記の目的に照らして坑道掘削時に取得すべき坑道周辺岩盤や設置した支保工の状態を判断するためのデータの種類や取得方法などを取りまとめた(表 3.1.1-1)。次に、抽出した計測項目を、図 3.1.1-1 に示すように日常管理計測およびステップ管理計測に区分し、第1段階の設計で使用した地山区分などを考慮したデータ取得の頻度・位置などについて検討した(表 3.1.1-2, 図 3.1.1-2)。取得したデータは、図 3.1.1-1 のフローで解析評価を行った後、次の掘削・施工の最適化に用いるとともに、事前設計の妥当性の確認にも用いる。坑道掘削中に得られたデータが地下施設のどの部分の施工にフィードバックされるかを示したものを図 3.1.1-3 に示す。このような計画に基づいて実施設計の妥当性確認と計測結果の設計へのフィードバック技術の適用性評価を実施した。

1) 東立坑および換気立坑

図 3.1.1-4 に換気立坑深度 83m、図 3.1.1-5 に換気立坑深度 177m における覆工コンクリート応力の経時変化を示す。図から、覆工コンクリート応力が当該深度の許容応力度(いずれも 6MPa)以下であり、既設支保は健全であることが分かった。そのほかの深度においても、計測データを分析・評価した結果、地下施設実施設計で設定した許容応力度以内であり、既設支保の健全性が確認された。

東立坑で取得した計測データを分析・評価した結果、支保の一部であるロックボルトについては、本来、引張方向の軸力により周辺の岩盤を縫付ける効果を期待して打設しているが、ショットステップ工法により施工した立坑一般部では、掘削後に剛性の高い覆工コンクリートを早期に打設するため地山の内空側への変形が抑制され、図 3.1.1-6 のように、逆に圧縮方向の軸力が作用していることが分かった。そのため、支保の合理化を推進するために、東立坑深度 150~170m の

区間で試験的にロックボルトの打設を取りやめ、ロックボルトの有無による支保の健全性の比較を実施した。図 3.1.1-7 に東立坑深度 160m の計測結果を示す。図からロックボルトを打設しない場合においても鋼製支保工応力や覆工コンクリート応力が長期許容応力度以下で安定しており、支保の健全性が確認された。さらに、覆工コンクリートを打設するまでに顕著な岩盤の崩落も見られなかった。この結果から、換気立坑で掘削実績のある深度 250m 以浅における同等な地山等級区間ではロックボルトを取りやめ、支保を合理化することとした。

東立坑の深度 220m を対象として、ショートステップ工法による立坑掘削に伴って生じる覆工コンクリート内の円周方向応力分布を数値解析と現場計測により分析した。数値解析では、図 3.1.1-8 に示すように施工手順を再現した立坑の三次元逐次掘削解析を実施した。なお、実施工における鋼製支保工については、ステップ 1, 2 の各段階で設置されるが、その段階では、壁面が平滑ではなく、鋼製支保工が全面的には岩盤と密着していないため、解析上は、ステップ 3 の段階で設置すると想定した。東立坑を深度 257m（対象深度である深度 220m から掘削径の 5 倍相当の離れ）まで掘削した際の覆工コンクリート内の円周方向応力の分布の解析結果²⁾を図 3.1.1-9 に示す。分析の対象は、東立坑の深度 218～220m における厚さ 60cm、高さ 2m のシェル形状の覆工コンクリートである。分析結果から円周方向応力の最大値は初期地圧の最小主応力方向（南北方向）の内空側下端部で、また、最小値は初期地圧の最大主応力方向（東西方向）の内空側上端部でそれぞれ発生しており、覆工コンクリート内の応力差は 10MPa 以上となることが分かった。一方、現場計測では、覆工コンクリート中心部の同一水平面内に応力計を配置する一般的な計測手法に対して、立坑軸方向および半径方向の応力分布を計測するために、初期地圧の最大・最小主応力方向の縦断面内に各 5 個の応力計を配置した（図 3.1.1-10）。対象断面とした覆工コンクリートにおける、切羽の進行に対する円周方向応力の変化について、解析結果と計測結果²⁾を図 3.1.1-11 に示す。解析結果では、円周方向応力は切羽に近い下段の方が大きく、上段ほど小さくなる。これは、応力計が設置された時点の掘削解放率の差によるものと考えられる。また、切羽と応力計設置深度との距離が東側断面では 8m 程度（掘削径とほぼ同等）、南側断面では 4.5m 程度（掘削径の半分程度）になると、初期地圧の異方性に伴う曲げモーメントの影響が顕著に生じ始め、同一深度の内側と外側の応力値に差が発生していることが分かった。（図 3.1.1-12）

2) 水平坑道

深度 140m 調査坑道では、切羽観察による地山評価の結果、地上からの調査による予測よりも良好な地山であると判定されたため、施工方法を見直した。地下施設実施設計では、周辺地山のゆるみによる荷重増分を最小限に抑えるためにインバートを含む全断面を掘削し、吹付けコンクリートによる早期の閉合を繰り返す施工方法を計画していたが、施工性ならびに安全性の向上・コスト縮減・工程短縮を目的として、インバートの掘削と吹付けコンクリートを一括して最後に施工する方法に見直した。施工にあたっては、支保の健全性を確認するため、計測により坑道の変位や支保の応力状態を確認しながら進めたが、支保部材の最大応力は長期許容応力度以下で収束し、インバートの一括施工による変位や応力の変化もほとんどなかった。図 3.1.1-13 に調査坑道の東側の計測結果の一例を示す。この結果を反映し、後続の深度 250m および深度 350m 調査坑道でも同様の施工方法に見直すこととした。

3) 岩盤物性の評価

岩盤の強度特性は、岩盤中に存在する割れ目の頻度や分布性状に大きく依存するため、割れ目が存在していない供試体による室内力学試験結果では、原位置の岩盤強度特性を反映できないことが指摘されている³⁾。第 1 段階の調査では、地上からのボーリング調査で採取した岩石コアを

用いて力学試験を実施し、その結果と、割れ目および強度特性に関する経験則などをもとに、地下深部の岩盤の強度特性を予測した。第2段階および第3段階の調査では、地下施設内で実際の岩盤を切り出して原位置せん断試験を実施し、その強度特性（粘着力と内部摩擦角）を調査し、第1段階の予測値や予測手法の妥当性について評価した。

深度 350m 調査坑道のポンプ座において、珪質泥岩である稚内層を対象に、原位置せん断試験を実施した。試験では、底盤において縦と横が約 60cm、高さが約 30cm となるように岩盤を 4 つ切り出して供試体を成形し、坑道の天井と側壁にコンクリート製のブロックを作成し、載荷用ジャッキを鉛直方向とせん断方向（横方向）に設置した（図 3.1.1-14）。試験では、供試体に鉛直方向の荷重を載荷しながら、せん断荷重（水平から下向き 15°の荷重）を徐々に載荷した。試験位置の岩盤状況を図 3.1.1-15 に示す。350m ポンプ座には、CM-H(Hr.)級と CM-M(Hr.)級の岩盤が分布していたが、このうち、深度 350m 調査坑道の壁面観察結果において主に観察された CM-H(Hr.)級を対象に試験を実施した。原位置せん断試験により得られた粘着力と内部摩擦角に基づいて引いた破壊規準線を図 3.1.1-16 に示す。同図には、第1段階で得られたボーリングコアを用いた岩石試験結果(CM-H 級)および岩石試験結果をもとに岩盤中の割れ目の影響を考慮して予測した、本試験で対象とした岩級（CM-H(Hr.)級）における破壊規準線も併せて示した。両者を比較すると、原位置せん断試験により得られた破壊規準線は、第1段階の予測結果と大きな差異はないと言える^{3),4)}。

表 3.1.1-1 情報化施工プログラム策定時に抽出した計測項目と計測の目的

[illegible]

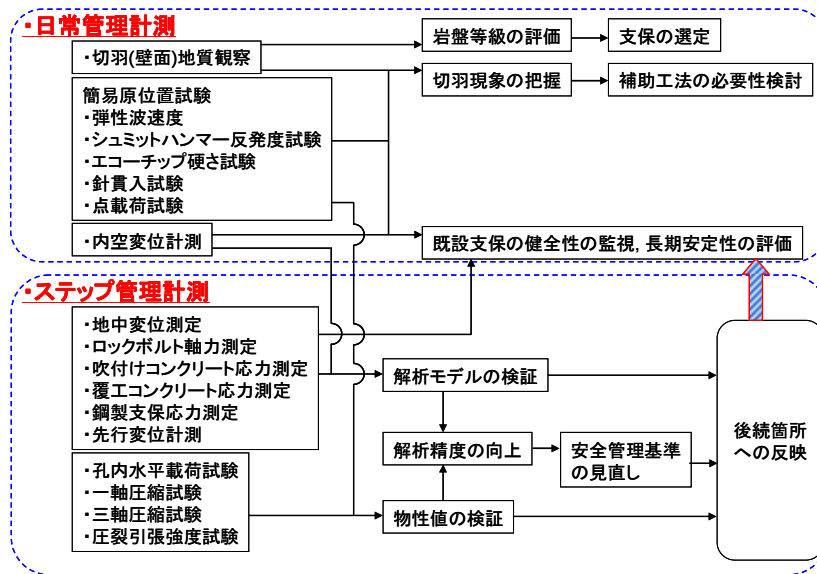


図 3.1.1-1 日常管理計測とステップ管理計測の主要項目および解析評価のフロー図

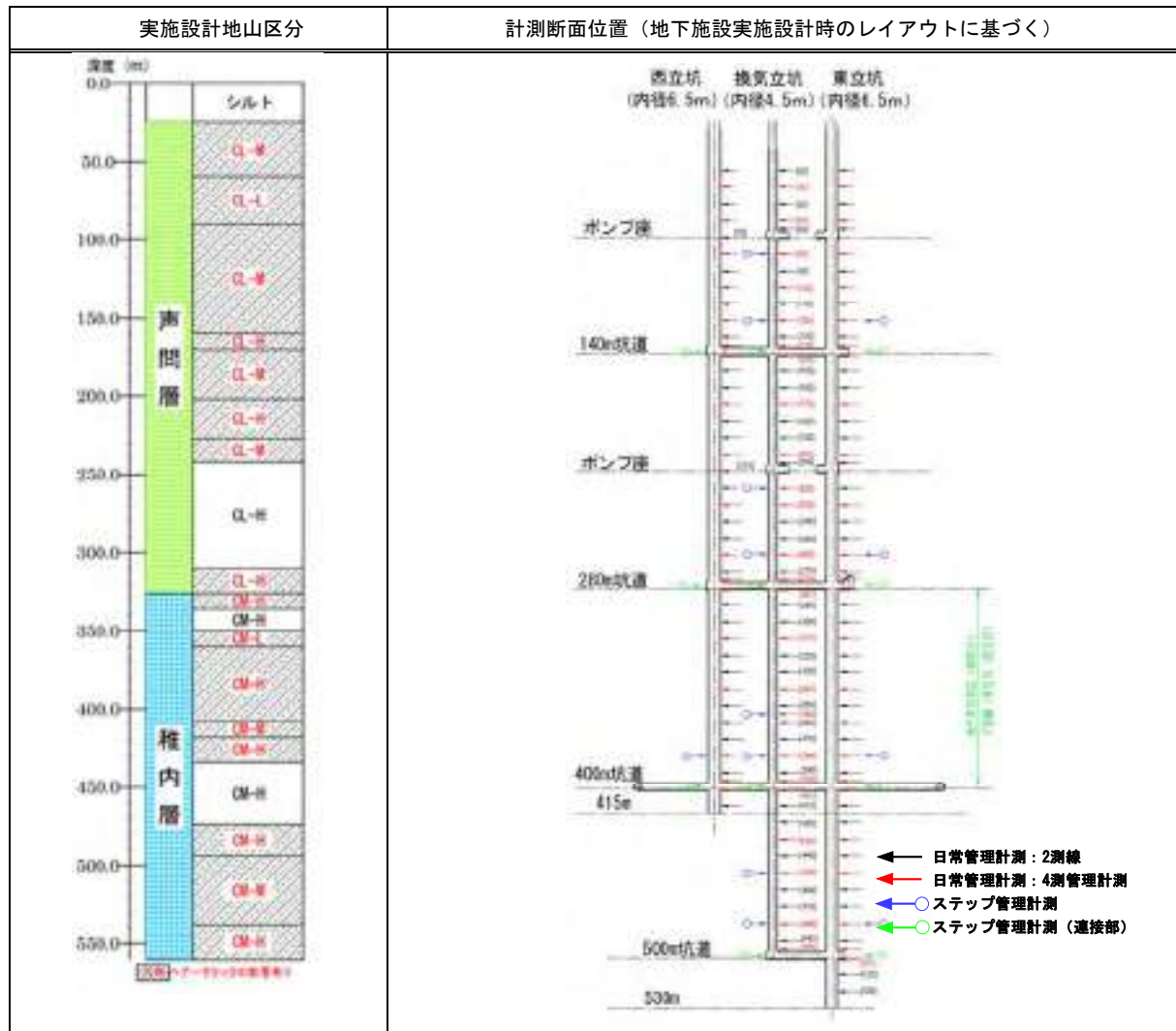


表 3.1.1-2 岩盤等級区分

地層	岩盤等級区分	岩盤目録	ヘアークラック	岩石コアの特徴
声発層	D	—	—	岩石は軟質で、カッターの刃が2 mm以上割さる。コアは角礫状～岩片状～粘土状を示す。
	CL	L	—	岩石は、カッターの刃が1 mm程度割さる硬さを有し、コアは角礫状～岩片状を示す。
		M	有・無	岩石は、カッターの刃が1 mm程度割さる硬さを有し、コアは概ね10 cm未満の短柱状を主体とする。
		H	有・無	岩石は、カッターの刃が1 mm程度割さる硬さを有し、コアは概ね10 cm以上の長柱状～棒状を主体とする。
稚内層	CM	L	—	岩石は、カッターの刃で傷が付く程度の硬さを有し、コアは角礫状～岩片状を示す。
		M	有・無	岩石は、カッターの刃で傷が付く程度の硬さを有し、コアは概ね10 cm未満の短柱状を主体とする。
		H	有・無	岩石は、カッターの刃で傷が付く程度の硬さを有し、コアは概ね10 cm以上の長柱状～棒状を主体とする。

*ヘアークラックの有無の判定は、ボーリングコア10m区間において、ヘアークラックが存在する区間が10%以上を占めるものを「有」とした。それ以外に属する区分は、L角礫状～岩片状・M概ね10cm未満の短柱状・H概ね10cm以上の長柱状～棒状とした。

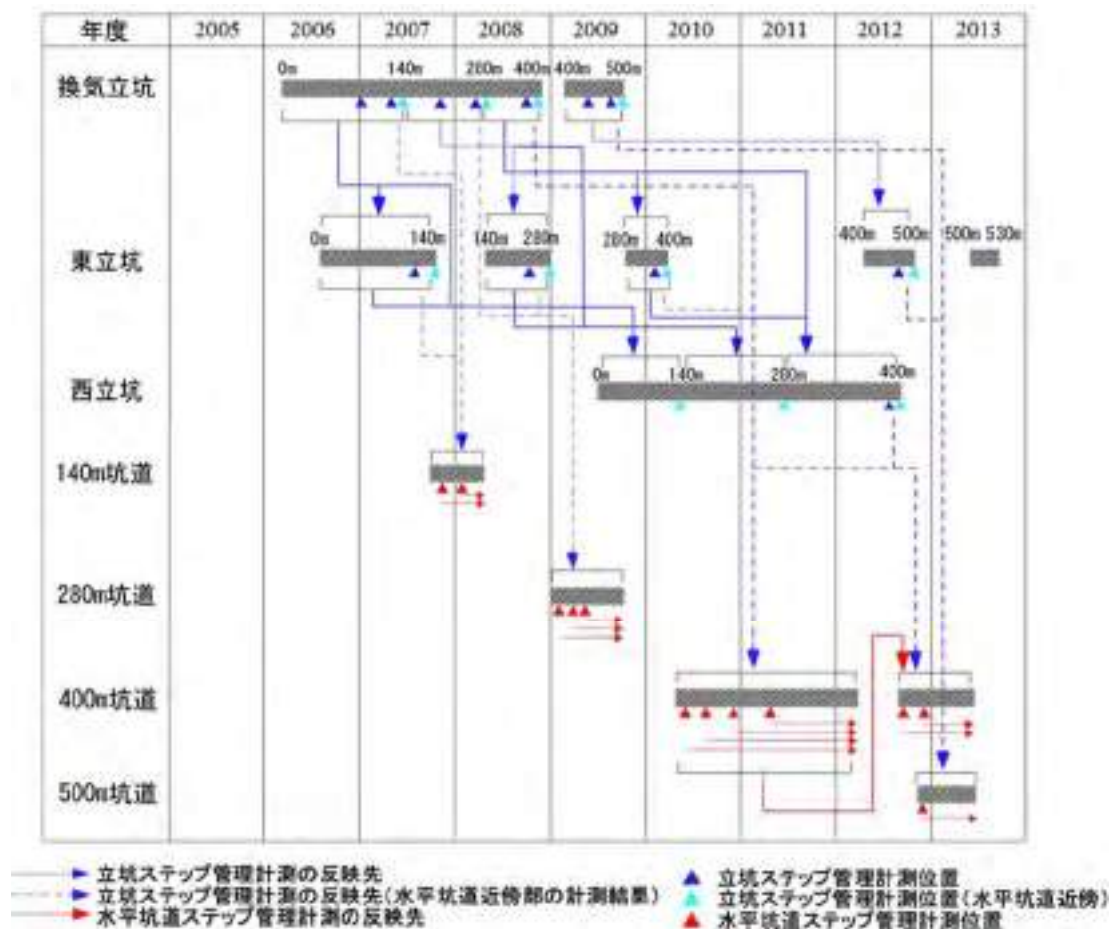


図 3.1.1-3 情報化施工プログラムに基づく計測データの解析評価結果の反映先

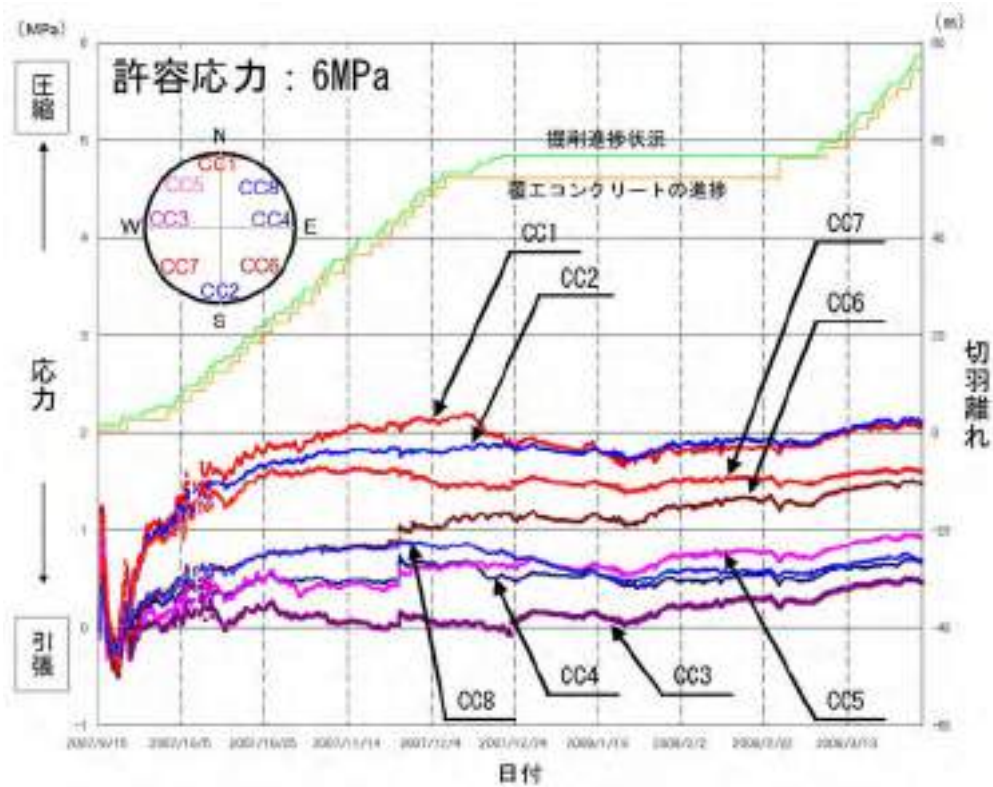


図 3.1.1-4 換気立坑深度 83m の覆工コンクリート応力計測結果

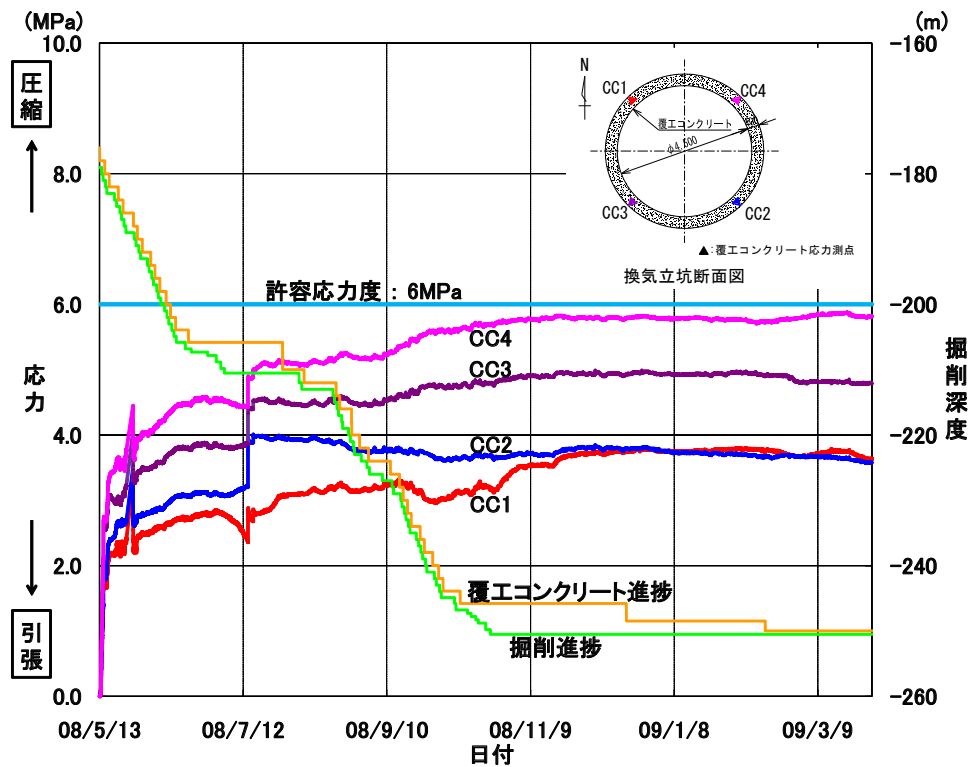


図 3.1.1-5 換気立坑深度 177m の覆工コンクリート応力計測結果

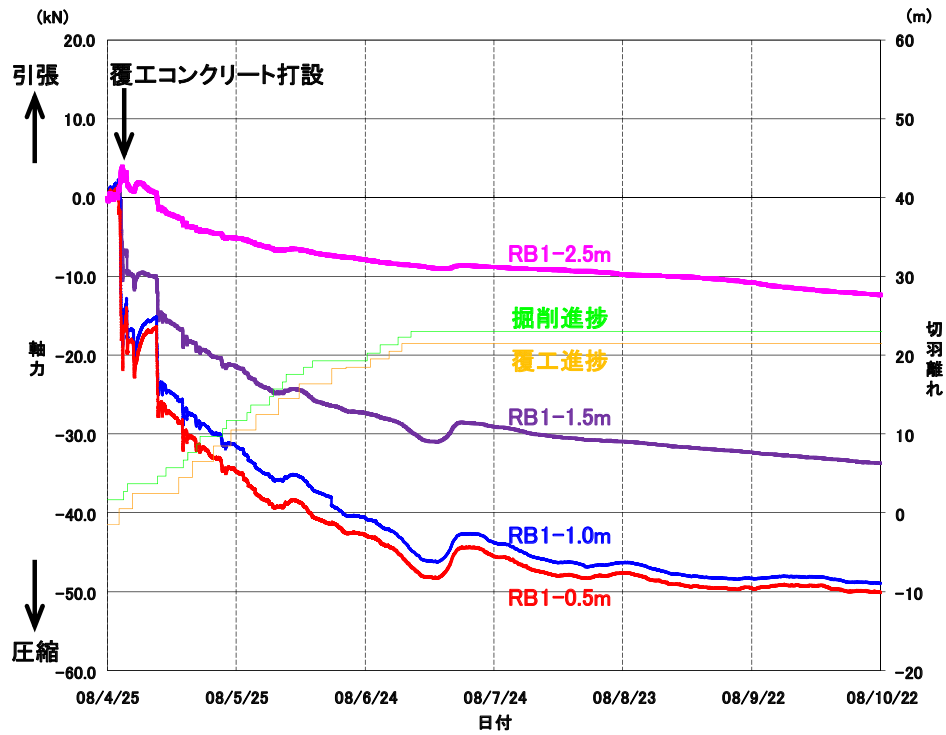
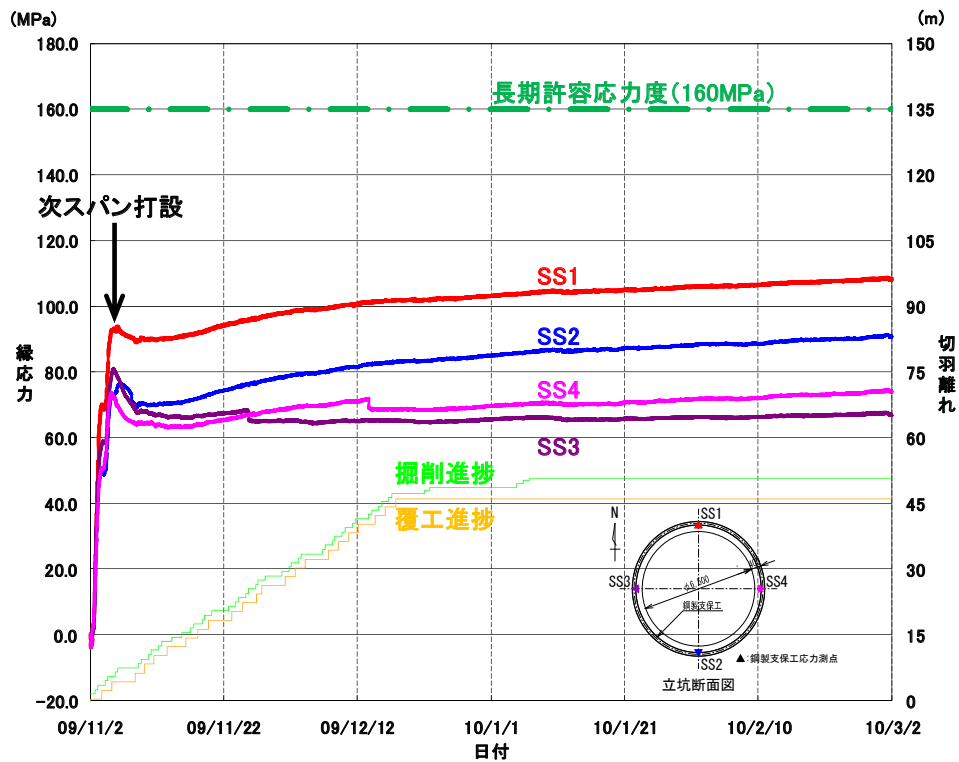
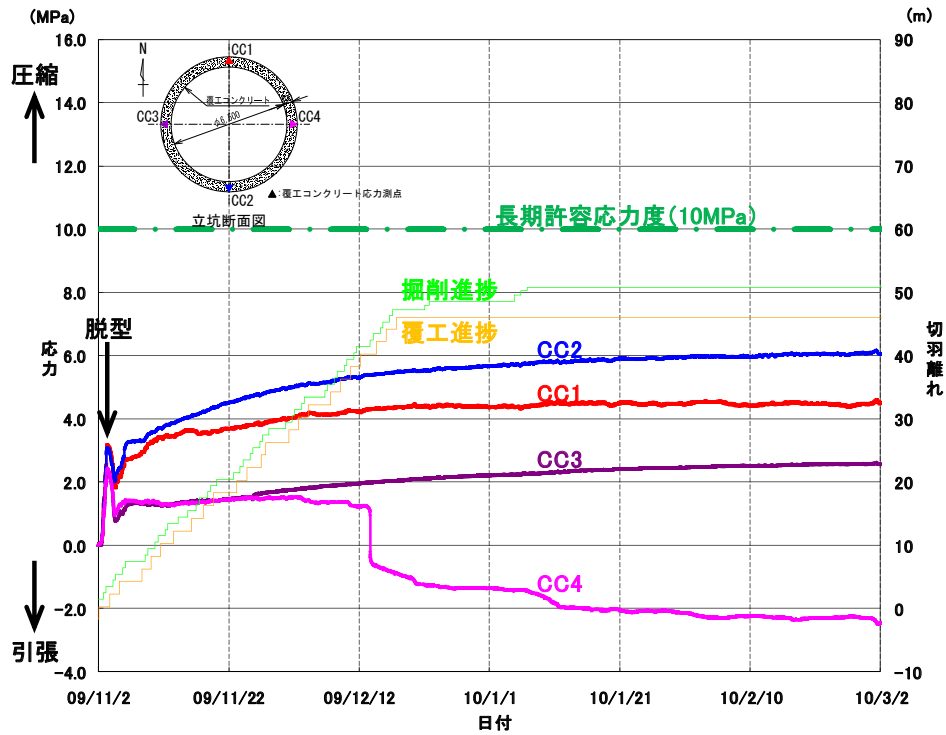


図 3.1.1-6 東立坑深度 120m のロックボルト軸力計測結果



(a) 鋼製支保工応力計測結果

図 3.1.1-7 東立坑深度 160m の計測結果 (1/2)



(b) 覆工コンクリート応力計測結果
図 3.1.1-7 東立坑深度 160m の計測結果 (2/2)

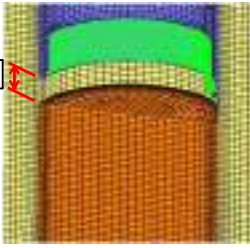
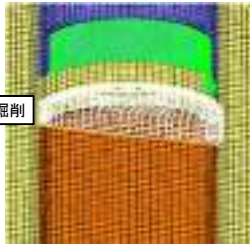
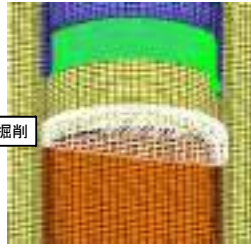
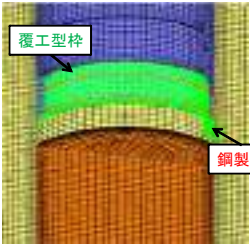
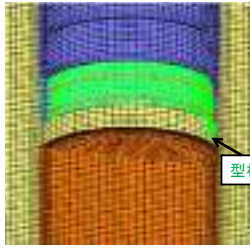
ステップ0 [経過時間0.00日]	ステップ1 [経過時間0.75日]	ステップ2 [経過時間1.50日]
 掘削前	 1.0m掘削 1m盤下げ	 1.0m掘削 1m盤下げ
 覆工型枠 鋼製支保工 型枠移動→型枠設置 鋼製支保工設置→覆工打設	 養生→覆工下面の型枠脱型 ステップ0に戻る	

図 3.1.1-8 東立坑深度 220m を対象とした三次元逐次掘削解析のステップ

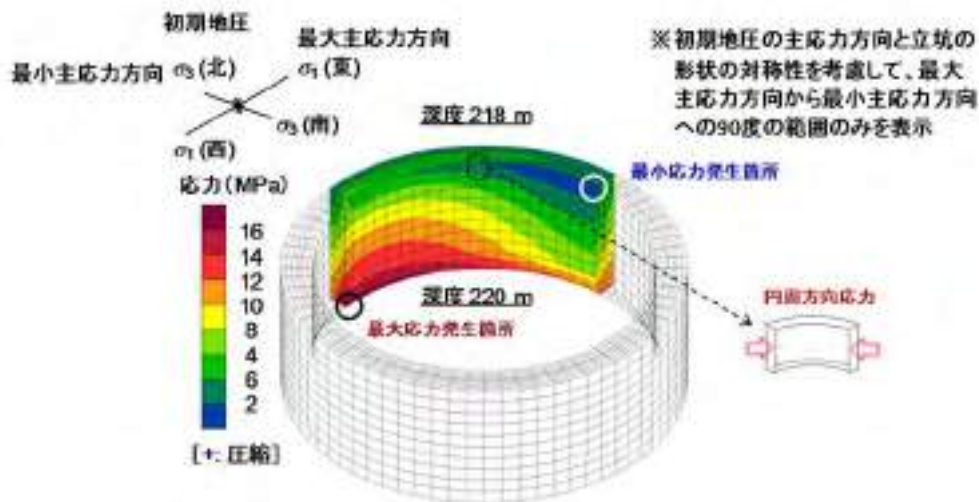


図 3.1.1-9 東立坑深度 220m における覆工コンクリートの円周方向の応力分布

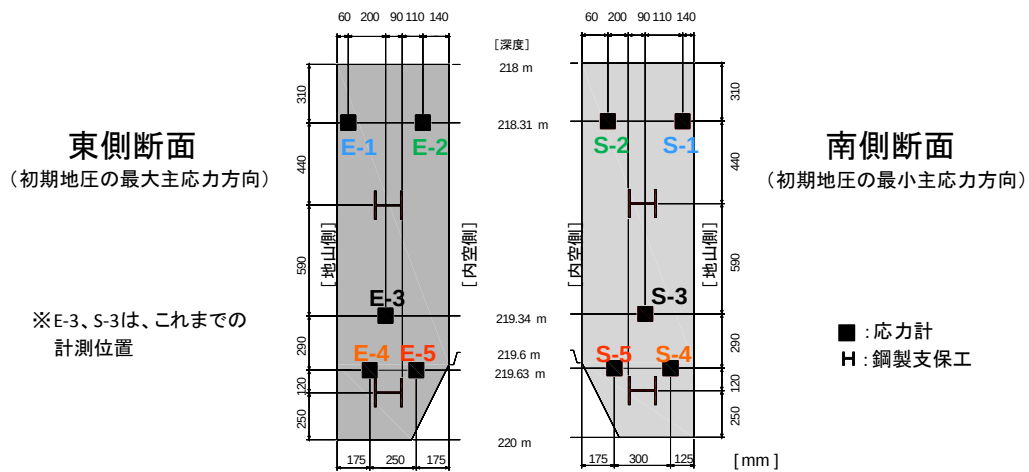


図 3.1.1-10 東立坑深度 220m における応力計の配置

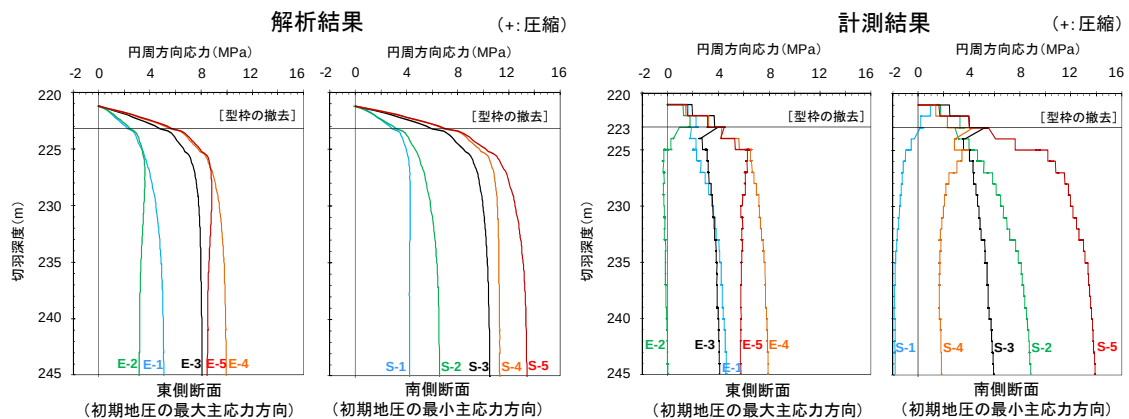


図 3.1.1-11 東立坑深度 220m における覆工コンクリート円周方向応力の解析結果と計測結果

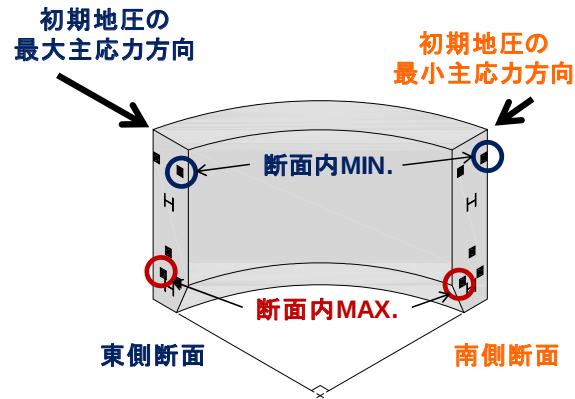


図 3.1.1-12 断面内の最大・最小円周方向応力発生箇所

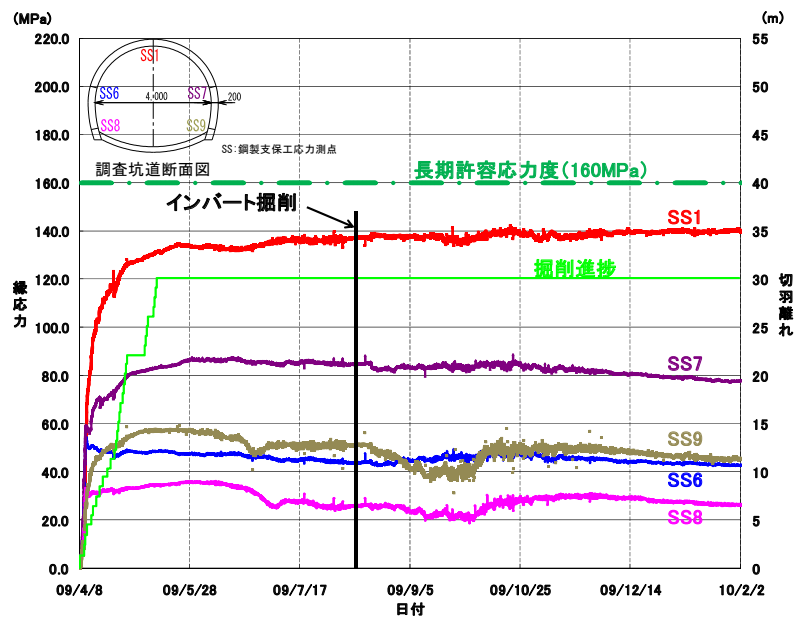
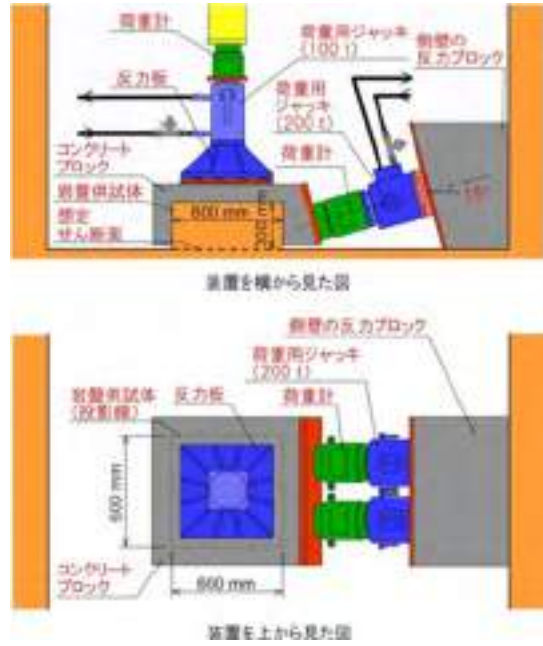


図 3.1.1-13 深度 140m 東側調査坑道の鋼製支保応力計測結果



(a) 荷重試験状況



(b) 試験装置のイメージ

図 3.1.1-14 岩盤荷重試験の概要

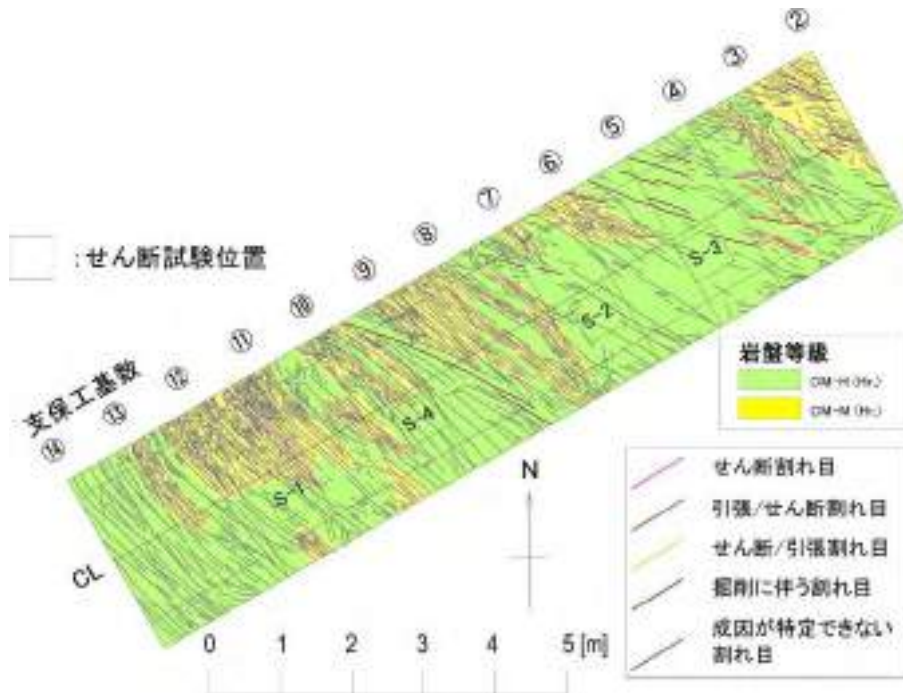


図 3.1.1-15 岩盤荷重試験位置における岩盤の状況

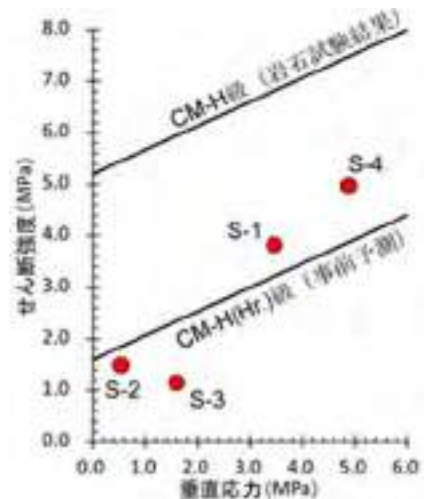


図 3.1.1-16 原位置における岩盤載荷試験結果と事前予測結果の比較

3.1.2 地下施設の耐震設計の適用性確認

地下施設の耐震設計技術を評価するための調査として、深度 250m 調査坑道、深度 350m 調査坑道および HDB-3 孔敷地に地震計を設置し観測を実施した。地表の観測としては、西立坑のアクセスルームに 1 台、深度 250m 調査坑道と深度 350m 調査坑道に埋設型の地震計を 1 台ずつ、さらに深度 350m 調査坑道に 2 台の地震計をそれぞれ床面に設置した（図 3.1.2-1）。埋設型の地震計は坑道の床面から下に 5m 程掘削したボーリング孔内に設置し、岩盤における地震動を計測している。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断層との交差部、ならびに、立坑と水平坑道の接続部に設置した。

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た（図 3.1.2-2）。2015 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 3.1.2-3 に示す。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る。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くが、岩盤から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る。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る。震源の深さは 2 つの地震ともほぼ同じである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る。

地下施設の耐震安定性に関しては、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、そのモデルを用いて本震後の余震を考慮した解析を行った。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る。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た（図 3.1.2-4）。解析に際して、立坑全体を三次元でモデル化した（図 3.1.2-5）。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

箇所が認められるが、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た。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る。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3.1.2-6)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た。

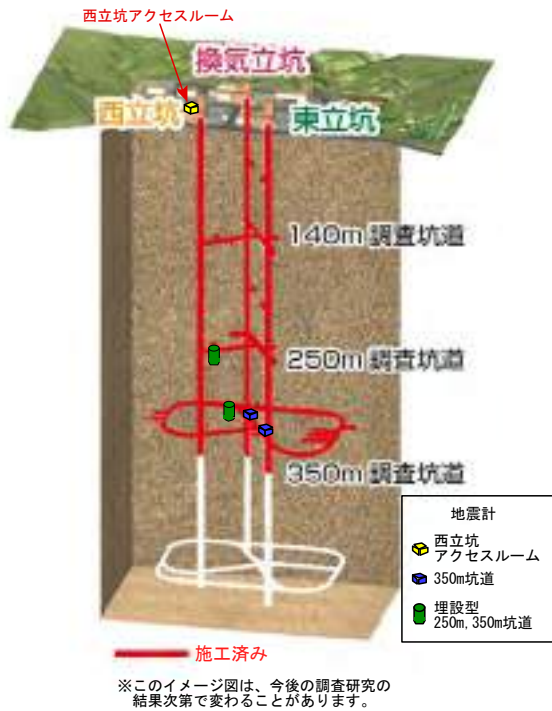


図 3.1.2-1 地震計設置位置

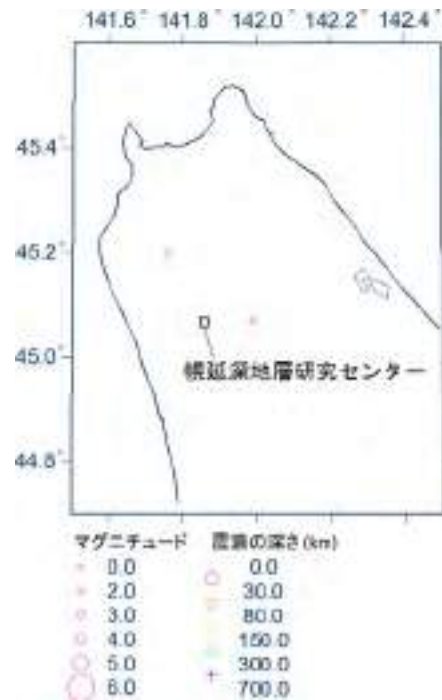


図 3.1.2-2 2015 年 1 月 3 日と 2 月 3 日に発生した地震の震央分布 ($M \geq 2.5$)

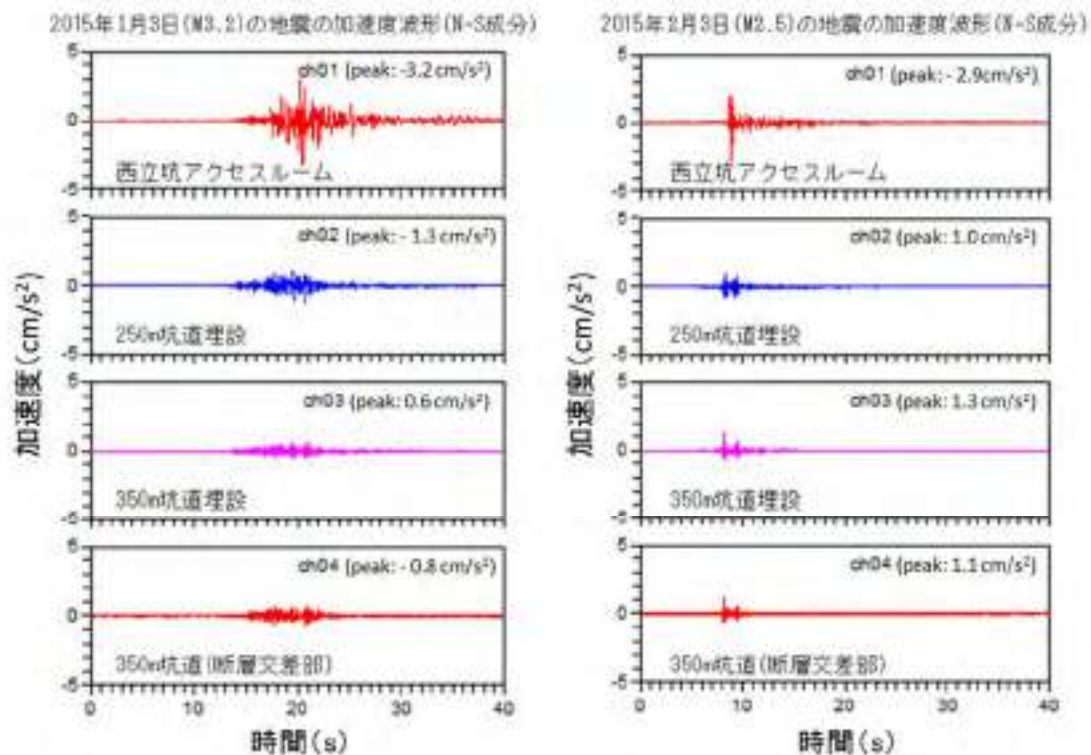


図 3.1.2-3 2015 年 1 月 3 日と 2 月 3 日に発生した地震の加速度波形

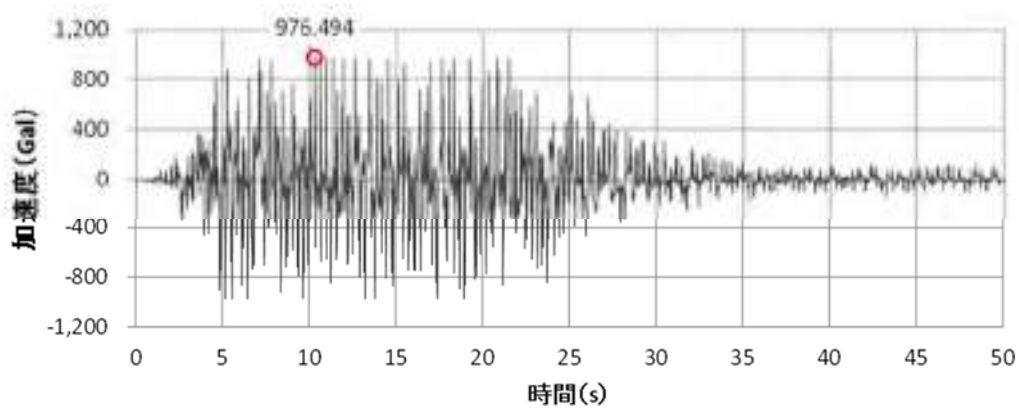


図 3.1.2-4 サロベツ断層帯を対象とした想定地震動の時刻歴波形（最大余震）

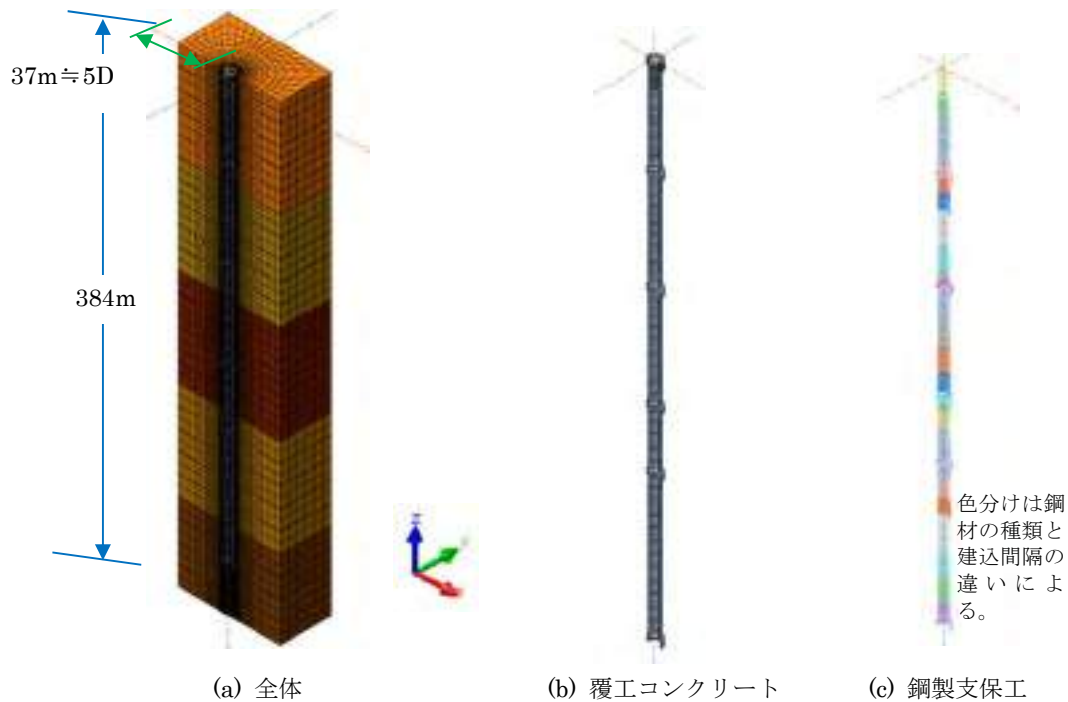
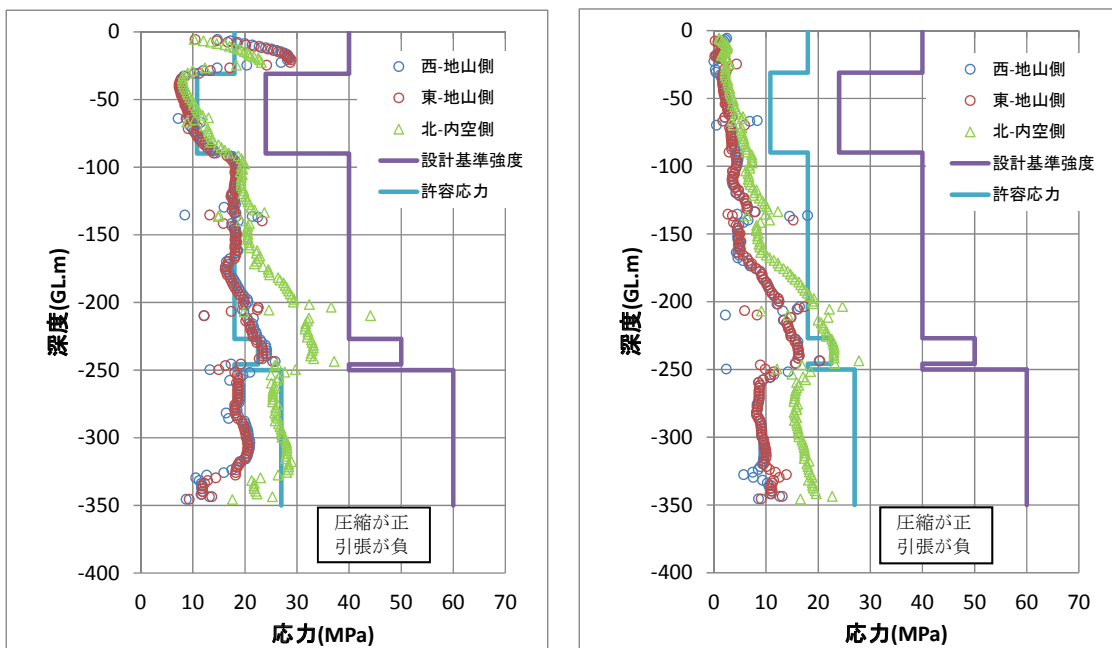


図 3.1.2-5 耐震性評価における解析モデル



(a) 最大主応力分布 (b) 周方向応力分布

図 3.1.2-6 覆工コンクリート最大圧縮応力深度分布（地震発生時）

3.1.3 地下施設の通気挙動評価技術

比較的短時間で地下施設の通気挙動を把握することは、火災等の緊急時において、入坑者を迅速・安全に坑外へ避難させるための防災対策の立案，検討のために必要不可欠である。立坑など落差の大きな坑道における火災ガスは火災により発生する浮力効果と絞り効果によって複雑な挙

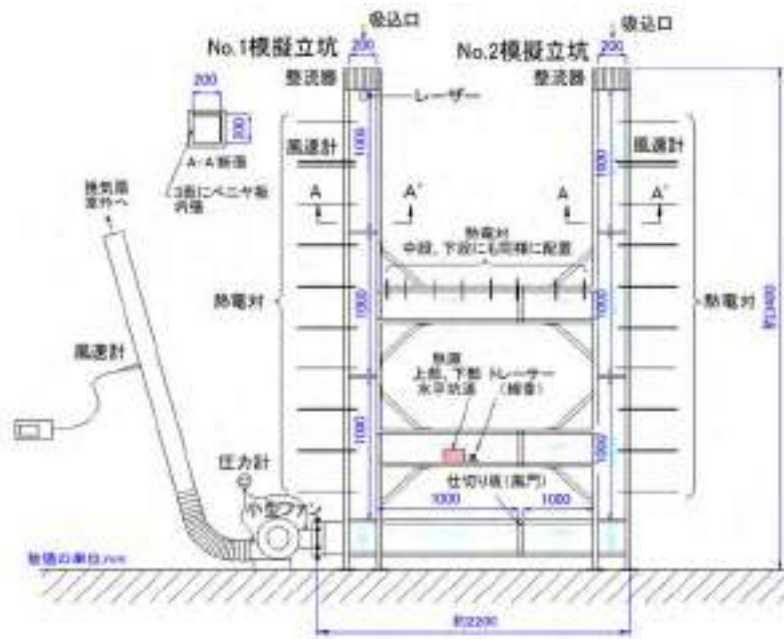
動を示し、その予測が難しいことが分かっている。このため、模型実験を通じて火災ガスの挙動を把握し、一次元通気網解析プログラムおよび流体解析プログラムを統合し、上記の通気挙動をシミュレートが可能な通気挙動解析システムの構築を目的とした検討や解析を実施した(6,7,8,9,10)。地下施設のような複数の立坑と水平坑道で構成される地下施設での火災時の火災ガスの流れや火災ガス流動範囲の経時変化を数分程度の比較的短時間で計算できることを目標に設定し、火災などのさまざまなケースを想定した通気挙動について検討するとともに、解析の高度化を目的とした原位置での解析条件（パラメータ）の設定について検討した。以下に、開発の順に沿って成果を示す。

坑内火災時の通気挙動を把握するため、2本の模擬立坑と3本の模擬水平坑道の配置に対して室内試験を行った。図3.1.3-1に室内試験に使用した装置を示す。坑内火災を模擬した空気の流れを調べた結果、各水平坑道部において熱源を設け、風門制御を行わない場合の試験では、通気の逆転現象がすべての試験ケースで確認された（図3.1.3-2）。これは、火災時の風門制御の重要性を示していると考えられた。

上記の坑内火災を模擬した実験結果を踏まえて、火災時の通気網解析手法を検討した。具体的には、短時間に火災時の通気挙動を予測できる解析手法を構築し、模型実験と同様の条件でシミュレーションを行い、検証・評価した。その結果、模型実験で確認された逆流現象や主流逆転現象が再現された。図3.1.3-3に解析シミュレーション結果の一例を示す。

覆工の熱伝達の効果を考慮した計算機能を開発し、模型実験と同様の条件でシミュレーションを行い、検証・評価した。図3.1.3-4に模型実験の模式図を、図3.1.3-5および図3.1.3-6に立坑2本・水平坑道2本モデルにおいて、水平坑道に火災源を設けた場合の実験結果と解析結果の一例を示す。模型実験で確認された坑道内の温度変化がシミュレーションによって再現された。

それまでに構築した火災時の通気解析システムに対して、解析条件（坑道のレイアウト、火源など）を容易に変更できるようにし、比較的短時間で解析計算が終了するようなシステムに改良した。改良した解析システムを用いて、地下施設を想定した坑道レイアウトで、これまでの模型実験と同様の条件での通気解析を行った。その結果、通常時の坑道の通気状態や、坑道接続部での火災時の通気挙動など、これまでの通気解析の結果が再現できることを確認した（図3.1.3-7）。



(a) 試験装置の概要

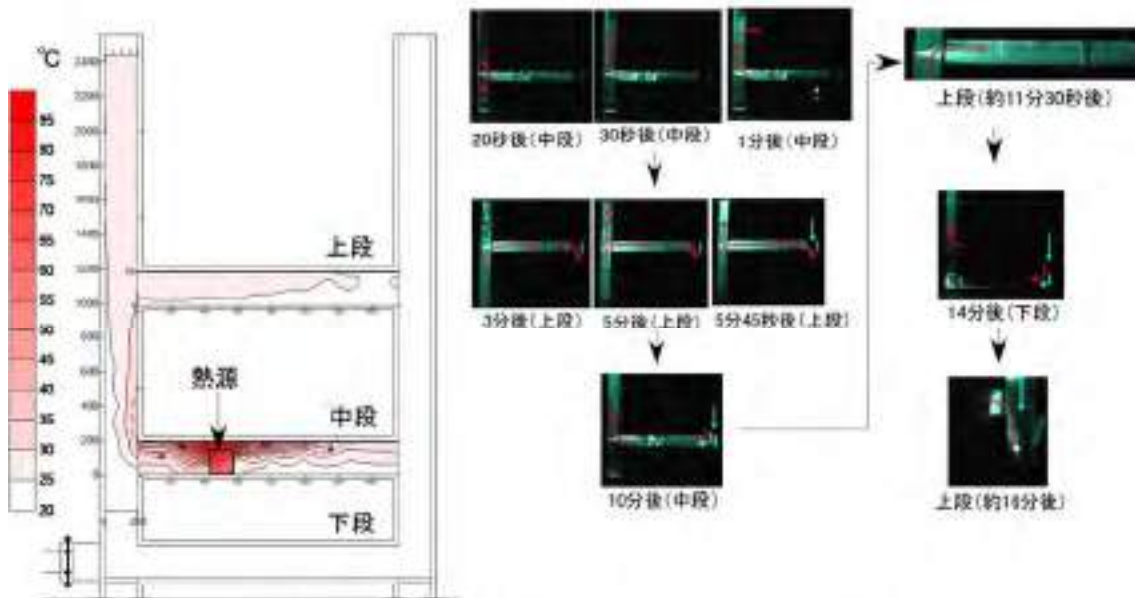
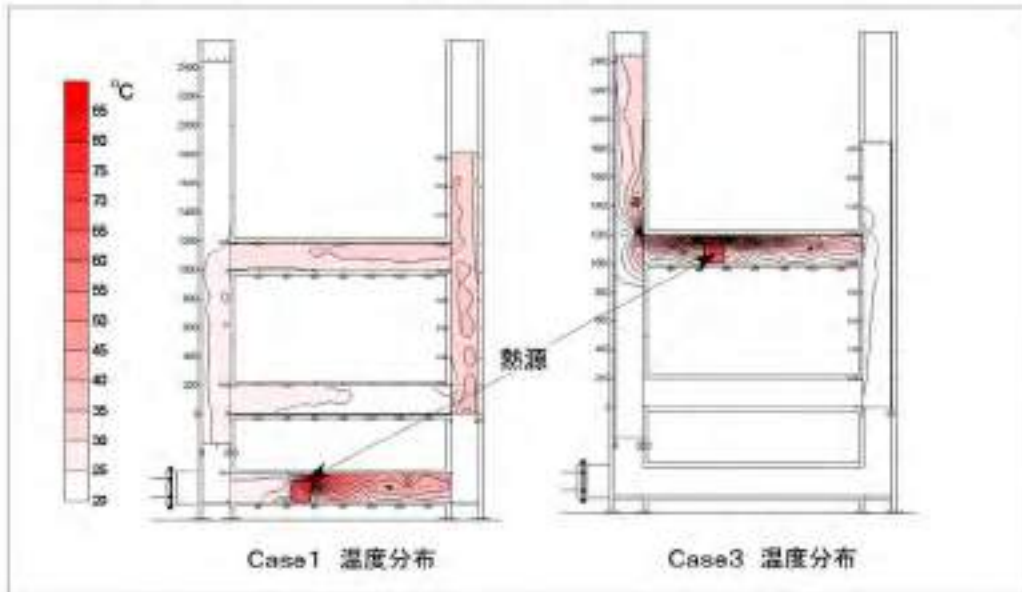


(b) 試験装置の概観

図 3.1.3-1 坑内火災を模擬した通気試験装置

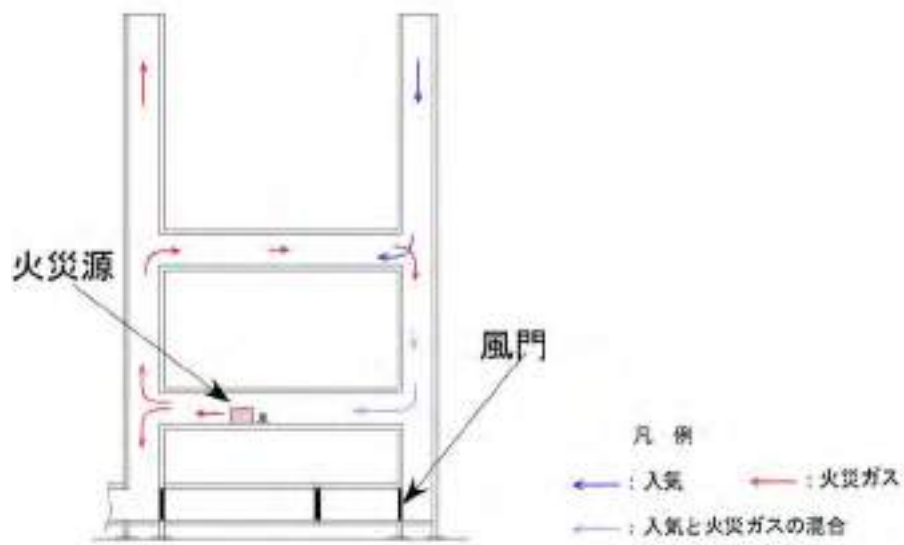
実験パターン	初期風速 m/s	火源位置	風門の開閉状況			測定・記録			備 考
			上段 坑道	中段 坑道	下段 坑道	映像	温度		
							上昇	分布	
② 風門閉鎖しない時の通気実験	0.15	下段水平坑道 中央	開	開	開	○	○	○	立坑壁面 3面ベニヤ張り
Case1	(56Hz)								
Case2	0.15	中段水平坑道 中央	開	開	開	○	○	○	立坑壁面 3面ベニヤ張り
	(56Hz)								
Case3	0.15	上段水平坑道 中央	開	開	開	○	○	○	立坑壁面 3面ベニヤ張り
	(56Hz)								

注：○は実施実験、測定項目。映像と温度上昇は同時記録。風速は必要に応じて測定。
初期風速欄の()内Hz数はファン周波数。オリフィスはφ10mm×5孔。

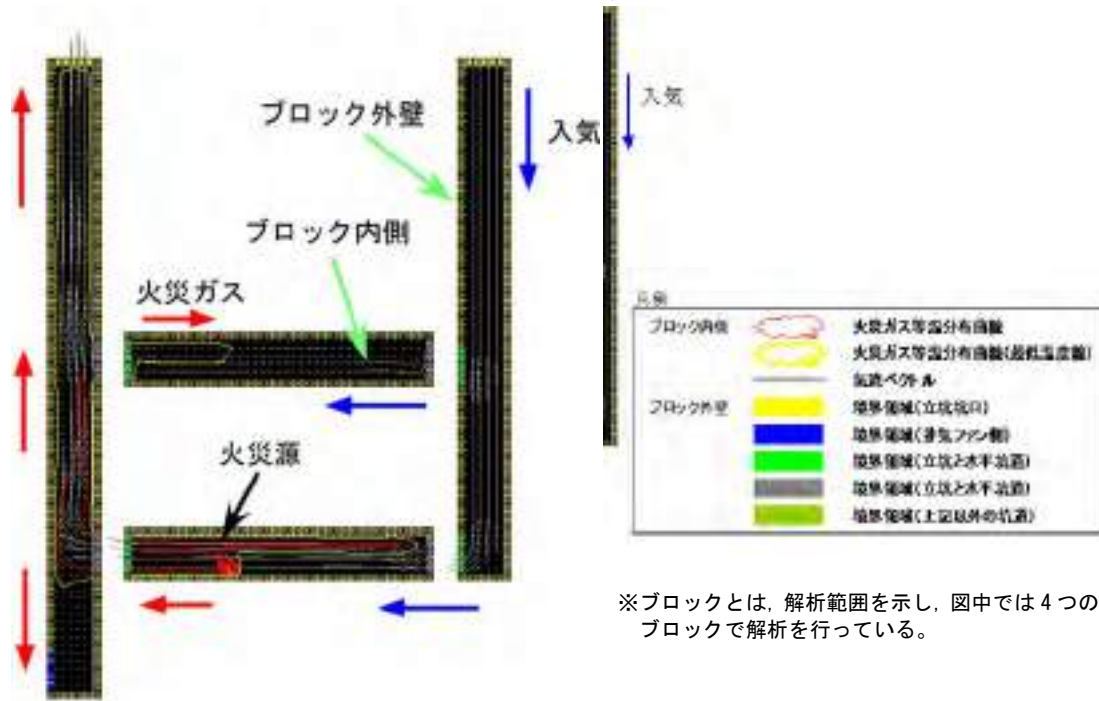


Case2 (左図:温度分布図、右写真:可視化した空気の流れ)

図 3.1.3-2 坑内火災を模擬した通気試験の結果



(a) 実験結果



※ブロックとは、解析範囲を示し、図中では4つのブロックで解析を行っている。

(b) 解析結果

図 3.1.3-3 坑内火災を模擬した通気挙動解析結果の一例

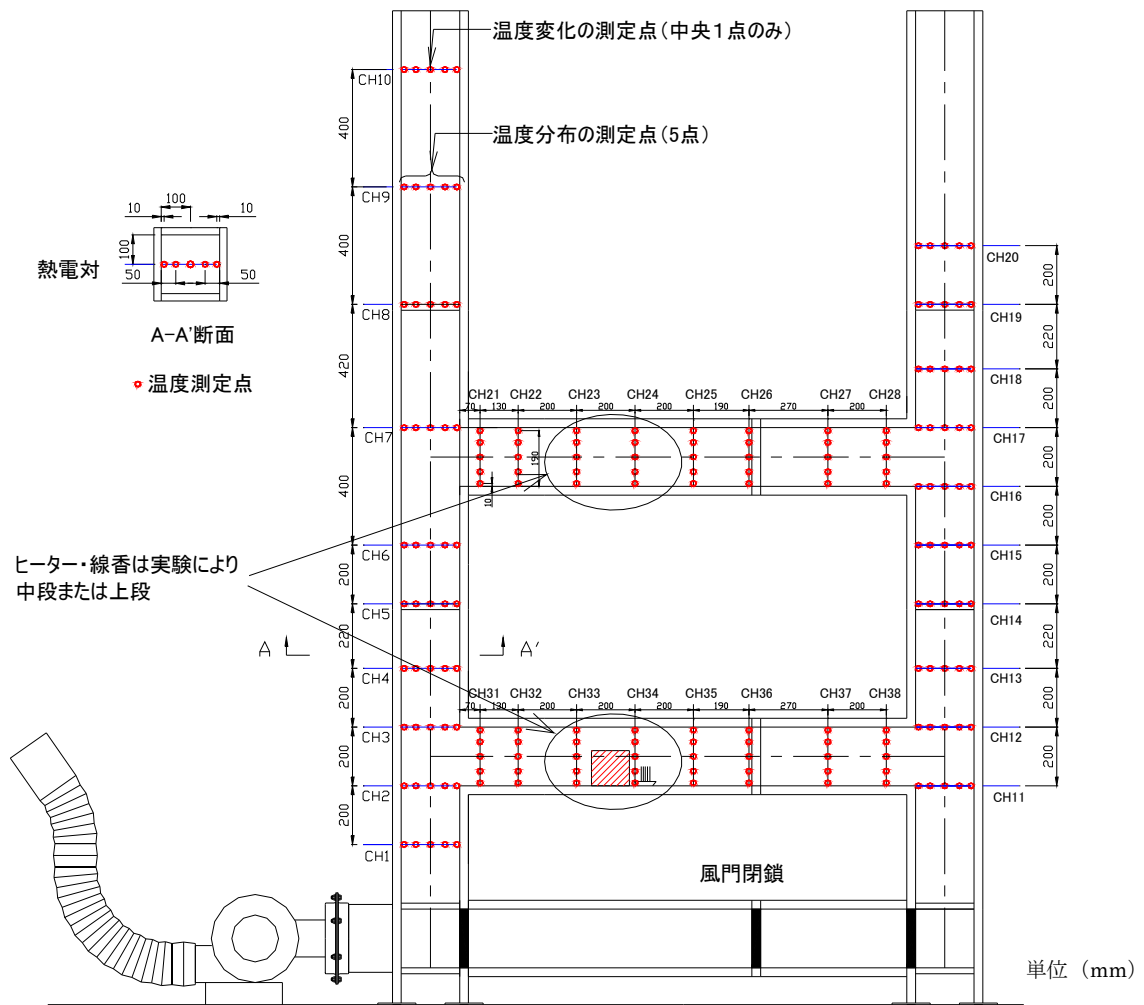
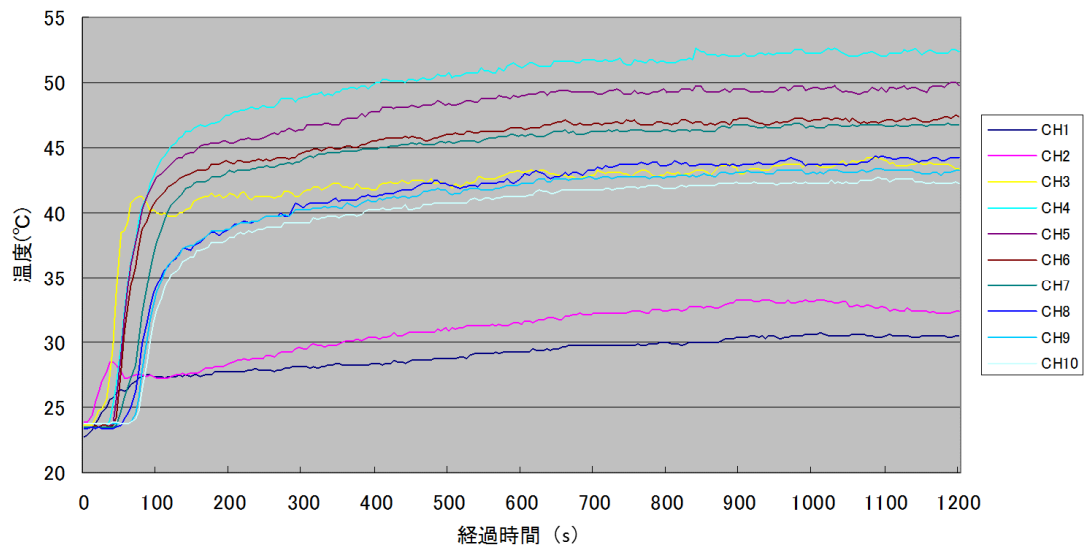
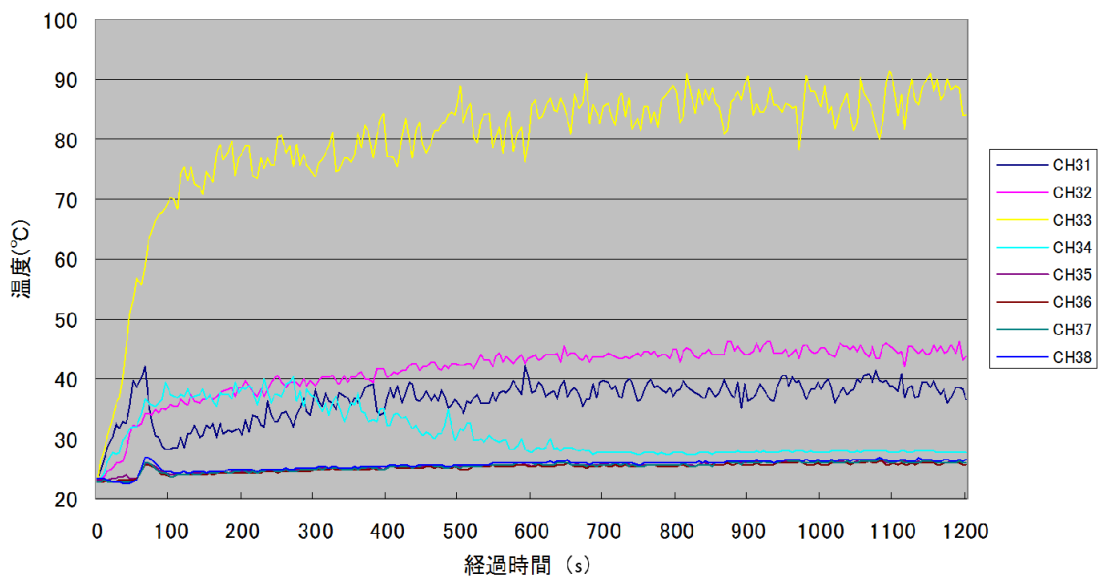


図 3.1.3-4 模型実験の模式図 (温度変化の測定)



(a) 左側立坑



(b) 中段水平坑道

図 3.1.3-5 模型実験による温度変化測定結果の一例

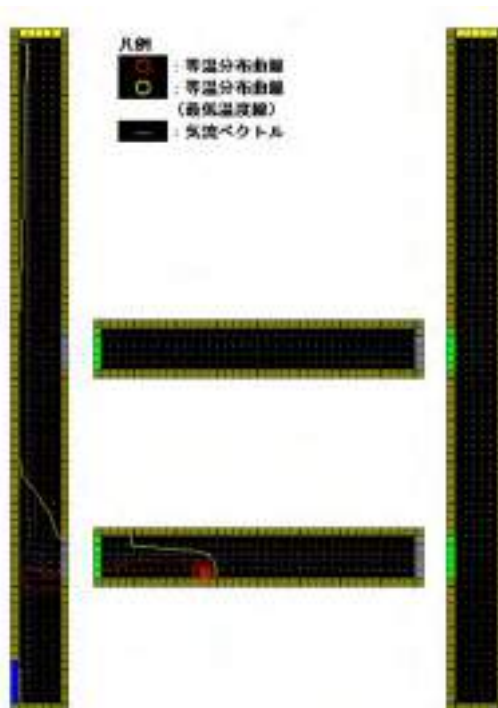
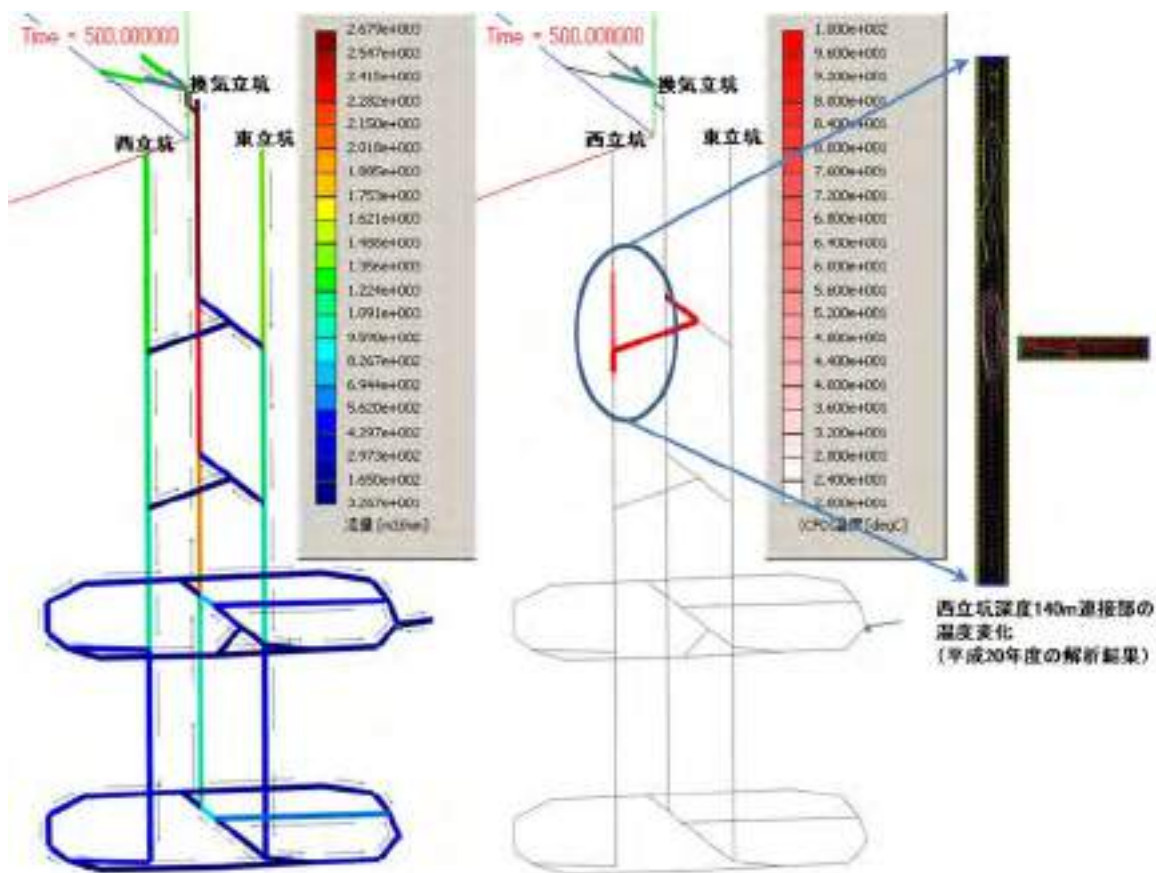


図 3.1.3-6 温度変化解析結果（立坑 2 本・水平坑道 2 本モデル，火災発生から 200 秒後）



(a) 坑道の通気方向および通気流量解析結果

(b) 坑道の温度変化解析結果

図 3.1.3-7 西立坑深度 140m 接続部火災モデルでの通気解析結果（火災発生 500 秒後）

3.2 掘削技術

岩盤に坑道を掘削した際の岩盤壁面には、応力再配分の影響により割れ目が発達、連結することにより岩盤壁面が崩落する。この崩落は、坑道を掘削した際に、既存の割れ目や掘削によって新たに生じた割れ目が連結することによって生じる。このような坑道壁面の崩落を抑制することは、掘削のための安全な作業環境の確保、坑道掘削の余掘り量の低減やコソク作業時間の低減による掘削のサイクルタイムの短縮につながる。また、地層処分の観点からは、坑道周辺の掘削影響領域の範囲を制限し、岩盤の持つ物質の移動を遅延する能力を維持することにつながる。坑道の岩盤壁面の崩落の発生を抑えるための支保構造を検討するために、深度 250m 以深の坑道の掘削では、坑道掘削後の岩盤壁面の凹凸の状態とその原因を調査した。これまでは、岩盤壁面のスケッチを基にその形状を分析していたが、三次元レーザースキャナを導入して崩落量の定量的な調査を実施した（図 3.2-1）。計測の一例として、換気立坑の深度 250.5m～300m における岩盤壁面のスケッチおよび三次元レーザースキャナによる壁面崩落深度の計測結果¹⁰⁾を図 3.2-2に示す。図に示すように、南北方向にて、岩盤の抜け落ちが多く発生した。南北方向は、水平面内最小主応力方向と概ね一致し、岩盤が破壊しやすい条件であるため、崩落が多く発生したと考えられる。また、図 3.2-3 に崩落深度と立坑掘削深度の関係を表すグラフを示す¹²⁾ が、抜け落ちの程度は、断層などの割れ目が分布する深度 284～292m で大きくなる傾向にあることが分かった。

崩落が大きかった深度に該当する、換気立坑の深度282mから284mに構築した覆工コンクリートの北東側に円周方向約4m、最大幅約1mmのクラックが生じたため、その原因を分析した。対象としたクラックの状況を図3.2-4に示す。クラックが発生した時点で、クラックから湧水の染み出しが認められたため、クラックは岩盤側から内空側へ貫通していることが推察された。また、クラックは、深度286～287mまでの掘削を終了し、鋼製型枠を取り外した際に認められた。したがって、クラックは、深度282～284mに覆工コンクリートを構築してから、深度287mまでを掘削している間に生じたと考えられる。さらに、図に示すとおり、クラックは深度284～287mの北東側で生じた立坑壁面の崩落の直上に発生した。なお、当該クラックは、深度287m以深の掘削を開始する前に、セメントミルクを充填し、補修した。クラックの発生箇所が立坑壁面の崩落箇所の直上であることから、岩盤が崩落したことによって周辺の岩盤の応力状態が変化したため、その近傍の覆工コンクリートに新たな応力が生じたと推察された。そこで、岩盤の崩落を模擬した数値解析を実施して、崩落箇所直上に構築した覆工コンクリート内の応力分布の変化を分析した。結果を図3.2-5に示す。図は、掘削が深度287mに到達した時点（崩落0cm）および崩落が50cm, 100cm, 150cmと進展したそれぞれの時点での、崩落の直上に構築された覆工コンクリート内に作用する鉛直方向応力の分布を示している。図より、深度287mまで掘削した時点で、覆工コンクリートの内空側には圧縮応力が生じたのに対して、岩盤側にはわずかな引張応力が発生した（同図(a)）。続いて、崩落が50cmから150cmまで進展するにしたがって、覆工コンクリートの岩盤側の下半分の部分に、引張応力が大きく生じた（同図(b)～(d)）。崩落が150cmまで進展した時点の結果では、覆工コンクリートの約75%の範囲で鉛直方向に引張応力が発生した（同図(d)）。この結果によって、換気立坑の深度282～284mの覆工コンクリートに生じた水平クラックの主な原因は、その直下の岩盤崩落によって、岩盤内の応力が変化したためという予測が裏付けられた¹³⁾。深度284mまでは、覆工の打設長を2mで掘削していたが、深度287～298mの区間では、断層の影響による覆工コンクリートのクラック発生回避と、崩落を抑制することを目的として、プレグラウト工による湧水対策施工箇所の損傷を避けるために、ロックボルトの施工は行わず、覆工の打設間隔を1mに変更して掘削を行った。覆工打設長を短くすることにより、覆工コンクリートの打設までの時間を短くできるため、岩盤の掘削影響領域の広がりを抑制する効果を期待した。結果として、図3.2-3に示すように、深度290m付近までは崩落深度は大きかったものの、それ以深では崩落深度を0.4m程

度まで押さえることができた。また、覆工打設長が2mの場合、支保が健全であるときの崩落深度は0.8m程度までであり、1.1mを超えると水平クラックが発生することが想定される¹²⁾。

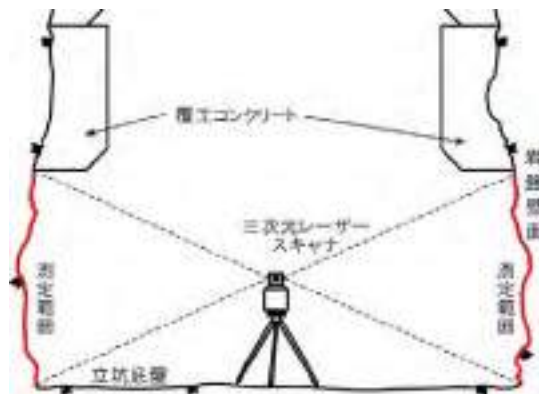
次に、崩落箇所におけるロックボルト増設の効果について検討を行った。対象としたのは、ブレグラウト工の施工対象外となる、換気立坑の324~344mの区間である。なお、当該区間の覆工打設長は2mである。最大の崩落深度を0.8m以内に抑制することを目的として、ロックボルトの増設の実施基準を事前に0.5mと設定した。その結果、崩落深度は0.6m程度となり、岩盤の崩落を抑制することができた。

以上の検討結果から、岩盤の崩落深度に関して0.5mと0.8mという閾値を設けて、ブレグラウト工施工範囲内外における崩落の深度に応じて、ロックボルトの増設や覆工打設長の変更といった対策を講じるためのフロー図を、図3.2-6のように構築した¹⁴⁾。これらの分析結果は、以降の東立坑および西立坑の掘削時において、立坑壁面の崩落を抑制するための追加のロックボルト工や覆工コンクリートの構築高さの変更を判断する根拠とした。

図3.2-2に示す換気立坑の深度270m付近に出現した断層は、周辺岩盤に比べて強度が低いことから、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ことがわかった。この断層は西立坑の深度320m付近に出現が予想されたため（図3.2-7）、断層が立坑の安定性に及ぼす影響を分析することにより、掘削前に対策を講じた。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、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を検討した。

解析に用いたモデルとメッシュを図3.2-8に、解析の結果を図3.2-9と図3.2-10に示す。同図は、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工コンクリートの周方向応力と水平変位を示している。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倍の増加率となった。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った。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る。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る。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る。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る。

対策工として、図3.2-9および図3.2-10の解析結果を考慮し、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打設長を2mから1mへ変更することとした。また、変更区間は解析結果から判断して深度320mを境に上下各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た¹⁵⁾。

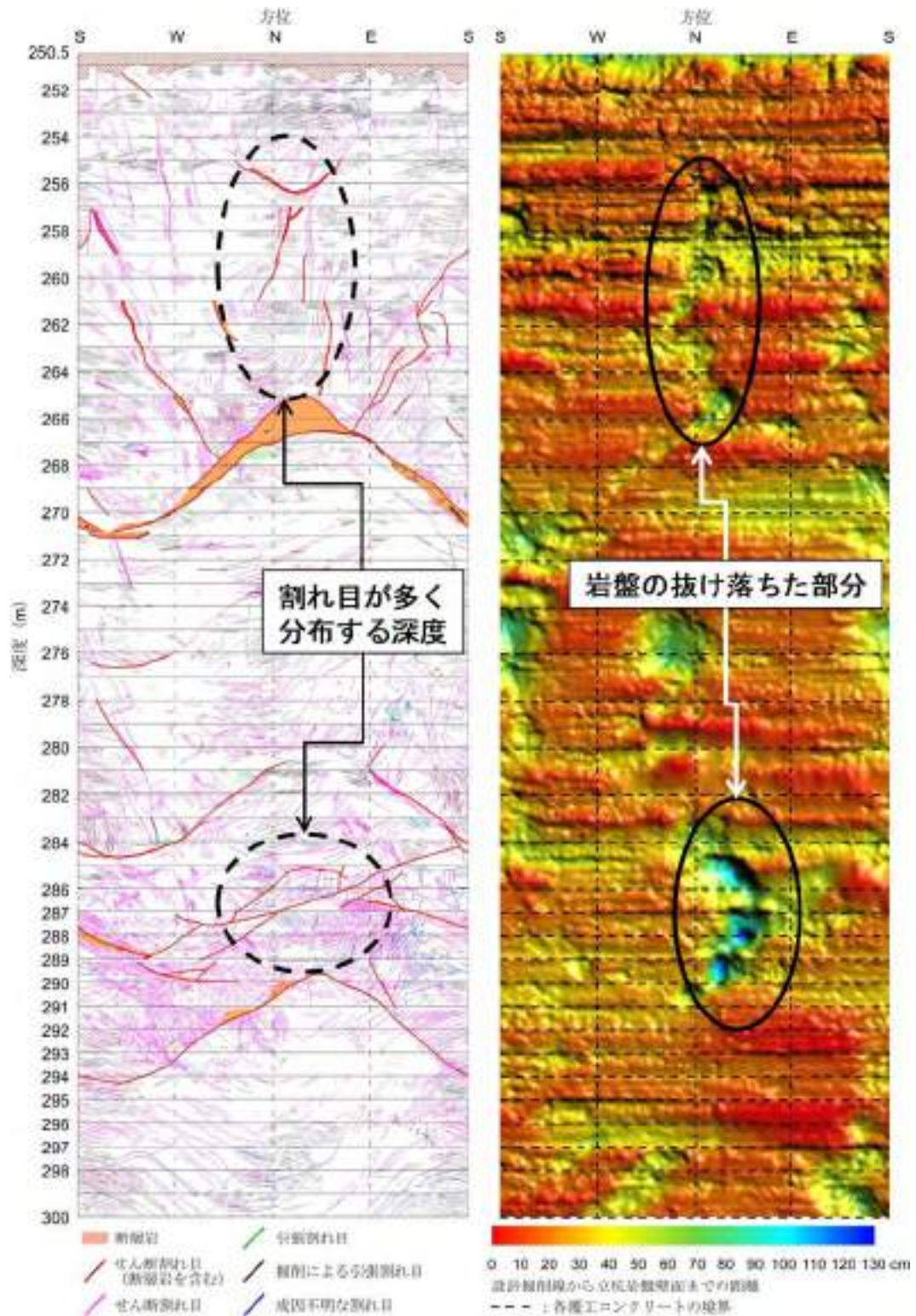


(a) 概念図



(b) 計測状況

図 3.2-1 三次元レーザー スキャナによる岩盤壁面の形状計測



(a) 立坑壁面の割れ目分布

(b) 壁面の凹凸状況

図 3.2-2 立坑壁面の割れ目分布と凹凸状況 (換気立坑深度 250.5~300m)

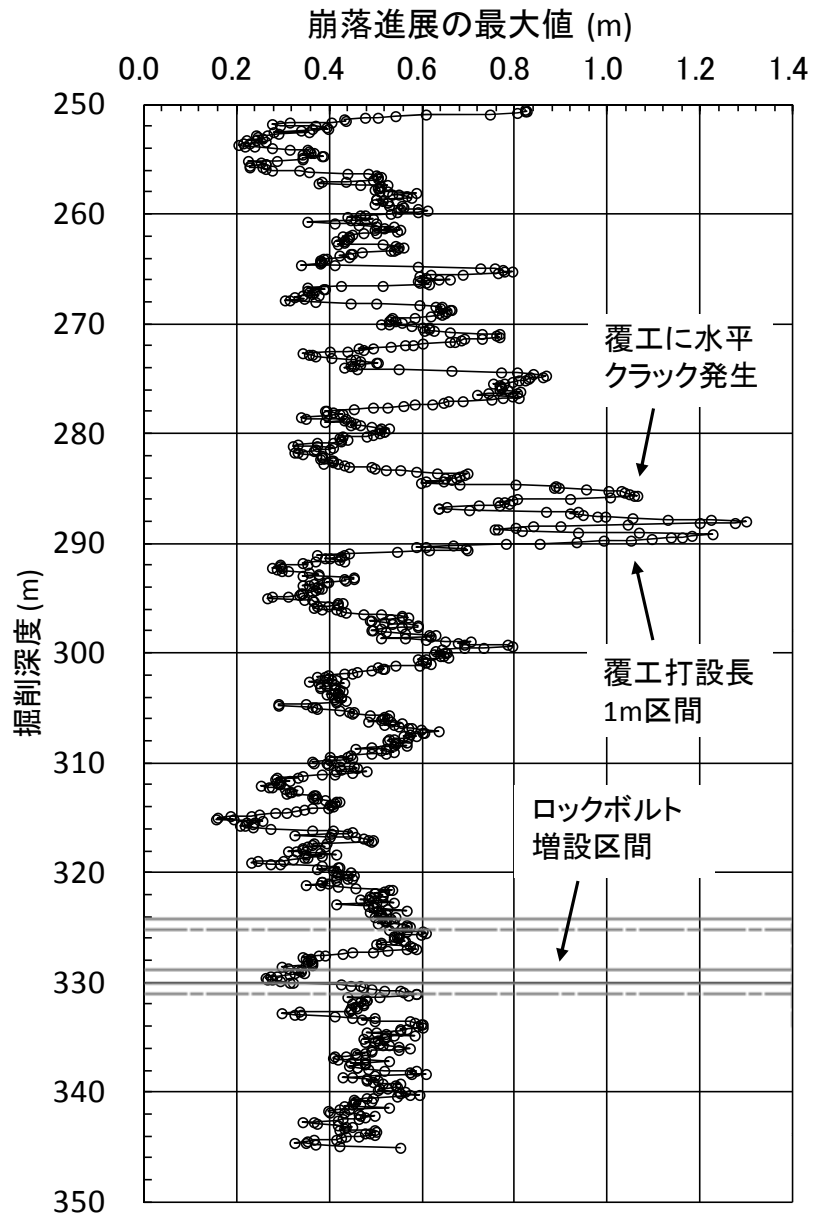


図 3.2-3 崩落深度と掘削深度の関係

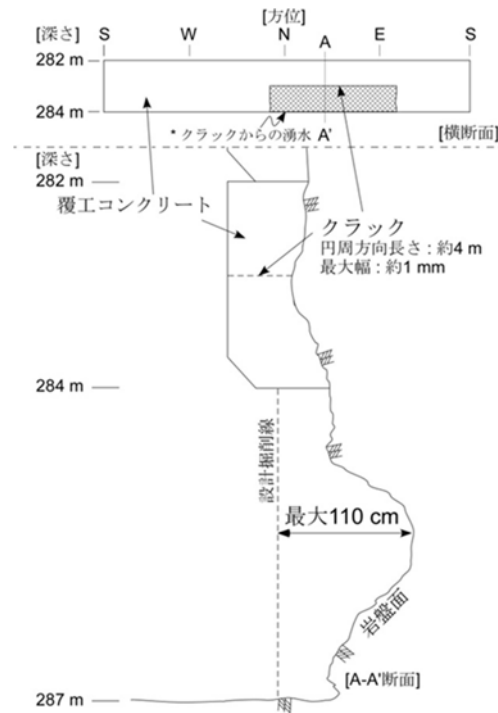


図 3.2-4 換気立坑の覆工コンクリートのクラックと壁面の崩落状況

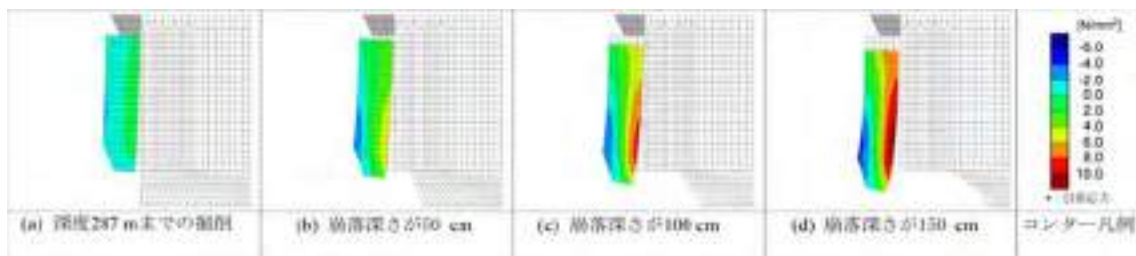


図 3.2-5 覆工コンクリート内の鉛直応力分布の解析結果

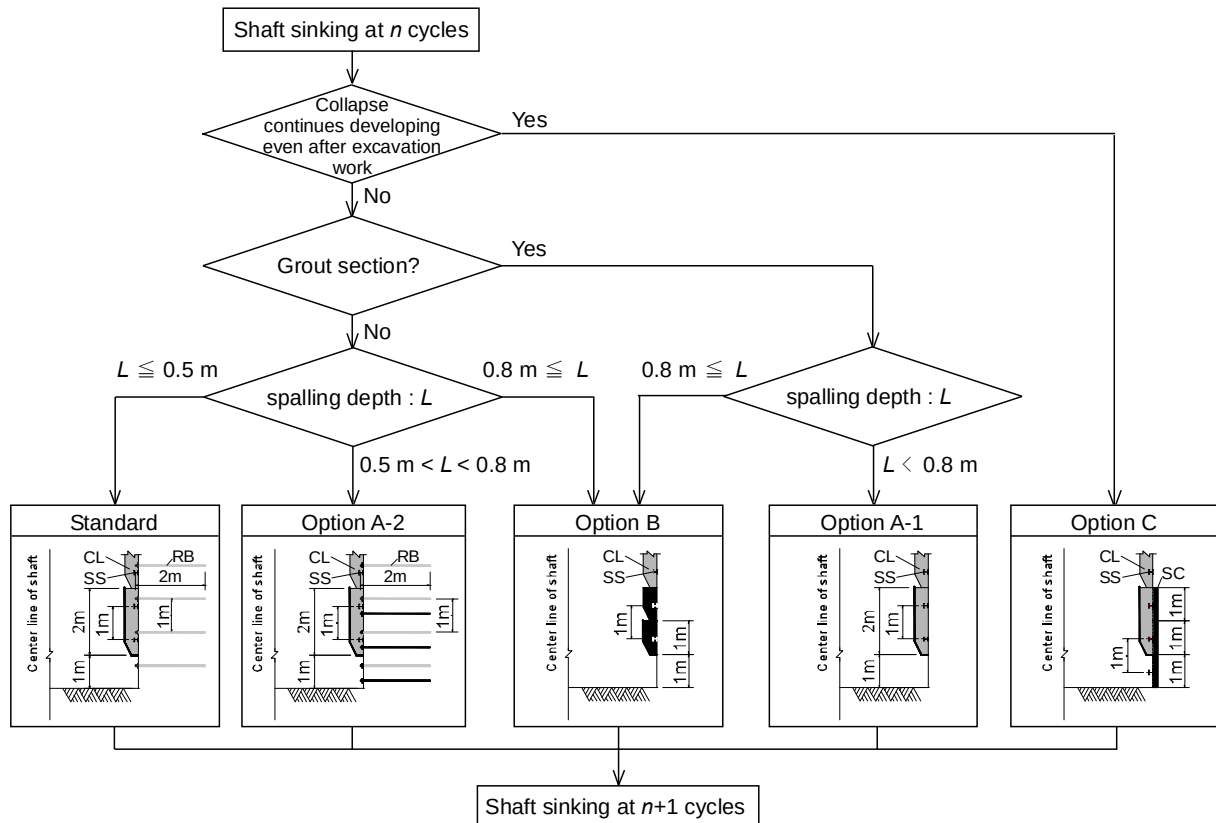


図 3.2-6 崩落範囲を反映した支保選定フロー

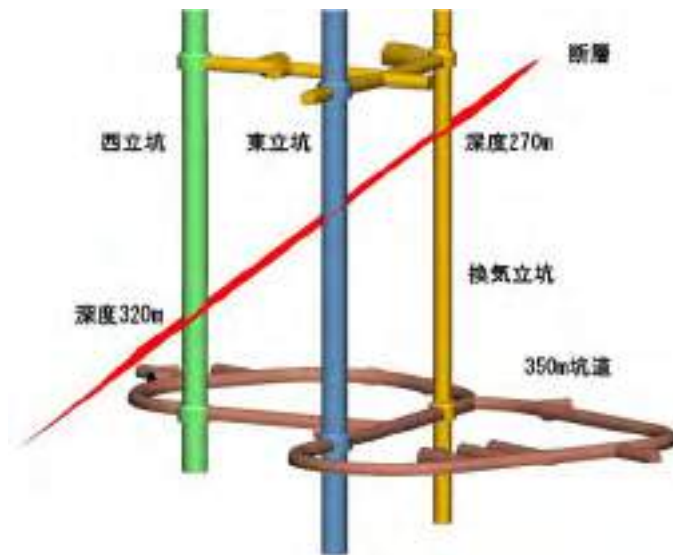


図 3.2-7 断層出現位置

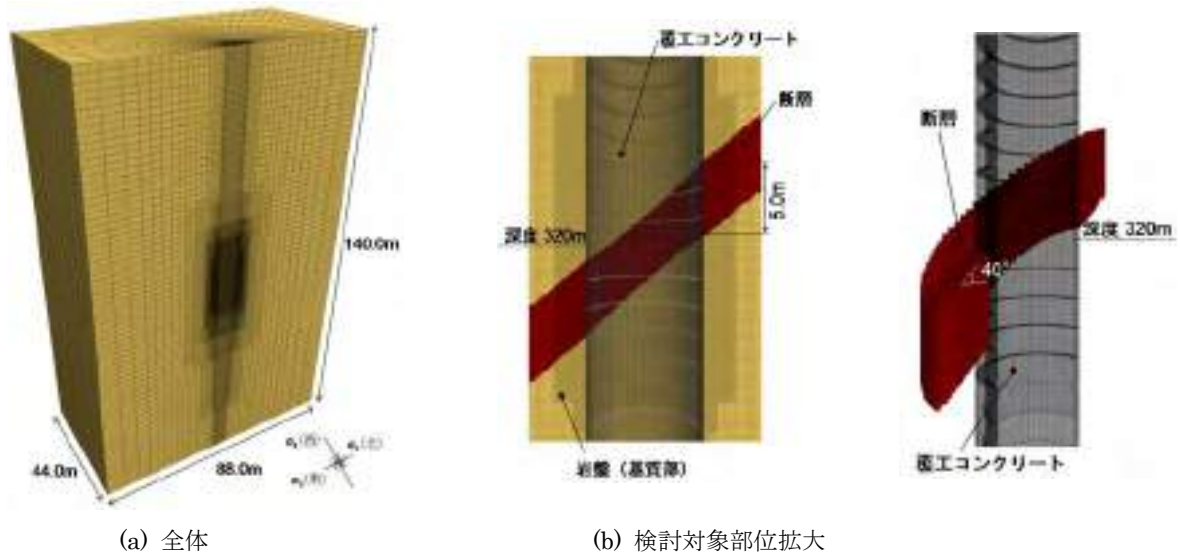


図 3.2-8 西立坑深度 320m を対象とした三次元解析メッシュ

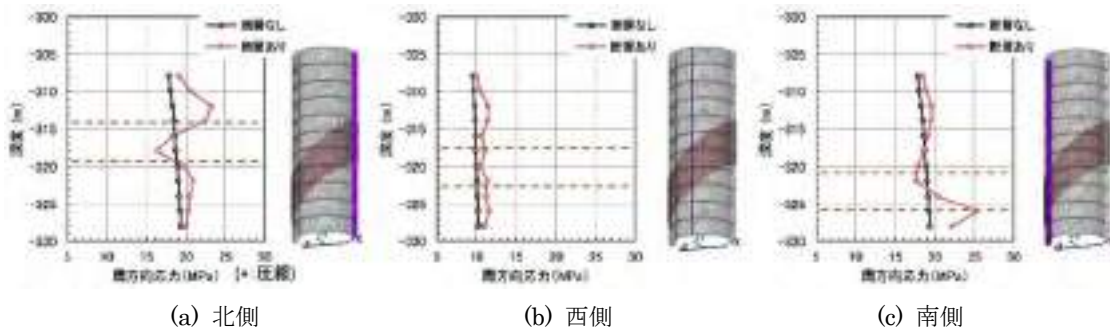


図 3.2-9 覆工コンクリート周方向応力の縦断方向の比較

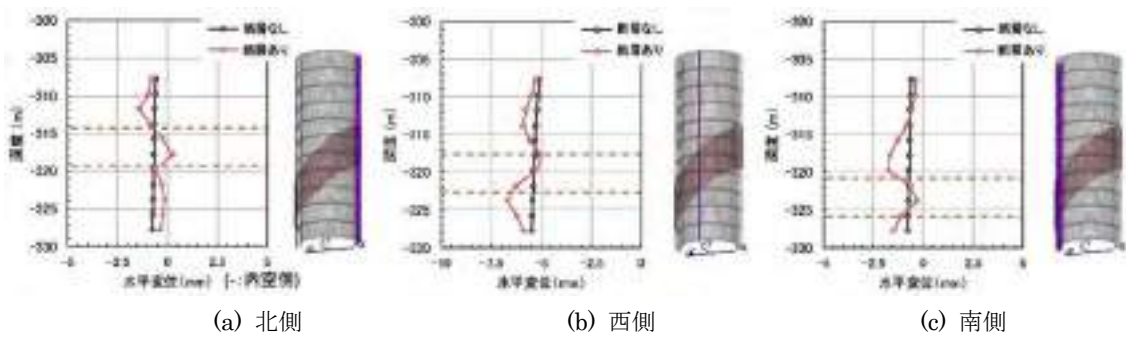


図 3.2-10 覆工コンクリート水平変位の縦断方向の比較

3.3 施工対策技術

3.3.1 湧水抑制対策

地上からのボーリング調査により、深度 250m 以深に高透水性を有する割れ目がいくつか分布することが確認された。深度 250m 以深の坑道の掘削に伴う湧水量を適切に抑制するために、ボーリング調査にて観察された割れ目が分布する領域を対象に、深度 250m 以深の立坑の施工前に、立坑の底盤および深度 250m 調査坑道から、湧水抑制対策工（以下、プレグラウト工という）を実施することとした。立坑のプレグラウト工では、岩盤の改良目標値を 0.1Lu 以下に設定し、その立坑周辺の設計改良範囲を換気立坑では約 3m、東および西立坑では約 4m とした。また、グラウト材料として、超微粒子セメントを基本とした。立坑部分を含む深度 250m から施工するプレグラウト工の概念を図 3.3.1-1 に、一例として深度 250m 東連絡坑道における施工結果を図 3.3.1-2 に示す。

施工の結果、溶存ガス環境下において、ボーリングに伴う溶存ガスなどの噴発や掘削ビットの締付などに遭遇しながらも、岩盤の透水性を改良できることを確認した。また、立坑の壁面観察において、グラウト材料が認められた割れ目を分析し、グラウト材が主要な割れ目本体よりもそれから派生（スプレー）した割れ目に多く注入されていることを明らかにし、透水性の高い割れ目の産状に関する概念モデル¹⁶⁾を構築した（図 3.3.1-3）。断層部へのグラウト浸透状況を把握することができたため、効率的なグラウト注入量、注入孔配置といった計画の立案に使用できる成果であると思われる。

プレグラウト工を実施した範囲における立坑の掘削において、ボーリング調査にて得られた割れ目分布とプレグラウト工によるグラウト材料の単位注入量の関係を分析し、立坑の崩落リスクが高い施工区間を抽出した（図 3.3.1-4）。その結果に基づいて、図 3.2-6 に示した支保選定フローに則って当該区間の設計支保構造を再検討することにより、立坑掘削においては壁面の崩落を適切に抑制することができた¹¹⁾。

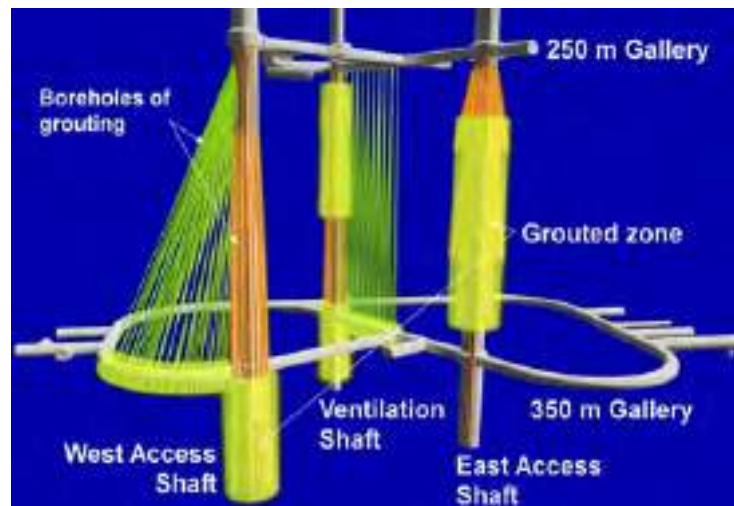
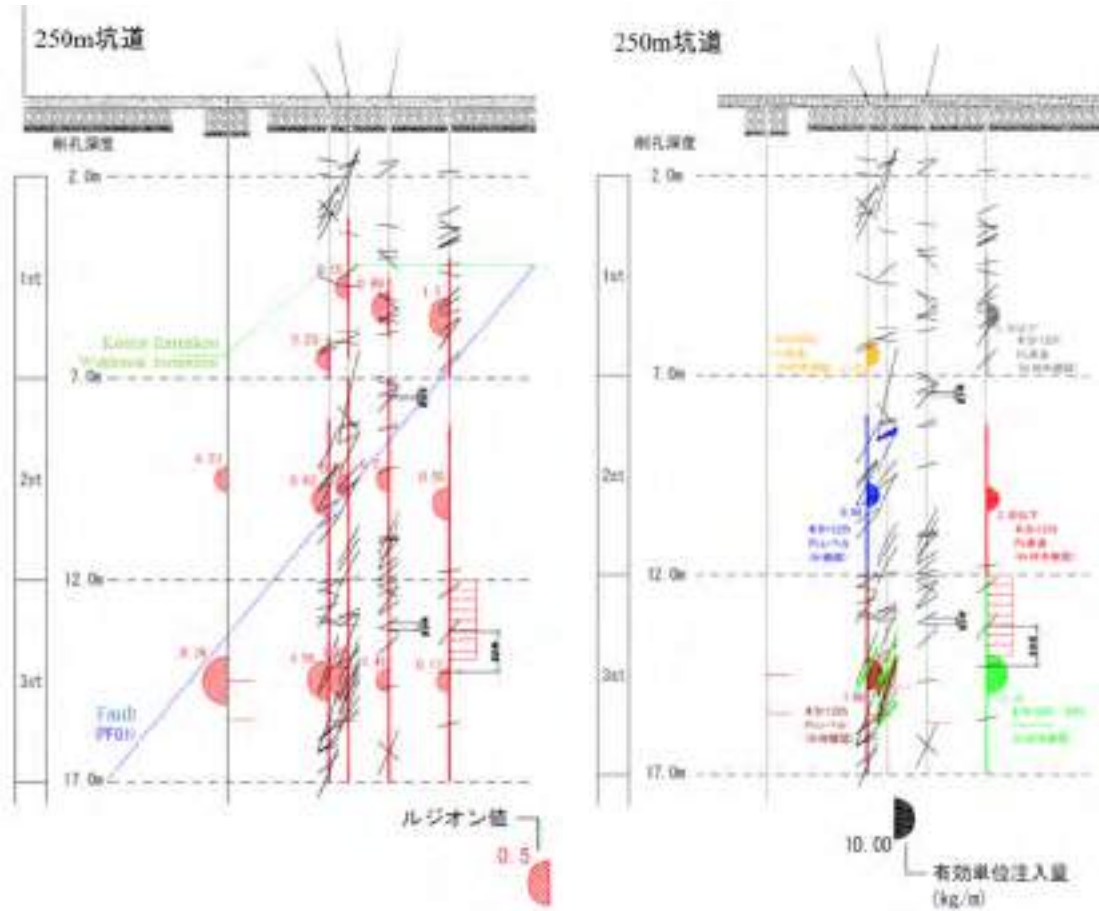


図 3.3.1-1 深度 250m から施工するプレグラウト工の概念



(a) セメント注入量の分布

(b) ルジオン値の分布

図 3.3.1-2 深度 250m から施工したプレグラウト工の結果（注入量とルジオン値）

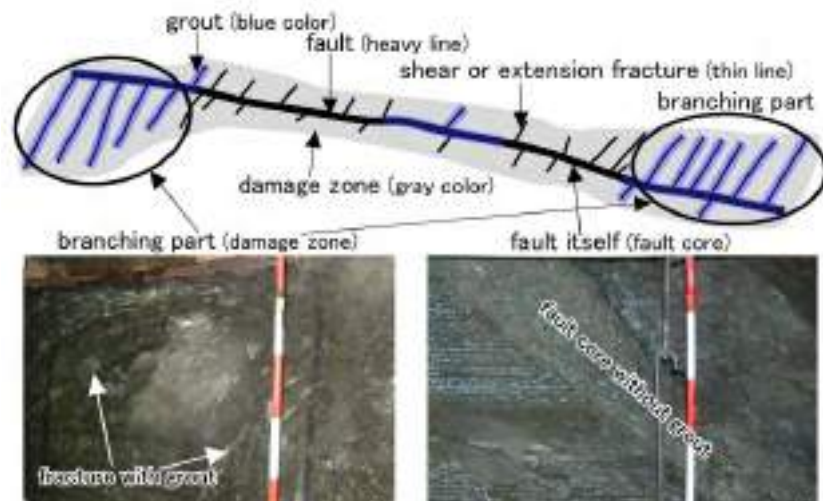


図 3.3.1-3 立坑壁面における割れ目とグラウト材の充填に関する概念図¹⁶⁾

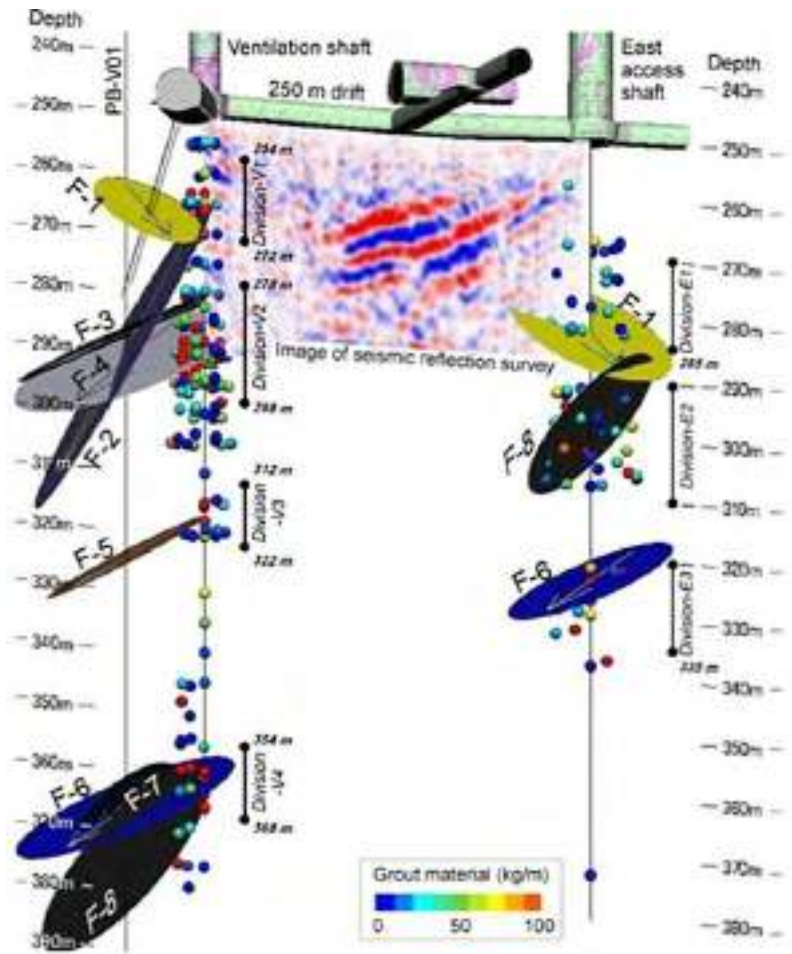


図 3.3.1-4 予測した断層とプレグラウト工による単位注入量

3.3.2 地山崩落対策

3.2掘削技術において記述したように、立坑壁面の崩落状況について、三次元レーザースキャナによる岩盤壁面の形状計測で定量的に把握するとともに、ショートステップ工法の特徴を考慮した三次元逐次掘削解析により覆工に作用する応力を算出し、崩落のメカニズムを推定した。このように、計測と解析による地山崩落のメカニズムを明らかにすることにより、立坑壁面の崩落を抑制するための追加のロックボルト工や覆工コンクリートの構築高さの変更によって対策をとりつつ立坑掘削を進めた。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構：“幌延深地層研究計画 地下施設実施設計—設計報告書—”，JNC TJ5410 2005-002, 4879p. (2005)。
- 2) 津坂仁和，稲垣大介，小池真史，井尻裕二，羽出山吉裕：“幌延深地層研究所における立坑掘削に伴う周辺岩盤および支保の挙動分析（その2）”，第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.7-12 (2011)。
- 3) 小林良二，杉本文男：“弱面を含む岩石のせん断特性（第1報）”，応用地質，第24巻，pp.24-

- 33 (1983) .
- 4) Tsusaka, K., Inagaki, D., Niunoya, S. and Jo, M. : “An investigation on mechanical properties of in-situ rock mass at the Horonobe Underground Research Laboratory”, Proceedings of 2014 ISRM International Symposium - 8th Asia Rock Mechanics Symposium, pp.591-599 (2014).
 - 5) 丹生屋純夫, 青柳和平, 藤田朝雄, 白瀬光泰 : “幌延深地層研究センターにおける原位置岩盤の強度・変形物性の検討”, 第44回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.336-341 (2016).
 - 6) 水野正勝, 柿崎 厚, 坂井哲郎, 奥園昭彦, 鹿島 栄 : “火災時の通気挙動の検証 (1)”, 日本原子力研究開発機構 委託研究報告書 (2006).
 - 7) 水野正勝, 坂井哲郎, 奥園昭彦, 鹿島 栄, 柿田 毅, 柏瀬陽一 : “火災時の通気挙動の検証 (2)”, 日本原子力研究開発機構 委託研究報告書 (2007).
 - 8) 奥園昭彦, 水野正勝, 鹿島 栄, 坂井哲郎, 井上雅弘 : “火災時の通気挙動の検証 (3)”, 日本原子力研究開発機構 委託研究報告書 (2008).
 - 9) 遠藤太嘉志, 河原裕徳, 成田 穰, 佐ノ木 哲, 林 邦彦, 井上雅弘 : “火災時の通気挙動の検証 (4)”, 日本原子力研究開発機構 委託研究報告書 (2009).
 - 10) 遠藤太嘉志, 成田 穰, 河原裕徳, 佐ノ木 哲, 林 邦彦, 富永英治, 井上雅弘 : “火災時の通気挙動の検証 (5)”, 日本原子力研究開発機構 委託研究報告書 (2010).
 - 11) Tsusaka, K., Inagaki, D., Tokiwa, T., Yokota, H., Nago, M., Matsubara, M. and Shigehiro, M. : “An Observational construction management in the Horonobe Underground Research Laboratory Project”, Proceedings of ITA-AITES World Tunnel Congress 2012 (WTC 2012)/38th General Assembly , A-T11-43 (2012).
 - 12) 藤田朝雄, 青柳和平, 名合牧人 : “情報化施工による大深度立坑掘削の中間評価－幌延深地層研究計画地下研究施設整備 (第II期) 事業－”, トンネルと地下, Vol.46, pp.13-21 (2015) .
 - 13) Tsusaka, K., Inagaki, D., Nago, M., Matsubara, M. and Sugawara, K. : “Influence of rock spalling on concrete lining in shaft sinking at the Horonobe Underground Research Laboratory, Japan.”, Proceedings of the 6th Japan-Korea Joint Symposium on Rock Engineering, pp.911-916 (2013).
 - 14) Tsusaka, K., Inagaki, D., Nago, M., Aoki, T. and Shigehiro, M. : “Rock spalling and countermeasures in shaft sinking at the Horonobe Underground Research Laboratory”, Proceedings of the 6th International Symposium on In-Situ Rock Stress, pp.339-346 (2013).
 - 15) Tsusaka, K., Inagaki, D., Nago, M and Ijiri, Y. : “A study of Mechanical Stability of Support Elements and Surrounding Rock Mass during Shaft Sinking through a Fault”, Proceedings of 2014 ISRM International Symposium - 8th Asia Rock Mechanics Symposium, pp.1311-1319 (2014).
 - 16) Tokiwa, T., Sawada, S., Ochiai, S. and Miyakawa, K. : “Occurrence of high-permeability fracture estimated by grouting in Horonobe URL of Japan”, Proceedings of the 6th Japan-Korea Joint Symposium on Rock Engineering, pp.1021-1025 (2013).

4. 地質環境の長期安定性に関する研究

4.1 地質環境の長期変遷に関する研究

第2段階の期間においては、幌延地域を事例として、断層運動や海水準変動などの天然現象の履歴に関する調査手法と地下水の流動などに関する調査・解析手法とを組み合わせ、将来の天然現象に伴う地質環境の変化を予測する手法の検討を行った。

4.1.1 過去から現在に至るまでの地形・地質構造の変遷に関する解析

幌延地域における断層やしゅう曲構造などの地質構造の形成史および地層の堆積や埋没史を明らかにするため、既存の海底地質図や反射法地震探査データを対象とした既存文献を用いた調査を実施した。また、研究所設置地区とその周辺地区における断層やしゅう曲構造の分布、地層の分布とその堆積時期などに関する調査結果を統合して、幌延地域における過去数百万年間の地質構造の変遷について検討した。図4.1.1-1に、それらの調査結果に基づいて作成した過去約250万年間における地質構造の変遷を示す。これらの図から、利尻島の東側から幌延町の市街地にかけて、第四紀の地層が厚く堆積している場所（堆積盆）の存在が分かる。また、その堆積盆が時間とともに徐々に深くなってきたことや、断層やしゅう曲構造が東から西に向かって形成されてきたことなどが分かる。

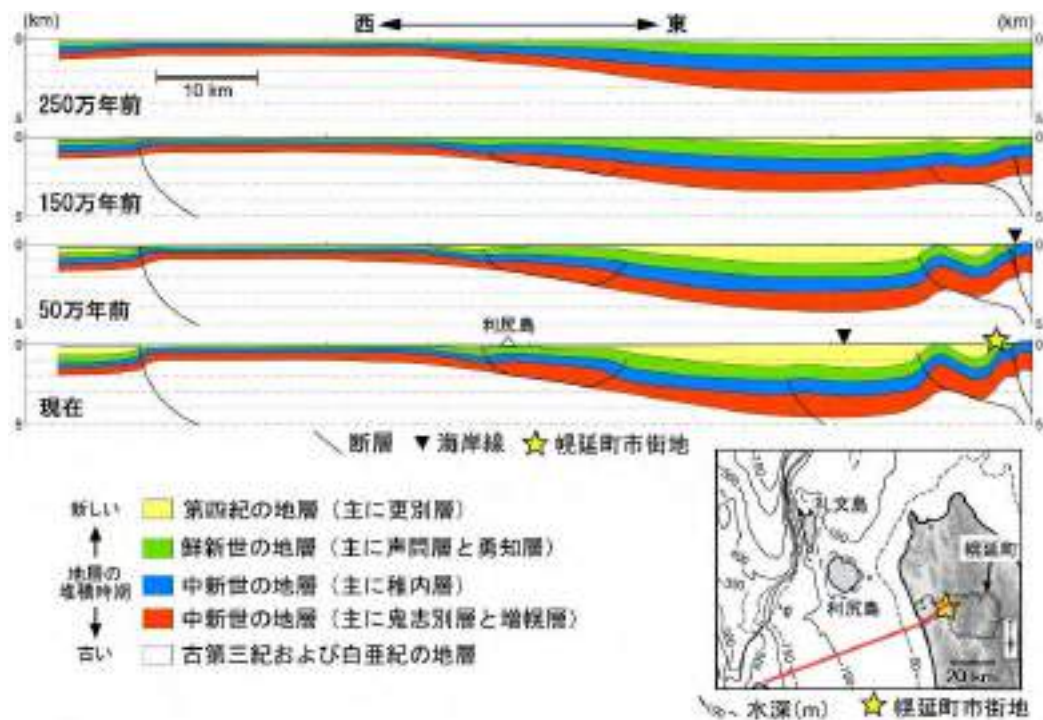


図 4.1.1-1 過去約 250 万年間の地質構造の変遷

幌延地域西部から、利尻・礼文島沖に至る東西方向の地質断面を復元。地質断面の復元は、右下図に示した赤線の箇所を対象に実施した。右下図の地形陰影図は、国土地理院刊行の数値地図（標高）¹⁾を使用した。

幌延町内に分布する大曲断層を例として、その位置推定の信頼性を高める手法の試行として、上幌延地区で岩石を採取し、その中に含まれる珪藻化石の保存状態を観察した。その結果、断層の推定位置の両側で珪藻化石の保存状態が異なる（図4.1.1-2）ことを用いて、異なる地層の境界をなす断層の位置推定の信頼性を高められる可能性のあることが確認できた。また、原子力機構

がこれまでに実施した反射法地震探査，地表地質調査やボーリング調査とともに，石油公団が実施したボーリング調査結果²⁾を統合し，研究所設置地区から幌延町の市街地付近にいたる地下の地質構造を検討した。検討では，地層の変形の前後において地層の体積が変化しないことを仮定したバランス断面法を適用した。その結果，地下深部から地表付近に向かって急傾斜となる断層面が存在すること，および大曲断層は地下深部から地表付近に向かって派生していく複数の断層から構成されることが分かった（図 4.1.1-3）。また，断層影響評価モデルを構築する上での基礎情報となる，研究所設置地区から幌延町市街地にかけての地質構造の概要を把握することができた。

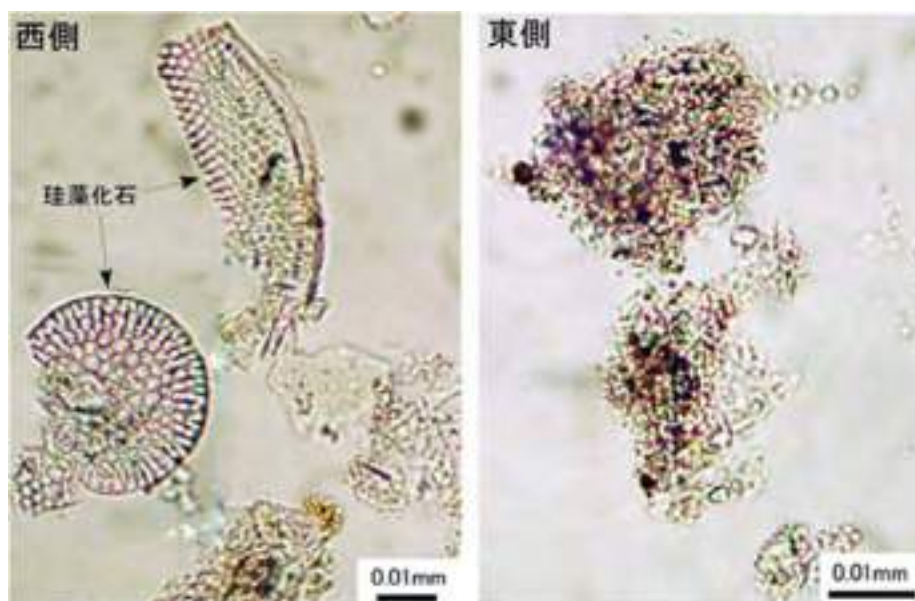
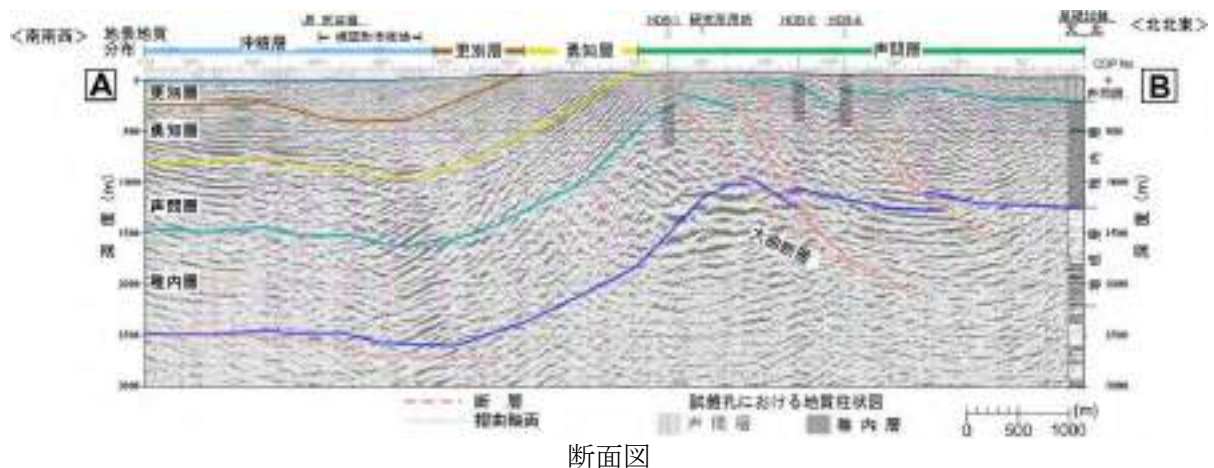


図 4.1.1-2 上幌延地区の大曲断層付近の珪藻化石の保存状態の違い
上幌延地区の例：光学顕微鏡写真（西側の方が，東側に比べ，保存状態が良い）



断面図



位置図

図 4.1.1-3 研究所設置地区から幌延町市街地付近にいたる地下の地質構造

基礎試錐「天北」の地質柱状図は石油公団（1995）より引用。地形図は、国土地理院発行 1:25,000 地形図「幌延」および「振老」を使用。

北進地区において地形図や空中写真を用いた地形の判読と地形・地質調査を行った結果、段丘は、声問層（珪藻質泥岩）が広く分布する北進地区の中央部付近に多く認められることが分かった（図 4.1.1-4 上）。また、地すべり地形は、増殖層などの古い時代の地層（中期中新世以前；約 1,000 万年前以前）が広く分布する北進地区の東部に多いことが分かった（図 4.1.1-4 上）。さらに、谷や尾根の形状は地層ごとに異なることが分かった（図 4.1.1-4 下）。現在認められる地形の分布や形状が地層ごとに異なることは、地層ごとに地形変化の様式が異なることを示唆すると考えられる。このことは、岩盤強度や透水性が地層ごとに異なることを反映している可能性がある。

一方、浜里地区の北部において地形・地質調査および地形測量を行った結果、海岸線から約 1km の範囲では標高約 6～8.5m の砂丘が 13 列あり、それらがほぼ等間隔に配列していることが分かった³⁾（図 4.1.1-5 上）。また、砂丘の地形が良く保存されている侵食をほとんど被っていない地

点において、それらの砂丘を形作る砂丘砂を対象に、光ルミネッセンス（OSL）年代測定を行った。その結果、海岸線から約 1,800m、1,000m および 500m 離れた砂丘は、それぞれ約 5,000 年前、約 3,000 年前および約 1,900 年前に堆積したことが分かった³⁾（図 4.1.1-5 上）。さらに、最も海側の砂丘からは厚さ 5cm 程度の桃色の火山灰層が見つかった（図 4.1.1-5 右下）。この火山灰層には植物の根の痕が観察され、砂丘砂の岩相や粒度などの特徴と合わせて検討すると、火山灰層を含む砂丘は、陸上で風の作用により形成されたと考えられる³⁾。その火山灰層に含まれる火山ガラスや鉱物の化学組成などを分析した結果、約 270 年前の樽前山の火山灰であると推定された。これらのことから、浜里地区に分布する砂丘は、海側ほどより新しい時代に形成された可能性が考えられる。

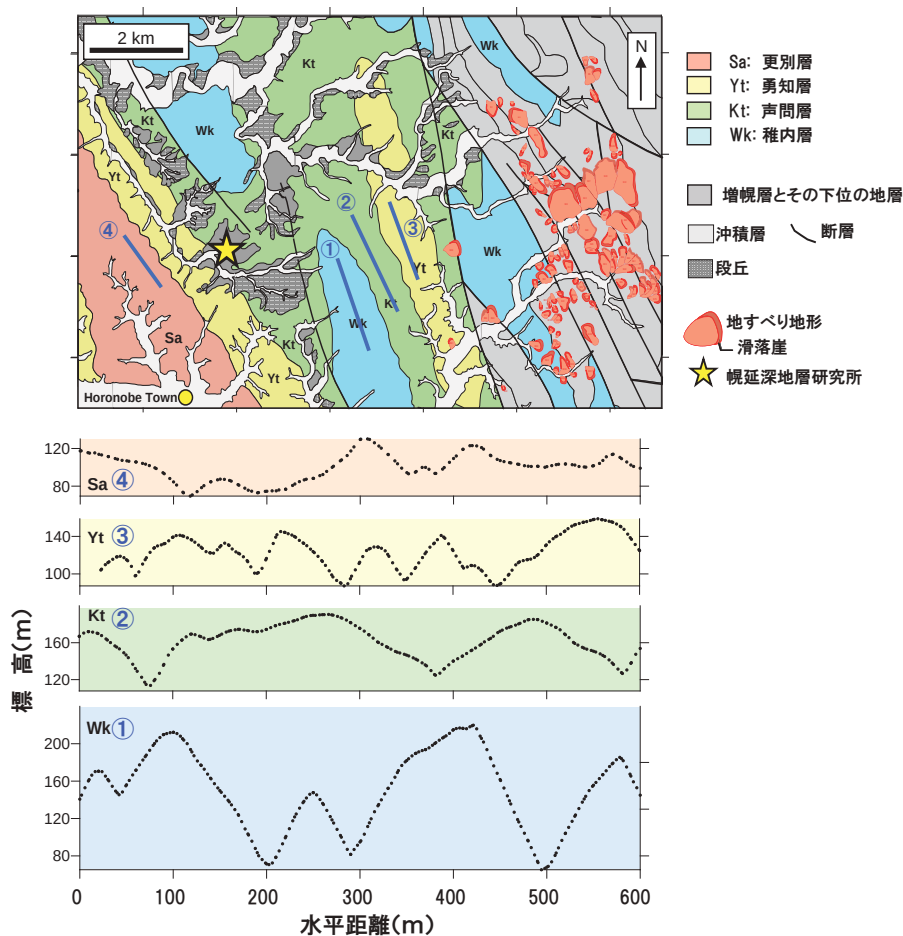


図 4.1.1-4 北進地区の地質、段丘および地すべり地形の分布（上）、各地層の地形断面図（下）

上図の丸数字と青線は、下図の丸数字に対応した地形断面図の位置を示す。

地形断面図は、各地層の分布域に認められる河谷を横断するように設定した。

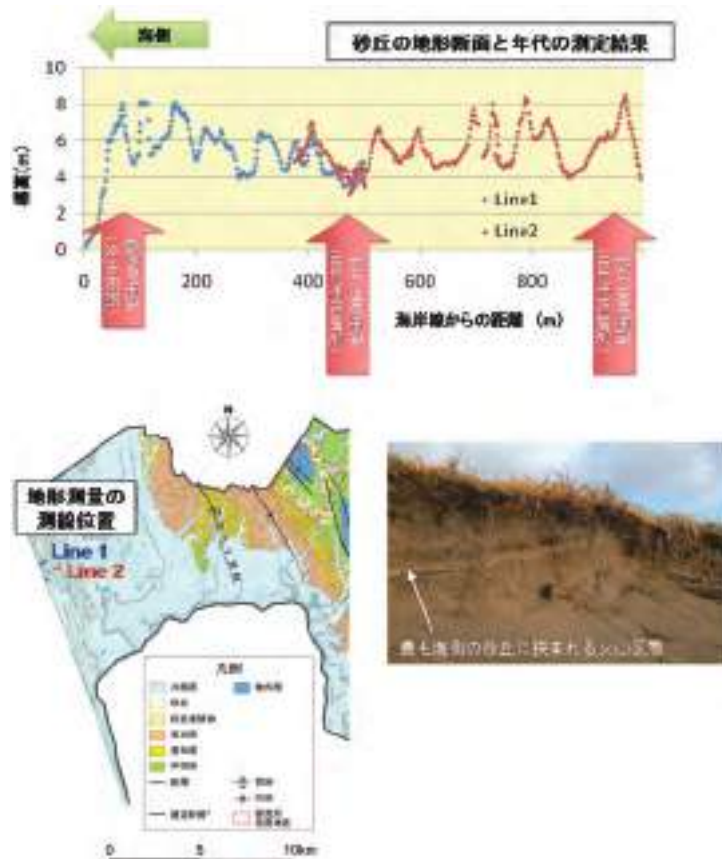


図 4.1.1-5 浜里地区の北部に分布する砂丘の地形と年代
 上図の Line1 と Line2 は、左下図の Line1 と Line2 に対応している。

左下の地質分布は、原子力機構の成果⁴⁾による。

サロベツ原野周辺の低地で地中レーダー探査を実施⁵⁾するとともに、これまでに取得したデータに基づいて、幌延地域の地下水の流れや水質に変化を及ぼしてきたと考えられる気候・海水準変動や隆起・沈降などの地殻変動に関する情報を整理した(表 4.1.1-1)⁶⁾。なお同表中に引用している文献は参考文献として示す⁷⁾。表 4.1.1-1 は、左端の列が時代区分を示しており、時代区分には、幌延地域よりもやや高緯度に位置するヨーロッパ北部での寒冷な時期(氷期/亜氷期)と温暖な時期(間氷期/亜間氷期)の区分も示す。対象とした期間は、氷期・間氷期サイクルの 13 万年間である。表 4.1.1-1 の左側から右側に向かって、過去から現在までに生じた自然現象を気候・海水準変動、植生、古地理(海陸分布)、堆積・剝削作用、隆起・沈降や断層運動などのテクトニクス(地殻変動)に区分して、それぞれの特徴を記載している。過去 13 万年間は、現在よりも気温が低く、海水準の低い時期が大半であったこと、その海水準の変動に伴って、氷期には幌延町の沿岸域は利尻島の西方まで陸地であったこと、幌延地域とその周辺の地殻変動の傾向は過去 13 万年間でほとんど変化がなかったことなどが分かる。さらに時代をさかのぼって第四紀の気候の変動をみると、過去 250 万年間にわたり寒冷な時期が大半であったことが知られている^{7),8)}(図 4.1.1-6)。

This is a blank page.

表 4.1.1-1 幌延地域における過去約 13 万年間の気候および地質現象の編年表（海水準の変動曲線は Miller ほか（2005）に基づき簡略化）

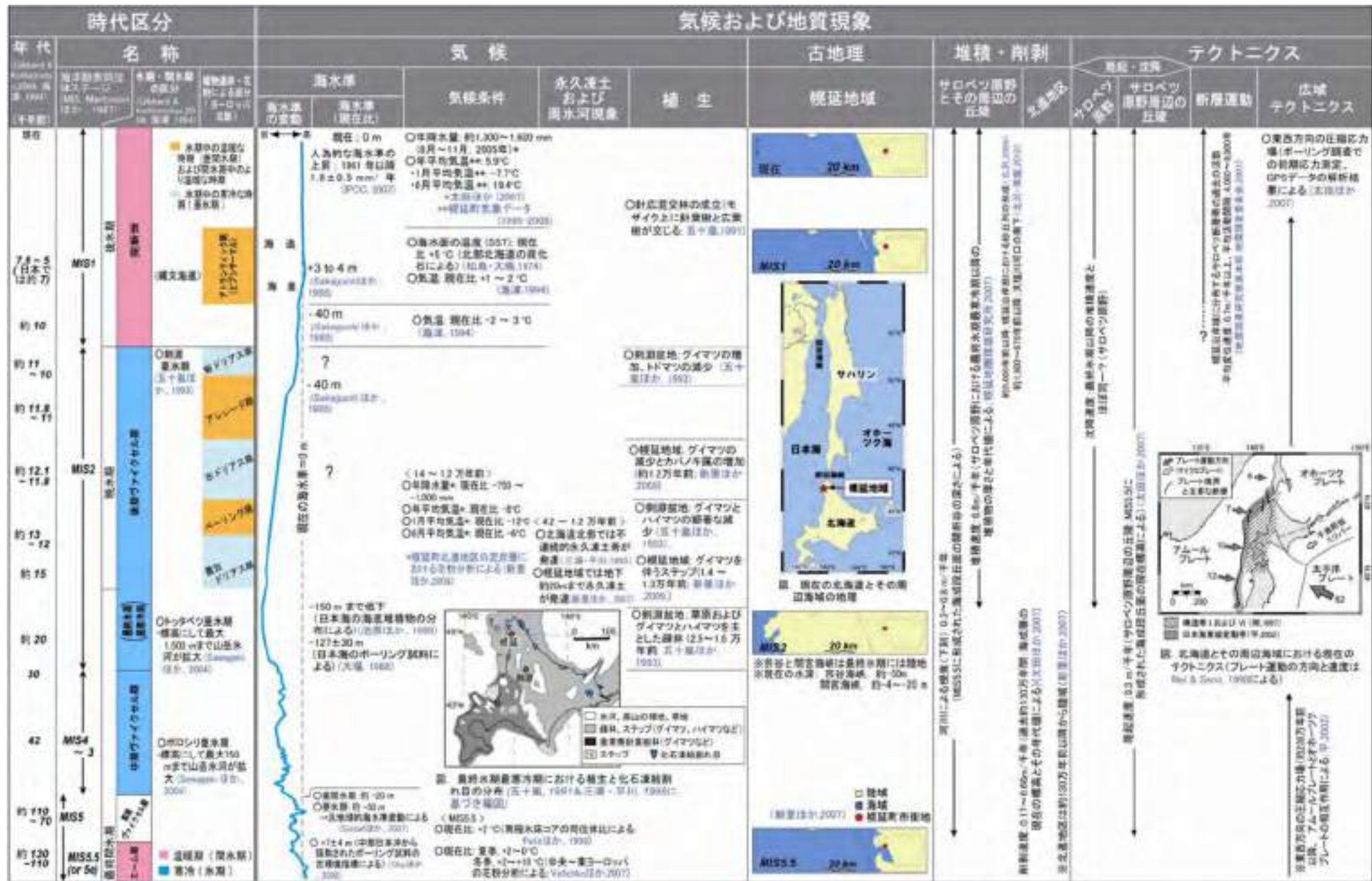


表 4.1.1-1 で引用されている文献を、以下に著者アルファベット順に示す。

Gibbard, P., Kolfschoten, T. van: “The Pleistocene and Holocene Epochs”, Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Smith, A. G. (ed.), “A geologic time scale”, Cambridge University Press, pp.441-452 (2004). 幌延地圏環境研究所: “平成 17 年度地圏環境研究事業 研究成果報告書”, 財団法人 北海道科学技術総合振興センター幌延地圏環境研究所, 297p (2007). 五十嵐八枝子: “完新世の森林と気候の変化”, 小野有五, 五十嵐八枝子 (著)「北海道の自然史－氷期の森林を旅する－」, 北海道大学図書刊行会, pp.181-205 (1991). 五十嵐八枝子, 五十嵐恒夫, 大丸裕武, 山田 治, 宮城豊彦, 松下勝秀, 平松和彦: “北海道の剣淵盆地と富良野盆地における 32,000 年間の植生変遷史”, 第四紀研究, vol.32, pp.89-105 (1993). 池原 研, 片山 肇, 前川竜男: “天塩沖～宗谷海峡海域の表層堆積物”, 池原 研, 岡村行信 (編)「北海道西方海域の環境変動に関する総合的研究及び海域活断層の評価手法に関する研究 平成 10 年度研究概要報告書」, 工業技術院地質調査所, pp.65-80 (1999). 北沢俊幸: “北海道北部天塩平野における海岸砂丘列の配列様式と年代”, 日本堆積学会 2009 年大会 (京都・枚方), (2009). 北沢俊幸, 常盤哲也: “天塩川河口砂州周辺における地中レーダー探査と OSL 年代測定”, 日本堆積学会 2010 年大会 (茨城大学), (2010). IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): “Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis”, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M., Tignor, and H. L. Miller (ed.), Cambridge University Press, 1056p. (2007). Martinson, D. G., Pisias, N. G., Hays, J. D., Imbrie, J., Moore, T. C. Jr. and Shackleton, N. J.: “Age dating and the orbital theory of ice ages: Development of a high-resolution 0 to 300,000 year chronostratigraphy”, Quaternary Research, vol.27, pp.1-29 (1987). 松島義章, 大嶋和雄: “縄文海進期における内湾の軟体群集”, 第四紀研究, vol.13, pp.135-159 (1974). 三浦英樹, 平川一臣: “北海道北・東部における化石凍結割れ目構造の起源”, 地学雑誌, vol.104, pp.189-224 (1995). 新里忠史, 舟木泰智, 安江健一: “北海道北部, 幌延地域における後期鮮新世以降の古地理と地質構造発達史”, 地質学雑誌, vol.113, 補遺, pp.119-135 (2007). 新里忠史, 五十嵐八枝子, 安江健一: “北海道北部, 幌延地域における最終氷期後期の古気候と地表環境”, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, G122-P007 (2009). 大場忠道: “海水準変動に関するコメント”, 第四紀研究, vol.26, pp.243-250 (1988). Oba, T., Irino, T., Yamamoto, M., Murayama, M., Takamura, A. and Aoki, K.: “Paleoceanographic change off central Japan since the last 144,000 years based on high-resolution oxygen and carbon isotope records”, Global and Planetary Change, vol.53, pp.5-20 (2006). Oba, T., Banakar, V. K.: “Comparison of interglacial warm events since the Marine Oxygen Isotope Stage 11”, The Quaternary Research, vol.46, pp.223-234 (2007). 岡 孝雄: “北海道とその周辺海域のネオテクトニクスに関する諸問題－付, 札幌付近での活断層の存在と地震発生についての考察－”, 川村信人, 岡 孝雄, 近藤 務 (編), 加藤誠教授退官記念論文集, pp.427-449 (1997). 岡 孝雄, 五十嵐八枝子: “北海道・天塩平野北部の上部新生界一特に勇知層・更別層の堆積相と花粉化石層序について”, 川村信人, 岡 孝雄, 近藤 務 (編), 加藤誠教授退官記念論文集, pp.341-365 (1997). 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: “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, 434p. (2007). Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Bornola, J. M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V. M., Legrand, M., Lipenkov, V. Y., Lorius, C., Pépin, L., Ritz, C., Saltzman, E. and Stievenard, M.: “Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica”, Nature, vol.399, pp.429-436 (1999). Sakaguchi, Y., Kashima, K. and Matsubara, A.: “Holocene marine deposits in Hokkaido and their sedimentary environments”, Bulletin of the Department of Geography, University of Tokyo, vol.17, pp.1-17 (1985). Sawagaki, T., Aoki, T., Hasegawa, H., Iwasaki, S., Iwata, S. and Hirakawa, K.: “Late Quaternary glaciations in Japan”, Ehlers, J., Gibbard, P. L. (ed.) “Quaternary glaciations- extent and chronology (Development of Quaternary Science 2) part III”, Elsevier, pp.217-225 (2004). Siddall, M., Chappell, J. and Potter, E. K.: “Eustatic sea level during past interglacials”, Sirocko, F., Claussen, M., Sánchez Goñi, M. F. and Litt, T. (ed.) “The climate of past interglacials (Developments in Quaternary Science 7)”, pp.75-92 (2007). 平 朝彦: “日本海東縁の変動とテクトニクス”, 大竹政和, 平 朝彦, 太田陽子 (編)「日本海東縁の活断層と地震テクトニクス」, 東京大学出版会, pp.3-15 (2002). 地震調査研究推進本部 地震調査委員会: “サロベツ断層帯の長期評価について”, 24p. 海津正論: “沖積低地の古環境学”, 古今書院, 270p (1994). Velichko, A. A., Novenko, E. Y., Zelikson, E. M., Boettger, T. and Junge, F. W.: “Comparative analysis of vegetation and climate changes during the Eemian interglacial in central and eastern Europe”, Sirocko, F., Claussen, M., Sánchez Goñi, M. F. and Litt, T. (ed.) “The climate of past interglacials (Developments in Quaternary Science 7)”, Elsevier, pp.255-264 (2007). Wei, D., Seno, T.: “Determination of the Amurian plate motion”, Flower, M., Chung, S. L., Lo, C. H., Lee, T. T. (ed.), “Mantle Dynamics and Plate Interaction in East Asia”, Geodynamic Series, no.27, pp.337-346 (1998).

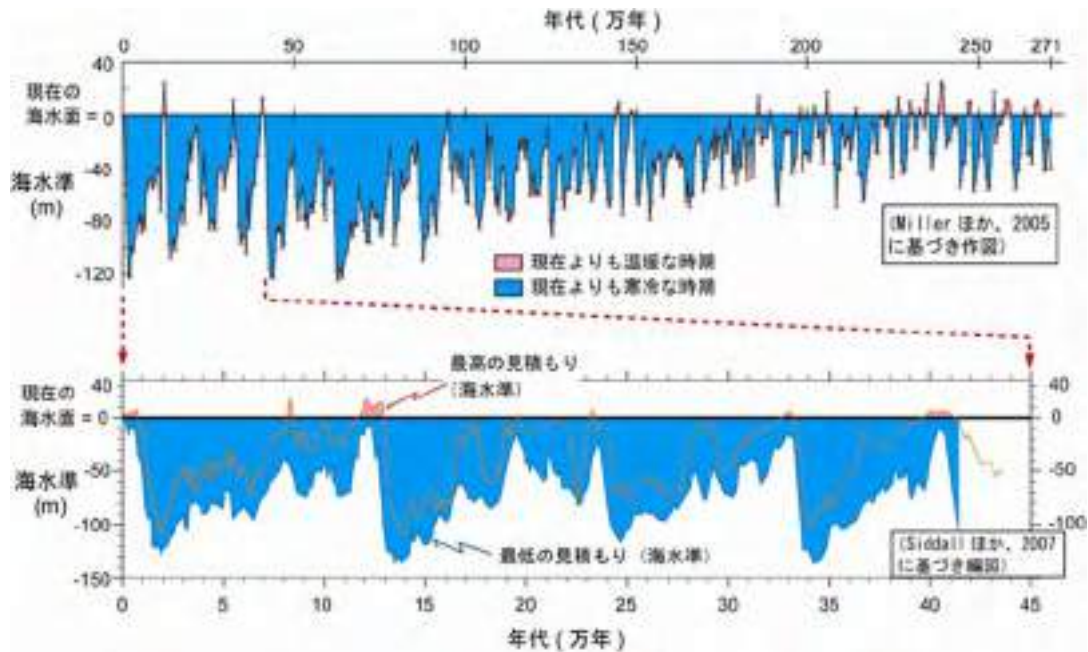


図 4.1.1-6 過去の海水準変動
(上) 過去約 270 万年間, (下) 過去約 40 万年間

幌延地域の地形発達史を推定するために、地形解析と地形・地質調査を行い幌延町の北進地区周辺に分布する地形を区分し、その形成環境を推定した。また、これまでに取得したデータに基づいて、幌延地域の地下水の流れや水質に変化を及ぼしてきたと考えられる過去約 260 万年間にわたる隆起・沈降などの地殻変動と気候・海水準変動に関する情報を整理した編年表を作成した。

地形の種類は様々であるが、地形の形状を解析し、その地形を構成している地層や岩盤の特徴を把握することにより、地形の形成環境を推定することができる。そこで、数値標高モデルを使用した地形解析と空中写真を用いた地形判読により地形を区分するとともに、区分したそれぞれの地形について地形・地質調査を行い、地形の形成作用を推定した。その結果、幌延町の北進地区に分布する地形は、河川による侵食・堆積作用で形成された地形（河川性）、氷期の著しい寒冷な気候条件のもと、地表面の凍結と融解により形成された地形（周氷河性）、および地すべりや斜面崩壊により形成された地形（重力性）に区分できることが分かった（図 4.1.1-7）。これら地形の分布をみると、河川性の地形は北進地区周辺に広く分布しているが、周氷河性の地形は幌延深地層研究センターの周辺に多く、また重力性の地形は東部に多いことが分かる。各地区では分布している地層が異なることから、地形分布と地層分布の関連を示すものと考えられる。さらに、地形・地質調査と放射性炭素年代測定の結果から、河川性の地形のうち沖積層は約 6,000 年前以降、周氷河性の地形のうち北進地区に分布するものは約 15,000～13,000 年前、重力性の地形は主に 13,000 年前～6,000 年前頃に形成されたと考えられる。すなわち、北進地区周辺に分布する地形の形成作用は、時代ごとに異なる気候条件を反映していたと考えられる。

表 4.1.1-2 は、2010 年度までの調査研究の成果に基づいて、幌延地域とその周辺における隆起・沈降などの地殻変動と気候・海水準変動に関する情報を整理した編年表である¹³⁾。この編年表は、地層処分の観点から、地下の地質環境に影響をもたらすと考えられる自然現象を整理した国際リスト⁹⁾を参照して作成した。対象とした期間は、幌延地域を含む北海道北部地域において、現在に引き続く地殻変動が開始したと推定されている時期（約 200～300 万年前以降¹⁰⁾）を参考にして設定した約 260 万年前以降である。表 4.1.1-2 の左側から右側に向かって、過去から現在まで

に生じた自然現象を気候・海水準変動，古地理（海陸分布），堆積・削剥作用，隆起・沈降や断層運動などのテクトニクス（地殻変動）に区分して，それぞれの特徴を記載している。

過去 260 万年間のうち，約 120 万年前までは約 4 万年周期の気候変動，約 70 万年前以降は約 10 万年周期の気候変動が生じており，その間は約 4 万年周期から約 10 万年周期の気候変動へと徐々に変化してきたことが知られている。その気候変動とともに，ほぼ同様の周期をもつ海水準変動が生じており，幌延地域ではそれら気候・海水準変動と地殻変動の影響のもと，東から西に向かって徐々に陸地が広がってきたことが分かる。また，大規模に海水準が低下した過去の寒冷な時期には，日本列島が大陸や朝鮮半島と陸続きとなって日本海が著しく閉鎖的になり，いわば大きな湖のようになった時期のあることが分かる。日本海が閉鎖的になると，日本海周辺の河川から流れ込む淡水により日本海の海水の塩分濃度が低下する。一方，幌延地域の地下水は，地層中に取り込まれた過去の海水，降水，および地層の埋没に伴う鉱物の脱水反応により形成された水が混合して形成されたと考えられている¹²⁾。このため，地下水の水質の変遷を明らかにするためには，温暖な時期である現在の状況とともに，寒冷な時期である氷期の状況（海水の塩分濃度，涵養量，永久凍土，地形変化，海岸線の位置，山の高さなど）を考慮する必要がある。

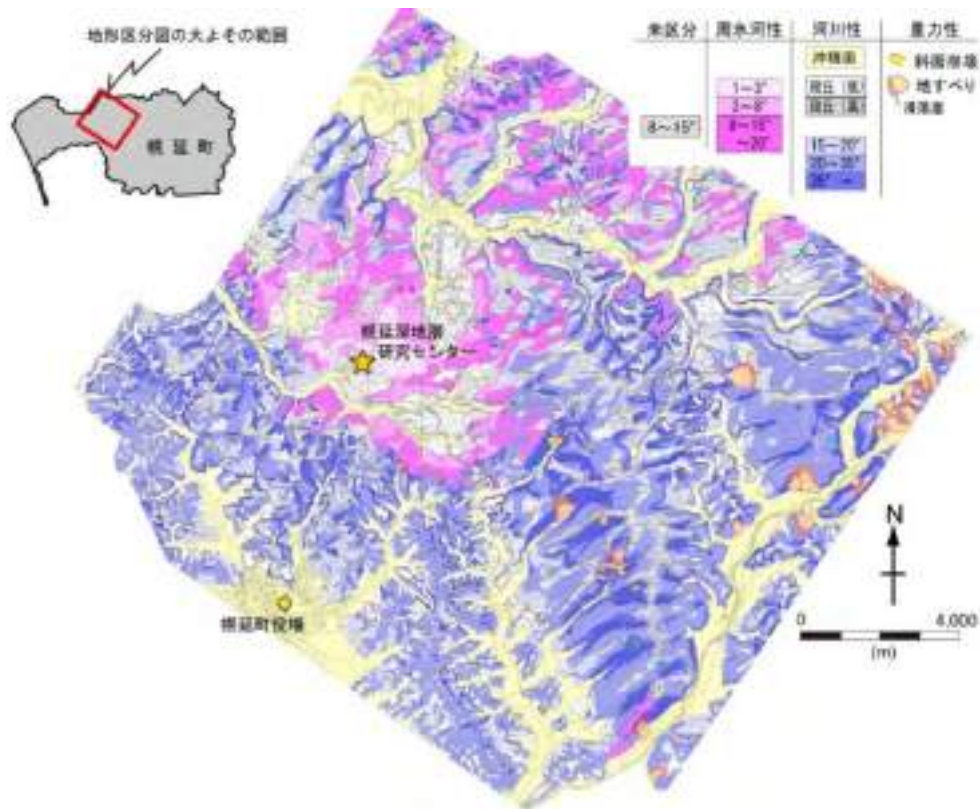


図 4.1.1-7 幌延町北進地区とその周辺における地形区分図

2010 年度までの成果に基づいて作成。

国土地理院発行の 2 万 5 千分の 1 地形図「幌延」，「本流」，「安牛」を使用。

表 4.1.1-2 幌延地域における過去約 260 万年間の気候および地質現象の編年表

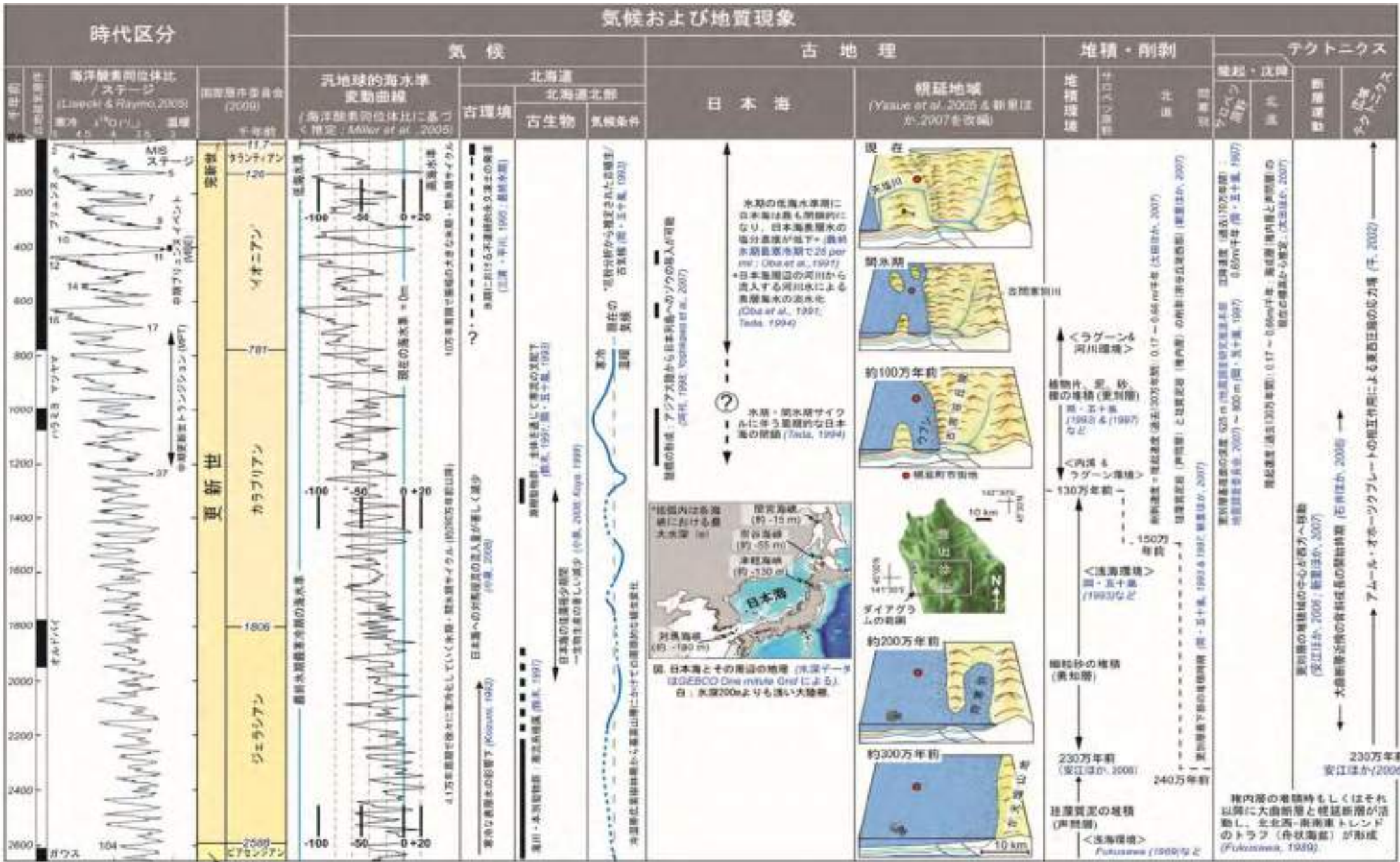


表 4.1.1-2 で引用されている文献を、以下に著者アルファベット順に示す。

Fukusawa, H.: “Depositional scheme of Neogene bedded siliceous rocks in an active upwelling area-on the Wakkanai Formation, northern Hokkaido, Japan-”, In: Taira, A. and Masuda, F. eds., *Sedimentary Facies in the Active Plate Margin*, TERAPUB, pp.395-419 (1989). GEBCO One Minute Grid: “The GEBCO One Minute Grid, version 2.0”, <http://www.gebco.net>. International Commission on Stratigraphy: “International stratigraphic chart”, (2009). 石井英一, 安江健一, 大平寛人, 古澤 明, 長谷川健, 中川光弘: “北海道北部, 大曲断層近傍の背斜成長の開始時期”, 地質学雑誌, vol.114, pp.286-299 (2008). 河村善也: “第四紀における日本列島への哺乳類の移動”, 第四紀研究, vol.37, pp.251-257 (1998). Koizumi, I.: “Biostratigraphy and paleoceanography of the Japan Sea based on diatoms: ODP Leg127”, In: Tsuchi, R. and Ingle Jr., J.C. eds., *Pacific Neogene: Environment, Evolution and Events*, University of Tokyo Press, pp.15-24 (1992). 小泉 格: “図説地球の歴史”, 朝倉書店, 143p. (2008). Lisiecki, L. E., Raymo, M. E.: “A Plio-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records”, *Paleoceanography*, vol.20, PA1003 (2005). Koya, K.: “Late Pliocene-Pleistocene paleoceanographic study based on diatom assemblage of the Japan Sea cores (ODP Leg127)”, Dr. thesis at Graduate School Sci., Hokkaido Univ., 69p. (1999). 地震調査研究推進本部 地震調査委員会: “サロベツ断層帯の長期評価について”, 24p. (2007). Lisiecki, L.E. and Raymo, M.E.: “A Plio-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records”, *Paleoceanography*, vol.20, PA1003 (2005). Miller, K. G., Komins, M. A., Browning, J. V., Wright, J. D., Mountain, G. S., Katz, M. E., Sugarman, P. J., Cramer, B. S., Christie, B. N. and Pekar, S. F.: “The Phanerozoic record of global sea-level change”, *Science*, vol.310, pp.1293-1298 (2005). 三浦英樹, 平川一臣: “北海道北・東部における化石凍結割れ目構造の起源”, 地学雑誌, vol.104, pp.189-224 (1995). 新里忠史, 舟木泰智, 安江健一: “北海道北部, 幌延地域における後期鮮新世以降の古地理と地質構造発達史”, 地質学雑誌, vol.113, 補遺, pp.119-135 (2007). Oba, T., Kato, M., Kitazato, H., Koizumi, I., Omura, A., Sakai, T. and Takayama, T.: “Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years”, *Paleoceanography*, vol.6, pp.499-518 (1991). 岡 孝雄, 五十嵐八枝子: “北海道北部・間寒別構造盆地の鮮新-更新統-とくに堆積相および花粉層序について”, 地質学雑誌, vol.99, pp.365-389 (1993). 岡 孝雄, 五十嵐八枝子: “北海道・天塩平野北部の上部新生界一特に勇知層・更別層の堆積相と花粉化石層序について”, 川村信人, 岡 孝雄, 近藤 務(編), 加藤誠教授退官記念論文集, pp.341-365 (1997). 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: “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, 434p. (2007). 鈴木明彦: “西北海道美利河-花石地域の瀬棚層の堆積環境”, 地質学雑誌, vol.97, pp.329-344 (1991). 鈴木明彦: “滝川・本別動物群の群集特性”, 川村信人, 岡 孝雄, 近藤 務(編), 加藤誠教授退官記念論文集, pp.63-70 (1997). Tada, R.: “Paleoceanographic evolution of the Japan Sea”, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol.108, pp.487-508 (1994). 平 朝彦: “日本海東縁の変動とテクトニクス”, 大竹政和, 平 朝彦, 太田陽子(編)「日本海東縁の活断層と地震テクトニクス」, 東京大学出版会, pp.3-15 (2002). Yasue, K., Ishii, E. and Niizato, T.: “Neotectonics of the Tenpoku Sedimentary Basin in northern Hokkaido, Japan: a case of Horonobe area”, In: Research on active faulting to mitigate seismic hazards: the state of the art. Abstracts of the HOKUDAN International Symposium on Active Faulting, Hokudan, Japan, January 17th -24th, pp.176-177 (2005). 安江健一, 秋葉文雄, 大平寛人, 石井英一: “北海道北部, サロベツ背斜付近に分布する声間層上部の鮮新統上部珪藻化石帯とフィッション・トラック年代”, 地質学雑誌, vol.112, pp.284-293 (2006). Yoshikawa, S., Kawamura, Y., and Taruno, H.: “Land beidge formation and proboscidean immigration into the Japanese Islands during the Quaternary”, *Journal of Geosciences*, Osaka City University, vol.50, pp.1-6 (2007).

これまでに取得したデータのうち、地質環境の長期的変化モデルを作成する際に利用されているデータを整理・格納するためのデータベースについて、国外機関である **Nagra** と協働し検討した。検討したデータベースの構造は、地層処分にとって重要な地質環境の特性とその地質環境に影響を及ぼす可能性のある自然現象の国際的なリスト⁹⁾などを参照し作成した(図 4.1.1-8)。このデータベースでは、取得したデータはデータ集や報告書、論文をそのまま引用し、モデルを作成する際にどのようなデータがどのように解釈されているかという点を明らかにすることとした。また、データの更新と閲覧を容易にするために、ホームページに見立てたデータベースにすることとした。

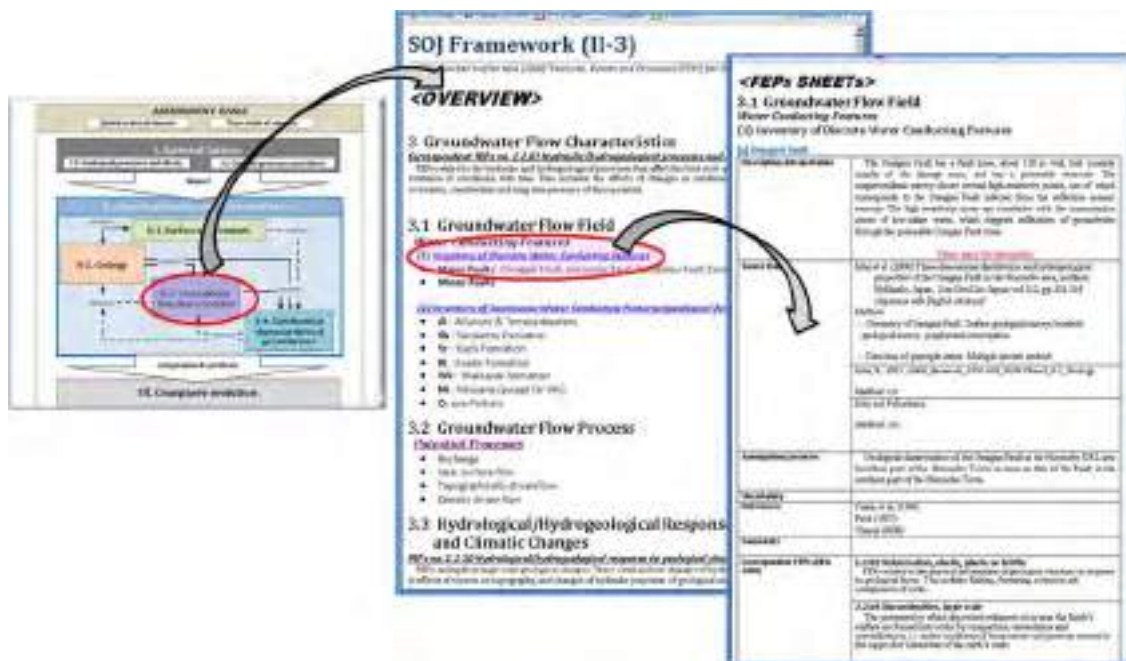
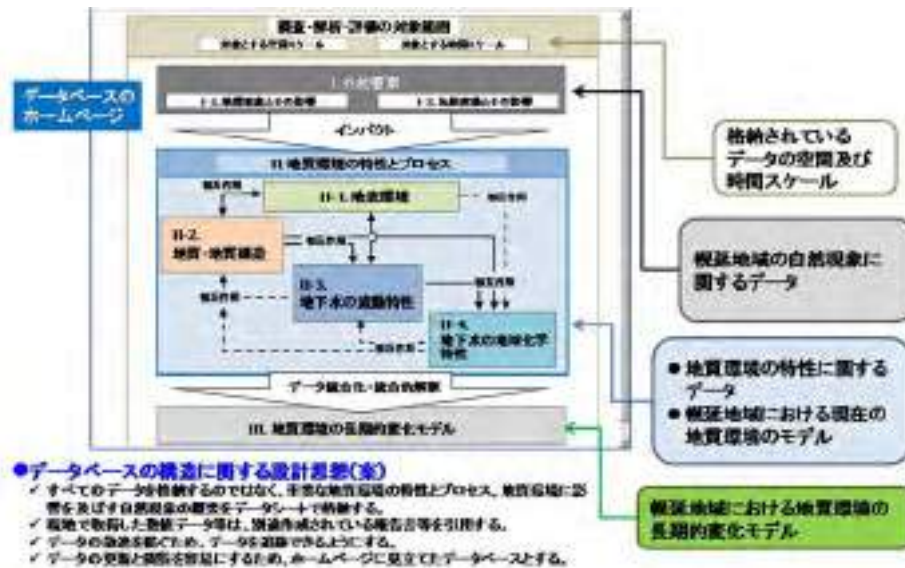


図 4.1.1-8 データベースの設計思想 (案)

上図：全体設計，下図：データベースのトップページ（下図左端）をホームページのようにクリックすると、データシート（下図の右端）が開く。

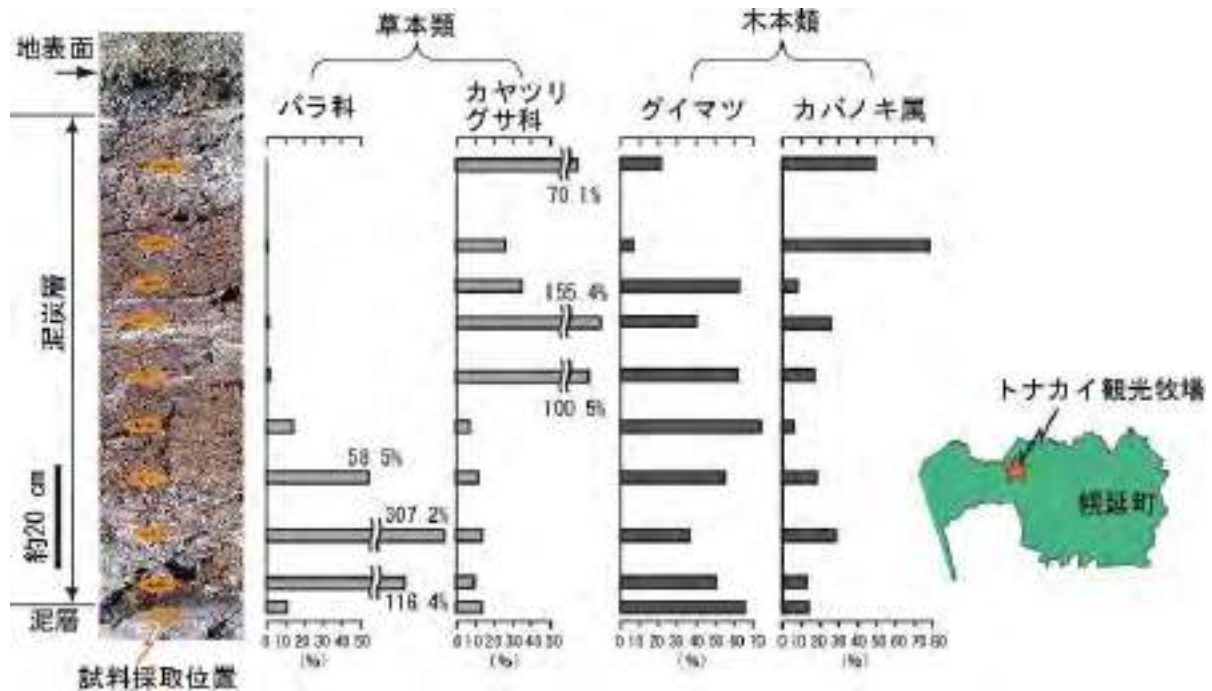


図 4.1.2-2 トナカイ観光牧場付近の泥炭層に含まれる花粉

横軸：花粉の産出率（木本類の花粉総数に対する各植物の花粉数の割合）

古植生のデータにモダンアナログ法を適用し、幌延地域における最終氷期の気温と降水量の推定を実施した。モダンアナログ法とは、花粉分析で使用する手法のひとつで、現在の植生と気候との対応関係をもとに、過去の気候条件を推定する手法である。この手法を適用することにより、花粉分析の結果から、過去の気温や降水量を定量的に推定することができる。

花粉分析に基づいて推定した結果、約 1.4～1.2 万年前の最終氷期における幌延地域の植生は、現在のシベリアに分布する亜寒帯針葉樹林に相当することが分かった。ここで、現在のサハリン北端のオハ（図 4.1.2-3）と現在の幌延地域の気温と降水量を比較すると、オハは幌延地域に比べて、月平均気温が 1 月で約 12℃、8 月で約 6℃、年平均気温で約 8℃それぞれ低く、年間降水量は約 750～1,000mm 少ないことが分かる。最終氷期における幌延地域の植生は、現在のオハよりもさらに北に位置するシベリアの植生に相当するため、最終氷期における幌延地域の気温と降水量は、上記の数値以上に差があったと考えられる。

これらにより、幌延地域の最終氷期における古植生とともに、地下水の流動状態の長期的変遷を推定するための基礎情報となる、最終氷期の気温と降水量を推定することができた。



図 4.1.2-3 幌延地域とサハリンの位置関係

4.1.3 現在の地殻変動の調査

地殻変動の連続観測を継続するとともに、2003年から2005年に取得したデータを使って、観測期間における幌延地域の変位の傾向を調べた。この解析には、HDB-1孔敷地内に設置したGPS観測装置（HDB-1孔観測点）のデータ、国土地理院により日本全国に設置されているGPS連続観測システム（GEONET観測点）の観測データのほか、IGS（International GPS Service：国際GPS事業）のグローバル観測網（図4.1.3-1）の観測データを用いた。また、GPS観測データの解析ソフトウェアは、アメリカのマサチューセッツ工科大学（MIT）とスクリプス海洋研究所で開発されたGAMIT（GPS software at MIT）を使用した。

図4.1.3-2は、北海道において同期間に発生した比較的規模の大きな地震（2003年十勝沖地震、2004年留萌支庁南部で発生した地震）の前後で、HDB-1孔観測点と稚内および遠別のGEONET観測点との基線長（HDB-1孔観測点との距離）の変化を調査した結果である。この図より、2003年十勝沖地震（図4.1.3-1）の発生前後においてHDB-1孔観測点と稚内および遠別のGEONET観測点との距離が変化することが分かる。しかし、2004年に留萌支庁南部で発生した地震（図4.1.3-1）の際にはほとんど変化が認められなかった。2003年十勝沖地震は、マグニチュードが8.0、幌延町での震度が1、幌延町と震央までの距離が約400kmであったが、留萌支庁南部で発生した地震は、マグニチュードが6.1、幌延町の震度が2、幌延町と震央までの距離が約100kmであった。このことから、震源位置やマグニチュードおよび幌延町から震源までの距離の違いによって、地震の発生に伴った地殻変動の特徴が異なることが分かった。

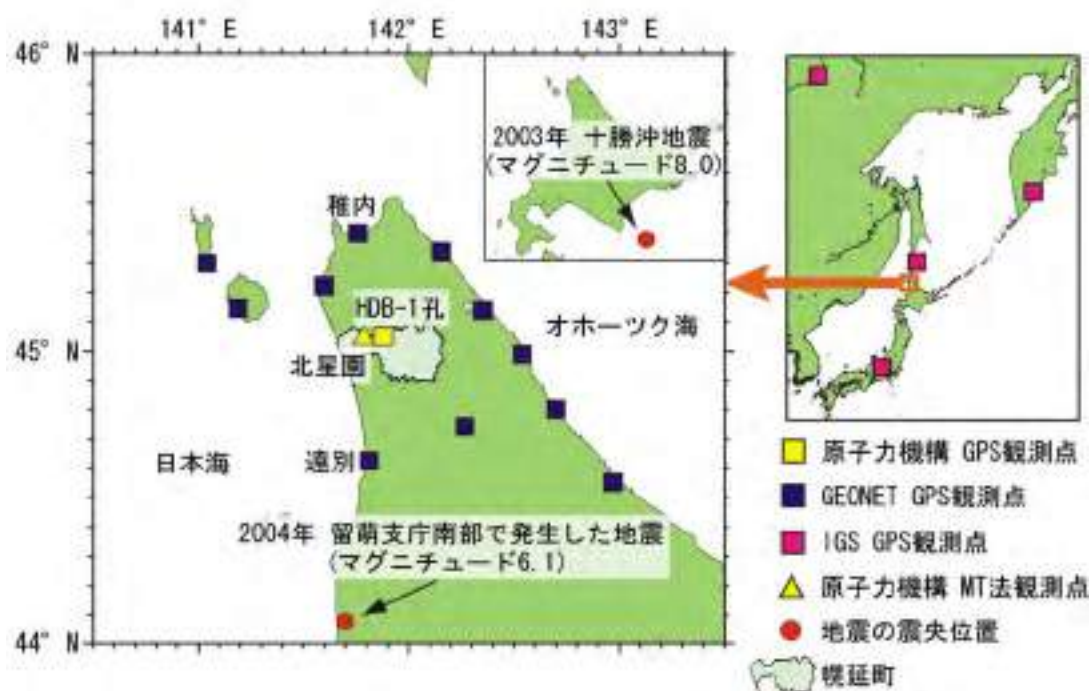


図 4.1.3-1 GPS, 電磁観測点の位置および地震の震央位置
(Generic Mapping Tools (GMT)¹⁵⁾により作図)

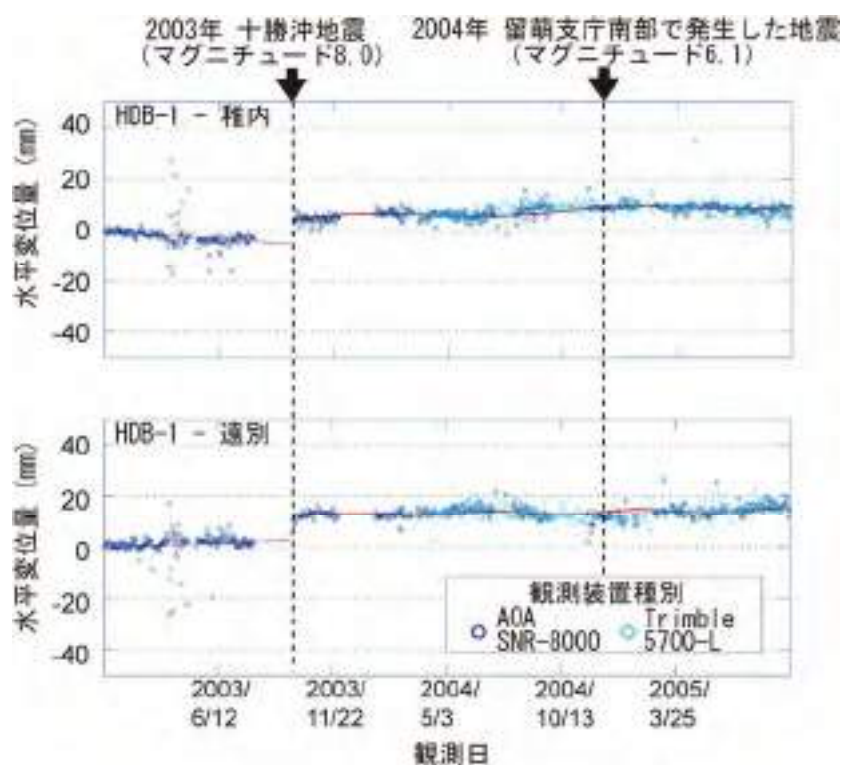


図 4.1.3-2 HDB-1 孔観測点と各 GEONET 観測点との基線長の変化

2004 年 2 月に HDB-1 孔観測点の GPS 観測装置を Allen Osborne Associates 社製 SNR-8000 Benchmark with ACT から Trimble 社製 5700 に変更している。

2007 年度までの過去約 5 年間に取得したデータを使った解析によって、観測期間における北海道北部地域の変位（地殻変動）の傾向を調べた。この解析には、HDB-1 孔敷地内などに設置した GPS 観測装置（HDB-1 孔観測点）のデータ、国土地理院により日本全国に設置されている GPS 連続観測システム（GEONET）の観測データのほか、IGS（国際 GPS 事業）の汎世界的な観測網の観測データを用いた。また、GPS 観測データの解析ソフトウェアは、米国マサチューセッツ工科大学（MIT）とスクリプス海洋研究所で開発された GAMIT（GPS software at MIT）を使用した。

図 4.1.3-3 は、2005 年 1 月から 2007 年 9 月までの期間に、北海道北部地域にあるそれぞれの GPS 観測点がどの方向にどの程度の速度で動いたかを、矢印の向きと長さで示したものである。この図は、HDB-1 孔観測点を固定点として表示しているため、HDB-1 孔観測点を基準として、他の GPS 観測点がどのように動いたかが分かる。この結果より、北海道北部地域の地殻は、東西方向に縮む傾向にあることが分かった。

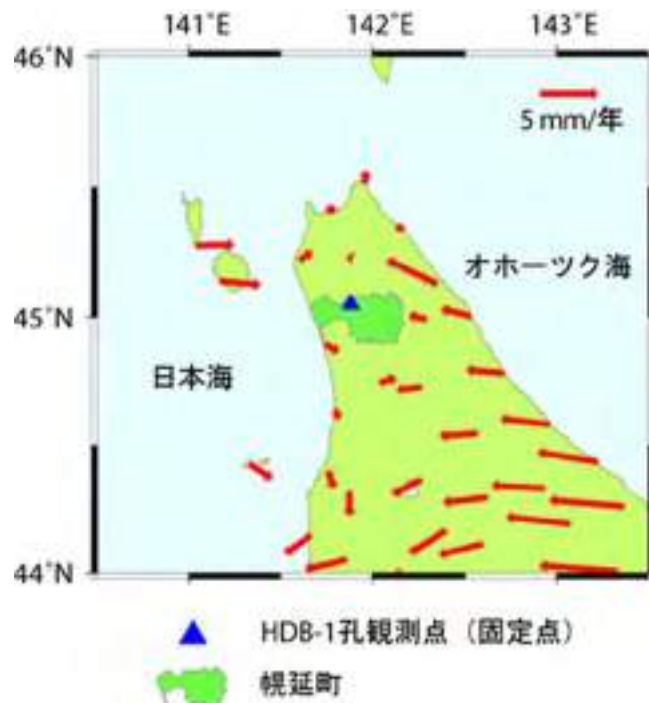


図 4.1.3-3 北海道北部地域における地殻の水平変位速度

4.1.4 地殻変動にともなう地質環境特性変化の調査

地震が発生する場の比抵抗特性や地震発生時の比抵抗変化を把握するため、電磁探査機器を 2003 年 11 月に HDB-1 孔に隣接する地点に設置して MT 法による連続観測を開始し、2003 年 9 月からは研究所用地の造成に伴い発生する電磁気的なノイズを避けるため、電磁探査機器を幌延町北西部の北星園に移設して連続観測を実施した（図 4.1.3-1）。

図 4.1.4-1 は、北海道において近年発生した比較的規模の大きな地震（2003 年）十勝沖地震、2004 年留萌支庁南部で発生した地震）の前後で、北星園観測点の電磁観測データを、周波数ごとの見掛け比抵抗で示した結果である。見掛け比抵抗はその測定に使用した周波数が低いほど、より地下深部までの情報を含んでいる。北星園観測点の場合には、周波数 3Hz、0.0176Hz および 0.00293Hz は、それぞれ深度 400m、4km および 15km 程度までの比抵抗の分布を反映している。

このため、複数の周波数の見掛け比抵抗の変動から、様々な深度における地下の比抵抗の変化を推定することができる。ただし、一般に見掛け比抵抗を計算する際に使用するセンサーの向きによって、計算値に反映される領域が異なり、計算結果も少し異なる。この図では、2003年十勝沖地震や2004年の留萌支庁南部で発生した地震の前後において、数日間以上継続するような比抵抗の明瞭な変化が認められなかった。

地下の比抵抗は、岩石の違いや地下水の水質によって変わることが知られている。GPSによる観測では、2003年十勝沖地震の発生に伴った地殻変動が捉えられたが、同時期の電磁観測の結果からは、地下水の水質には大きな変化がなかったと考えられる。

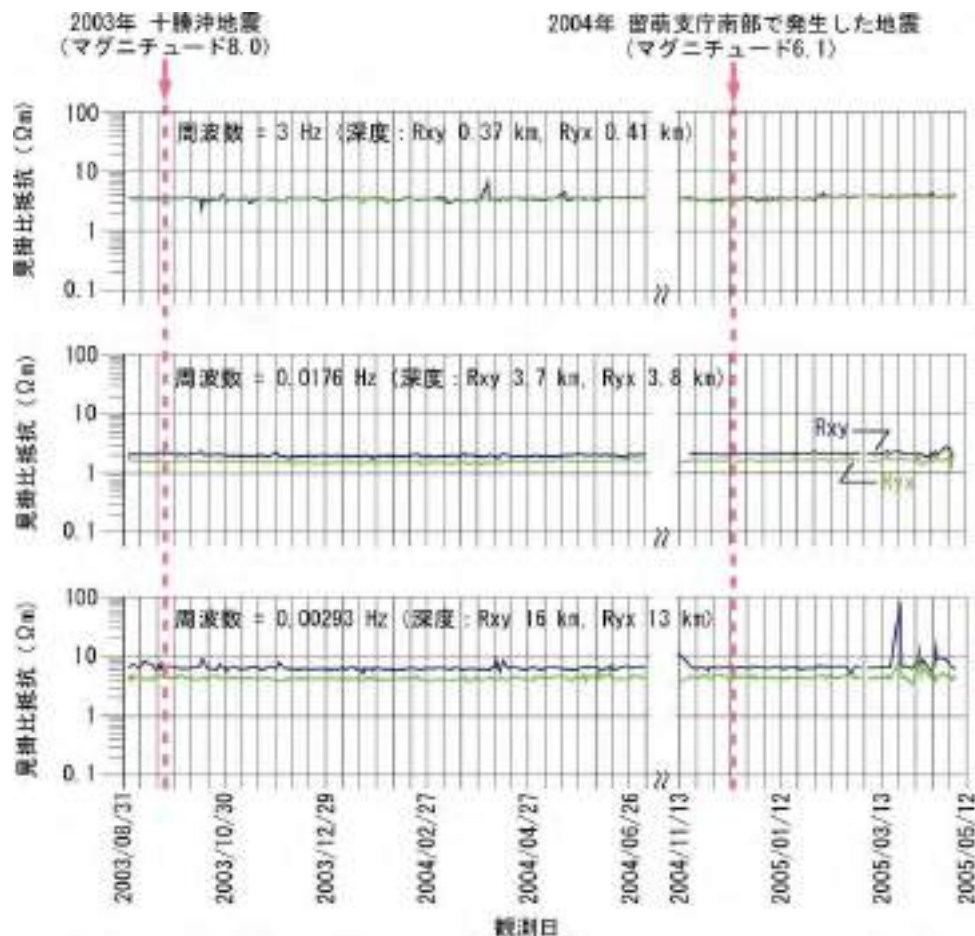


図 4.1.4-1 北星園観測点で観測された比抵抗の変化
(Rxy と Ryx は測定に使用したセンサーの向きの違いを表している。)

図 4.1.4-2 は、北星園観測点における、深さと推定された比抵抗の関係を示したグラフである。この図から、北星園観測点の地下における比抵抗構造は、深さ 0～100m 程度では 4～9Ωm、100～250m 程度では 3～7Ωm、250～2,500m 程度では 3Ωm 以下の低比抵抗層、それより深い領域では 5～20Ωm 程度であることが分かった。また、この比抵抗構造は観測期間を通じてほとんど変化することはない。

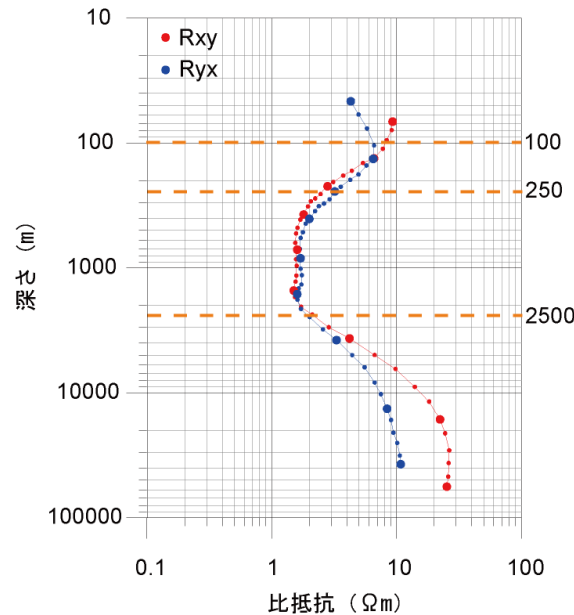


図 4.1.4-2 北星園観測点の地下における比抵抗構造
(Rxy と Ryx は測定に使用したセンサーの向きの違いを表している。)

また、北海道北部を対象とした GPS 観測データの解析に加えて、過去の応力（古応力）状態を把握するため、研究坑道で得られた小断層のスリップデータを用いた小断層解析を行った。小断層を形成させた最大主応力方向は東西ではなく、東西から反時計回りに数十度回転した、現在の東西圧縮場を示す応力状態（GPS、水圧破碎法）とは異なる応力方向が得られた¹⁶⁾。この応力方向の差異については、褶曲運動を考慮して、小断層解析で得られた最大主応力方向を褶曲開始前の方向へ変換した結果、現在の応力場と一致する結果が得られた^{17),18)}。このことから、本地域では、小断層形成時（褶曲開始前）から、東西圧縮場にあったことが推定された。

4.1.5 地質環境の長期的変化モデル解析

地形・地質構造の変遷や気候変動などの天然現象に伴う地下水流動の変化を把握するための手法を整備するため、これらの天然現象を考慮した地下水流動解析を、研究所設置地区を含む幌延町西側の海域を対象として行った¹⁹⁾。

地形や地質構造、海岸線の位置は、既存文献などに基づいて推定した過去から現在までの地形や地質構造の変遷に基づいて設定した^{19),20)}（図 4.1.5-1）。地下水流動に影響を及ぼす海水面の高さや、地下水涵養量およびその時間変化は、過去の世界的な気候変動、海水準変動の記録に基づいて設定した。地下水流動解析を行うにあたっては、地形や地質構造などの時間変化に伴う地下水流動や塩分濃度分布への影響を水圧や塩分濃度の時間変化として考慮した解析手法の改良を行った。

図 4.1.5-2 は、約 100 万年前と現在の地下水の水圧（全水頭）と塩分濃度の分布の解析例である²⁰⁾。解析結果から、水圧や塩分濃度は断層の近傍や地表から深度 1km 程度の範囲での変化が大きく、水圧に比べて塩分濃度の変化の程度は小さいことが分かった。

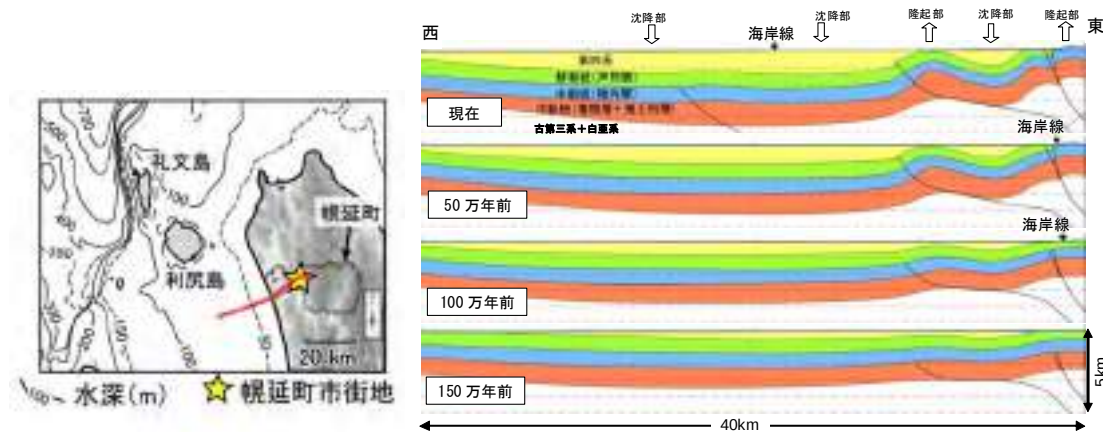


図 4.1.5-1 過去約 150 万年間の地形・地質構造の変遷

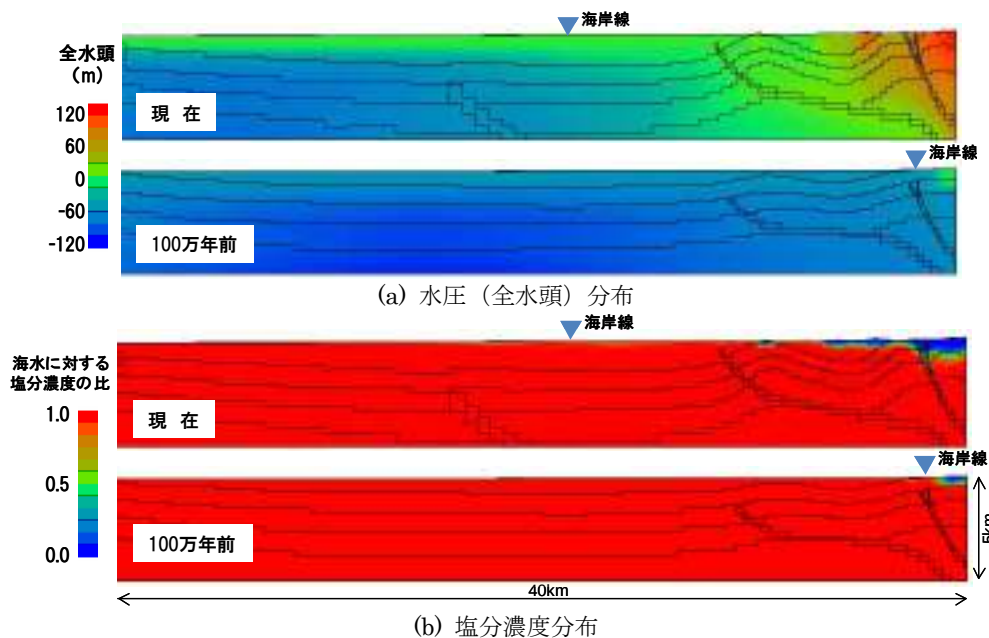


図 4.1.5-2 地下水流動と塩分濃度の長期的変遷の解析例

地形・地質構造の変遷や気候変動などの自然現象に伴う地下水流動の長期的な変化を予測する手法の構築を目的として、幌延地域を事例として、これまでに実施してきた地下水流動解析¹⁶⁾結果などを整理し、隆起・沈降や気候・海水準変動などの自然現象による影響を考慮した地下水流動解析を行うための手法(SMS ; Sequential Modeling System)を整備した。

この手法では、隆起・沈降や侵食・堆積などによる地形・地質構造の形状や岩盤の透水性などの時間変化とともに、気候変動に伴う降水量の変動や永久凍土層の発達などによる涵養量の時間変化および海水準の時間変化を連続的に取り込みつつ、二次元での地下水流動解析を実施することができる。(図 4.1.5-3)。SMS では、地形・地質構造の形状などを時間変化させる前の状態を表現した初期モデルを作成する(図 4.1.5-3 右)。この初期モデルを出発点として、地形・地質構造の形状をある時間間隔(タイム・ステップ)で変化させつつ、海水準および涵養量などの境界条件を連続的に変化させて、二次元での地下水流動解析を行う。

また、SMS を適用して得られた地下水流動解析の結果をアニメーション表示するための描画システムの開発を進めた。そのイメージを図 4.1.5-4 に示す。このように、地域を事例として地形・

地質構造、海水準変動および涵養量の時間変化を連続的に取り込みつつ、二次元での地下水流動解析を行い、その結果をアニメーション表示するまでの一連の技術を整備することができた。

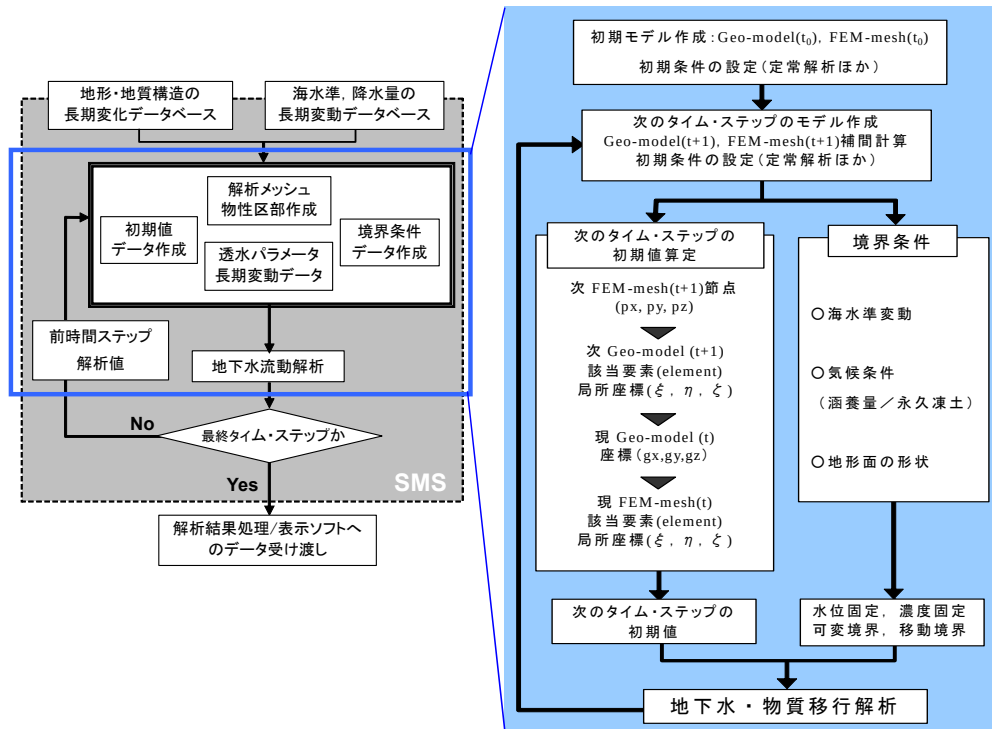


図 4.1.5-3 SMS における地下水流動解析の手順
(左) 解析の大まかな流れ, (右) 左図における青枠内の詳細

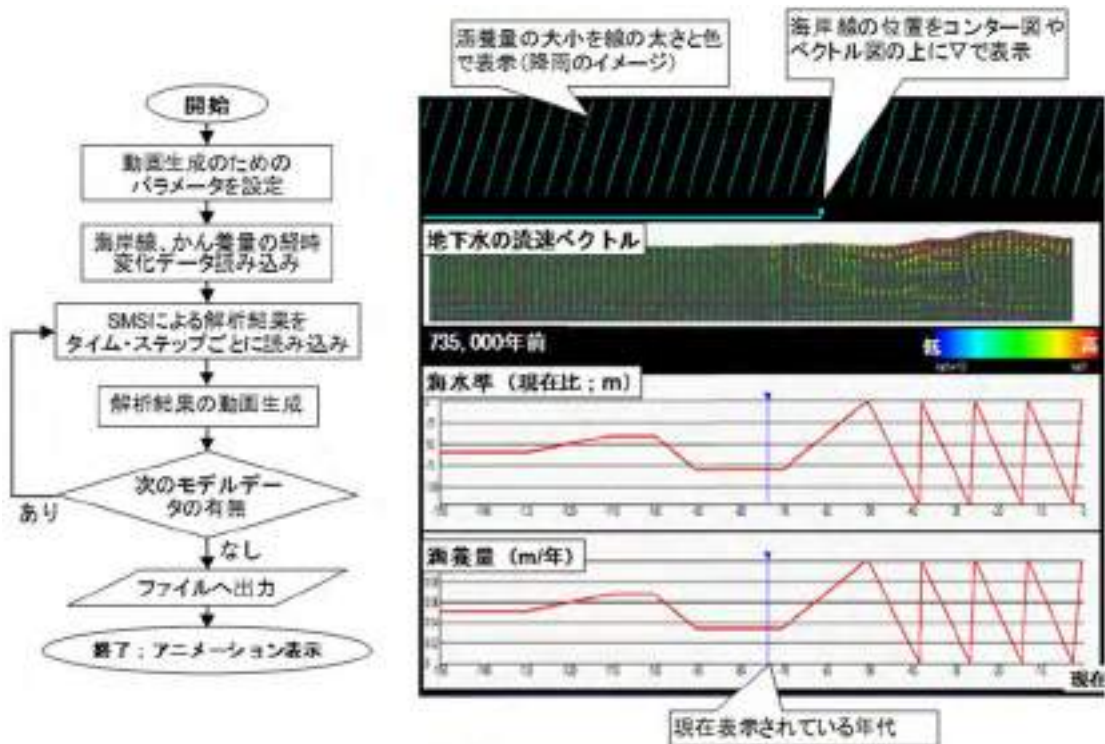


図 4.1.5-4 地下水流動の解析結果をアニメーション表示するための描画システムのイメージ

これまでに開発してきた SMS のプログラム群を改良し、三次元の地形・地質構造の変形を考慮可能な三次元 SMS (SMS3D ; Sequential Modeling System for 3D) を開発した。本手法では、二次元の地形・地質断面を奥行き方向に複数連ねることにより、地形・地質構造モデルを三次元化している。主な改良点は、SMS で取り扱う地質構造モデルのデータ構造を三次元化し、SMS のプログラム群をそれに対応させたことのほかに、断層をある厚みを持つ平板として定義し、断層面の三次元的な広がりやを考慮できるようにしたこと、および地下水流動の解析結果を三次元図化ソフトへ出力するためのプログラムを作成し、SMS のプログラム群に付加したことなどが挙げられる。

また、開発した SMS3D により、隆起・沈降や気候・海水準変動などの自然現象による影響を考慮しつつ、三次元の解析が可能であることを確認するための試解析を実施した。この解析では、幌延地域の地形・地質構造を参考にして、断層やしゅう曲などを取り入れた現実には存在しない簡略的な三次元地質構造モデルを構築し、SMS3D を適用した。モデルには、奥行き方向で異なる隆起量を設定し、境界条件として海水準変動(海進・海退)と涵養量の変動を設定した。

地形変化の設定と地形変化の例を図 4.1.5-5 に、全水頭分布と塩分濃度分布の解析結果の例を図 4.1.5-6 に示す。全水頭分布からは、隆起量を大きく設定した領域の水頭が高く(図中の赤い部分)、隆起量を小さく設定した領域の水頭が低い(図中の青い部分)結果となった。また、奥行き方向の地下水流動が生じていることから、三次元的な地下水流動が解析可能であることを確認した。また、塩分濃度分布については、海水準変動に伴う海岸線位置の変化により、塩分濃度の低下する領域、すなわち天水の浸透する領域が変化する結果となった。このため、海水準変動による塩分濃度分布の変化が、SMS3D を用いた解析により表現できることを確認した。以上の結果から、2010 年度の改良によって、三次元の地形・地質構造の変化が表現でき、それを考慮した三次元地下水流動解析が可能となったことを確認した。

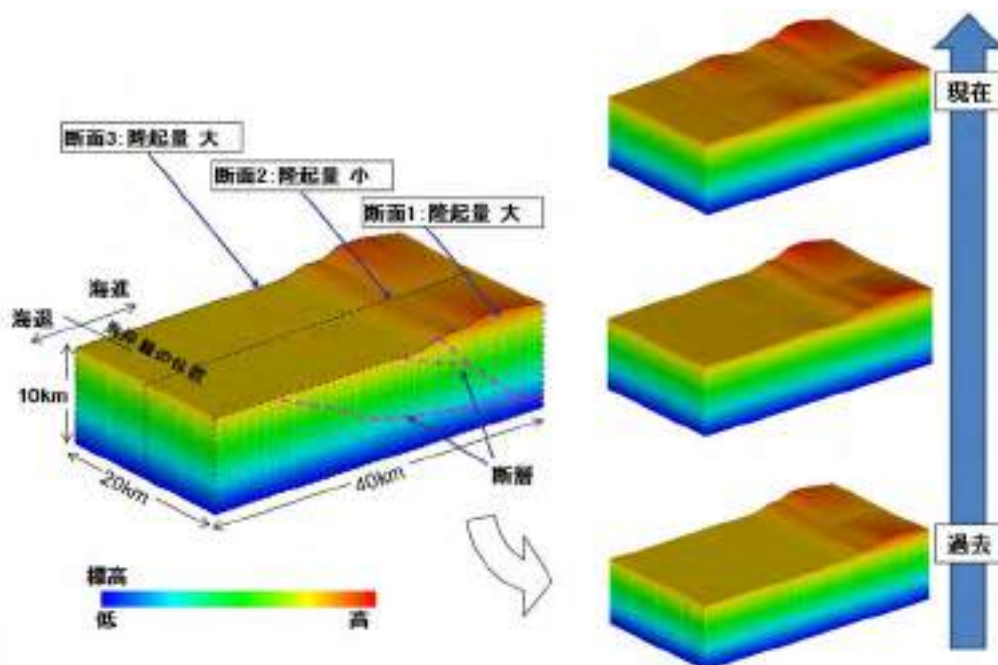


図 4.1.5-5 地形変化の初期設定 (左) と SMS3D による地形変化の出力例 (右)

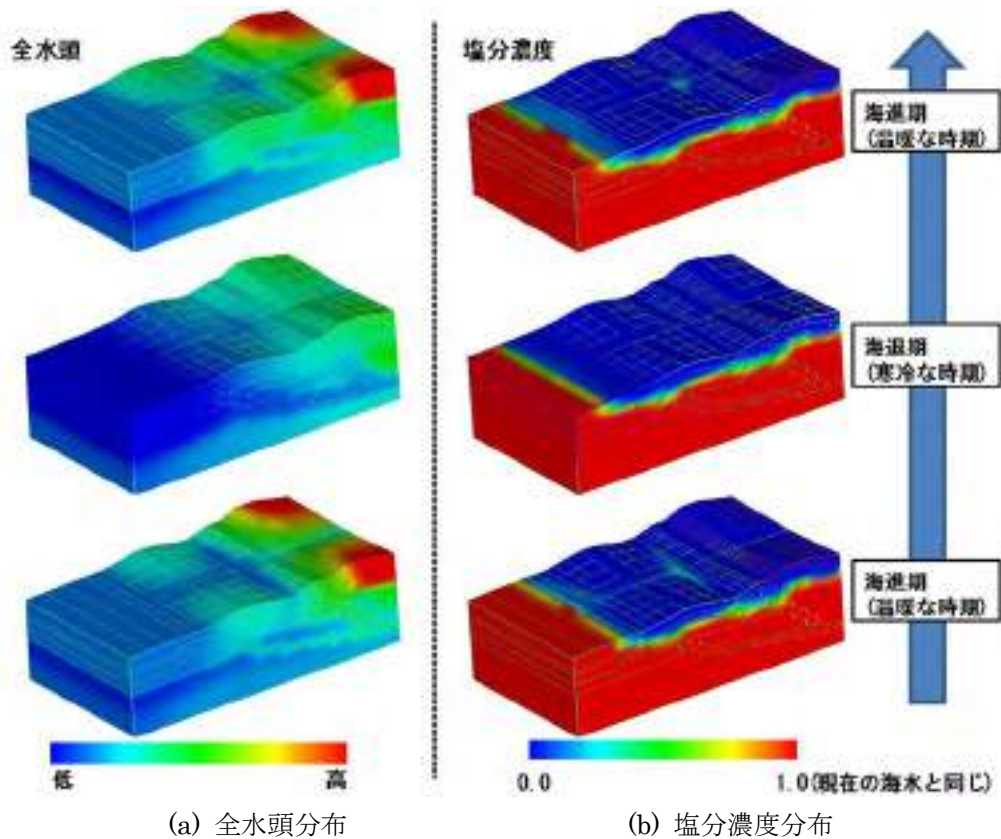


図 4.1.5-6 地下水流動解析の結果（例）

地層の変形の前後において地層の体積が変化しないことを仮定して、幌延地域における過去の地形と地質構造を復元し、復元した地形・地質構造に対して SMS を適用することにより、地下水の流れと塩分濃度の時間変化を解析した。具体的には、幌延地域で得られている地形・地質構造およびそれらの長期的な変遷に関するデータ^{21),22)}を用いて、現在と同様の地殻変動が開始する前と考えられている約 220 万年前の地形・地質構造の形状を復元し、初期モデルを構築した。次に、本地域の沿岸域において陸地が形成されていたと推定される約 130 万年前から現在までの期間を対象として、約 130 万年前から現在の本地域の地殻変動を踏まえ、タイム・ステップに応じて初期モデルを単純に東西方向に圧縮することで、複数の時期における地形・地質構造の二次元モデル（地形・地質構造の変遷モデル）を作成した（図 4.1.5-7）。

作成した複数の時期の地形・地質構造の二次元モデルに基づいて、地下水の流れやすさの空間分布を表現した水理地質構造モデルを作成し、SMS を用いて地下水の流れと塩分濃度の長期的な変遷を解析した。この解析では、海水準の変動（気候の変動）と地下水涵養量の変動を連動させて、温暖期に年間 100mm、最寒冷期で年間 0mm と設定した。また、モデル化・解析の対象は東西方向で海域を含む 100km 程度とし、深さ方向は数 km から 10km 程度とした。解析結果の一例とモデル化・解析の対象とした断面の位置を図 4.1.5-8 に示す。

これらの結果から、SMS を用いることにより、幌延地域で取得した地形・地質構造のデータを利用して地形・地質構造の変遷モデルが構築できること、海水準および地下水涵養量の変動を考慮した地下水の流れと塩分濃度の解析が可能であることを確認した。

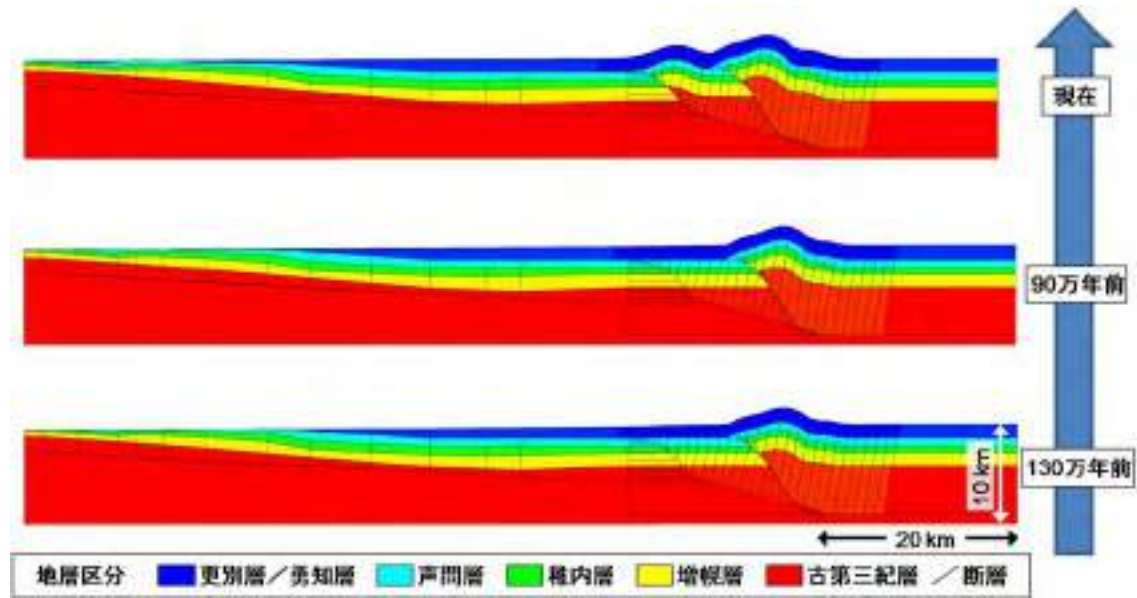
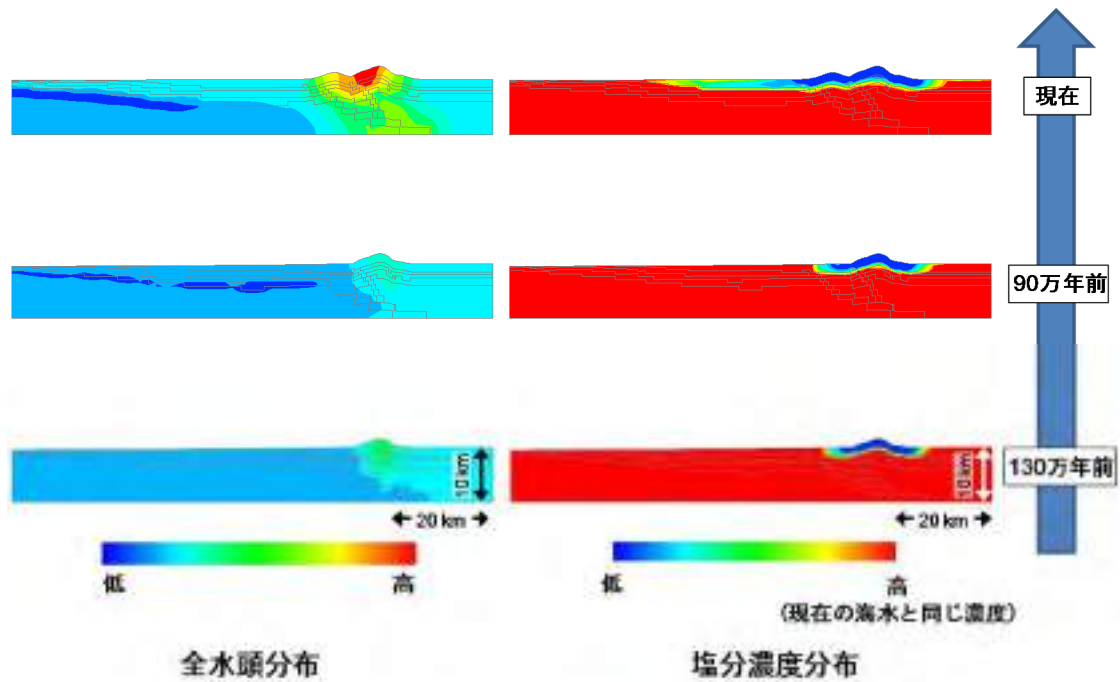


図 4.1.5-7 地形・地質構造の変遷モデル



(a) 解析結果の一例



(b) 解析の対象とした断面の位置

図 4.1.5-8 解析結果の一例と解析の対象とした断面の位置

4.2 地震研究

4.2.1 過去の地震活動

原子力機構では、過去に発生した地震の地域性や発生周期の検討に基づいて、将来の地震活動を予測する手法の構築を目指して、過去の地震活動に関する研究を進めている。過去の地震活動を把握する手法としては、文献史料を対象とした被害地震や被害津波に関する歴史記録の調査、活断層の活動履歴の調査、地震に伴い発生する津波や液状化現象により形成された堆積物の分布や形成時期の調査などが挙げられる。

被害地震に関する歴史記録を調べるため、既存の被害地震総覧や地震記録が記された学術論文、松前藩や津軽藩の古文書、寺社に保管されている史料などを対象とした既存の文献を用いた調査を行った²⁴⁾。2003年の十勝沖地震（マグニチュード8.0）の発生前後には、幌延町から震央までの距離が400km以上あるにもかかわらず幌延町内の地下水圧やGPS観測データに変化が認められた²⁴⁾。このため、既存の文献を用いた調査に際しては、北海道とその周辺で発生した地震を対象とした。

図4.2.1-1に北海道とその周辺で発生した被害地震の分布を示す。当初は道南の地震のみが記録されていたが、安永9年（1780年）に道東、寛政4年（1792年）に道央の地震が記録されるようになっていく。文化13年（1816年）以降は、厚岸での地震記録が増加し、その後は日高地方などの内陸で発生する地震とともに、全道で地震が記録されるようになっていく。一方、北海道の歴史についてみると、慶長9年（1604年）松前藩の成立、寛永元年（1624年）から正保元年（1644年）にかけての厚岸場所開設、そして宝暦4年（1754年）には国後場所が開設されている²⁵⁾。文化13年（1816年）以降は、自然災害も含めた厚岸周辺の様子が厚岸国泰寺の住職により「日鑑記」として記録されるようになり、その後、明治中期から大正時代にかけて開拓民が全道に移住し、気象台の地震観測網が充実した。このため、時代ごとに異なる地震記録の偏りと記録数の増加は、道内への和人の進出に対応したものであり、地震発生そのものの地域性や発生頻度を代表するものとは考えにくいと思われる。しかし、すべての時代を総合すると、地震の記録は道南や道東の太平洋沿岸地域で多く、日本海沿岸やオホーツク海沿岸地域では少ないことが分かる。

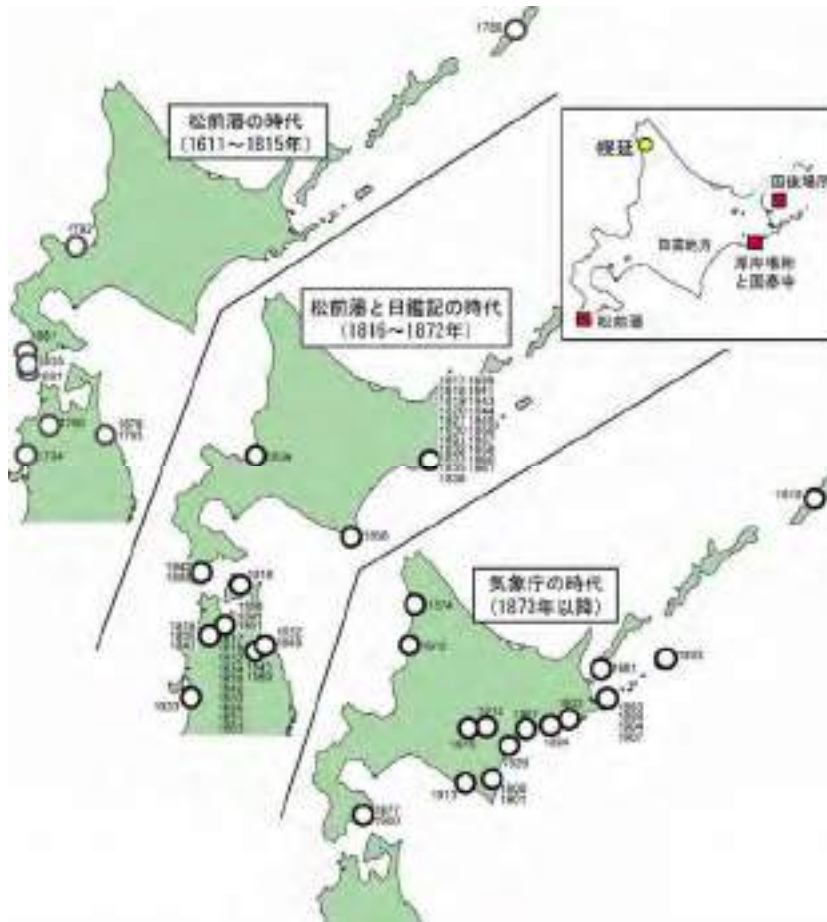


図 4.2.1-1 北海道とその周辺で発生した被害地震の分布

(白丸プロットは、被害地震が記録された位置を示し、白丸プロットに添えた 4 桁の数字は、地震の発生した年代を示す。「厚岸場所」、「国後場所」の位置は、河野(1996)²⁶⁾に基づく。)

4.2.2 現在の地震活動

幌延町を含む北海道北部地域で発生する地震の震源位置を精密に推定することによって、当該地域における地震・断層活動域を把握するため、2002 年度から 2003 年度にかけて幌延町内に合計 4 箇所の地震観測点を設置し、連続観測を実施している(図 4.2.2-1)。

地震観測点で記録された 2002 年 12 月 20 日以降の観測データを使って、幌延地域周辺で発生した地震の震源位置を推定した。なお、この解析には原子力機構が取得した地震観測データに加えて、独立行政法人防災科学技術研究所(現 国立研究開発法人防災科学技術研究所、以下、防災科学技術研究所という)らが取得した観測データ(気象庁一元化処理震源)も利用し、震源位置を高精度で推定することができるマルチプレート・クラスタリング解析を使用して解析を行った²⁷⁾。

図 4.2.2-2 に、2002 年 12 月 20 日から 2006 年 9 月 30 日にかけて北海道北部地域で発生した地震の震源分布を示す。この図において、赤丸は原子力機構の観測点で観測されたデータを使って震源位置を計算し直した地震を表しており、ほとんどの地震はマグニチュードが 3 よりも小さい地震であった。

原子力機構の観測点で観測されたデータを使って解析した結果、幌延地域周辺における地震の震源はおおよそ北北東-南南西方向に延びた分布をしており、特に幌延町東部ではその傾向が顕著にみられることや、2003 年 12 月の観測開始以来、同様な場所で地震が発生していることが分

かった。また、それらの地域には活断層や活しゅう曲の存在が知られており²⁸⁾、これらの地震活動との関連が推測される。一方で、気象庁により推定されている震源分布はこの結果に比べて空間的にばらついており、今回の解析では既存の震源分布と比べて高い位置精度の震源分布を得ることができた。なお、地震計を使って観測する地震波は、規模（マグニチュード）が小さく、遠く離れた場所で発生した地震であるほど捉えることが困難になる。そのため、原子力機構の観測点で観測された地震の震源のほとんどは、幌延地域周辺に分布している。



図 4.2.2-1 幌延町周辺に設置されている地震計の位置

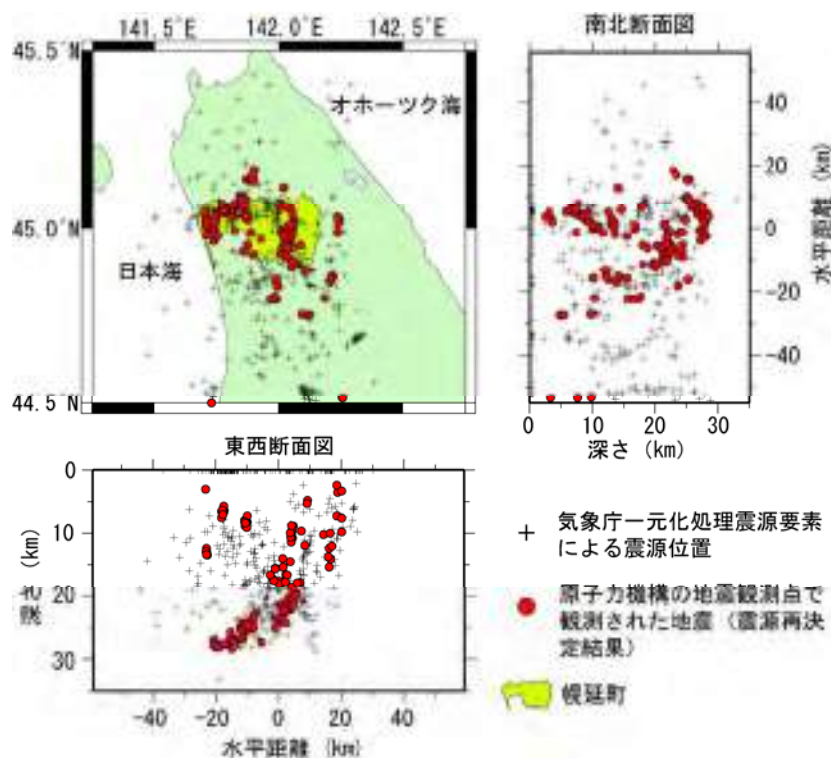


図 4.2.2-2 北海道北部地域における地震の震源分布（2003.12.20～2006.9.30）

断面図における深さと水平距離の比は 1:2, GMT²⁹⁾により作図

図 4.2.2-3 は、2002 年 12 月 20 日から 2007 年 9 月 30 日まで、すなわち、前述の図 4.2.2-2 から更に 1 年間のデータを加えて、北海道北部地域で発生した地震について、原子力機構の地震観測点で観測されたデータを使って計算した震源の分布を表している。ほとんどの地震は、地震の規模を示すマグニチュードが 3 よりも小さい地震であった。マグニチュードが小さい地震の地震波は、遠方ほど観測が困難になるため、原子力機構の観測点で観測された地震の震源のほとんどが幌延地域周辺に分布する結果となっている。これらの地震の震源位置は、これまでに推定されてきたものと同様の分布傾向を示しており、同様な場所で地震が発生していることが分かった。2007 年度の調査研究により、北海道北部地域における震源位置の分布について、過去約 5 年間の傾向を把握することができた。

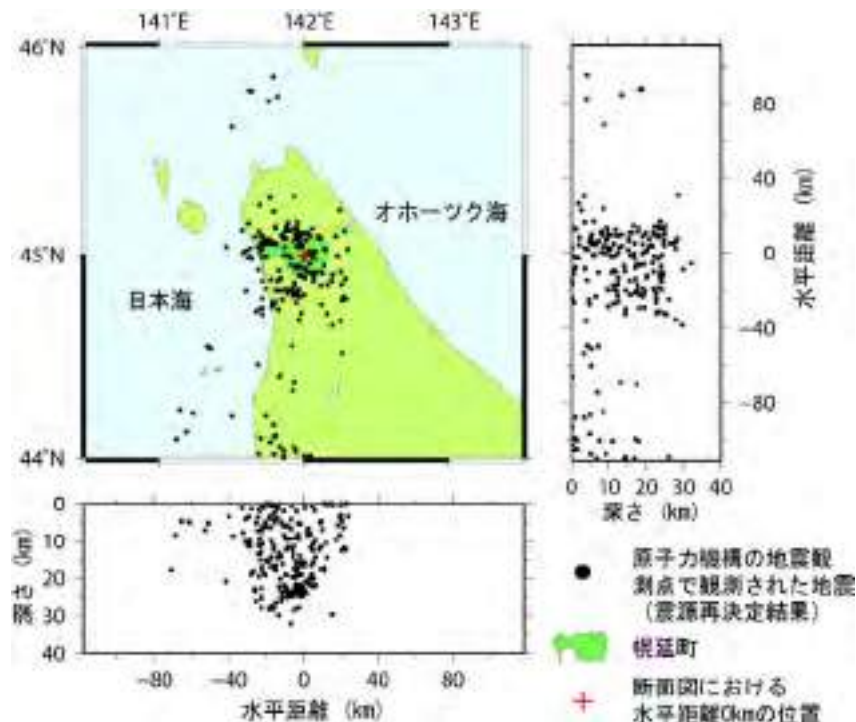


図 4.2.2-3 原子力機構の地震観測点で捉えられた観測結果に基づく北海道北部地域における地震の震源分布（2003.12.20～2007.9.30）

2007 年 10 月 1 日から 2008 年 10 月 4 日までの観測データを使用して、幌延地域周辺で発生した地震の震源位置の再決定を行った。この解析には原子力機構が取得した地震観測データに加えて、気象庁一元化処理震源も利用した。

図 4.2.2-4 は、この期間に北海道北部地域で発生した地震の震源分布を表している。ほとんどの地震は、地震の規模を示すマグニチュードが 3 よりも小さい地震であったが、2008 年 10 月 4 日には、図中に星印で示す地点を震源としたマグニチュード 3.5 の地震が 40 秒ほどの間隔をあけて 2 度発生した。また、地上と地下 138m の 2 箇所に地震計が設置されている上幌延観測点での地震観測データ（図 4.2.2-5）から、これらの 2 つの地震に伴う地下の揺れは地上の揺れに比べてかなり小さいものであったことが確認された。これらの地震を含め、観測期間中に発生した地震の震源位置は、これまでに観測されてきたものと同様の分布傾向を示しており、同様な場所で地震が発生していることが分かった。

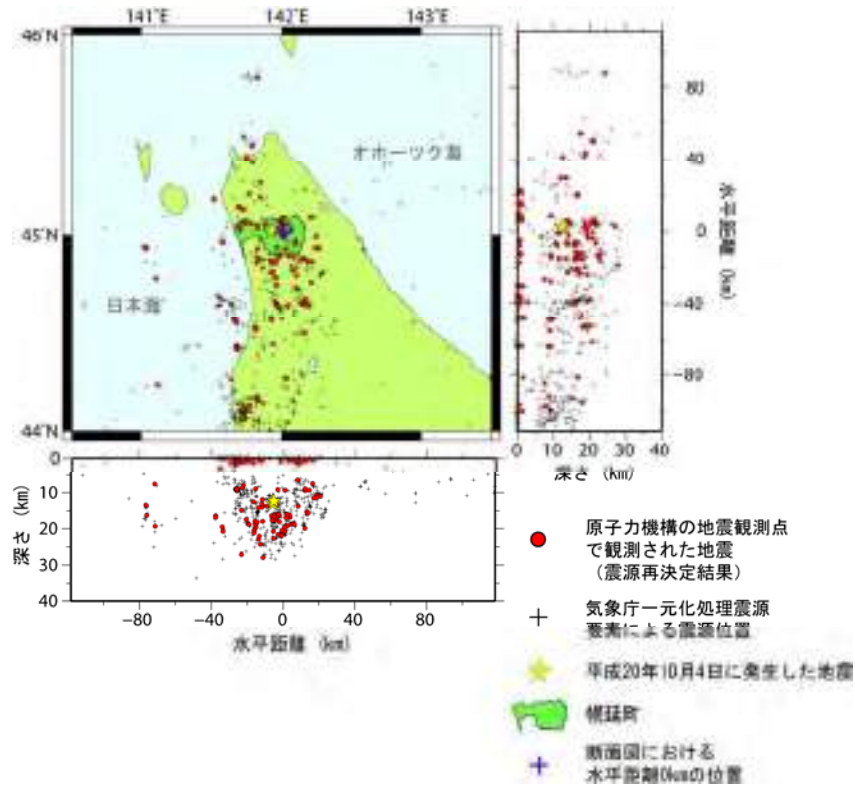


図 4.2.2-4 北海道北部地域で発生した地震の震源分布（2007.10.1～2008.10.4）

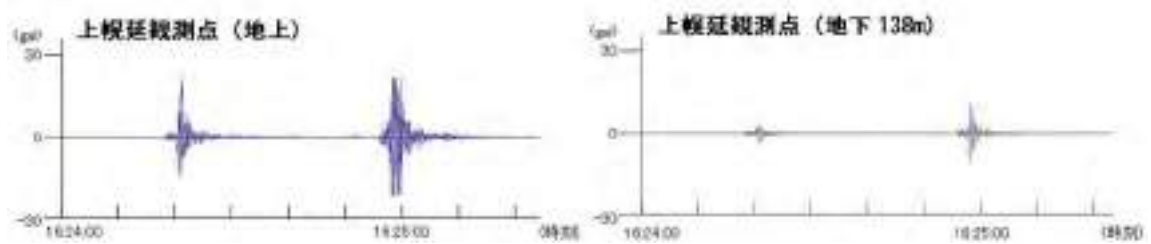


図 4.2.2-5 2008 年 10 月 4 日 16 時 24 分頃に上幌延観測点地上（左図）および地下（右図）地震計で記録された南北方向成分の地震波形

2007 年 10 月 1 日から 2009 年 9 月 30 日までの観測データを使用して、幌延地域周辺で発生した地震の震源位置の再決定を行った。この解析には原子力機構が取得した地震観測データに加えて、気象庁一元化処理震源も利用した。図 4.2.2-6 は、この期間に北海道北部地域で発生した地震の震源分布を表している。

2007 年 10 月 1 日から 2008 年 10 月 4 日までの観測データを使用した図 4.2.2-4 と同様の傾向を示している。

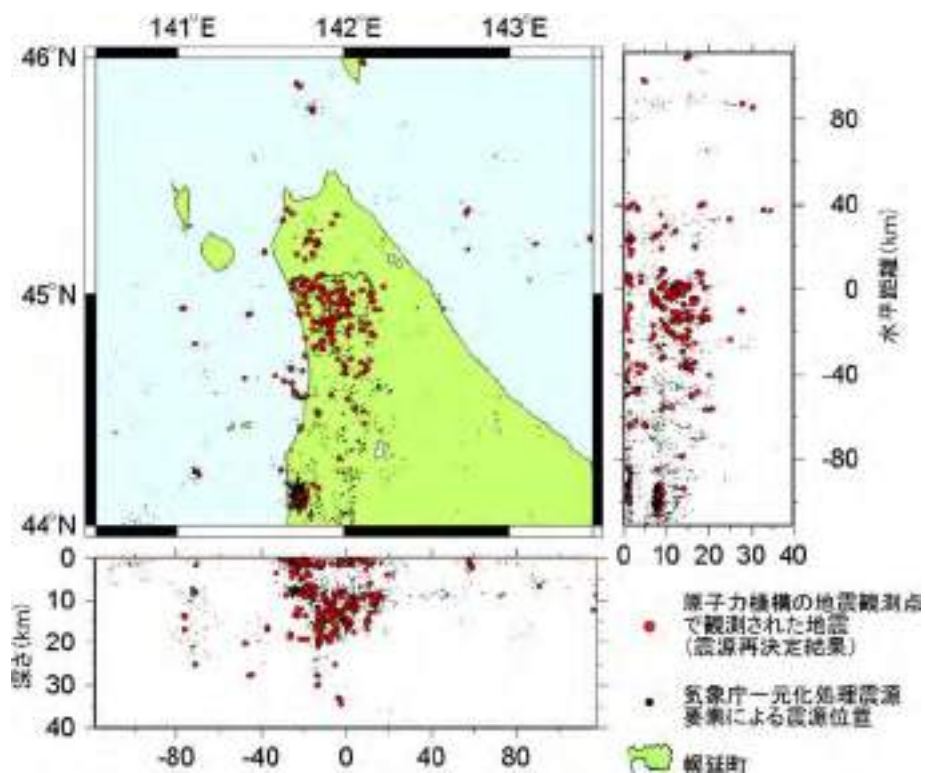


図 4.2.2-6 北海道北部地域で発生した地震の震源分布 (2007.10.1～2009.9.30)

幌延町内に設置している 4 箇所の地震観測点ならびに 2 箇所の GPS 観測点 (図 4.2.2-7 参照) での連続観測で取得した観測データを用いて、地震の震源と断層やしゅう曲などの地質構造との関連性について検討を行った。また、地震時の地下水の流れの変化について、2011 年 3 月 11 日に発生した、平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震に伴う地下水の間隙水圧の変化の有無を確認した³⁰⁾。観測結果については、4.2.4 地震時の地下水流動の変化に示す。

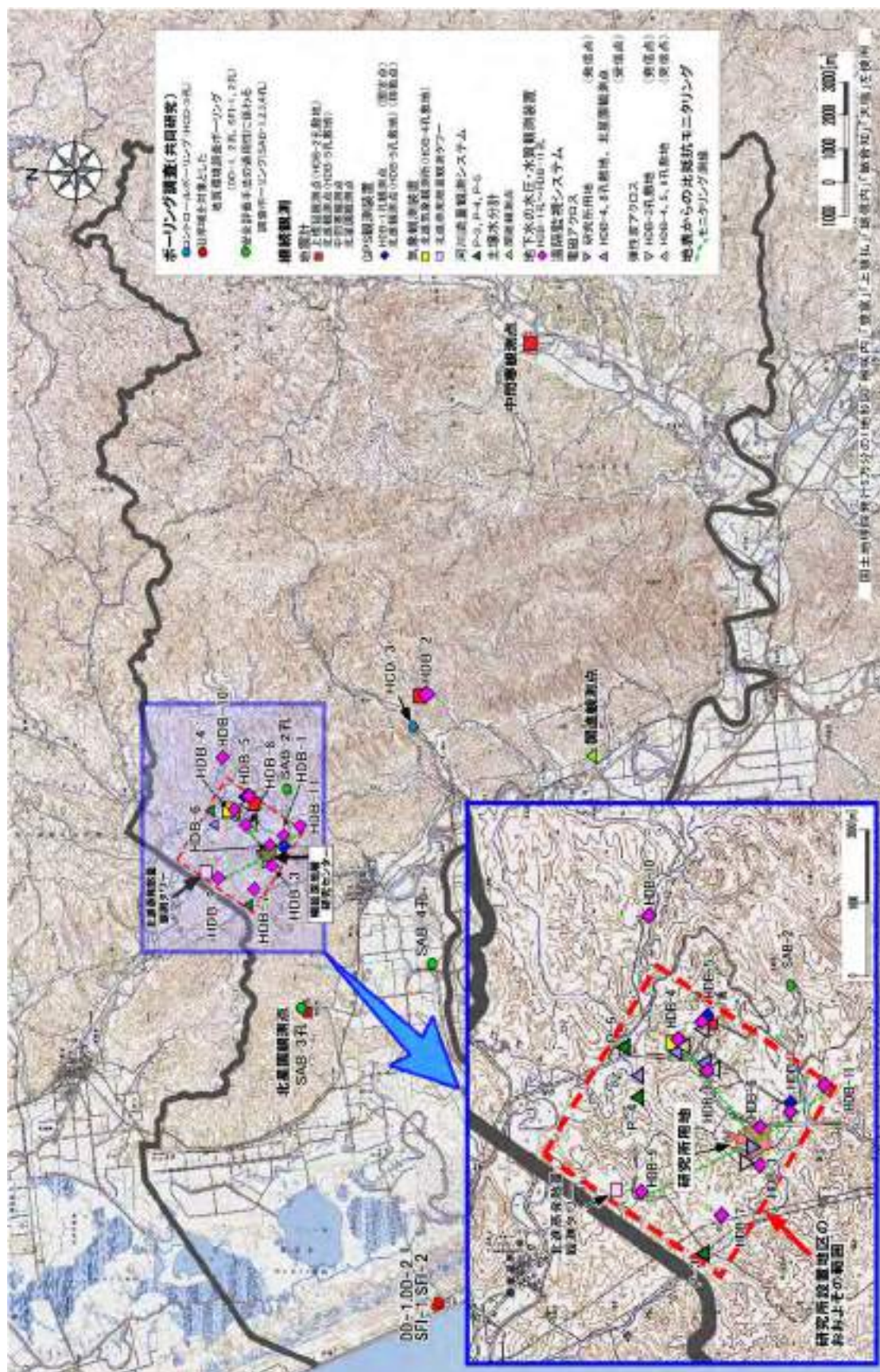


図4.2.2-7 ボーリング孔の位置および観測装置の設置場所

4.2.3 断層活動が地質環境に与える影響

断層活動が地質環境に与える影響を把握するための数値解析では、北海道北部地域を対象に、断層の運動に伴って周辺岩盤の変形の状況について、感度解析的にコンピュータシミュレーションを行った。図 4.2.3-1 は、大曲断層を含む一連の断層の分布を仮定した数値解析の結果である。断層の運動に伴って断層を挟んだ両側の岩盤がずれることで、その周辺の地面の鉛直方向の変動量を示している。この図から、断層から 10km 程度以内の地点において、断層の東側では隆起し、西側では沈降することが分かる。このような断層の運動はこの地域の地質構造の変遷に深く関与していると推測される。

断層の活動の特徴を調べるための地質調査および岩石サンプルの分析を実施した。上幌延の大曲断層より東側で地質調査を行い、計 6 箇所採取した試料の磁化の方向を測定した。磁性鉱物は堆積する時に地磁気の影響を受け、N 極と S 極の方向にほぼ平行に配列している。堆積の後に断層運動などによって岩石が変形したり回転したりすると、岩石中の磁性鉱物の N 極と S 極の方向が地磁気の方位からずれることになる。このため、岩石の磁化の方向を測定し、現在の地磁気の方位と比較することで、断層運動に伴う岩石の変形や回転を調べることができる。

図 4.2.3-2 は、測定結果に基づいて推定した大曲断層の東側における過去の岩石の方位を示している。この図から、大曲断層の東側の岩石は、現在とほぼ同じ方位を向いていたことが分かる。これにより、大曲断層東側の地層では、過去の断層運動による水平方向の回転がほとんど生じていないことが推測された。

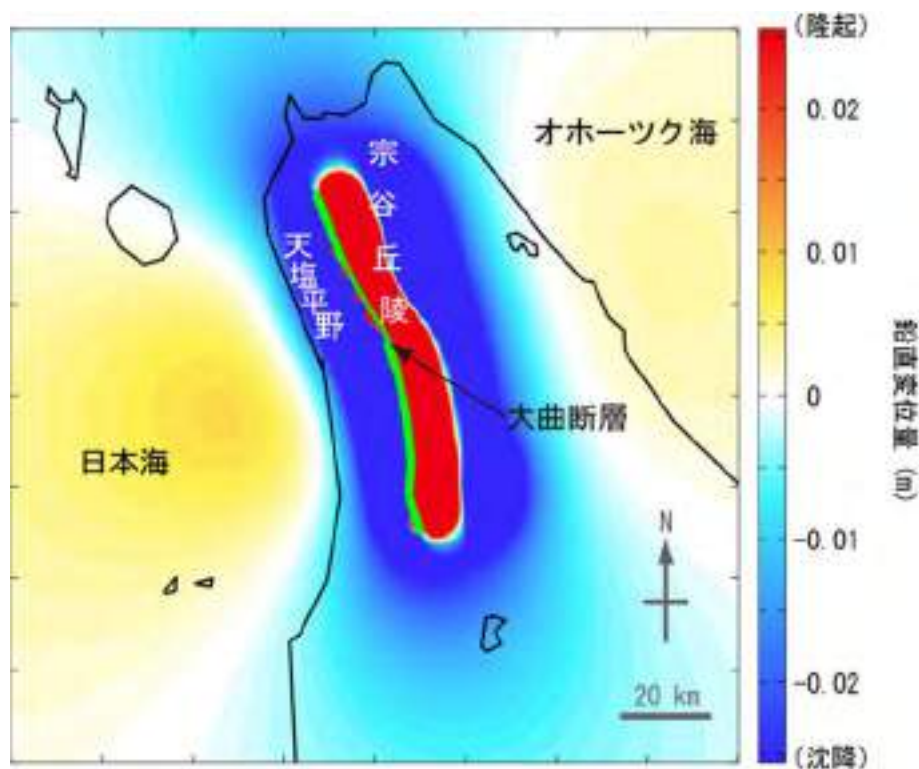


図 4.2.3-1 数値解析によって推定した大曲断層の活動に伴う北海道北部地域の鉛直変動量

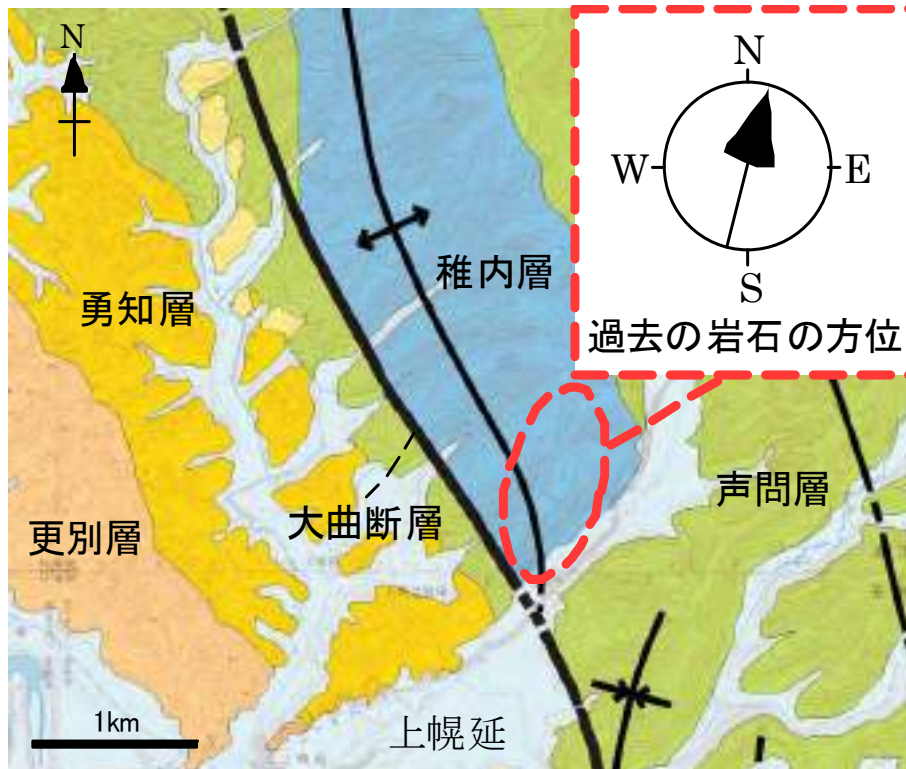


図 4.2.3-2 大曲断層より東側の地点における過去の岩石の方位
地形図は国土地理院発行 5 万分の 1 地形図「豊富」「雄信内」を使用

断層活動が地質環境に与える影響を把握するために、断層の運動に伴う周辺岩盤の変形の過程について、主断層と副断層を仮定した数値解析による推定を行った。図 4.2.3-3 は、断層を挟んだ両側の岩盤のずれ（図 4.2.3-3 において、断層の右側が左側に対して衝上する斜め横ずれ断層の運動）を想定した数値解析の結果である。断層の運動に伴う周辺の地面の動き方を推定したもので、地面の隆起、沈降は、それぞれ暖色系、寒色系で示している。また、赤線、青線、緑線は岩盤の主応力軸の方向を表している。

図の中心付近、主断層と副断層の間には変動が小さい領域が見られる。岩盤に作用する主応力の方向をみると、全体としては東西方向を示す最大主応力軸の方向が断層近傍では異なる向きを示す様子が見られる。このような断層周辺の地面や岩盤の変化は地質構造の長期的な変化に深く関与していると推測される。

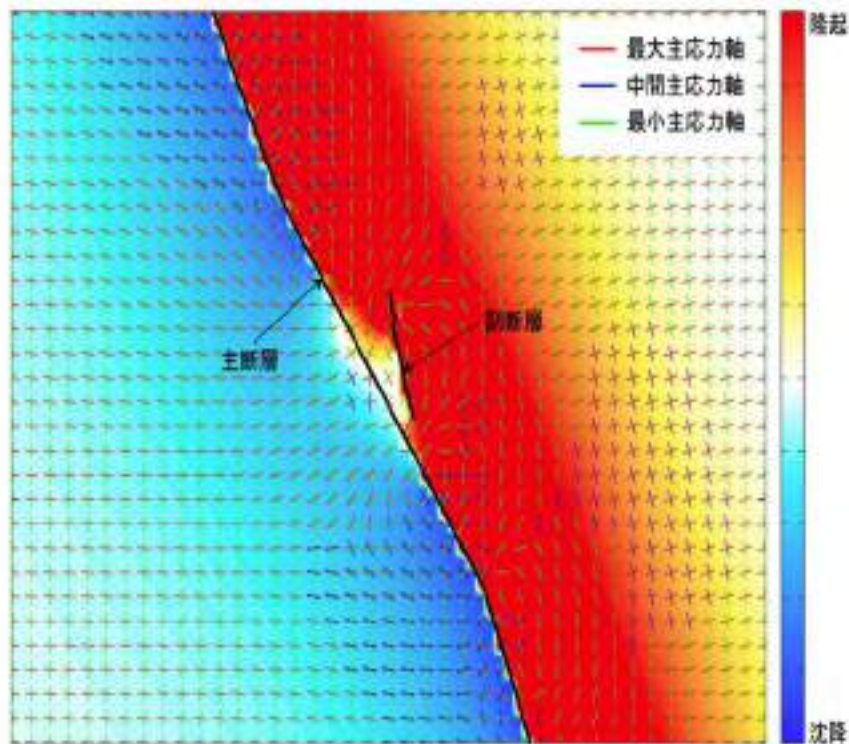


図 4.2.3-3 数値解析によって推定した地面の鉛直変動および応力軸の回転

4.2.4 地震時の地下水流動の変化

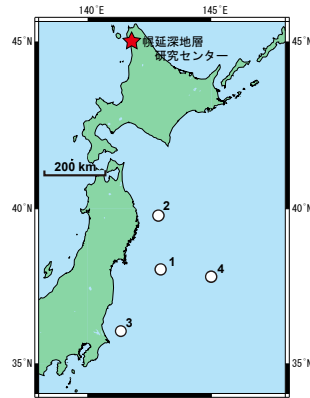
地質環境に対する地震の影響としては、地震動およびそれに伴う地下水の流れや水質の変化が考えられる。これまでに幌延深地層研究センターでは、2003 年十勝沖地震（マグニチュード 8.0）に伴う地下水の間隙水圧の変化の有無について検討し、1kPa 程度の変動ではあるものの、地下水の間隙水圧は地震発生 4 日前に上昇、2 日前から地震発生まで減少、地震直後には再度上昇するという変化が HDB-1 孔で認められている⁴⁾。ただし、地震発生時以外でも同様の地下水の間隙水圧の変化が観測されていることから、潮汐などによる日周期変動や降雨量との比較検討が必要と考えられた⁴⁾。

2011 年 3 月 11 日に発生した、平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震（図 4.2.4-1）に伴う地下水の間隙水圧の変化の有無について、地上からのボーリング孔および地下施設の深度 140m 調査坑道のボーリング孔における地下水の間隙水圧のモニタリング結果を確認した。その結果、地上からのボーリング孔では地震の発生前後において 2～6kPa 程度の変化³⁰⁾、深度 140m 調査坑道のボーリング孔では数十 kPa 程度の変化がモニタリングデータで複数認められ、その変化はいくつかのパターンに区分できることが分かった。（図 4.2.4-2）。すなわち、地震の発生時刻の前後において一時的に間隙水圧の変動が認められ、その後、徐々にもとの傾向へ戻るタイプ（深度 140m 調査坑道 P1, P3, P4, P5 試験区間）、地震の発生前後から地下水の間隙水圧が変化し、その変化が継続しているタイプ（HDB-5 孔の深度 167.8m, 280.9m, 371.5m）、地震の発生前後において変化がほとんど認められないタイプ（深度 140m 調査坑道 P2, HDB-5 孔の深度 410.7m, 441.5m, 496.1m）の 3 タイプである。ほとんど変化が認められないタイプをより詳しく見ると、大気圧や地球の潮汐の影響による変動が地震の発生時刻以降において、より明瞭になる傾向がある。（HDB-5 孔の深度 410.7m, 441.5m, 496.1m）。

これらの地下水の間隙水圧の変化は、地震の発生時刻の前後で生じていることから、地震による影響と考えられるが、本震と余震をふくめて、地震の発生していない時刻にもほぼ同様の変動

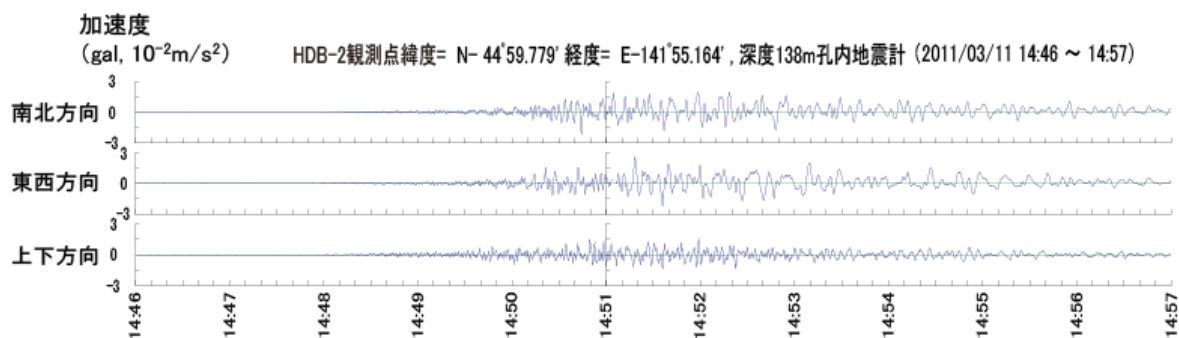
が観測されている場合もある。(図 4.2.4-2 上 ; 深度 140m 調査坑道の P1 試験区間)。また, モニタリング地点や試験区間によって地下水の間隙水圧の変化のパターンが異なることは, 地震時の地下水の応答が各地点や各試験区間における岩盤の水理特性によって異なることを示すものと考えられる。

		発震時刻	マグニチュード
本震	1	2011年3月11日 14時46分	M9.0
余震	2	15時08分	M7.4
	3	15時15分	M7.7
	4	15時25分	M7.5



(a) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の本震および余震³¹⁾

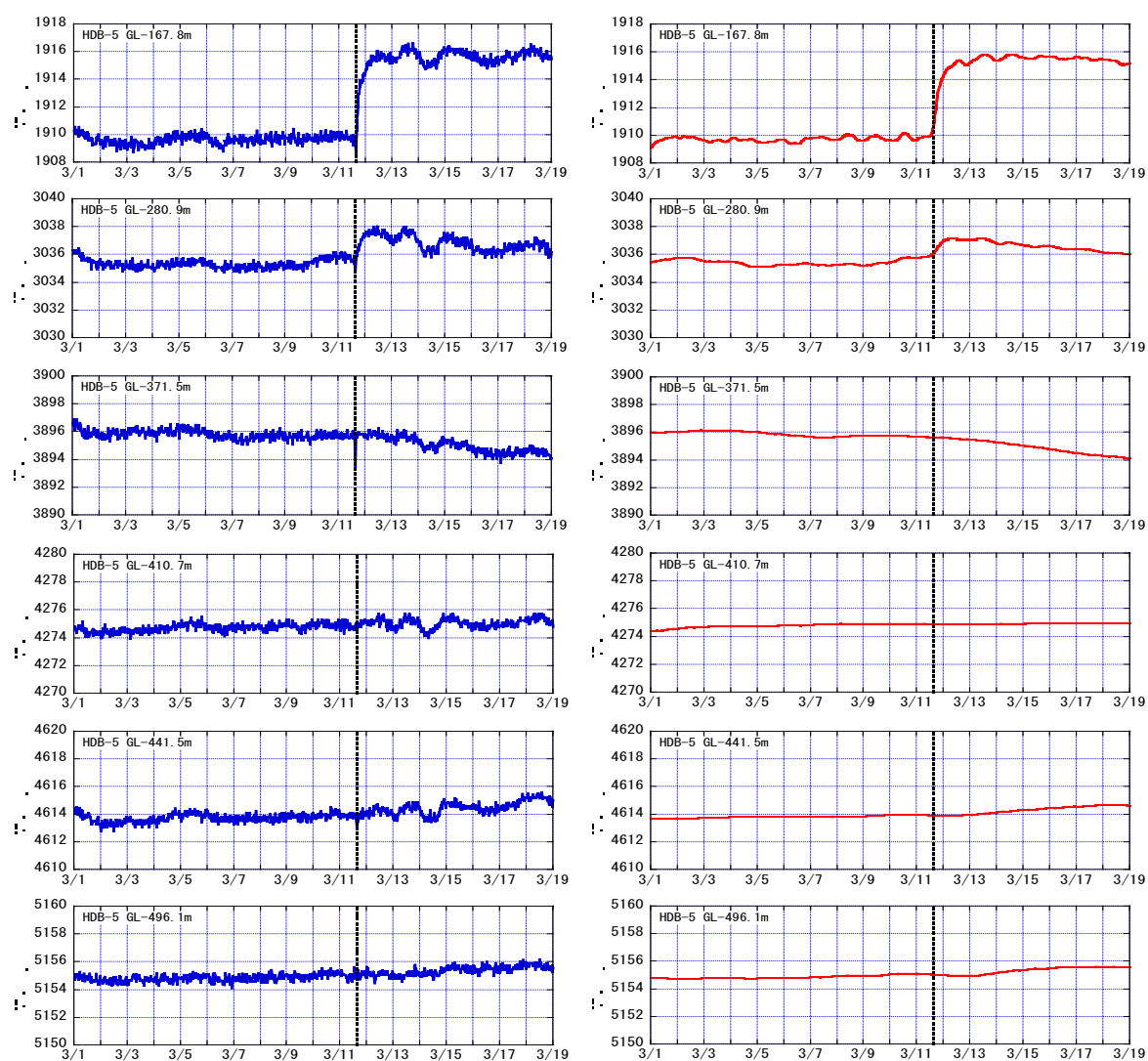
マグニチュード7.0以上の地震のみ。右上図の白丸(○)はM7.0以上の地震の震央を示し, 各震央の番号は左表の番号に対応。



(b) 幌延深地層研究センターHDB-2観測点で観測された地震波形

※幌延で観測された加速度は, 2003年十勝沖地震(M8.0)の1/3程度。

図 4.2.4-1 平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の震央と幌延で観測された地震波形



(b) 気圧・潮汐変動影響除去データ
潮汐解析プログラムBAYTAP-G³²⁾を用いて解析

(上：地下施設の深度 140m 調査坑道，下：地上からのボーリング孔（HDB-5 孔））

参考文献

- 1) 国土地理院: “数値地図 50m メッシュ (標高) 日本-I” (CD-ROM), 国土地理院 (2001) .
- 2) 石油公団: “国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「天北」調査報告書” (1995) .
- 3) 北沢俊幸: “北海道北部天塩平野における海岸砂丘列の配列様式と年代”, 日本堆積学会 2009 年大会, ポスター13 (2009) .
- 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: “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, 434p. (2007) .
- 5) 北沢俊幸, 常盤哲也: “天塩川河口砂州周辺における地中レーダー探査と OSL 年代測定”, 日本堆積学会 2010 年大会 (茨城大学) (2010) .
- 6) 新里忠史, 重野聖之, 宮坂省吾, 小板橋重一: “北海道北部, 幌延地域における地形発達史”, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, (2010) .
- 7) Miller, K.G., Kominz, M. A., Browning, J. V., Wright, J. D., Mountain, G. S., Katz, M. E., Sugarman, P. J., Cramer, B. S., Blick, N. C. and Pekar, S. F.: “The Phanerozoic record of global sea-level change”, *Science*, 310, pp.1293-1295 (2005).
- 8) Siddall, M., Chappell, J. and Potter, E. K.: “Eustatic sea level during past interglacials”, Sirocko, F., Claussen, M., Sánchez Goñi, M. F. and Litt, T., (ed.), “The climate of past interglacials (Developments in Quaternary Science 7)”, Elsevier, pp.75-92 (2007).
- 9) OECD/NEA: “Features, events and processes (FEPs) for geologic disposal of radioactive waste-An international database-”, OECD/NEA (2000).
- 10) 平 朝彦: “日本海東縁の変動とテクトニクス”, 大竹政和, 平 朝彦, 太田陽子 (編) 「日本海東縁の活断層と地震テクトニクス」, 東京大学出版会, pp.3-15 (2002) .
- 11) 岩月輝希, 石井英一, 新里忠史: “北海道幌延地域における深部地球化学環境の長期変遷シナリオの構築”, 地学雑誌, Vol.118, pp.700-716 (2009) .
- 12) 町田 洋, 大場忠道, 小野 昭, 山崎晴雄, 河村善也, 百原 新: “第四紀学”, 朝倉書店 (2003) .
- 13) 五十嵐八枝子 (1991): “完新世の森林と気候の変化”, 北海道の自然史, 北海道大学図書刊行会, pp.181-205 (2003) .
- 14) 三浦英樹, 平川一臣: “北海道北・東部における化石凍結割れ目構造の起源”, 地学雑誌, 104, pp.189-224 (1995) .
- 15) Wessel, P. and W. H. F. Smith: “Free software helps map and display data”, *EOS Trans. Amer. Geophys. U.*, 72, 441, pp.445-446 (1991).
- 16) 常盤哲也, 浅森浩一, 石井英一, 舟木泰智, Stress transition estimated by GPS observation and fault-striation analysis in the Horonobe area, northern Hokkaido, 日本地質学会第 116 年学術大会, 2009.
- 17) Ishii E., Sanada H., Funaki H., Sugita Y. and Kurikami H., The relationships among brittleness, deformation behavior, and transport properties in mudstones: An example from the Horonobe Underground Research Laboratory, Japan, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 116, B09206, 15p. (2011).
- 18) Ishii E., Microstructure and origin of faults in siliceous mudstone at the Horonobe Underground Research Laboratory site, Japan, *Journal of Structural Geology*, 34, pp.20-29, (2012).
- 19) 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: “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, 116p (2009) .
- 20) 松井裕哉, 中山 雅, 真田祐幸 (編) : “幌延深地層研究計画 平成 18 年度調査研究成果報告”, JAEA-Research 2007-092, 83p. (2007) .
 - 21) 新里忠史, 舟木泰智, 安江健一 : “北海道北部, 幌延地域における後期鮮新世以降の古地理と地質構造発達史”, 地質学雑誌, Vol.113, 補遺, pp.119-135 (2007) .
 - 22) Tokiwa, T., Asamori, K., Niizato, T., Nohara, T., Matsuura, Y. and Kosaka, K., : “An Attempt to Evaluate Horizontal Crustal Movement by Geodetic and Geological Approach in the Horonobe Area, Northern Hokkaido, Japan” , Proceedings of The 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), ICEM2010-40189, pp.407-413 (2010).
 - 23) 新里忠史, 重野聖之, 清水康博 : “北海道における地震に関するアイヌの口碑伝説と歴史記録”, 歴史地震 21, pp.121-136 (2006)
 - 24) 核燃料サイクル開発機構 : “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－平成 15 年度報告－”, JNC TN1400 2004-007, 409p. (2004) .
 - 25) 北海道編 : “新北海道史年表”, 北海道出版企画センター (1992) .
 - 26) 河野本道 : “アイヌ史／概説”, 北海道出版企画センター (1996) .
 - 27) 落合彰二, 浅森浩一, 常盤哲也, 野原 壯, 松岡稔幸 : “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, 69p. (2014).
 - 28) 中田 高, 今泉俊文 : “活断層詳細デジタルマップ (DVD2 枚+付図) ” , 東京大学出版会, 東京 (2002) .
 - 29) Wessel, P. and W. H. F. Smith., : “Free software helps map and display data” , EOS Trans. Amer. Geophys. U., 72, 441, pp.445-446 (1991).
 - 30) 宮川和也, 野原 壯, 山崎雅則, 常盤哲也 : “東北地方太平洋沖地震に伴う北海道北部地下水観測井における地下水位変化”, 日本地震学会 2011 年度秋季大会, P3-61, 静岡県, 2011 年 10 月 (2011).
 - 31) 気象庁ホームページ, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> <アクセス 2016 年 6 月 1 日> .
 - 32) Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe and M. Ishiguro. : “A Procedure for Tidal Analysis with a Bayesian Information Criterion” , Geophys. J. Int., vol.104, pp.507-516 (1991).

5. 地層処分研究開発

5.1 処分技術の信頼性向上

幌延深地層研究計画では、2005 年度に、地下研究施設の建設に着手し、地上からの調査研究を中心とした第 1 段階から、坑道掘削時における調査研究を実施する第 2 段階へと移行した。

処分技術の信頼性向上に関する研究開発は、これまでに工学技術の基盤技術開発として、「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分技術の技術的信頼性-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」において示した工学技術をもとに、幌延の第 1 段階で得られた地層環境条件を対象として、工学技術の具体的な地質環境への適用性の検討を行ってきた。なお、ここで「工学技術」とは、「建設・操業・閉鎖に関わる工学技術」、「段階的な地質環境情報に応じた設計手法」、「設計に必要なデータ（長期挙動評価の基盤データ）」、「現象理解に基づくモデル（人工バリア・岩盤の長期挙動の理解）」を統括したものであり、人工バリアや地下の処分施設の設計に必要な技術を指す。

第 2 段階では、調査試験の進捗により得られる知見（データ、メカニズムなど）をもとに工学技術の適用性をさらに検討し、工学技術の信頼性を向上させ、これらの成果を体系的に整理し、知識基盤へ反映することを目的に研究開発を進めてきた。2010 年度から開始した第 3 段階では、地下研究施設周辺の地質環境特性の詳細調査、地層処分研究開発のための各種原位置試験を実施している。

以下に、2006 年度から 2010 年度までに実施した処分技術の信頼性向上に関する研究の成果を取りまとめる。なお、低アルカリ性コンクリートの施工確認試験および低アルカリ性セメント系グラウト材料の開発・原位置試験については、坑道掘削と密接に関連するため、第 2 段階の調査研究と位置付けて、2014 年度までの成果を取りまとめる。

5.1.1 人工バリアなどの工学技術の検証

1) 低アルカリ性コンクリート施工確認試験

地下施設を建設する際には、コンクリート材料を支保工として使用するため、セメントの間隙水が pH12～13 程度の高アルカリ性となり周辺の岩盤や緩衝材に影響を及ぼす可能性がある。そこで、その影響を緩和するため、通常のセメントに比べて間隙水の pH が低くなるセメント（低アルカリ性セメント：HFSC）の開発を 2001 年度から継続して行っている。2005 年度までに、HFSC を用いたコンクリートが吹付けコンクリートおよび場所打ちコンクリートとして、施工に必要な流動特性や初期強度などの基本的要件を有することを確認し、地下施設の設計基準強度を上まわる配合などについて検討した。

2006 年度は、第 2 段階で計画している地下施設における施工試験（原位置試験）に HFSC を使用する上で必要な検討を行った。具体的には、前年度までに選定した地下施設の支保工に要求される強度を満足する HFSC の配合に基づき、地下施設の工事に使用されている材料を用いて、その強度を満たしうる HFSC の配合検討を行い、所定の強度が得られることを確認した。また、水平坑道で予定している原位置試験の計画を検討した。

コンクリート材料は、セメント、骨材（砂利、砂など）などから構成される複合材料であり、HFSC はそれに加えて、目標とする pH を達成するために、シリカフュームなどの混和材を添加したものである。そのため、これらの材料のメーカーや、採取場所、さらには坑道壁面への吹き付けに使用する機械などによって、強度が大きく変化する可能性がある。このため、実際に地下施設の工事で使用されている材料を用い、前年度に検討した配合での吹付けコンクリートの配合選定試験を行った。HFSC424N および HFSC424H と称する 2 種類の配合に対して、水セメント

比を 35%, 40%, 45%とした計 6 ケースの配合について、得られたコンクリートの強度などを調べた。結果の一例を図 5.1.1-1 に示す。比較のために、前年度に行った試験結果も併せて示す。図中の点線は材齢 28 日での目標強度 (46.8N/mm^2) を示す。

図 5.1.1-1 から、水セメント比が低いものほど強度が上がっている傾向は 2005 年度と同様であるが、これまでの試験で用いた材料よりも地下施設の工事で使われる材料の方が強度が低くなることがわかった。これは、骨材を碎石から玉砂利に変えたことが主な原因と考えられる。また、この結果から、地下施設工事で使用している材料を用いて HFSC を施工する際には、水セメント比を 35%程度にする必要があることがわかった。

また、実際の原位置試験に向けて、詳細な試験計画を検討した。図 5.1.1-2 に検討した水平坑道における原位置試験のフロー図を示す。地下施設での原位置試験の計画では、地下施設工事で使用する吹き付け機械などを用いて、地上での配合選定試験および強度確認試験を行い、その後に水平坑道での施工試験を実施することとし、施工後はコンクリート材料が地下水に与える影響やコンクリート材料の耐久性についての試験を 10 年程度にわたって継続することとした²⁾。

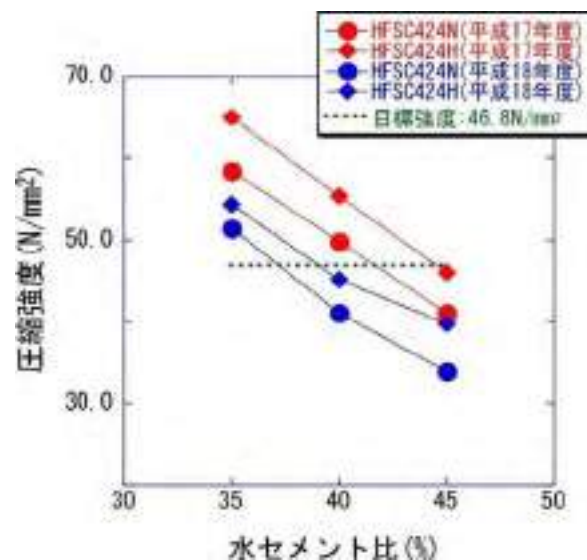


図 5.1.1-1 HFSC を用いたコンクリートの圧縮強度試験結果（材齢 28 日）

HFSC424N, HFSC424H : N は普通ポルトランドセメント, H は早強ポルトランドセメントをベースにした HFSC を表す。

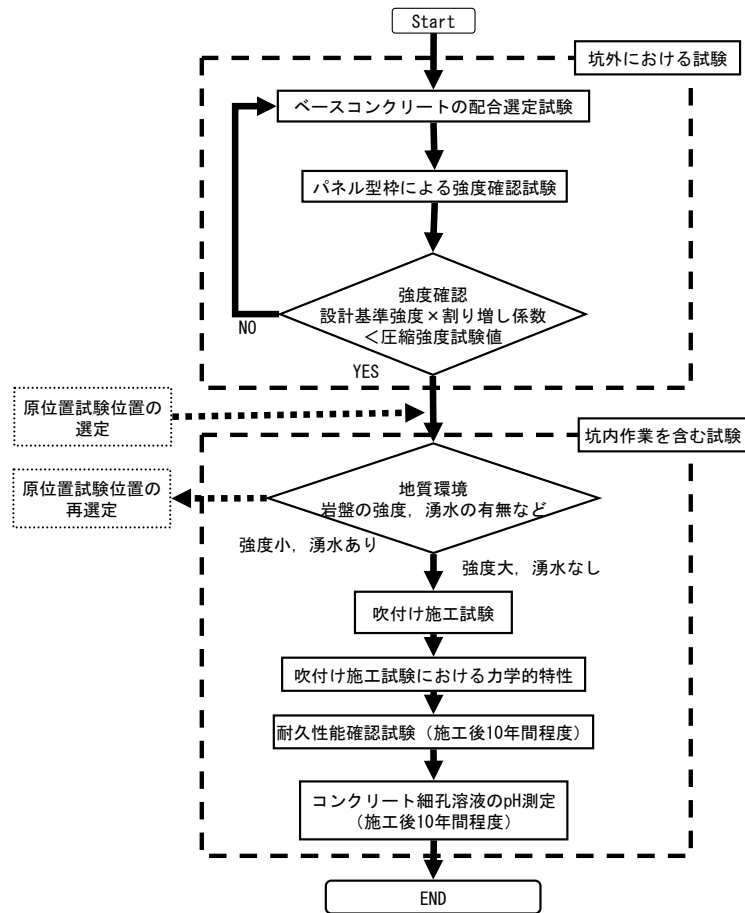


図 5.1.1-2 水平坑道における低アルカリ性セメントの施工性に関する原位置試験のフロー

2007 年度は、HFSC を用いた鉄筋コンクリートの耐久性や施工時の品質管理の方法などについて検討した。具体的には海中に 6 年間暴露した HFSC を用いた鉄筋コンクリートと、普通ポルトランドセメント（以下、OPC）を用いた鉄筋コンクリートを比較し、内部の鉄筋の腐食状態を比較した。また、鉄筋の腐食によってコンクリートにひび割れが生じるまでの期間について検討した。

コンクリート中の鉄筋の腐食状況を調べるため、海中に暴露したコンクリート試料から取り出した鉄筋を図 5.1.1-3 および図 5.1.1-4 に示す。両図を比較すると、HFSC 中の鉄筋の方が OPC 中のものに比べて腐食しているのがわかる。腐食面積率および腐食減量率を比較したものを図 5.1.1-5 と図 5.1.1-6 に示す。両図には暴露期間 0～3 年の結果^{3),4),5)}もあわせて示した。図 5.1.1-5 から、OPC 中の腐食面積率が 6 年間を通じてほとんど 0%であるのに対し、HFSC 中では全体の面積の 20%程度に腐食がみられた。図 5.1.1-6 から、OPC 中の鉄筋で 0.2～0.3%の腐食減量がみられるが、これは鉄筋をコンクリートから取り出す際に鉄筋が傷ついたことなどによる誤差と考えられる。一方、HFSC 中の鉄筋の腐食減量率は 0.4～0.6%であり、腐食面積の大きさの割に小さな値となった。これは、HFSC 中の鉄筋で発生した腐食は表層部にとどまっていることを示す。また、図 5.1.1-6 から暴露期間が 1～6 年では、腐食の進行が極めて遅い結果となった。これは鉄筋が腐食するのに必要な水分と酸素の侵入が少なかったためと考えられる。

以上の試験結果をもとに、OPC および HFSC を用いて鉄筋コンクリートを作成した場合に、鉄筋が腐食することによってコンクリートにひび割れが発生する時期と鉄筋の径との関係を予測した。その結果、OPC で 110～170 年程度、HFSC で 30～150 年程度で鉄筋の腐食によるひび割

れが発生すること、径の細い鉄筋を用いた方がひび割れの発生時期は遅くなることがわかった。

一方、これまでに実施した HFSC を用いた吹付けコンクリートに関する室内試験および模擬施工試験を通じて蓄積された知見をもとに、配合選定から施工手順（製造、運搬、圧送、吹付けなど）を整理し、品質管理上の留意点を抽出するとともに、地下施設での施工に必要な品質を確保するための管理方法について検討した。これらの検討結果は、2009 年度以降に実施した坑道での HFSC の吹付け施工試験の詳細計画に反映した。

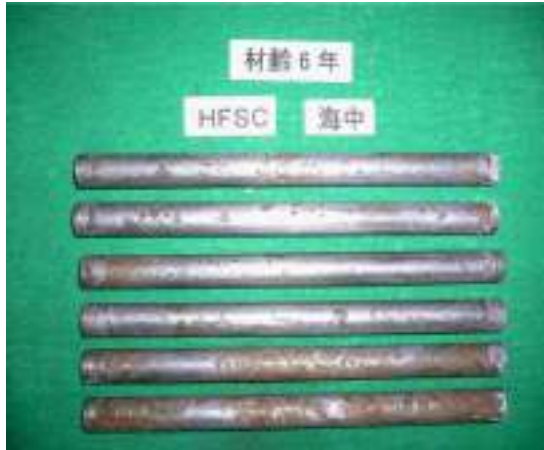


図 5.1.1-3 鉄筋の腐食状況（HFSC）

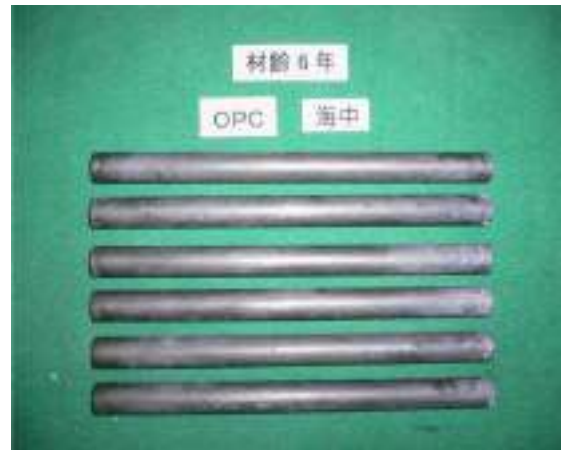


図 5.1.1-4 鉄筋の腐食状況（OPC）

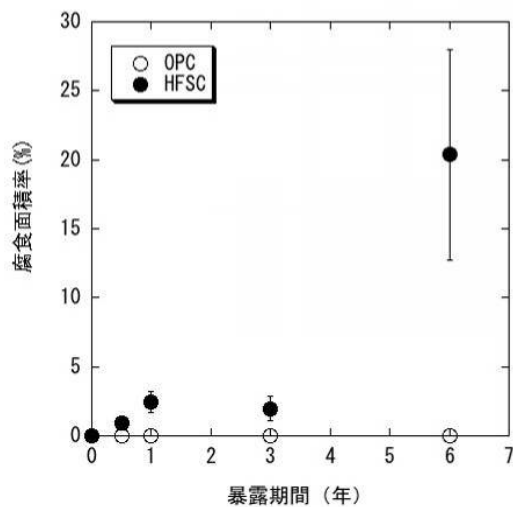


図 5.1.1-5 腐食面積率の変化

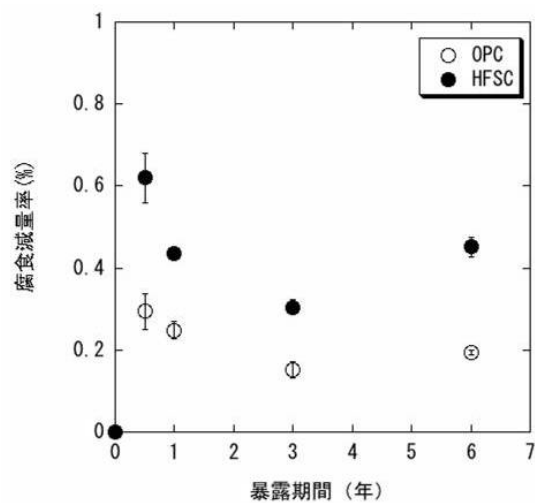


図 5.1.1-6 腐食減量率の変化

2008 年度は、HFSC を立坑の覆工コンクリートとして用いる場合のセメント材料などの配合の検討や、初期強度の確認などを実施した。具体的には、地下施設建設で用いられている材料を用いて、設計基準強度および型枠脱型時の強度を満たす配合を選定した。表 5.1.1-1 に選定した基本配合を、表 5.1.1-2 に目標とする性能および基本配合における試験結果を示す。表 5.1.1-2 から、HFSC を用いた覆工コンクリートが十分な強度を有していることが分かった。次年度以降の原位置試験の実施に際しては、表 5.1.1-1 に示した基本配合のコンクリートを地下施設の建設で用いられているコンクリート製造設備を用いて製造し、表 5.1.1-2 で示す試験を行い、目標性能が確保されていることを最終的に確認することとした。

表 5.1.1-1 HFSC を用いた覆工コンクリートの基本配合

種類	水結合材比 (%)	細骨材 率 (%)	単位量 (kg/m³)						高性能 AE減水剤 (結合材×%)	
			水	結合材			細骨 材	粗骨 材		
				OPC	SF	FA				
一般部	45.0	44.0	144	320	128	64	128	793	1037	1.00
高強度	37.5	42.5	144	384	154	77	154	737	1025	1.10

OPC: 普通ポルトランドセメント, SF: シリカフェューム, FA: フライアッシュ

表 5.1.1-2 HFSC を用いた覆工コンクリートの目標性能および試験結果

試験項目		目標値	基本配合での試験結果
スランプ (cm)		18±2.5	19.0
空気量 (%)		4.5±1.0	4.6~5.0
圧縮強度 (N/mm ²)	一般部	24*	44.0
	高強度	40*	59.9

*幌延の地下施設における設計基準強度 (材齢28日)

2009年度は、地下施設の深度 140m 調査坑道において、HFSC を吹付けコンクリートとして施工した。実際の施工に際しては、地下での試験に先立って、地下施設建設で使用しているコンクリート製造設備を用いて試験練りを行い、これまでに設定した基本配合^⑥を修正した。表 5.1.1-3 に基本配合および修正配合を示す。表 5.1.1-3 の修正配合を用いて、地上での吹付け試験を行い、吹付けたコンクリートからコアを採取して、強度の確認を行った結果を表 5.1.1-4 に示す。比較のため、普通ポルトランドセメント (OPC) の結果も示した。表から、HFSC は地下施設の設計基準強度 36N/mm² (材齢 28 日) を満たすことが確認された。また、吹付け試験の際に、実際の工事で使用している機材を使用して、施工性を確認した。

次に、地上での試験結果を受けて、地下施設の深度 140m 調査坑道の一部 (図 5.1.1-7) で HFSC の吹付けコンクリートを施工した (図 5.1.1-8)。施工期間は約 2 カ月、総吹付け量は約 522m³、総延長は約 73m である。施工中に、地上での試験と同様に吹付けコアを採取し、強度試験を行って地下での施工においても設計基準強度を満たすことを確認した (表 5.1.1-4)。施工性について、混合状態、脈動状態、粉じんおよび付着状態などの項目に対して OPC の場合と比較して評価を行った結果、HFSC は OPC と同等の施工性を示した。特に、粉じんや付着状態については OPC よりも優れた評価となった。以上のことから、HFSC の吹付けコンクリートは実際の地下坑道の施工に適用可能であることが示された。

これまでに、低アルカリ性のコンクリート材料を用いた、小規模な施工試験は国外で事例があるが⁷⁾、本格的な地下施設の施工に用いたのは世界初となる。

表 5.1.1-3 HFSC 吹付けコンクリートの配合（深度 140m 調査坑道原位置施工試験）

配合	水結合材 比 (%)	細骨 材率 (%)	単位量 (kg/m ³)						
			水	結合材			細骨材	粗骨材	混和剤
				OPC	SF	FA			
HFSC 基本配合	35.0	59.7	175	200	100	200	935	628	5.25
HFSC 修正配合	30.0	59.7	150	200	100	200	974	655	3.25
OPC	43.3	56.9	173	400	—	—	1072	809	2.00

OPC: 普通ポルトランドセメント, SF: シリカフューム, FA: フライアッシュ

表 5.1.1-4 材齢 28 日での圧縮強度の比較（深度 140m 調査坑道原位置施工試験）

	地上での試験 (N/mm ²)	地下での試験 (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)
HFSC吹付けコア	38.2	44.8	36.0
OPC吹付けコア	44.5	37.2	

強度の値は、3回の試験の平均値



図 5.1.1-7 HFSC を用いた吹付けコンクリート 図 5.1.1-8 原位置施工試験実施状況
の原位置施工試験範囲（深度 140m 調査坑道）

2010 年度は、コンクリートの搬送距離や坑道周辺の地圧の違いが HFSC の吹付けコンクリートに与える影響を把握するために、前年度と同様に HFSC を用いた吹付けコンクリートを深度 250m 調査坑道においても施工した。地下での施工に先立ち、地下施設建設で使用しているコンクリート製造設備を用いて最終的な配合を決定した（表 5.1.1-5）。比較のため、通常の施工で用いられる高炉セメント（以下、BB）についても示す。表 5.1.1-5 に示した配合を用いて、地上での吹付け試験を行うとともに、吹付けたコンクリートからコアを採取して強度試験を実施し、地下施設の設計基準強度である 36N/mm²（材齢 28 日）を満たすことを確認した（表 5.1.1-6）。地上での試験結果を受け、深度 250m 調査坑道の一部で HFSC の吹付けコンクリートを施工した（図 5.1.1-9）。施工中に、地上での試験と同様に強度試験を実施して施工中においても設計基準強度を満たすことを確認した（表 5.1.1-6）。

HFSC が周辺岩盤および地下水に与える影響を調査するため、前年度に HFSC を用いた吹付けコンクリートで施工した深度 140m 調査坑道からコンクリートおよび岩石のコアを採取し、分析

を実施した。分析には、コンクリートの打設後、約 120～130 日に採取したコアを用いた。岩石コアの分析の結果、これまでに実施された地質調査やボーリング調査から得られたデータと整合的であり、コンクリート打設後数ヶ月では周辺岩盤の変質は生じていないことが分かった。また、深度 140m 調査坑道に前年度に設置した採水装置（図 5.1.1-10）から、坑道近傍の地下水を採取し分析を行った。表 5.1.1-7 に分析結果の一覧を示す。比較のため HDB-6 孔および深度 140m 調査坑道から掘削したボーリング孔（07-V140-M01 孔）から採水した地下水の分析結果も合わせて示す。HFSC の区間-3 については、十分な湧水量が得られなかったため、分析を実施していない。今回の測定結果からは、坑道近傍の地下水水質は吹付けコンクリートからの距離にほとんど依存せず、HDB-6 孔などから得られている既往の分析結果と整合的であり、地下水についても変質していないことを確認した。

表 5.1.1-5 HFSC 吹付けコンクリートの配合（深度 250m 調査坑道原位置施工試験）

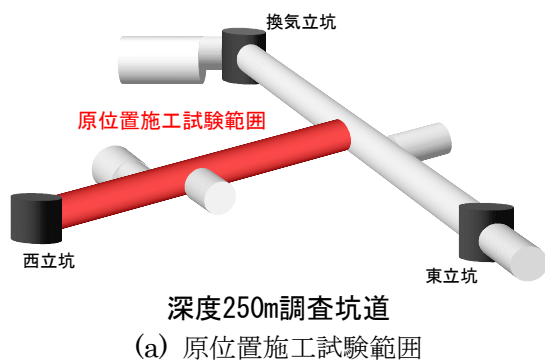
配合	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)						
			水	結合材			細骨材	粗骨材	混和剤
				OPC	SF	FA			
HFSC	35.0	60.2	175	200	100	200	945	638	5.25
BB	40.0	55.7	170	400	—	25	990	802	2.40

OPC: 普通ポルトランドセメント, SF: シリカフューム, FA: フライアッシュ

表 5.1.1-6 材齢 28 日での圧縮強度の比較（深度 250m 調査坑道原位置施工試験）

	地上での試験 (N/mm ²)	地下での試験 (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)
HFSC吹付けコア	45.9	41.2	36.0
BB吹付けコア	51.1	—	

強度の値は、3回の試験の平均値



(a) 原位置施工試験範囲



(b) 吹付け状況

図 5.1.1-9 HFSC を用いた吹付けコンクリートの原位置施工試験（深度 250m 調査坑道）

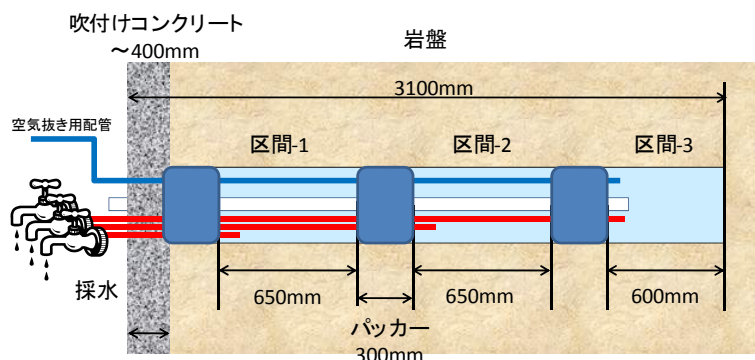


図 5.1.1-10 採水装置のイメージ

表5.1.1-7 水質分析結果（2010年度）

	項目	単位	OPC			HFSC			HDB-6 深度280～312m	07-V140-M01
			区間-1	区間-2	区間-3	区間-1	区間-2	区間-3		
現地測定	pH	—	7.68	7.66	7.78	7.26	7.42		—	—
	水温	℃	12.9	13.4	13.4	14.1	14.1		—	—
	溶存酸素濃度	mg/l	2.4	3.9	5.7	4.6	1.6		0.95	—
	酸化還元電位	mV	390	283	273	142	137		-200.6	—
公定分析	pH	—	7.7	7.7	7.9	7.3	7.5	湧水量不足のため採水できず	7.27	7.4
	水温	℃	20.7	19.3	19.1	15.8	15.8		17.7	17.5
	電気伝導率	mS/m	952	974	974	1,110	1,120		1,199	1,300
	Na	mg/l	2,140	2,340	2,200	2,440	2,480		2,460	3,300
	K		95.2	85.7	81.8	95.1	98.0		77	100
	Ca		38.3	46.8	44.6	56.6	55.2		69	87
	Si		45	56	63	56	61		26	29
	Al		0.46	0.42	0.07	<0.08	<0.08		0.02	<0.1
	Fe		0.41	0.85	0.41	1.2	1.6		0.03	0.05
	NH ₄ ⁺		91.2	101	104	116	110		94	160
	Mg		28.6	30.7	32.7	38.1	42.1		43	60
	Cl ⁻		2,150	2,130	2,160	2,520	2,510		3,050	4,000
	SO ₄ ²⁻		79	18	3	52	32		5.9	<0.1

2011年度は、前年度に引き続き、深度250m調査坑道の一部でHFSCの吹付けコンクリートの施工を実施し、施工中においても設計基準強度を満たすことや、施工性について確認した。

HFSCを用いた吹付けコンクリートが、坑道周辺の岩盤および地下水に与える影響を調査するため、深度140m調査坑道の坑道壁面から、施工後約21ヵ月を経過した2011年3月に、コンクリートおよび岩石のコアを採取し分析を実施した。その結果、坑道周辺の岩盤中の鉱物にはほとんど変化がないことが分かった。一方、HFSCを用いた吹付けコンクリートは、前年度に実施した透水試験結果よりも約1オーダー透水係数が低下していることが分かった。これは、通常のコンクリート材料で施工した部分の試験結果と比べると、約2オーダー透水係数が低いという結果であった。また、深度140m調査坑道に2009年度に設置した採水装置から、坑道付近の地下水を採取して分析した。表5.1.1-8にHFSCを用いた吹付けコンクリートの施工範囲から採水した

地下水の分析結果を示す。2010 年度に同じ区間から採取した地下水の分析結果と深度 140m 調査坑道から掘削されたボーリング孔（07-V140-M01 孔）から採取した地下水の分析結果を併せて示す。今回の測定結果からは、施工後約 21 ヶ月では、坑道付近の地下水の水質は吹付けコンクリートからの距離に関わらず、ほとんど影響を受けていないことが分かった。

表 5.1.1-8 水質分析結果（2011 年度）

HFSC（深度140m調査坑道）								
測定項目	単位	区間-1		区間-2		区間-3		07-V140-M-01
		施工後 3ヵ月	施工後 21ヵ月	施工後 3ヵ月	施工後 21ヵ月	施工後 3ヵ月	施工後 21ヵ月	
pH	-	7.3	7.3	7.5	7.3			7.4
水温	℃	15.8	23.0	15.8	23.5			17.5
電気伝導率	mS/m	1,110	1,140	1,120	1,140			1,300
Na	mg/L	2,440	2,410	2,480	2,390	湧水量不足のため 採水できず		3,300
K		95.1	94.4	98.0	86.0			100
Ca		56.6	56.9	55.2	58.5			87
Si		56	58	61	58			29
NH ₄ ⁺		116	125	110	122			160
Cl-		2,520	2,580	2,510	2,510			4,000

2012 年度は、低アルカリ性セメントの吹付けコンクリートの施工試験では、後述するグラウト施工試験の改良範囲である深度 350m 調査坑道の西側の掘削において、深度 250m 調査坑道と同様に吹付け施工試験を行い、施工性や強度について確認した。図 5.1.1-11 に施工試験の実施状況を示す。試験の結果、設計基準強度を上回る強度が発現することを確認した。



深度 350m 調査坑道（網掛けは 2012 年度までに掘削した範囲を示している。）

(a) 吹付け施工範囲



(b) 施工状況

図 5.1.1-11 低アルカリ性の吹付けコンクリート施工試験

2013 年度は、深度 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した。図 5.1.1-12 に深度 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す。

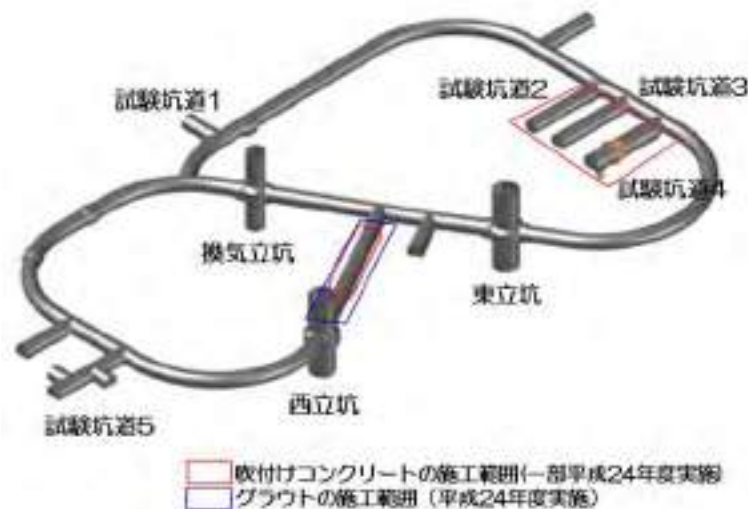


図 5.1.1-12 深度 350m 調査坑道における低アルカリ性コンクリート材料の施工範囲

2014 年度は、低アルカリ性セメントを立坑の覆工コンクリートとして、東立坑の深度 374m から 380m までの 3 回の覆工打設で試験施工を実施した。試験施工では、立坑を 2m 掘削し、次に 2m 分の覆工コンクリートを打設する工程を繰り返した。

品質確認の一環として、打設する前のコンクリートから試験体を作製し、28 日経過後に強度試験を実施した。試験の結果、試験体の強度は設計基準強度を満足しており、実際に施工した低アルカリ性セメントを用いた覆工コンクリートは適切な強度を発現していることを確認した。このように、試験施工の結果、通常のコンクリート材料と同様に施工できることを確認した。

2) 低アルカリ性セメント系グラウト材料の開発・原位置試験

湧水抑制対策のための技術開発の一環として、低アルカリ性のグラウト材料の開発と原位置適用性試験を実施した。以下に、各年度の検討や試験の結果を示す。

2007 年度は、低アルカリ性のグラウト材料の開発と原位置適用性試験の計画の検討を行った。低アルカリ性グラウト材料の開発としては、これまでに HFSC の開発で蓄積してきたデータや知見を踏まえ、セメント系材料を候補とし、グラウト材としての配合比の選定を実施した。さらに、2007 年度から開始した換気立坑先行ボーリング (PB-V01 孔) 調査結果と地下施設の建設工程を踏まえ、原位置適用性試験計画を検討した。

2008 年度は、坑道掘削に伴い発生する湧水対策のための技術開発の一環として、低アルカリ性のグラウト材料の原位置試験計画を作成した。原位置試験では、2007 年度から 2008 年度にかけて実施した PB-V01 孔の調査結果や換気立坑底盤からのボーリング調査結果から、深度 280m 付近に存在すると予想される透水性の比較的高い部分を対象として、HFSC の知見を反映したセメント系材料を用いる計画とした (図 5.1.1-13) ⁸⁾。

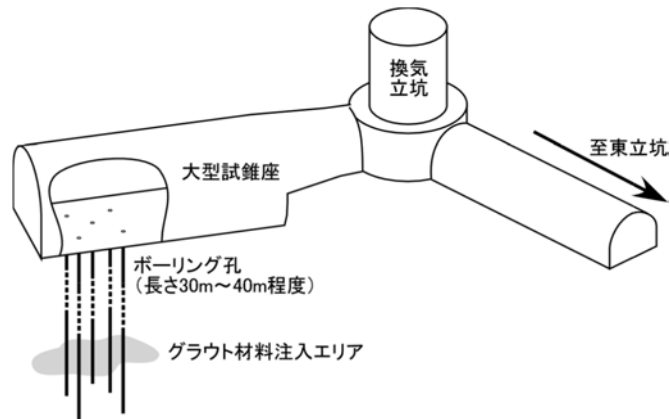


図 5.1.1-13 低アルカリ性グラウト材料の原位置試験計画位置

2009 年度は、前年度に策定した計画に基づき、250m 換気側第 1 ボーリング横坑において、声問層と稚内層の遷移部に予想される高透水性の領域を対象とし、低アルカリ性セメント系グラウト材料を用いた岩盤へのグラウトに関する原位置試験を実施した。図 5.1.1-14 に原位置試験のレイアウトを示す。試験は注入孔①、②においてグラウト材料を注入し、確認孔①、②を注入孔間に配置して掘削し、透水性の変化およびグラウト材料の到達状況を調べた。また、これまでに開発してきた高水圧に対応するための機器(パッカー)の適用性の確認も行った。

その結果、グラウト材料の注入前より岩盤の透水性が低減され、低アルカリ性セメント系グラウト材料の適用性が示された。また、グラウト材料が岩盤中を移動する経路の特徴についてのデータを取得することができた。さらに、これまで開発してきた高水圧環境に対応するパッカーについて、十分な適用性能を有することを確認した⁹⁾。

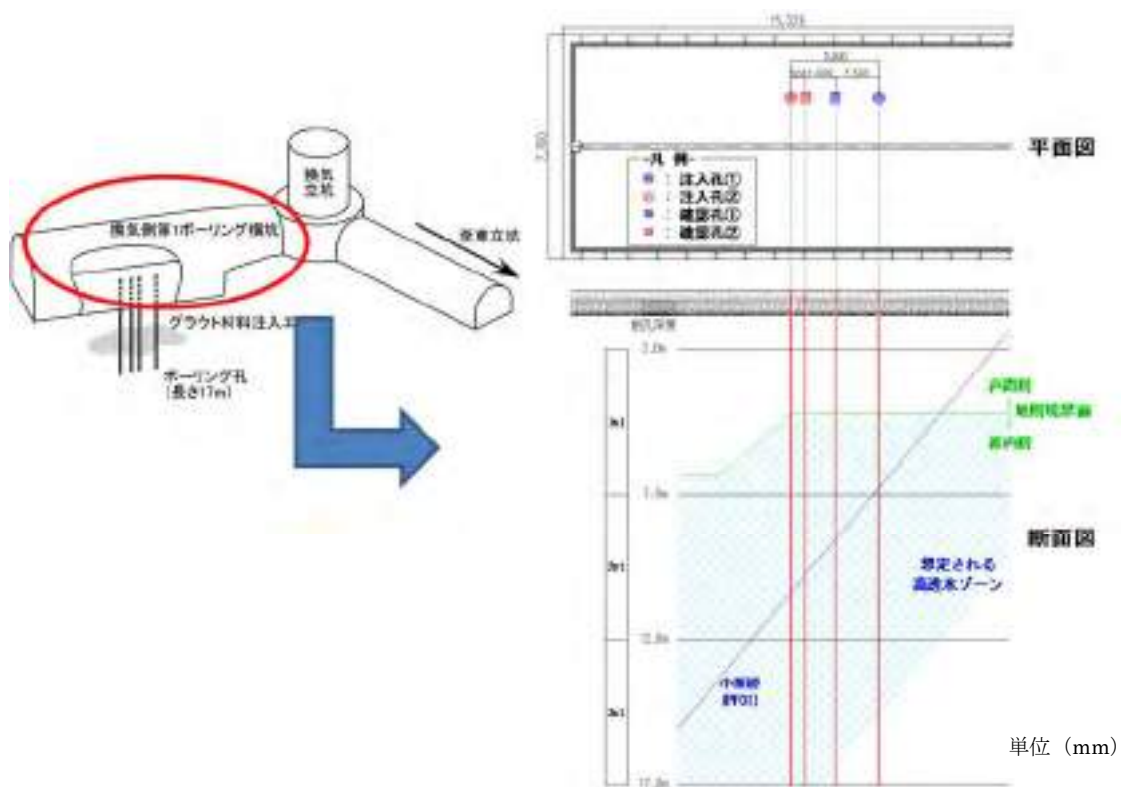


図 5.1.1-14 低アルカリ性セメント系グラウト材料の原位置試験レイアウト

2012 年度には、低アルカリ性のグラウト材料の施工試験として、グラウト改良範囲として設定した深度 350m 調査坑道を掘削する前に、深度 250m 調査坑道からボーリング孔（グラウト注入孔）を掘削し、湧水のあった箇所に対して低アルカリ性のグラウト材料を注入した。図 5.1.1-15 に施工範囲とグラウト注入孔の掘削の様子を示す。施工試験は従来の湧水抑制対策と同じ施工機械を用いて実施し、低アルカリ性のグラウト材料が通常の湧水抑制対策と同様に施工できることを確認した。この施工試験が終了した後、グラウト改良範囲の坑道の掘削を 2013 年 2 月から開始したが、3 月末時点では顕著な湧水は観測されておらず湧水抑制対策が効果をあげたと考えられる。

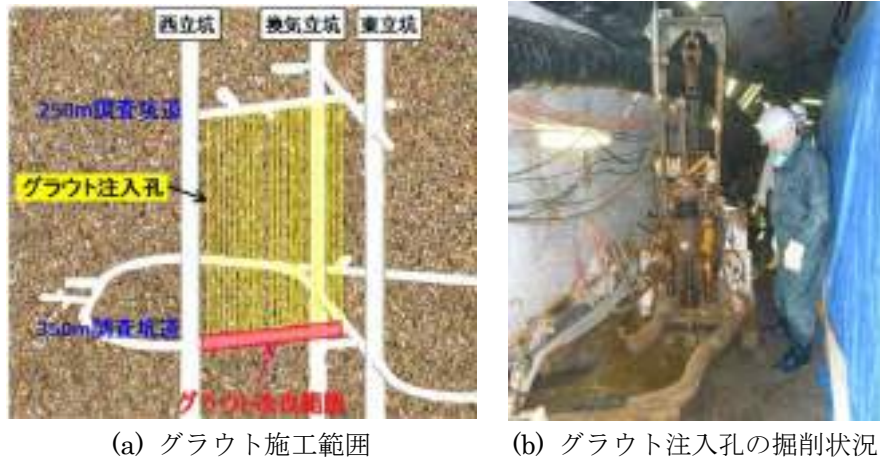


図 5.1.1-15 低アルカリ性グラウト材料の施工範囲

2013 年度は、前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た。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深度 350m 調査坑道の西連絡坑道において、坑道から図 5.1.1-16 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 5.1.1-16 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る。

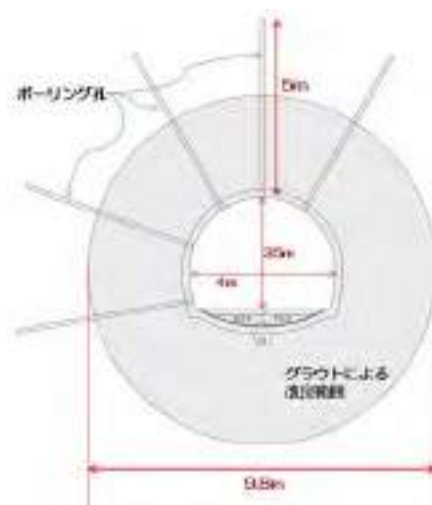


図 5.1.1-16 透水試験のボーリング孔配置（西立坑側を見た図）

3) 緩衝材定置試験

経済産業省資源エネルギー庁が進める地層処分実規模設備の整備に関するプロジェクトを原環センターとの共同研究として実施し、操業技術や人工バリアの長期挙動について、実物大での試験設備について検討し、一部の設備を製作した。具体的には、地上での設備として、操業技術に係る人工バリアの定置試験設備と人工バリアの長期挙動に係る再冠水挙動の試験設備についての試験計画の立案や設計を行った。

人工バリア定置試験設備のうち、緩衝材を定置するための試験装置の製作を行った。製作状況を以下に示す（図 5.1.1-17）。

- ・ 2008 年度：把持装置・真空ポンプ
- ・ 2009 年度：走行台車
- ・ 2010 年度：緩衝材搬送台車

2010 年度には、真空把持装置を用いて、実物大の緩衝材（ベントナイトブロック）を模擬のピットに定置する把持試験を実施した（図 5.1.1-18）。なお、この試験の様子は「おもしろ科学館 2010in ほろのべ」（2010 年 9 月）で一般公開した^{10),11)}。

一方、地下での設備については、操業技術に係る人工バリアの定置試験設備および人工バリアの回収試験設備について検討した。また、これらの検討結果に、幌延の地下施設の建設工程や坑道の仕様、試験条件や地質環境条件などのほか、国外事例の調査結果を踏まえ、地上と地下での試験設備の絞り込みを行い、全体計画を策定した^{12),13)}。

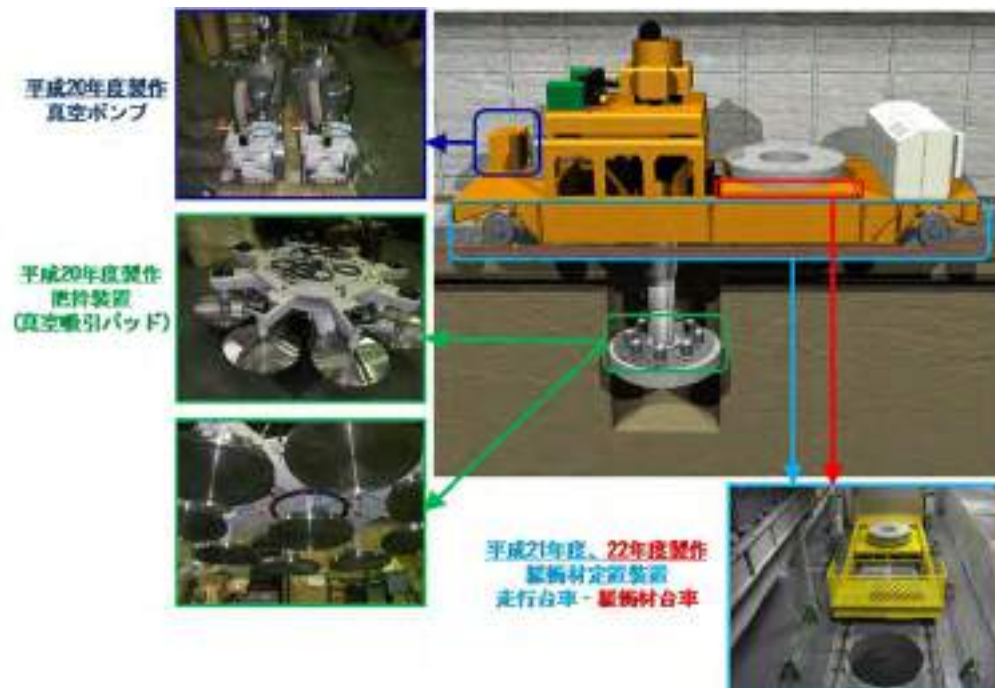


図 5.1.1-17 緩衝材定置試験装置製作状況



図 5.1.1-18 把持試験の様子

4) 人工バリア長期挙動試験

経済産業省資源エネルギー庁が進める地層処分実規模設備の整備に関するプロジェクトを原環センターとの共同研究として実施し、人工バリアの長期挙動に係る再冠水挙動の試験設備についての試験計画の立案や設計を行った。

人工バリアの長期挙動試験については、2009 年度に再冠水挙動の試験設備についての試験計画の立案や設計を行うとともに、緩衝材中の水の浸潤を可視化するための装置を製作し、試験方法について検討した^{14),15)}。2010 年度には、製作した緩衝材中の水の浸潤状態を観察できる可視化装置を用いた浸潤試験を実施し、緩衝材中の水分拡散に関するデータを取得した。

5.1.2 設計手法の適用性確認

幌延の地下施設で実施している原位置試験のうち、人工バリア試験や坑道閉鎖試験などでは、緩衝材（ベントナイト）を用いている。しかし、緩衝材は幌延地域にみられるような塩水系の地下水に対しては、淡水系の地下水と異なる挙動を示すことが知られている。このため、第 1 段階の期間では、塩水系地下水を用いて、緩衝材や金属材料（オーバーパック材料）などの人工バリア構成材料の特性や挙動に関する基礎データ取得のための室内試験を実施した。また、これまでに得られた室内試験結果や地上からの調査で取得した地質環境データなどにに基づき、第 2 次取りまとめ¹⁶⁾で示された人工バリアなどの設計手法の適用性を検討し、更新した。

第 2 段階の期間では、不足している塩水系地下水に対する緩衝材や金属材料などの人工バリア構成材料の特性や挙動に関する基礎データの取得を引き続き行い、それらの特性や挙動に関するメカニズムの理解やより一般化されたモデルの開発などを進めるとともに、人工バリアおよびその周辺岩盤の長期挙動について検討した。また、それらの情報を整理し、第 1 段階の期間で更新した設計手法を原位置試験の仕様の検討に適用した。以下に、年度ごとに検討した結果を示す。

2006 年度は、人工バリア構成材料については、緩衝材（ベントナイト）の膨潤特性、透水特性、オーバーパック材料の腐食特性に関する室内試験やモデルの検討を行った。膨潤特性については、緩衝材が地下水と接触した際に発生する膨潤圧について、ベントナイトに含まれる粘土鉱物（スメクタイト）表面の水の熱力学特性に基づき、使用されるベントナイトの種類や密度、あるいは珪砂混合率などが異なっても適用可能な、より一般化されたモデルを検討した^{17),18)}。また、これ

までに報告されている緩衝材の膨潤圧の実測データと比較することにより、その適用性について検証した。スメクタイトの部分密度に対する膨潤圧の実測データと計算値を図5.1.2-1に示す^{17),18)}。

図5.1.2-1には、外国産のベントナイト（MX-80）と国内産のベントナイト（クニゲルV1、クニピアF、クニピアP）のほか、珪砂を混合したものなど、材料が異なるものも同時に示しているが、計算値と実測値とは、ほぼ同一の直線上にあることがわかり、モデルの適用性が検証された。

ベントナイトの透水特性については、塩水系の地下水条件に対するデータ拡充のため、HDB-6孔から採水した地下水を用いてベントナイトの透水試験を実施した。その結果、蒸留水などを用いた場合と比較して、透水係数は増加する傾向であることがわかった。

オーバーパック材料の腐食特性については、HDB-6孔から採取した地下水を用いて候補材料の炭素鋼や代替材料のチタンに対する腐食試験を実施した。その結果、炭素鋼の最大腐食深さは、従来の推定値よりも小さいこと、チタンの腐食挙動は、従来の試験結果¹⁹⁾と整合していることがわかった。

さらに、フィンランドにおいて現在建設中である地下特性調査施設（ONKALO）の検討例²⁰⁾を参考に、人工バリアとその周辺岩盤の長期安全評価に影響を及ぼすと考えられる項目を抽出するとともに、幌延の地下施設の建設に用いられる工学材料に対する影響項目の抽出結果と比較することにより、長期性能に影響を及ぼす要因や低減方法、留意すべき事項、検討課題などを整理した²¹⁾。また、地下施設の建設において特に多く使用されるセメントについて、「第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ」²²⁾の評価結果に基づいて、普通ポルトランドセメントと低アルカリ性セメントの適用範囲の設定方法を検討するとともに、それに基づいて、硬岩と軟岩に対する両セメント材料の配置適用範囲について検討した²¹⁾。

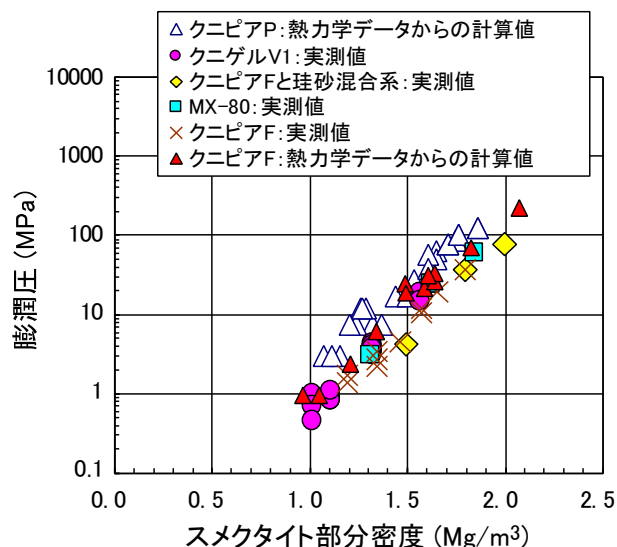


図 5.1.2-1 スメクタイトの部分密度に対する膨潤圧の実測データと計算値

2007年度は、緩衝材の膨潤特性、透水特性、ガスの移行特性、オーバーパック材料の腐食特性などのほか、岩石中のガスの移行特性について室内試験やモデルの検討を継続した。膨潤特性については、緩衝材が地下水と接触した際に発生する膨潤圧について、ベントナイトに含まれる粘土鉱物（スメクタイト）表面の水（層間水）と外部から浸潤する様々な塩濃度の水の熱力学特性に基づき、使用されるベントナイトの種類や密度、あるいはケイ砂混合率などが異なっても適用可能なモデルを作成した。これまでに幌延の地下水や様々な塩濃度に対して報告されている緩衝

材の膨潤圧の実測値と比較することによりその適用性を検証した²³⁾。図 5.1.2-2 にスメクタイト部分密度に対する様々な塩濃度条件での膨潤圧の実測値と計算値^{23),24),25),26),27)}を示す。計算の結果、塩濃度の増加に伴い膨潤圧は低下するものの、スメクタイト部分密度の高い領域（特に 1.6Mg/m^3 以上）ではほとんど差がないことがわかった。

ベントナイトの透水特性については、塩水系地下水に対するデータ拡充のため、幌延（HDB-6 孔）の地下水を含む様々な塩濃度やセメントの影響を考慮した条件でのデータ取得を継続した。その結果、淡水系の地下水の場合と比較して、透水係数は増加する傾向であることがわかった。

オーバーパック材料の腐食特性については、候補材料である炭素鋼に対する塩水系地下水にセメントの影響を考慮した高 pH 条件での腐食試験（応力腐食割れ試験）や、代替材料であるチタンと銅に対する HDB-6 孔および 10 孔の地下水を用いた腐食試験（電気化学試験）を継続した。

また、ガスの移行特性については、透気特性に関するデータ拡充のため、HDB-6 孔および 10 孔のコア試料を用いたガス移行試験を実施した。

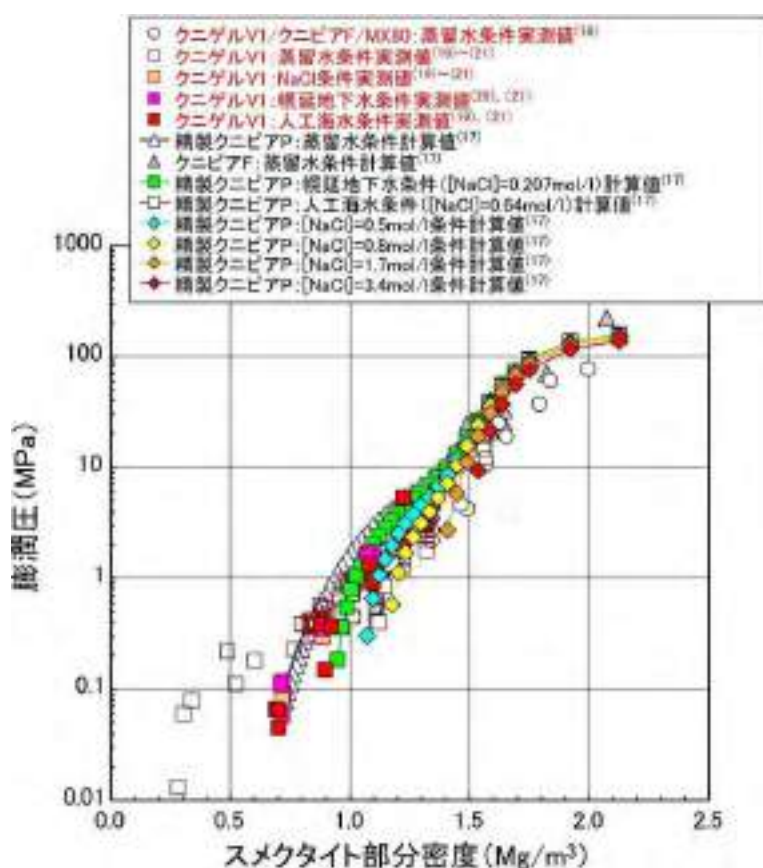


図 5.1.2-2 スメクタイトの部分密度に対する様々な塩濃度条件での膨潤圧の実測値と計算値

2008年度は、緩衝材の膨潤特性、透水特性、オーバーパック材料の腐食特性のほか、オーバーパック材料の腐食に伴って発生する水素ガスの岩石中の透気特性などについての室内試験やモデルの検討を継続した。膨潤特性については、ベントナイトが地下水と接触した際に発生する膨潤圧について、塩水系地下水やセメントの影響を考慮した条件でのデータ取得を継続した。また、ベントナイトが様々な塩濃度の地下水と接触した際に発生する膨潤圧を、ベントナイトの種類や密度、あるいはケイ砂混合率などが異なった場合でも、接触する地下水の熱力学データに基づいて計算できるモデルの開発を継続した。具体的には、2007年度までに開発したモデル^{28),29)}に温

度の影響を考慮したモデルの検討を行った。

ベントナイトの透水特性については、膨潤特性と同様に、塩水系地下水やセメントの影響を考慮した条件でのデータ取得を継続した。従来の結果では、淡水系の地下水の場合と比較して、透水係数は増加する傾向であることが分かっており、これまでのところ同様な傾向が得られている。

オーバーパック材料の腐食特性については、候補材料である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（局部腐食や応力腐食割れ試験）や、代替材料であるチタンと銅に対する幌延の地下水（HDB-6 孔および 10 孔）を用いた腐食試験を継続した。

ガスの移行特性については、地層中の透気特性に関するデータ拡充のため、コア試料（HDB-6 孔および PB-V01 孔）を用いたガスの移行試験を継続した。

2009 年度は、緩衝材の膨潤特性、透水特性、オーバーパック材料の腐食特性のほか、オーバーパック材料の腐食に伴って発生する水素ガスの岩石中の透気特性などについての室内試験やモデルの検討を継続した。膨潤特性については、ベントナイトが地下水と接触した際に発生する膨潤圧や膨潤による隙間充填特性などについて、塩水系地下水やセメントの影響を考慮した条件でのデータ取得を前年度に引き続き継続した。また、ベントナイトが様々な塩濃度の地下水と接触した際に発生する膨潤圧を、ベントナイトの種類や密度、あるいはケイ砂混合率などが異なった場合でも、接触する地下水の熱力学データに基づいて計算できるモデルの開発も前年度に引き続き継続した。具体的には、これまでに開発したモデル^{28),29)}に温度の影響を考慮したモデルの検討を行った。これまでの研究で、膨潤圧に及ぼす温度の影響についてはほとんど報告されていないが、ベントナイトが膨潤する原因でもある粘土鉱物表面の水の熱力学データから、温度上昇に伴って膨潤圧は低下すると推測された。この傾向は、数少ない実測値²⁵⁾とも整合している。

ベントナイトの透水特性については、塩水系地下水やセメントの影響を考慮した条件でのデータ取得を継続した。従来の結果では、淡水系地下水の場合と比較して、塩水系地下水の方が高い透水係数となることが分かっており、これまでのところ、同様な傾向が得られている。

オーバーパック材料の腐食特性については、候補材料である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（局部腐食や応力腐食割れ試験）や、代替材料であるチタンと銅に対する幌延の地下水（HDB-6 孔および 10 孔）やそれらの地下水を模擬した条件での腐食試験を継続した。その結果、炭素鋼の局部腐食の程度は、中性からアルカリ性環境や様々な溶液条件で得られた過去のデータの範囲内であることが確認された³⁰⁾。また、銅に対する応力腐食割れ試験（力を掛けながらの腐食試験）において、アンモニウムイオンを含む幌延の地下水では、弱い酸化条件において脆性的な亀裂が観察された³¹⁾。

ガスの移行特性については、地層中の透気特性に関するデータ拡充のため、コア試料（PB-V01 孔）を用いたガスの移行試験を継続し、これまでに水や空気を用いて岩石の浸透率を測定した。

2010 年度は、オーバーパック材料の腐食特性や、オーバーパック材料の腐食に伴って発生する水素ガスの岩石中の透気特性などについての室内試験を継続するとともに、人工バリアなどの設計手法の更新および高度化、さらには第 3 段階で実施する人工バリア性能試験などの原位置試験の詳細な計画について検討した。

オーバーパック材料の腐食特性については、候補材料である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応力腐食割れ試験（力を掛けながらの腐食試験）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た。その結果、炭素鋼の応力腐食割れは、極めて高いアルカリ濃度（[OH⁻]濃度が 2M 以上）が達成された場合に

発生する可能性があることが明らかになった。

人工バリアや地下施設の設計手法については、第 1 段階にて構築した処分孔縦置き方式を対象とした設計手法の高度化を図るため、各設計項目や設計要件の詳細化、手順の合理化に関する検討を実施した。また、現時点で利用可能な評価ツール（解析コードやモデル）、解析や設計上必要となる入力データ（岩盤、緩衝材およびオーバーパックに係る各種特性データ）について、各設計項目との関連性を踏まえて整理した。さらに、第 1 段階で検討していなかった処分坑道横置き方式を対象とした設計手法の概略フローに関する検討を実施した。

そのほか、原位置試験の詳細計画の検討として、人工バリア性能試験で用いられる埋め戻し材料の仕様や施工方法に関する検討を行うとともに、ガスの移行特性として、地層中の透気特性に関するデータを拡充するため、PB-V01 孔のコア試料を用いたガス移行試験を前年度に引き続き継続した。

5.2 安全評価手法の高度化

我が国の地層処分事業の安全規制については、これまで原子力安全委員会（当時）において、特定放射性廃棄物処分安全調査会の下に制度検討分科会と環境要件分科会が設置されるなど、「安全審査基本指針」や「精密調査地区選定段階に考慮すべき環境要件」の検討に向けた取り組みが開始されている。また、原子力安全委員会 安全研究専門部会は、「日本原子力研究開発機構に期待する安全研究」³²⁾の中で、精密調査地区選定のための環境要件および安全審査基本指針の取りまとめに必要とする研究成果として、地質環境の調査評価手法の開発を安全評価手法の開発のひとつに求めている。

これらを踏まえ、安全評価手法の高度化のうち、安全評価手法の適用性の確認を目的とした地質環境調査から水理・物質移行の解析・評価に至る一連の評価手法の整備を効果的・効率的に進めることとしている。

目標と進め方を考える上では、原子力機構の中期計画やフェーズ 2 の研究開発計画（研究開発全体マップ）で示されている以下の観点と整合をとる必要がある。

- ・実際の地質環境へ適用可能な安全評価手法の整備・改良
- ・地上からの調査研究段階における調査研究の最終とりまとめ
- ・坑道掘削時の調査の体系的な例示と地上からの調査結果の確認

そのためには、幌延深地層研究計画における深地層の科学研究と、地層処分研究開発との連携をさらに強化していく必要がある。その際、深地層の研究施設は最終処分場ではなく、深地層の研究施設計画を通じて、地下深部の地質環境について理解を深めながら、体系的に調査・解析・評価を行うための技術基盤を整備することがおもな狙いであることから、深地層の研究施設計画で取得される情報の活用にあたっては、データの一般性等の評価・検討も念頭におくことが必要である。

以上を踏まえた安全評価手法の高度化に関する研究の目標と進め方を以下に示す。

- ・2005 年 4 月以降を含めて、地質環境の調査研究から得られるデータの取得やそのデータに基づく地質環境モデルの構築および水理・物質移行に関する解析・評価などを継続する。
- ・さらに、調査の結果得られた実際の地質環境のデータの不確実性や、それらのデータに基づいて構築した水理地質構造モデルなどの地質環境に関するモデルの不確実性が物質移行解析の結果に与える影響などを定量的に把握・分析できるようにする。
- ・一連の評価に関する技術を総合的かつバランスよく取り扱えるよう体系化を図る。

以下に、2006 年度から 2010 年度までに実施した安全手法の高度化に関する研究の成果を取りまとめる。なお、岩盤を対象とした原位置トレーサー試験は調査技術開発として地層科学研究に位置づけられるものであるが、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示している。

5.2.1 安全評価モデルの高度化

2006 年度から 2010 年度までに実施した安全評価モデルの高度化に関する研究の成果を取りまとめる。

第 1 段階の調査研究でのボーリング調査で得られたコアや地下水を用いて、物質移動・遅延に関する室内試験を行った³³⁾。幌延地域の岩石（HDB-3 孔）への物質（セシウムやセレンなどの元素）の収着分配係数を取得したほか、それらの収着メカニズムについて検討した³⁴⁾。その結果、セシウムは岩石に含有されている粘土鉱物（スメクタイトやイライト）とのイオン交換反応により選択的に収着すること、その中でも特にイライトへの収着が重要であることがわかった。一方、酸化還元に鋭敏なセレンは岩石中の有機物や鉄鉱物（黄鉄鉱）の部分に濃集していたことから、

酸化還元反応により岩石中の有機物や鉄鉱物へ選択的に収着すると推定した。

実際の地質環境への安全評価手法の適用性を確認するにあたり、2005年度までのボーリング調査や換気立坑先行ボーリング調査のほか、坑道掘削時の調査などで取得された岩石や地下水などを利用した室内試験を行った。その室内試験を通じて、安全評価における物質移動・遅延の解析に必要な基礎データ（拡散係数、収着分配係数、間隙率、溶解度など）の取得を東海研究開発センター核燃料サイクル工学研究所と協力して継続した。また、物質移動・遅延に影響を及ぼすと考えられる要因（有機物、コロイド、微生物活動など）に関する基礎データの蓄積を進め、メカニズムや現象の理解を通じて、データの信頼性と精度の向上を図った。以下に、年度ごとの実施内容を記述する。

2006年度は、HDB-6孔およびHDB-11孔から採取したコアと浅層試錐孔から採取した地下水を用いて岩石の拡散特性、有機物およびコロイドに関する室内試験を開始した。具体的には、岩石中での物質（セシウム、ヨウ素、重水）の拡散試験、地下水中の有機物の定量と特性評価、地下水水中のコロイドの定量と特性評価を行った。

2007年度は、既存のボーリング孔から採取したコアや地下水を用いて岩石中での物質（セシウム、ヨウ素、重水）の拡散特性や収着特性、有機物およびコロイドの特性評価に関する室内試験を継続した。拡散試験は、間隙率や細孔径が異なる声間層（HDB-11孔、深度400m）と稚内層（HDB-11孔、深度590m）から採取したコア試料について実施し、拡散係数は間隙率の減少に伴って低下することや、陰イオンのヨウ素は岩石表面から静電的に排斥される陰イオン排除の効果によって遅延されていると推定できることなどがわかった³⁵⁾。図5.2.1-1に堆積岩中の拡散係数（ D_e ）を各物質の水中の拡散係数（ D_o ）で規格化した値（ D_e/D_o ）と間隙率の関係を示す³⁵⁾。 D_e/D_o の対数は間隙率と直線的な相関性を持っていることがわかる。他の堆積岩も含めて本試験で得られた幌延の堆積岩（珪藻質泥岩（声間層）、珪質泥岩（稚内層））に対する D_e/D_o もこの関係とよく一致し、幌延の堆積岩は他の堆積岩と類似した間隙構造を有していると考えられる。

コロイドについては、HDB-10孔（深度500～550m）から採取した地下水の特性評価を実施し、地下環境と地上での環境との相違がコロイドに及ぼす影響について検討した。その結果、地下環境下での地下水におけるコロイドの特性について信頼性の高いデータを取得するためには、サンプリングによる地下水水質に及ぼす擾乱の影響を推定しておく必要があることがわかった³⁶⁾。

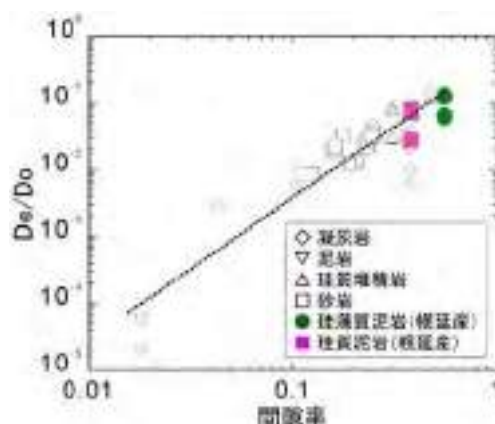


図 5.2.1-1 堆積岩中の拡散係数(D_e)を各物質の水中の拡散係数(D_o)で規格化した値(D_e/D_o)と間隙率の関係

また、2007 年度より、経済産業省資源エネルギー庁委託業務の一環として、既存のボーリング孔から採取したコアや地下水を用いて岩石中での物質（セシウム、セレン、トリウム）の拡散特性や収着特性のほか、微生物の特性評価に関する室内試験を開始した。拡散試験は、HDB-6 孔や HDB-10 孔から採取した岩石（稚内層）を用いて、セシウムとセレンを例として 3 種類の異なる方法で実施し、それぞれの方法から得られた拡散係数と、収着試験から得られた収着分配係数との整合性などについて検討した。また、セレンとトリウムについては、有機物（フミン酸）の存在が拡散係数や収着分配係数に及ぼす影響について検討し、セレンはフミン酸の影響をほとんど受けないことなどがわかった。微生物については、HDB-10 孔（深度 500～550m）と浅層ボーリング孔（深度 35m）から採取した地下水中の微生物の種類や数などについて評価し、化学環境と微生物生態系の相関などについて検討した。

2008 年度は、2006 年度から実施している既存のボーリング孔から採取したコアや地下水を用いて、岩石中での物質（セシウム、ヨウ素、重水）の拡散特性と収着特性、ならびに有機物の特性評価に関する室内試験を継続した。具体的には、岩石へのセシウムの収着分配係数を、深度の浅い順から、声間層（HDB-11 孔、深度約 400m）、稚内層の浅部（HDB-11 孔、深度約 460m）、稚内層（HDB-11 孔、深度約 600m）の各岩石に対して、カリウム濃度を変化させて取得するとともに、各岩石の粘土鉱物（スメクタイトやイライト）含有率と各粘土鉱物に対する収着分配係数も取得し、セシウムの収着メカニズムについて検討した。図 5.2.1-2 に岩石と粘土鉱物へのセシウムの収着分配係数とカリウム濃度との関係³⁷⁾を示す。図 5.2.1-2 から、岩石とイライトへの収着分配係数はカリウム濃度の増加に伴い減少するものの、スメクタイトへの収着分配係数に変化がみられないことから、第 1 段階の調査研究で示唆されたイライトへの収着が重要であることが確認された³⁷⁾。また、各粘土鉱物へのセシウムの収着分配係数と各粘土鉱物含有率から、岩石全体に対する収着分配係数を見積もったところ、計算値の方が実測値より低目になるものの、傾向は良く一致することが分かった。この原因として、イライトがセシウムを単位面積あたりに収着できる量（収着サイト密度）の違いが考えられた。

また、2007 年度より実施している枯渇法、濃度分布法、透過拡散法の試験から得られた拡散係数と収着分配係数の整合性について検討した。その結果、3 種類とも整合性のある拡散係数と収着分配係数を取得できることが分かった。また、セシウム、ヨウ素、トリチウムの拡散係数に及ぼす塩濃度の影響や、ニッケルおよびユーロピウムの拡散試験についても、上記の 3 種類の方法で実施した。陽イオンであるセシウムの拡散係数は塩濃度の増加に伴い減少し、反対に、陰イオンであるヨウ素の拡散係数は増加することが分かり、岩石中においてもベントナイト中と同様に静電的影響を受けることが分かった。さらに、セメント系材料と岩石との接触を想定し、高アルカリ性の環境の影響を模擬した研究として、pH12.5 程度の高アルカリ性の溶液と一定期間接触させた岩石（HDB-6 孔、稚内層）へのセシウム、ニッケル、トリウムの収着試験を行った。その結果、未変質の岩石への収着分配係数と同等であったことから、アルカリ変質による影響はないことが示唆された。しかしながら、X 線回折法による表面分析からも岩石の状態に変化がみられなかったことから、変質そのものが起こっていなかった可能性もある。2007 年度は、有機物（フミン酸）の存在が岩石への収着分配係数に及ぼす影響について検討し、セレンの岩石への収着分配係数はフミン酸の影響をほとんど受けないことを示したが、2008 年度は、ユーロピウムとトリウムについて調べた。その結果、両元素の収着分配係数は、共存するフミン酸濃度の増加に伴い減少し、特に酸化数の多いトリウムの方が強い影響を受けることが分かった。この傾向は、従来の知見とも一致している³⁸⁾。微生物については、2007 年度に引き続いて、HDB-10 孔（深度 500～550m）から採取した地下水中の微生物の種類や生菌数などの定量評価手法について検討し、微生物

物定量評価手法の標準化案を提示した。

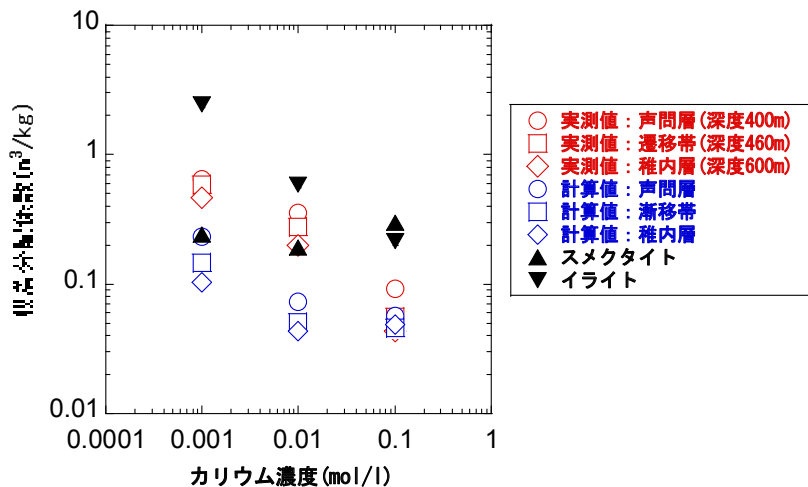


図 5.2.1-2 岩石および粘土鉱物へのセシウムの収着分配係数とカリウム濃度との関係

2009 年度は、2006 年度から実施している既存のボーリング孔から採取したコアや地下水を用いての、岩石中での物質（セシウム、ヨウ素、重水など）の拡散特性と収着特性、ならびに有機物の特性評価に関する室内試験を継続した。具体的には、稚内層の岩石（PB-V01 孔）中のヨウ素に対する拡散試験を透過拡散法により行い、拡散係数を取得した³⁹⁾。ヨウ素については、これまでも報告されているが、得られた拡散係数は、稚内層に対してこれまで報告されている値と一致した。

また、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業として、2007 年度より実施している処分システムの化学影響評価に関する研究として、既存のボーリング孔から採取したコアや地下水を用いての、岩石や緩衝材中での物質の拡散特性や収着特性のほか、微生物や有機物などの特性評価に加えて、それらが物質移動に及ぼす影響やデータ取得方法の標準化に関する室内試験を継続した。具体的には、稚内層の岩石（HDB-6 孔および HDB-10 孔）を用いて、トリチウム、セシウム、セレン、トリウムなどの代表的な元素に対する拡散試験（枯渇法（トレーサー減衰法）、透過拡散法）を実施し、これらの取得事例を通じて堆積岩に対する拡散試験手法の適用性について検討した。その結果、トリチウム、セシウム、セレンなどのように低収着性の元素に対しては、透過拡散法により信頼性の高いデータが取得できることが分かった。一方、トリウムなどの高収着性の元素に対しては、枯渇法によりデータを取得したが、モデルによる予測と実測データが整合せず、モデルの改良が必要であることが分かった。また、収着拡散特性に及ぼす有機物と高アルカリ性環境の影響を評価するため、フミン酸を共存させた条件でのユーロピウムに対するバッチ法による収着試験と枯渇法による拡散試験を実施した。稚内層の岩石（HDB-10 孔）をアルカリ処理したものと未処理のものに対する試験結果から、ユーロピウムの収着分配係数は、フミン酸濃度の増加に伴い減少するとともに、アルカリ処理した方が低下することが分かった。さらに、拡散係数もフミン酸濃度の増加に伴い減少することが分かった。この原因は、フミン酸とユーロピウムが結合し、錯体を形成するためであると考えられた。

微生物については、2008 年度に引き続いて、地下水中の微生物の種類や生菌数などの定量評価手法について検討し、3 種類の方法（培養法、リアルタイム PCR 法、複合定量法）についてそれらの特徴を活かした微生物定量評価手法の標準化案を提示した。また、岩盤の酸化還元緩衝能力に関わる模擬試験を実施し、微生物活動が還元環境の形成に寄与することが分かった。

2010年度は、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業として、2007年度より実施している処分システムの化学影響評価に関する研究として、既存のボーリング孔から採取したコアや地下水を用いて、岩石や緩衝材中での物質の拡散特性や収着特性のほか、物質移行に及ぼす有機物などの影響に関する室内試験を継続した。

拡散特性や収着特性については、高収着性の元素を含めて、多様な元素と環境条件に対して信頼性の高い収着・拡散パラメータを取得するためにプロトタイプとして開発した拡張型の透過拡散法とトレーサー減衰法を、HDB-6孔から採取した稚内層の岩石に適用した。収着性の高い元素のうち、ニッケルについては、単純拡散を仮定したモデルとの不整合が認められた。これは、収着・拡散特性が化学形態や拡散経路に依存するためと考えられるが、詳細については引き続き検討する予定である。一方、アメリカシウムについては、モデルとの整合性が良好な結果となった。

収着・拡散特性に及ぼす有機物の影響については、有機錯体形成についてのモデルとデータベースの構築、ならびに有機錯体の収着・拡散解析手法の開発を進めている。また、地下水中の天然有機物質として、深度250m調査坑道およびHDB-10孔から採取した地下水から腐植物質（フルボ酸、フミン酸）を分離・精製し、フルボ酸、フミン酸の深度ごとの構成比率、構造特性を調べた。その結果、深度によってフルボ酸、フミン酸の構成比率は変化するものの、元素組成などの構造特性に大きな相違はないことがわかった。次に、地下水から分離・精製した腐植物質とユーロピウムの錯体形成試験を実施した。その結果、アルカリ条件下において有機錯体の形成によるユーロピウムの溶解度の変化は認められなかった。これは溶存炭酸との錯体形成などの影響に起因するものと考えられる。また、腐植物質を共存させた条件で、稚内層の岩石に対するユーロピウムおよびトリウムの拡散試験を行った結果、腐植物質は幌延の地下水条件下において拡散に影響しないこと、および腐植物質の岩盤への拡散がほとんど起こらないことが分かった。

5.2.2 安全評価手法の適用性確認

第2段階の調査研究では、第1段階で地下水流動や物質移動の解析に用いたモデルの妥当性を確認するとともに、換気立坑先行ボーリング調査や坑道内で取得される岩石などを用いた透水性などの物性データの拡充⁴⁰⁾や、解析に影響を及ぼす現象のモデル化に関する検討⁴¹⁾を継続した。また、地下水流動や物質移動の解析を試行する過程で得られる知見を整理・統合することにより、安全評価手法の高度化を進めた。以下に、年度ごとの実施内容を記述する。

2006年度は、地下水流動や物質移動解析の結果に大きな影響を及ぼす地質環境の特性やパラメータなどの信頼性を向上させるための検討を行った。具体的には、堆積岩の鉱物粒子の間に分布する間隙を地下水や物質が移動するという多孔質媒体の概念に基づいた場合、重要なパラメータとなる水理学的有効間隙率について、他の研究事例などを参考にその算出方法の検討を行った。さらに、堆積岩中の割れ目を地下水や物質が選択的に移動するという亀裂性媒体の概念に基づいた場合、水みちとなる割れ目の空間分布や形状、透水性などが重要となることから、第1段階の調査研究で取得した地質環境データをもとに、それらの情報について再解析・検討を行うとともに、地質構造および水理地質構造の概念モデルの見直しを行った。また、安全評価手法の適用性確認に関する今後の調査や解析などの取り組みについて、計画書を作成し、その進め方をより具体化した。

2007年度は、前年度に策定した計画に基づいて、実際の地質環境データによる安全評価手法の適用性の確認を目的とした調査や解析などの具体的な取り組みについて検討を継続した。検討にあたっては、第1段階の調査研究で取得したデータによる幌延地域の地質環境を事例とした物質移動の解析結果^{42),43)}に基づき、地下水流動や物質移動の解析の結果に大きな影響を及ぼす地質環境の特性やパラメータなどを確認しながら、それらの知見の拡充を目的とした調査試験を調査研究計画に反映することなどにより、信頼性を向上させることとした。

2008年度は、実際の地質環境データによる安全評価手法の適用性の確認を目的とした調査や解析などへの取り組みの具体化について検討を継続した⁴⁴⁾。検討にあたっては、第1段階の調査研究で取得したデータによる幌延地域の地質環境を事例とした物質移動の解析結果⁴⁵⁾や、地質環境の調査から解析、物質移動に至る一連の手法の高度化に関する研究計画⁴⁶⁾の基本方針に基づいて、安全評価上重要な項目の抽出や整理に関する検討を行った。表層部については、安全評価上重要と考えられる地層の透水性などの調査、水収支に関する観測から地質構造のモデル化、降水量などの水理学的な条件の設定、評価に至る情報の反映の手順などを含めた評価のための考え方の整理を行った⁴⁷⁾。

第2段階の調査研究計画⁴⁴⁾に基づく調査や解析において、解析に必要な手法の適用に際しての空間的な規模などの特徴に応じた整理を行うとともに、第2段階の調査の進展に伴って更新する地質構造モデルなどに基づく解析結果への影響の大きさや範囲などについて検討を行うことが課題である。

2009年度は、地質環境調査で特定された、安全評価上重要な透水性割れ目について定量的に特性を評価し、その結果に基づいて透水性割れ目の三次元的な連続性・連結性の構造を不連続割れ目ネットワークモデルで構築した。三次元割れ目ネットワークモデルの構築においては、割れ目の形状を円盤として近似し、割れ目の密度、方向、サイズ、水理特性を実測データに基づき統計的に評価することが必要となる。割れ目の密度については、地上からのボーリング調査結果を分

析することにより、地下施設周辺における割れ目の三次元密度（単位体積中に存在する割れ目の表面積の総和）の分布を推定した。割れ目の方向についても、同様に割れ目の走向と傾斜のデータを分析した。図 5.2.2-1 は透水性割れ目の走向と傾斜に関する下半球投影図である。図 5.2.2-1 から分かるように、地下施設周辺においては方向の異なる 2 つの割れ目の組が存在することが推定できた。割れ目のサイズについては、露頭調査で観察した割れ目のトレース長および大曲断層の三次元構造のモデルに基づき推定したトレース長について、割れ目の累積数との関係を整理したところ、傾きが -1.5 のべき乗則に従うことが確認された（図 5.2.2-2）。

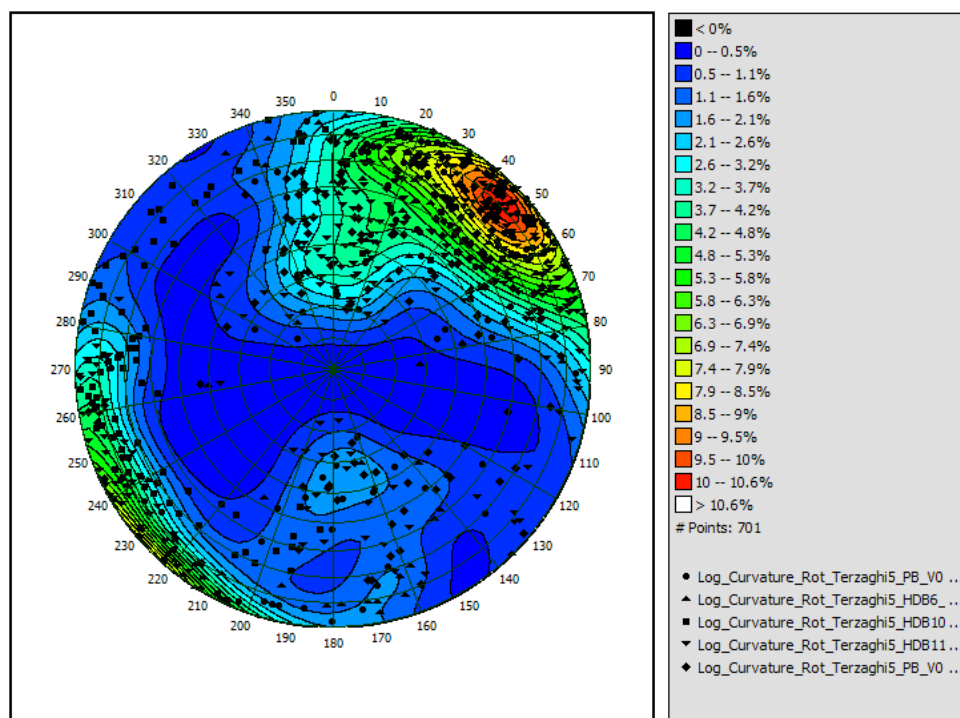


図 5.2.2-1 地下施設周辺に分布する透水性割れ目の方向性に関する下半球投影図の例

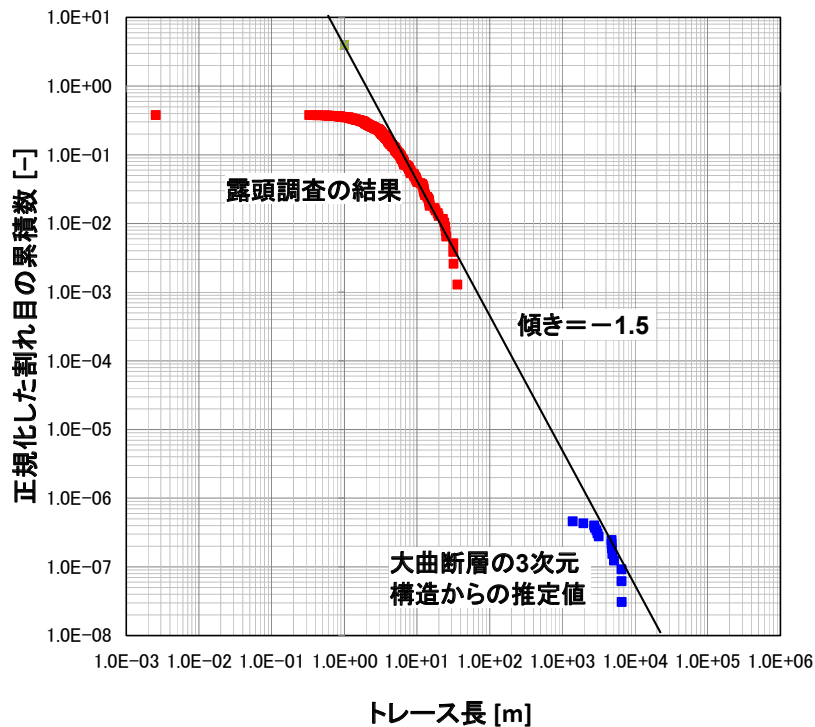
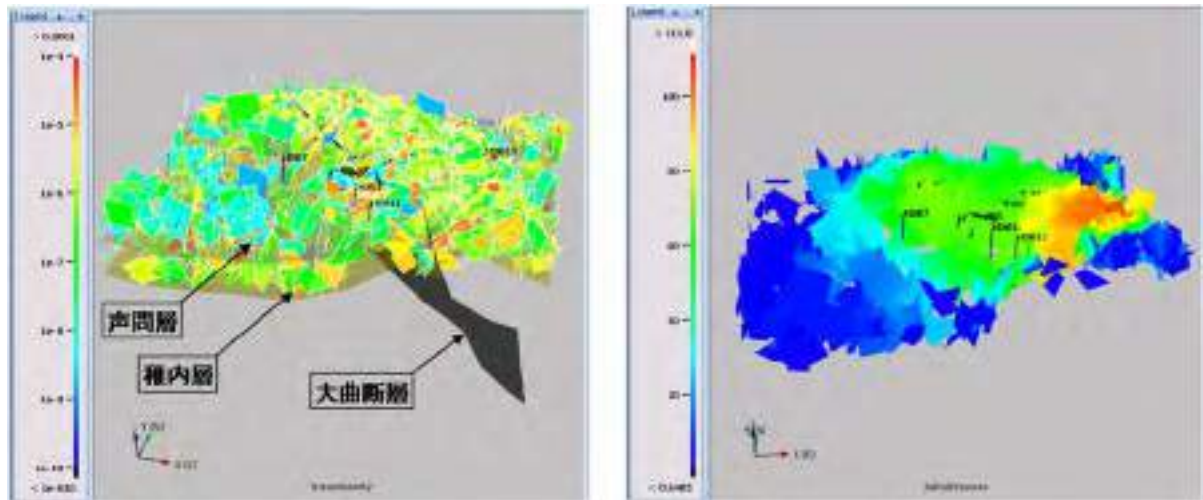


図 5.2.2-2 透水性割れ目のトレース長に関する累積分布図

透水性割れ目の水理特性である透水量係数については、地上からのボーリング調査において実施した電気伝導度検層と水理試験の結果を対比することにより推定した。その結果、透水性割れ目の透水量係数は平均値 1.72×10^{-6} (m^2/s)、標準偏差 3.21×10^{-6} (m^2/s) の対数正規分布に従うことが分かった。また、割れ目の開口幅については、割れ目中の地下水の流れが三乗則に従うと仮定することにより推定した。これらの推定した割れ目の特性に基づき、三次元割れ目ネットワークモデルを構築した。モデルの構築に際しては、地上からのボーリング調査で観察された透水性割れ目および研究所設置地区の南北方向に位置する大規模断層である大曲断層は決定論的に、その他の割れ目は確率論的にモデル化した。モデル化の領域は、地下施設を中心とした 5km 四方の領域に分布する声問層と稚内層である。図 5.2.2-3(a) は、声問層と稚内層でモデル化した透水性割れ目のネットワーク構造である。また、図 5.2.2-3(b) は割れ目ネットワーク中の地下水流動解析を実施することにより得られた全水頭分布である。このように、声問層と稚内層中に分布する透水性割れ目の不連続な三次元ネットワーク構造を、等価な多孔質媒体として近似することなしに、割れ目の分布特性を考慮して、直接モデル化することにより、地下水の移行経路の偏在性や連続性を考慮して、地下水の移行経路の長さや移行時間が推定できるようになった。地下施設での調査やボーリング調査により、新たに取得される透水性割れ目に関するデータを取り込むことにより割れ目ネットワークモデルの信頼性を向上させるとともに、それに基づく安全評価解析を試行することにより、堆積岩における安全評価の方法論を構築していくことが課題である。



(a) 声間層および稚内層中の透水性割れ目のネットワーク構造 (b) 地下水流動解析により得られた全水頭分布

図 5.2.2-3 三次元不連続割れ目ネットワークモデル

2010 年度の検討結果を以下に示す。

これまでの地質調査および水理地質調査の結果から、声間層では割れ目が比較的短く、あまり連結していないこと、そのため地下水の通りやすさを示す透水係数が $10^{-10} \sim 10^{-7} \text{m/s}$ と比較的低いことがわかってきた。一方、その下位に分布する稚内層では割れ目が比較的長く、特に浅部（深度 400m 程度より浅い箇所）では引張り割れ目が発達しやすく割れ目が連結し、それが透水性を高くする（透水係数は $10^{-10} \sim 10^{-5} \text{m/s}$ ）要因となっていることがわかってきた。稚内層の深部（深度 400m 程度より深い箇所）では、割れ目があっても引張り割れ目が発達しにくい割れ目の連結性は低く、透水性は低くなる傾向（透水係数は $10^{-12} \sim 10^{-7} \text{m/s}$ ）があると考えられる⁴⁸⁾。また、地下水の地球化学についての調査結果からは、深度 400m 程度より深い稚内層では、それより上位の稚内層および声間層に比べて、地表からの降水による地下水の希釈の割合が小さく、少なくとも約 150 万年以上の滞留時間を持った地下水が分布していることがわかってきた⁴⁹⁾。さらに、地質環境の長期安定性に関する研究からは、研究所設置地区周辺において隆起・侵食速度が過去 1,000 年で約 0.17～0.66m であることがわかってきている⁵⁰⁾。

以上のような地質環境調査および地質環境の長期安定性に関する研究の結果に基づいて、将来の地質環境の変遷を想定した。対象として、稚内層の深部に位置し、透水性が低く、降水による地下水の地球化学特性への影響も限られている深度 450m を選定した。将来の地質環境の変遷を想定するに当たって、人工バリアおよび天然バリアに割り当てられると考えられる安全機能とそれが発揮される期間を、主な天然現象が生じる期間とともに、図 5.2.2-4 のように基本的な時間フレームとして整理した。

熱・再冠水フェーズは、坑道の掘削・埋め戻しや廃棄体からの発熱の影響により、人工バリアおよび周辺岩盤で過渡的に熱・水・応力・化学連成現象が生じると考えられる期間で、これまでの研究から 1,000 年程度で安定的な環境になると想定される。気候フェーズは、隆起・侵食速度や地下水の地球化学特性から、深度 450m において現在の地質環境がほぼ安定的に継続すると想定される 10 万年程度までの期間とした。将来 10 万年程度の期間においては 1 回の氷期・間氷期サイクルとそれによる侵食・堆積が生じると考えられるが、その深部への影響は限定的と考えられる。地質環境変遷フェーズは、隆起・侵食速度の観点から現在の地質環境が安定的に継続するとは考えにくい期間で、隆起・侵食による地質環境への影響が大きくなると想定される。隆起・

侵食などの天然現象が地質環境に与える影響については、想定しうる天然現象を列挙し、天然現象（**E**vents）が地質環境特性（**F**eatures）に与える影響、および現象間、特性間の相互作用をプロセス（**P**rocesses）として、FEP マトリクスと呼ばれる表形式で整理した⁵¹⁾。

天然バリアとして地質環境に期待される安全機能は、熱・再冠水フェーズでは、人工バリアに対して適切な地質環境条件を提供することであり、気候フェーズあるいは地質環境変遷フェーズにおいては遅延機能が挙げられる。前者に対しては、第3段階での原位置試験を通じて、安全機能を確認する方法論の構築を進めることとなる。後者に対しては、主に稚内層を対象として、地下水が割れ目を通して流れると仮定した三次元割れ目ネットワークモデルの構築、それに基づく地下水流動解析および簡易的な物質移行解析を、2009年度に引き続き実施した。2010年度の解析では、研究所設置地区周辺の比較的大きな規模の割れ目を決定論的に設定するとともに、割れ目のサイズについてボーリング調査で得られた断層岩の厚さとの相関性を考慮したモデルとした（図 5.2.2-5）。

表層部を対象とした水理地質構造モデルの構築および地下水流動、物質移行評価に関する研究については、モデル化・解析・評価の方法論の整備を 2009 年度に引き続き行った。

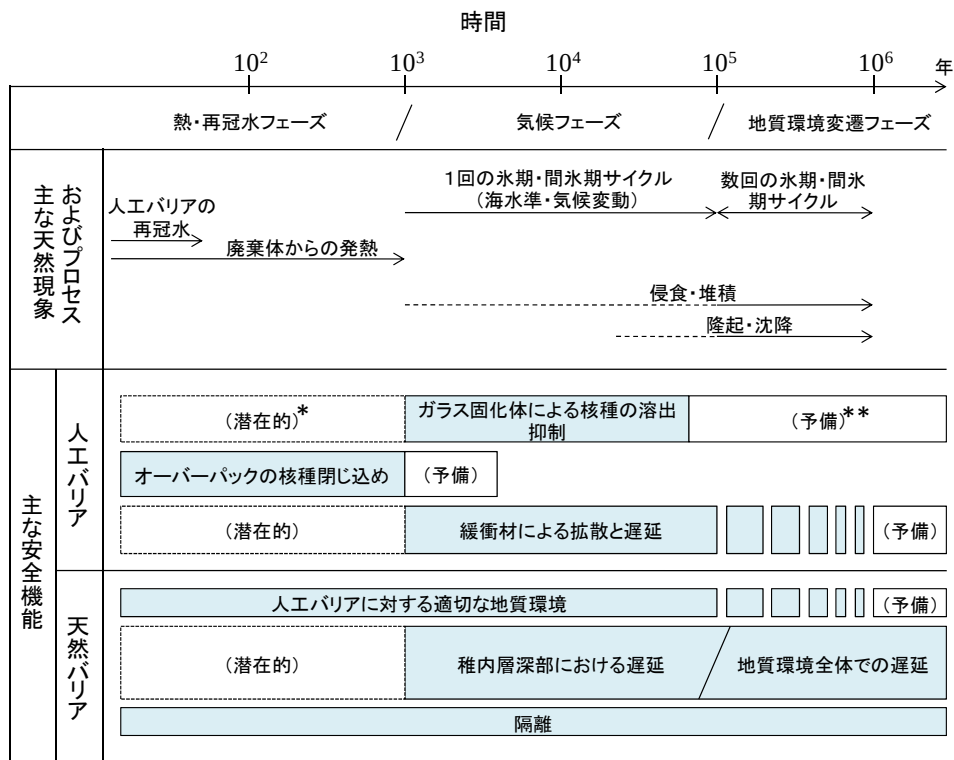


図 5.2.2-4 主な天然現象、プロセスおよび安全機能の時間フレーム

*潜在的：オーバーパックは 1,000 年の間、核種を完全に閉じ込めるよう設計される。この間、ガラス固化体の溶出抑制機能や緩衝材の遅延機能などは期待されていないが、万一、オーバーパックが破損した場合には、ガラス固化体や緩衝材のそれらの機能が働くよう設計される。そのため、通常期待されていない期間については、潜在的な安全機能としている。

**予備：第2次取りまとめ⁵²⁾では、保守的にガラス固化体は 7 万年で完全に溶解すると仮定しているが、現実的な環境ではより長い期間存在すると想定されている。このような機能が現実的に想定される期間については、予備の安全機能としている。

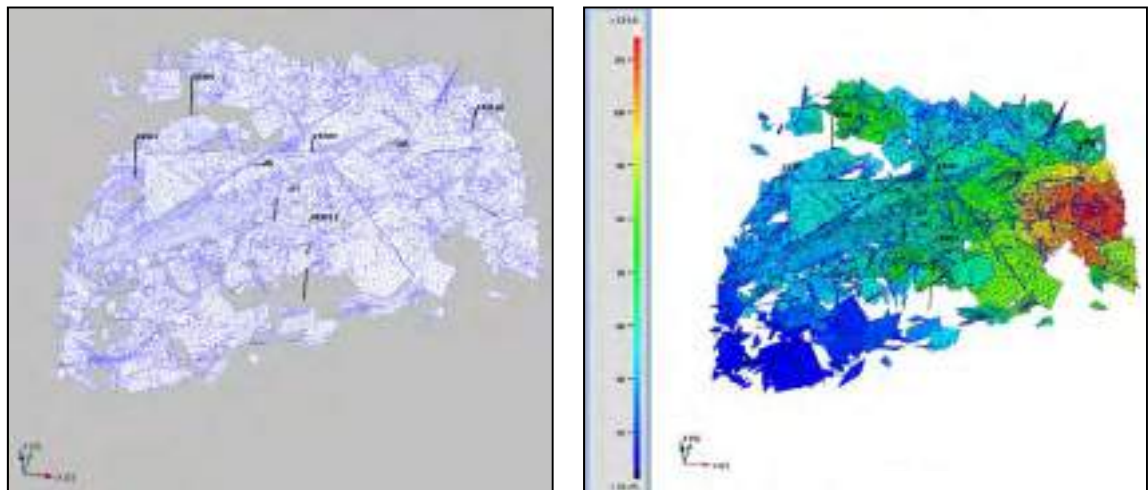


図 5.2.2-5 三次元割れ目ネットワークモデル（左）と地下水流動解析により得られた全水頭分布（右）

参考文献

- 1) 小西一寛, 中山 雅, 三原守弘, 吉田 泰, 入矢桂史郎, 秋好賢治, 納田 勝:“幌延深地層研究計画における低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの施工性に関する研究”, JAEA-Research 2006-040, 53p. (2006) .
- 2) 小林保之, 山田 勉, 中山 雅, 松井裕哉, 松田 武, 小西一寛, 入矢桂史郎, 納田 勝:“低アルカリ性セメントを用いたコンクリートに関する原位置試験計画案”, JAEA-Review 2007-007, 42p. (2007) .
- 3) 入矢桂史郎, 三上哲司, 秋好賢治, 上垣義明:“幌延深地層研究センターにおけるコンクリート材料の施工性に関する研究 (II) ”, JNC TJ8400 2002-013, 86p. (2002) .
- 4) 入矢桂史郎, 三上哲司, 竹田宣典, 秋好賢治:“幌延深地層研究センターにおけるコンクリート材料の施工性に関する研究 (III) ”, JNC TJ5400 2003-002, 104p. (2003) .
- 5) 入矢桂史郎, 栗原雄二, 納田 勝:“幌延深地層研究センターにおけるコンクリート材料の施工性に関する研究 (V) ”, JNC TJ5400 2004-003, 45p. (2005) .
- 6) 松田 武, 納多 勝, 入矢桂史郎, 小西一寛, 中山 雅, 小林保之:“幌延深地層研究計画における低アルカリ性セメントの適用性に関する研究”, JAEA-Research 2007-089, 139p. (2008) .
- 7) Thomas, F., Hanspeter, W., Volker, W. : “Low pH shotcrete field test on Opalinus clay samples”, R&D on low-pH cement for a geological repository. 3rd workshop, Paris, June 13-14 (2007).
- 8) 日本原子力研究開発機構:“平成 20 年度地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 地下坑道施工技術高度化開発 報告書” (2009) .
- 9) 日本原子力研究開発機構:“平成 21 年度地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 地下坑道施工技術高度化開発 報告書” (2010) .
- 10) 原子力環境整備促進・資金管理センター:“平成 22 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費 地層処分実規模設備整備事業 報告書” (2011) .
- 11) 中司 昇, 畑中耕一郎, 佐藤治夫, 杉田 裕, 中山 雅, 朝野英一, 斉藤雅彦, 須山泰宏, 林 秀郎, 本田ゆう子, 菱岡宗介:“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 22 年度成果報告- (共同研究) ”, JAEA-Research 2013-026, 57p. (2013) .
- 12) 原子力環境整備促進・資金管理センター:“平成 20 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費 地層処分実規模設備整備事業 報告書” (2009) .
- 13) 中司 昇, 畑中耕一郎, 佐藤治夫, 杉田 裕, 中山 雅, 宮原重憲, 朝野英一, 斉藤雅彦, 須山泰宏, 林 秀郎, 本田ゆう子, 菱岡宗介:“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 (共同研究) ”, JAEA-Research 2009-044, 53p. (2010) .
- 14) 原子力環境整備促進・資金管理センター:“平成 21 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費 地層処分実規模設備整備事業 報告書” (2010) .
- 15) 中司 昇, 畑中耕一郎, 佐藤治夫, 杉田 裕, 中山 雅, 宮原重憲, 朝野英一, 斉藤雅彦, 須山泰宏, 林 秀郎, 本田ゆう子, 菱岡宗介:“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 21 年度成果報告- (共同研究) ”, JAEA-Research 2010-060, 50p. (2011) .
- 16) 核燃料サイクル開発機構:“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,p.III-2, 703p. (1999) .
- 17) 佐藤治夫:“スメクタイト表面の水の熱力学特性の膨潤圧への適用”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会予稿集 B43, p.43 (2006) .
- 18) Sato, H. : Thermodynamic Data of Water on Smectite Surface and Those Applications to

- Swelling Pressure of Compacted Bentonite”, Proceedings of International Workshop on Mobile Fission and Activation Products in Nuclear Waste Disposal, pp.173-184(2009).
- 19) 鈴木宏幸, 谷口直樹: “低酸素濃度下におけるチタンの腐食速度と水素吸収挙動”, 材料と環境, Vol.55, No.11, pp.485-494 (2006) .
 - 20) Vieno, T., Lehtikoinen, J., Löfman, J., Nordman, H. and Mészáros, F.: “Assessment of Disturbances Caused by Construction and Operation of ONKALO”, POSIVA 2003-06(2003).
 - 21) 山田 勉, 平本正行, 小林保之, 油井三和, 佐藤治夫, 松井裕哉: “処分場建設の際に持ち込まれる材料の長期性能評価の観点からの留意点”, JAEA-Review 2007-008, 44p. (2007) .
 - 22) 核燃料サイクル開発機構, 電気事業連合会: “TRU 廃棄物処分技術検討書ー第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめー”, JNC TY1400 2005-013, 594p. (2005) .
 - 23) 佐藤治夫: “緩衝材及び埋め戻し材の膨潤圧に及ぼす塩濃度の影響に関する熱力学的アプローチ”, 日本原子力学会 2008 年春の年会予稿集 I1, p.404 (2008) .
 - 24) 鈴木英明, 柴田雅博, 山形順二, 広瀬郁朗: “緩衝材の特性試験 (I) ”, PNC TN8410 92-057 (1992) .
 - 25) 鈴木英明, 藤田朝雄: “緩衝材の膨潤特性”, JNC TN8400 99-038, 100p. (1999) .
 - 26) 菊地広人, 棚井憲治: “幌延地下水を用いた緩衝材・埋め戻し材の基本特性試験”, JNC TN8430 2004-005, 96p. (2005) .
 - 27) 日本原子力研究開発機構 “緩衝材基本特性データベース” (2006) :
(<https://bufferdb.jaea.go.jp/bmdb/>). (accessed 2016.6.17).
 - 28) Sato, H.: “Thermodynamic Understanding on Swelling Pressure of Bentonite Buffer”, Proceedings for the 15th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE15), April 22-26, 2007, Nagoya, Japan, ICONE15-10207 (2007) .
 - 29) 佐藤治夫: “緩衝材及び埋め戻し材の膨潤圧の熱力学的計算”, 第 10 回放射線廃棄物地層処分に関する情報交換会 (Sapporo Conference 2008) 報告書, pp.145-155 (2008) .
 - 30) 谷口直樹, 鈴木宏幸, 内藤守正: “高 pH 化した海水系地下水環境における炭素鋼の局部腐食進展挙動”, JAEA-Research 2009-066 (2009) .
 - 31) 谷口直樹, 川崎 学, 内藤守正: “アンモニア水溶液及びアンモニア・イオンを含む地下水中における純銅の応力腐食割れ挙動”, JAEA-Research 2009-067, 29p. (2009) .
 - 32) 原子力安全委員会 安全研究専門部会: “日本原子力研究開発機構に期待する安全研究”, 平成 17 年 6 月 (2005) .
 - 33) 核燃料サイクル開発機構: “幌延深地層研究計画 平成 16 年度調査研究成果報告”, JNC TN5400 2005-001, 71p. (2005) .
 - 34) Xia, X., 柴田雅博, 亀井玄人: “海水系地下水条件下での堆積岩に対するセレンの収着”, 日本原子力学会バックエンド部会, 第 20 回バックエンド夏期セミナー資料集, ポスター 7-1~7-9 (2004) .
 - 35) 石寺孝充, 黒澤精一: “幌延堆積岩中の核種の拡散係数の取得”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会予稿集 I15, p.494 (2007) .
 - 36) 久野義夫, 笹本 広: “地下水中のコロイドの特性評価に及ぼす水質擾乱影響の予察的検討”, JAEA-Research 2008-016, 21p. (2008) .
 - 37) 石寺孝充, 黒澤精一: “幌延地域に分布する堆積岩類への Cs⁺の収着に及ぼすイライト含有率及び K⁺の影響”, 日本原子力学会 2008 年秋の大会予稿集, p.685 (2008) .
 - 38) 飛塚早智子, 小原幸利, 飯島和毅, 佐藤治夫: “還元条件下における Np の溶解度に及ぼすフミ

- ン酸の影響”, JNC TN8400 2003-018, 53p. (2003) .
- 39) 下茂道人, 熊本 創, 伊藤 章, 唐崎健二, 澤田 淳, 小田好博, 佐藤 久: “亀裂を有する堆積岩の水理・物質移行評価のためのデータ取得・解析 (III) ”, JAEA-Research 2009-060, 70p. (2009) .
- 40) 下茂道人, 熊本 創, 唐崎健二, 澤田 淳, 前川恵輔, 佐藤 久: “亀裂を有する堆積岩の水理・物質移行評価のためのデータ取得・解析”, JAEA-Research 2008-029, 95p. (2008) .
- 41) 高須民男, 前川恵輔, 澤田 淳: “多孔質媒体均質層及び二層不均質層を対象にした塩淡水境界面の挙動”, JAEA-Research 2008-030, 45p. (2008) .
- 42) 藤田朝雄, 谷口直樹, 松井裕哉, 棚井憲治, 西村繭果, 小林保之, 平本正行, 前川恵輔, 澤田 淳, 牧野仁史, 笹本 広, 吉川英樹, 柴田雅博, 若杉圭一郎, 濱 克宏, 操上広志, 國丸貴紀, 石井英一, 竹内竜史, 中野勝志, 太田久仁雄, 瀬尾俊弘, 宮原 要, 内藤守正, 油井三和: “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「地層処分研究開発」”, JAEA-Research 2007-045, 140p. (2007) .
- 43) 梅田浩司, 大井貴夫, 大澤英昭, 大山卓也, 小田治恵, 亀井玄人, 久慈雅栄, 黒澤英樹, 小林保之, 佐々木康雄, 佐藤治夫, 真田祐幸, 澤田 淳, 仙波 毅, 谷口直樹, 竹内真司, 棚井憲治, 田力正好, 鶴田忠彦, 内藤守正, 中山 雅, 新里忠史, 久野義夫, 藤島 敦, 藤田朝雄, 藤原健壮, 舟木泰智, 本田 明, 前川恵輔, 三原守弘, 宮原 要, 安江健一: “地層処分技術に関する知識基盤の構築—平成 18 年度報告—”, JAEA-Review 2007-050, 82p. (2007) .
- 44) 岩月輝希, 佐藤治夫, 棚井憲治, 稲垣 学, 澤田 淳, 新沼寛明, 石井英一, 前川恵輔, 戸村豪治, 真田祐幸, 國丸貴紀, 浅森浩一, 新里忠史, 常盤哲也, 杉田 裕, 山崎雅直, 中村隆浩, 藤田朝雄, 谷口直樹, 小林保之, 林 克彦, 斉藤雄也, 舘 幸男, 飯島和毅, 笹本 広: “幌延深地層研究計画における第 2 段階の調査研究計画 (H20-21) ”, JAEA-Research 2009-002, 156p. (2009) .
- 45) 牧野仁史, 澤田 淳, 前川恵輔, 柴田雅博, 笹本 広, 吉川英樹, 若杉圭一郎, 小尾 繁, 濱克宏, 操上広志, 國丸貴紀, 石井英一, 竹内竜史, 中野勝志, 三枝博光, 竹内真司, 岩月輝希, 太田久仁雄, 瀬尾俊弘: “地質環境の調査から物質移行解析にいたる一連の調査・解析技術; 2 つの深地層の研究施設計画の地上からの調査研究段階 (第 1 段階) における地質環境情報に基づく検討”, JNC-TN1400 2005-021, 148p. (2005) .
- 46) 前川恵輔, 澤田 淳, 太田久仁雄, 操上広志, 國丸貴紀, 舟木泰智, 濱 克宏, 竹内真司, 天野健治, 三枝博光, 牧野仁史, 中野勝志, 石丸恒存, 瀬尾俊弘, 清水和彦: “地質環境調査・物質移行評価に関する研究の基本的な方針”, JAEA-Review 2007-011, 8p. (2007) .
- 47) 前川恵輔, 川村 淳, 加藤智子, 戸村豪治, 稲垣 学: “北海道幌延地域を事例とした堆積岩地域の浅層部における水理・物質移行特性把握のための手法検討の進め方”, 日本原子力学会第 24 回バックエンド夏期セミナー資料集, ポスター5 (2008) .
- 48) Ishii, E., Funaki, H., Tokiwa, T. and Ota, K.: “Relationship between fault growth mechanism and permeability variations with depth of siliceous mudstones in northern Hokkaido, Japan”, J. Structural Geol., 32(11), pp.1792-1805 (2010).
- 49) 岩月輝希, 石井英一, 新里忠史: “北海道幌延地域における深部地球化学環境の長期変遷シナリオの構築”, 地学雑誌, Vol.118, pp.700-716(2009).
- 50) 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: “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, 434p. (2007).

- 51) Kurikami, H., Niizato, T. and Yasue, K. : “A study on time frame definition and reference evolution of the geological system for safety assessment -case study on the Horonobe URL site-”, Proceedings of 19th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-19) (CD-ROM) (2011).
- 52) 核燃料サイクル開発機構: “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3 地層処分システムの安全評価”, JNC TN 1400 99-023, 526p. (1999) .

6. 地下施設建設

複数の立坑および水平坑道から構成される地下施設の建設は、第2段階の調査研究において重要なイベントである。立坑の掘削は、第3段階の調査研究を実施するための地下へのアクセスであるとともに、坑道掘削が周辺岩盤や地下水に与える影響を把握することは、本段階における調査研究の目的のひとつである。また、水平坑道の掘削は、立坑掘削と同様に掘削影響を把握する目的を達成する手段であるとともに、第3段階の調査研究を実施する場所を提供する役割を担う。地下建設に係る技術開発は、第3章の深地層における工学的技術の基礎の開発で詳述しているとともに、別途取りまとめがなされている¹⁾。このため、本章においては、主に施工実績について簡単に記述する。

6.1 地下施設レイアウト

第1段階成果報告書²⁾における地下施設のレイアウトと、第2段階が終了した2014年度末のレイアウトを図6.1-1に示す。図6.1-2には各調査坑道のレイアウトを示す。深度350m調査坑道については、合理化がなされるとともに、試験坑道の位置が変更されているものの、立坑の配置や調査坑道の設置深度など、レイアウトの大きな部分についての変更はない。

各坑道の深度と基本形状ならびに総延長は以下のとおりである。

- 立坑：

換気立坑（内径4.5m）：380.0m

東立坑（内径6.5m）：380.0m

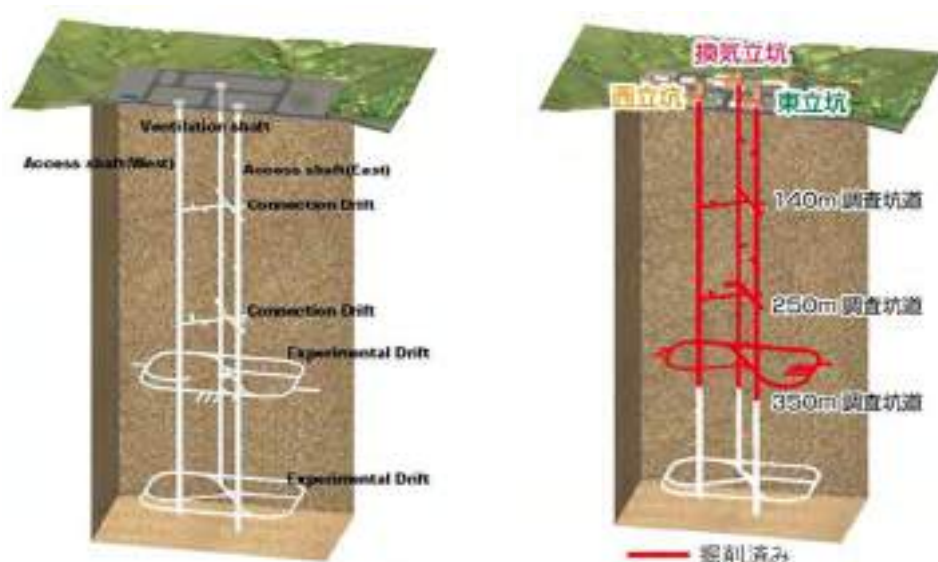
西立坑（内径6.5m）：365.0m

- 調査坑道：

深度140m調査坑道（幅4m 高さ3.6m：3心円馬蹄形）：186.1m

深度250m調査坑道（幅4m 高さ3.6m：3心円馬蹄形）：190.6m

深度350m調査坑道（幅4m 高さ3.6m：3心円馬蹄形）：757.1m



(a) 第1段階成果報告書（2007年3月） (b) 第2段階終了時（2015年3月）

図 6.1-1 地下施設のレイアウト

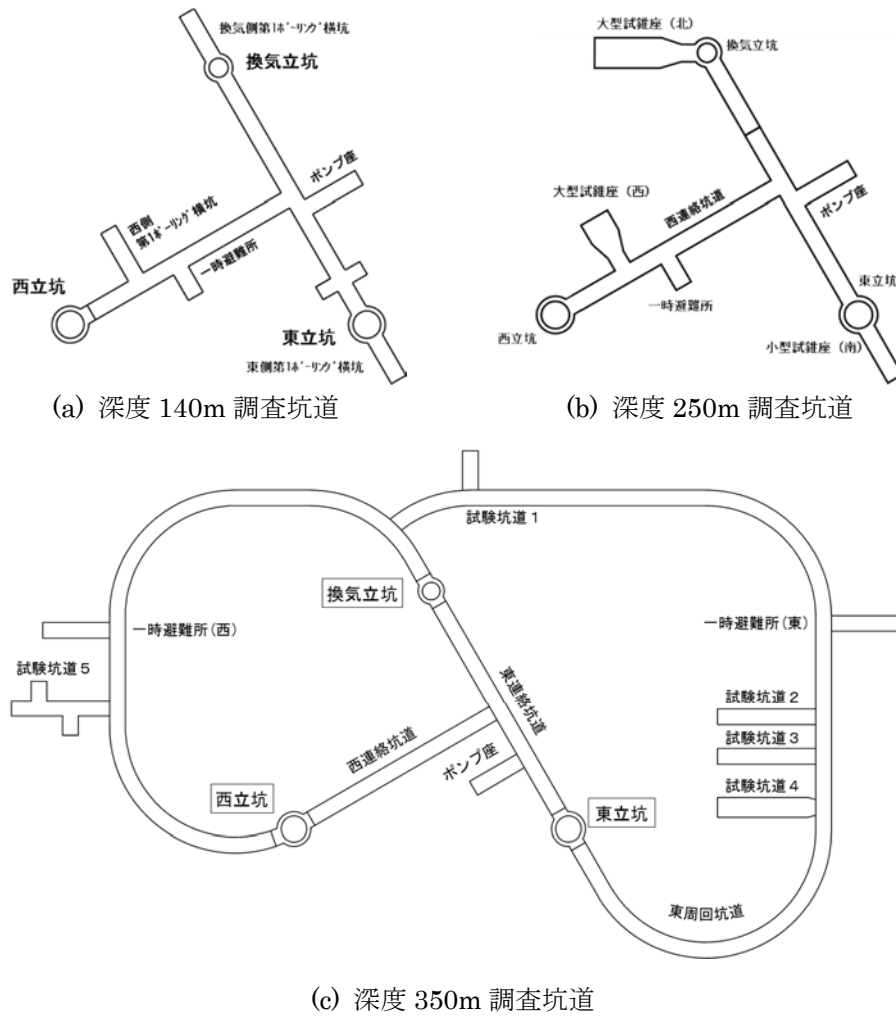


図 6.1-2 調査坑道のレイアウト

6.2 地上設備

幌延深地層研究センターの地上施設の配置図を図 6.2-1 に示す。換気立坑と東立坑および各設備の建設状況を図 6.2-2～6.2-4 に示す。



図 6.2-1 地上施設の配置図 (H24.10.8 撮影)

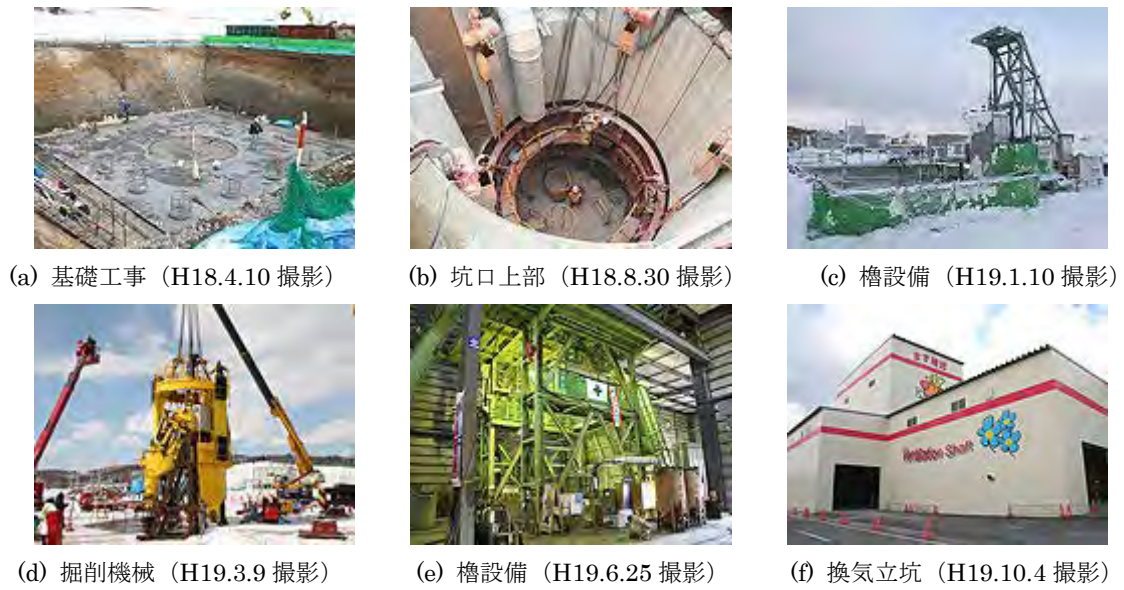


図 6.2-2 地上設備の建設状況（換気立坑）



図 6.2-3 地上設備の建設状況（東立坑）



図 6.2-4 地上設備の建設状況（その他の施設）（1/2）



(c) 排水処理設備 (H18.8.18 撮影) (d) 排水処理設備 (H18.10.5 撮影) (e) 排水処理設備 (H18.10.20 撮影)

(f) ブリ置場 (H19.8.3 撮影) (g) ブリ置場 (H20.11.13 撮影) (h) ブリ置場 (H22.5.16 撮影)

図 6.2-4 地上設備の建設状況 (その他の施設) (2/2)

6.3 施工実績

各坑道の施工実績として、掘削進捗を図 6.3-1 に示す。換気立坑の掘削を先行させ、続いて東立坑の掘削を進め、深度 140m, 250m, 350m において水平坑道を展開した。最後に西立坑の掘削を開始させた。深度 350m 調査坑道の掘削終了に前後して、3 本の立坑の掘削を再開し、スカフォードを収納させて、人キブルが深度 350m レベルに着床するようにした。各坑道の掘削の開始日と終了日は以下のとおりである。なお、日にちごとの掘削進捗を付録 C に収納した。

○立坑 : 換気立坑 : 2006 年 3 月 20 日～2014 年 2 月 17 日

東立坑 : 2006 年 9 月 1 日～2014 年 4 月 17 日

西立坑 : 2011 年 3 月 16 日～2014 年 3 月 24 日

○調査坑道 : 深度 140m 調査坑道 : 2007 年 12 月 24 日～2009 年 7 月 30 日

深度 250m 調査坑道 : 2008 年 10 月 28 日～2011 年 5 月 16 日

深度 350m 調査坑道 : 2012 年 3 月 26 日～2014 年 1 月 17 日

※深度 350m 調査坑道の整備完了は 2014 年 6 月 30 日

掘削の進捗が最も早かったのは (進捗図にて勾配が大きい)、立坑では西立坑の深度 46m から 118m までで、この間を 51 日で掘削しており月進 43m に相当する。水平坑道については、深度 350m 調査坑道の延長 500.6m から 580.0m までで、この間を 38 日で掘削しており月進 64m に相当する。

・立坑の掘削方法

換気立坑は自由断面掘削機を用いた機械掘削、東立坑は深度 250m までは発破掘削、250～350m はブレイカーを用いた機械掘削、西立坑はブレイカーを用いた機械掘削を基本とし、部分的に発破掘削を採用した。1 掘進長は 1m を基本としたショートステップ工法にて施工した。機械掘削と発破掘削の立坑一般部における施工順序を図 6.3-2, 6.3-3, 6.3-4 に示す。支保は、岩盤等級に応じて、覆工コンクリート (厚さ 40cm を基本) と、ロックボルトあるいは鋼製支保工との組み合わせを基本とした。各立坑の現時点における最深部の施工状況を図 6.3-5 に示す。

・調査坑道の掘削方法

深度 140m, 深度 250m および深度 350m 調査坑道の掘削は、ブレイカーなどに換装可能な防爆型電動小型バックホウを用いた。一般部の基本的な坑道形状は、幅 4m 高さ 3.6m の 3 心円馬

蹄形である。支保は、一次支保として厚さ 5cm の吹付けと鋼製支保（アーチ部分のみ）、二次支保としてアーチ部分に厚さ 20cm の吹付けを行うことを基本とし、岩盤等級に応じて、吹付けと鋼製支保の仕様を変えた。施工順序を図 6.3-6 に示す。各調査坑道の施工写真を図 6.3-7 に示す。

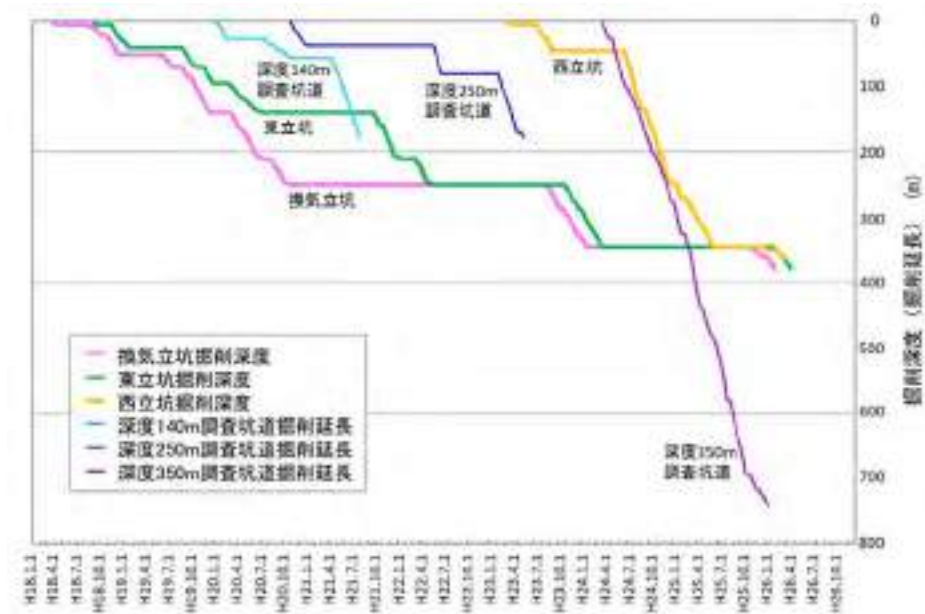


図 6.3-1 各坑道の掘削進捗

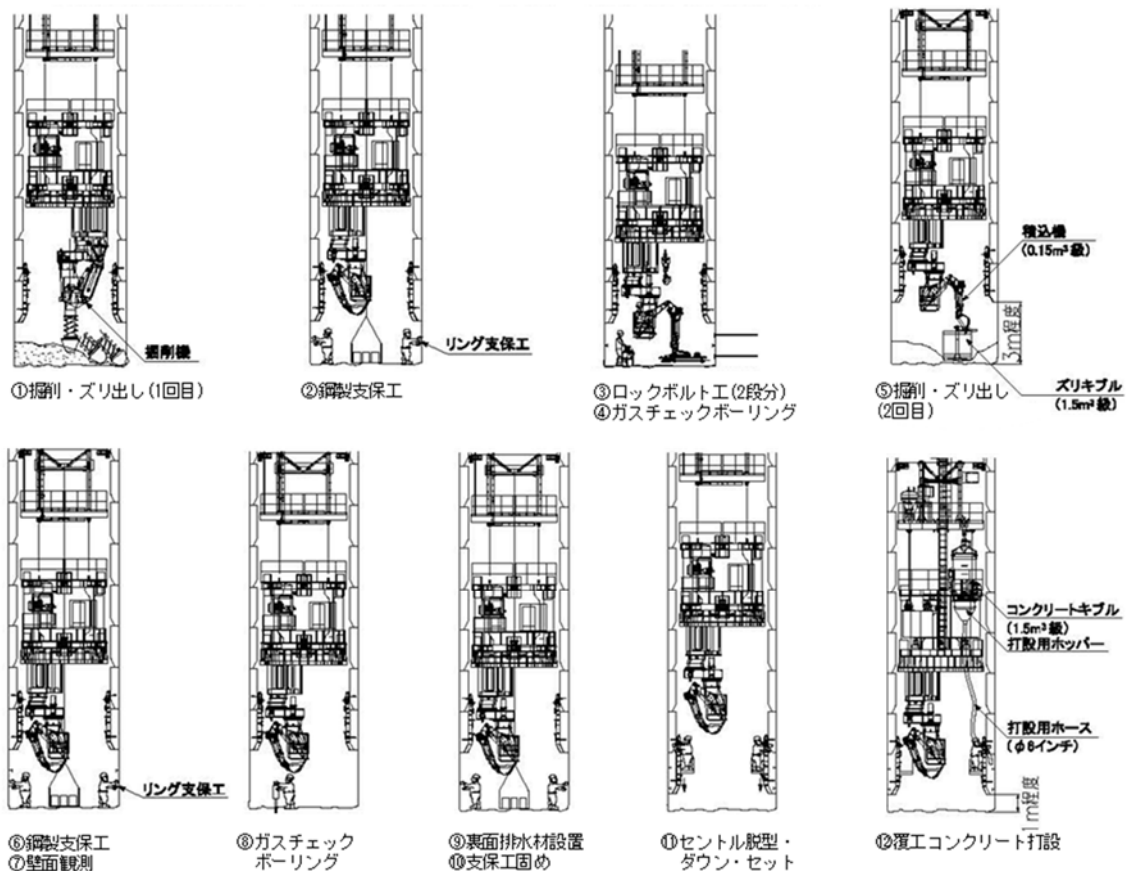


図 6.3-2 換気立坑の施工順序（機械掘削）

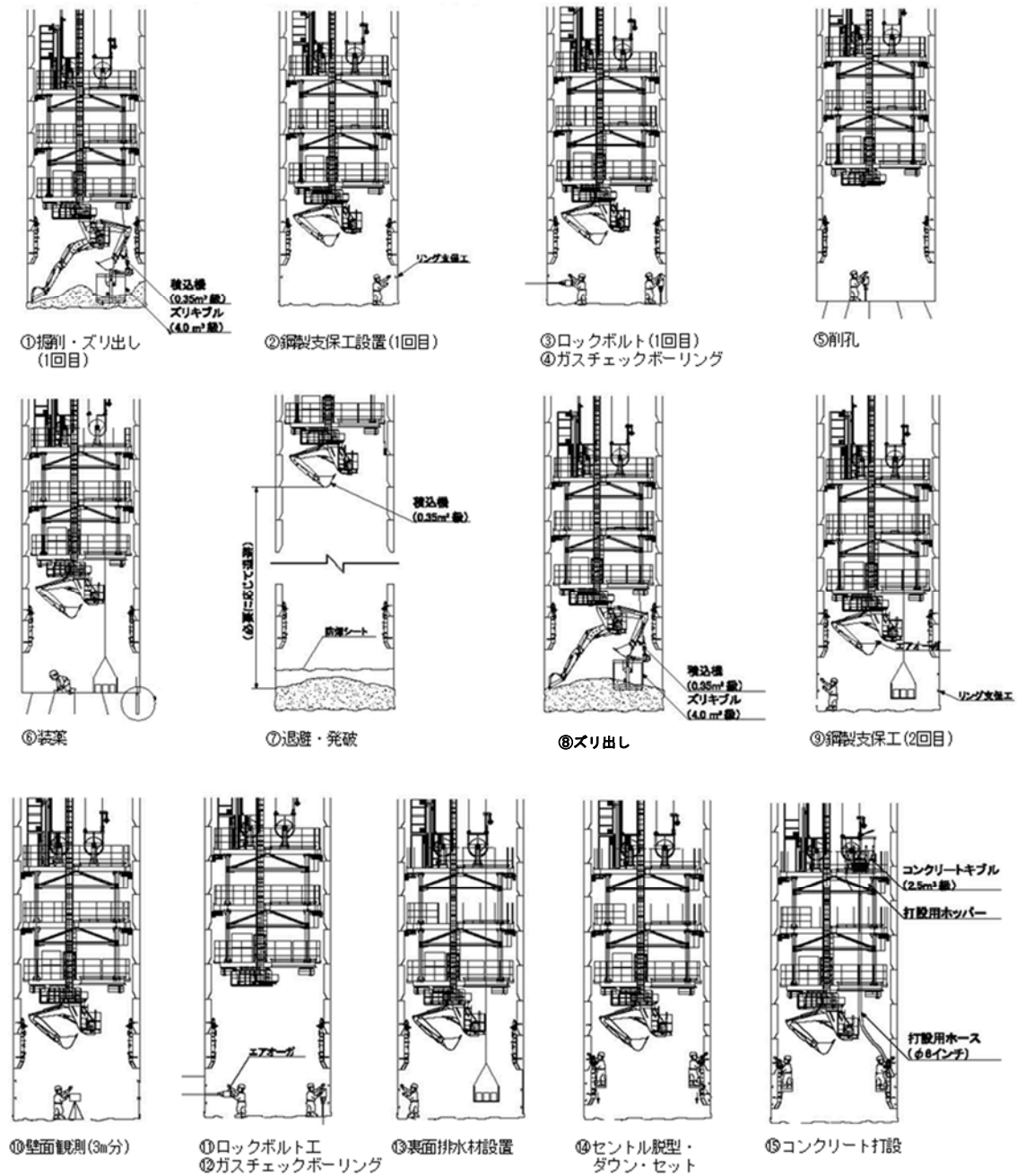


図 6.3-3 東立坑の施工順序（発破掘削の例）

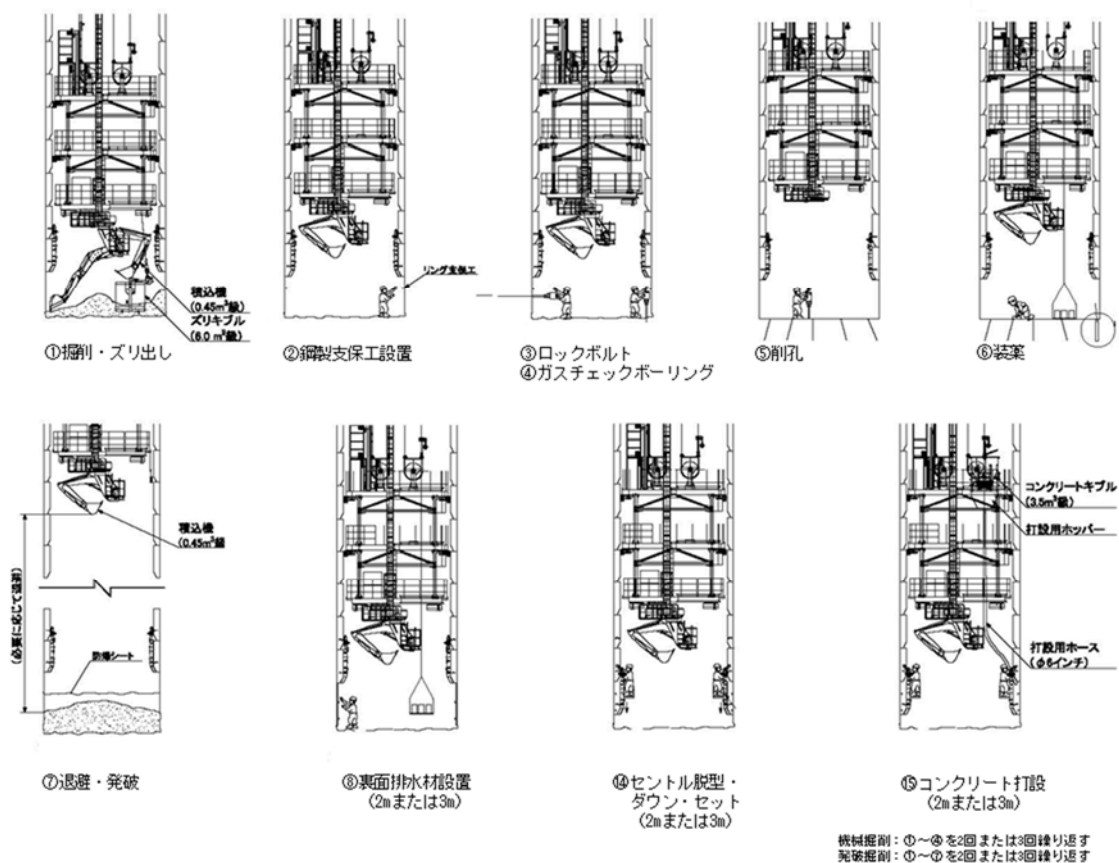


図 6.3-4 西立坑の施工順序（発破掘削・機械掘削）



(a) 換気立坑 (H26.2.21 撮影)

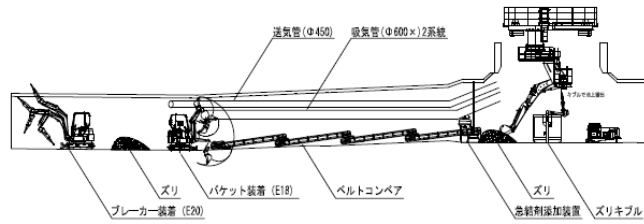


(b) 東立坑 (H26.4.25 撮影)

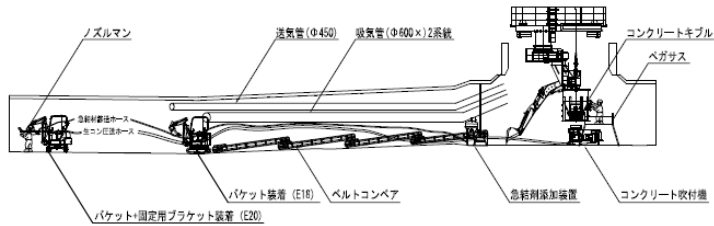


(c) 西立坑 (H26.3.28 撮影)

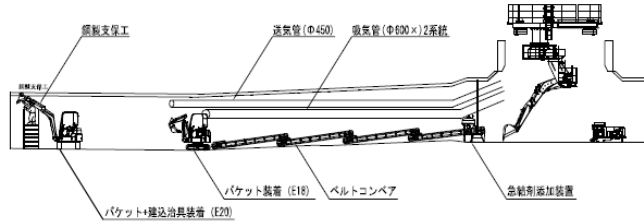
図 6.3-5 立坑の施工状況



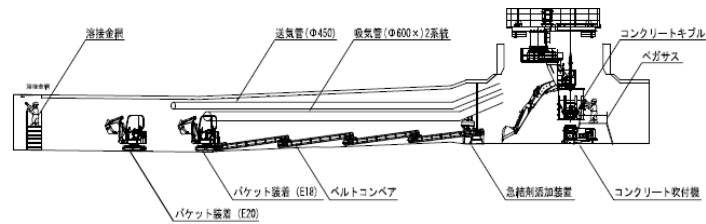
(a) 掘削・ズリ搬出



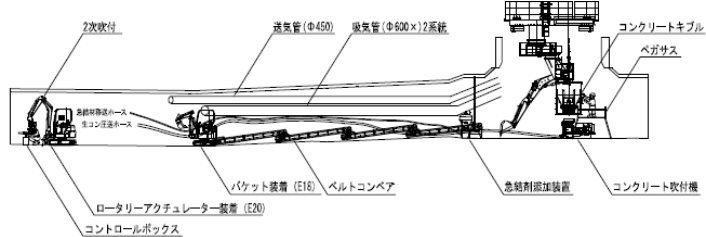
(b) 1次吹付け



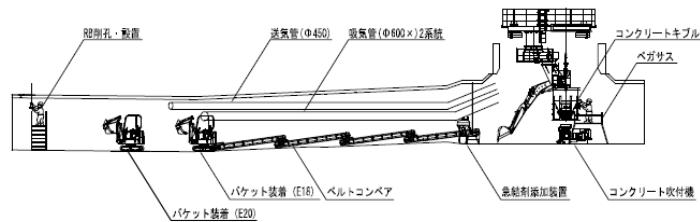
(c) 鋼製支保工設置



(d) 溶接金網設置



(e) 2次吹付け



(f) ロックボルト打設

図 6.3-6 調査坑道の施工順序



(a) 深度 140m 坑道 (H24.9 撮影) (b) 深度 250m 坑道 (H24.12 撮影) (c) 深度 350m 坑道 (H25.1 撮影)

図 6.3-7 調査坑道の施工状況

6.4 排水処理およびズリ処理

事前の工事敷地近傍でのボーリング調査の水質調査で、ホウ素及びアンモニア（窒素）が排水基準以上の値を示した。また、立坑の掘削により排水が濁水となることが推定されていた。これらのことから、排水の水質を排水基準以内にするため、工事敷地内にホウ素除去（脱ホウ素）とアンモニア性窒素除去（脱窒素）を目的とした脱ホウ素・脱窒素設備（最大処理量 400m³/日×2基）と濁水の処理設備（最大処理量：960m³/日）を設置し、立坑からの工事排水をこれらの設備で排水処理した後に、排水管を通じてポンプ圧送し、天塩川に放流している。

地下施設の建設によって発生したズリは、用地に接する道道の東側に設置したズリ置場に搬入し保管している。なお、ズリ置場からの浸出水もホウ素及びアンモニア（窒素）が比較的高濃度で含まれることから、同様に排水処理している。

6.5 環境モニタリング

幌延深地層研究センター周辺を対象とした環境モニタリング調査は、工事が開始された 2003 年度から継続して実施している。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魚類・植物を対象とした。各調査の実施時期および調査方法は表 6.5-1 に示すとおりである。水質については、排水処理設備からの放流先となる天塩川と、ズリ置場周辺の地下水、ズリ置場からの浸出が想定される清水川を対象としている。なお、地下施設の建設状況に対応して、調査項目や頻度は見直しを行っている。調査結果については、幌延深地層研究計画の年度報告書^{3),4),5),6),7),8),9),10),11)}において、詳細を記述している。

表 6.5-1 環境モニタリング調査項目

調査項目	調査実施時期				調査方法
	春季	夏季	秋季	冬季	
騒音	○	○	○	○	「特定建設作業に伴って発生する騒音の規模に関する基準」に定める測定方法
振動	○	○	○	○	「振動規制法施行規則」に定める測定方法
水質	○	○	○	○	「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	○	○	○	○	目視観察・採捕調査
植物群落	○	○	○	○	コドラート調査

6.6 契約形態

地下施設の建設ならびにこれに関連する地上設備の設置については、第Ⅰ期と第Ⅰ期２次は通常の工事契約、第Ⅱ期はPFI (Private Finance Initiative) による契約を締結して実施している。PFI とは、公共施設等の建設、維持管理、運営等を民間の資金、経営能力及び技術的能力を活用して行う新しい手法であり、民間の資金、経営能力、技術的能力を活用することにより、国や地方公共団体等が直接実施するよりも効率的かつ効果的に公共サービスを提供できるとされている。原子力機構で初めて導入された事業が「幌延深地層研究計画 地下研究施設整備等事業」である。現在、幌延深地層研究計画地下施設工事（第Ⅰ期）（工期：2005年10月3日～2009年3月16日）、地下施設工事（第Ⅰ期２次）（工期：2009年2月6日～2011年1月31日）に引き続き、下記の第Ⅱ期事業（2011年1月31日～2019年3月31日）を実施中である。

幌延深地層研究計画地下研究施設整備（第Ⅱ期）等事業

- ①施設整備業務期間：2010年度～2014年度
- ②維持管理業務期間：2010年度～2018年度
- ③研究支援業務期間：2010年度～2018年度

参考文献

- 1) 建設部，バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター，バックエンド研究開発部門 幌延深地層研究センター：“研究坑道掘削工事成果資料”，JAEA-Technology 2015-034，411p. (2015).
- 2) 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：“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 2007-044，434p. (2007).
- 3) 松井裕哉，中山 雅，真田祐幸（編）：“幌延深地層研究計画 平成 18 年度調査研究成果報告”，JAEA-Research 2007-092，83p. (2007).
- 4) 中山 雅，真田祐幸，杉田 裕（編）：“幌延深地層研究計画 平成 19 年度調査研究成果報告”，JAEA-Research 2008-074，72p. (2008).
- 5) 中山 雅，佐野満昭，真田祐幸，杉田 裕（編）：“幌延深地層研究計画 平成 20 年度調査研究成果報告”，JAEA-Research 2009-032，68p. (2009).
- 6) 中山 雅，佐野満昭，真田祐幸，杉田 裕（編）：“幌延深地層研究計画 平成 21 年度調査研究成果報告”，JAEA-Review 2010-039，67p. (2010).
- 7) 中山 雅，澤田純之，杉田 裕（編）：“幌延深地層研究計画 平成 22 年度調査研究成果報告”，JAEA-Review 2011-033，80p. (2011).
- 8) 中山 雅，天野健治，常盤哲也，山本陽一，大山卓也，天野由記，村上裕晃，稲垣大介，津坂仁和，近藤桂二，横田秀晴，南條 功，新里忠史，田中真悟，大原正嗣，神 和美：“幌延深地層研究計画 平成 23 年度調査研究成果報告”，JAEA-Review 2012-035，63p. (2012).
- 9) 中山 雅（編）：“幌延深地層研究計画 平成 24 年度調査研究成果報告”，JAEA-Review 2013-037，63p. (2013).
- 10) 花室孝広（編）：“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. (2014).
- 11) 花室孝広（編）：“幌延深地層研究計画 平成 26 年度調査研究成果報告”，JAEA-Review 2015-017，95p. (2015).

7. おわりに

幌延深地層研究計画は、原子力機構が、北海道幌延町で進めている堆積岩を対象とした総合的な研究開発計画であり、結晶質岩を対象として岐阜県瑞浪市で実施中の超深地層研究所計画と並んで、原子力長期計画や原子力政策大綱に示された深地層の研究施設計画の一つである。幌延深地層研究計画では、「深地層の科学的研究」と「地層処分研究開発」の二つの領域で研究開発を進めており、本報告書は、幌延深地層研究計画の第2段階である坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階（2005年4月～2014年6月）における調査研究の成果を取りまとめたものである。

以下に、2章から6章までに記述した、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、地層処分研究開発及び地下施設建設のそれぞれの成果を簡潔にまとめたうえで、第2段階における調査研究の成果を総括する。

(1) 地質環境調査技術開発

第2段階では、深度350mまでに展開される立坑と水平坑道の掘削と並行して、地質・地質構造、地下水流動、地下水の地球化学的特性、及び岩盤力学特性といった地質環境情報を取得し、第1段階で構築した地質環境モデルの妥当性や調査・解析手法の有効性を確認するとともに、それまでの情報に基づいて、地上からの地質環境調査に必要な調査解析技術や得られる情報の品質や不確実性を把握した。

(2) 深地層における工学的技術の基礎の開発

第2段階では、研究坑道の掘削を通じて、計測結果等の分析評価を行い、既往の地下施設設計手法等の適用性を評価した。また、実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合、想定外の事象に遭遇した場合、あるいは、坑道の掘削により地質環境を著しく乱す事象が生じた場合などにおいて、柔軟に設計変更ができること、さらに現状の対策工が適切に対応し得ることを示すことにより、設計・施工技術の有効性を確認した。さらに、地質環境の変化の事前予測や対策工実施後の品質保証のための工学技術の検討を行った。一方、安全衛生面からの坑道内の研究環境の維持・管理や安全確保のための技術開発を実施した。

(3) 地質環境の長期安定性に関する研究

幌延地域を事例として、断層運動や海水準変動などの天然現象の履歴に関する調査手法と地下水の流動などに関する調査・解析手法とを組み合わせ、将来の天然現象に伴う地質環境の変化を予測する手法の検討を行うとともに、地震活動および活動に伴う地質環境への影響について把握した。

(4) 地層処分研究開発

処分技術の信頼性向上においては、人工バリアなどの工学技術の検証ならびに設計手法の適用性の確認を行った。安全評価手法の高度化においては、安全評価モデルの高度化を行うとともに安全評価手法の適用性を確認した。

(5) 地下施設建設

複数の立坑および水平坑道から構成される地下施設の建設は、第2段階の調査研究において重要なイベントである。立坑の掘削は、第3段階の調査研究を実施するための地下へのアクセスであるとともに、坑道掘削が周辺岩盤や地下水に与える影響を把握することは、本段階における調

査研究の目的のひとつである。また、水平坑道の掘削は、立坑掘削と同様に掘削影響を把握する目的を達成する手段であるとともに、第3段階の調査研究を実施する場所を提供する役割を担う。本章では、これらの施工実績をまとめた。

第2段階における調査研究成果を総括すると、幌延深地層研究計画の第2段階における調査研究では、以上のような成果が得られたことから、「坑道の掘削（地下施設の建設）に伴う一連の深部地質環境の調査・解析・評価技術の整備」、「深地層における工学技術の基盤の整備」、「地層処分技術に関する工学技術の有効性の確認」、及び「安全評価手法の適用性の確認」の第2段階目標を達成することができたと言える。

幌延深地層研究計画では、第2段階に並行して、2010年度から第3段階の地下施設での調査研究を進めている。深地層の科学的研究においては、坑道周辺のいわゆる掘削影響領域の特性や広がりについての調査試験が行われるとともに、地層処分研究開発においては、人工バリア性能確認試験や物質移行に関する原位置試験などが本格化している。これらの調査研究によって得られる成果については、処分事業や安全規制を支える技術基盤として、引き続き取りまとめていく予定である。

原子力機構は、わが国における中核的な研究開発機関として、今後とも、幌延深地層研究計画及び超深地層研究所計画の二つの深地層の研究施設計画や茨城県東海村の室内試験施設（エントリー及びクオリティ）などを活用した基盤的な研究開発を進めていく。さらに、成果の公表、施設の公開、国内外の関係機関や大学との研究協力などを通じて、わが国の地層処分計画を長期にわたって支えていくための技術の継承や研究者の育成、国民の地層処分に対する理解の増進に寄与していく考えである。

本報告書で紹介した研究成果は、幌延町ならびに北海道庁、国内外の数多くの研究者や研究機関などのご協力をいただいたうえで得られたものである。ご協力いただいた関係者の方々に感謝の意を表するとともに、今後ともより一層のご支援とご指導をお願い申し上げる次第である。

本報告書の編集にあたり、幌延深地層研究センター深地層研究部堆積岩地質環境研究グループの小野寺美穂氏に協力を得た。ここに記して感謝の意を示す。

付 録

付録 A：立坑および調査坑道の壁面観察の結果（換気立坑，東立坑，深度 140m 調査坑道，深度 250m 調査坑道および深度 350m 調査坑道）

付録 B：深層ボーリング孔を利用した長期水圧観測のデータ

付録 C：立坑および調査坑道の掘削実績

付録 D：主な共同研究・研究協力（2005 年度～2014 年度）

付録 E：外部発表資料（2005 年度～2014 年度）

This is a blank page.

付録 A

立坑および調査坑道の壁面観察の結果
(換気立坑，東立坑，深度 140m 調査坑道，深度 250m
調査坑道および深度 350m 調査坑道)

This is a blank page.

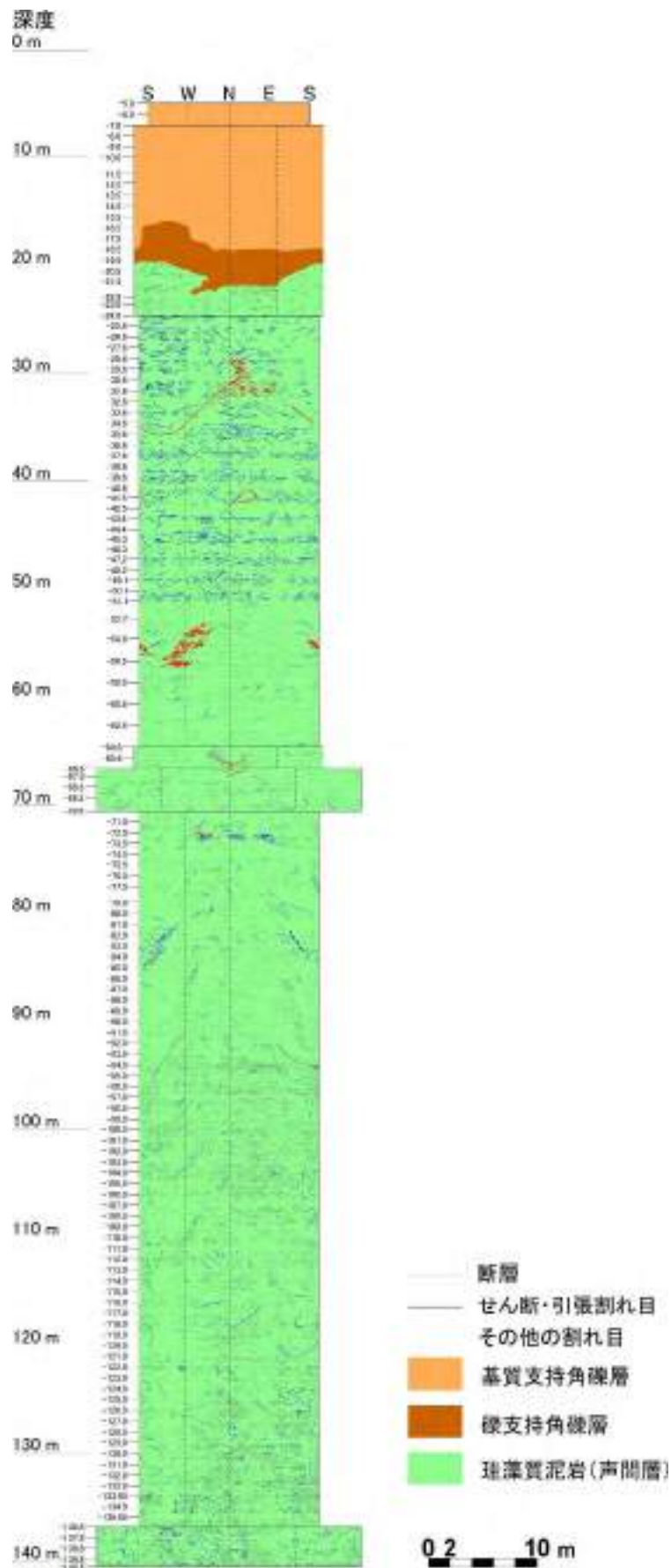


図 A-1 換気立坑の壁面観察図 深度 5.0～140.5m

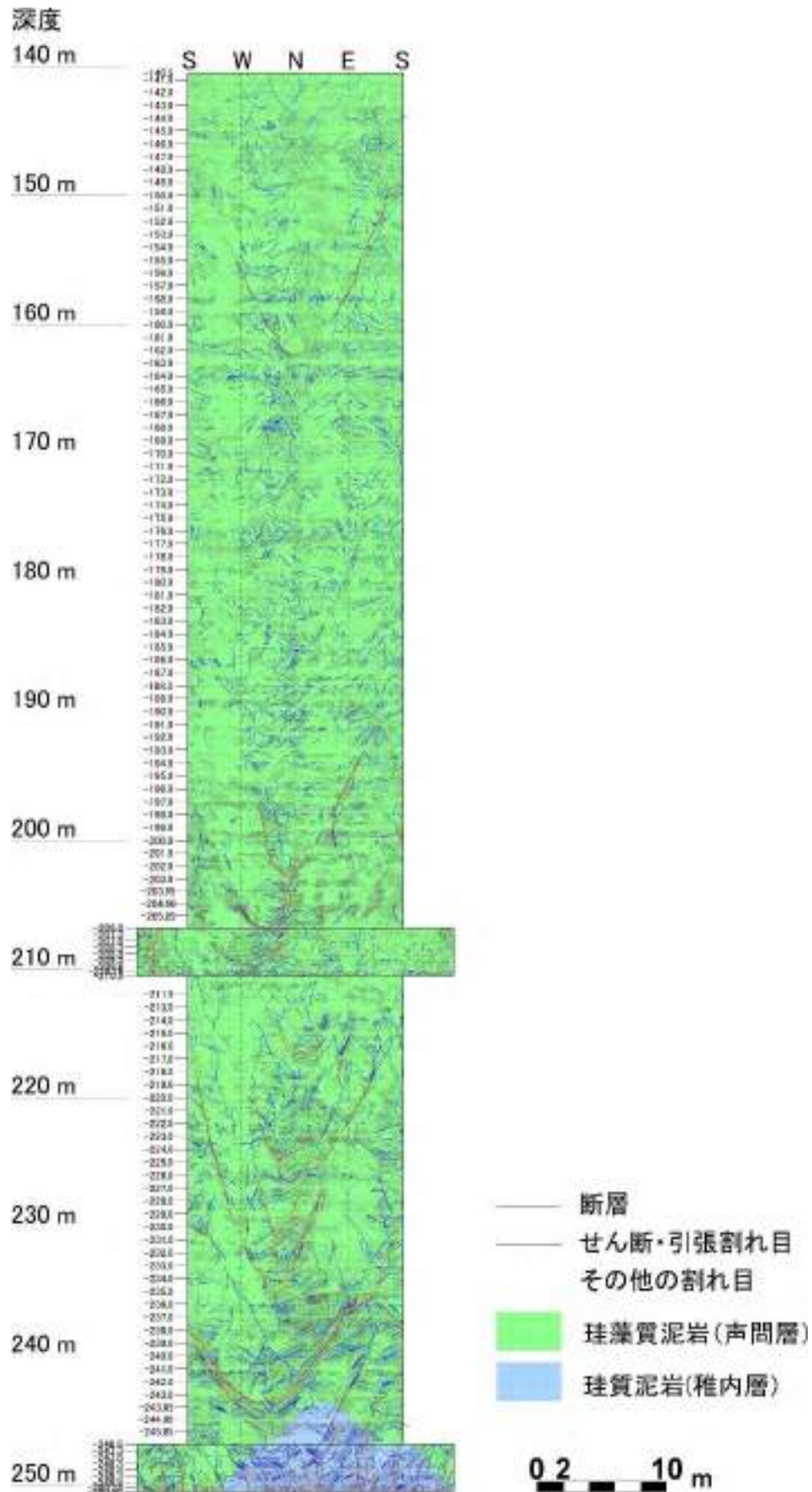


図 A-2 換気立坑の壁面観察図 深度 140.5～250.5m

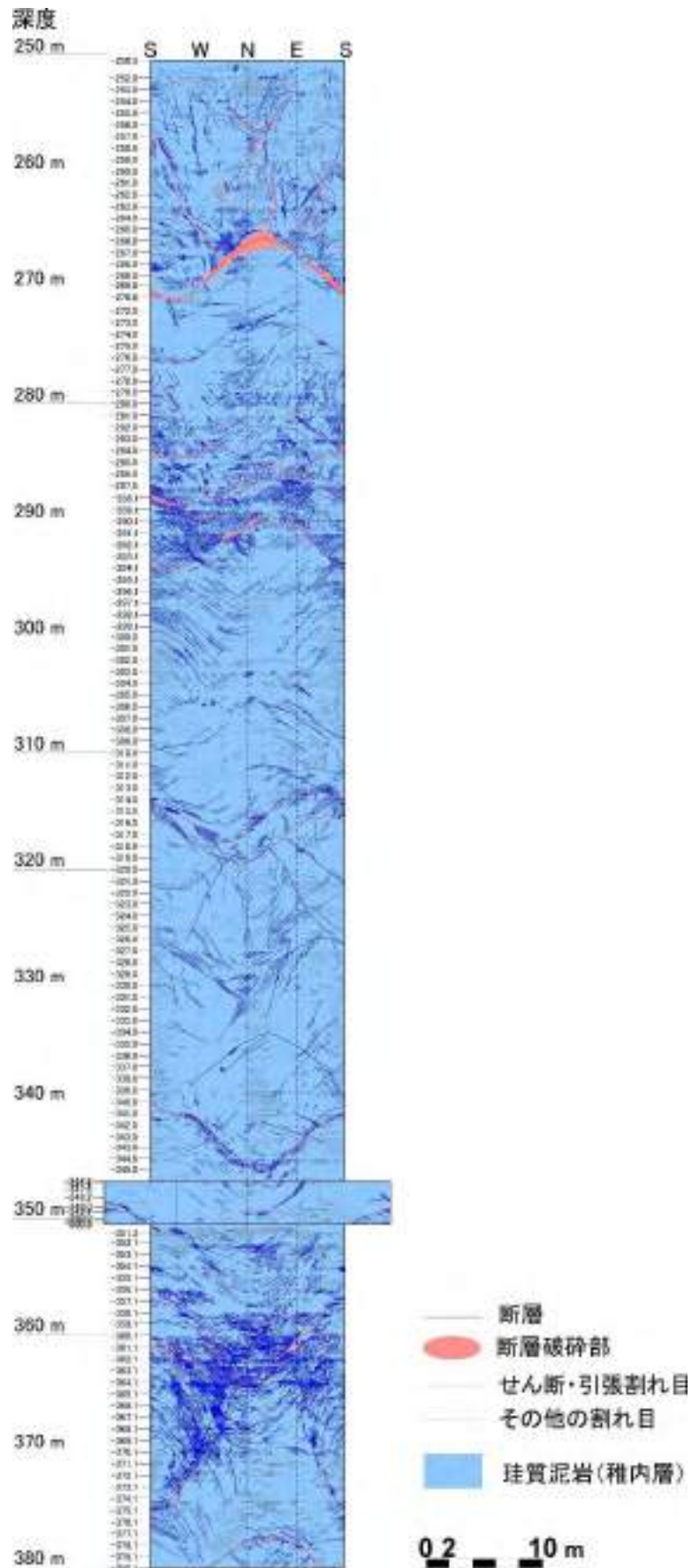


図 A-3 換気立坑の壁面観察図 深度 250.5～380.1m

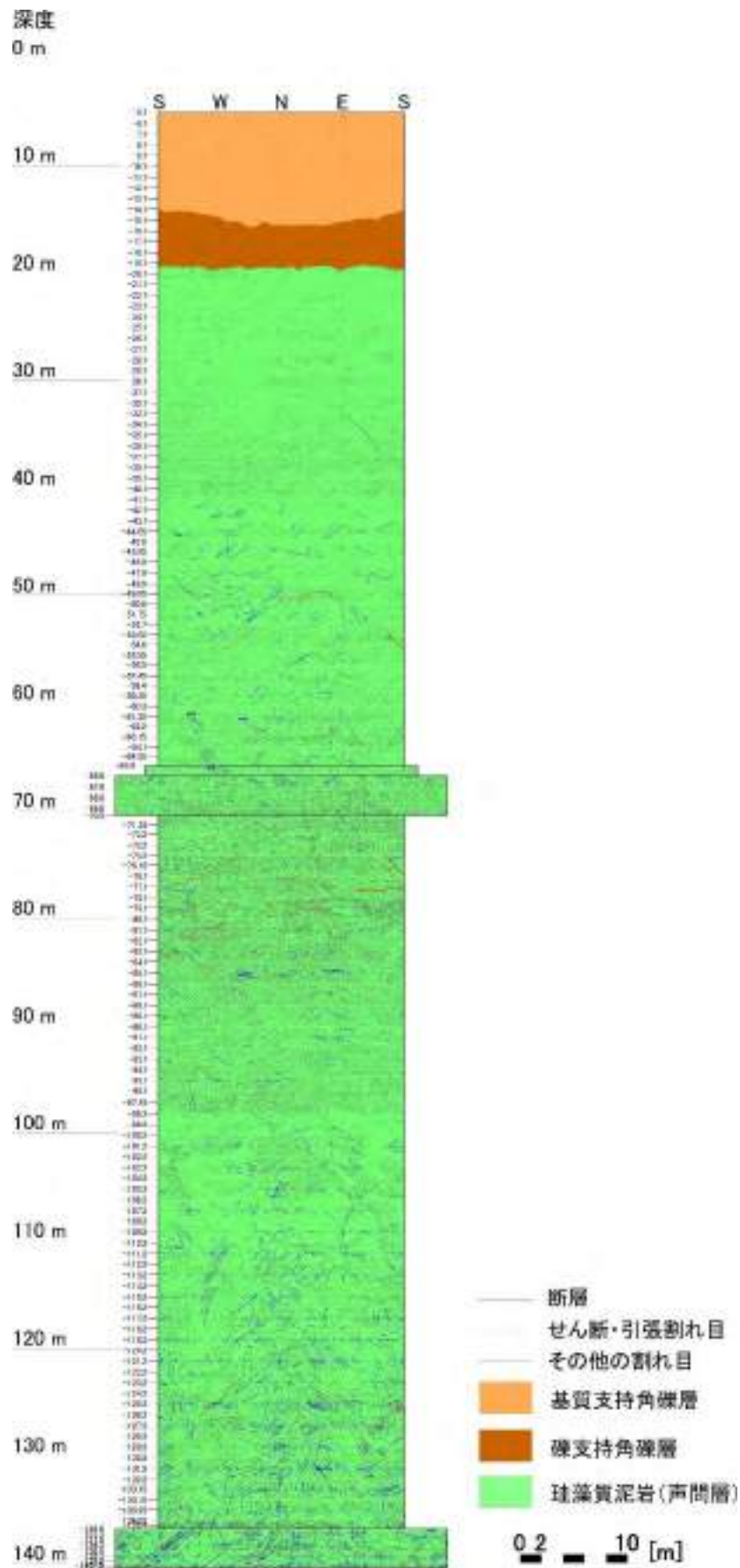


図 A-4 東立坑の壁面観察図 深度 5.0～140.5m

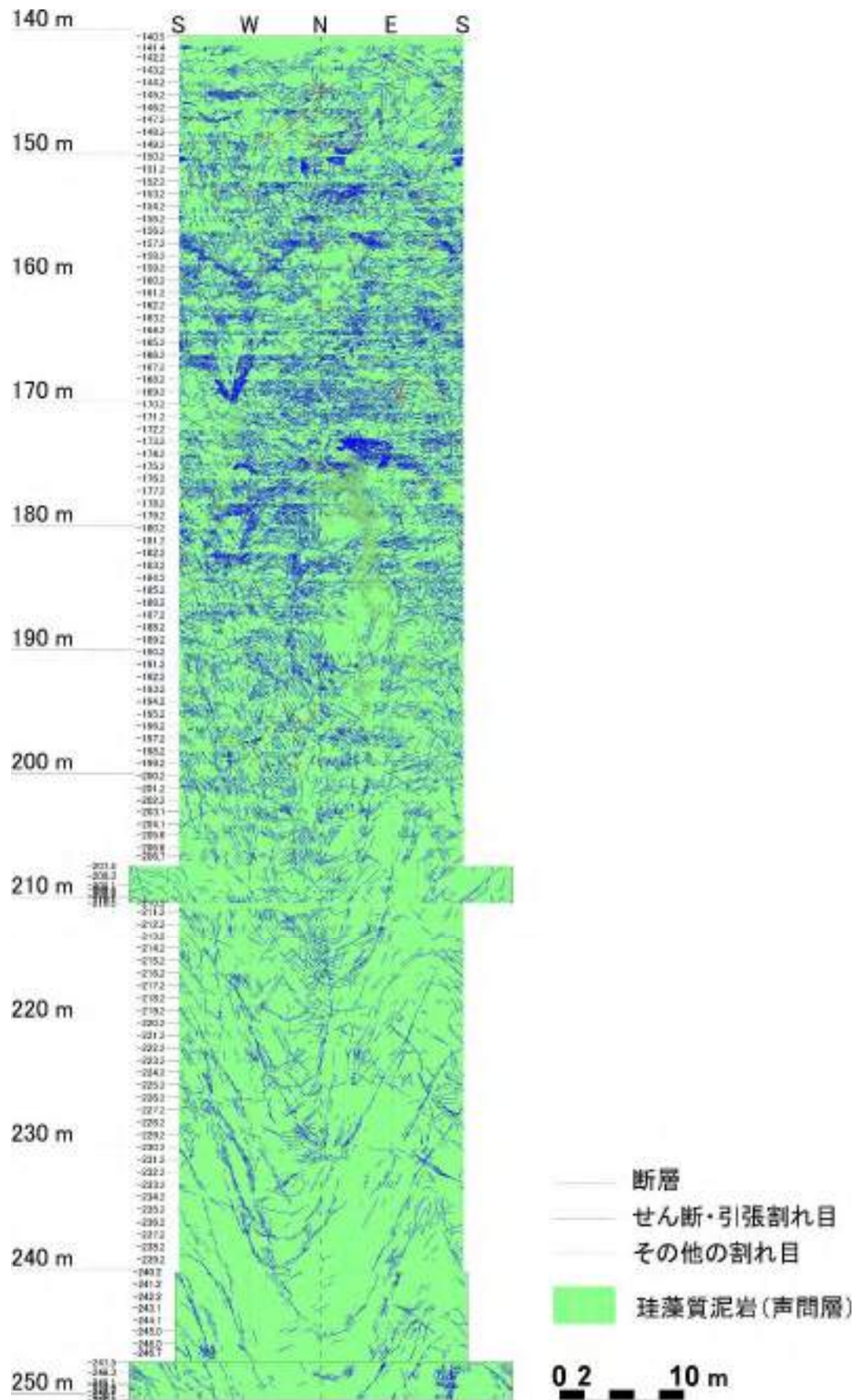


図 A-5 東立坑の壁面観察図 深度 140.5～250.5m

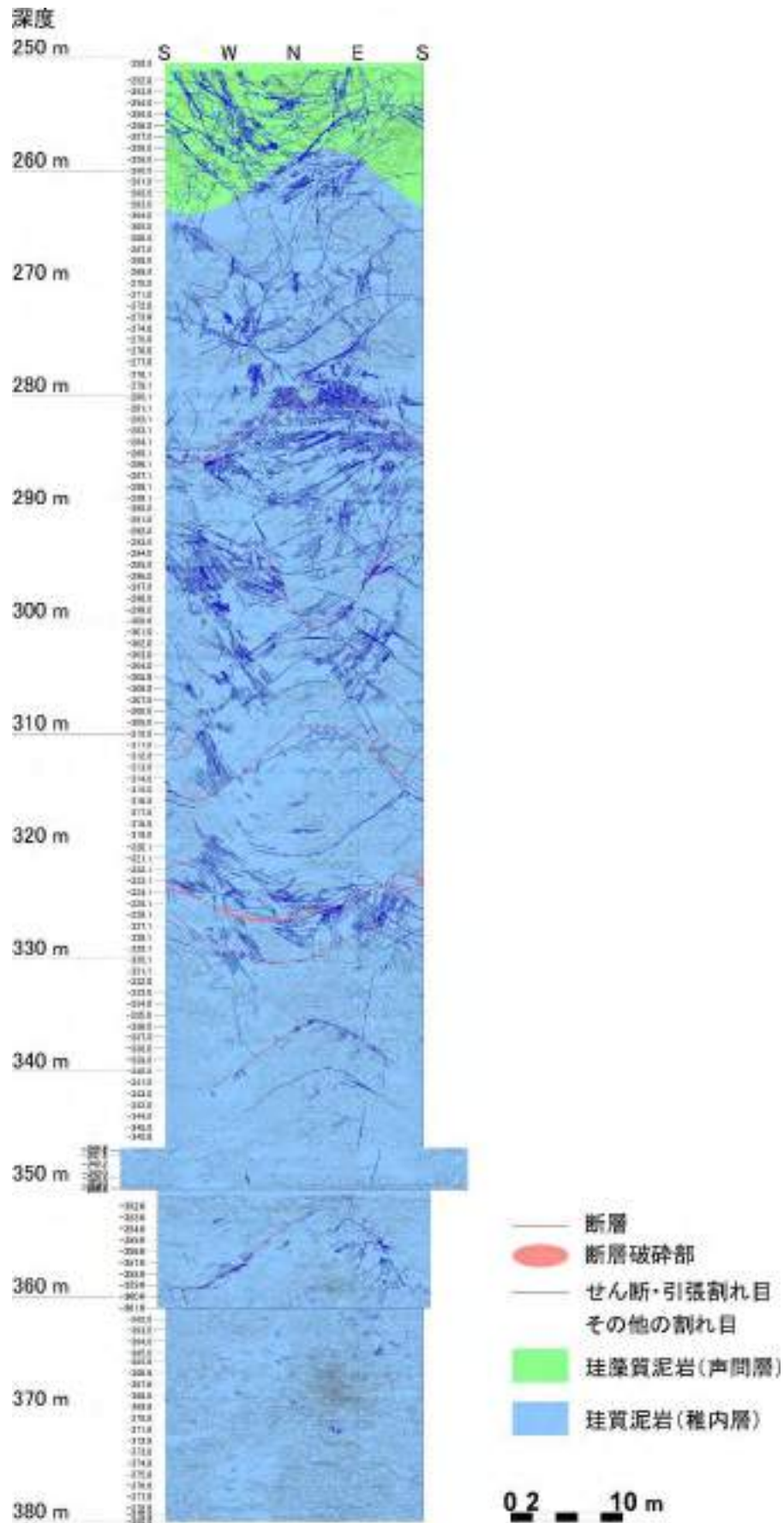


図 A-6 東立坑の壁面観察図 深度 250.5～380.1m

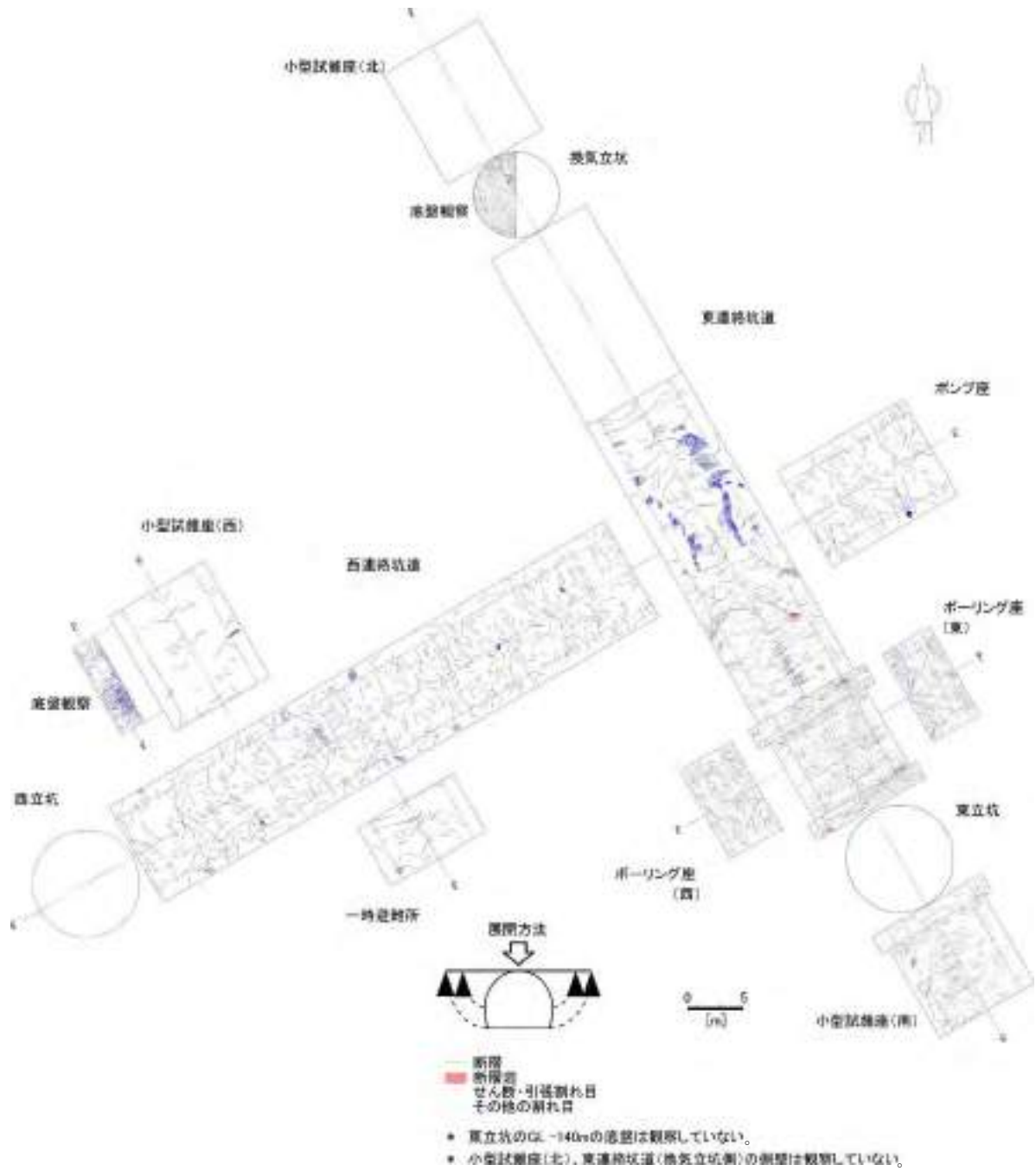


図 A-7 深度 140m 調査坑道の壁面観察図

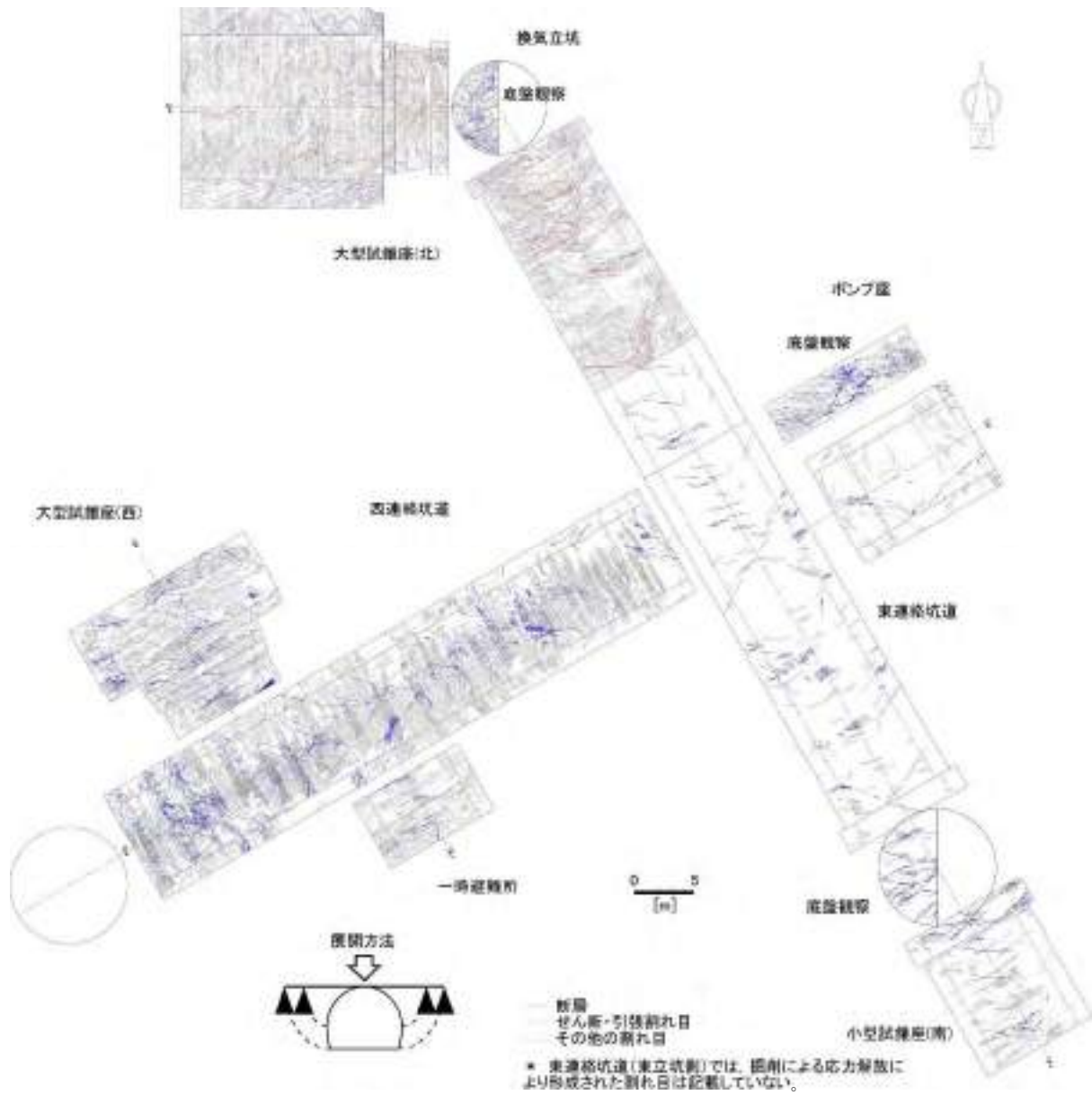


図 A-8 深度 250m 調査坑道の壁面観察図

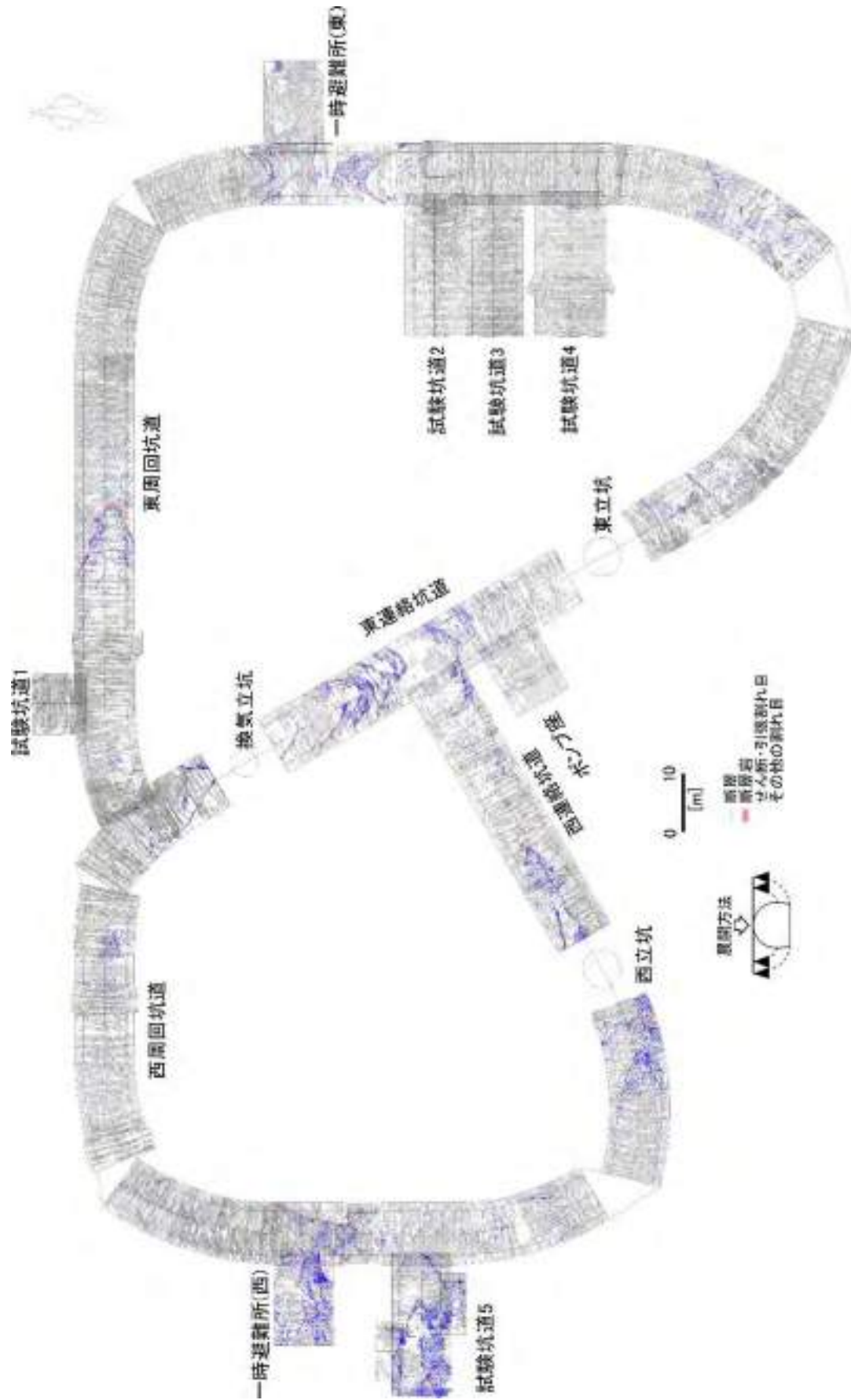


図 A-9 深度 350m 調査坑道の壁面観察図

This is a blank page.

付録 B

深層ボーリング孔を利用した長期水圧観測のデータ

This is a blank page.

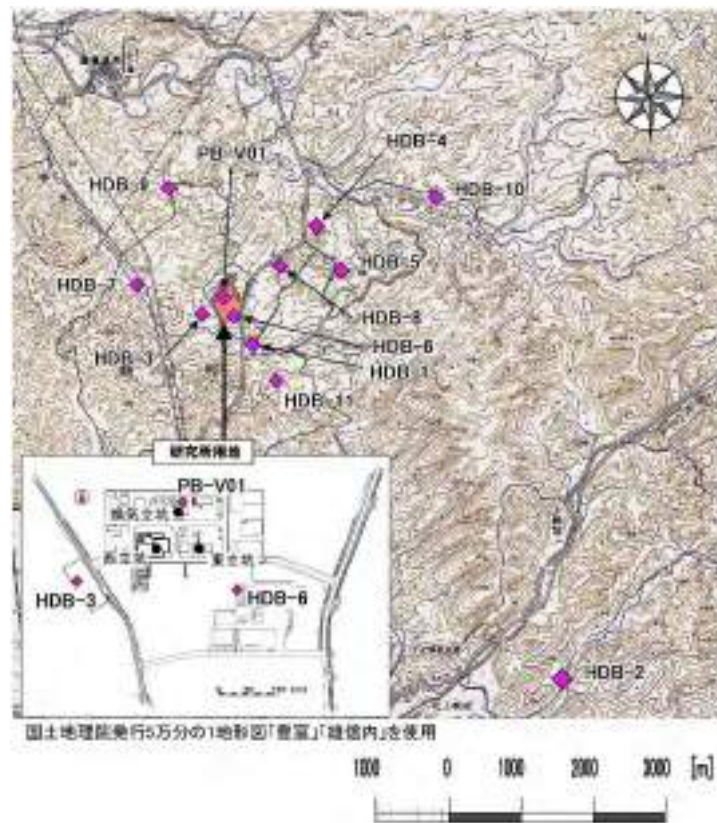


図 B-1 ボーリング孔位置図

表 B-1 各ボーリング孔のモニタリング装置および観測期間

ボーリング孔	モニタリング装置	モニタリング期間		観測区間数	備考
		開始	終了		
HDB-1	MPシステム	2003年8月29日	継続中	4	-
HDB-2	SPMPシステム	2004年4月14日	継続中	7	-
HDB-3	MPシステム	2003年11月21日	継続中	7	-
HDB-4	MPシステム	2008年2月28日	2009年10月13日	6	-
HDB-5	MPシステム	2009年12月15日	継続中	6	-
HDB-6	MPシステム	2005年3月4日	継続中	11	-
HDB-7	MPシステム	2005年1月29日	継続中	9	2012年11月から4区間
HDB-8	MPシステム	2005年3月4日	2014年8月7日	9	2011年4月27日連続観測終了
HDB-9	MPシステム	2005年10月17日	継続中	9	2012年11月から5区間
HDB-10	PIEZOシステム	2006年3月9日	2013年2月6日	11	-
HDB-11	MPシステム	2007年2月10日	2012年4月10日	15	-
PB-V01	スタンドパイプ式10連装パッカーシステム	2008年10月27日	継続中	10	-

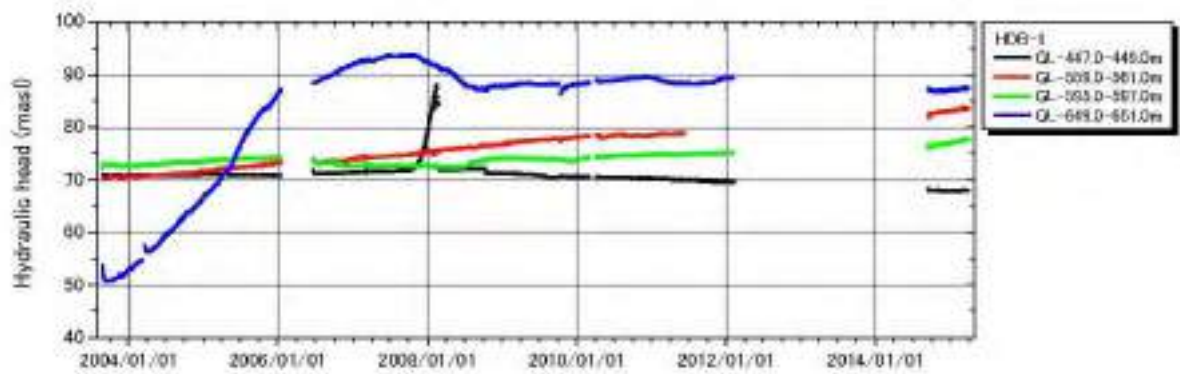


図 B-2 HDB-1 孔 : 2003 年 8 月 29 日～2015 年 3 月 31 日

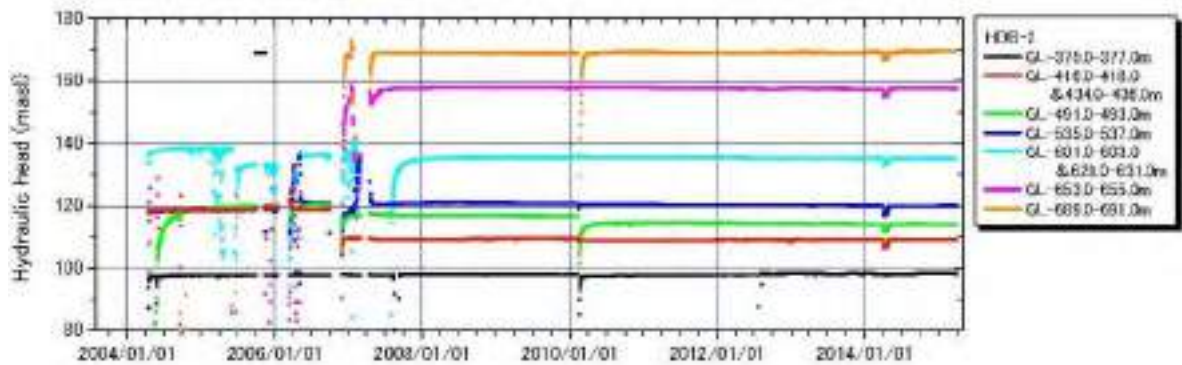


図 B-3 HDB-2 孔 : 2004 年 4 月 14 日～2015 年 3 月 31 日

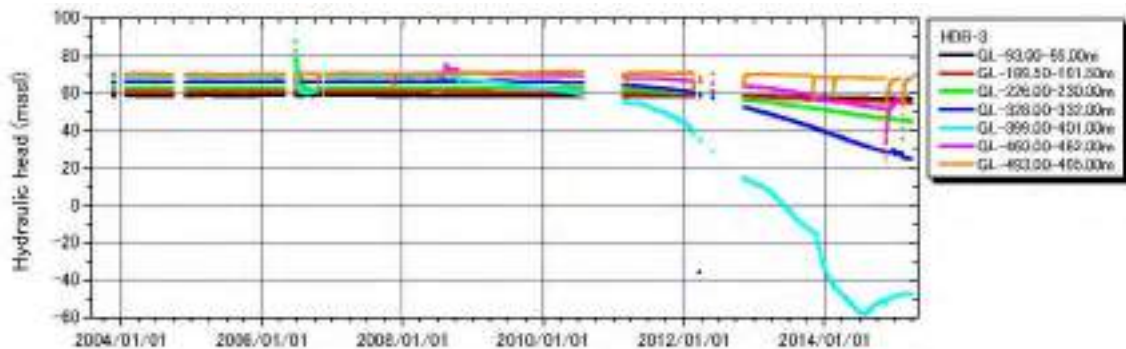


図 B-4 HDB-3 孔 : 2003 年 11 月 21 日～2015 年 3 月 31 日

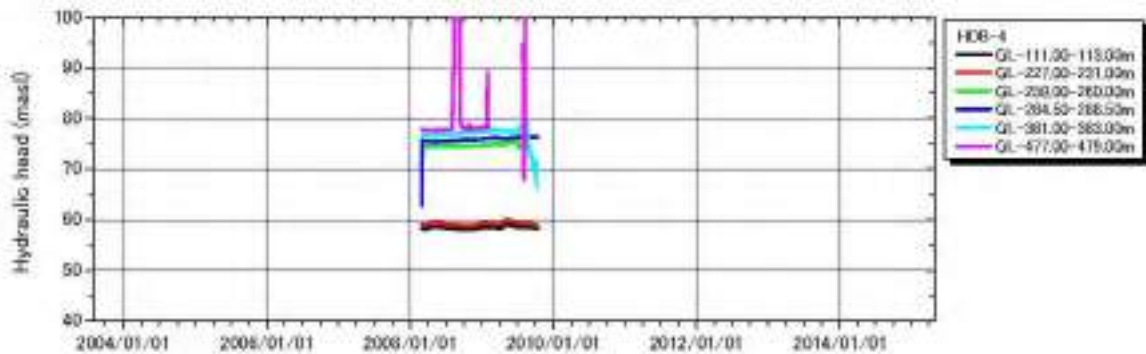


図 B-5 HDB-4 孔 : 2008 年 2 月 28 日～2009 年 10 月 13 日

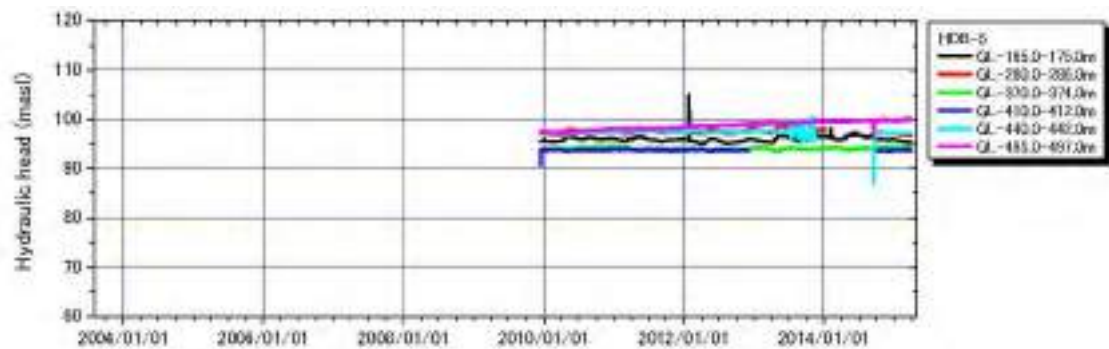


図 B-6 HDB-5 孔 : 2009 年 12 月 15 日～2015 年 3 月 31 日

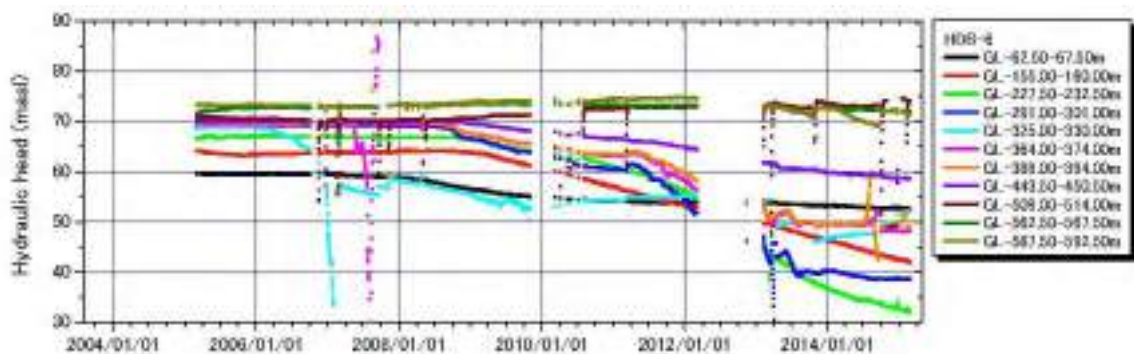


図 B-7 HDB-6 孔 : 2005 年 3 月 4 日～2015 年 3 月 31 日

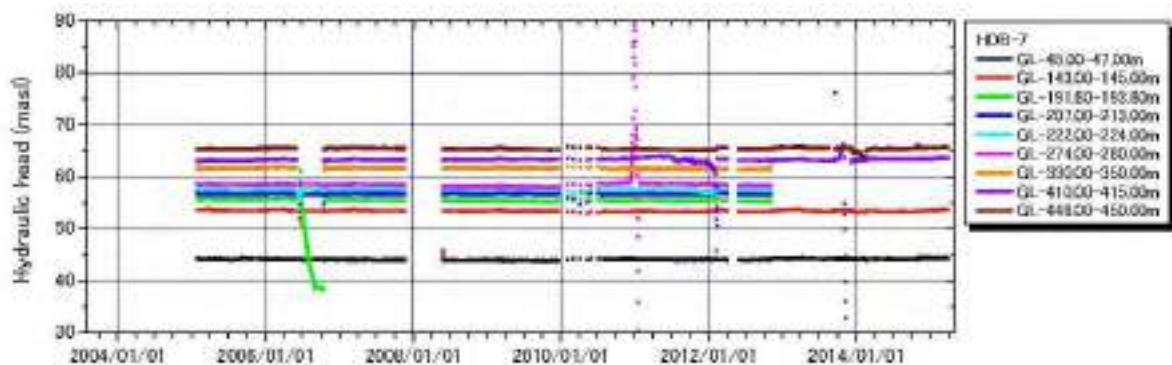


図 B-8 HDB-7 孔 : 2005 年 1 月 29 日～2015 年 3 月 31 日

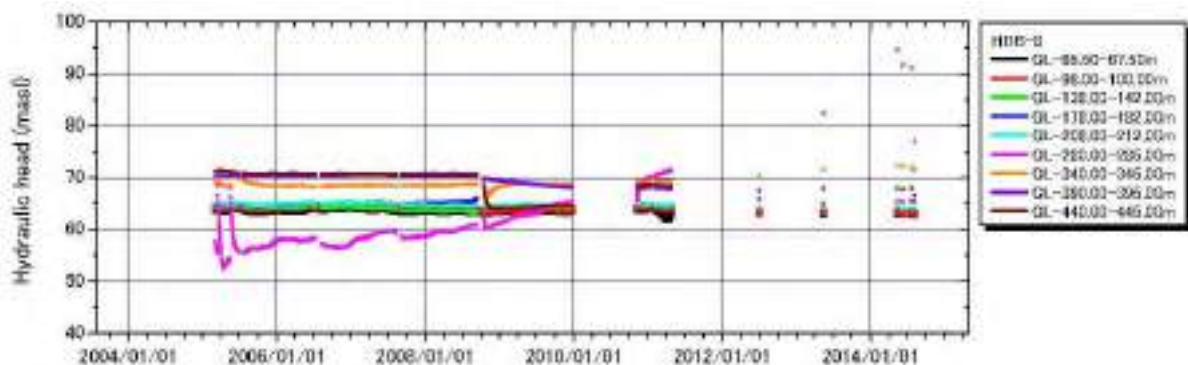


図 B-9 HDB-8 孔 : 2005 年 3 月 4 日～2014 年 8 月 7 日

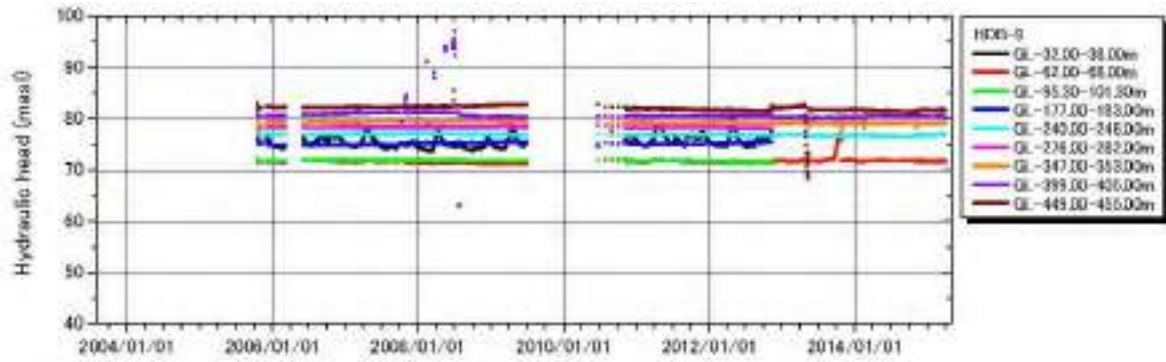
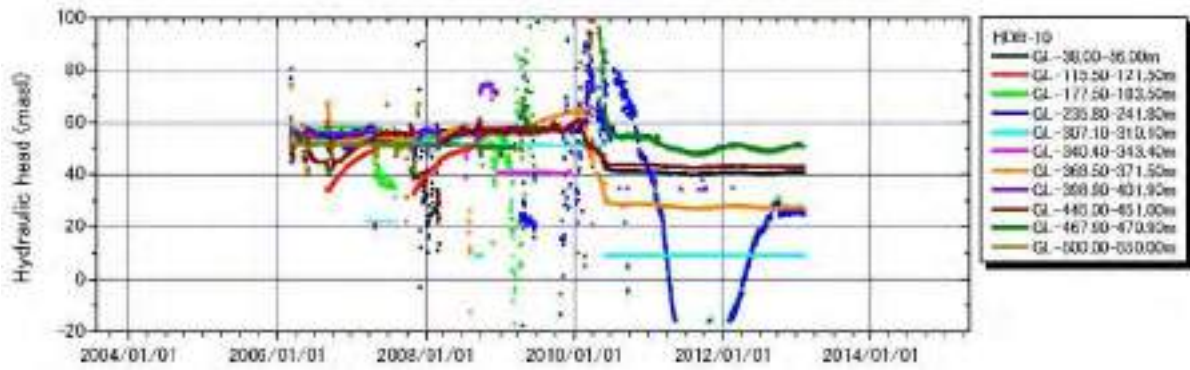


図 B-10 HDB-9 孔 : 2005 年 10 月 17 日～2015 年 3 月 31 日



付録 C

立坑および調査坑道の掘削実績

This is a blank page.

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その1）

年 月 日	曜	換気立坑	東立坑	西立坑	深度140m調査坑道	深度250m調査坑道	深度350m調査坑道
H17.10.1	土						
H17.10.2	日						
H17.10.3	月				第一期工事契約締結		
H17.10.4	火						
H17.10.5	水						
H17.10.6	木						
H17.10.7	金						
H17.10.8	土						
H17.10.9	日						
H17.10.10	月						
H17.10.11	火						
H17.10.12	水						
H17.10.13	木						
H17.10.14	金						
H17.10.15	土						
H17.10.16	日						
H17.10.17	月						
H17.10.18	火						
H17.10.19	水						
H17.10.20	木						
H17.10.21	金						
H17.10.22	土						
H17.10.23	日						
H17.10.24	月						
H17.10.25	火						
H17.10.26	水						
H17.10.27	木						
H17.10.28	金						
H17.10.29	土						
H17.10.30	日						
H17.10.31	月						
H17.11.1	火						
H17.11.2	水						
H17.11.3	木						
H17.11.4	金						
H17.11.5	土						
H17.11.6	日						
H17.11.7	月						
H17.11.8	火						
H17.11.9	水						
H17.11.10	木						
H17.11.11	金						
H17.11.12	土						
H17.11.13	日						
H17.11.14	月						
H17.11.15	火						
H17.11.16	水						
H17.11.17	木						
H17.11.18	金						
H17.11.19	土						
H17.11.20	日						
H17.11.21	月						
H17.11.22	火						
H17.11.23	水						
H17.11.24	木						
H17.11.25	金						
H17.11.26	土						
H17.11.27	日						
H17.11.28	月						
H17.11.29	火						
H17.11.30	水						
H17.12.1	木						
H17.12.2	金						
H17.12.3	土						
H17.12.4	日						
H17.12.5	月						
H17.12.6	火						
H17.12.7	水						
H17.12.8	木						
H17.12.9	金						
H17.12.10	土						
H17.12.11	日						
H17.12.12	月						
H17.12.13	火						
H17.12.14	水						
H17.12.15	木						
H17.12.16	金						
H17.12.17	土						
H17.12.18	日						
H17.12.19	月						
H17.12.20	火						
H17.12.21	水						
H17.12.22	木						
H17.12.23	金						
H17.12.24	土						
H17.12.25	日						
H17.12.26	月						
H17.12.27	火						
H17.12.28	水						
H17.12.29	木						
H17.12.30	金						
H17.12.31	土						
H18.1.1	日						
H18.1.2	月						
H18.1.3	火						
H18.1.4	水						
H18.1.5	木						
H18.1.6	金						
H18.1.7	土						
H18.1.8	日						
H18.1.9	月						
H18.1.10	火						
H18.1.11	水						
H18.1.12	木						
H18.1.13	金						
H18.1.14	土						
H18.1.15	日						
H18.1.16	月						
H18.1.17	火						
H18.1.18	水						
H18.1.19	木						
H18.1.20	金						
H18.1.21	土						
H18.1.22	日						
H18.1.23	月						
H18.1.24	火						
H18.1.25	水						
H18.1.26	木						
H18.1.27	金						
H18.1.28	土						
H18.1.29	日						
H18.1.30	月						
H18.1.31	火						
H18.2.1	水						
H18.2.2	木						
H18.2.3	金						
H18.2.4	土						
H18.2.5	日						
H18.2.6	月						
H18.2.7	火						
H18.2.8	水						
H18.2.9	木						
H18.2.10	金						
H18.2.11	土						
H18.2.12	日						
H18.2.13	月						
H18.2.14	火						
H18.2.15	水						
H18.2.16	木						
H18.2.17	金						
H18.2.18	土						
H18.2.19	日						
H18.2.20	月						
H18.2.21	火						
H18.2.22	水						
H18.2.23	木						
H18.2.24	金						
H18.2.25	土						
H18.2.26	日						
H18.2.27	月						
H18.2.28	火						
H18.3.1	水						
H18.3.2	木						
H18.3.3	金						
H18.3.4	土						
H18.3.5	日						
H18.3.6	月						
H18.3.7	火						
H18.3.8	水						
H18.3.9	木						
H18.3.10	金						
H18.3.11	土						
H18.3.12	日						
H18.3.13	月						
H18.3.14	火						
H18.3.15	水						
H18.3.16	木						
H18.3.17	金						
H18.3.18	土						
H18.3.19	日						
H18.3.20	月	0.0					
H18.3.21	火	0.0					
H18.3.22	水	0.0					
H18.3.23	木	0.0					
H18.3.24	金	0.0					
H18.3.25	土	0.0					
H18.3.26	日	0.0					
H18.3.27	月	0.0					
H18.3.28	火	0.0					
H18.3.29	水	0.0					
H18.3.30	木	0.0					
H18.3.31	金	5.0					

換気立坑上部工
GL-0.0~5.0
掘削工最終日に一括計上

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その2）

年 月 日	曜	換気立坑	東立坑	西立坑	深度 140m 調査坑道	深度 250m 調査坑道	深度 350m 調査坑道								
H18.4.1	土	5.0						H18.7.1	土	5.0					
H18.4.2	日	5.0						H18.7.2	日	5.0					
H18.4.3	月	5.0						H18.7.3	月	5.0					
H18.4.4	火	5.0						H18.7.4	火	5.0					
H18.4.5	水	5.0						H18.7.5	水	5.0					
H18.4.6	木	5.0						H18.7.6	木	5.0					
H18.4.7	金	5.0						H18.7.7	金	5.0					
H18.4.8	土	5.0						H18.7.8	土	5.0					
H18.4.9	日	5.0						H18.7.9	日	5.0					
H18.4.10	月	5.0						H18.7.10	月	5.0					
H18.4.11	火	5.0						H18.7.11	火	5.0					
H18.4.12	水	5.0						H18.7.12	水	5.0					
H18.4.13	木	5.0						H18.7.13	木	5.0					
H18.4.14	金	5.0						H18.7.14	金	5.0					
H18.4.15	土	5.0						H18.7.15	土	5.0					
H18.4.16	日	5.0						H18.7.16	日	5.0					
H18.4.17	月	5.0						H18.7.17	月	5.0					
H18.4.18	火	5.0						H18.7.18	火	5.0					
H18.4.19	水	5.0						H18.7.19	水	5.0					
H18.4.20	木	5.0						H18.7.20	木	5.0					
H18.4.21	金	5.0						H18.7.21	金	5.0					
H18.4.22	土	5.0						H18.7.22	土	5.0					
H18.4.23	日	5.0						H18.7.23	日	5.0					
H18.4.24	月	5.0						H18.7.24	月	5.0					
H18.4.25	火	5.0						H18.7.25	火	5.0					
H18.4.26	水	5.0						H18.7.26	水	5.0					
H18.4.27	木	5.0						H18.7.27	木	5.0					
H18.4.28	金	5.0						H18.7.28	金	5.0					
H18.4.29	土	5.0						H18.7.29	土	5.0					
H18.4.30	日	5.0						H18.7.30	日	5.0					
H18.5.1	月	5.0						H18.7.31	月	5.0					
H18.5.2	火	5.0						H18.8.1	火	5.0					
H18.5.3	水	5.0						H18.8.2	水	5.0					
H18.5.4	木	5.0						H18.8.3	木	5.0					
H18.5.5	金	5.0						H18.8.4	金	5.0					
H18.5.6	土	5.0						H18.8.5	土	5.0					
H18.5.7	日	5.0						H18.8.6	日	5.0					
H18.5.8	月	5.0						H18.8.7	月	5.0					
H18.5.9	火	5.0						H18.8.8	火	6.0					
H18.5.10	水	5.0						H18.8.9	水	7.0					
H18.5.11	木	5.0						H18.8.10	木	7.0					
H18.5.12	金	5.0						H18.8.11	金	7.0					
H18.5.13	土	5.0						H18.8.12	土	7.0					
H18.5.14	日	5.0						H18.8.13	日	7.0					
H18.5.15	月	5.0						H18.8.14	月	7.0					
H18.5.16	火	5.0						H18.8.15	火	7.0					
H18.5.17	水	5.0						H18.8.16	水	7.0					
H18.5.18	木	5.0						H18.8.17	木	7.0					
H18.5.19	金	5.0						H18.8.18	金	7.0					
H18.5.20	土	5.0						H18.8.19	土	7.0					
H18.5.21	日	5.0						H18.8.20	日	8.0					
H18.5.22	月	5.0						H18.8.21	月	9.0					
H18.5.23	火	5.0						H18.8.22	火	9.0					
H18.5.24	水	5.0						H18.8.23	水	10.0					
H18.5.25	木	5.0						H18.8.24	木	10.0					
H18.5.26	金	5.0						H18.8.25	金	10.0					
H18.5.27	土	5.0						H18.8.26	土	10.0					
H18.5.28	日	5.0						H18.8.27	日	10.0					
H18.5.29	月	5.0						H18.8.28	月	10.0					
H18.5.30	火	5.0						H18.8.29	火	10.0					
H18.5.31	水	5.0						H18.8.30	水	10.0					
H18.6.1	木	5.0						H18.8.31	木	10.0					
H18.6.2	金	5.0						H18.9.1	金	10.0	0.0				
H18.6.3	土	5.0						H18.9.2	土	10.0	0.0				
H18.6.4	日	5.0						H18.9.3	日	10.0	0.0				
H18.6.5	月	5.0						H18.9.4	月	10.0	0.0				
H18.6.6	火	5.0						H18.9.5	火	10.0	0.0				
H18.6.7	水	5.0						H18.9.6	水	10.0	0.0				
H18.6.8	木	5.0						H18.9.7	木	10.0	0.0				
H18.6.9	金	5.0						H18.9.8	金	10.0	5.0				
H18.6.10	土	5.0						H18.9.9	土	10.0	5.0				
H18.6.11	日	5.0						H18.9.10	日	10.0	5.0				
H18.6.12	月	5.0						H18.9.11	月	10.6	5.0				
H18.6.13	火	5.0						H18.9.12	火	11.5	5.0				
H18.6.14	水	5.0						H18.9.13	水	11.5	5.0				
H18.6.15	木	5.0						H18.9.14	木	12.5	5.0				
H18.6.16	金	5.0						H18.9.15	金	13.5	5.0				
H18.6.17	土	5.0						H18.9.16	土	13.5	5.0				
H18.6.18	日	5.0						H18.9.17	日	13.5	5.0				
H18.6.19	月	5.0						H18.9.18	月	14.5	5.0				
H18.6.20	火	5.0						H18.9.19	火	15.5	5.0				
H18.6.21	水	5.0						H18.9.20	水	15.5	5.0				
H18.6.22	木	5.0						H18.9.21	木	16.5	5.0				
H18.6.23	金	5.0						H18.9.22	金	17.5	5.0				
H18.6.24	土	5.0						H18.9.23	土	17.5	5.0				
H18.6.25	日	5.0						H18.9.24	日	17.5	5.0				
H18.6.26	月	5.0						H18.9.25	月	18.5	5.0				
H18.6.27	火	5.0						H18.9.26	火	18.5	5.0				
H18.6.28	水	5.0						H18.9.27	水	18.5	5.0				
H18.6.29	木	5.0						H18.9.28	木	18.5	5.0				
H18.6.30	金	5.0						H18.9.29	金	18.5	5.0				
								H18.9.30	土	19.5	5.0				

8/7換気立坑下部工
掘削開始

東立坑上部工
GL-0.0~5.0
掘削工最終日に一括計上

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その3）

年 月 日	曜	換気 立坑	東 立坑	西 立坑	深度 140m 調査坑道	深度 250m 調査坑道	深度 350m 調査坑道
H18.10.1	日	19.5	5.0				
H18.10.2	月	19.5	5.0				
H18.10.3	火	20.5	5.0				
H18.10.4	水	21.5	5.0				
H18.10.5	木	21.5	5.0				
H18.10.6	金	22.9	5.0				
H18.10.7	土	22.9	5.0				
H18.10.8	日	22.9	5.0				
H18.10.9	月	22.9	5.0				
H18.10.10	火	22.9	5.0				
H18.10.11	水	22.9	5.0				
H18.10.12	木	22.9	5.0				
H18.10.13	金	22.9	5.0				
H18.10.14	土	22.9	5.0				
H18.10.15	日	22.9	5.0				
H18.10.16	月	22.9	5.0				
H18.10.17	火	22.9	5.0				
H18.10.18	水	22.9	5.0				
H18.10.19	木	22.9	5.0				
H18.10.20	金	22.9	5.0				
H18.10.21	土	22.9	5.0				
H18.10.22	日	22.9	5.0				
H18.10.23	月	22.9	5.0				
H18.10.24	火	22.9	5.0				
H18.10.25	水	22.9	5.0				
H18.10.26	木	22.9	5.0				
H18.10.27	金	23.6	5.0				
H18.10.28	土	24.6	5.0				
H18.10.29	日	24.6	5.0				
H18.10.30	月	24.6	5.0				
H18.10.31	火	24.6	5.0				
H18.11.1	水	24.6	5.0				
H18.11.2	木	25.6	5.0				
H18.11.3	金	26.6	5.0				
H18.11.4	土	26.6	5.0				
H18.11.5	日	26.6	5.0				
H18.11.6	月	26.6	5.0				
H18.11.7	火	27.6	5.0				
H18.11.8	水	28.6	5.0				
H18.11.9	木	28.6	5.0				
H18.11.10	金	29.6	5.0				
H18.11.11	土	30.6	5.0				
H18.11.12	日	31.6	5.0				
H18.11.13	月	32.6	5.0				
H18.11.14	火	32.6	5.0				
H18.11.15	水	32.6	5.0				
H18.11.16	木	33.6	6.1				
H18.11.17	金	34.6	6.1				
H18.11.18	土	34.6	7.1				
H18.11.19	日	34.6	7.1				
H18.11.20	月	35.6	7.1				
H18.11.21	火	36.6	8.1				
H18.11.22	水	36.6	9.1				
H18.11.23	木	37.6	10.1				
H18.11.24	金	38.6	11.1				
H18.11.25	土	39.6	11.1				
H18.11.26	日	39.6	11.1				
H18.11.27	月	40.6	12.1				
H18.11.28	火	41.6	13.1				
H18.11.29	水	42.5	14.1				
H18.11.30	木	42.5	15.1				
H18.12.1	金	44.4	16.1				
H18.12.2	土	44.4	17.1				
H18.12.3	日	44.4	17.1				
H18.12.4	月	44.4	18.1				
H18.12.5	火	46.3	19.1				
H18.12.6	水	47.3	20.1				
H18.12.7	木	48.2	21.1				
H18.12.8	金	49.2	22.1				
H18.12.9	土	49.2	23.1				
H18.12.10	日	49.2	23.1				
H18.12.11	月	49.2	23.1				
H18.12.12	火	50.1	23.1				
H18.12.13	水	51.1	23.1				
H18.12.14	木	51.1	23.1				
H18.12.15	金	51.1	24.1				
H18.12.16	土	51.1	25.1				
H18.12.17	日	51.1	25.1				
H18.12.18	月	51.1	25.1				
H18.12.19	火	51.1	26.1				
H18.12.20	水	51.1	27.1				
H18.12.21	木	51.1	28.1				
H18.12.22	金	51.1	29.1				
H18.12.23	土	51.1	29.1				
H18.12.24	日	51.1	29.1				
H18.12.25	月	51.1	31.1				
H18.12.26	火	51.1	31.1				
H18.12.27	水	51.1	31.1				
H18.12.28	木	51.1	31.1				
H18.12.29	金	51.1	31.1				
H18.12.30	土	51.1	31.1				
H18.12.31	日	51.1	31.1				
H19.1.1	月	51.1	31.1				
H19.1.2	火	51.1	31.1				
H19.1.3	水	51.1	31.1				
H19.1.4	木	51.1	31.1				
H19.1.5	金	51.1	32.1				
H19.1.6	土	51.1	33.1				
H19.1.7	日	51.1	33.1				
H19.1.8	月	51.1	33.1				
H19.1.9	火	51.1	34.1				
H19.1.10	水	51.1	35.1				
H19.1.11	木	51.1	35.1				
H19.1.12	金	51.1	36.1				
H19.1.13	土	51.1	36.1				
H19.1.14	日	51.1	36.1				
H19.1.15	月	51.1	37.1				
H19.1.16	火	51.1	38.1				
H19.1.17	水	51.1	38.1				
H19.1.18	木	51.1	38.1				
H19.1.19	金	51.1	39.1				
H19.1.20	土	51.1	40.1				
H19.1.21	日	51.1	40.1				
H19.1.22	月	51.1	41.1				
H19.1.23	火	51.1	41.1				
H19.1.24	水	51.1	41.1				
H19.1.25	木	51.1	41.1				
H19.1.26	金	51.1	41.1				
H19.1.27	土	51.1	41.1				
H19.1.28	日	51.1	41.1				
H19.1.29	月	51.1	41.1				
H19.1.30	火	51.1	41.1				
H19.1.31	水	51.1	41.1				
H19.2.1	木	51.1	41.1				
H19.2.2	金	51.1	41.1				
H19.2.3	土	51.1	41.1				
H19.2.4	日	51.1	41.1				
H19.2.5	月	51.1	41.1				
H19.2.6	火	51.1	41.1				
H19.2.7	水	51.1	41.1				
H19.2.8	木	51.1	41.1				
H19.2.9	金	51.1	41.1				
H19.2.10	土	51.1	41.1				
H19.2.11	日	51.1	41.1				
H19.2.12	月	51.1	41.1				
H19.2.13	火	51.1	41.1				
H19.2.14	水	51.1	41.1				
H19.2.15	木	51.1	41.1				
H19.2.16	金	51.1	41.1				
H19.2.17	土	51.1	41.1				
H19.2.18	日	51.1	41.1				
H19.2.19	月	51.1	41.1				
H19.2.20	火	51.1	41.1				
H19.2.21	水	51.1	41.1				
H19.2.22	木	51.1	41.1				
H19.2.23	金	51.1	41.1				
H19.2.24	土	51.1	41.1				
H19.2.25	日	51.1	41.1				
H19.2.26	月	51.1	41.1				
H19.2.27	火	51.1	41.1				
H19.2.28	水	51.1	41.1				
H19.3.1	木	51.1	41.1				
H19.3.2	金	51.1	41.1				
H19.3.3	土	51.1	41.1				
H19.3.4	日	51.1	41.1				
H19.3.5	月	51.1	41.1				
H19.3.6	火	51.1	41.1				
H19.3.7	水	51.1	41.1				
H19.3.8	木	51.1	41.1				
H19.3.9	金	51.1	41.1				
H19.3.10	土	51.1	41.1				
H19.3.11	日	51.1	41.1				
H19.3.12	月	51.1	41.1				
H19.3.13	火	51.1	41.1				
H19.3.14	水	51.1	41.1				
H19.3.15	木	51.1	41.1				
H19.3.16	金	51.1	41.1				
H19.3.17	土	51.1	41.1				
H19.3.18	日	51.1	41.1				
H19.3.19	月	51.1	41.1				
H19.3.20	火	51.1	41.1				
H19.3.21	水	51.1	41.1				
H19.3.22	木	51.1	41.1				
H19.3.23	金	51.1	41.1				
H19.3.24	土	51.1	41.1				
H19.3.25	日	51.1	41.1				
H19.3.26	月	51.1	41.1				
H19.3.27	火	51.1	41.1				
H19.3.28	水	51.1	41.1				
H19.3.29	木	51.1	41.1				
H19.3.30	金	51.1	41.1				
H19.3.31	土	51.1	41.1				

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その4）

年 月 日	曜	換気 立坑	東 立坑	西 立坑	深度 140m 調査坑道	深度 250m 調査坑道	深度 350m 調査坑道								
H19.4.1	日	51.1	41.1					H19.7.1	日	64.6	41.1				
H19.4.2	月	51.1	41.1					H19.7.2	月	65.6	41.1				
H19.4.3	火	51.1	41.1					H19.7.3	火	66.6	41.1				
H19.4.4	水	51.1	41.1					H19.7.4	水	66.6	41.1				
H19.4.5	木	51.1	41.1					H19.7.5	木	66.6	41.1				
H19.4.6	金	51.1	41.1					H19.7.6	金	67.3	41.1				
H19.4.7	土	51.1	41.1					H19.7.7	土	67.3	41.1				
H19.4.8	日	51.1	41.1					H19.7.8	日	67.3	41.1				
H19.4.9	月	51.1	41.1					H19.7.9	月	68.3	41.1				
H19.4.10	火	51.1	41.1					H19.7.10	火	68.3	41.1				
H19.4.11	水	51.1	41.1					H19.7.11	水	69.3	41.1				
H19.4.12	木	51.1	41.1					H19.7.12	木	70.5	41.1				
H19.4.13	金	51.1	41.1					H19.7.13	金	70.5	41.1				
H19.4.14	土	51.1	41.1					H19.7.14	土	70.5	41.1				
H19.4.15	日	51.1	41.1					H19.7.15	日	70.5	41.1				
H19.4.16	月	51.1	41.1					H19.7.16	月	70.5	41.1				
H19.4.17	火	51.1	41.1					H19.7.17	火	70.5	41.1				
H19.4.18	水	51.1	41.1					H19.7.18	水	70.5	41.1				
H19.4.19	木	51.1	41.1					H19.7.19	木	70.5	41.1				
H19.4.20	金	51.1	41.1					H19.7.20	金	70.5	41.1				
H19.4.21	土	51.1	41.1					H19.7.21	土	70.5	41.1				
H19.4.22	日	51.1	41.1					H19.7.22	日	70.5	41.1				
H19.4.23	月	51.1	41.1					H19.7.23	月	70.5	41.1				
H19.4.24	火	51.1	41.1					H19.7.24	火	70.5	41.1				
H19.4.25	水	51.1	41.1					H19.7.25	水	70.5	41.1				
H19.4.26	木	51.1	41.1					H19.7.26	木	70.5	41.1				
H19.4.27	金	51.1	41.1					H19.7.27	金	70.5	41.1				
H19.4.28	土	51.1	41.1					H19.7.28	土	70.5	41.1				
H19.4.29	日	51.1	41.1					H19.7.29	日	70.5	41.1				
H19.4.30	月	51.1	41.1					H19.7.30	月	70.5	41.1				
H19.5.1	火	51.1	41.1					H19.7.31	火	70.5	41.1				
H19.5.2	水	51.1	41.1					H19.8.1	水	70.5	41.1				
H19.5.3	木	51.1	41.1					H19.8.2	木	70.5	41.1				
H19.5.4	金	51.1	41.1					H19.8.3	金	70.5	41.1				
H19.5.5	土	51.1	41.1					H19.8.4	土	70.5	41.1				
H19.5.6	日	51.1	41.1					H19.8.5	日	70.5	41.1				
H19.5.7	月	51.1	41.1					H19.8.6	月	70.5	41.1				
H19.5.8	火	51.1	41.1					H19.8.7	火	70.5	41.1				
H19.5.9	水	51.1	41.1					H19.8.8	水	70.5	41.1				
H19.5.10	木	51.1	41.1					H19.8.9	木	70.5	41.1				
H19.5.11	金	51.1	41.1					H19.8.10	金	70.5	41.1				
H19.5.12	土	51.1	41.1					H19.8.11	土	70.5	41.1				
H19.5.13	日	51.1	41.1					H19.8.12	日	70.5	41.1				
H19.5.14	月	51.1	41.1					H19.8.13	月	70.5	41.1				
H19.5.15	火	51.1	41.1					H19.8.14	火	70.5	41.1				
H19.5.16	水	51.1	41.1					H19.8.15	水	70.5	41.1				
H19.5.17	木	51.1	41.1					H19.8.16	木	70.5	41.1				
H19.5.18	金	51.1	41.1					H19.8.17	金	70.5	41.1				
H19.5.19	土	51.1	41.1					H19.8.18	土	70.5	41.1				
H19.5.20	日	51.1	41.1					H19.8.19	日	70.5	41.1				
H19.5.21	月	51.1	41.1					H19.8.20	月	70.5	41.1				
H19.5.22	火	51.1	41.1					H19.8.21	火	70.5	41.1				
H19.5.23	水	51.1	41.1					H19.8.22	水	70.5	41.1				
H19.5.24	木	51.1	41.1					H19.8.23	木	70.5	41.1				
H19.5.25	金	51.1	41.1					H19.8.24	金	72.0	41.1				
H19.5.26	土	51.1	41.1					H19.8.25	土	72.0	41.1				
H19.5.27	日	51.1	41.1					H19.8.26	日	72.0	41.1				
H19.5.28	月	51.1	41.1					H19.8.27	月	72.0	43.1				
H19.5.29	火	51.1	41.1					H19.8.28	火	72.0	44.0				
H19.5.30	水	51.1	41.1					H19.8.29	水	74.0	44.0				
H19.5.31	木	51.1	41.1					H19.8.30	木	75.0	44.0				
H19.6.1	金	51.9	41.1					H19.8.31	金	76.0	45.0				
H19.6.2	土	51.9	41.1					H19.9.1	土	76.0	46.0				
H19.6.3	日	51.9	41.1					H19.9.2	日	76.0	46.0				
H19.6.4	月	52.7	41.1					H19.9.3	月	77.0	46.0				
H19.6.5	火	52.7	41.1					H19.9.4	火	78.0	46.0				
H19.6.6	水	52.7	41.1					H19.9.5	水	79.0	47.0				
H19.6.7	木	52.7	41.1					H19.9.6	木	80.0	48.0				
H19.6.8	金	53.7	41.1					H19.9.7	金	81.0	48.9				
H19.6.9	土	54.6	41.1					H19.9.8	土	82.0	49.9				
H19.6.10	日	54.6	41.1					H19.9.9	日	82.0	49.9				
H19.6.11	月	54.6	41.1					H19.9.10	月	83.0	49.9				
H19.6.12	火	54.6	41.1					H19.9.11	火	83.0	51.8				
H19.6.13	水	54.6	41.1					H19.9.12	水	85.0	51.8				
H19.6.14	木	54.6	41.1					H19.9.13	木	85.0	53.7				
H19.6.15	金	56.6	41.1					H19.9.14	金	85.0	53.7				
H19.6.16	土	56.6	41.1					H19.9.15	土	85.0	55.6				
H19.6.17	日	56.6	41.1					H19.9.16	日	85.0	55.6				
H19.6.18	月	56.6	41.1					H19.9.17	月	85.0	55.6				
H19.6.19	火	56.6	41.1					H19.9.18	火	85.0	55.6				
H19.6.20	水	58.6	41.1					H19.9.19	水	85.0	55.6				
H19.6.21	木	58.6	41.1					H19.9.20	木	87.0	57.5				
H19.6.22	金	60.6	41.1					H19.9.21	金	87.0	57.5				
H19.6.23	土	60.6	41.1					H19.9.22	土	87.0	59.4				
H19.6.24	日	60.6	41.1					H19.9.23	日	87.0	59.4				
H19.6.25	月	61.6	41.1					H19.9.24	月	87.0	59.4				
H19.6.26	火	62.6	41.1					H19.9.25	火	87.0	61.3				
H19.6.27	水	63.6	41.1					H19.9.26	水	87.0	61.3				
H19.6.28	木	64.6	41.1					H19.9.27	木	87.0	63.2				
H19.6.29	金	64.6	41.1					H19.9.28	金	87.0	63.2				
H19.6.30	土	64.6	41.1					H19.9.29	土	87.0	64.1				
								H19.9.30	日	87.0	64.1				

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その5）

年 月 日	曜	換気 立坑	東 立坑	西 立坑	深度 140m 調査坑道	深度 250m 調査坑道	深度 350m 調査坑道
H19.10.1	月	87.0	65.1				
H19.10.2	火	87.0	65.1				
H19.10.3	水	91.0	66.1				
H19.10.4	木	91.0	67.0				
H19.10.5	金	93.0	67.0				
H19.10.6	土	93.0	67.0				
H19.10.7	日	93.0	67.0				
H19.10.8	月	94.0	67.0				
H19.10.9	火	95.0	67.8				
H19.10.10	水	96.0	67.8				
H19.10.11	木	97.0	68.8				
H19.10.12	金	98.0	69.8				
H19.10.13	土	98.0	69.8				
H19.10.14	日	98.0	69.8				
H19.10.15	月	99.0	69.8				
H19.10.16	火	99.0	69.8				
H19.10.17	水	100.0	70.5				
H19.10.18	木	101.0	70.5				
H19.10.19	金	103.0	70.5				
H19.10.20	土	103.0	70.5				
H19.10.21	日	103.0	70.5				
H19.10.22	月	104.0	70.5				
H19.10.23	火	105.0	70.5				
H19.10.24	水	106.0	70.5				
H19.10.25	木	107.0	70.5				
H19.10.26	金	107.0	70.5				
H19.10.27	土	108.0	70.5				
H19.10.28	日	108.0	70.5				
H19.10.29	月	109.0	70.5				
H19.10.30	火	109.0	70.5				
H19.10.31	水	109.0	70.5				
H19.11.1	木	111.0	70.5				
H19.11.2	金	112.0	70.5				
H19.11.3	土	113.0	70.5				
H19.11.4	日	113.0	70.5				
H19.11.5	月	114.0	70.5				
H19.11.6	火	115.0	70.5				
H19.11.7	水	116.0	70.5				
H19.11.8	木	117.0	70.5				
H19.11.9	金	118.0	70.5				
H19.11.10	土	119.0	70.5				
H19.11.11	日	119.0	70.5				
H19.11.12	月	119.0	70.5				
H19.11.13	火	121.0	70.5				
H19.11.14	水	121.0	70.5				
H19.11.15	木	122.0	70.5				
H19.11.16	金	123.0	70.5				
H19.11.17	土	123.0	70.5				
H19.11.18	日	123.0	70.5				
H19.11.19	月	124.0	70.5				
H19.11.20	火	124.0	73.2				
H19.11.21	水	125.0	73.2				
H19.11.22	木	126.0	73.2				
H19.11.23	金	127.0	75.2				
H19.11.24	土	127.0	75.2				
H19.11.25	日	127.0	75.2				
H19.11.26	月	129.0	76.2				
H19.11.27	火	129.0	77.2				
H19.11.28	水	130.0	77.2				
H19.11.29	木	131.0	79.2				
H19.11.30	金	133.0	80.2				
H19.12.1	土	133.0	81.2				
H19.12.2	日	133.0	81.2				
H19.12.3	月	134.0	82.2				
H19.12.4	火	134.9	83.2				
H19.12.5	水	135.8	83.2				
H19.12.6	木	136.8	85.2				
H19.12.7	金	136.8	85.2				
H19.12.8	土	136.8	85.2				
H19.12.9	日	136.8	85.2				
H19.12.10	月	136.8	85.2				
H19.12.11	火	136.8	85.2				
H19.12.12	水	136.8	85.2				
H19.12.13	木	137.8	85.2				
H19.12.14	金	137.8	86.2				
H19.12.15	土	138.8	87.2				
H19.12.16	日	138.8	87.2				
H19.12.17	月	138.8	88.2				
H19.12.18	火	139.8	89.2				
H19.12.19	水	139.8	90.2				
H19.12.20	木	140.5	91.2				
H19.12.21	金	140.5	93.2				
H19.12.22	土	140.5	93.2				
H19.12.23	日	140.5	93.2				
H19.12.24	月	140.5	94.2		0.5		
H19.12.25	火	140.5	95.2		0.5		
H19.12.26	水	140.5	95.2		0.5		
H19.12.27	木	140.5	95.2		0.5		
H19.12.28	金	140.5	95.2		0.5		
H19.12.29	土	140.5	95.2		0.5		
H19.12.30	日	140.5	95.2		0.5		
H19.12.31	月	140.5	95.2		0.5		
H20.1.1	火	140.5	95.2			0.5	
H20.1.2	水	140.5	95.2			0.5	
H20.1.3	木	140.5	95.2			0.5	
H20.1.4	金	140.5	95.2			0.5	
H20.1.5	土	140.5	95.2			0.5	
H20.1.6	日	140.5	95.2			0.5	
H20.1.7	月	140.5	95.2			0.5	
H20.1.8	火	140.5	95.2			0.5	
H20.1.9	水	140.5	95.2			1.0	
H20.1.10	木	140.5	95.2			1.0	
H20.1.11	金	140.5	95.2			2.0	
H20.1.12	土	140.5	95.2			3.0	
H20.1.13	日	140.5	95.2			3.0	
H20.1.14	月	140.5	95.2			3.0	
H20.1.15	火	140.5	95.2			3.0	
H20.1.16	水	140.5	95.2			4.0	
H20.1.17	木	140.5	95.2			5.0	
H20.1.18	金	140.5	95.2			6.0	
H20.1.19	土	140.5	95.2			7.0	
H20.1.20	日	140.5	95.2			7.0	
H20.1.21	月	140.5	95.2			7.0	
H20.1.22	火	140.5	95.2			8.0	
H20.1.23	水	140.5	95.2			9.0	
H20.1.24	木	140.5	95.2			10.0	
H20.1.25	金	140.5	95.2			11.0	
H20.1.26	土	140.5	95.2			11.0	
H20.1.27	日	140.5	95.2			11.0	
H20.1.28	月	140.5	95.2			11.0	
H20.1.29	火	140.5	95.2			11.0	
H20.1.30	水	140.5	95.2			12.0	
H20.1.31	木	140.5	95.2			13.0	
H20.2.1	金	140.5	95.2			15.0	
H20.2.2	土	140.5	95.2			15.5	
H20.2.3	日	140.5	95.2			15.5	
H20.2.4	月	140.5	95.2			17.0	
H20.2.5	火	140.5	95.2			18.0	
H20.2.6	水	140.5	95.2			19.0	
H20.2.7	木	140.5	95.2			20.0	
H20.2.8	金	140.5	95.2			22.0	
H20.2.9	土	140.5	95.2			23.0	
H20.2.10	日	140.5	95.2			23.0	
H20.2.11	月	140.5	95.2			25.0	
H20.2.12	火	140.5	95.2			26.0	
H20.2.13	水	140.5	95.2			27.0	
H20.2.14	木	140.5	95.2			27.0	
H20.2.15	金	140.5	95.2			27.0	
H20.2.16	土	140.5	95.2			27.0	
H20.2.17	日	140.5	95.2			27.0	
H20.2.18	月	140.5	95.2			27.0	
H20.2.19	火	140.5	95.2			27.0	
H20.2.20	水	140.5	95.2			27.0	
H20.2.21	木	140.5	95.2			27.0	
H20.2.22	金	140.5	95.2			27.0	
H20.2.23	土	140.5	95.2			27.0	
H20.2.24	日	140.5	95.2			27.0	
H20.2.25	月	140.5	96.2			27.0	
H20.2.26	火	140.5	96.2			27.0	
H20.2.27	水	140.5	97.2			27.0	
H20.2.28	木	140.5	97.2			27.0	
H20.2.29	金	140.5	97.2			27.0	
H20.3.1	土	140.5	98.2			27.0	
H20.3.2	日	140.5	98.2			27.0	
H20.3.3	月	140.5	99.2			27.0	
H20.3.4	火	140.5	99.2			27.0	
H20.3.5	水	142.0	99.2			27.0	
H20.3.6	木	143.0	99.2			27.0	
H20.3.7	金	143.0	100.2			27.0	
H20.3.8	土	143.0	101.2			27.0	
H20.3.9	日	143.0	101.2			27.0	
H20.3.10	月	144.0	101.2			27.0	
H20.3.11	火	145.0	101.2			27.0	
H20.3.12	水	146.0	102.2			27.0	
H20.3.13	木	147.0	103.2			27.0	
H20.3.14	金	148.0	103.2			27.0	
H20.3.15	土	149.0	103.2			27.0	
H20.3.16	日	149.0	103.2			27.0	
H20.3.17	月	149.0	104.2			27.0	
H20.3.18	火	150.0	105.2			27.0	
H20.3.19	水	151.0	105.2			27.0	
H20.3.20	木	153.0	105.2			27.0	
H20.3.21	金	153.0	106.2			27.0	
H20.3.22	土	155.0	107.2			27.0	
H20.3.23	日	155.0	107.2			27.0	
H20.3.24	月	155.0	107.2			27.0	
H20.3.25	火	156.0	107.2			27.0	
H20.3.26	水	157.0	108.2			27.0	
H20.3.27	木	159.0	109.2			27.0	
H20.3.28	金	160.0	109.2			27.0	
H20.3.29	土	161.0	110.2			27.0	
H20.3.30	日	161.0	110.2			27.0	
H20.3.31	月	161.0	110.2			27.0	

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その6）

年 月 日	曜	換気立坑	東立坑	西立坑	深度140m調査坑道	深度250m調査坑道	深度350m調査坑道
H20.4.1	火	161.0	111.2		27.0		
H20.4.2	水	161.0	111.2		27.0		
H20.4.3	木	161.0	111.2		27.0		
H20.4.4	金	161.0	113.2		27.0		
H20.4.5	土	161.0	113.2		27.0		
H20.4.6	日	161.0	113.2		27.0		
H20.4.7	月	161.0	113.2		27.0		
H20.4.8	火	161.0	114.2		27.0		
H20.4.9	水	163.0	115.2		27.0		
H20.4.10	木	164.0	115.2		27.0		
H20.4.11	金	164.0	115.2		27.0		
H20.4.12	土	164.0	115.2		27.0		
H20.4.13	日	164.0	115.2		27.0		
H20.4.14	月	164.0	115.2		27.0		
H20.4.15	火	164.0	115.2		27.0		
H20.4.16	水	164.0	115.2		27.0		
H20.4.17	木	164.0	115.2		27.0		
H20.4.18	金	164.0	116.2		27.0		
H20.4.19	土	166.0	117.2		27.0		
H20.4.20	日	166.0	117.2		27.0		
H20.4.21	月	167.0	117.2		27.0		
H20.4.22	火	167.0	117.2		27.0		
H20.4.23	水	168.0	118.2		27.0		
H20.4.24	木	169.0	119.2		27.0		
H20.4.25	金	170.0	119.2		27.0		
H20.4.26	土	171.0	119.2		27.0		
H20.4.27	日	171.0	119.2		27.0		
H20.4.28	月	172.0	119.2		27.0		
H20.4.29	火	173.0	120.2		27.0		
H20.4.30	水	173.0	121.2		27.0		
H20.5.1	木	173.0	121.2		27.0		
H20.5.2	金	173.0	121.2		27.0		
H20.5.3	土	173.0	121.2		27.0		
H20.5.4	日	173.0	121.2		27.0		
H20.5.5	月	173.0	121.2		27.0		
H20.5.6	火	173.0	121.2		27.0		
H20.5.7	水	175.0	122.2		27.0		
H20.5.8	木	175.0	122.2		27.0		
H20.5.9	金	177.0	123.2		27.0		
H20.5.10	土	178.0	123.2		27.0		
H20.5.11	日	178.0	123.2		27.0		
H20.5.12	月	179.0	123.2		27.0		
H20.5.13	火	179.0	124.2		27.0		
H20.5.14	水	181.0	125.2		27.0		
H20.5.15	木	182.0	125.2		27.0		
H20.5.16	金	183.0	126.2		27.0		
H20.5.17	土	183.0	127.2		27.0		
H20.5.18	日	183.0	127.2		27.0		
H20.5.19	月	184.0	127.2		27.0		
H20.5.20	火	185.0	127.2		27.0		
H20.5.21	水	186.0	127.2		27.0		
H20.5.22	木	187.0	128.2		27.0		
H20.5.23	金	188.0	129.2		27.0		
H20.5.24	土	189.0	129.2		27.0		
H20.5.25	日	189.0	129.2		27.0		
H20.5.26	月	189.0	129.2		27.0		
H20.5.27	火	190.0	130.2		27.0		
H20.5.28	水	191.0	131.2		27.0		
H20.5.29	木	192.0	131.2		27.0		
H20.5.30	金	193.0	131.2		27.0		
H20.5.31	土	193.0	131.2		27.0		
H20.6.1	日	193.0	131.2		27.0		
H20.6.2	月	195.0	132.2		27.0		
H20.6.3	火	196.0	133.2		27.0		
H20.6.4	水	197.0	133.2		27.0		
H20.6.5	木	197.0	134.1		27.0		
H20.6.6	金	199.0	135.1		27.0		
H20.6.7	土	200.0	135.1		27.0		
H20.6.8	日	200.0	135.1		27.0		
H20.6.9	月	201.0	135.1		27.0		
H20.6.10	火	202.0	136.0		27.0		
H20.6.11	水	203.0	136.8		27.0		
H20.6.12	木	204.0	136.8		27.0		
H20.6.13	金	204.9	136.8		27.0		
H20.6.14	土	205.8	136.8		27.0		
H20.6.15	日	205.8	136.8		27.0		
H20.6.16	月	205.8	136.8		27.0		
H20.6.17	火	206.8	136.8		27.0		
H20.6.18	水	206.8	136.8		27.0		
H20.6.19	木	206.8	136.8		27.0		
H20.6.20	金	207.3	136.8		27.0		
H20.6.21	土	207.3	136.8		27.0		
H20.6.22	日	207.3	136.8		27.0		
H20.6.23	月	207.3	136.8		27.0		
H20.6.24	火	207.3	136.8		27.0		
H20.6.25	水	207.3	137.8		27.0		
H20.6.26	木	207.3	137.8		27.0		
H20.6.27	金	207.8	138.8		27.0		
H20.6.28	土	207.8	138.8		27.0		
H20.6.29	日	207.8	138.8		27.0		
H20.6.30	月	207.8	138.8		27.0		
H20.7.1	火	208.8	138.8		27.0		
H20.7.2	水	209.8	139.8		27.0		
H20.7.3	木	209.8	139.8		27.0		
H20.7.4	金	210.5	139.8		27.0		
H20.7.5	土	210.5	140.5		27.0		
H20.7.6	日	210.5	140.5		27.0		
H20.7.7	月	210.5	140.5		27.0		
H20.7.8	火	210.5	140.5		27.0		
H20.7.9	水	210.5	140.5		27.0		
H20.7.10	木	210.5	140.5		27.5		
H20.7.11	金	210.5	140.5		27.5		
H20.7.12	土	210.5	140.5		27.5		
H20.7.13	日	210.5	140.5		27.5		
H20.7.14	月	210.5	140.5		27.5		
H20.7.15	火	210.5	140.5		28.0		
H20.7.16	水	210.5	140.5		28.0		
H20.7.17	木	210.5	140.5		28.0		
H20.7.18	金	210.5	140.5		29.0		
H20.7.19	土	210.5	140.5		29.0		
H20.7.20	日	210.5	140.5		29.0		
H20.7.21	月	210.5	140.5		30.0		
H20.7.22	火	210.5	140.5		30.0		
H20.7.23	水	210.5	140.5		31.0		
H20.7.24	木	210.5	140.5		32.0		
H20.7.25	金	210.5	140.5		32.0		
H20.7.26	土	210.5	140.5		32.0		
H20.7.27	日	210.5	140.5		32.0		
H20.7.28	月	210.5	140.5		33.0		
H20.7.29	火	210.5	140.5		33.0		
H20.7.30	水	210.5	140.5		34.0		
H20.7.31	木	210.5	140.5		35.0		
H20.8.1	金	210.5	140.5		35.0		
H20.8.2	土	210.5	140.5		36.0		
H20.8.3	日	210.5	140.5		36.0		
H20.8.4	月	212.0	140.5		36.0		
H20.8.5	火	213.0	140.5		37.0		
H20.8.6	水	213.0	140.5		37.0		
H20.8.7	木	213.0	140.5		37.0		
H20.8.8	金	213.0	140.5		37.0		
H20.8.9	土	214.0	140.5		37.0		
H20.8.10	日	214.0	140.5		37.0		
H20.8.11	月	214.0	140.5		37.0		
H20.8.12	火	214.0	140.5		37.0		
H20.8.13	水	214.0	140.5		37.0		
H20.8.14	木	214.0	140.5		37.0		
H20.8.15	金	214.0	140.5		37.0		
H20.8.16	土	214.0	140.5		37.0		
H20.8.17	日	214.0	140.5		37.0		
H20.8.18	月	214.0	140.5		37.0		
H20.8.19	火	215.0	140.5		37.0		
H20.8.20	水	215.0	140.5		37.0		
H20.8.21	木	217.0	140.5		37.0		
H20.8.22	金	219.0	140.5		37.0		
H20.8.23	土	219.0	140.5		37.0		
H20.8.24	日	219.0	140.5		37.0		
H20.8.25	月	221.0	140.5		37.0		
H20.8.26	火	221.0	140.5		37.0		
H20.8.27	水	223.0	140.5		37.0		
H20.8.28	木	223.0	140.5		38.0		
H20.8.29	金	223.0	140.5		39.0		
H20.8.30	土	223.0	140.5		39.0		
H20.8.31	日	223.0	140.5		39.0		
H20.9.1	月	225.0	140.5		40.0		
H20.9.2	火	226.0	140.5		40.0		
H20.9.3	水	226.0	140.5		41.0		
H20.9.4	木	226.0	140.5		41.0		
H20.9.5	金	226.0	140.5		41.0		
H20.9.6	土	226.0	140.5		41.0		
H20.9.7	日	226.0	140.5		41.0		
H20.9.8	月	227.0	140.5		41.0		
H20.9.9	火	227.0	140.5		42.0		
H20.9.10	水	227.0	140.5		44.0		
H20.9.11	木	227.0	140.5		44.0		
H20.9.12	金	229.0	140.5		45.0		
H20.9.13	土	229.0	140.5		45.0		
H20.9.14	日	229.0	140.5		45.0		
H20.9.15	月	229.0	140.5		46.0		
H20.9.16	火	231.0	140.5		46.0		
H20.9.17	水	232.0	140.5		47.0		
H20.9.18	木	233.0	140.5		47.0		
H20.9.19	金	235.0	140.5		47.0		
H20.9.20	土	235.0	140.5		47.0		
H20.9.21	日	235.0	140.5		47.0		
H20.9.22	月	236.0	140.5		47.0		
H20.9.23	火	237.0	140.5		47.0		
H20.9.24	水	238.0	140.5		47.0		
H20.9.25	木	239.0	140.5		47.0		
H20.9.26	金	241.0	140.5		47.0		
H20.9.27	土	241.0	140.5		47.0		
H20.9.28	日	241.0	140.5		47.0		
H20.9.29	月	242.0	140.5		47.0		
H20.9.30	火	242.0	140.5		47.0		

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その7）

年 月 日	曜	換気立坑	東立坑	西立坑	深度140m調査坑道	深度250m調査坑道	深度350m調査坑道
H20.10.1	水	243.0	140.5		47.0		
H20.10.2	木	244.9	140.5		48.7		
H20.10.3	金	244.9	140.5		48.7		
H20.10.4	土	244.9	140.5		48.7		
H20.10.5	日	244.9	140.5		48.7		
H20.10.6	月	244.9	140.5		48.7		
H20.10.7	火	244.9	140.5		48.7		
H20.10.8	水	245.8	140.5		48.7		
H20.10.9	木	246.8	140.5		48.7		
H20.10.10	金	246.8	140.5		51.7		
H20.10.11	土	246.8	140.5		51.7		
H20.10.12	日	246.8	140.5		51.7		
H20.10.13	月	247.3	140.5		51.7		
H20.10.14	火	247.8	140.5		51.7		
H20.10.15	水	247.8	140.5		51.7		
H20.10.16	木	247.8	140.5		51.7		
H20.10.17	金	248.3	140.5		53.3		
H20.10.18	土	248.8	140.5		53.3		
H20.10.19	日	248.8	140.5		53.3		
H20.10.20	月	248.8	140.5		53.3		
H20.10.21	火	249.8	140.5		53.3		
H20.10.22	水	249.8	140.5		53.3		
H20.10.23	木	250.5	140.5		53.3		
H20.10.24	金	250.5	140.5		53.3		
H20.10.25	土	250.5	140.5		56.3		
H20.10.26	日	250.5	140.5		56.3		
H20.10.27	月	250.5	140.5		56.3		
H20.10.28	火	250.5	140.5		56.3	0.5	
H20.10.29	水	250.5	140.5		56.3	0.5	
H20.10.30	木	250.5	140.5		56.3	1.0	
H20.10.31	金	250.5	140.5		56.3	2.0	
H20.11.1	土	250.5	140.5		56.3	3.0	
H20.11.2	日	250.5	140.5		56.3	3.0	
H20.11.3	月	250.5	140.5		56.3	4.0	
H20.11.4	火	250.5	140.5		56.3	5.0	
H20.11.5	水	250.5	140.5		56.3	7.0	
H20.11.6	木	250.5	140.5		56.3	8.0	
H20.11.7	金	250.5	140.5		56.3	8.0	
H20.11.8	土	250.5	140.5		56.3	8.0	
H20.11.9	日	250.5	140.5		56.3	8.0	
H20.11.10	月	250.5	140.5		56.3	9.0	
H20.11.11	火	250.5	140.5		56.3	10.0	
H20.11.12	水	250.5	140.5		56.3	11.0	
H20.11.13	木	250.5	140.5		56.3	12.0	
H20.11.14	金	250.5	140.5		56.3	14.0	
H20.11.15	土	250.5	140.5		56.3	14.0	
H20.11.16	日	250.5	140.5		56.3	14.0	
H20.11.17	月	250.5	140.5		56.3	15.0	
H20.11.18	火	250.5	140.5		56.3	16.0	
H20.11.19	水	250.5	140.5		56.3	17.0	
H20.11.20	木	250.5	140.5		56.3	17.0	
H20.11.21	金	250.5	140.5		56.3	17.0	
H20.11.22	土	250.5	140.5		56.3	17.0	
H20.11.23	日	250.5	140.5		56.3	17.0	
H20.11.24	月	250.5	140.5		56.3	17.0	
H20.11.25	火	250.5	140.5		56.3	17.0	
H20.11.26	水	250.5	140.5		56.3	18.0	
H20.11.27	木	250.5	140.5		56.3	19.0	
H20.11.28	金	250.5	140.5		56.3	20.0	
H20.11.29	土	250.5	140.5		56.3	21.0	
H20.11.30	日	250.5	140.5		56.3	21.0	
H20.12.1	月	250.5	140.5		56.3	22.0	
H20.12.2	火	250.5	140.5		56.3	24.0	
H20.12.3	水	250.5	140.5		56.3	25.0	
H20.12.4	木	250.5	140.5		56.3	25.0	
H20.12.5	金	250.5	140.5		56.3	26.0	
H20.12.6	土	250.5	140.5		56.3	26.0	
H20.12.7	日	250.5	140.5		56.3	26.0	
H20.12.8	月	250.5	140.5		56.3	26.0	
H20.12.9	火	250.5	140.5		56.3	27.0	
H20.12.10	水	250.5	140.5		56.3	28.0	
H20.12.11	木	250.5	140.5		56.3	29.0	
H20.12.12	金	250.5	140.5		56.3	30.0	
H20.12.13	土	250.5	140.5		56.3	30.0	
H20.12.14	日	250.5	140.5		56.3	30.0	
H20.12.15	月	250.5	140.5		56.3	30.0	
H20.12.16	火	250.5	140.5		56.3	30.0	
H20.12.17	水	250.5	140.5		56.3	31.0	
H20.12.18	木	250.5	140.5		56.3	32.0	
H20.12.19	金	250.5	140.5		56.3	33.0	
H20.12.20	土	250.5	140.5		56.3	33.0	
H20.12.21	日	250.5	140.5		56.3	33.0	
H20.12.22	月	250.5	140.5		56.3	34.0	
H20.12.23	火	250.5	140.5		56.3	35.0	
H20.12.24	水	250.5	140.5		56.3	36.8	
H20.12.25	木	250.5	140.5		56.3	36.8	
H20.12.26	金	250.5	140.5		56.3	36.8	
H20.12.27	土	250.5	140.5		56.3	36.8	
H20.12.28	日	250.5	140.5		56.3	36.8	
H20.12.29	月	250.5	140.5		56.3	36.8	
H20.12.30	火	250.5	140.5		56.3	36.8	
H20.12.31	水	250.5	140.5		56.3	36.8	
H21.1.1	木	250.5	140.5				56.3 36.8
H21.1.2	金	250.5	140.5				56.3 36.8
H21.1.3	土	250.5	140.5				56.3 36.8
H21.1.4	日	250.5	140.5				56.3 36.8
H21.1.5	月	250.5	140.5				56.3 36.8
H21.1.6	火	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.7	水	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.8	木	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.9	金	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.10	土	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.11	日	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.12	月	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.13	火	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.14	水	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.15	木	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.16	金	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.17	土	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.18	日	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.19	月	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.20	火	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.21	水	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.22	木	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.23	金	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.24	土	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.25	日	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.26	月	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.27	火	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.28	水	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.29	木	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.30	金	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.1.31	土	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.1	日	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.2	月	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.3	火	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.4	水	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.5	木	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.6	金	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.7	土	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.8	日	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.9	月	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.10	火	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.11	水	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.12	木	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.13	金	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.14	土	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.15	日	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.16	月	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.17	火	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.18	水	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.19	木	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.20	金	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.21	土	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.22	日	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.23	月	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.24	火	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.25	水	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.26	木	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.27	金	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.2.28	土	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.1	日	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.2	月	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.3	火	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.4	水	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.5	木	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.6	金	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.7	土	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.8	日	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.9	月	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.10	火	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.11	水	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.12	木	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.13	金	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.14	土	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.15	日	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.16	月	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.17	火	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.18	水	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.19	木	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.20	金	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.21	土	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.22	日	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.23	月	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.24	火	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.25	水	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.26	木	250.5	140.5				56.3 37.6
H21.3.27	金	250.5	140.5				56.3 37.

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その8）

年 月 日	曜	換気立坑	東立坑	西立坑	深度 140m 調査坑道	深度 250m 調査坑道	深度 350m 調査坑道
H21.4.1	水	250.5	140.5		56.3	37.6	
H21.4.2	木	250.5	140.5		56.3	37.6	
H21.4.3	金	250.5	140.5		56.3	37.6	
H21.4.4	土	250.5	140.5		56.3	37.6	
H21.4.5	日	250.5	140.5		56.3	37.6	
H21.4.6	月	250.5	140.5		56.3	37.6	
H21.4.7	火	250.5	140.5		58.1	37.6	
H21.4.8	水	250.5	140.5		59.1	37.6	
H21.4.9	木	250.5	140.5		59.1	37.6	
H21.4.10	金	250.5	140.5		61.1	37.6	
H21.4.11	土	250.5	140.5		62.1	37.6	
H21.4.12	日	250.5	140.5		62.1	37.6	
H21.4.13	月	250.5	140.5		63.1	37.6	
H21.4.14	火	250.5	140.5		64.1	37.6	
H21.4.15	水	250.5	140.5		65.1	37.6	
H21.4.16	木	250.5	140.5		66.1	37.6	
H21.4.17	金	250.5	140.5		66.1	37.6	
H21.4.18	土	250.5	140.5		67.1	37.6	
H21.4.19	日	250.5	140.5		67.1	37.6	
H21.4.20	月	250.5	140.5		68.1	37.6	
H21.4.21	火	250.5	140.5		68.1	37.6	
H21.4.22	水	250.5	140.5		68.9	37.6	
H21.4.23	木	250.5	140.5		69.9	37.6	
H21.4.24	金	250.5	140.5		70.9	37.6	
H21.4.25	土	250.5	140.5		72.9	37.6	
H21.4.26	日	250.5	140.5		74.9	37.6	
H21.4.27	月	250.5	140.5		76.9	37.6	
H21.4.28	火	250.5	140.5		78.9	37.6	
H21.4.29	水	250.5	140.5		79.9	37.6	
H21.4.30	木	250.5	140.5		79.9	37.6	
H21.5.1	金	250.5	140.5		79.9	37.6	
H21.5.2	土	250.5	140.5		79.9	37.6	
H21.5.3	日	250.5	140.5		79.9	37.6	
H21.5.4	月	250.5	140.5		79.9	37.6	
H21.5.5	火	250.5	140.5		79.9	37.6	
H21.5.6	水	250.5	140.5		79.9	37.6	
H21.5.7	木	250.5	140.5		81.9	37.6	
H21.5.8	金	250.5	140.5		83.9	37.6	
H21.5.9	土	250.5	140.5		83.9	37.6	
H21.5.10	日	250.5	140.5		83.9	37.6	
H21.5.11	月	250.5	140.5		84.9	37.6	
H21.5.12	火	250.5	140.5		86.9	37.6	
H21.5.13	水	250.5	140.5		87.9	37.6	
H21.5.14	木	250.5	140.5		88.9	37.6	
H21.5.15	金	250.5	140.5		90.1	37.6	
H21.5.16	土	250.5	140.5		90.1	37.6	
H21.5.17	日	250.5	140.5		90.1	37.6	
H21.5.18	月	250.5	140.5		91.1	37.6	
H21.5.19	火	250.5	140.5		92.1	37.6	
H21.5.20	水	250.5	140.5		92.1	37.6	
H21.5.21	木	250.5	140.5		93.1	37.6	
H21.5.22	金	250.5	140.5		95.1	37.6	
H21.5.23	土	250.5	140.5		97.1	37.6	
H21.5.24	日	250.5	140.5		97.1	37.6	
H21.5.25	月	250.5	140.5		98.1	37.6	
H21.5.26	火	250.5	140.5		100.1	37.6	
H21.5.27	水	250.5	140.5		102.1	37.6	
H21.5.28	木	250.5	140.5		103.1	37.6	
H21.5.29	金	250.5	140.5		103.1	37.6	
H21.5.30	土	250.5	140.5		103.1	37.6	
H21.5.31	日	250.5	140.5		103.1	37.6	
H21.6.1	月	250.5	140.5		104.4	37.6	
H21.6.2	火	250.5	140.5		105.2	37.6	
H21.6.3	水	250.5	140.5		106.2	37.6	
H21.6.4	木	250.5	140.5		108.2	37.6	
H21.6.5	金	250.5	140.5		110.2	37.6	
H21.6.6	土	250.5	140.5		111.2	37.6	
H21.6.7	日	250.5	140.5		111.2	37.6	
H21.6.8	月	250.5	140.5		112.2	37.6	
H21.6.9	火	250.5	140.5		114.2	37.6	
H21.6.10	水	250.5	140.5		116.2	37.6	
H21.6.11	木	250.5	140.5		118.2	37.6	
H21.6.12	金	250.5	140.5		118.2	37.6	
H21.6.13	土	250.5	140.5		118.2	37.6	
H21.6.14	日	250.5	140.5		118.2	37.6	
H21.6.15	月	250.5	140.5		119.2	37.6	
H21.6.16	火	250.5	140.5		121.2	37.6	
H21.6.17	水	250.5	140.5		123.2	37.6	
H21.6.18	木	250.5	140.5		125.2	37.6	
H21.6.19	金	250.5	140.5		127.2	37.6	
H21.6.20	土	250.5	140.5		129.2	37.6	
H21.6.21	日	250.5	140.5		129.2	37.6	
H21.6.22	月	250.5	140.5		130.2	37.6	
H21.6.23	火	250.5	140.5		132.2	37.6	
H21.6.24	水	250.5	140.5		134.2	37.6	
H21.6.25	木	250.5	140.5		136.2	37.6	
H21.6.26	金	250.5	140.5		138.2	37.6	
H21.6.27	土	250.5	140.5		138.2	37.6	
H21.6.28	日	250.5	140.5		138.2	37.6	
H21.6.29	月	250.5	140.5		139.2	37.6	
H21.6.30	火	250.5	140.5		140.4	37.6	
H21.7.1	水	250.5	140.5				140.4 37.6
H21.7.2	木	250.5	140.5				142.4 37.6
H21.7.3	金	250.5	140.5				144.4 37.6
H21.7.4	土	250.5	140.5				146.4 37.6
H21.7.5	日	250.5	140.5				146.4 37.6
H21.7.6	月	250.5	140.5				147.4 37.6
H21.7.7	火	250.5	140.5				148.4 37.6
H21.7.8	水	250.5	140.5				150.4 37.6
H21.7.9	木	250.5	140.5				151.4 37.6
H21.7.10	金	250.5	140.5				153.4 37.6
H21.7.11	土	250.5	140.5				153.4 37.6
H21.7.12	日	250.5	140.5				153.4 37.6
H21.7.13	月	250.5	140.5				154.4 37.6
H21.7.14	火	250.5	140.5				156.4 37.6
H21.7.15	水	250.5	140.5				158.4 37.6
H21.7.16	木	250.5	140.5				160.4 37.6
H21.7.17	金	250.5	140.5				162.4 37.6
H21.7.18	土	250.5	140.5				163.5 37.6
H21.7.19	日	250.5	140.5				163.5 37.6
H21.7.20	月	250.5	140.5				164.7 37.6
H21.7.21	火	250.5	140.5				166.7 37.6
H21.7.22	水	250.5	140.5				168.7 37.6
H21.7.23	木	250.5	140.5				170.7 37.6
H21.7.24	金	250.5	140.5				172.7 37.6
H21.7.25	土	250.5	140.5				172.7 37.6
H21.7.26	日	250.5	140.5				172.7 37.6
H21.7.27	月	250.5	140.5				173.7 37.6
H21.7.28	火	250.5	140.5				175.7 37.6
H21.7.29	水	250.5	140.5				176.7 37.6
H21.7.30	木	250.5	140.5				176.7 37.6
H21.7.31	金	250.5	140.5				37.6
H21.8.1	土	250.5	140.5				37.6
H21.8.2	日	250.5	140.5				37.6
H21.8.3	月	250.5	140.5				37.6
H21.8.4	火	250.5	140.5				37.6
H21.8.5	水	250.5	140.5				37.6
H21.8.6	木	250.5	140.5				37.6
H21.8.7	金	250.5	140.5				37.6
H21.8.8	土	250.5	140.5				37.6
H21.8.9	日	250.5	140.5				37.6
H21.8.10	月	250.5	140.5				37.6
H21.8.11	火	250.5	140.5				37.6
H21.8.12	水	250.5	140.5				37.6
H21.8.13	木	250.5	140.5				37.6
H21.8.14	金	250.5	140.5				37.6
H21.8.15	土	250.5	140.5				37.6
H21.8.16	日	250.5	140.5				37.6
H21.8.17	月	250.5	140.5				37.6
H21.8.18	火	250.5	140.5				37.6
H21.8.19	水	250.5	140.5				37.6
H21.8.20	木	250.5	140.5				37.6
H21.8.21	金	250.5	140.5				37.6
H21.8.22	土	250.5	140.5				37.6
H21.8.23	日	250.5	140.5				37.6
H21.8.24	月	250.5	140.5				37.6
H21.8.25	火	250.5	140.5				37.6
H21.8.26	水	250.5	140.5				37.6
H21.8.27	木	250.5	140.5				37.6
H21.8.28	金	250.5	140.5				37.6
H21.8.29	土	250.5	140.5				37.6
H21.8.30	日	250.5	140.5				37.6
H21.8.31	月	250.5	140.5				37.6
H21.9.1	火	250.5	140.5				37.6
H21.9.2	水	250.5	140.5				37.6
H21.9.3	木	250.5	140.5				37.6
H21.9.4	金	250.5	140.5				37.6
H21.9.5	土	250.5	140.5				37.6
H21.9.6	日	250.5	140.5				37.6
H21.9.7	月	250.5	140.5				37.6
H21.9.8	火	250.5	140.5				37.6
H21.9.9	水	250.5	140.5				37.6
H21.9.10	木	250.5	140.5				37.6
H21.9.11	金	250.5	140.5				37.6
H21.9.12	土	250.5	140.5				37.6
H21.9.13	日	250.5	140.5				37.6
H21.9.14	月	250.5	140.5				37.6
H21.9.15	火	250.5	140.5				37.6
H21.9.16	水	250.5	140.5				37.6
H21.9.17	木	250.5	140.5				37.6
H21.9.18	金	250.5	140.5				37.6
H21.9.19	土	250.5	140.5				37.6
H21.9.20	日	250.5	140.5				37.6
H21.9.21	月	250.5	140.5				37.6
H21.9.22	火	250.5	140.5				37.6
H21.9.23	水	250.5	140.5				37.6
H21.9.24	木	250.5	140.5				37.6
H21.9.25	金	250.5	140.5				37.6
H21.9.26	土	250.5	140.5				37.6
H21.9.27	日	250.5	140.5				37.6
H21.9.28							

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その9）

年 月 日	曜	換気立坑	東立坑	西立坑	深度140m調査坑道	深度250m調査坑道	深度350m調査坑道
H21.10.1	木	250.5	143.0			37.6	
H21.10.2	金	250.5	143.0			37.6	
H21.10.3	土	250.5	145.0			37.6	
H21.10.4	日	250.5	145.0			37.6	
H21.10.5	月	250.5	145.0			37.6	
H21.10.6	火	250.5	147.0			37.6	
H21.10.7	水	250.5	147.0			37.6	
H21.10.8	木	250.5	149.0			37.6	
H21.10.9	金	250.5	149.0			37.6	
H21.10.10	土	250.5	149.0			37.6	
H21.10.11	日	250.5	149.0			37.6	
H21.10.12	月	250.5	151.0			37.6	
H21.10.13	火	250.5	153.0			37.6	
H21.10.14	水	250.5	153.0			37.6	
H21.10.15	木	250.5	155.0			37.6	
H21.10.16	金	250.5	157.0			37.6	
H21.10.17	土	250.5	157.0			37.6	
H21.10.18	日	250.5	157.0			37.6	
H21.10.19	月	250.5	159.0			37.6	
H21.10.20	火	250.5	159.0			37.6	
H21.10.21	水	250.5	159.0			37.6	
H21.10.22	木	250.5	159.0			37.6	
H21.10.23	金	250.5	159.0			37.6	
H21.10.24	土	250.5	159.0			37.6	
H21.10.25	日	250.5	159.0			37.6	
H21.10.26	月	250.5	159.0			37.6	
H21.10.27	火	250.5	159.0			37.6	
H21.10.28	水	250.5	159.0			37.6	
H21.10.29	木	250.5	159.0			37.6	
H21.10.30	金	250.5	159.0			37.6	
H21.10.31	土	250.5	159.0			37.6	
H21.11.1	日	250.5	159.0			37.6	
H21.11.2	月	250.5	161.0			37.6	
H21.11.3	火	250.5	161.0			37.6	
H21.11.4	水	250.5	163.0			37.6	
H21.11.5	木	250.5	165.0			37.6	
H21.11.6	金	250.5	165.0			37.6	
H21.11.7	土	250.5	165.0			37.6	
H21.11.8	日	250.5	165.0			37.6	
H21.11.9	月	250.5	167.0			37.6	
H21.11.10	火	250.5	169.0			37.6	
H21.11.11	水	250.5	169.0			37.6	
H21.11.12	木	250.5	171.0			37.6	
H21.11.13	金	250.5	171.0			37.6	
H21.11.14	土	250.5	173.0			37.6	
H21.11.15	日	250.5	173.0			37.6	
H21.11.16	月	250.5	175.0			37.6	
H21.11.17	火	250.5	175.0			37.6	
H21.11.18	水	250.5	177.0			37.6	
H21.11.19	木	250.5	177.0			37.6	
H21.11.20	金	250.5	179.0			37.6	
H21.11.21	土	250.5	179.0			37.6	
H21.11.22	日	250.5	179.0			37.6	
H21.11.23	月	250.5	181.0			37.6	
H21.11.24	火	250.5	181.0			37.6	
H21.11.25	水	250.5	183.0			37.6	
H21.11.26	木	250.5	185.0			37.6	
H21.11.27	金	250.5	185.0			37.6	
H21.11.28	土	250.5	187.0			37.6	
H21.11.29	日	250.5	187.0			37.6	
H21.11.30	月	250.5	187.0			37.6	
H21.12.1	火	250.5	189.0			37.6	
H21.12.2	水	250.5	189.0			37.6	
H21.12.3	木	250.5	191.0			37.6	
H21.12.4	金	250.5	193.0			37.6	
H21.12.5	土	250.5	193.0			37.6	
H21.12.6	日	250.5	193.0			37.6	
H21.12.7	月	250.5	193.0			37.6	
H21.12.8	火	250.5	195.0			37.6	
H21.12.9	水	250.5	197.0			37.6	
H21.12.10	木	250.5	197.0			37.6	
H21.12.11	金	250.5	199.0			37.6	
H21.12.12	土	250.5	201.0			37.6	
H21.12.13	日	250.5	201.0			37.6	
H21.12.14	月	250.5	201.0			37.6	
H21.12.15	火	250.5	203.0			37.6	
H21.12.16	水	250.5	205.0			37.6	
H21.12.17	木	250.5	205.0			37.6	
H21.12.18	金	250.5	206.8			37.6	
H21.12.19	土	250.5	206.8			37.6	
H21.12.20	日	250.5	206.8			37.6	
H21.12.21	月	250.5	206.8			37.6	
H21.12.22	火	250.5	208.1			37.6	
H21.12.23	水	250.5	208.1			37.6	
H21.12.24	木	250.5	208.1			37.6	
H21.12.25	金	250.5	208.1			37.6	
H21.12.26	土	250.5	208.1			37.6	
H21.12.27	日	250.5	208.1			37.6	
H21.12.28	月	250.5	208.1			37.6	
H21.12.29	火	250.5	208.1			37.6	
H21.12.30	水	250.5	208.1			37.6	
H21.12.31	木	250.5	208.1			37.6	
H22.1.1	金	250.5	208.1			37.6	
H22.1.2	土	250.5	208.1			37.6	
H22.1.3	日	250.5	208.1			37.6	
H22.1.4	月	250.5	208.1			37.6	
H22.1.5	火	250.5	209.1			37.6	
H22.1.6	水	250.5	209.8			37.6	
H22.1.7	木	250.5	210.5			37.6	
H22.1.8	金	250.5	210.5			37.6	
H22.1.9	土	250.5	210.5			37.6	
H22.1.10	日	250.5	210.5			37.6	
H22.1.11	月	250.5	210.5			37.6	
H22.1.12	火	250.5	210.5			37.6	
H22.1.13	水	250.5	210.5			37.6	
H22.1.14	木	250.5	210.5			37.6	
H22.1.15	金	250.5	210.5			37.6	
H22.1.16	土	250.5	210.5			37.6	
H22.1.17	日	250.5	210.5			37.6	
H22.1.18	月	250.5	210.5			37.6	
H22.1.19	火	250.5	210.5			37.6	
H22.1.20	水	250.5	210.5			37.6	
H22.1.21	木	250.5	210.5			37.6	
H22.1.22	金	250.5	210.5			37.6	
H22.1.23	土	250.5	210.5			37.6	
H22.1.24	日	250.5	210.5			37.6	
H22.1.25	月	250.5	210.5			37.6	
H22.1.26	火	250.5	210.5			37.6	
H22.1.27	水	250.5	210.5			37.6	
H22.1.28	木	250.5	210.5			37.6	
H22.1.29	金	250.5	210.5			37.6	
H22.1.30	土	250.5	210.5			37.6	
H22.1.31	日	250.5	210.5			37.6	
H22.2.1	月	250.5	210.5			37.6	
H22.2.2	火	250.5	210.5			37.6	
H22.2.3	水	250.5	210.5			37.6	
H22.2.4	木	250.5	210.5			37.6	
H22.2.5	金	250.5	210.5			37.6	
H22.2.6	土	250.5	210.5			37.6	
H22.2.7	日	250.5	210.5			37.6	
H22.2.8	月	250.5	210.5			37.6	
H22.2.9	火	250.5	210.5			37.6	
H22.2.10	水	250.5	210.5			37.6	
H22.2.11	木	250.5	210.5			37.6	
H22.2.12	金	250.5	210.5			37.6	
H22.2.13	土	250.5	210.5			37.6	
H22.2.14	日	250.5	210.5			37.6	
H22.2.15	月	250.5	210.5			37.6	
H22.2.16	火	250.5	210.5			37.6	
H22.2.17	水	250.5	210.5			37.6	
H22.2.18	木	250.5	210.5			37.6	
H22.2.19	金	250.5	210.5			37.6	
H22.2.20	土	250.5	210.5			37.6	
H22.2.21	日	250.5	210.5			37.6	
H22.2.22	月	250.5	210.5			37.6	
H22.2.23	火	250.5	210.5			37.6	
H22.2.24	水	250.5	210.5			37.6	
H22.2.25	木	250.5	210.5			37.6	
H22.2.26	金	250.5	210.5			37.6	
H22.2.27	土	250.5	210.5			37.6	
H22.2.28	日	250.5	210.5			37.6	
H22.3.1	月	250.5	210.5			37.6	
H22.3.2	火	250.5	210.5			37.6	
H22.3.3	水	250.5	210.5			37.6	
H22.3.4	木	250.5	210.5			37.6	
H22.3.5	金	250.5	210.5			37.6	
H22.3.6	土	250.5	210.5			37.6	
H22.3.7	日	250.5	210.5			37.6	
H22.3.8	月	250.5	210.5			37.6	
H22.3.9	火	250.5	210.5			37.6	
H22.3.10	水	250.5	210.5			37.6	
H22.3.11	木	250.5	210.5			37.6	
H22.3.12	金	250.5	210.5			37.6	
H22.3.13	土	250.5	210.5			37.6	
H22.3.14	日	250.5	210.5			37.6	
H22.3.15	月	250.5	213.0			37.6	
H22.3.16	火	250.5	213.0			37.6	
H22.3.17	水	250.5	215.0			37.6	
H22.3.18	木	250.5	215.0			37.6	
H22.3.19	金	250.5	217.0			37.6	
H22.3.20	土	250.5	219.0			37.6	
H22.3.21	日	250.5	219.0			37.6	
H22.3.22	月	250.5	219.0			37.6	
H22.3.23	火	250.5	219.0			37.6	
H22.3.24	水	250.5	219.0			37.6	
H22.3.25	木	250.5	219.0			37.6	
H22.3.26	金	250.5	219.0			37.6	
H22.3.27	土	250.5	219.0			37.6	
H22.3.28	日	250.5	219.0			37.6	
H22.3.29	月	250.5	221.0			37.6	
H22.3.30	火	250.5	221.0			37.6	
H22.3.31	水	250.5	223.0			37.6	

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その10）

年 月 日	曜	換気 立坑	東 立坑	西 立坑	深度	深度	深度										
					140m 調査坑道	250m 調査坑道	350m 調査坑道										
H22.4.1	木	金	250.5	225.0			37.6		H22.7.1	木	250.5	250.5				80.6	
H22.4.2	木	金	250.5	225.0			37.6		H22.7.2	金	250.5	250.5				80.6	
H22.4.3	土	土	250.5	225.0			37.6		H22.7.3	土	250.5	250.5				80.6	
H22.4.4	日	日	250.5	225.0			37.6		H22.7.4	日	250.5	250.5				80.6	
H22.4.5	月	月	250.5	227.0			37.6		H22.7.5	月	250.5	250.5				80.6	
H22.4.6	火	火	250.5	227.0			37.6		H22.7.6	火	250.5	250.5				80.6	
H22.4.7	水	水	250.5	229.0			37.6		H22.7.7	水	250.5	250.5				80.6	
H22.4.8	木	土	250.5	231.0			37.6		H22.7.8	木	250.5	250.5				80.6	
H22.4.9	金	土	250.5	231.0			37.6		H22.7.9	金	250.5	250.5				80.6	
H22.4.10	土	日	250.5	231.0			37.6		H22.7.10	土	250.5	250.5				80.6	
H22.4.11	日	月	250.5	231.0			37.6		H22.7.11	日	250.5	250.5				80.6	
H22.4.12	月	火	250.5	233.0			37.6		H22.7.12	月	250.5	250.5				80.6	
H22.4.13	火	水	250.5	235.0			37.6		H22.7.13	火	250.5	250.5				80.6	
H22.4.14	水	木	250.5	235.0			37.6		H22.7.14	水	250.5	250.5				80.6	
H22.4.15	木	金	250.5	237.0			37.6		H22.7.15	木	250.5	250.5				80.6	
H22.4.16	金	土	250.5	237.0			37.6		H22.7.16	金	250.5	250.5				80.6	
H22.4.17	土	日	250.5	239.0			37.6		H22.7.17	土	250.5	250.5				80.6	
H22.4.18	日	月	250.5	239.0			37.6		H22.7.18	日	250.5	250.5				80.6	
H22.4.19	月	火	250.5	241.0			37.6		H22.7.19	月	250.5	250.5				80.6	
H22.4.20	火	水	250.5	241.0			37.6		H22.7.20	火	250.5	250.5				80.6	
H22.4.21	水	木	250.5	243.0			37.6		H22.7.21	水	250.5	250.5				80.6	
H22.4.22	木	金	250.5	244.9			37.6		H22.7.22	木	250.5	250.5				80.6	
H22.4.23	金	土	250.5	244.9			37.6		H22.7.23	金	250.5	250.5				80.6	
H22.4.24	土	日	250.5	244.9			37.6		H22.7.24	土	250.5	250.5				80.6	
H22.4.25	日	月	250.5	244.9			37.6		H22.7.25	日	250.5	250.5				80.6	
H22.4.26	月	火	250.5	246.8			37.6		H22.7.26	月	250.5	250.5				80.6	
H22.4.27	火	水	250.5	246.8			37.6		H22.7.27	火	250.5	250.5				80.6	
H22.4.28	水	木	250.5	246.8			37.6		H22.7.28	水	250.5	250.5				80.6	
H22.4.29	木	金	250.5	247.5			37.6		H22.7.29	木	250.5	250.5				80.6	
H22.4.30	金	土	250.5	247.5			37.6		H22.7.30	金	250.5	250.5				80.6	
H22.5.1	土	日	250.5	247.5			37.6		H22.7.31	土	250.5	250.5				80.6	
H22.5.2	日	月	250.5	247.5			37.6		H22.8.1	日	250.5	250.5				80.6	
H22.5.3	月	火	250.5	247.5			37.6		H22.8.2	月	250.5	250.5				80.6	
H22.5.4	火	水	250.5	247.5			37.6		H22.8.3	火	250.5	250.5				80.6	
H22.5.5	水	木	250.5	247.5			37.6		H22.8.4	水	250.5	250.5				80.6	
H22.5.6	木	金	250.5	247.5			37.6		H22.8.5	木	250.5	250.5				80.6	
H22.5.7	金	土	250.5	247.5			37.6		H22.8.6	金	250.5	250.5				80.6	
H22.5.8	土	日	250.5	247.5			37.6		H22.8.7	土	250.5	250.5				80.6	
H22.5.9	日	月	250.5	247.5			37.6		H22.8.8	日	250.5	250.5				80.6	
H22.5.10	月	火	250.5	247.5			37.6		H22.8.9	月	250.5	250.5				80.6	
H22.5.11	火	水	250.5	247.5			37.6		H22.8.10	火	250.5	250.5				80.6	
H22.5.12	水	木	250.5	247.5			37.6		H22.8.11	水	250.5	250.5				80.6	
H22.5.13	木	金	250.5	247.5			37.6		H22.8.12	木	250.5	250.5				80.6	
H22.5.14	金	土	250.5	247.5			37.6		H22.8.13	金	250.5	250.5				80.6	
H22.5.15	土	日	250.5	247.5			37.6		H22.8.14	土	250.5	250.5				80.6	
H22.5.16	日	月	250.5	247.5			37.6		H22.8.15	日	250.5	250.5				80.6	
H22.5.17	月	火	250.5	247.5			37.6		H22.8.16	月	250.5	250.5				80.6	
H22.5.18	火	水	250.5	250.5			37.6		H22.8.17	火	250.5	250.5				80.6	
H22.5.19	水	木	250.5	250.5			37.6		H22.8.18	水	250.5	250.5				80.6	
H22.5.20	木	金	250.5	250.5			37.6		H22.8.19	木	250.5	250.5				80.6	
H22.5.21	金	土	250.5	250.5			37.9		H22.8.20	金	250.5	250.5				80.6	
H22.5.22	土	日	250.5	250.5			38.9		H22.8.21	土	250.5	250.5				80.6	
H22.5.23	日	月	250.5	250.5			38.9		H22.8.22	日	250.5	250.5				80.6	
H22.5.24	月	火	250.5	250.5			38.9		H22.8.23	月	250.5	250.5				80.6	
H22.5.25	火	水	250.5	250.5			39.6		H22.8.24	火	250.5	250.5				80.6	
H22.5.26	水	木	250.5	250.5			41.6		H22.8.25	水	250.5	250.5				80.6	
H22.5.27	木	金	250.5	250.5			43.6		H22.8.26	木	250.5	250.5				80.6	
H22.5.28	金	土	250.5	250.5			45.6		H22.8.27	金	250.5	250.5				80.6	
H22.5.29	土	日	250.5	250.5			47.6		H22.8.28	土	250.5	250.5				80.6	
H22.5.30	日	月	250.5	250.5			47.6		H22.8.29	日	250.5	250.5				80.6	
H22.5.31	月	火	250.5	250.5			48.6		H22.8.30	月	250.5	250.5				80.6	
H22.6.1	火	水	250.5	250.5			50.6		H22.8.31	火	250.5	250.5				80.6	
H22.6.2	水	木	250.5	250.5			52.6		H22.9.1	水	250.5	250.5				80.6	
H22.6.3	木	金	250.5	250.5			53.6		H22.9.2	木	250.5	250.5				80.6	
H22.6.4	金	土	250.5	250.5			53.6		H22.9.3	金	250.5	250.5				80.6	
H22.6.5	土	日	250.5	250.5			53.6		H22.9.4	土	250.5	250.5				80.6	
H22.6.6	日	月	250.5	250.5			53.6		H22.9.5	日	250.5	250.5				80.6	
H22.6.7	月	火	250.5	250.5			54.6		H22.9.6	月	250.5	250.5				80.6	
H22.6.8	火	水	250.5	250.5			56.6		H22.9.7	火	250.5	250.5				80.6	
H22.6.9	水	木	250.5	250.5			58.6		H22.9.8	水	250.5	250.5				80.6	
H22.6.10	木	金	250.5	250.5			60.6		H22.9.9	木	250.5	250.5				80.6	
H22.6.11	金	土	250.5	250.5			62.6		H22.9.10	金	250.5	250.5				80.6	
H22.6.12	土	日	250.5	250.5			64.6		H22.9.11	土	250.5	250.5				80.6	
H22.6.13	日	月	250.5	250.5			65.6		H22.9.12	日	250.5	250.5				80.6	
H22.6.14	月	火	250.5	250.5			66.6		H22.9.13	月	250.5	250.5				80.6	
H22.6.15	火	水	250.5	250.5			68.6		H22.9.14	火	250.5	250.5				80.6	
H22.6.16	水	木	250.5	250.5			70.6		H22.9.15	水	250.5	250.5				80.6	
H22.6.17	木	金	250.5	250.5			72.6		H22.9.16	木	250.5	250.5				80.6	
H22.6.18	金	土	250.5	250.5			74.6		H22.9.17	金	250.5	250.5				80.6	
H22.6.19	土	日	250.5	250.5			74.6		H22.9.18	土	250.5	250.5				80.6	
H22.6.20	日	月	250.5	250.5			74.6		H22.9.19	日	250.5	250.5				80.6	
H22.6.21	月	火	250.5	250.5			75.6		H22.9.20	月	250.5	250.5				80.6	
H22.6.22	火	水	250.5	250.5			77.6		H22.9.21	火	250.5	250.5				80.6	
H22.6.23	水	木	250.5	250.5			78.6		H22.9.22	水	250.5	250.5				80.6	
H22.6.24	木	金	250.5	250.5			80.6		H22.9.23	木	250.5	250.5				80.6	
H22.6.25	金	土	250.5	250.5			80.6		H22.9.24	金	250.5	250.5				80.6	
H22.6.26	土	日	250.5	250.5			80.6		H22.9.25	土	250.5	250.5				80.6	
H22.6.27	日	月	250.5	250.5			80.6		H22.9.26	日	250.5	250.5				80.6	
H22.6.28	月	火	250.5	250.5			80.6		H22.9.27	月	250.5	250.5				80.6	
H22.6.29	火	水	250.5	250.5			80.6		H22.9.28	火	250.5	250.5				80.6	
H22.6.30	水	木	250.5	250.5			80.6		H22.9.29	水	250.5	250.5				80.6	
							80.6		H22.9.30	木	250.5	250.5				80.6	

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その11）

年 月 日	曜	換気立坑	東立坑	西立坑	深度140m調査坑道	深度250m調査坑道	深度350m調査坑道
H22.10.1	金	250.5	250.5			80.6	
H22.10.2	土	250.5	250.5			80.6	
H22.10.3	日	250.5	250.5			80.6	
H22.10.4	月	250.5	250.5			80.6	
H22.10.5	火	250.5	250.5			80.6	
H22.10.6	水	250.5	250.5			80.6	
H22.10.7	木	250.5	250.5			80.6	
H22.10.8	金	250.5	250.5			80.6	
H22.10.9	土	250.5	250.5			80.6	
H22.10.10	日	250.5	250.5			80.6	
H22.10.11	月	250.5	250.5			80.6	
H22.10.12	火	250.5	250.5			80.6	
H22.10.13	水	250.5	250.5			80.6	
H22.10.14	木	250.5	250.5			80.6	
H22.10.15	金	250.5	250.5			80.6	
H22.10.16	土	250.5	250.5			80.6	
H22.10.17	日	250.5	250.5			80.6	
H22.10.18	月	250.5	250.5			80.6	
H22.10.19	火	250.5	250.5			80.6	
H22.10.20	水	250.5	250.5			80.6	
H22.10.21	木	250.5	250.5			80.6	
H22.10.22	金	250.5	250.5			80.6	
H22.10.23	土	250.5	250.5			80.6	
H22.10.24	日	250.5	250.5			80.6	
H22.10.25	月	250.5	250.5			80.6	
H22.10.26	火	250.5	250.5			80.6	
H22.10.27	水	250.5	250.5			80.6	
H22.10.28	木	250.5	250.5			80.6	
H22.10.29	金	250.5	250.5			80.6	
H22.10.30	土	250.5	250.5			80.6	
H22.10.31	日	250.5	250.5			80.6	
H22.11.1	月	250.5	250.5			80.6	
H22.11.2	火	250.5	250.5			80.6	
H22.11.3	水	250.5	250.5			80.6	
H22.11.4	木	250.5	250.5			80.6	
H22.11.5	金	250.5	250.5			80.6	
H22.11.6	土	250.5	250.5			80.6	
H22.11.7	日	250.5	250.5			80.6	
H22.11.8	月	250.5	250.5			80.6	
H22.11.9	火	250.5	250.5			80.6	
H22.11.10	水	250.5	250.5			80.6	
H22.11.11	木	250.5	250.5			80.6	
H22.11.12	金	250.5	250.5			80.6	
H22.11.13	土	250.5	250.5			80.6	
H22.11.14	日	250.5	250.5			80.6	
H22.11.15	月	250.5	250.5			80.6	
H22.11.16	火	250.5	250.5			80.6	
H22.11.17	水	250.5	250.5			80.6	
H22.11.18	木	250.5	250.5			80.6	
H22.11.19	金	250.5	250.5			80.6	
H22.11.20	土	250.5	250.5			80.6	
H22.11.21	日	250.5	250.5			80.6	
H22.11.22	月	250.5	250.5			80.6	
H22.11.23	火	250.5	250.5			80.6	
H22.11.24	水	250.5	250.5			80.6	
H22.11.25	木	250.5	250.5			80.6	
H22.11.26	金	250.5	250.5			80.6	
H22.11.27	土	250.5	250.5			80.6	
H22.11.28	日	250.5	250.5			80.6	
H22.11.29	月	250.5	250.5			80.6	
H22.11.30	火	250.5	250.5			80.6	
H22.12.1	水	250.5	250.5			80.6	
H22.12.2	木	250.5	250.5			80.6	
H22.12.3	金	250.5	250.5			80.6	
H22.12.4	土	250.5	250.5			80.6	
H22.12.5	日	250.5	250.5			80.6	
H22.12.6	月	250.5	250.5			80.6	
H22.12.7	火	250.5	250.5			80.6	
H22.12.8	水	250.5	250.5			80.6	
H22.12.9	木	250.5	250.5			80.6	
H22.12.10	金	250.5	250.5			80.6	
H22.12.11	土	250.5	250.5			80.6	
H22.12.12	日	250.5	250.5			80.6	
H22.12.13	月	250.5	250.5			80.6	
H22.12.14	火	250.5	250.5			80.6	
H22.12.15	水	250.5	250.5			80.6	
H22.12.16	木	250.5	250.5			80.6	
H22.12.17	金	250.5	250.5			80.6	
H22.12.18	土	250.5	250.5			80.6	
H22.12.19	日	250.5	250.5			80.6	
H22.12.20	月	250.5	250.5			80.6	
H22.12.21	火	250.5	250.5			80.6	
H22.12.22	水	250.5	250.5			80.6	
H22.12.23	木	250.5	250.5			80.6	
H22.12.24	金	250.5	250.5			80.6	
H22.12.25	土	250.5	250.5			80.6	
H22.12.26	日	250.5	250.5			80.6	
H22.12.27	月	250.5	250.5			80.6	
H22.12.28	火	250.5	250.5			80.6	
H22.12.29	水	250.5	250.5			80.6	
H22.12.30	木	250.5	250.5			80.6	
H22.12.31	金	250.5	250.5			80.6	
H23.1.1	土	250.5	250.5			80.6	
H23.1.2	日	250.5	250.5			80.6	
H23.1.3	月	250.5	250.5			80.6	
H23.1.4	火	250.5	250.5			80.6	
H23.1.5	水	250.5	250.5			80.6	
H23.1.6	木	250.5	250.5			80.6	
H23.1.7	金	250.5	250.5			80.6	
H23.1.8	土	250.5	250.5			80.6	
H23.1.9	日	250.5	250.5			80.6	
H23.1.10	月	250.5	250.5			80.6	
H23.1.11	火	250.5	250.5			80.6	
H23.1.12	水	250.5	250.5			80.6	
H23.1.13	木	250.5	250.5			80.6	
H23.1.14	金	250.5	250.5			80.6	
H23.1.15	土	250.5	250.5			80.6	
H23.1.16	日	250.5	250.5			80.6	
H23.1.17	月	250.5	250.5			80.6	
H23.1.18	火	250.5	250.5			80.6	
H23.1.19	水	250.5	250.5			80.6	
H23.1.20	木	250.5	250.5			80.6	
H23.1.21	金	250.5	250.5			80.6	
H23.1.22	土	250.5	250.5			80.6	
H23.1.23	日	250.5	250.5			80.6	
H23.1.24	月	250.5	250.5			80.6	
H23.1.25	火	250.5	250.5			80.6	
H23.1.26	水	250.5	250.5			80.6	
H23.1.27	木	250.5	250.5			80.6	
H23.1.28	金	250.5	250.5			80.6	
H23.1.29	土	250.5	250.5			80.6	
H23.1.30	日	250.5	250.5			80.6	
H23.1.31	月	250.5	250.5			80.6	
H23.2.1	火	250.5	250.5			80.6	
H23.2.2	水	250.5	250.5			80.0	
H23.2.3	木	250.5	250.5			81.0	
H23.2.4	金	250.5	250.5			83.0	
H23.2.5	土	250.5	250.5			84.0	
H23.2.6	日	250.5	250.5			84.0	
H23.2.7	月	250.5	250.5			85.0	
H23.2.8	火	250.5	250.5			87.0	
H23.2.9	水	250.5	250.5			89.0	
H23.2.10	木	250.5	250.5			90.0	
H23.2.11	金	250.5	250.5			92.0	
H23.2.12	土	250.5	250.5			92.0	
H23.2.13	日	250.5	250.5			92.0	
H23.2.14	月	250.5	250.5			93.0	
H23.2.15	火	250.5	250.5			94.2	
H23.2.16	水	250.5	250.5			95.2	
H23.2.17	木	250.5	250.5			98.2	
H23.2.18	金	250.5	250.5			100.2	
H23.2.19	土	250.5	250.5			102.1	
H23.2.20	日	250.5	250.5			102.1	
H23.2.21	月	250.5	250.5			103.9	
H23.2.22	火	250.5	250.5			105.2	
H23.2.23	水	250.5	250.5			105.2	
H23.2.24	木	250.5	250.5			105.2	
H23.2.25	金	250.5	250.5			105.7	
H23.2.26	土	250.5	250.5			105.7	
H23.2.27	日	250.5	250.5			105.7	
H23.2.28	月	250.5	250.5			106.5	
H23.3.1	火	250.5	250.5			108.3	
H23.3.2	水	250.5	250.5			109.3	
H23.3.3	木	250.5	250.5			111.3	
H23.3.4	金	250.5	250.5			112.3	
H23.3.5	土	250.5	250.5			113.3	
H23.3.6	日	250.5	250.5			113.3	
H23.3.7	月	250.5	250.5			114.3	
H23.3.8	火	250.5	250.5			114.3	
H23.3.9	水	250.5	250.5			115.3	
H23.3.10	木	250.5	250.5			116.3	
H23.3.11	金	250.5	250.5			117.3	
H23.3.12	土	250.5	250.5			117.3	
H23.3.13	日	250.5	250.5			117.3	
H23.3.14	月	250.5	250.5			118.3	
H23.3.15	火	250.5	250.5			119.3	
H23.3.16	水	250.5	250.5	0.0		121.3	
H23.3.17	木	250.5	250.5	0.0		123.3	
H23.3.18	金	250.5	250.5	0.0		125.3	
H23.3.19	土	250.5	250.5	0.0		127.3	
H23.3.20	日	250.5	250.5	0.0		127.3	
H23.3.21	月	250.5	250.5	0.0		129.3	
H23.3.22	火	250.5	250.5	0.0		131.3	
H23.3.23	水	250.5	250.5	0.0		131.3	
H23.3.24	木	250.5	250.5	0.0		132.3	
H23.3.25	金	250.5	250.5	5.0		134.3	
H23.3.26	土	250.5	250.5	5.0		134.3	
H23.3.27	日	250.5	250.5	5.0		134.3	
H23.3.28	月	250.5	250.5	5.0		136.3	
H23.3.29	火	250.5	250.5	5.0		138.3	
H23.3.30	水	250.5	250.5	5.0		140.3	
H23.3.31	木	250.5	250.5	5.0		141.3	

西立坑上部
工
GL-0.0"5.0
掘削工最終
日に一括計
上

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その12）

年 月 日	曜	換氣 立坑	東 立坑	西 立坑	深度	深度	深度								
					140m 調査坑道	250m 調査坑道	350m 調査坑道								
H23.4.1	金	250.5	250.5	5.0				H23.7.1	金	250.5	250.5	5.0			
H23.4.2	土	250.5	250.5	5.0			141.8	H23.7.2	土	250.5	250.5	5.0			
H23.4.3	日	250.5	250.5	5.0			142.8	H23.7.3	日	250.5	250.5	5.0			
H23.4.4	月	250.5	250.5	5.0			142.8	H23.7.4	月	250.5	250.5	5.0			
H23.4.5	火	250.5	250.5	5.0			145.8	H23.7.5	火	250.5	250.5	5.0			
H23.4.6	水	250.5	250.5	5.0			148.3	H23.7.6	水	250.5	250.5	5.0			
H23.4.7	木	250.5	250.5	5.0			149.3	H23.7.7	木	250.5	250.5	5.0			
H23.4.8	金	250.5	250.5	5.0			151.3	H23.7.8	金	250.5	250.5	5.0			
H23.4.9	土	250.5	250.5	5.0			153.3	H23.7.9	土	250.5	250.5	5.0			
H23.4.10	日	250.5	250.5	5.0			153.3	H23.7.10	日	250.5	250.5	5.0			
H23.4.11	月	250.5	250.5	5.0			153.3	H23.7.11	月	250.5	250.5	5.0			
H23.4.12	火	250.5	250.5	5.0			155.3	H23.7.12	火	250.5	250.5	6.5	7/12 西立坑下部工 掘削開始		
H23.4.13	水	250.5	250.5	5.0			157.3	H23.7.13	水	250.5	250.5	7.4			
H23.4.14	木	250.5	250.5	5.0			159.3	H23.7.14	木	250.5	250.5	8.3			
H23.4.15	金	250.5	250.5	5.0			161.3	H23.7.15	金	250.5	250.5	9.2			
H23.4.16	土	250.5	250.5	5.0			161.3	H23.7.16	土	250.5	250.5	10.1			
H23.4.17	日	250.5	250.5	5.0			162.6	H23.7.17	日	250.5	250.5	10.1			
H23.4.18	月	250.5	250.5	5.0			162.6	H23.7.18	月	250.5	250.5	11.0			
H23.4.19	火	250.5	250.5	5.0			165.3	H23.7.19	火	250.5	250.5	12.0			
H23.4.20	水	250.5	250.5	5.0			166.3	H23.7.20	水	250.5	250.5	13.0			
H23.4.21	木	250.5	250.5	5.0			168.3	H23.7.21	木	250.5	250.5	13.0			
H23.4.22	金	250.5	250.5	5.0			169.3	H23.7.22	金	250.5	250.5	14.0			
H23.4.23	土	250.5	250.5	5.0			169.3	H23.7.23	土	250.5	250.5	14.0			
H23.4.24	日	250.5	250.5	5.0			169.3	H23.7.24	日	250.5	250.5	14.0			
H23.4.25	月	250.5	250.5	5.0			169.8	H23.7.25	月	250.5	250.5	15.0			
H23.4.26	火	250.5	250.5	5.0			169.8	H23.7.26	火	250.5	250.5	16.0			
H23.4.27	水	250.5	250.5	5.0			170.7	H23.7.27	水	250.5	250.5	17.0			
H23.4.28	木	250.5	250.5	5.0			170.7	H23.7.28	木	250.5	250.5	18.0			
H23.4.29	金	250.5	250.5	5.0			171.3	H23.7.29	金	250.5	250.5	19.0			
H23.4.30	土	250.5	250.5	5.0			171.3	H23.7.30	土	250.5	250.5	20.0			
H23.5.1	日	250.5	250.5	5.0			171.3	H23.7.31	日	250.5	250.5	20.0			
H23.5.2	月	250.5	250.5	5.0			171.3	H23.8.1	月	250.5	250.5	20.0			
H23.5.3	火	250.5	250.5	5.0			171.3	H23.8.2	火	250.5	250.5	21.0			
H23.5.4	水	250.5	250.5	5.0			171.3	H23.8.3	水	250.5	250.5	22.0			
H23.5.5	木	250.5	250.5	5.0			171.3	H23.8.4	木	250.5	250.5	23.0			
H23.5.6	金	250.5	250.5	5.0			171.3	H23.8.5	金	250.5	250.5	24.0			
H23.5.7	土	250.5	250.5	5.0			171.3	H23.8.6	土	250.5	250.5	24.0			
H23.5.8	日	250.5	250.5	5.0			171.3	H23.8.7	日	250.5	250.5	24.0			
H23.5.9	月	250.5	250.5	5.0			171.3	H23.8.8	月	250.5	250.5	25.0			
H23.5.10	火	250.5	250.5	5.0			172.4	H23.8.9	火	250.5	250.5	26.0			
H23.5.11	水	250.5	250.5	5.0			173.3	H23.8.10	水	250.0	250.5	26.0			
H23.5.12	木	250.5	250.5	5.0			175.3	H23.8.11	木	252.0	250.5	26.0			
H23.5.13	金	250.5	250.5	5.0			177.1	H23.8.12	金	252.0	250.5	28.0			
H23.5.14	土	250.5	250.5	5.0			177.1	H23.8.13	土	252.0	250.5	28.0			
H23.5.15	日	250.5	250.5	5.0			177.1	H23.8.14	日	252.0	250.5	28.0			
H23.5.16	月	250.5	250.5	5.0			178.1	H23.8.15	月	252.0	250.5	28.0			
H23.5.17	火	250.5	250.5	5.0				H23.8.16	火	252.0	250.5	28.0			
H23.5.18	水	250.5	250.5	5.0				H23.8.17	水	252.0	250.5	28.0			
H23.5.19	木	250.5	250.5	5.0				H23.8.18	木	252.0	250.5	28.0			
H23.5.20	金	250.5	250.5	5.0				H23.8.19	金	252.0	250.5	28.0			
H23.5.21	土	250.5	250.5	5.0				H23.8.20	土	252.0	250.5	28.0			
H23.5.22	日	250.5	250.5	5.0				H23.8.21	日	252.0	250.5	28.0			
H23.5.23	月	250.5	250.5	5.0				H23.8.22	月	252.0	250.5	28.0			
H23.5.24	火	250.5	250.5	5.0				H23.8.23	火	252.0	250.5	30.0			
H23.5.25	水	250.5	250.5	5.0				H23.8.24	水	254.0	250.5	32.0			
H23.5.26	木	250.5	250.5	5.0				H23.8.25	木	256.0	250.5	32.0			
H23.5.27	金	250.5	250.5	5.0				H23.8.26	金	256.0	250.5	34.0			
H23.5.28	土	250.5	250.5	5.0				H23.8.27	土	256.0	250.5	34.0			
H23.5.29	日	250.5	250.5	5.0				H23.8.28	日	256.0	250.5	34.0			
H23.5.30	月	250.5	250.5	5.0				H23.8.29	月	256.0	250.5	36.0			
H23.5.31	火	250.5	250.5	5.0				H23.8.30	火	258.0	250.5	36.0			
H23.6.1	水	250.5	250.5	5.0				H23.8.31	水	258.0	250.5	38.0			
H23.6.2	木	250.5	250.5	5.0				H23.9.1	木	260.0	250.5	40.0			
H23.6.3	金	250.5	250.5	5.0				H23.9.2	金	260.0	250.5	40.0			
H23.6.4	土	250.5	250.5	5.0				H23.9.3	土	262.0	250.5	42.0			
H23.6.5	日	250.5	250.5	5.0				H23.9.4	日	262.0	250.5	42.0			
H23.6.6	月	250.5	250.5	5.0				H23.9.5	月	262.0	250.5	44.0			
H23.6.7	火	250.5	250.5	5.0				H23.9.6	火	264.0	250.5	44.0			
H23.6.8	水	250.5	250.5	5.0				H23.9.7	水	264.0	250.5	46.0			
H23.6.9	木	250.5	250.5	5.0				H23.9.8	木	266.0	250.5	46.0			
H23.6.10	金	250.5	250.5	5.0				H23.9.9	金	266.0	250.5	46.0			
H23.6.11	土	250.5	250.5	5.0				H23.9.10	土	266.0	250.5	46.0			
H23.6.12	日	250.5	250.5	5.0				H23.9.11	日	266.0	250.5	46.0			
H23.6.13	月	250.5	250.5	5.0				H23.9.12	月	268.0	250.5	46.0			
H23.6.14	火	250.5	250.5	5.0				H23.9.13	火	268.0	250.5	46.0			
H23.6.15	水	250.5	250.5	5.0				H23.9.14	水	270.0	250.5	46.0			
H23.6.16	木	250.5	250.5	5.0				H23.9.15	木	270.0	250.5	46.0			
H23.6.17	金	250.5	250.5	5.0				H23.9.16	金	272.0	250.5	46.0			
H23.6.18	土	250.5	250.5	5.0				H23.9.17	土	272.0	250.5	46.0			
H23.6.19	日	250.5	250.5	5.0				H23.9.18	日	272.0	250.5	46.0			
H23.6.20	月	250.5	250.5	5.0				H23.9.19	月	274.0	250.5	46.0			
H23.6.21	火	250.5	250.5	5.0				H23.9.20	火	274.0	250.5	46.0			
H23.6.22	水	250.5	250.5	5.0				H23.9.21	水	276.0	250.5	46.0			
H23.6.23	木	250.5	250.5	5.0				H23.9.22	木	276.0	250.5	46.0			
H23.6.24	金	250.5	250.5	5.0				H23.9.23	金	276.0	250.5	46.0			
H23.6.25	土	250.5	250.5	5.0				H23.9.24	土	276.0	250.5	46.0			
H23.6.26	日	250.5	250.5	5.0				H23.9.25	日	276.0	250.5	46.0			
H23.6.27	月	250.5	250.5	5.0				H23.9.26	月	278.0	250.5	46.0			
H23.6.28	火	250.5	250.5	5.0				H23.9.27	火	278.0	250.5	46.0			
H23.6.29	水	250.5	250.5	5.0				H23.9.28	水	280.0	250.5	46.0			
H23.6.30	木	250.5	250.5	5.0				H23.9.29	木	280.0	250.5	46.0			
								H23.9.30	金	282.0	250.5	46.0			

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その13）

年 月 日	曜	換気 立坑	東 立坑	西 立坑	深度 140m 調査坑道	深度 250m 調査坑道	深度 350m 調査坑道																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その14）

年 月 日	曜	換気 立坑	東 立坑	西 立坑	深度 140m 調査坑道	深度 250m 調査坑道	深度 350m 調査坑道						
H24.4.1	日	345.8	345.8	46.0			6.0	H24.7.1	日	345.8	345.8	58.0	102.6
H24.4.2	月	345.8	345.8	46.0			7.6	H24.7.2	月	345.8	345.8	58.0	102.6
H24.4.3	火	345.8	345.8	46.0			8.7	H24.7.3	火	345.8	345.8	58.0	102.6
H24.4.4	水	345.8	345.8	46.0			9.0	H24.7.4	水	345.8	345.8	61.0	102.6
H24.4.5	木	345.8	345.8	46.0			10.6	H24.7.5	木	345.8	345.8	61.0	103.1
H24.4.6	金	345.8	345.8	46.0			11.0	H24.7.6	金	345.8	345.8	64.0	104.1
H24.4.7	土	345.8	345.8	46.0			11.0	H24.7.7	土	345.8	345.8	67.0	105.1
H24.4.8	日	345.8	345.8	46.0			11.0	H24.7.8	日	345.8	345.8	67.0	105.1
H24.4.9	月	345.8	345.8	46.0			12.5	H24.7.9	月	345.8	345.8	67.0	107.0
H24.4.10	火	345.8	345.8	46.0			13.0	H24.7.10	火	345.8	345.8	70.0	108.1
H24.4.11	水	345.8	345.8	46.0			15.0	H24.7.11	水	345.8	345.8	70.0	108.1
H24.4.12	木	345.8	345.8	46.0			16.0	H24.7.12	木	345.8	345.8	73.0	109.1
H24.4.13	金	345.8	345.8	46.0			17.0	H24.7.13	金	345.8	345.8	73.0	110.1
H24.4.14	土	345.8	345.8	46.0			18.0	H24.7.14	土	345.8	345.8	73.0	110.1
H24.4.15	日	345.8	345.8	46.0			18.0	H24.7.15	日	345.8	345.8	73.0	110.1
H24.4.16	月	345.8	345.8	46.0			20.0	H24.7.16	月	345.8	345.8	76.0	111.2
H24.4.17	火	345.8	345.8	46.0			21.0	H24.7.17	火	345.8	345.8	79.0	112.6
H24.4.18	水	345.8	345.8	46.0			23.0	H24.7.18	水	345.8	345.8	79.0	114.1
H24.4.19	木	345.8	345.8	46.0			24.0	H24.7.19	木	345.8	345.8	82.0	115.1
H24.4.20	金	345.8	345.8	46.0			25.0	H24.7.20	金	345.8	345.8	85.0	116.6
H24.4.21	土	345.8	345.8	46.0			25.0	H24.7.21	土	345.8	345.8	85.0	117.1
H24.4.22	日	345.8	345.8	46.0			25.0	H24.7.22	日	345.8	345.8	85.0	117.1
H24.4.23	月	345.8	345.8	46.0			27.0	H24.7.23	月	345.8	345.8	88.0	118.7
H24.4.24	火	345.8	345.8	46.0			27.0	H24.7.24	火	345.8	345.8	91.0	119.7
H24.4.25	水	345.8	345.8	46.0			27.0	H24.7.25	水	345.8	345.8	91.0	121.1
H24.4.26	木	345.8	345.8	46.0			27.0	H24.7.26	木	345.8	345.8	94.0	122.1
H24.4.27	金	345.8	345.8	46.0			27.0	H24.7.27	金	345.8	345.8	97.0	123.1
H24.4.28	土	345.8	345.8	46.0			27.0	H24.7.28	土	345.8	345.8	97.0	123.1
H24.4.29	日	345.8	345.8	46.0			27.0	H24.7.29	日	345.8	345.8	97.0	123.1
H24.4.30	月	345.8	345.8	46.0			27.0	H24.7.30	月	345.8	345.8	97.0	124.1
H24.5.1	火	345.8	345.8	46.0			27.0	H24.7.31	火	345.8	345.8	100.0	125.1
H24.5.2	水	345.8	345.8	46.0			27.0	H24.8.1	水	345.8	345.8	100.0	126.1
H24.5.3	木	345.8	345.8	46.0			27.0	H24.8.2	木	345.8	345.8	103.0	127.1
H24.5.4	金	345.8	345.8	46.0			27.0	H24.8.3	金	345.8	345.8	103.0	128.3
H24.5.5	土	345.8	345.8	46.0			27.0	H24.8.4	土	345.8	345.8	106.0	129.1
H24.5.6	日	345.8	345.8	46.0			27.0	H24.8.5	日	345.8	345.8	106.0	129.1
H24.5.7	月	345.8	345.8	46.0			27.8	H24.8.6	月	345.8	345.8	109.0	129.1
H24.5.8	火	345.8	345.8	46.0			29.1	H24.8.7	火	345.8	345.8	109.0	130.5
H24.5.9	水	345.8	345.8	46.0			30.8	H24.8.8	水	345.8	345.8	112.0	132.7
H24.5.10	木	345.8	345.8	46.0			32.8	H24.8.9	木	345.8	345.8	115.0	134.1
H24.5.11	金	345.8	345.8	46.0			35.3	H24.8.10	金	345.8	345.8	115.0	135.1
H24.5.12	土	345.8	345.8	46.0			36.8	H24.8.11	土	345.8	345.8	118.0	135.1
H24.5.13	日	345.8	345.8	46.0			36.8	H24.8.12	日	345.8	345.8	118.0	135.1
H24.5.14	月	345.8	345.8	46.0			40.4	H24.8.13	月	345.8	345.8	118.0	135.1
H24.5.15	火	345.8	345.8	46.0			42.9	H24.8.14	火	345.8	345.8	118.0	135.1
H24.5.16	水	345.8	345.8	46.0			45.3	H24.8.15	水	345.8	345.8	118.0	135.1
H24.5.17	木	345.8	345.8	46.0			47.8	H24.8.16	木	345.8	345.8	118.0	135.1
H24.5.18	金	345.8	345.8	46.0			49.5	H24.8.17	金	345.8	345.8	118.0	135.1
H24.5.19	土	345.8	345.8	46.0			49.5	H24.8.18	土	345.8	345.8	118.0	135.1
H24.5.20	日	345.8	345.8	46.0			49.5	H24.8.19	日	345.8	345.8	118.0	135.1
H24.5.21	月	345.8	345.8	46.0			51.6	H24.8.20	月	345.8	345.8	118.0	137.0
H24.5.22	火	345.8	345.8	46.0			53.9	H24.8.21	火	345.8	345.8	121.0	138.7
H24.5.23	水	345.8	345.8	46.0			55.5	H24.8.22	水	345.8	345.8	124.0	140.2
H24.5.24	木	345.8	345.8	46.0			56.5	H24.8.23	木	345.8	345.8	124.0	142.3
H24.5.25	金	345.8	345.8	46.0			58.1	H24.8.24	金	345.8	345.8	127.0	143.5
H24.5.26	土	345.8	345.8	46.0			58.5	H24.8.25	土	345.8	345.8	130.0	144.7
H24.5.27	日	345.8	345.8	46.0			58.5	H24.8.26	日	345.8	345.8	130.0	144.7
H24.5.28	月	345.8	345.8	46.0			59.5	H24.8.27	月	345.8	345.8	130.0	146.1
H24.5.29	火	345.8	345.8	46.0			60.9	H24.8.28	火	345.8	345.8	132.9	148.3
H24.5.30	水	345.8	345.8	46.0			63.0	H24.8.29	水	345.8	345.8	132.9	149.5
H24.5.31	木	345.8	345.8	46.0			65.7	H24.8.30	木	345.8	345.8	135.8	150.7
H24.6.1	金	345.8	345.8	46.0			67.0	H24.8.31	金	345.8	345.8	135.8	151.9
H24.6.2	土	345.8	345.8	46.0			67.0	H24.9.1	土	345.8	345.8	135.8	151.9
H24.6.3	日	345.8	345.8	46.0			67.0	H24.9.2	日	345.8	345.8	135.8	151.9
H24.6.4	月	345.8	345.8	46.0			69.1	H24.9.3	月	345.8	345.8	135.8	153.7
H24.6.5	火	345.8	345.8	46.0			72.4	H24.9.4	火	345.8	345.8	135.8	155.5
H24.6.6	水	345.8	345.8	46.0			75.0	H24.9.5	水	345.8	345.8	135.8	156.7
H24.6.7	木	345.8	345.8	46.0			77.8	H24.9.6	木	345.8	345.8	135.8	158.8
H24.6.8	金	345.8	345.8	46.0			80.5	H24.9.7	金	345.8	345.8	135.8	160.3
H24.6.9	土	345.8	345.8	46.0			81.7	H24.9.8	土	345.8	345.8	135.8	161.5
H24.6.10	日	345.8	345.8	46.0			81.7	H24.9.9	日	345.8	345.8	135.8	161.5
H24.6.11	月	345.8	345.8	46.0			84.7	H24.9.10	月	345.8	345.8	135.8	163.7
H24.6.12	火	345.8	345.8	46.0			86.3	H24.9.11	火	345.8	345.8	135.8	165.1
H24.6.13	水	345.8	345.8	46.0			87.7	H24.9.12	水	345.8	345.8	135.8	166.5
H24.6.14	木	345.8	345.8	46.0			87.9	H24.9.13	木	345.8	345.8	135.8	168.7
H24.6.15	金	345.8	345.8	46.0			88.9	H24.9.14	金	345.8	345.8	135.8	169.9
H24.6.16	土	345.8	345.8	46.0			89.9	H24.9.15	土	345.8	345.8	135.8	169.9
H24.6.17	日	345.8	345.8	46.0			89.9	H24.9.16	日	345.8	345.8	135.8	169.9
H24.6.18	月	345.8	345.8	46.0			92.6	H24.9.17	月	345.8	345.8	135.8	171.6
H24.6.19	火	345.8	345.8	46.0			92.6	H24.9.18	火	345.8	345.8	140.0	173.8
H24.6.20	水	345.8	345.8	46.0			93.3	H24.9.19	水	345.8	345.8	140.0	174.4
H24.6.21	木	345.8	345.8	46.0			94.5	H24.9.20	木	345.8	345.8	140.0	175.5
H24.6.22	金	345.8	345.8	49.0			95.6	H24.9.21	金	345.8	345.8	140.0	176.4
H24.6.23	土	345.8	345.8	49.0			96.6	H24.9.22	土	345.8	345.8	143.0	177.4
H24.6.24	日	345.8	345.8	49.0			96.6	H24.9.23	日	345.8	345.8	143.0	177.4
H24.6.25	月	345.8	345.8	52.0			98.0	H24.9.24	月	345.8	345.8	143.0	177.8
H24.6.26	火	345.8	345.8	52.0			99.6	H24.9.25	火	345.8	345.8	146.0	179.1
H24.6.27	水	345.8	345.8	55.0			100.6	H24.9.26	水	345.8	345.8	146.0	181.0
H24.6.28	木	345.8	345.8	55.0			101.6	H24.9.27	木	345.8	345.8	149.0	182.6
H24.6.29	金	345.8	345.8	58.0			102.6	H24.9.28	金	345.8	345.8	152.0	184.4
H24.6.30	土	345.8	345.8	58.0			102.6	H24.9.29	土	345.8	345.8	152.0	184.4
								H24.9.30	日	345.8	345.8	152.0	184.4

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その15）

年 月 日	曜	換気立坑	東立坑	西立坑	深度 140m 調査坑道	深度 250m 調査坑道	深度 350m 調査坑道
H24.10.1	月	345.8	345.8	152.0			185.9
H24.10.2	火	345.8	345.8	155.0			187.4
H24.10.3	水	345.8	345.8	158.0			189.3
H24.10.4	木	345.8	345.8	158.0			190.3
H24.10.5	金	345.8	345.8	158.0			192.2
H24.10.6	土	345.8	345.8	158.0			192.2
H24.10.7	日	345.8	345.8	158.0			192.2
H24.10.8	月	345.8	345.8	158.0			193.8
H24.10.9	火	345.8	345.8	158.0			195.1
H24.10.10	水	345.8	345.8	158.0			196.7
H24.10.11	木	345.8	345.8	161.0			198.3
H24.10.12	金	345.8	345.8	164.0			200.0
H24.10.13	土	345.8	345.8	164.0			201.1
H24.10.14	日	345.8	345.8	164.0			201.1
H24.10.15	月	345.8	345.8	167.0			202.3
H24.10.16	火	345.8	345.8	167.0			203.3
H24.10.17	水	345.8	345.8	170.0			204.3
H24.10.18	木	345.8	345.8	173.0			204.3
H24.10.19	金	345.8	345.8	173.0			204.3
H24.10.20	土	345.8	345.8	173.0			204.3
H24.10.21	日	345.8	345.8	173.0			204.3
H24.10.22	月	345.8	345.8	173.0			204.3
H24.10.23	火	345.8	345.8	176.0			204.8
H24.10.24	水	345.8	345.8	179.0			206.0
H24.10.25	木	345.8	345.8	179.0			207.8
H24.10.26	金	345.8	345.8	182.0			209.0
H24.10.27	土	345.8	345.8	182.0			209.0
H24.10.28	日	345.8	345.8	182.0			209.0
H24.10.29	月	345.8	345.8	185.0			210.8
H24.10.30	火	345.8	345.8	185.0			212.8
H24.10.31	水	345.8	345.8	188.0			214.3
H24.11.1	木	345.8	345.8	191.0			214.3
H24.11.2	金	345.8	345.8	191.0			214.3
H24.11.3	土	345.8	345.8	194.0			214.3
H24.11.4	日	345.8	345.8	194.0			214.3
H24.11.5	月	345.8	345.8	197.0			215.3
H24.11.6	火	345.8	345.8	197.0			216.8
H24.11.7	水	345.8	345.8	200.0			218.3
H24.11.8	木	345.8	345.8	200.0			219.5
H24.11.9	金	345.8	345.8	203.0			220.5
H24.11.10	土	345.8	345.8	203.0			220.5
H24.11.11	日	345.8	345.8	203.0			220.5
H24.11.12	月	345.8	345.8	206.0			221.8
H24.11.13	火	345.8	345.8	206.0			222.9
H24.11.14	水	345.8	345.8	209.0			225.0
H24.11.15	木	345.8	345.8	209.0			227.3
H24.11.16	金	345.8	345.8	211.0			228.8
H24.11.17	土	345.8	345.8	213.0			230.3
H24.11.18	日	345.8	345.8	213.0			230.3
H24.11.19	月	345.8	345.8	215.0			231.8
H24.11.20	火	345.8	345.8	217.0			233.3
H24.11.21	水	345.8	345.8	217.0			234.9
H24.11.22	木	345.8	345.8	219.0			236.0
H24.11.23	金	345.8	345.8	221.0			236.6
H24.11.24	土	345.8	345.8	221.0			236.6
H24.11.25	日	345.8	345.8	221.0			236.6
H24.11.26	月	345.8	345.8	223.0			237.6
H24.11.27	火	345.8	345.8	224.9			238.6
H24.11.28	水	345.8	345.8	224.9			239.6
H24.11.29	木	345.8	345.8	226.8			239.6
H24.11.30	金	345.8	345.8	228.7			241.1
H24.12.1	土	345.8	345.8	228.7			242.6
H24.12.2	日	345.8	345.8	228.7			242.6
H24.12.3	月	345.8	345.8	230.6			244.1
H24.12.4	火	345.8	345.8	232.5			245.6
H24.12.5	水	345.8	345.8	234.4			248.6
H24.12.6	木	345.8	345.8	236.3			250.1
H24.12.7	金	345.8	345.8	236.3			251.6
H24.12.8	土	345.8	345.8	236.3			251.6
H24.12.9	日	345.8	345.8	236.3			251.6
H24.12.10	月	345.8	345.8	236.3			251.6
H24.12.11	火	345.8	345.8	238.2			253.3
H24.12.12	水	345.8	345.8	240.1			256.1
H24.12.13	木	345.8	345.8	242.0			257.9
H24.12.14	金	345.8	345.8	243.9			260.6
H24.12.15	土	345.8	345.8	243.9			262.1
H24.12.16	日	345.8	345.8	243.9			262.1
H24.12.17	月	345.8	345.8	245.8			264.0
H24.12.18	火	345.8	345.8	245.8			265.7
H24.12.19	水	345.8	345.8	245.8			268.1
H24.12.20	木	345.8	345.8	245.8			269.3
H24.12.21	金	345.8	345.8	245.8			271.1
H24.12.22	土	345.8	345.8	245.8			271.5
H24.12.23	日	345.8	345.8	245.8			271.5
H24.12.24	月	345.8	345.8	245.8			272.7
H24.12.25	火	345.8	345.8	245.8			273.9
H24.12.26	水	345.8	345.8	245.8			276.1
H24.12.27	木	345.8	345.8	245.8			276.1
H24.12.28	金	345.8	345.8	245.8			276.1
H24.12.29	土	345.8	345.8	245.8			276.1
H24.12.30	日	345.8	345.8	245.8			276.1
H24.12.31	月	345.8	345.8	245.8			276.1
H25.1.1	火	345.8	345.8	245.8			276.1
H25.1.2	水	345.8	345.8	245.8			276.1
H25.1.3	木	345.8	345.8	245.8			276.1
H25.1.4	金	345.8	345.8	245.8			276.1
H25.1.5	土	345.8	345.8	245.8			276.1
H25.1.6	日	345.8	345.8	245.8			276.1
H25.1.7	月	345.8	345.8	245.8			277.6
H25.1.8	火	345.8	345.8	245.8			279.1
H25.1.9	水	345.8	345.8	245.8			280.1
H25.1.10	木	345.8	345.8	245.8			281.5
H25.1.11	金	345.8	345.8	245.8			282.9
H25.1.12	土	345.8	345.8	250.0			283.9
H25.1.13	日	345.8	345.8	250.0			283.9
H25.1.14	月	345.8	345.8	250.0			285.4
H25.1.15	火	345.8	345.8	250.0			287.9
H25.1.16	水	345.8	345.8	250.0			289.7
H25.1.17	木	345.8	345.8	250.0			292.6
H25.1.18	金	345.8	345.8	252.0			294.4
H25.1.19	土	345.8	345.8	252.0			294.4
H25.1.20	日	345.8	345.8	252.0			294.4
H25.1.21	月	345.8	345.8	252.0			297.4
H25.1.22	火	345.8	345.8	254.0			300.4
H25.1.23	水	345.8	345.8	256.0			303.4
H25.1.24	木	345.8	345.8	258.0			305.6
H25.1.25	金	345.8	345.8	260.0			307.4
H25.1.26	土	345.8	345.8	260.0			307.4
H25.1.27	日	345.8	345.8	260.0			307.4
H25.1.28	月	345.8	345.8	260.0			309.9
H25.1.29	火	345.8	345.8	262.0			313.4
H25.1.30	水	345.8	345.8	264.0			316.4
H25.1.31	木	345.8	345.8	266.0			319.2
H25.2.1	金	345.8	345.8	266.0			320.4
H25.2.2	土	345.8	345.8	266.0			320.4
H25.2.3	日	345.8	345.8	266.0			320.4
H25.2.4	月	345.8	345.8	268.0			322.8
H25.2.5	火	345.8	345.8	270.0			325.8
H25.2.6	水	345.8	345.8	272.0			326.4
H25.2.7	木	345.8	345.8	272.0			326.4
H25.2.8	金	345.8	345.8	272.0			326.4
H25.2.9	土	345.8	345.8	272.0			326.4
H25.2.10	日	345.8	345.8	272.0			326.4
H25.2.11	月	345.8	345.8	272.0			326.4
H25.2.12	火	345.8	345.8	272.0			326.4
H25.2.13	水	345.8	345.8	272.0			326.4
H25.2.14	木	345.8	345.8	272.0			326.4
H25.2.15	金	345.8	345.8	272.0			326.4
H25.2.16	土	345.8	345.8	272.0			326.4
H25.2.17	日	345.8	345.8	272.0			326.4
H25.2.18	月	345.8	345.8	272.0			326.4
H25.2.19	火	345.8	345.8	272.0			326.4
H25.2.20	水	345.8	345.8	272.0			327.4
H25.2.21	木	345.8	345.8	272.0			328.4
H25.2.22	金	345.8	345.8	272.0			329.7
H25.2.23	土	345.8	345.8	272.0			330.4
H25.2.24	日	345.8	345.8	272.0			330.4
H25.2.25	月	345.8	345.8	272.0			332.4
H25.2.26	火	345.8	345.8	274.0			335.0
H25.2.27	水	345.8	345.8	276.0			338.2
H25.2.28	木	345.8	345.8	278.0			340.9
H25.3.1	金	345.8	345.8	278.0			340.9
H25.3.2	土	345.8	345.8	278.0			340.9
H25.3.3	日	345.8	345.8	278.0			340.9
H25.3.4	月	345.8	345.8	280.0			343.2
H25.3.5	火	345.8	345.8	280.0			343.9
H25.3.6	水	345.8	345.8	280.0			345.0
H25.3.7	木	345.8	345.8	280.0			346.9
H25.3.8	金	345.8	345.8	280.0			349.0
H25.3.9	土	345.8	345.8	280.0			349.9
H25.3.10	日	345.8	345.8	280.0			349.9
H25.3.11	月	345.8	345.8	280.0			351.7
H25.3.12	火	345.8	345.8	282.0			354.3
H25.3.13	水	345.8	345.8	284.0			357.0
H25.3.14	木	345.8	345.8	284.0			359.9
H25.3.15	金	345.8	345.8	286.0			361.9
H25.3.16	土	345.8	345.8	286.0			361.9
H25.3.17	日	345.8	345.8	286.0			361.9
H25.3.18	月	345.8	345.8	286.0			365.7
H25.3.19	火	345.8	345.8	288.0			368.2
H25.3.20	水	345.8	345.8	2			

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その16）

年 月 日	曜	換気 立坑	東 立坑	西 立坑	深度 140m 調査坑道	深度 250m 調査坑道	深度 350m 調査坑道						
H25.4.1	月	345.8	345.8	298.0			397.8	H25.7.1	月	345.8	345.8	345.8	500.6
H25.4.2	火	345.8	345.8	298.0			401.0	H25.7.2	火	345.8	345.8	345.8	504.0
H25.4.3	水	345.8	345.8	298.0			404.3	H25.7.3	水	345.8	345.8	345.8	506.5
H25.4.4	木	345.8	345.8	300.0			408.0	H25.7.4	木	345.8	345.8	345.8	510.1
H25.4.5	金	345.8	345.8	300.0			410.3	H25.7.5	金	345.8	345.8	345.8	513.2
H25.4.6	土	345.8	345.8	302.0			411.3	H25.7.6	土	345.8	345.8	345.8	514.4
H25.4.7	日	345.8	345.8	302.0			411.3	H25.7.7	日	345.8	345.8	345.8	514.4
H25.4.8	月	345.8	345.8	302.0			415.3	H25.7.8	月	345.8	345.8	345.8	515.8
H25.4.9	火	345.8	345.8	304.0			418.9	H25.7.9	火	345.8	345.8	345.8	518.0
H25.4.10	水	345.8	345.8	304.0			422.1	H25.7.10	水	345.8	345.8	345.8	519.8
H25.4.11	木	345.8	345.8	306.0			424.5	H25.7.11	木	345.8	345.8	345.8	521.6
H25.4.12	金	345.8	345.8	306.0			424.8	H25.7.12	金	345.8	345.8	345.8	522.8
H25.4.13	土	345.8	345.8	306.0			424.8	H25.7.13	土	345.8	345.8	345.8	522.8
H25.4.14	日	345.8	345.8	306.0			424.8	H25.7.14	日	345.8	345.8	345.8	522.8
H25.4.15	月	345.8	345.8	306.0			427.9	H25.7.15	月	345.8	345.8	345.8	524.7
H25.4.16	火	345.8	345.8	308.0			430.4	H25.7.16	火	345.8	345.8	345.8	526.4
H25.4.17	水	345.8	345.8	308.0			431.7	H25.7.17	水	345.8	345.8	345.8	528.3
H25.4.18	木	345.8	345.8	308.0			433.3	H25.7.18	木	345.8	345.8	345.8	532.0
H25.4.19	金	345.8	345.8	310.0			434.7	H25.7.19	金	345.8	345.8	345.8	535.0
H25.4.20	土	345.8	345.8	310.0			435.7	H25.7.20	土	345.8	345.8	345.8	536.1
H25.4.21	日	345.8	345.8	310.0			435.7	H25.7.21	日	345.8	345.8	345.8	536.1
H25.4.22	月	345.8	345.8	310.0			437.7	H25.7.22	月	345.8	345.8	345.8	539.1
H25.4.23	火	345.8	345.8	312.0			439.7	H25.7.23	火	345.8	345.8	345.8	542.3
H25.4.24	水	345.8	345.8	312.0			439.7	H25.7.24	水	345.8	345.8	345.8	545.0
H25.4.25	木	345.8	345.8	313.0			439.7	H25.7.25	木	345.8	345.8	345.8	548.2
H25.4.26	金	345.8	345.8	314.0			440.2	H25.7.26	金	345.8	345.8	345.8	550.0
H25.4.27	土	345.8	345.8	314.0			441.2	H25.7.27	土	345.8	345.8	345.8	550.0
H25.4.28	日	345.8	345.8	315.0			441.2	H25.7.28	日	345.8	345.8	345.8	550.0
H25.4.29	月	345.8	345.8	315.0			441.2	H25.7.29	月	345.8	345.8	345.8	553.8
H25.4.30	火	345.8	345.8	315.0			441.2	H25.7.30	火	345.8	345.8	345.8	558.2
H25.5.1	水	345.8	345.8	315.0			441.2	H25.7.31	水	345.8	345.8	345.8	562.0
H25.5.2	木	345.8	345.8	315.0			441.2	H25.8.1	木	345.8	345.8	345.8	565.5
H25.5.3	金	345.8	345.8	315.0			441.2	H25.8.2	金	345.8	345.8	345.8	569.7
H25.5.4	土	345.8	345.8	315.0			441.2	H25.8.3	土	345.8	345.8	345.8	573.0
H25.5.5	日	345.8	345.8	315.0			441.2	H25.8.4	日	345.8	345.8	345.8	573.0
H25.5.6	月	345.8	345.8	316.0			442.2	H25.8.5	月	345.8	345.8	345.8	576.0
H25.5.7	火	345.8	345.8	316.0			443.7	H25.8.6	火	345.8	345.8	345.8	578.0
H25.5.8	水	345.8	345.8	317.0			445.0	H25.8.7	水	345.8	345.8	345.8	580.0
H25.5.9	木	345.8	345.8	318.0			445.8	H25.8.8	木	345.8	345.8	345.8	580.0
H25.5.10	金	345.8	345.8	319.0			447.7	H25.8.9	金	345.8	345.8	345.8	580.0
H25.5.11	土	345.8	345.8	320.0			448.7	H25.8.10	土	345.8	345.8	345.8	580.0
H25.5.12	日	345.8	345.8	320.0			448.7	H25.8.11	日	345.8	345.8	345.8	580.0
H25.5.13	月	345.8	345.8	320.0			451.0	H25.8.12	月	345.8	345.8	345.8	580.0
H25.5.14	火	345.8	345.8	321.0			454.2	H25.8.13	火	345.8	345.8	345.8	580.0
H25.5.15	水	345.8	345.8	322.0			457.1	H25.8.14	水	345.8	345.8	345.8	580.0
H25.5.16	木	345.8	345.8	323.0			460.2	H25.8.15	木	345.8	345.8	345.8	580.0
H25.5.17	金	345.8	345.8	324.0			461.2	H25.8.16	金	345.8	345.8	345.8	580.0
H25.5.18	土	345.8	345.8	324.0			461.2	H25.8.17	土	345.8	345.8	345.8	580.0
H25.5.19	日	345.8	345.8	324.0			461.2	H25.8.18	日	345.8	345.8	345.8	580.0
H25.5.20	月	345.8	345.8	325.0			462.2	H25.8.19	月	345.8	345.8	345.8	581.8
H25.5.21	火	345.8	345.8	326.0			463.8	H25.8.20	火	345.8	345.8	345.8	583.0
H25.5.22	水	345.8	345.8	327.0			464.4	H25.8.21	水	345.8	345.8	345.8	584.2
H25.5.23	木	345.8	345.8	328.0			466.2	H25.8.22	木	345.8	345.8	345.8	587.0
H25.5.24	金	345.8	345.8	328.0			467.2	H25.8.23	金	345.8	345.8	345.8	589.5
H25.5.25	土	345.8	345.8	330.0			468.2	H25.8.24	土	345.8	345.8	345.8	591.5
H25.5.26	日	345.8	345.8	330.0			468.2	H25.8.25	日	345.8	345.8	345.8	591.5
H25.5.27	月	345.8	345.8	330.0			469.8	H25.8.26	月	345.8	345.8	345.8	594.5
H25.5.28	火	345.8	345.8	332.0			471.2	H25.8.27	火	345.8	345.8	345.8	597.0
H25.5.29	水	345.8	345.8	334.0			473.2	H25.8.28	水	345.8	345.8	345.8	598.7
H25.5.30	木	345.8	345.8	334.0			474.5	H25.8.29	木	345.8	345.8	345.8	602.0
H25.5.31	金	345.8	345.8	336.0			476.2	H25.8.30	金	345.8	345.8	345.8	603.0
H25.6.1	土	345.8	345.8	336.0			476.2	H25.8.31	土	345.8	345.8	345.8	603.0
H25.6.2	日	345.8	345.8	336.0			476.2	H25.9.1	日	345.8	345.8	345.8	603.0
H25.6.3	月	345.8	345.8	338.0			477.6	H25.9.2	月	345.8	345.8	345.8	604.0
H25.6.4	火	345.8	345.8	338.0			478.5	H25.9.3	火	345.8	345.8	345.8	606.7
H25.6.5	水	345.8	345.8	340.0			480.2	H25.9.4	水	345.8	345.8	345.8	610.4
H25.6.6	木	345.8	345.8	342.0			481.9	H25.9.5	木	345.8	345.8	345.8	612.6
H25.6.7	金	345.8	345.8	342.0			482.2	H25.9.6	金	345.8	345.8	345.8	616.4
H25.6.8	土	345.8	345.8	343.9			482.2	H25.9.7	土	345.8	345.8	345.8	617.4
H25.6.9	日	345.8	345.8	343.9			482.2	H25.9.8	日	345.8	345.8	345.8	617.4
H25.6.10	月	345.8	345.8	343.9			482.2	H25.9.9	月	345.8	345.8	345.8	619.4
H25.6.11	火	345.8	345.8	345.8			482.2	H25.9.10	火	345.8	345.8	345.8	620.8
H25.6.12	水	345.8	345.8	345.8			482.6	H25.9.11	水	345.8	345.8	345.8	622.7
H25.6.13	木	345.8	345.8	345.8			483.2	H25.9.12	木	345.8	345.8	345.8	625.7
H25.6.14	金	345.8	345.8	345.8			484.2	H25.9.13	金	345.8	345.8	345.8	627.9
H25.6.15	土	345.8	345.8	345.8			484.2	H25.9.14	土	345.8	345.8	345.8	627.9
H25.6.16	日	345.8	345.8	345.8			484.2	H25.9.15	日	345.8	345.8	345.8	627.9
H25.6.17	月	345.8	345.8	345.8			485.1	H25.9.16	月	345.8	345.8	345.8	630.6
H25.6.18	火	345.8	345.8	345.8			486.2	H25.9.17	火	345.8	345.8	345.8	633.1
H25.6.19	水	345.8	345.8	345.8			487.9	H25.9.18	水	345.8	345.8	345.8	634.7
H25.6.20	木	345.8	345.8	345.8			489.2	H25.9.19	木	345.8	345.8	345.8	636.1
H25.6.21	金	345.8	345.8	345.8			490.6	H25.9.20	金	345.8	345.8	345.8	637.6
H25.6.22	土	345.8	345.8	345.8			491.2	H25.9.21	土	345.8	345.8	345.8	638.8
H25.6.23	日	345.8	345.8	345.8			491.2	H25.9.22	日	345.8	345.8	345.8	638.8
H25.6.24	月	345.8	345.8	345.8			493.2	H25.9.23	月	345.8	345.8	345.8	640.0
H25.6.25	火	345.8	345.8	345.8			495.8	H25.9.24	火	345.8	345.8	345.8	641.7
H25.6.26	水	345.8	345.8	345.8			498.2	H25.9.25	水	345.8	345.8	345.8	644.1
H25.6.27	木	345.8	345.8	345.8			500.0	H25.9.26	木	345.8	345.8	345.8	645.8
H25.6.28	金	345.8	345.8	345.8			500.6	H25.9.27	金	345.8	345.8	345.8	647.8
H25.6.29	土	345.8	345.8	345.8			500.6	H25.9.28	土	345.8	345.8	345.8	647.8
H25.6.30	日	345.8	345.8	345.8			500.6	H25.9.29	日	345.8	345.8	345.8	647.8
								H25.9.30	月	345.8	345.8	345.8	650.5

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その17）

年 月 日	曜	換気 立坑	東 立坑	西 立坑	深度 140m 調査坑道	深度 250m 調査坑道	深度 350m 調査坑道																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

表C-1 立坑および調査坑道の掘削実績（その18）

年 月 日	曜	換気 立坑	東 立坑	西 立坑	深度 140m 調査坑道	深度 250m 調査坑道	深度 350m 調査坑道
H26.4.1	火		368.0				
H26.4.2	水		368.0				
H26.4.3	木		370.0				
H26.4.4	金		370.0				
H26.4.5	土		372.0				
H26.4.6	日		372.0				
H26.4.7	月		372.0				
H26.4.8	火		372.0				
H26.4.9	水		374.0				
H26.4.10	木		374.0				
H26.4.11	金		376.0				
H26.4.12	土		376.0				
H26.4.13	日		376.0				
H26.4.14	月		376.0				
H26.4.15	火		376.0				
H26.4.16	水		378.0				
H26.4.17	木		380.0				
H26.4.18	金						
H26.4.19	土						
H26.4.20	日						
H26.4.21	月						
H26.4.22	火						
H26.4.23	水						
H26.4.24	木						
H26.4.25	金						
H26.4.26	土						
H26.4.27	日						
H26.4.28	月						
H26.4.29	火						
H26.4.30	水						
H26.5.1	木						
H26.5.2	金						
H26.5.3	土						
H26.5.4	日						
H26.5.5	月						
H26.5.6	火						
H26.5.7	水						
H26.5.8	木						
H26.5.9	金						
H26.5.10	土						
H26.5.11	日						
H26.5.12	月						
H26.5.13	火						
H26.5.14	水						
H26.5.15	木						
H26.5.16	金						
H26.5.17	土						
H26.5.18	日						
H26.5.19	月						
H26.5.20	火						
H26.5.21	水						
H26.5.22	木						
H26.5.23	金						
H26.5.24	土						
H26.5.25	日						
H26.5.26	月						
H26.5.27	火						
H26.5.28	水						
H26.5.29	木						
H26.5.30	金						
H26.5.31	土						
H26.6.1	日						
H26.6.2	月						
H26.6.3	火						
H26.6.4	水						
H26.6.5	木						
H26.6.6	金						
H26.6.7	土						
H26.6.8	日						
H26.6.9	月						
H26.6.10	火						
H26.6.11	水						
H26.6.12	木						
H26.6.13	金						
H26.6.14	土						
H26.6.15	日						
H26.6.16	月						
H26.6.17	火						
H26.6.18	水						
H26.6.19	木						
H26.6.20	金						
H26.6.21	土						
H26.6.22	日						
H26.6.23	月						
H26.6.24	火						
H26.6.25	水						
H26.6.26	木						
H26.6.27	金						
H26.6.28	土						
H26.6.29	日						
H26.6.30	月						

付録 D

主な共同研究・研究協力
(2005 年度～2014 年度)

This is a blank page.

付録 D 主な共同研究・研究協力

2005 年度

機関名	概要
北海道大学	「地下水中の有機物に関する研究」のテーマで研究協力を行った。地下水中の有機物を分析する手法を検討し、幌延で採取した地下水中の有機物を分析した。その結果、浅部の地下水と深部の地下水では、溶存する有機物の分子量が異なる可能性のあることがわかった。
幌延地圏環境研究所	北海道科学技術総合振興センターとの地層の研究に関する協力協定に基づき、室内試験や種々の分析に必要な岩石コアや地下水の提供を行った。
山口大学	「溶存メタンセンサーによる原位置メタン量測定法に関する研究」のテーマで共同研究を行った。本年度は、開発した溶存メタンセンサーを用いて室内実験と HDB-5 孔を使用して原位置での適用試験を実施した。その結果、センサー表面に水流を与える機能を付加することによってセンサーの反応性が向上することが分かった。
岡山大学ほか	「地下水の流向・流速の計測方法に関する研究」のテーマで岡山大学ほかとの共同研究を行った。HDB-10 孔において微流向・流速計の原位置での適用試験を実施し、本装置が設計通りの性能を有していることを確認した。
京都大学	「ボーリングコアを用いた堆積軟岩の AE 特性の分析および原位置測定手法に関する研究」のテーマで共同研究を行った。試錐調査で採取したコアを用いた室内試験と室内試験時に測定した AE の分析を行い、堆積軟岩を対象とした場合に岩盤の破壊過程を把握する上で有効なパラメータを抽出した。
静岡大学	「遺伝子プローブを用いた微生物群集構造の解析とその定量的評価」のテーマで共同研究を行った。地下水中の微生物について分析した結果、地層の違いにより、そこに含まれる地下水中の微生物の活性が異なることがわかった。
産業創造研究所	「地下水の水質・水理モデルの信頼性向上に関する研究」のテーマで共同研究を行った。幌延で取得された地質環境データを利用して、地下水の水質形成機構の検討や地質環境の長期的変遷を考慮した地下水流動解析を開始した。 また、深さ 50m 程度の試錐孔を掘削して地下水や岩石コアを採取し、地下水や岩石コア中の微生物の解析、および地下水や間隙水の化学分析などを実施した。
電力中央研究所	「地質・地下水環境特性評価に関する研究」のテーマで共同研究を継続して実施した。2004 年度に引き続き北進地区におけるコントロールボーリング孔の掘削を実施し、コントロール掘削技術とコントロールリング孔を利用した調査技術の適用性を確認した。なお、北進地区での掘削は、2005 年 11 月に終了した（掘削長: 706.0 m）。
原子力環境整備促進・資金管理センター	「地質環境調査技術の適用検討に関する研究」のテーマで共同研究契約を更新した。2005 年度は北進地区（探査範囲：約 3×2km）で 3 次元電磁法探査を行うとともに、地下施設周辺地区（解析範囲：7.5×5km）の地下水流動解析を実施した。
Nagra(スイス)	幌延深地層研究計画について、第 1 段階における調査研究成果の統合と取りまとめに関する技術検討会議（2005 年度は 1 回）を行い、その結果を研究成果報告書や研究計画書の品質向上のために活用した。

2006 年度

機関名	概要
北海道大学	「圧縮ベントナイト中の溶存ガスおよび溶存物質の移動経路の評価に関する研究」のテーマで研究協力を行った。2006 年度は、水の動きを見るためのトレーサとして H_2^{18}O を使用し、ベントナイトに含まれる主要な粘土鉱物であるモンモリロナイト中の拡散試験と電位勾配をかけた電気浸透試験を実施した。水のトレーサとして従来から用いられているトリチウム水と比較した結果、同じ条件ではほぼ同程度の拡散係数であることがわかった。また、両試験から、 H_2^{18}O を水のトレーサとして用いることができることを確認するとともに、モンモリロナイト中には移動可能な間隙水が存在することがわかった。
筑波大学	本研究では、幌延の岩石や地下水およびセメントなどとの化学反応がどのように生じるかを、室内試験や化学分析の結果をもとに検討した。2006 年度は、これまでに取得したコアを用いて、岩石の鉱物組成、化学組成や空隙率などの分析を行った。また、コアを粉末状にしたものを筒状のガラス管に入れ、上部から水を流すカラム試験を行い、化学反応に関する検討を行った。以上の試験結果をもとに今後の試験計画を検討した。
東京大学	「地質環境モデルの構築と解析手法の評価」というテーマで共同研究を行った。本研究では、地下水中の塩素の安定同位体に着目し、地下水の流れの速さを推定した。また、地下水の流れを解析により推定した結果と比較することにより、解析方法を高度化した。
静岡大学	弾性波アクロスと電磁アクロスを使って取得されるデータの処理・解析方法に関する検討会を実施した。その成果を遠隔監視システム（地質環境の変化を観測するアクロスの応用技術）による観測データの処理・解析に活用し、観測データから信号を精密に識別することができた。
京都大学	「断層帯及び亀裂を考慮した堆積岩地盤の水理学的構造の決定と地下水の移動解析」というテーマで共同研究を行った。2006 年度は、2005 年度までの試錐調査で採取した稚内層、声間層、勇知層の岩石コアを対象として、各地層の透水係数や空隙率と、各地層が過去に受けた応力との関係について、室内試験などを通じて調べた。 また、「ボーリングコアを用いた堆積軟岩の AE 特性の分析および原位置測定手法に関する研究」というテーマで共同研究を実施した。2006 年度は、個別剛体要素法と呼ばれる解析手法によって HDB-11 孔で見られたボアホールブレイクアウト現象を再現し、その適用性を確認するとともに、堆積軟岩を対象とした掘削影響評価の手法として AE 法による原位置計測および個別剛体要素法により解析評価を組み合わせた原位置試験の概念を構築した。
山口大学	「溶存メタンガスセンサーによる原位置メタン量測定法に関する研究」というテーマで共同研究を行った。2006 年度は、開発したメタンガスセンサーの原位置での適用性および溶存メタンガス濃度の解析方法の適用性を確認するために、HDB-5 孔を用いて試験を行った。その結果、研究開始当初に比べ約 1/4 の時間で、地下水中の溶存メタンガス濃度を計測できる技術を開発することができた。
電力中央研究所	「地質・地下水環境特性評価に関する研究」というテーマで共同研究を継続して実施した。2006 年度は、コントロールボーリング技術の実用化に向け、大曲断層の断層破碎帯を対象とした掘削技術の適用性を確認するため、上幌延地区においてコントロール掘削を行った。2006 年 12 月までに掘削長 400m まで掘削を行った。

原子力環境整備促進・資金管理センター	「地質環境調査技術開発の適用検討に関する研究」というテーマで共同研究を行った。高精度物理探査技術の技術的な検証を目的として、幌延町内の北進、幌延、下沼の各地区において、あらかじめ定めた約 40 箇所の地点で現地適用試験を実施した。また、地下施設立坑周辺の地質構造をモデル化し、溶存ガスの影響を考慮した立坑への湧水量の評価解析を行った。
産業創造研究所	「地下水の水質・水理モデルの信頼性向上に関する研究」というテーマで共同研究を行った。幌延深地層研究計画で取得した地質環境特性データや知見を用いて、地下水の水質やその分布の形成過程を地層のできたや、地下水の流れ方の長期的な変遷を考慮して検討を行った。その結果、幌延地域の地下水は水質の特徴やその分布位置により、3～4 つのグループに分類される可能性が示された。
幌延地圏環境研究所	北海道科学技術総合振興センターとの地層の研究に関する協力協定に基づき、室内試験や種々の分析に必要な岩石コアや地下水の提供を行うとともに、定期的に研究に関する情報交換会や幌延地圏環境研究所の所有する試験設備を利用した技術的な交流を行った。
北海道立地質研究所	現在進行している地形変化の様式について、幌延町北進地区と上幌延地区に分布する地形を対象に、現地討論会を実施した。また、幌延町字幌延に分布する地層を対象として、その地層が堆積した当時の環境を復元した。
清水建設株式会社	「地盤統計学的手法を用いた地質環境モデル構築手法に関する研究」というテーマで共同研究を行った。本研究で、2005 年度までに構築した三次元比抵抗分布モデルに HDB-11 孔のデータを加えてモデルの更新を行うとともに、その結果に基づいて地下水の水質の分布などを推定した。
Nagra(スイス)	幌延深地層研究計画における第 1 段階研究成果報告書の作成にあたり、その作成方針についての技術検討会を行った。また、調査の進め方や第 2 段階以降の調査研究計画に関する意見交換を適宜行った。
モンテリ・プロジェクト (スイス)	モンテリ・プロジェクトで実施されている各種の原位置試験のうち、原子力機構は「難透水性堆積岩の地球化学的評価試験」へ参加した。2006 年度は、モンテリ岩盤研究所の調査坑道に設置しているモニタリング装置およびその周辺で、岩石や水質がどのように変化しているかを調査するための試験計画を策定した。また、今後の幌延深地層研究計画へ反映するために、モンテリ岩盤研究所で行うボーリングに関する計画を策定した。

上記の他にも、埼玉大学とガスの分析などについて情報交換を行い、ANDRA（フランス）については、具体的な研究協力項目についての意見交換を行った。また、産業技術総合研究所については、天然事象に関する研究と原位置および室内透水試験に関する意見交換を行った。

2007 年度

機関名	概要
北海道大学	「圧縮ベントナイト中の溶存ガスおよび溶存物質の移動経路の評価に関する研究」というテーマで研究協力を行った。2007 年度は、2006 年度に引き続いて水の動きをみるためのトレーサとして H_2^{18}O を使用し、ベントナイトに含まれる主要な粘土鉱物であるスメクタイト中の拡散実験と電場勾配をかけた電気浸透実験をスメクタイトの密度を変えて実施した。水のトレーサとして従来から用いられているトリチウム水の拡散係数と比較した結果、全ての条件でほぼ同程度であり、水分子の解離による拡散係数への影響はほとんどないことがわかった。また、電気浸透実験から、スメクタイト中に存在する層間水と間隙水は完全に混合していると考えられることがわかった。
埼玉大学	研究所設置地区周辺に分布する新第三紀堆積岩（稚内層，声間層）を対象に、換気立坑先行ボーリング調査で取得したコア試料からガスを抽出し、その成因を炭素の同位体組成から検討するとともに、同位体組成の深度方向の変化から、ガスの流れを遮る地層・地質構造の存在について推定を試みた。
筑波大学	岩石などに対する地球化学的研究として、幌延地域の岩石や地下水を用いてカラム試験などの室内試験や化学分析を実施した。その結果をもとに、岩石の反応性、特に pH の緩衝作用についての考察を行い、幌延地域のような黄鉄鉱を含む堆積岩では、酸化的環境下では黄鉄鉱の溶解反応により水素イオンが生じ pH の低下が生じる可能性が示唆された。また、実際の環境を室内試験で模擬することが困難であることがわかり、試験方法の改良および解析による評価手法を検討した。
東京大学	「塩素安定同位体比を用いた水理地質構造モデル評価技術」について共同研究を行った。本研究では、地下水中の塩素の安定同位体に着目し、地下水の流れの速さを推定する技術を構築することを目的とした。その結果、塩素安定同位体比の変動は、地下水の流速が十分に小さい（拡散が支配する）場において起こり、移流が支配的な場においては、塩化物イオン濃度の変動はみられるものの、塩素安定同位体比の変動は認められないことが示された。このことは、塩素安定同位体比は、地下水流動が十分に遅いことを直接的に示すことができるツールになる可能性があることを示している。
武蔵工業大学	「微量元素の放射化分析手法に関する研究」というテーマで共同研究を行った。2007 年度は、声間層と稚内層の岩石を対象として、岩石に含まれる微量元素の放射化分析手法の検討を行い、分析可能な微量元素の種類を確認するとともに、岩石の種類や鉱物の種類ごとに、微量元素の分布状態を確認した。また、微量元素が岩石中に保持される化学条件を確認するための予備実験を行った。
名古屋大学，静岡大学	「精密制御定常信号システムデータの解析技術の高度化」というテーマで共同研究を行い、遠隔監視システムなどの観測データを使って地下の散乱体（使用する信号の波長に比べて短波長の不均質構造）を推定するための理論的検討や計算プログラムの開発を進めた。
京都大学，広島大学	「断層帯及び亀裂を考慮した堆積岩地盤の水理学的構造の決定と地下水の移動解析」というテーマで共同研究を行った。2007 年度は、ボーリング調査で採取した稚内層，声間層，勇知層の岩石試料を用いて、各地層の透水係数や間隙率と、各地層が過去に受けた応力との関係を室内試験などにより調べた。

電力中央研究所	「地質・地下水環境特性評価に関する研究」というテーマで共同研究を継続して実施した。2007 年度は、大曲断層の断層破碎帯を対象としたコントロールボーリング掘削技術の適用性を確認するための掘削を上幌延地区において継続した。また、新たに掘削長 80m 程度のボーリング孔を掘削し、モニタリング装置を設置した。
幌延地圏環境研究所	北海道科学技術総合振興センターとの地層の研究に関する協力協定に基づき、室内試験や種々の分析に必要な岩石コアや地下水の提供を行うとともに、定期的に研究に関する情報交換会や原子力機構および幌延地圏環境研究所の所有する試験設備を利用した技術的な交流を行った。
北海道立地質研究所	幌延町北進地区の地形を対象として、現在進行している隆起や侵食などに伴う地形変化の様式について、意見交換を実施した。また、幌延町下沼地区に分布する地層が堆積した当時の環境を推定した。
清水建設株式会社	「化学平衡論解析を用いた地下水流動調査に関する研究」というテーマで共同研究を行った。本研究は、地上で計測された水質データと平衡論解析を用いて、原位置における pH や地下水の酸化還元電位を定量的に推定する技術の構築を目指している。また、「地質環境モデル構築技術の高度化に関する研究」というテーマで共同研究を行った。2007 年度は、2006 年度までに実施した電気探査で得られた比抵抗分布を用い、2006 年度までに構築した三次元比抵抗モデルと水質分布モデルの更新を行った。
三井住友建設株式会社	「溶存メタンガスセンサーによる原位置メタン量測定法に関する研究」というテーマで共同研究を行った。本研究では、2006 年度までに開発したメタンガスセンサーの測定効率化を目的とする調査手法を提案し、その有効性を HDB-5 孔を用いた孔内試験により検証した。また、長期モニタリング試験を実施してモニタリング機器として必要な耐久性能を確認した。
産業技術総合研究所	塩水と淡水が混在する場における地下水流動、水質形成および物質移動に関する調査を共同研究として実施した。幌延町市街地付近から海岸に至る陸域での電磁法探査を実施し、その領域の二次元（一部、三次元）比抵抗構造を推定した。また、浜里地区でのボーリング用地の造成に着手した。
原子力安全基盤機構・産業技術総合研究所	原子力機構を含めた三者の共同研究として、安全評価手法のうち、特に地下水流動・物質移動解析手法の適用性について、データ整理および安全評価シナリオの検討を実施した。
原子力環境整備促進・資金管理センター	これまでに共同研究で実施した物理探査などの研究成果の取りまとめを行った。
Nagra(スイス)	幌延深地層研究計画における第 1 段階成果報告書の英語版の作成にあたり、技術レビューワークショップを行った。また、換気立坑先行ボーリング調査に関する技術的なサポートを得るとともに、モニタリング装置に関する意見交換を適宜行った。
モンテリ・プロジェクト (スイス)	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「難透水性堆積岩の地球化学的評価試験」および「鉄材料の腐食に関する原位置試験」に参加した。2007 年度は、モンテリ岩盤研究所の調査坑道に設置しているモニタリング装置を回収するための現地試験計画を策定するとともに、現地試験に参加した。

上記のほか、ANDRA（フランス）と堆積岩を対象とした地質環境調査技術や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った。

2008 年度

機関名	概要
北海道大学	圧縮ベントナイト中における物質の移動経路の評価に関する研究および地下水・岩石中の有機物特性に関する研究について研究協力を行った。 前者について、2008年度は、ベントナイト中の水の動きや物質の移動経路に関する室内試験を継続するとともに、2008年度から開始したこの研究を総括し、1)H₂¹⁸Oとトリチウム水をトレーサーとして行った、ベントナイトの主要な粘土鉱物のスメクタイト中の拡散実験と電場勾配をかけた電気浸透実験から、スメクタイト中の層間水と間隙水ともに移動可能であり、水素イオンと水酸化物イオンへの解離状態が通常の水と同様の性質であること、2)スメクタイト中の物質の流れに対する広がりやすさ（分散長）は、間隙水の塩濃度やスメクタイトの密度によらず、溶存ヘリウム>水>ナトリウムイオンの順となり、その違いは、移動経路として、層間と間隙を考慮することで説明できること、および3)陰イオンである塩化物イオンの分散長は水とナトリウムイオンの中間程度であり、スメクタイトの密度の増加に伴い増加し、この原因として、移動経路の屈曲度が増加する可能性がある、という結論を得た。 後者の、地下水・岩石中の有機物特性に関する研究においては、地下水に溶けている有機物と岩石中に含まれる有機物の分析を行った。その結果、有機物の化学成分比や安定同位体の分析結果から、地下深部の岩石中の有機物の起源が、地層の堆積時に海水から同時に堆積した植物プランクトン（主に珪藻）であると考えられた。また、地下水中の有機物は岩石中から溶出したものであり、地下に生息する微生物の栄養源になっている可能性が示された。
埼玉大学	研究所設置地区周辺に分布する新第三紀堆積岩（稚内層、声間層）を対象に、換気立坑先行ボーリング調査で取得したコア試料からガスを抽出し、その成因を炭素の同位体組成から検討するとともに、同位体組成の深度方向の変化から、ガスの流れを遮る地層・地質構造の存在について推定を試みた。
筑波大学	岩石などに対する地球化学的研究として、幌延地域の岩石や地下水を用いてカラム試験などの室内試験や化学分析を実施した。その結果をもとに、岩石の反応性、特に pH の緩衝作用についての考察を行い、酸化的環境下において黄鉄鉱の溶解反応により水素イオンが生じ、pH が低下することが分かった。また、岩石の様々なサイズの空隙の分布を把握し、岩石－水反応の化学計算に必要な比表面積に関する情報を取得した。
名古屋大学，静岡大学	精密制御定常信号システムデータの解析技術の高度化について、共同研究を行った。2008 は、遠隔監視システムの観測データを使って地下の散乱体（使用する信号の波長に比べて短波長の不均質構造）を推定するための理論的検討や計算プログラムの開発を進めた。
広島大学	断層帯および亀裂を考慮した堆積岩地盤の水理学的構造の決定と地下水の移動解析について共同研究を行った。2008 年度は、既存のボーリング調査で採取した稚内層、声間層、勇知層の岩石試料を用いて、各地層の透水係数や間隙率と、各地層が過去に受けた応力との関係を室内試験などにより調べるとともに、これまでに実施した研究の成果を取りまとめた。
武蔵工業大学	微量元素の放射化分析手法に関して共同研究を行った。2008 年度は、稚内層、声間層の岩石を対象として、岩石中に含まれる微量元素の放射化分析を行い、地質構造や岩石の種類、鉱物の種類ごとに、微量元素の分布状態を確認した。また、微量元素が岩石中に保持される化学条件（pH・酸化還元条件）を確認した。

静岡大学	地下深部に生息する微生物の種類や性質を把握することを目的として、深度 500m 付近の地下水を採取し、その分析を行った。その結果、地下水の酸化還元状態に関与する微生物として硝酸イオンや硫酸イオンを還元する微生物、メタンを生成する微生物などを同定することができた。また、実際の地下深部における、これらの微生物の活性（増殖速度など）を知るために、現場培養法の検討を行い、酸化剤の還元速度などの増殖速度に関わる基礎的知見を得ることができた。
岡山大学	光ファイバーを用いた水分計測技術の開発について、研究協力を開始した。地下水流動解析の上部境界条件として必要となる地下水涵養量を算出するため、表層地盤の不飽和帯における土壌水分観測は重要な調査技術である。また、この技術は、人工バリアである緩衝材中の水分挙動のモニタリングへの適用についても有望であると考えている。本研究は、表層地盤の不飽和帯や人工バリアの緩衝材などの高精度な水分データの取得を目的として実施した。光ファイバーを用いることによりケーブル1本で多点かつ長距離にわたって計測が可能であり、従来の測定機器と比較して土壌水分の分布を求める上での利点が多いと考えている。 2008 年度は、従来の圧力を計測するセンサーを、光ファイバーに置き換えることを検討した。その結果、光ファイバー式の圧力計でこれまでに事例のない負圧の計測に関して、既存の光ファイバー式の圧力センサーを適用することが可能であり、その中でも FPI と呼ばれる方式が望ましいことが分かった。
電力中央研究所	地質・地下水環境特性評価に関する共同研究を実施している。2008 年度は、ボーリング孔の角度がほぼ水平に近い状態のコントロールボーリング技術（掘削と各種調査）の適用性を確認した（HCD-3 孔）。また、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ボーリング孔を、深度 140m の立坑や水平坑道から周囲に掘削し、坑道掘削前の初期値として、BTV、ガンマ線密度、比抵抗調査、弾性波探査、地下水の採水・分析を行った。
幌延地圏環境研究所	北海道科学技術総合振興センターとの地層の研究に関する研究協力協定に基づき、室内試験や種々の分析に必要な岩石コアや地下水の提供を行うとともに、定期的に研究に関する情報交換会や両機関の所有する試験設備を利用した技術的な交流を行った。
清水建設株式会社	化学平衡論解析を用いた地下水流動調査に関する共同研究および地質環境モデルの構築技術の高度化に関する共同研究を行った。前者は、地上で計測された物理化学パラメータ（pH、Eh、電気伝導度など）や地下水の水質データをもとに、原位置におけるpHやEhを定量的に推定する地球化学計算の手法を構築することを目的としている。HDB-11孔の試験結果を用いた地球化学モデリングによる平衡論解析では、原位置地下水の水質の推定が可能なが分かった。また、同様の解析をHDB-1～11孔のデータについても検討した結果、深度とともにpHは酸性側にシフトすること、Ehは約-220mVに収束することが推定された。今後は、これらの解析結果と原位置のデータとの整合性を確認していく予定である。 また、後者については、2008 年度は、第 1 段階で得られた比抵抗データの再整理ならびに 2006、2007 年度に原子力機構が地下施設周辺で取得した高密度電気探査結果を活用し、三次元比抵抗モデルと水質分布モデルの更新作業を実施した。
原子力安全基盤機構・産業技術総合研究所	安全評価手法の適用性に関する研究を、原子力機構を含めた三者の共同研究として実施した。安全評価手法のうち、特に地下水流動・物質移動解析手法の適用性を確認することを目的に、研究用地内の東立坑近傍においてボーリング調査（SAB-1 孔）を実施した。

北海道立地質研究所	幌延地域における古地形の変遷について意見交換を実施した。また、幌延地域における第四紀以降の海陸分布や堆積環境の変遷について、現地での地層観察を含めて意見交換を実施した。
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沿岸域塩淡水境界・断層評価技術に関するプロジェクトと地層処分実規模設備の整備に関するプロジェクトの2テーマについて共同研究を実施した。前者については、塩水と淡水が混在する場における地下水流動、水質形成および物質移動に関する調査を幌延町沿岸域での陸域と海域で電磁法探査を実施し、その領域の二次元（一部、三次元）比抵抗構造を推定した。また、浜里地区でボーリング孔を掘削し、地下水の分布に関する情報を把握するためトモグラフィ調査を実施した。 また、後者のプロジェクトは、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と、深地層研究施設を活用した地下設備を整備し、人工バリアの搬送・配置に関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ある。 2008年度は、地上および地下で実施するための操業技術と人工バリアの長期挙動に関わる試験設備について検討し、地上での試験設備の一部を製作した。また、試験を実施するための建屋の設計を行うとともに、仮設の建屋を建設し、実物大のオーバーパックと人工バリアシステムの展示を開始した。
Nagra(スイス)	2008年度は、これまでに取得した透水試験データの品質確認と数値解法による透水性の再解析を、Nagraの専門家と共同で実施した。その結果、品質管理された現場での試験手法に従い取得したデータは、透水性の解析に使用できる良好な品質であることが確認された。一方、試験データの一部において、数値解法による透水性の解析結果が現場で算出した解析結果と異なることが分かった。
モンテリ・プロジェクト (スイス)	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「難透水性堆積岩の地球化学的評価試験」および「鉄材料の腐食に関する原位置試験」に参加した。 2008年度は、前者の試験において、難透水性堆積岩中に存在する間隙水の地球化学特性を把握し、その形成プロセスを解明する手法の開発、地下水採取方法などの要素技術開発を実施した。 後者の試験においては、鉄の腐食の状況を観測するための装置を設計、製作するとともに、モンテリ岩盤研究所の調査坑道に装置を設置した。

上記のほか、ANDRA（フランス）と堆積岩を対象とした地質環境調査技術や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った。

2009 年度

機関名	概要
北海道大学, 金沢大学	圧縮ベントナイト中の溶存ガスおよび溶存物質の移動経路の評価およびセメント系材料との相互作用に関する研究と、地下水・岩石中の有機物特性に関する研究を共同で実施した。 前者については、セメント系材料が緩衝材（ベントナイト）に及ぼす影響について検討するため、セメント中の物質移動経路やセメントとベントナイトが接触した条件でのベントナイト中のカルシウムの拡散について調べた。セメント中の物質移動経路については、セメント中の水の拡散係数を取得した。一方、セメントとベントナイトが接触した条件でのベントナイト中のカルシウムの拡散については、カルシウムはベントナイトの層間中のナトリウムと交換しながら層間や間隙を拡散するとともに、交換されたナトリウムは NaOH として振る舞うことや、セメントとベントナイトの接触面から数 mm のところでカルサイト（方解石）の析出が起こっている可能性などが示唆された。 後者については、140m 調査坑道において、地下水中および岩石中に含まれている有機物を濃縮回収し、それらの元素組成、蛍光特性の分析を行った。また、主に岩石中の有機物と自然界に存在するユーロピウムとが共存する場合に、ユーロピウムが有機物と挙動をともしする割合を明らかにすることができた。
埼玉大学	ボーリングコアから抽出した炭化水素ガス（主にメタンガス）や炭酸ガスの濃度と同位体比に基づいて、岩盤の健岩部や断層部のメタンガスの起源の推測を行った。その結果、調査を行った深度約 500m までの岩盤中に存在するメタンガスが主に微生物による有機物分解により生成していること、微生物活動の程度の違いにより同位体比が異なることなどが分かった。
名古屋大学, 静岡大学	精密制御定常信号システムデータの解析技術の高度化について、共同研究を行った。2009 年度は、これまでに共同研究で開発してきたデータ解析技術を遠隔監視システムの観測データに適用して解析を行った。その結果、弾性波アクロスで受信する波の到来方向や電磁アクロスデータを用いた地下の比抵抗の時間変化などが求められることが分かった。
東京都市大学 (旧武蔵工業大学)	微量元素の放射化分析手法を開発するための共同研究を行った。2009 年度は、稚内層、声問層の岩石および大曲断層を対象として、鉍物分析や岩石中の微量元素の分析を行い、地質構造や岩石、鉍物の種類ごとに、微量元素の分布状態を確認した。また、調査坑道で様々な試験を行うために必要な微量元素の移動状態と化学条件について確認した。その結果、稚内層、声問層においては、微量元素濃度の不均質性が小さいことや大曲断層周辺の鉍物の変質状態が明らかになった。
岡山大学	光ファイバーを用いた水分計測技術の開発について、研究協力を継続した。2009 年度は、光ファイバー式ひずみ計を応用した新しい計測手法の検討などを行った。光ファイバー式ひずみゲージを土壌水分の変化に対応させて伸縮させることで土壌水分を計測可能な受感部の材料を調査し、各材料の膨潤や伸縮特性を試験した結果、液体の合成ゴムを選定した。さらに、センサーの構造を検討した上で、選定した材料を用いてセンサー受感部の試作を行った。
広島大学	岩盤中に存在するヨウ素、セレンの分布に関わる共同研究を行った。2009 年度は、放射光を用いた X 線吸収微細構造法（XAFS 法）により、ヨウ素およびセレンの化学種の同定に必要な基礎データの取得を行った。また、地下水中のヨウ素およびセレンの化学種を分離検出する方法を確立した。加えて、ヨウ素の移行挙動に及ぼす酸化還元状態の影響を調べるためのカラム実験を行い、岩石中と地下水中の様々な酸化還元状態に

	応じたヨウ素の化学形に関わる解析を行った。
静岡大学	地下深部に生息する微生物の種類や性質を把握することを目的として、140m 調査坑道付近の地下水を採取し、その分析を行った。その結果、微生物の種類や量、化学条件との関わりなどを明らかにすることができた。また、実際の地下深部における、これらの微生物の活性（増殖速度など）を知るために、現場培養法の検討を行い、酸化剤の還元速度などの増殖速度に関わる基礎的知見を得ることができた。
幌延地圏環境研究所	北海道科学技術総合振興センターとの地層の研究に関する研究協力協定に基づき、室内試験や種々の分析に必要な岩石コアや地下水の提供を行うとともに、定期的に研究に関する情報交換会や両機関の所有する試験設備を利用した技術的な交流を行った。また、2009 年度より地下施設での具体的な研究が開始され、250m 調査坑道において、初期地圧計測装置の適用性について調査した。
電力中央研究所	地質・地下水環境特性評価に関する共同研究を継続した。2009 年度は、掘削長 900m まで掘削し、ほぼ水平の角度でコントロールボーリング技術（掘削と各種調査）の適用性を確認した（HCD-3 孔）。また、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を、深度 140m の立坑や水平坑道から掘削したボーリング孔を用いて、比抵抗トモグラフィや音響トモグラフィ、地下水の採水・分析などを行った。
清水建設株式会社	化学平衡論解析を用いた地下水流動調査に関する共同研究および地質環境モデルの構築技術の高度化に関する共同研究を行った。 前者は、地上で計測された地下水の物理化学パラメータ（pH、Eh、電気伝導度など）や水質データをもとに、原位置における地下水の化学条件を定量的に推定する手法を構築するために、化学平衡論解析に基づく地下水の化学条件推測手法に関する研究を行った。その結果、地上で得られるデータに基づいて、原位置の化学条件を推測する際の誤差などを明らかにすることができた。また、深部地下水の化学条件について、中性の pH、還元状態にあることを確認することができた。 また、後者については、第 1 段階で得られた比抵抗データを用いた再解析と解析モデルの改良を行い、今まで実施してきた地質環境モデルの構築技術に関して成果を取りまとめた。そして、2008 年度に原子力機構が地下施設周辺で取得した高密度電気探査結果を活用し、三次元比抵抗モデルと水質分布モデルの更新作業を実施した。
原子力安全基盤機構・産業技術総合研究所	安全評価手法の適用性に関する研究を共同で実施した。安全評価手法のうち、特に地下水流動・物質移動解析手法の適用性の評価を行うことを目的に、研究用地内の東立坑近傍で掘削したボーリング孔（SAB-1 孔）にモニタリング装置を設置した。さらに、幌延町北進地区において、地質構造・岩盤水理特性および地下水の水質に関する情報を取得するため、新たなボーリング孔（SAB-2 孔）の掘削を実施した。
北海道立地質研究所	幌延地域のような寒冷地域での地形変化、サロベツ原野などの低地における表層の地下水の流れ、人工湿地による水の浄化システムなどについて意見交換を実施した。
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設備の整備に関するプロジェクトについて共同研究を実施した。 2009 年度は、2008 年度に引き続き、地上および地下で実施するための操業技術と人工バリアの長期挙動に関わる試験設備についての検討と、地上での試験設備の製作を継続した。また、ゆめ地創館の隣接地に、地層処分概念や人工バリアシステムの工学技術に関わる研究を体感できる設備建屋「地層処分実規模試験施設」を建設し、仮設の建屋に展示・公

	開していた実物大のオーバーパックと人工バリアシステムを設備建屋に移設した。
産業技術総合研究所	経済産業省資源エネルギー庁が進める沿岸域塩淡水境界・断層評価技術に関するプロジェクトについて、共同研究を実施した。 塩水と淡水が混在する場における地下水や断層の評価技術について、幌延町の沿岸域における陸域と海域の電磁法探査を実施し、その領域の二次元（一部、三次元）比抵抗構造を推定した。また、浜里地区でボーリング孔（DD-1 孔および DD-2 孔）を掘削し、地層や地下水の水質分布に関する情報を把握した。
Nagra(スイス)	2009 年度は、2008 年度に引き続き、これまでに取得した透水試験データの品質確認と数値解法による透水性の再解析を共同で実施し、約 80 点の透水試験データを再解析した。その結果、各試験データから算出される透水性とその不確実性（とりうる値の最大値と最小値）を定量的に把握することができた。また、これらの作業を通じて、透水試験データの解析において考慮すべき様々な不確実性とその要因を明らかにすることができた。 また、幌延深地層研究計画で進めている地質環境の長期的変遷に関する研究について、地質環境特性の長期変遷を段階的に調査・評価するための方法論の整備を進めるとともに、過去から現在までの地下水の流れを復元するためのモデル化を Nagra の専門家と共同で検討した。
モンテリ・プロジェクト (スイス)	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「難透水性堆積岩の地球化学的評価試験」および「鉄材料の腐食に関する原位置試験」に参加した。 前者の試験においては、難透水性堆積岩中に存在する間隙水の地球化学特性の把握と、その形成プロセスを解明する手法の開発、ならびに地下水採取方法などの要素技術開発についての取りまとめを行い、試験を終了した。 後者の試験においては、鉄の腐食状況を観測するためのモニタリングシステムを設計・製作したほか、循環させる間隙水（地下水）を設定するとともに、モンテリ岩盤研究所の調査坑道内にボーリング孔を掘削し、原位置試験を開始した。

上記のほか、ANDRA（フランス）や KAERI（韓国）と地質環境調査技術や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った。

2010 年度

機関名	概要
北海道大学	圧縮ベントナイト中の溶存ガスおよび溶存物質の移動経路の評価およびセメント系材料との相互作用に関する研究を実施した。 2009 年度に引き続いて、セメント系材料が緩衝材（ベントナイト）に及ぼす影響について検討するため、セメントおよびベントナイト中の物質移動経路について調べた。セメント中の物質移動経路については、セメント中の水の拡散挙動について調べた。その結果、水はセメントの間隙全体を移動できること、温度の上昇に伴い拡散係数も増加すること、フライアッシュ（石炭灰）を加えたセメントの方が拡散係数が小さくなることなどがわかった。一方、ベントナイトについては、カルサイト（方解石：CaCO_3）の形成に重要なカルシウムおよび炭酸水素イオンの移行経路について調べ、これらのイオンの支配的な移行経路は、それぞれ層間および粒子間隙であることが示唆された。
埼玉大学	大曲断層周辺に掘削されたボーリングのコアから抽出した炭化水素ガス（メタン、エタン、プロパンなど）や炭酸ガスの濃度と同位体比に基づいて、メタンガスの起源や断層との関連について推測を行った。その結果、岩盤中に存在するメタンが主に微生物による有機物分解により生成していること、微生物活動の程度の違いにより同位体比が異なること、断層を境としてエタンやプロパンなどの存在比が異なる可能性があることなどが分かった。
静岡大学	地下深部に生息する微生物の種類や性質を把握することを目的として、140m 調査坑道付近の地下水を採取し、DNA を対象として微生物群集構造の解析を行った。また、それらの試料を用いて微生物種の増殖・死滅過程を理解するための培養試験を行った。その結果、実際の地下深部における、これらの微生物の活性（増殖速度など）に関わる基礎的知見を得ることができた。
東京都市大学など	微量元素の移動状態を理解するため、ボーリングコアおよび地上露頭から得られた稚内層、声間層および大曲断層の岩石を対象として、微量元素濃度の分析を行い、地質構造や岩石、鉱物の種類ごとに、微量元素の分布状態を確認した。粘土鉱物や有機物、炭酸塩鉱物、硫化鉱物などに含まれる微量元素濃度をそれぞれ分析した結果、一部の断層周辺の粘土鉱物や炭酸塩鉱物において微量元素濃度の特徴の違いが認められ、微量元素の移動経路の指標になり得ることが明らかになった。
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、研究協力を継続した。2010 年度は、3 タイプの光ファイバーを利用したセンサーを試作して、室内試験や幌延町開進地区での現地測定を通じて、土中の水分計測手法としての適用性を検討した。このうち光ファイバー式間隙水圧計を用いたセンサーは、温度変化を考慮した校正を行うことで従来の間隙水圧計と同様の計測が可能であることが確認された。また、水膨潤素材を組み合わせたタイプのセンサーについて、膨潤圧力と飽和度の相関関係が認められるなど、実用化の可能性が示された。
広島大学	岩盤中に存在するヨウ素、セレンの分布に関わる共同研究を行った。Spring-8 を用いた X 線吸収微細構造法（XAFS 法）、X 線吸収端近傍構造法（XANES 法）分析により、声間層、稚内層堆積時にヨウ素が均一に有機ヨウ素として存在していたことや、その後の地層の圧密に伴い有機ヨウ素が無機ヨウ素となり、高濃度のヨウ素を含む現在の地下水を形成したことなどが明らかになった。また、その過程で、複数の方法で地下水中のセレンの化学種（セレン酸や亜セレン酸、有機セレンなど）を分離検出する方法を確立した。

新潟大学	地殻変動の速度の推定および地形変化モデルの構築に関する調査・解析手法を対象として、調査計画の立案から速度の算出・モデル構築に至るまでの作業全体の手順を示した作業フローを作成するとともに、各作業を行う際のノウハウなどを整理したダイアグラムを作成した。
幌延地圏環境研究所	北海道科学技術総合振興センターとの地層の研究に関する研究協力協定に基づき、定期的に研究に関する情報交換会を行った。また、両機関の試験設備を利用した研究協力の一環として、140m 調査坑道において、幌延地圏環境研究所が新たに開発した技術を用いて岩盤の初期地圧の調査を実施し、調査技術の適用性を確認するとともに、140m および 250m 調査坑道において岩石、地下水を採取し、その微生物特性、化学特性の分析を行った。
電力中央研究所	地質・地下水環境特性評価に関する共同研究を継続した。2010 年度は、上幌延地区においてコントロールボーリングを掘削長 950m まで掘削し、ほぼ水平の角度でのコントロールボーリング技術を確認した。また、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、140m および 250m 調査坑道から掘削したボーリング孔を用いて行った。
北海道立総合研究機構 地質研究所 (旧北海道立地質研究所)	幌延地域を含む北海道北部の地下構造について、既存の重力探査データを用いた解析を実施した。
原子力安全基盤機構・ 産業技術総合研究所	安全評価手法の適用性に関する研究を共同で実施した。安全評価手法のうち、特に地下水流動・物質移動解析手法の適用性の評価を行うことを目的に、研究用地内の東立坑近傍のボーリング孔（SAB-1 孔）に設置したモニタリング装置を用いて、間隙水圧と水質の長期観測を行った。さらに、幌延町内において、地質構造・岩盤水理特性および地下水の水質に関する情報を取得するため、新たなボーリング孔（SAB-3、4 孔）の掘削を実施した。
産業技術総合研究所	経済産業省資源エネルギー庁が進める沿岸域塩淡水境界・断層評価技術に関するプロジェクトについて、共同研究を実施した。 塩水と淡水が混在する場における地下水や断層の評価技術について、幌延町の沿岸域における電磁法探査と浜里地区でボーリング調査を継続し、地層や地下水の水質分布に関する解析を実施した。その結果、浜里地区の浅海域の海底下に淡水系地下水が分布している可能性が示唆された。また、より深部には、海水が長期間地層中に閉じ込められて変質した化石海水が存在していることなどが明らかになった。この過程で、沿岸域における物理探査やボーリング調査、解析の実施手順、方法を整理することができた。
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設備の整備に関するプロジェクトについて共同研究を実施した。 2010 年度は、2009 年度に引き続き、地上および地下で実施するための操業技術と人工バリアの長期挙動に関わる試験設備についての検討と、地上での試験設備の製作を継続した。また、2009 年度にゆめ地創館の隣接地に建設した、地層処分概念や人工バリアシステムの工学技術に関わる研究を体感できる設備建屋「地層処分実規模試験施設」を開館し、実物大のオーバーパックと人工バリアシステムのほか、整備途上の緩衝材定置試験設備を展示するとともに、緩衝材定置試験設備を構成する真空把持装置を用いた実物大の緩衝材ブロックの把持試験や、緩衝材中の水の浸潤状態を観察できる可視化装置を用いた浸潤試験を実施した。
Nagra(スイス)	2010 年度は、2009 年度までに共同で実施した透水試験データの不確実性の幅を低減させるための詳細な数値解析を行い、得られたデータの

	品質に関する総合的な評価を実施した。 また、沿岸域を含む幌延地域を対象に、過去から現在までの地下水の流れと水質の形成プロセスを復元するためのモデル化を Nagra の専門家と共同で検討した。
モンテリ・プロジェクト (スイス)	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」に参加した。 2010年度は、2009年度に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た。 また、同プロジェクトに関するワークショップや管理委員会を幌延深地層研究センター国際交流施設において開催した。

上記のほか、ローレンスバークレー国立研究所(米国)と地質環境調査技術や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った。また、ANDRA(フランス)やCEA(フランス原子力庁)と地質環境調査技術や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うとともに、ITC-school(国際トレーニングセンター) および IAEA(国際原子力機関) との共催により、「地層処分の基礎コース」を開催した。

2011 年度

機関名	概要
北海道大学	地質環境調査のうち、地上で行う地質調査を対象として調査のコツやノウハウ、得られたデータの品質を確保するための留意点といった専門的な知識を抽出し、それらを調査の手順に沿って整理したフローダイアグラムを作成した。
静岡大学	地下深部に生息する微生物の種類や性質を把握することを目的として、140m 調査坑道付近の地下水を採取し、微生物種の増殖・死滅過程を理解するための培養試験を行った。その結果、実際の地下深部における、これらの微生物の活性（増殖速度など）に関わる基礎的知見を得ることができた。
東京都市大学	地層中での微量元素の移動の仕方を理解するため、140m 調査坑道から得られた声問層の岩石を対象として、微量元素濃度の分析を行い、地質構造や岩石、鉱物の種類ごとに、微量元素の分布状態を確認した。また、地下水中に含まれる微量元素が岩石中にどのように取り込まれるのか理解するため、微量元素を含む地下水を岩石に通水し、微量元素濃度の変化を観察する試験を行った。
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、研究協力を継続した。2011 年度は、光ファイバーを利用したセンサーの試作と改良を進めるとともに、幌延町内での現地測定を継続して積雪期を含む土中水分量の季節変動データを取得した。また、現地で測定された土中水分量の変化から降雨浸透量の試算を行い、土中の水分計測手法としての適用性を検討した。
広島大学	岩盤中に存在するヨウ素、セレンの分布に関わる共同研究を行った。SPring-8 を用いた X 線吸収微細構造法（XAFS 法）、X 線吸収端近傍構造法（XANES 法）分析により、声問層、稚内層堆積以降のヨウ素の化学形や分布状態の変化が明らかになった。また、岩石中の二次鉱物のセレンの化学種（セレン酸や亜セレン酸、有機セレンなど）を分離検出する方法を確立し、その分析を行うことで鉱物から地下水の化学条件を推測する手法の検討を行った。
新潟大学	地形および地質発達モデル構築に関する調査・解析手法を対象として、大学専門家への聞き取り調査などにより、調査計画の立案からモデル構築に至るまでの作業全体の流れを示した作業フローを作成するとともに、隆起速度を算出する際に実施される調査・解析を対象として、得られたデータや解析結果の確からしさを分析した。
京都大学	地質発達モデル構築に関する調査・解析のうち、室内実験およびシミュレーションにより地質構造の発達過程を推定する手法を対象として、大学専門家への聞き取りにより実験やシミュレーションを行う際のコツやノウハウといった専門知識を抽出し、作業手順のフローを作成した。
東北大学、京都大学	微量元素と地下水中のコロイド有機物、微生物との相互反応を理解するために、孔の大きさの異なるろ紙を用いて地下水中のコロイド粒子をろ過し、ろ液とろ紙上のコロイド粒子の分析手法の検討を行った。その結果、粘土鉱物やシリカ成分のコロイド粒子が確認された。
幌延地圏環境研究所	北海道科学技術総合振興センターとの地層の研究に関する研究協力協定に基づき、両機関の試験設備を利用した研究協力の一環として、140m および 250m 調査坑道において岩石、地下水を採取し、その微生物特性、化学特性の分析を行った。
電力中央研究所	地質・地下水環境特性評価に関する共同研究を継続した。2011 年度は、上幌延地区においてコントロールボーリングを掘削長 1,000m まで掘削し、ほぼ水平の角度でのコントロールボーリング技術を確認した。これまでの掘削で、コントロールボーリングの掘削技術はほぼ確立できた。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、140m および 250m 調査坑道から掘削したボーリング孔を用いて継続して行った。
北海道立総合研究機構 地質研究所	幌延深地層研究計画で得られた地形データに基づいて、幌延地域のように著しく寒冷な地域における地形の発達過程を検討した。
原子力安全基盤機構・ 産業技術総合研究所	安全評価手法の適用性に関する研究を共同で実施した。2011 年度は、研究用地内の東立坑近傍のボーリング孔（SAB-1 孔）に設置した地下水モニタリング装置を用いて、水圧と水質の長期観測を行い、地下水モデルの確からしさを評価するためのデータを整備した。その結果、東立坑・換気立坑の掘削工事やグラウト工事に関連した水圧変動が観測され、周辺に分布する断層の水理学的連結性の一部が明らかとなった。
産業技術総合研究所	経済産業省資源エネルギー庁が進める沿岸域塩淡水境界・断層評価技術に関するプロジェクトについて、共同研究を実施した。 塩水と淡水が混在する場における地下水や断層の評価技術について、幌延町の沿岸域において電磁探査を行い、地層や地下水の水質分布に関する調査を実施した。その結果、浜里地区の浅海域の海底下に淡水系地下水が分布していると推測された。これらの成果を基に、沿岸域における物理探査やボーリング調査、解析の実施手順、方法を整理した。
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設備の整備に関するプロジェクトについて共同研究を実施した。 2011 年度は、2010 年度に引き続き、「地層処分実規模試験施設」において実物大のオーバーパックと人工バリアシステムとともに、整備途上の緩衝材定置試験設備を展示した。緩衝材定置試験設備の整備として、昇降装置を製作・設置した。また、緩衝材中に水がしみ込んでいく過程を観察できる装置を用いた浸潤試験の結果について、水が緩衝材にしみ込んでいく過程を解析した。
Nagra(スイス)	沿岸域を含む幌延地域を対象に、過去から現在までの地下水の流れと水質の形成過程の復元研究を共同で実施した。2011 年度は、地下水の流れやすさに影響を及ぼす因子に関して、データの質や量、確からしさの整理を行い、地下水の流れについて正確かつ能率的に解析するための条件を導き出した。
モンテリ・プロジェクト (スイス)	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」に参加した。2011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た。

上記のほか、ANDRA（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った。

2012 年度

機関名	概要
北海道大学	安全評価手法の高度化を目的として、圧縮ベントナイト中におけるカルシウムイオンや炭酸イオンの移動現象の評価、およびベントナイト中における炭酸カルシウムなどの析出反応に関する検討を行った。また拡散現象に関する室内試験を行い、350m 調査坑道周辺の堆積岩中におけるナトリウムイオンの拡散係数を取得した。 また、地質調査や地質構造モデル構築に係る専門技術の継承のために、暗黙知やノウハウをまとめた。この研究では、過去に作成された複数の地質図に対して、階層分析法と呼ばれる手法を適用し、調査者間で異なる解釈結果を得た場合の原因や解決法を調べることができるようになった。
静岡大学	地下深部に生息する微生物の種類や性質を把握することを目的として、140m 調査坑道に設置されたボーリング孔から地下水を採取し、地下水中の微生物増殖速度や活性を明らかにするための培養試験を行った。その結果、地下水中の微生物生態系に関わる基礎的知見を得ることができた。
東京都市大学	地層中での微量元素の状態を理解するため、140m 調査坑道から得られた声問層の岩石を対象として、微量元素の分析を行った。分析の際には微量元素が岩石中でどのような状態で存在しているのかを理解するために、複数の異なる条件で前処理を行い、様々な状態での分析を実施した。その結果、岩石中の微量元素は、特定の鉱物に取り込まれて存在していることなどが分かった。
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、研究協力を継続した。2012 年度は、光ファイバーを利用したセンサーの試作と改良を進めるとともに、幌延町内での現地測定を継続して積雪期を含む土中水分量の季節変動データを取得した。また、現地で測定された土中水分量の変化から降雨浸透量の試算を行い、土中の水分計測手法としての適用性を検討した。
新潟大学	地形および地質発達モデル構築に関する調査・解析手法を対象として、専門家への聞き取り調査を継続して行い、調査計画の立案からモデル構築に至るまでの作業全体の流れを示した作業フローを作成した。また、作成した作業フローを参考に隆起速度の算出を試みるとともに、算出結果の確からしさを分析し、分析結果をとりまとめた。
京都大学	地質発達モデル構築に際して用いられる室内試験やシミュレーションを行う際の暗黙知やノウハウを整理・分析するとともに、作業手順や意思決定を行う際の判断基準などを取りまとめた。この研究により、モデル構築に際して生じる不確実性の発生や低減に関する新たな知見が得られた。
東北大学，京都大学	地下水中の微量元素と微小な物質（コロイドや有機物，微生物）との相互反応を理解するために、通る孔の大きさの異なるろ紙を利用して 140m 調査坑道から得られた地下水に分析対象とする微量元素を添加した後にろ過し、ろ紙上に残った微小な物質の観察や分析を実施した。その結果、微量元素は特定の鉱物に取り込まれる、もしくは有機物と一緒に存在していることが分かった。
幌延地圏環境研究所	両機関の試験設備を利用した研究協力の一環として、調査坑道において岩石、地下水を採取し、その微生物特性、化学特性の分析を行った。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が進める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から採取した地下水を対象とした調査を行い，深度 800m 以深では，堆積時の海水が残留している可能性が示された。
北海道立総合研究機構 地質研究所	北海道立総合研究機構により公開された道北地域の重力調査に関わるデータをもとに，幌延を含む地域を対象とした地質構造などの解析を行った。
産業技術総合研究所	経済産業省資源エネルギー庁が進める沿岸域塩淡境界・断層評価技術に関するプロジェクトについて，共同研究を実施した。 2012 年度は，幌延町の沿岸域に位置する浜里地区に掘削されたボーリング孔(DD-1 孔)を用い，これまでの掘削深度(約 1,000m)から約 1,200m まで掘削作業を追加するとともに水理試験などを行い，より深部のデータを取得した。また，2012 年度までの成果を踏まえ，沿岸域における塩淡境界や断層評価に必要な調査・解析方法などをまとめた。
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設備の整備に関するプロジェクトについて共同研究を実施した。 2012 年度は，2011 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た。緩衝材定置試験設備の整備として，一連の緩衝材の定置動作を自動で行うためのソフトウェアを設計・製作した。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た。
Nagra(スイス)	沿岸域を含む幌延地域を対象に，過去から現在までの地下水の流れと水質の形成過程の復元研究を共同で実施した。2012 年度は，気候変動に伴う地下水の流れの変化に関する国内外の研究事例をレビューした。
モンテリ・プロジェクト (スイス)	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」に参加した。2012年度は，2011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た。

上記のほか，ANDRA（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った。

2013 年度

機関名	概要
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った。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った。
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、研究協力を継続した。2013 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 2012 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った。
幌延地圏環境研究所	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る。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が進める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った。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、 ^4He 年代測定法や ^{36}Cl 年代測定法から示された。
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解石中の微量元素の濃度や化学的な状態の分析を行った。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る。
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る。2013 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ある。2013 年度は、2012 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ある。2013 年度は、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た。また、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た。
モンテリ・プロジェクト (スイス)	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」に参加した。2013年度は、2012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た。

上記のほか、ANDRA（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った。また、国際協力として、2013 年 9 月にクレイクラブ（Clay Club）定例会合を幌延にて開催した。

2014 年度

機関名	概要
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った。
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た。2014 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た。
幌延地圏環境研究所	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る。
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問層中の地下水は、塩素の同位体を用いた年代測定により 100 万年以上前の化石海水であると推定された。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認技術開発として実施しているものである。
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った。その結果、産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った。
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、2013 年度に深度 350m 調査坑道のボーリング孔に設置したマルチ光計測プローブを用いて計測を行った。2014 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、共同研究を実施した。 地層処分実規模試験施設については、2014年度は、2013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た。 処分システムの工学技術に関する研究開発については、2014年度は、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、2013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た。
石油天然ガス・金属物資源機構（JOGMEC）、国際超電導産業技術研究センター（ISTEC）	2014年度より、高精度な電磁探査技術の適用性を検討するために、超電導磁気センサーを用いた電磁探査システムに関する共同研究を開始した。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ある。 2014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た。
モンテリ・プロジェクト（スイス）	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」に参加した。2014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た。 また、2014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）を梶延町にて開催した。

上記のほか、クレイクラブ（Clay Club）定例会合（2014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った。

付録 E

外部発表資料 (2005 年度～2014 年度)

This is a blank page.

付録 E 外部発表資料

2005 年度

- 江原昌彦, 五月女 敦, 松本匡司, 松井裕哉 (2006): “光ファイバ振動センサによる堆積軟岩の AE 計測”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.353-358, 2006 年 1 月.
- 舟木泰智, 石井英一, 松井裕哉, 丹生屋純夫 (2005): “北海道幌延町に分布する珪質岩の続成作用と岩盤物性に関する研究”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会, 2005 年 5 月.
- 舟木泰智, 石井英一, 安江健一, 高橋一晴 (2005): “データ追跡性を考慮した地質構造モデルの構築および各種地質環境調査技術の適用性確認”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会, 2005 年 5 月.
- Funaki, H., Matsui, H., Hama, K., Kunimaru, T., Ishii, E. and Kurikami, H. (2005): “Horonobe Underground Research Laboratory Project -The Present Understanding of Geological Environment-”, International Workshop on Waste Management in Sapporo (Sapporo Workshop 2005): Report, pp.125-127, 2005 年 9 月.
- 濱 克宏, 國丸貴紀, 中山 雅, 加藤憲二, 永翁一代 (2005): “幌延深地層研究計画 -新第三紀堆積岩中の地下水の地球化学特性について(1)-”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会, 2005 年 5 月.
- Hama, K., Kunimaru, T., R. Metcalfe, A.J. Martin (2005): “The hydrogeochemistry of argillaceous rock formations at the Horonobe URL site, Japan”, TOURS 2nd international meeting -Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement- Abstracts, pp.399-400 (P/GM/14), 2005 年 3 月.
- 濱 克宏, 國丸貴紀, 嶋田 純 (2005): “堆積岩中の地下水の地球化学特性調査手法について -幌延の新第三紀堆積岩を例として-”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会講演要旨集, pp.106-109, 2005 年 10 月.
- 濱 克宏, 國丸貴紀, 夏 曉彬, 長尾誠也 (2006): “幌延深地層研究計画; 地下水中の有機物に関する研究の現状”, 日本原子力学会 2006 年春の年会, 2006 年 3 月.
- 長谷川琢磨, 中田弘太郎, 東原知弘, 大山隆弘, 木方建造, 濱 克宏, 國丸貴紀, 水落幸広, 小林浩久, 田代寿春 (2005): “幌延サイトでの水質調査結果による地下水年代の推定”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会講演要旨集, pp.214-217, 2005 年.
- Koichiro HATANAKA (2005): “Progress of the surface-based investigation phase and plan for the next investigation phase in Horonobe URL project”, International Workshop on Waste Management in Sapporo (Sapporo Workshop 2005): Abstract, pp.1-2, 2005 年 8 月.
- Koichiro HATANAKA (2005): “Progress of the surface-based investigation phase and plan for the next investigation phase in Horonobe URL project”, International Workshop on Waste Management in Sapporo (Sapporo Workshop 2005): Report, pp.1-6, 2005 年 8 月.
- 穂刈利之, 石井 卓, 松井裕哉 (2006): “孔径検層を用いた地下施設の安定性評価の可能性について”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.209-212, 2006 年 1 月.
- Honda, K., Sakurai, H., Iwasa, K., Suzuki, M. and Matsui, H. (2005): “Geostatistical Modeling of Hydrogeological Environment Using Resistivity Distribution Measured by Various Method”, IAMG 2005 Proceedings of IAMG '05: GIS and Spatial Analysis, Vol.1, pp.393-398, 2005 年 8 月.
- 兵動正幸, 大賀光太郎, 國丸貴紀, 佐々木勝司, 山本陽一 (2005): “溶存メタンセンサーによる原位置メタン量測定法に関する研究 -センサー基本性能確認のための室内試験-”, 日本応用地質学会平成 17 年度研究発表会, 2005 年 10 月.
- 入矢桂史郎, 納田 勝, 中山 雅, 三原守弘, 油井三和 (2005): “ボゾランを高含有した低アルカリ性コンクリートの開発”, 第 21 回バックエンド夏期セミナー, 2005 年 7 月.
- Ishii, E., Yasue, K. (2005): “Study of paleohydrogeology in the Horonobe Underground Research Laboratory project”, International Workshop on Waste Management in Sapporo (Sapporo Workshop 2005): Report, pp.129-132, 2005 年 8 月.
- 石井英一, 安江健一, 舟木泰智, 高橋一晴, 新里忠史 (2005): “北海道北部, 幌延地域における新第三紀珪質岩中の断層記載 -断層の地質学的特徴と形成史-”, 日本地質学会 112 年学術大会, 2005 年 9 月.
- 石井英一, 安江健一, 古澤 明, 大平寛人, 中川光弘 (2005): “北海道北部, 幌延地域における鮮新世~更新世のテフラ層序と FT 年代”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会, 2005 年 5 月.
- 石井英一, 安江健一, 田中竹延, 津久井朗太, 松尾公一, 濱 克宏, 高橋一晴 (2005): “北海道北部, 幌延地域における電磁探査を用いた断層帯調査”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会, 2005 年 5 月.
- 石井英一, 安江健一, 田中竹延, 津久井朗太, 松尾公一, 杉山和稔, 松尾重明 (2006): “北海道北部, 幌延地域における大曲断層の三次元分布と水理特性”, 地質学雑誌, Vol.112, No.5, pp.301-314.
- Ishii, E., Yasue, K., Tsukui, R., Hama, K. and Takahashi, K. (2005): “Structure of the Omagari Fault in northern Hokkaido, Japan”, 2nd Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society (AOGS 2005), 2005 年 6 月.
- 木山 保, 松井裕哉, Jean Claude ROEGIERS, 熊倉 聡, 小玉齊明, 石島洋二 (2006): “間隙弾性論に基づく幌延の珪質岩を用いた室内試験”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.297-302, 2006 年 1 月.
- 國丸貴紀, 平田洋一, 小川 賢 (2005): “原位置地下水の物理化学パラメータモニタリング装置および封圧採水の結果について”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会講演要旨集, pp.118-121, 2005 年 10 月.
- 國丸貴紀, 濱 克宏, 山本 肇, 小野 誠 (2005): “幌延深地層研究計画 -新第三紀堆積岩中の地下水の地球化学特性について(2)-”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会, 2005 年 5 月.

- 國丸貴紀, 中山 雅 (2005): “H17 取りまとめ分冊 1: 堆積岩を対象とした調査研究および工学技術の基礎の開発”, 第 21 回バックエンド夏期セミナー, 2005 年 7 月.
- 國丸貴紀, 山本 肇 (2005): “地下水の地球化学的解析およびモデル化に関する研究～幌延深地層研究計画を例として～”, 日本地球化学会年会, 2005 年 9 月.
- 操上広志, 今井 久, 塩崎 功, 竹内竜史, 瀬尾昭治 (2005): “幌延の堆積岩中の地下水流動解析に関する解析的検討”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会, 2005 年 5 月.
- 操上広志, 竹内竜史, 瀬尾昭治 (2005): “幌延地域の新第三紀～第四紀堆積岩の水理特性”, 土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集, pp.609-610, 2005 年 9 月.
- 操上広志, 竹内竜史, 瀬尾昭治, 今井 久, 塩崎 功 (2005): “堆積岩中の塩水系地下水のモデルの構築”, 第 40 回地盤工学研究発表会, pp.1235-1236, 2005 年 7 月.
- 操上広志, 竹内竜史, 瀬尾昭治, 今井 久, 塩崎 功, 下茂道人, 熊本 創 (2005): “幌延堆積岩中の割れ目帯を考慮した地下水流動解析”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会講演要旨集, pp.100-105, 2005 年 10 月.
- 森岡宏之, 尾留川 剛, 村川史朗, 菅原健太郎, 小林隆志 (2006): “幌延深地層研究計画における地下研究坑道の支保設計”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.69-74, 2006 年 1 月.
- Nagao, S., Iwatsuki, T. and Hama, K. (2005): “Characterization of groundwater humic substances by high-performance size exclusion chromatography with fluorescence detection”, International Workshop on Waste Management in Sapporo (Sapporo Workshop 2005): Abstract, pp.3-4, 2005 年 8 月.
- 永翁一代, 濱 克宏, 國丸貴紀, 中山 雅, 青木和弘, 加藤憲二 (2005): “新第三紀堆積岩における地下水中の細菌群集-北海道幌延地域を対象とした研究 (第二報) クローニングによる系統解析-”, 第 21 回日本微生物生態学会, 2005 年 10 月.
- 中田英二, 田中姿郎, 石井英一, 高橋一晴 (2005): “幌延地域に分布する球状シリカに充填された珪質泥岩”, 日本地質学会 112 年学術大会, 2005 年 9 月.
- 中山 雅 (2005): “幌延深地層研究計画の現状”, サイクル機構技報, pp.1-8, 2005 年 9 月.
- Nakayama, M., Iriya, K., Fujishima, A., Mihara, M., Hatanaka, K., Kurihara, Y. and Yui, M. (2005): “Development of low alkaline cement pozzolanic reaction for support system in HLW Repository construction”, 29th International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Materials Research Society Symposium Proceedings, Vol.932, pp.159-166.
- 新里忠史, 安江健一 (2005): “幌延地域における水平方向の地殻歪速度の推定”, 日本地質学会第 112 年学術大会, 2005 年 9 月.
- 新里忠史, 安江健一, 高橋一晴 (2005): “幌延地域における地質環境の長期安定性研究-地殻変動の特徴-”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会, 2005 年 5 月.
- 新里忠史, 重野聖之, 高清水康博 (2006): “北海道における地震に関するアイヌの口碑伝説と歴史記録”, 歴史地震, No.21, pp.121-136.
- 丹生屋純夫, 松井裕哉 (2005): “原位置と室内試験に基づいた第三紀珪質岩盤の力学モデル構築”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.177-182, 2006 年 1 月.
- 丹生屋純夫, 松井裕哉, 山本卓也, 杉山和稔 (2005): “孔内載荷試験による深部堆積岩の変形特性評価”, 第 40 回地盤工学研究発表会, pp.559-560, 2005 年 7 月.
- 丹生屋純夫, 松井裕哉, 山本卓也, 星野敦司, 杉山和稔 (2005): “新第三紀珪質岩の変形特性に関する原位置及び室内試験結果の比較”, 土木学会年次学術講演会, pp.677-678, 2005 年 9 月.
- 丹生屋純夫, 水戸義忠, 青木謙治, 松井裕哉 (2005): “新第三紀珪質岩における原位置 AE 計測の適用性に関する基礎的検討”, 第 15 回トンネル工学研究発表会, pp.411-416, 2005 年 12 月.
- 大原英史, 津久井朗太, 國友孝洋, 中島崇裕, 新里忠史, 青木和弘, 茂田直孝, 熊澤峰夫 (2005): “幌延深地層研究計画-遠隔監視システム (アクロス) の概要-”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会, 2005 年 5 月.
- 坂井哲郎, 畠山信也, 布施正人, 里 優 (2005): “幌延深地層研究計画におけるガス湧出量の予測 (第 1 報)”, 平成 17 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2005 年 9 月.
- 瀬尾昭治, 久保田敏二, 小林利章 (2005): “北海道北部における積雪期の蒸発散量の観測”, 2005 年度日本雪氷学会全国大会, 2005 年 9 月.
- 瀬尾昭治, 久保田敏二, 小林利章 (2005): “北海道北部における積雪重量計を用いた積雪相当水量の観測”, 2005 年度日本雪氷学会全国大会, 2005 年 9 月.
- 瀬尾昭治, 竹内竜史, 操上広志 (2005): “幌延深地層研究計画における地下水涵養量推定のための調査の現状”, 土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集, pp.607-608, 2005 年 9 月.
- 高橋一晴, 新里忠史, 安江健一, 舟木泰智, 石井英一, 福島龍朗, 鈴木徳行, 天羽美紀 (2005): “北海道北部幌延町新第三紀珪質岩の地球化学的特徴から見た侵食量及び隆起時期”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会, 2005 年 5 月.
- 高橋一晴, 新里忠史, 石井英一, 安江健一, 舟木泰智, 福島龍朗, 天羽美紀, 鈴木徳行 (2005): “北海道北部幌延地域の地球化学的特徴による侵食量の推定”, 第 23 回有機地球化学シンポジウム, 2005 年 7 月.
- 高治一彦, 重野喜政, 下河内隆文, 中山 雅 (2005): “幌延の地下水環境下におけるベントナイト混合材料の力学特性”, 土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集, pp.189-190, 2005 年 9 月.
- 山本卓也, 松井裕哉, 田子義章, 富永英治 (2005): “珪質岩に対する AE 法による初期地圧測定の実用性に関する検討”, 土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集, pp.675-676, 2005 年 9 月.
- 山本 肇, 下茂道人, 藤原 靖, 國丸貴紀, Tianfu XU, Marcus LAAKSOHARJU (2006): “幌延深地層研究所設置地区周辺の地下水水質形成シミュレーション”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.237-242,

2006 年 1 月.

- Yamoto, H., Kunimaru, T. Shimo, M., Fujiwara, Y., Ono, M., Tianfu XU and Markus L. (2005): "Reactive Chemical Transport Simulations for Evaluation of Ambient Chemical Conditions at Horonobe URL Site, Hokkaido, Japan", The 2nd Japan-Korea Joint Workshop on Radioactive Waste Disposal 2005, pp.159-172, 2005 年 10 月.
- 山崎眞一, 福島龍朗, 青木和弘 (2005): "PRELIMINARY RESULTS OF SURFACE-BASED INVESTIGATION AT THE HORONOB URL SITE, JAPAN", TOURS 2nd international meeting -Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement- Abstracts, pp.59-60, 2005 年 8 月.
- 安江健一, 秋葉文雄, 石井英一 (2005): "珪藻化石種を用いた堆積物の後背地解析の試み: 北海道北部, 幌延地域を例として", 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会, 2005 年 5 月.
- 安江健一, 秋葉文雄, 大平寛人, 石井英一 (2006): "北海道北部, サロベツ背斜付近に分布する声問層上部の鮮新統上部珪藻化石帯とフィッショントラック年代", 地質学雑誌, Vol.112, No.4, pp.284-293.
- 安江健一, 新里忠史, 石井英一, 高橋一晴, 舟木泰智 (2005): "北海道北部, 幌延地域における鮮新世後半以降の地殻変動場の移動", 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会, 2005 年 5 月.
- 安江健一, 新里忠史, 津久井朗太 (2005): "北海道北部における GPS 観測と基線長解析", 日本地震学会 2005 年度秋季大会, 2005 年 10 月.
- 安江健一, 石井英一 (2005): "北海道北部, 幌延町における大曲・豊富断層の正確な位置の特定", 活断層研究, No.25, pp.39-4.
- 安江健一, 石井英一, 古澤 明 (2005): "北海道北部, サロベツ背斜周辺における海成段丘の形成時期", 日本地質学会 112 年学術大会, 2005 年 9 月.

2006 年度

- 天石 文, 高畑 陽, 川又 睦, 國丸貴紀, 帆秋利洋 (2006): "深部地下水中の微生物解析結果", 日本微生物生態学会第 22 回大会, 2006 年 10 月.
- 天羽美紀, 鈴木徳行, 篠田敏夫, Ratnyake, N.P., 高橋一晴 (2006): "Pristene, phytene, and sterenes in immature Horonobe diatomaceous sediments as potential indicators of paleo-temperature and depositional environment.", 17th International Sedimentological Congress, 2006 年 8 月.
- 天羽美紀, 鈴木徳行, 篠田敏夫, Ratnyake, N.P., 高橋一晴 (2007): "Diagenesis and distribution of sterenes in Late Miocene to Pliocene Horonobe marine siliceous rocks from Horonobe(Hokkaido, Japan)", Organic Geochemistry, Vol 38, Issue 7, pp.1132-1145, 2007 年 7 月.
- 青木謙治, 水戸義忠, 黒川 進, 松井裕哉, 丹生屋純夫, 南 将行 (2007): "AE 計測と DEM 解析に基づく大深度堆積軟岩の破壊過程に関する研究", 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.235-358, 2007 年 1 月.
- 舟木泰智, 石井英一(2006): "幌延地域に分布する堆積岩中の水みちとなり得る地質構造", 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006 年 5 月.
- 舟木泰智, 安江健一, 國丸貴紀, 尾留川 剛, 名合牧人 (2006): "周氷河作用を被った地域における表層部の水理地質構造ー北海道北部, 幌延地域における例ー", 日本地質学会第 113 年学術大会, 2006 年 9 月.
- 畑中耕一郎(2006): "堆積岩に関する地質環境評価手法に関する研究", 「安全研究成果報告会」ー放射性廃棄物の地層処分についてー, 2006 年 3 月.
- 濱 克宏, 國丸貴紀, 操上広志, 舟木泰智 (2007): "幌延深地層研究計画 (3) 地上からの地質環境調査結果と今後の課題", 日本原子力学会 2007 年春の年会, 2007 年 3 月.
- Hama, K., Kunimaru, T., Metcalfe, R., Martin, A.J. (2007): "The hydrogeochemistry of argillaceous rock formations at the Horonobe URL site, Japan.", Physics and Chemistry of the Earth, vol.32, pp.170-180, 2007 年.
- 本多 眞, 桜井英行, 岩佐健吾, 鈴木 誠, 松井裕哉 (2006): "地球統計手法による各種比抵抗探査データの統合と水理地質・水質分布モデルの構築", 資源・素材学会春季大会要旨集, pp.49-52, 2006 年 3 月.
- 本多 眞, 鈴木 誠, 桜井英行, 岩佐健吾, 松井裕哉 (2006): "調査段階の進展に伴う水理地質モデルの信頼度に関する考察ー地球統計手法を用いた透水係数分布の推定の例ー", 第 41 回地盤工学研究発表会, 2006 年 7 月.
- 兵動正幸, 大賀光太郎, 國丸貴紀, 山本陽一, 佐々木勝司, Masson, M. (2006): "地層内容存メタン測定のためのセンサー開発とその諸特性について", 第 41 回地盤工学研究発表会, 2006 年 7 月.
- 兵動正幸, 大賀光太郎, 國丸貴紀, 山本陽一, 佐々木勝司, Masson, M. (2006): "溶存メタンセンサーによる地層内メタン濃度測定 その 1 測定値へのガス種、水流の影響", 平成 18 年度土木学会全国大会, 第 61 回年次学術講演会, 2006 年 9 月.
- 兵動正幸, 大賀光太郎, 國丸貴紀, 山本陽一, 佐々木勝司, Masson, M. (2006): "溶存メタンセンサーによる地層内メタン濃度測定 その 2 幌延における孔内測定試験", 平成 18 年度土木学会全国大会, 第 61 回年次学術講演会, 2006 年 9 月.
- 石井英一 (2006): "水ー岩石反応の地質学的証拠からみた海成堆積物地下浅部における淡水浸透領域の長期的変遷", 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006 年 5 月.

- 石井英一, 福島龍朗 (2006): “新第三紀珪質岩における断層の解析事例”, 応用地質, Vol.47, pp.280-291.
- 石井英一, 濱 克宏, 國丸貴紀, 佐藤治夫 (2007): “海成堆積物の地下浅部における天水の浸透に伴う地下水の pH 変化”, 地質学雑誌, Vol.113, pp.41-52.
- 石井英一, 安江健一, 田中竹延, 津久井朗太, 松尾公一, 杉山和稔, 松尾重明 (2006): “北海道北部, 幌延地域における大曲断層の三次元分布と水理特性”, 地質学雑誌, Vol.112, pp.301-314.
- 入矢桂史郎, 中山 雅, 小西一寛, 三原守弘 (2006), “フライアッシュ高含有シリカフェュームコンクリートの施工性”, コンクリート工学年次大会 2006, Vol.28, No. 1, pp.173-178, 2006 年 7 月.
- 岩月輝希, 太田久仁雄, 濱 克宏, 國丸貴紀 (2007): “幌延深地層研究計画 (6) 第 2 段階における調査研究の現状と今後の計画”, 日本原子力学会 2007 年春の年会, 2007 年 3 月.
- Kawamura, A., Oi, T., Makino, H., Umeda, K., Niizato, T., Ishimaru, T. and Seno, T. (2006): “Study on evaluation method for potential impacts of “natural phenomena” on a HLW disposal system”, Proceedings of 2006 East Asia Forum on Radwaste Management Conference (2006 EAFORM Conference), pp.350-367, 2006 年 11 月.
- 川村 淳, 大井貴夫, 新里忠史, 安江健一, 梅田浩司, 牧野仁史, 石丸恒存 (2006): “高レベル放射性廃棄物処分における隆起・侵食に起因するシナリオの検討”, 日本地質学会第 113 年学術大会, 2006 年 9 月.
- 川村 淳, 牧野仁史, 大井貴夫, 梅田浩司, 新里忠史, 石丸恒存 (2006): “放射性廃棄物処分に係わる天然現象影響評価に関する影響解析パラメータの設定手法の検討”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006 年 5 月.
- 川村 淳, 牧野仁史, 梅田浩司, 大井貴夫, 新里忠史, 石丸恒存 (2006): “「火山活動」を例とした放射性廃棄物処分に係わる影響解析パラメータの設定”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006 年 5 月.
- 國丸貴紀, 細谷真一 (2006): “採水深度における間隙水圧と水質の同時モニタリングを可能としたモニタリングシステムとその適用性”, 日本地下水学会 2006 年秋季講演会講演要旨, pp. 322-327, 2006 年 10 月.
- 國丸貴紀, 福島龍朗, 武田精悦 (2007): “幌延深地層研究計画 (2) 研究所設置場所を決定するまでのあゆみ”, 日本原子力学会 2007 年春の年会, 2007 年 3 月.
- 熊本 創, 下茂道人, 操上広志 (2007): “幌延深地層研究計画における地下研究施設掘削に伴う地下水流動予測解析～地上からの調査結果に基づく水理地質構造のモデル化と解析～”, 日本地下水学会, 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム発表論文集, pp.43-50, 2007 年 1 月.
- Kurikami, H., Kunimaru, T., Yabuuchi, S., Seno, S., Shimo, M. and Kumamoto, S. (2006): “Hydrogeological model in Horonobe Underground Research Laboratory Project”, Proceedings of 2nd International Conference on Coupled T-H-M-C Processes in Geo-systems: Fundamentals, Modeling, Experiments and Applications (GeoProc 2006), pp.584-589, 2006 年 5 月.
- 操上広志, 國丸貴紀, 舟木泰智 (2006): “幌延深地層研究計画第 1 段階における水理地質環境モデル構築”, 日本原子力学会 第 22 回バックエンド夏期セミナー, 2006 年 7 月.
- 操上広志, 安江健一, 新里忠史, 今井 久, 塩崎 功, 山下 亮 (2007): “気候・海水準変動が地下水流動に与える影響に関する解析的検討 ―幌延地域を例として―”, 日本地下水学会 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム, 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム発表論文集, pp.59-66, 2007 年 1 月.
- 松井裕哉, 青柳茂男, 宮野前俊一 (2006): “新第三紀珪質岩の風化特性に関する実験的検討”, 第 41 回地盤工学研究発表会, pp.495-496, 2006 年 7 月.
- 森岡宏之, 松井裕哉 (2006): “幌延深地層研究計画における地下施設建設の概要”, 土木学会岩盤力学委員会ニューズレター, No.11, <http://www.rocknet.japan.org/topics/News.html>, 2006 年 11 月.
- 森谷祐一, 新里忠史, 北村 至, 堀田 光, 大原英史 (2006): “マルチプレット・クラスタリング解析による北海道北部幌延地域の微小地震解析”, 物理探査学会第 115 回 (平成 18 年度秋季) 学術講演会, 物理探査学会第 115 回学術講演会論文集, pp.46-49, 2006 年 10 月.
- 新里忠史, 重野聖之, 高清水康博 (2006): “北海道における地震に関するアイヌの口碑伝説と歴史記録”, 歴史地震, No.21, pp.121-136.
- 新里忠史, 重野聖之, 高清水康博 (2006): “北海道周辺地域における歴史地震について―アイヌの口碑伝説と歴史記録に基づく検討―”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006 年 5 月.
- 丹生屋純夫, 松井裕哉 (2006): “塩水環境下に分布する新第三紀珪質岩の強度変形特性”, 第 41 回地盤工学研究発表会, 2006 年 7 月.
- 大原英史, 津久井朗太, 國友孝洋, 中島崇裕, 新里忠史, 青木和弘, 熊澤峰夫 (2006): “幌延深地層研究計画―遠隔監視システム (アクロス) の概要と進捗について―”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006 年 5 月.
- 太田久仁雄, 濱 克宏, 棚井憲治, 前川恵輔 (2007): “幌延深地層研究計画 (1) 第 1 段階における調査研究成果の取りまとめの概要”, 日本原子力学会 2007 年春の年会, 2007 年 3 月.
- 小川豊和, 青木智幸, 城 まゆみ, 松井裕哉, 堀井秀之 (2007): “地山の時間依存性挙動を考慮した坑道掘削時の安定性解析”, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.39-44, 2007 年 1 月.
- 尾留川 剛, 小島 亘, 白戸伸明, 斉藤敏樹 (2006): “石炭灰 (フライアッシュ) の高強度吹付けコンクリートへの適用性”, コンクリート工学年次大会 2006, コンクリート工学年次論文集, 第 28 巻, pp.1637-1642, 2006 年 7 月.
- 尾留川 剛, 森岡宏之, 西山誠治 (2006): “幌延深地層研究計画における地下研究坑道の耐震性能照査”, 第 41 回地盤工学研究発表会, 2006 年 7 月.
- 尾留川 剛, 森岡宏之, 山上光憲, 村川史朗 (2006): “幌延深地層研究計画における地下研究坑道の概要と支保設計”, 電力土木技術協会誌, No.324, pp.82-86.

- 坂井哲郎, 畠山信也, 布施正人, 成田 譲 (2006): “幌延深地層研究計画におけるガス湧出量の予測 (第 2 報)”, 資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2006 年 9 月.
- 真田祐幸 (2007): “幌延深地層研究計画の現状及び原位置と室内試験に基づいた第三紀珪質岩盤の力学モデル構築”, 第 9 回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会 (Sapporo Conference 2007), 2007 年 3 月.
- 佐藤治夫 (2006): “スメクタイト表面の水の熱力学特性の膨潤圧への適用”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会予稿集 B43, p.110, 2006 年 9 月.
- 佐藤治夫 (2006): “圧縮ベントナイト間隙水の熱力学特性の膨潤圧への適用”, 連携重点研究ワークショップー緩衝材物性と微生物活動を指標とした処分環境の理解ー, 2006 年 8 月.
- 佐藤治夫 (2007): “ベントナイト及び岩石中に於ける拡散現象に関する情報交換会ー地層処分の安全評価を目指してー”, 日本原子力学会誌, Vol.49, No.1, pp.51-52.
- Sato, H. (2006): “Activation Energies of Diffusion for I and Cs in Compacted Smectite”, International Information Exchange Meeting on Diffusion Phenomena in Bentonite and Rock -Aiming at the Safety Assessment of the Geological Disposal, 2006 年 7 月.
- Sato, H. (2007): “Thermodynamic Data of Water on Smectite Surface and Those Application to Swelling Pressure of Compacted Bentonite”, International Workshop on Mobile Fission and Activation Products in Nuclear Waste Disposal, Final Programme and Abstracts, 2007 年 1 月.
- Sato, H. (2007): “Activation Energies of Diffusion for I and Cs in Interlayer of Smectite”, International Workshop on Mobile Fission and Activation Products in Nuclear Waste Disposal, Final Programme and Abstracts, 2007 年 1 月.
- 佐藤治夫 (2007): “放射性廃棄物処分における易動性核分裂生成物および放射化生成物に関する国際ワークショップ”, 日本原子力学会誌, Vol. 49, No.6, pp.48-49.
- 佐藤治夫 (2007): “スメクタイト中のイオンの拡散の活性化エネルギー”, 粘土ワークショップ, 2007 年 3 月.
- 佐藤治夫 (2007): “スメクタイトの層間中の I 及び Cs の拡散の活性化エネルギー”, 第 9 回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会 (Sapporo Conference 2007), 2007 年 3 月.
- 瀬尾昭治, 戸井田 克, 小林一三, 田中真弓, 松井裕哉, 國丸貴紀, 操上広志 (2006): “難透水性岩石を対象とした閉鎖型フローポンプ式室内透水試験法の適用性”, 日本地下水学会 2006 年秋季講演会講演要旨, pp.310-315, 2006 年 10 月.
- 瀬尾昭治, 新里忠史, 操上広志, 安江健一, 藪内 聡, 原 稔, 國丸貴紀, 中山 雅, 舟木泰智, 山口雄大 (2006): “浮流土砂流量に基づく侵食量の予測手法の検討ー北海道北部幌延町における調査事例ー”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006 年 5 月.
- 瀬谷正巳, 畑中耕一郎, 福島龍朗 (2006): “幌延深地層研究計画の概要と現状について”, 佐藤工業技術研究所報, No.31, pp.49-56.
- 瀬谷正巳, 森岡宏之, 福島龍朗 (2006): “幌延深地層研究センター地下施設の建設について”, 佐藤工業技術研究所報, No.31, pp.57-62.
- 高橋一晴, 新里忠史, 安江健一, 天羽美紀, 鈴木徳行 (2006): “北海道北部幌延町新第三紀珪質岩の地球化学的特徴からみた侵食量および隆起時期 (2)”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006 年 5 月.
- 高橋一晴, 新里忠史, 安江健一, 天羽美紀, 鈴木徳行 (2006): “北海道北部幌延地域に分布する珪質岩の地球化学的特徴による侵食量の推定”, 第 24 回有機地球化学シンポジウム, 2006 年 8 月.
- 田中真悟, 野田菜摘子, 佐藤正知, 小崎 完, 佐藤治夫, 畑中耕一郎 (2007): “圧縮 Na 型モンモリロナイトにおける $H_2^{18}O$ の拡散と電気浸透”, 日本原子力学会 2007 年春の年会, 2007 年 3 月.
- 徳永朋祥, 木村ゆき, 井尻裕二, 本島貴之, 國丸貴紀, 高本尚彦, 嶋田 純, 細野賢一 (2006): “幌延地域における塩素安定同位体比を用いた塩水淡水挙動評価”, 日本地下水学会 2006 年秋季講演会, 2006 年 10 月.
- 山口真基, 藤井義明, 福田和寛, 松井裕哉 (2006): “DSCA 法を用いた幌延珪藻質泥岩の初期応力測定”, 平成 18 年度 資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2006 年 9 月.
- 山本 肇, 國丸貴紀, 操上広志, 下茂道人, Xu, T. (2006): “Long-term simulation of ambient groundwater chemistry at Horonobe URL, Japan -Application of coupled hydrogeochemical model-”, Proceedings of 2nd International Conference on Coupled T-H-M-C Processes in Geo-systems; Fundamentals, Modeling, Experiments and Applications (GeoProc 2006), pp.382-387, 2006 年 5 月.
- 山本 肇, 下茂道人, 國丸貴紀, 操上広志 (2007): “幌延深地層研究計画における立坑掘削時の地下水からの脱ガスの予察解析”, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.393-398, 2007 年 1 月.
- 安江健一, 秋葉文雄, 大平寛人, 石井英一 (2006): “北海道北部, サロベツ背斜付近に分布する声問層上部の鮮新統上部珪藻化石帯とフィッション・トラック年代”, 地質学雑誌, Vol.112, pp.284-293.
- 安江健一, 新里忠史, 千葉昭彦 (2006): “地中レーダ探査による極浅部の地質構造調査ー北海道北部, 大曲ー豊富断層の例ー”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006 年 5 月.
- 安江健一, 新里忠史, 千葉昭彦 (2006): “地中レーダ探査による沖積・段丘面下の地質構造調査”, 日本地質学会 第 113 年学術大会, 2006 年 9 月.
- 安原英明, 操上広志, 木下尚樹, 岸田 潔 (2007): “圧力溶解現象を考慮した珪藻質岩石の透水性評価”, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.283-286, 2007 年 1 月.
- 吉村公孝, 坂下 晋, 大久保秀一, 山根一修, 瀬谷正巳 (2006): “地層処分に於ける電磁法解析技術の開発 (その 6)ー北海道幌延町における AMT 法 3 次元調査ー”, 物理探査学会第 115 回 (平成 18 年度秋季) 学術講演会, 物理探査学会第 115 回学術講演会論文集, pp.209-212, 2006 年 10 月.

2007 年度

- Aoki, K., Sugita, Y., Chijimatsu, M. and Tazaki, K. (2007): “Impacts of the thermo-hydro-mechanical experiments on the microbial activity in compacted bentonite at Kamaishi Mine, northeast Japan”, Specialist Workshop on Long-Term Performance of Smectitic Clays Embedding Canisters with Highly Radioactive Waste, 2007 年 11 月.
- 舟木泰智, 尾留川 剛, 名合牧人, 安江健一, 新里忠史, 富永英治 (2007): “大規模な地下施設を建設する際の水理地質調査; 北海道北部, 幌延地域における例”, 日本地質学会第 114 年学術大会, 2007 年 9 月.
- 市原三馨, 尾留川 剛, 山上光憲, 名合牧人, 土井崇志 (2007): “大深度立坑坑口部のマスコンクリート構造物の温度ひび割れ対策, 2; 解析結果と対策効果の確認”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会論文集, 5-591, 2007 年 9 月.
- 井尻裕二, 名合牧人, 木ノ村幸士, 杉原 豊, 重廣道子, 里 優, 國丸貴紀 (2007): “高精度傾斜計による岩盤挙動のモニタリング手法の開発”, 日本原子力学会バックエンド部会第 23 回バックエンド夏期セミナー, 2007 年 7 月.
- 今井 久, 塩崎 功, 山下 亮, 操上広志, 新里忠史, 前川恵輔, 安江健一 (2007): “地形・地質構造の変化を考慮した地下水流動解析の試み”, 日本地下水学会 2007 年秋季講演会講演要旨, pp.54-59, 2007 年 11 月.
- 今井 久, 塩崎 功, 山下 亮, 操上広志, 新里忠史, 安江健一, 前川恵輔 (2008): “気候・海水準変動が地下水流動に与える影響に関する解析的検討; 北海道幌延地域を例として”, ハザマ研究年報, pp.1-7, 2007 年 12 月.
- 石井英一, 舟木泰智, 真田祐幸 (2007): “北海道北部幌延地域の珪質泥岩中に認められる透水係数の深度依存性の要因”, 日本地質学会第 114 年学術大会, 2007 年 9 月.
- 石井英一, 安江健一, 大平寛人, 古澤 明, 長谷川 健, 中川光弘 (2008): “北海道北部, 大曲断層近傍の背斜成長の開始時期”, 地質学雑誌, Vol.114, No.6, pp.286-299.
- 岩月輝希, 吉田治生, 加藤 修, 今北 毅, 栗本宜孝, 濱 克宏 (2007): “金属有機錯体形成にかかわる有機物特性の圧力依存性について”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 2007 年 5 月.
- Karasaki, K. and Maekawa, K. (2007): “Numerical simulation of saltwater intrusion experiment”, American Geophysical Union 2007 Fall Meeting, 2007 年 12 月.
- 川村 淳, 大井貴夫, 梅田浩司, 新里忠史, 江橋 健, 北村 暁, 河内 進, 牧野仁史, 石丸恒存, 柳川玄永, 大久保博生 (2007): “放射性廃棄物地層処分に係わる天然現象影響評価研究—地質環境の長期安定性研究から影響評価にいたるまでの一連の研究開発”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 2007 年 5 月.
- 川村 淳, 大井貴夫, 梅田浩司, 新里忠史, 牧野仁史, 河内 進, 石丸恒存, 柳川玄永, 大久保博生 (2007): “放射性廃棄物地層処分に係わる天然現象影響評価研究—地質環境条件変化の検討—”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 2007 年 5 月.
- 川村 淳, 新里忠史, 安江健一, 常盤哲也, 大井貴夫, 河内 進, 石丸恒存, 梅田浩司, 牧野仁史 (2007): “高レベル放射性廃棄物処分における隆起・侵食に起因する変動シナリオのための情報整理の考え方”, 日本地質学会第 114 年学術大会, 2007 年 9 月.
- 川村 淳, 島田耕史, 丹羽正和, 黒澤英樹, 石丸恒存, 大井貴夫, 安江健一, 新里忠史, 浅森浩一, 河内 進, 牧野仁史 (2007): “高レベル放射性廃棄物処分における地震・断層活動に起因する変動シナリオのための情報整理の考え方”, 日本地震学会第 2007 年秋季大会, 2007 年 10 月.
- Kawamura, M., Umeda, K., Oi, T., Ishimaru, T., Niizato, T., Yasue, K. and Makino, H. (2007): “Study on potential changes in geological and disposal environment caused by “natural phenomena” on a HLW disposal system”, 2007 AGU Fall Meeting, 2007 年 12 月.
- 木ノ村幸士, 小川豊和, 青木智幸, 山本卓也, 松井裕哉, 真田祐幸 (2008): “堆積軟岩地山のひずみ軟化挙動を考慮した立坑の掘削時安定性評価”, 第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.307-312, 2008 年 1 月.
- 小林保之, 山田 勉, 中山 雅, 三原守弘, 内藤守正, 油井三和 (2007): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討, (1) トンネル支保工への適用性検討”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会予稿集, 2007 年 9 月.
- 小島 亘, 山上光憲, 尾留川 剛, 北川義人, 須網功二, 齋藤綾佑 (2007): “大深度立坑掘削に伴い発生するズリのモニタリング手法”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, 2007 年 9 月.
- 國丸貴紀, 平田洋一, 松波伸次朗 (2008): “幌延深地層研究計画(4)立坑掘削に伴う水理学的影響調査研究の概要”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, 2008 年 3 月.
- 國丸貴紀, 太田久仁雄, 阿部寛信, 山口雄大, 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) 研究成果報告書の概要”, 日本原子力学会バックエンド部会第 23 回バックエンド夏期セミナー, 2007 年 7 月.
- Kunimaru, T. and Yamamoto, H. (2007): “Investigation and modeling of 3D distribution of water chemistries in Horonobe, Hokkaido, Japan”, 3rd International Meeting on Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement, 2007 年 9 月.
- Kurikami, H., Takeuchi, R. and Yabuuchi, S. (2007) “Scale effect and heterogeneity of hydraulic conductivity of sedimentary rocks at Horonobe URL site”, 3rd International Meeting on Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement, 2007 年 9 月.
- 前川恵輔, 唐崎建二, 高須民男 (2007): “Laboratory experiments for seawater intrusion into freshwater aquifer

- with heterogeneity”, American Geophysical Union 2007 Fall Meeting, 2007 年 12 月.
- 前川恵輔, 柴野一則, 操上広志 (2008): “幌延深地層研究計画(3)幌延深地層研究計画における立坑掘削予測解析”, 日本原子力学会 2008 年春の年会予稿集, 2008 年 3 月.
- Matsui, H., Kurikami, H., Kunimaru, T., Morioka, H. and Hatanaka, K. (2007): “Horonobe URL project: Present status and future plan”, Rock Mechanics: Proceedings of the 1st Canada-US Rock Mechanics Symposium, pp.1193-1201, 2007 年 7 月.
- 松井裕哉, 丹生屋純夫, 名合牧人, 山本俊也 (2007): “深層ボーリング孔における新第三紀堆積岩を対象とした初期応力測定事例”, 第 42 回地盤工学研究発表会, 2007 年 7 月.
- Mito, Y., Chang, C. S., Aoki, K., Matsui, H., Niunoya, S. and Minami, M. (2007): “Evaluation of fracturing process of soft rocks at great depth by AE measurement and DEM simulation”, Proceedings of 11th Congress of the International Society for Rock Mechanics (ISRM 2007), Vol.1, pp.273-276, 2007 年 8 月.
- 三浦律彦, 小西一寛, 入矢桂史郎, 中山 雅, 松井裕哉 (2007): “ポゾランを高含有した吹付けコンクリート”, セメント・コンクリート, No.728, pp.63-67.
- 名合牧人, 井尻裕二, 木ノ村幸士, 里 優, 重廣道子, 國丸貴紀 (2007): “高精度傾斜計による立坑掘削に伴う岩盤挙動のモニタリング”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, 2007 年 9 月.
- 中田英二, 中川加明一郎, 石井英一, 岩月輝希, 早稲田 周 (2007): “土木地質調査におけるガス炭素安定同位体比の利用”, 日本応用地質学会平成 19 年度研究発表会, 2007 年 10 月.
- 中嶋誠門, 瀬尾昭治, 戸井田 克, 國丸貴紀 (2007): “堆積岩を対象とした間隙水圧長期観測データの解析的検討, 1; 地震時応答及びトレンド分析に関する検討”, 日本地下水学会 2007 年秋季講演会講演要旨, pp.118-121, 2007 年 11 月.
- 中山 雅, 小林保之, 入矢桂史郎, 小西一寛 (2007): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討, (2)幌延 URL における原位置試験への適用性検討”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, 2007 年 9 月.
- 根本健之, 梅田浩司, 浅森浩一 (2007): “MT 法スペクトル・データの効果的なスタッキング方法”, 物理探査学会第 116 回学術講演会講演論文集, pp.176-179, 2007 年 5 月.
- 根本健之, 梅田浩司, 松尾公一, 浅森浩一 (2007): “MT 法データのロバスト・スムージング手法の開発とスタッキングへの応用”, 物理探査学会第 117 回学術講演会講演論文集, pp.195-198, 2007 年 10 月.
- 新里忠史 (2007): “北海道北部, 幌延地域を事例とした地質環境の長期的変遷: 将来予測における考え方”, 日本地質学会第 114 年学術大会 (札幌大会) シンポジウム「地質環境の将来予測と地層処分: 予測科学としての地質学」, 2007 年 9 月.
- 新里忠史, 舟木泰智, 安江健一 (2007): “北海道北部, 幌延地域における後期鮮新世以降の古地理と地質構造発達史”, 地質学雑誌, vol.113, (補遺), pp.119-135.
- 新里忠史, 安江健一 (2007): “北海道北部, 幌延地域における後期鮮新世以降のテクトニクス: 沈降史解析による検討”, 日本地質学会構造地質部会 2007 年度新潟討論会および巡検一日海沿岸褶曲・断層帯の形成・成長と地震活動一, 2007 年 11 月.
- Niizato, T., Yasue, K. and Kurikami H. (2007): “Impacts of natural events and processes on groundwater flow conditions: a case study in the Horonobe area, Hokkaido, northern Japan”, Stability and buffering capacity of the geosphere for long-term isolation of radioactive waste: Application to crystalline rock, Geosphere stability workshop on crystalline rock, Manchester, United Kingdom, 13-15 November 2007, OECD/NEA, 2007 年 11 月.
- 新里忠史, 安江健一, 重野聖之, 宮坂省吾 (2007): “北海道北部, 幌延地域における地形変化について”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 2007 年 5 月.
- 小川豊和, 木ノ村幸士, 青木智幸, 山本卓也, 松井裕哉, 真田祐幸 (2008): “ひずみの局所化に注目したボーリング孔形状のシミュレーション”, 第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.301-306, 2008 年 1 月.
- 小川豊和, 青木智幸, 木ノ村幸士, 松井裕哉 (2007): “ひずみ軟化挙動を考慮した堆積軟岩中の立坑逐次掘削解析” 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, 2007 年 9 月.
- 尾留川 剛, 山上光憲, 操上広志, 柴野一則, 舟木泰智, 名合牧人, 本間和人, 萩原健司 (2007): “大深度立坑周囲に構築した止水壁による地盤の透水性の低減及び立坑湧水量の予測解析結果”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, 2007 年 9 月.
- 尾留川 剛, 山上光憲, 市原三馨, 名合牧人, 土井崇志 (2007): “大深度立坑坑口部のマスコンクリート構造物の温度ひび割れ対策, 1; 検討方針と解析方法の概要”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, 2007 年 9 月.
- 尾留川 剛, 松井裕哉, 操上広志, 舟木泰智, 森岡宏之 (2008): “幌延深地層研究計画における地下研究施設建設時の課題と対応策(<小特集>大型プロジェクトの地盤工学的な問題と対処法)”, 土と基礎, Vol. 56, pp. 32-35, 2008 年 1 月.
- 太田久仁雄, 茂田直孝, 岩月輝希 (2008): “幌延深地層研究計画(1)第 2 段階における調査研究の現状”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, 2008 年 3 月.
- 真田祐幸, 松井裕哉, 山本卓也, 青木智幸, 小川豊和, 城 まゆみ, 藤井義明 (2007): “珪質岩盤中の坑道掘削に伴う水・応力連成挙動に関する数値解析的検討”, 平成 19 年度資源・素材学会北海道支部総会及び春季講演会, 2007 年 6 月.
- 真田祐幸, 山口真基, 藤井義明, 福田和寛, 松井裕哉 (2007): “幌延地域に分布する新第三紀珪質岩の等方圧縮試験”, 平成 19 年度資源・素材学会秋季大会, 2007 年 9 月.
- 真田祐幸, 花川敏幸, 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)研究成果報告書の概要; 「堆積岩を対象とした深地層における工学技術の基礎の開発, 地下施設建設に伴う周辺地質環境への影響調査」, 日本原子力学会バックエンド部会第23回バックエンド夏期セミナー, 2007年7月.
- Sato, H. (2007): “Thermodynamic understanding on swelling pressure of bentonite buffer”, Proceedings of 15th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-15), 2007年4月.
- Sato, H. (2007): “Thermodynamic model on swelling of bentonite buffer and backfill materials”, 3rd International Meeting on Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement, 2007年9月.
- 佐藤治夫 (2007): “月布産スメクタイト層間中の交換性陽イオンの定量”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, 2007 年9月.
- 佐藤治夫 (2008): “緩衝材及び埋め戻し材の膨潤圧の熱力学的計算”, 第10回放射線性廃棄物地層処分に係る情報交換会 (Sapporo Conference 2008), 2008年6月.
- 佐藤治夫 (2008): “緩衝材及び埋め戻し材の膨潤圧に及ぼす塩濃度の影響に関する熱力学的アプローチ”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, 2008年3月.
- 瀬尾昭治, 戸井田 克, 渡辺邦夫, Sohail, A.R., 國丸貴紀 (2007): “堆積岩を対象とした間隙水圧長期観測データの解析的検討, 2: 遺伝的アルゴリズム及びニューラルネットワークを用いた検討”, 日本地下水学会 2007 年秋季講演会, 2007年11月.
- Tanaka, S., Noda, N., Sato, S., Kozaki, T., Higashihara, T., Sato, H. and Hatanaka, K. (2007): “Diffusion of H₂O and electro-osmosis in water-saturated compacted Na-montmorillonite using H₂¹⁸O as a tracer”, 3rd International Meeting on Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement, 2007年9月.
- 戸村豪治, 前川恵輔, 操上広志, 柴野一則, 國丸貴紀, 原 稔 (2008): “幌延深地層研究計画(2)表層水理調査の現状”, 日本原子力学会 2008 年春の年会予稿集, 2008年3月.
- Tsusaka, K., Tanimoto, C., Mitarashi, Y. and Aoki, T. (2007): “A Study on development of loosening zone and allowable limit of deformation in tunnelling”, 11th Congress of the International Society for Rock Mechanics (ISRM 2007), 2007年7月.
- 津坂仁和, 谷本親伯, 中根達人, 上野宇頭, 小泉 悠 (2008): “TBM 施工における掘削ずりと二次破碎の評価”, 第37回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.31-36, 2008年1月.
- 上原真一, 嶋本利彦, 操上広志, 舟木泰智, 大西有三 (2007): “北海道幌延地域における新第三紀及び第四紀堆積岩のガス浸透率及び間隙率の応力依存性に関する実験的研究”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 2007年5月.
- 上原真一, 嶋本利彦, 操上広志, 新里忠史, 舟木泰智, 大西有三 (2007): “室内試験結果を用いた新第三紀及び第四紀堆積岩地盤の浸透率及び間隙率の深度分布の推定; 北海道幌延地域を例として”, 土木学会平成 19 年度全国大会第62回年次学術講演会, 2007年9月.
- Uehara, S., Shimamoto, T., Kurikami, H., Niizato, T., Funaki, H. and Onishi, Y. (2007): “Estimation of porosity and permeability as a function of depth in Neogene and Quaternary sedimentary basin at Horonobe, Hokkaido, Japan, based on laboratory tests”, EIT-JSCE Joint Seminar on Rock Engineering 2007, 2007年9月.
- 安江健一, 新里忠史 (2007): “北海道北部, 幌延地域における後期鮮新世以降の堆積物の年代と古地理復元”, 日本地質学会構造地質部会 2007 年度新潟討論会および巡検一日北海道沿岸褶曲・断層帯の形成・成長と地震活動一, 2007年11月.
- 安江健一, 三箇智二, 野上道男, 田力正好, 新里忠史 (2007): “地質分布を考慮した河床縦断形のシミュレーション”, 日本地質学会第114年学術大会, 2007年9月.
- 安原英明, 木下尚樹, 操上広志, 中島伸一郎, 岸田 潔 (2007): “温度・応力に依存する化学溶解・沈殿現象を考慮した珪藻質岩石の透水性経時評価”, 土木学会論文集 C, Vol. 63, No. 4, pp.1091-1100.

2008 年度

- 天野健治, 濱 克宏, 三枝博光, 松岡稔幸, 竹内真司, 岩月輝希, 宮本哲雄, 豊田岳司 (2008): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 4; 東濃地域の地質環境調査事例を対象としたボーリング調査のノウハウや判断根拠の分析”, 日本原子力学会 2008 年秋の大会, 2008年9月.
- 青木智幸, 真田祐幸, 城 まゆみ, 山本卓也, 松井裕哉 (2008): “堆積軟岩中の坑道掘削に伴う応力・水連成現象による長期的変形挙動について”, 第12回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.709-716, 2008年9月.
- 浅森浩一, 國友孝洋, 中島崇裕, 大原英史, 茂田直孝, 渡辺俊樹, 熊澤峰夫 (2008): “ACROSS の地質環境モニタリング技術への適用ー北海道幌延地域における遠隔監視システムの開発ー”, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008年5月.
- Doughty, C., Thang, C.-F., Hatanaka, K., Yabuuchi, S. and Kurikami, H. (2008): “Application of direct-fitting, mass integral, and multirate methods to analysis of flowing fluid electric conductivity logs from Horonobe, Japan”, Water resources research, vol.44, W08403, 2008年8月.

- 舟木泰智, 石井英一, 常盤哲也 (2009): “新第三紀堆積岩中の割れ目は主要な水みちとなり得るか?”, 応用地質, Vol.50, No.4, pp.238-247, 2009年10月.
- 濱 克宏, 天野健治, 三枝博光, 宮本哲雄, 豊田岳司, 太田久仁雄 (2008): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 3; 東濃地域の地質環境調査事例を対象とした統合化データフローダイアグラム作成の履歴分析”, 日本原子力学会 2008 年秋の大会, 2008 年 9 月.
- 畠山信也, 山崎雅直, 井上雅弘, 坂井哲郎, 奥園昭彦 (2009): “大深度地下施設における火災ガス挙動に関する研究”, 第 14 回地下空間シンポジウム論文・報告集, pp.165-172, 2009 年 1 月.
- Hatanaka, K., Osawa, H. and Umeki, H. (2008): “Geosynthesis: Testing a safety case methodology at generic Japanese URLs”, Proceedings of 3rd Amigo Workshop on Approaches and Challenges for the Use of Geological Information in the Safety Case, 2008 年 4 月.
- 羽出山吉裕, 井尻裕二, 名合牧人, 亀村勝美, 里 優, 佐ノ木 哲, 國丸貴紀 (2008): “立坑掘削に伴う岩盤挙動に関する高精度傾斜計測結果と弾性解析の比較”, 土木学会平成 20 年度全国大会第 63 回年次学術講演会, 2008 年 9 月.
- 本多 眞, 櫻井英行, 鈴木 誠, 穂刈利之, 岩佐健吾, 松井裕哉, 杉田 裕, 真田祐幸 (2008): “地球統計学に基づく統合比抵抗値モデルの構築と地下水水質分布の推定—その 1: 統合比抵抗値モデルの有効性検討—”, 第 43 回地盤工学研究発表会講演要旨集, 2008 年 7 月.
- 井尻裕二, 羽出山吉裕, 名合牧人, 亀村勝美, 里 優, 佐ノ木 哲, 國丸貴紀 (2008): “幌延深地層研究所施設工事における高精度傾斜計データの分析”, 土木学会平成 20 年度全国大会第 63 回年次学術講演会, 2008 年 9 月.
- Ishii, E., Funaki, H., Tokiwa, T. and Ota, Kunio (2008): “Relationship between growth mechanism of faults and permeability variations with depth in siliceous mudstone”, Fault Zones: Structure, Geomechanics and Fluid Flow, The Geological Society, 2008 年 9 月.
- 石井英一, 舟木泰智 (2008): “北海道北部、幌延地域の珪質泥岩中における割れ目の発達メカニズムと岩盤透水係数の深度依存性との関係”, 日本地質学会第 115 年学術大会, 2008 年 9 月.
- 石井英一, 舟木泰智, 平賀正人 (2008): “北海道幌延地域を事例とした地質環境調査評価技術の研究開発; 地質・地質構造に関する調査”, 日本原子力学会バックエンド部会第 24 回バックエンド夏期セミナー, 2008 年 7 月.
- 岩月輝希, 濱 克宏, 今北 毅, 栗本宣孝, 吉田治生, 加藤 修 (2008): “微量元素の有機錯体形成にかかわる圧力依存性について”, 2008 年度日本地球化学会年会, 2008 年 9 月.
- Iwatsuki, T., Mizuno, T., Hama, K. and Kunimaru, T. (2008): “Hydrochemical records on long-term changes of deep groundwater system, Japan”, Proceedings of 36th International Association of Hydrogeologists Congress 2008 (IAH 2008), 2008 年 10 月.
- 岩月輝希, 森川佳太, 細谷真一, 吉川英樹 (2009): “深部地下水の物理化学パラメータ(pH、酸化還元電位)の計測とその留意点”, 地下水学会誌, Vol.51, No.3, pp.205-214.
- 岩月輝希, 竹内真司 (2008): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 5; 諸外国の地質環境調査事例を対象としたノウハウや判断根拠の分析”, 日本原子力学会 2008 年秋の大会, 2008 年 9 月.
- Iwatsuki, T., Yoshikawa, H., Asano, T. and Sasaki, Y. (2008): “Long-term evolution of water-rock-microbe system in Horonobe, Japan”, 7th International Symposium for Subsurface Microbiology (ISSM 2008), 2008 年 11 月.
- 甲斐邦男, 前川恵輔 (2008): “北海道天北地方幌延地域の新第三系珪藻質泥岩中の続成鉱物の分布—地下水流動の推定—”, 日本地熱学会誌, Vol.30, No.3, pp.205-214.
- 甲斐邦男, 前川恵輔 (2009): “北海道幌延地域の新第三系珪藻質泥岩中の地下水の酸素・水素同位体比と塩化物イオン濃度”, 石油技術協会誌, Vol.74, No.1, pp.96-106.
- 加藤春實, 中村隆浩, 真田祐幸, 杉田 裕, 伊藤高敏 (2008): “水圧破砕及びボアホールブレイクアウトのデータを用いた初期地圧の算出”, 平成 20 年度資源・素材学会合同秋季大会, 2008 年 10 月.
- Kato, A., Kawada, K., Hoshi, K., Hara, A., Kai, K. Maekawa, K. (2008): “Development of 3-D geological modeling software based on sedimentary process of diatomaceous sediment”, AAPG Bulletin.
- Kawamura, M., Yasue, K., Niizato, T., Tokiwa, T., Ebashi, T., Oi, T., Makino, H., Ishimaru, T. and Umeda, K. (2008): “Study on perturbation scenario for uplift and denudation in performance assessment of a HLW disposal system”, Proceedings of 2008 East Asia Forum on Radwaste Management Conference (2008 EAFORM 2nd Conference) (USB Flash Drive), 2008 年 10 月.
- 北川義人, 藤川大輔 (2008): “近年の地下空間利用例; 幌延深地層研究計画地下施設”, エンジニアリング振興協会地下利用推進専門部会, 2009 年 1 月.
- 北沢俊幸 (2009): “北海道北部天塩平野における海岸砂丘列の配列様式と年代”, 日本堆積学会 2009 年京都大会, 2009 年 3 月.
- 北沢俊幸, 重野聖之, 小板橋重一, 宮坂省吾, 新里忠史, 保柳康一 (2008): “北海道北部地域幌延町に分布する下部更新統更別層のシーケンス層序”, 日本地質学会第 115 年学術大会, 2008 年 9 月.
- 北沢俊幸, 重野聖之, 小板橋重一, 宮坂省吾, 新里忠史, 保柳康一 (2008): “小規模デルタの形成過程における暴浪および洪水流の役割”, 日本堆積学会 2008 年大会, 2008 年 4 月.
- Kitazawa, T., Shigeno, K., Koitabashi, S., Miyasaka, S., Niizato, T. and Hoyanagi, K. (2008): “Storm-influenced tiny delta”, International Conference on DELTAS, 2008 年 10 月.
- 小林保之, 中山 雅, 竹田宣典, 松田 武 (2008): “暴露試験による低アルカリ性コンクリート中の鉄筋腐食に関する検討”, 土木学会平成 20 年度全国大会第 63 回年次学術講演会, 2008 年 9 月.
- 小島 亘, 山上光憲, 齋藤綾佑, 北川義人, 萩原健司, 藤川大輔 (2008): “振とう時間が及ぼすホウ素溶出量への影

- 響”，土木学会平成 20 年度全国大会第 63 回年次学術講演会，2008 年 9 月。
- 小島 亘，山上光憲，北川義人，尾留川 剛，土井崇志，齋藤綾佑，藤川大輔 (2008): “大深度立坑掘削に伴い発生するブリのモニタリング手法経過報告”，土木学会平成 20 年度全国大会第 63 回年次学術講演会，2008 年 9 月。
- 國丸貴紀，太田久仁雄，Russell W.A., 山本 肇 (2009): “幌延深地層研究計画：(1)地上からの調査における地下水水質データの品質保証”，日本原子力学会 2009 年春の年会，2009 年 3 月。
- 國丸貴紀，山中義彰，太田久仁雄，新里忠史，浅森浩一，平賀正人，松岡稔幸 (2008): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発，7；沿岸域を対象とした地質環境調査・評価のノウハウや判断根拠の抽出と整理”，日本原子力学会 2008 年秋の大会，2008 年 9 月。
- 操上広志，竹内竜史，藪内 聡，瀬尾昭治，戸村豪治，柴野一則，原 稔，國丸貴紀 (2008): “幌延深地層研究計画の地上からの調査研究段階における地下水流動に関する調査研究”，土木学会論文集 C, Vol. 64, No. 3, pp.680-695。
- 前川恵輔，川村 淳，加藤智子，戸村豪治，稲垣 学(2008): “北海道幌延地域を事例とした堆積岩地域の浅層部における水理・物質移行特性把握のための手法検討の進め方”，日本原子力学会バックエンド部会第 24 回バックエンド夏期セミナー，2008 年 7 月。
- 前川恵輔，原 彰男，川村 淳，加藤 新 (2009): “前進的モデルによる堆積岩地域の地質構造推定手法の検討；幌延地域を事例とした適用性検討”，日本原子力学会 2009 年春の年会，2009 年 3 月。
- 前川恵輔，新里忠史，今井 久，塩崎 功，山下 亮 (2008): “地質環境の長期的な変遷を考慮した地下水流動への影響の検討”，日本地下水学会 2008 年秋季講演会，2008 年 11 月。
- 前川恵輔，新里忠史，操上広志，浅森浩一，今井 久，塩崎 功 (2008): “幌延深地層研究計画における地質環境の長期安定性研究—地下水流動の長期的変遷に関わる検討—”，日本地球惑星科学連合 2008 年大会，2008 年 5 月。
- 前川恵輔，新里忠史，常盤哲也，浅森浩一 (2008): “地質環境の長期安定性に関する研究の現状，4；幌延を事例とした地質環境の長期変遷”，日本原子力学会 2008 年秋の大会，2008 年 9 月。
- 松岡稔幸，山中義彰，浅森浩一，天野健治，新里忠史，太田久仁雄，茂田直孝，丸井敦尚，内田利弘 (2008): “沿岸域プロジェクト，2；幌延町の沿岸域を対象とした既存情報の収集・解釈と地上物理探査による地質構造と水質分布の推定”，日本原子力学会 2008 年秋の大会，2008 年 9 月。
- 水野 崇，岩月輝希，濱 克宏，三枝博光 (2008): “地球化学データに基づく地下水流動状態の長期的変遷に関する検討”，2008 年度日本地球化学会年会，2008 年 9 月。
- Möri, A., Soler, P., Ota, K. and Havlova, V. (2007): “Grimsel test site phase VI, LTD WP 1; Predictive modelling for LTD monopole experiment”, Nagra NAB 07-42, 2007 年 12 月。
- Moriya, H., Asamori, K., Kitamura, I., Hotta, H., Ohara, H. Niizato, T. (2008) : “Estimation of crustal structure in Horonobe area, Hokkaido, Japan, by using Multiplet-Clustering analysis”, The 19th International Acoustic Emission Symposium, 2008 年 12 月。
- 苗村由美，井尻裕二，澤田 淳，國丸貴紀，太田久仁雄 (2008): “割れ目を対象とした原位置トレーサ試験結果に対する 1 次元モデルの適用性に関する検討”，土木学会平成 20 年度全国大会第 63 回年次学術講演会，2008 年 9 月。
- 長尾誠也，岩月輝希，吉川英樹 (2008): “北海道幌延地域の深部地下水中腐植物質の特徴”，2008 年度日本地球化学会年会，2008 年 9 月。
- 永田 寛，本多照幸，岩月輝希 (2008): “断層帯における主要及び微量元素の分布と挙動”，日本地球惑星科学連合 2008 年大会，2008 年 5 月。
- 永田 寛，本多照幸，岩月輝希，水野 崇 (2008): “地球化学的環境の相違に起因する堆積岩中の微量・主要元素の分布と挙動”，第 45 回アイソトープ・放射線研究発表会，2008 年 7 月。
- 永田 寛，本多照幸，岩月輝希，水野 崇 (2008): “深部岩盤中の微量元素を対象としたナチュラアナログ研究”，日本原子力学会 2008 年秋の大会予稿集，2008 年 9 月。
- 中村隆浩，加藤春實，真田祐幸，杉田 裕 (2008): “珪藻質泥岩における水圧破碎法による初期地圧の推定”，第 12 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.297-303, 2008 年 9 月。
- 中山 雅，小林保之，佐藤治夫，入矢桂史郎，納多 勝，松田 武 (2009): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討- (3) 6 年間の海洋暴露試験に基づいた鉄筋コンクリートの耐久性評価”，日本原子力学会 2009 年春の年会 2009 年 3 月。
- 根本健之，梅田浩司，浅森浩一 (2008): “MT 法における 2 次元抵抗断面の不確実性評価に関する一考察”，物理探査学会第 118 回学術講演会論文集，pp.198-201, 2008 年 5 月。
- 新里忠史 (2008): “天然現象に対する深部地質環境の応答；北海道北部、幌延地域を事例とした地下水の流動状態の長期的変遷”，日本地質学会第 115 年学術大会，2008 年 9 月。
- 新里忠史，前川恵輔，安江健一，浅森浩一，操上広志，今井 久，塩崎 功 (2008): “幌延深地層研究計画における地質環境の長期安定性研究—地質環境の長期的変遷に関わる調査・解析・評価技術の体系化の試み—”，日本地球惑星科学連合 2008 年大会，2008 年 5 月。
- Niizato, T., Yasue, K., Kurikami, H., Kawamura, M. and Oi, T. (2008): “Synthesising geoscientific data into a site model for performance assessment; A Study on the long-term evolution of the geological environment in and around the Horonobe URL, Hokkaido, northern Japan”, 3rd Amigo Workshop, OECD/NEA, 2008 年 4 月。
- 新里忠史，安江健一，操上広志 (2008): “幌延深地層研究計画における地質環境の長期安定性研究—地質環境の将来予測に関わる検討—”，日本地球惑星科学連合 2008 年大会，2008 年 5 月。
- 小川豊和，青木智幸，木ノ村幸士，真田祐幸，松井裕哉 (2008): “物性の深度依存性を考慮した堆積軟岩中の立坑

- 掘削解析”，土木学会第 63 回年次学術講演会，2008 年 9 月。
- 小川豊和，木ノ村幸士，青木智幸，山本卓也，真田祐幸，松井裕哉 (2008): “物性の深度依存性を考慮した堆積軟岩中の大深度立坑逐次掘削解析”，第 12 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.933-940，2008 年 9 月。
- Osawa, H., Umeki, H., Ota, K., Hama, K., Sawada, A., Takeuchi, S., Semba, T., Takase, H. and McKinley, I. G. (2009): “Development of next-generation technology for integrated site characterization of deep geological repositories”, Proceedings of International Waste Management Symposium 2009 (WM '09), 2009 年 3 月。
- 太田久仁雄，茂田直孝，丸井敦尚，内田利弘，木方建造，長谷川琢磨 (2008): “沿岸域プロジェクト，1；全体計画”，日本原子力学会 2008 年秋の大会，2008 年 9 月。
- 太田久仁雄，國丸貴紀，W. Russell A. (2009): “幌延深地層研究計画：(2)採水調査のための現場品質マニュアルの整備”，日本原子力学会 2009 年春の年会，2009 年 3 月。
- 三枝博光，太田久仁雄，新里忠史，天野健治，山中義彰，前川恵輔，國丸貴紀，濱 克宏 (2008): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発，6；沿岸域を対象とした統合化データフローダイアグラムの構築”，日本原子力学会 2008 年秋の大会，2008 年 9 月。
- 櫻井英行，本多 眞，鈴木 誠，穂刈利之，岩佐健吾，松井裕哉，杉田 裕，真田祐幸 (2008): “地球統計学に基づく統合比抵抗値モデルの構築と地下水水質分布の推定—その 2：モデルの信頼性と調査計画の関係に関するケーススタディー”，第 43 回地盤工学発表会，2008 年 7 月。
- 真田祐幸，加藤春實，中村隆浩，杉田 裕，藤井義明 (2008): “水圧破砕法とブレイクアウト法による堆積軟岩中での初期地圧の推定”，平成 20 年度資源・素材学会北海道支部大会，2008 年 6 月。
- 真田祐幸，松井裕哉，藤井義明 (2008): “幌延地域に分布する珪質岩の力学特性”，第 12 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.703-708，2008 年 9 月。
- Sasaki, Y., Asano, T., Iwatsuki, T., Yoshikawa, H. and Yui, M. (2008): “Microbial communities of groundwater from deep borehole in Horonobe, Japan”, Extremophiles 2008 Meeting, 2008 年 9 月。
- Sato, H. (2008): “A thermodynamic approach on effect of salinity on swelling pressure of bentonite”, 4th Japan-Korea Joint Workshop on Radioactive Waste Disposal 2008: Perspective of Science and Engineering, 2008 年 5 月。
- Sato, H. (2008): “A thermodynamic approach on the effect of salt concentration on swelling pressure of water-saturated bentonite”, International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXII, 2008 年 12 月。
- Sato, H. (2008): “Thermodynamic model on swelling of bentonite buffer and backfill materials”, Physics and Chemistry of the Earth 33, pp.S538-S543, 2008 年 12 月。
- 佐藤治夫 (2009): “高レベル放射性廃棄物地層処分における緩衝材の核種移行抑制機能”，Journal of MMIJ, vol.125, No.1, pp.1-12, 2009 年 1 月。
- 佐藤治夫 (2009): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討：幌延地下研究施設における深度 140m 水平坑道での原位置試験計画概要”，第 11 回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会 (Sapporo Conference 2009)，2009 年 3 月。
- 佐藤治夫 (2008): “緩衝材及び埋め戻し材の膨潤圧の熱力学的計算”，第 10 回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会 (Sapporo Conference 2008)，2008 年 6 月。
- 佐藤治夫，中山 雅，杉田 裕，畑中耕一郎，入矢桂史郎，納多 勝 (2009): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討-(4)幌延 URL における深度 140m 水平坑道での原位置試験計画”，日本原子力学会 2009 年春の年会，2009 年 3 月。
- 仙波 毅，大澤英昭，太田久仁雄，濱 克宏，澤田 淳，梅本博之 (2008): “次世代型サイト特性調査情報統合システム，1；開発のアプローチと開発計画”，日本原子力学会バックエンド部会第 24 回バックエンド夏期セミナー，2008 年 7 月。
- 重廣道子，豊田岳司，大澤英昭，宮本哲雄，里 優 (2008): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発，2；地質環境総合評価にかかわる知識の分類”，日本原子力学会 2008 年秋の大会，2008 年 9 月。
- 茂田直孝 (2008): “ウラン探査における物理探査”，最新の物理探査適用事例集，pp.61-68，2008 年 10 月。
- 茂田直孝 (2008): “高レベル放射性廃棄物の地層処分における物理探査の役割と深地層の科学的研究における物理探査技術開発”，最新の物理探査適用事例集，pp.257-264，2008 年 10 月。
- 杉田 裕 (2009): “幌延の地下研を例とした放射性廃棄物地層処分技術と地盤工学”，地盤工学会誌，Vol.57, No.2, pp.14-17。
- 竹田宣典，入矢桂史郎，人見 尚，小西一寛，栗原雄二 (2008): “低アルカリコンクリートの鉄筋腐食ひび割れの予測に関する研究”，大林組技術研究所報，vol.72，2008 年 12 月。
- 田中真悟，野田菜摘子，佐藤正知，小崎 完，佐藤治夫，畑中耕一郎 (2008): “拡散と電気浸透現象を利用した圧縮モンモリロナイト中の水の移行挙動”，日本原子力学会 2008 年秋の大会，2008 年 9 月。
- Tanaka, S., Noda, N., Higashihara, T., Sato, S., Kozaki, T., Sato, H., Hatanaka, K. (2008): “Kinetics behavior of water as migration media in compacted montmorillonite using $H_2^{18}O$ and applying electric potential gradient”, Physics and Chemistry of the Earth 33, pp.S163-S168, 2008 年 12 月。
- 田中真悟，野田菜摘子，佐藤正知，小崎 完，佐藤治夫，畑中耕一郎 (2008): “電位勾配下における圧縮モンモリロナイト中の Cl^- イオンの移行挙動”，日本原子力学会 2009 年春の年会，2009 年 3 月。
- 谷 卓也，下野正人，岩野政浩，山本卓也，山崎雅直，真田祐幸 (2008): “ショートステップ工法における地中変位挙動の評価”，第 12 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.319-324，2008 年 9 月。
- 常盤哲也，浅森浩一，新里忠史，安江健一，阿部寛信，前川恵輔 (2008): “幌延深地層研究計画における地質環境

- の長期安定性研究－「断層活動」を対象とした調査の体系化の取り組み－，日本地球惑星科学連合 2008 年大会，2008 年 5 月．
- 常盤哲也，石井英一，舟木泰智 (2008)：“北海道北部幌延地域におけるボーリングコアの小断層解析”，日本地質学会第 115 年学術大会，2008 年 9 月．
- 戸村豪治，前川恵輔，横田秀晴 (2008)：“幌延深地層研究計画における表層水理現地調査”，日本地下水学会 2008 年秋季講演会講演要旨，pp.160-165，2008 年 11 月．
- 津坂仁和，小泉 悠，谷本親伯，亀山克裕，宮嶋保幸 (2008)：“TBM 施工における二次破砕を考慮したディスクカッタの交換寿命の評価”，トンネル工学報告集，vol.18，pp.77-84，2008 年 11 月．
- 津坂仁和，山崎雅直，羽出山吉裕，山本卓也 (2008)：“幌延深地層研究所の立坑掘削に伴うコンバージェンス曲線の評価”，第 12 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.311-317，2008 年 9 月．
- Tsusaka, K., Yamazaki, M., Hatsuyama, Y. and Yamamoto, T. (2008): “Proposal of a practical guide of convergence measurements in Horonobe Underground Research Laboratory”, Proceedings of 42nd U.S. Rock Mechanics Symposium and 2nd U.S.-Canada Rock Mechanics Symposium, ARMA 08-027, 2008 年 6 月．
- 津坂仁和，山崎雅直，羽出山吉裕，山本卓也 (2008)：“幌延深地層研究所の立坑掘削におけるコンバージェンス曲線の評価”，第 12 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.311-317，2008 年 9 月．
- 津坂仁和，山崎雅直，南出賢司，羽出山吉裕 (2008)：“幌延深地層研究所における立坑底盤の割れ目の方向性と傾度分布”，土木学会第 63 回年次学術講演会，pp.781-782，2008 年 9 月．
- 梅木博之，大澤英昭，太田久仁雄，濱 克宏，澤田 淳，高瀬博康(2008)：“次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発，1；基本的考え方”，日本原子力学会 2008 年秋の大会，2008 年 9 月．
- 藪内 聡，國丸貴紀，太田久仁雄，Frieg, B. (2009)：“幌延深地層研究計画：(3)地上からの調査における水理試験データの品質保証”，日本原子力学会 2009 年春の年会，2009 年 3 月．
- 山中義彰，平賀正人，浅森浩一 (2008)：“沿岸域プロジェクト；北海道幌延町の沿岸域における地質環境に関する調査・評価技術の整備”，日本原子力学会バックエンド部会第 24 回バックエンド夏期セミナー，2008 年 7 月．
- 山中義彰，松岡稔幸，浅森浩一，太田久仁雄 (2008)：“幌延沿岸域を対象とした地質環境の調査・評価技術の整備”，物理探査学会第 119 回学術講演会講演論文集，pp.73-75，2008 年 10 月．
- 山西 毅，関谷美智，鈴木達也，伊藤誠二，北川義人，萩原健司，土井崇志，齋藤綾佑 (2008)：“重金属含有掘削ブリのモニタリング手法”，平成 20 年度資源・素材学会北海道支部総会及び春季講演会，2008 年 6 月．
- 山本 肇，下茂道人，國丸貴紀 (2008)：“内陸部における塩淡水境界形状に着目した地下水流動モデルのキャリブレーションの試み”，土木学会平成 20 年度全国大会第 63 回年次学術講演会，2008 年 9 月．
- 山本真哉，本多 眞，櫻井英行，鈴木 誠，白石知成，松井裕哉，杉田 裕，真田祐幸 (2008)：“比抵抗探査および試験孔のデータによる地下水水質分布の地球統計学的推定”，日本地下水学会秋季講演会講演要旨，pp.126-129，2008 年 11 月．
- 山崎雅直，森岡宏之，羽出山吉裕，津坂仁和 (2008)：“幌延深地層研究計画における立坑掘削の情報化施工と挙動計測”，第 12 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.305-310，2008 年 9 月．
- 山崎雅直，津坂仁和，羽出山吉裕，南出賢司，高橋昭博 (2009)：“立坑掘削における内空変位の初期変形率と覆工コンクリート応力の相関”，第 38 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.196-201，2009 年 1 月．
- 山崎雅直，関谷美智，藤川大輔，北川義人 (2009)：“幌延深地層研究計画における立坑工事の施工実績とサイクルタイム分析”，第 14 回地下空間シンポジウム論文・報告集，pp.191-196，2009 年 1 月．
- 山下 亮，今井 久，塩崎 功，前川恵輔，新里忠史 (2008)：“堆積岩地域における深部の過剰間隙水圧についての検討”，日本地下水学会 2008 年秋季講演会，2008 年 11 月．
- Yasue, K., Saegusa, H., Onoe, H., Takeuchi, R. and Niizato, T. (2008): “Study for evaluation of the influence of long-term climate change on deep groundwater flow conditions; Integration of paleo-climatology and hydrogeology”, Proceedings of 36th International Association of Hydrogeologists Congress 2008 (IAH 2008), 2008 年 10 月．

2009 年度

- 阿部寛信，下山 正，山崎雅直，佐ノ木 哲 (2009)：“幌延深地層研究計画，深地層の工学技術の基礎の開発，地下施設の防災対策についての検討（通気網解析）”，日本原子力学会バックエンド部会第 25 回バックエンド夏期セミナー，2009 年 7 月．
- Alexander, W.R., Ota, K., Niizato, T. and Kunimaru, T. (2009) : “Palaeohydrogeology in coastal site characterisation: a case study at Horonobe, Japan”, Goldschmidt Conference, 2009 年 6 月．
- 天野健治，新里忠史，太田久仁雄 (2010)：“幌延・沿岸域を対象とした地質環境特性の長期変遷の評価（2）地質環境の変遷と概念モデルの構築”，日本原子力学会 2010 年春の年会，2010 年 3 月．
- 福井勝則，大久保誠介，稲垣大介，羽出山吉裕，山本卓也 (2009)：“ブームヘッダの掘削体積比エネルギーと岩盤物性”，平成 21 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会，2009 年 9 月．
- 濱 克宏，岩月輝希 (2009)：“超深地層研究所計画地表からの調査予測研究段階(第 1 段階)の成果と今後の展望”，第 54 回地盤工学シンポジウム，2009 年 11 月．
- 畑中耕一郎 (2009)：“幌延深地層研究計画；調査研究の全体概要”，日本原子力学会バックエンド部会第 25 回バック

- クエント夏期セミナー，2009年7月。
- 畑中耕一郎，中山 雅 (2010)：“低アルカリ性セメントを用いた地下施設の本格的な施工；安全な地層処分実現に向けた新技術の実証”，コンクリートテクノ，Vol.29，No.2，pp.36-44。
- 平賀正人，石井英一，新沼寛明 (2009)：“幌延深地層研究計画 地質環境調査技術開発—三次元可視化ソフトを用いた地質構造解析とその有効性—”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月。
- 井尻裕二，羽出山吉裕，名合牧人，里 優，佐ノ木 哲，國丸貴紀，杉田 裕 (2009)：“高精度傾斜計による岩盤・地下水挙動のモニタリング手法の開発”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月。
- 今井 久，塩崎 功，山下 亮，前川恵輔，新里忠史 (2009)：“地質環境の長期変遷を考慮した地下水流動解析手法の開発と課題”，日本地下水学会2009年秋季講演会，2009年10月。
- 稲垣大介，佐野満昭，津坂仁和 (2009)：“幌延深地層研究計画，深地層の工学的技術の基礎の開発；立坑掘削時における初期変形率を用いた覆工コンクリート応力の収束値の推定”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月。
- 石橋朋剛，永翁一代，勝山千恵，梨本裕晃，浅野貴博，佐々木祥人，岩月輝希，吉川英樹，加藤憲二 (2009)：“深部地下圏における微生物の増殖と原生動物による捕食”，日本微生物生態学会第25回大会，2009年11月。
- Ishii, E., Funaki, H., Tokiwa, T and Ota, K. (2009): “Relationship between fault growth mechanism and permeability variations with depth of siliceous mudstones in northern Hokkaido, Japan”, Journal of Structural Geology, Vol.32, Issue.11, pp.1792-1850.
- 石井英一，平賀正人，藪内 聡，横田秀晴，古澤 明 (2009)：“堆積岩中における割れ目の形成過程に基づく高透水路の連続方向の推定；北海道北部，幌延地域の珪質泥岩の例”，日本地質学会第116年学術大会，2009年9月。
- 板津 透，加藤智子，稲垣 学，前川恵輔，鈴木祐二，小山田 潔 (2010) “生物圏評価モデルの構築を目的とした表層環境における地下水流動解析の試行”，日本原子力学会2010年春の年会，2010年3月。
- 岩月輝希，石井英一 (2009)：“北海道幌延地域における地球化学環境の長期変遷にかかわるシステム解析”，日本地球惑星科学連合2009年大会，2009年5月。
- 岩月輝希，石井英一，新里忠史 (2009)：“北海道幌延地域における深部地球化学環境の長期変遷シナリオの構築”，地学雑誌，Vol.118，No.4，pp.700-716。
- 岩月輝希，石井英一，本多照幸 (2009)：“北海道幌延地域における地球化学環境の長期変遷と微量元素分布”，2009年度日本地球化学学会年会，2009年9月。
- Karasaki, K., Ito, K., Wu, Y., Shimo, M., Sawada, A., Maekawa, K. and Hatanaka, K. (2009)：“Uncertainty reduction of hydrologic models using data from surface-based investigation”，Proceedings of TOUGH Symposium 2009，2009年9月。
- 香西直文，大貫敏彦，岩月輝希 (2009)：“SEC-UV-Vis-ICP-MS法を用いた幌延地下水の特性評価”，2009年度日本地球化学学会年会，2009年9月。
- 北川義人，山崎雅直，萩原健司，南出賢司，関谷美智 (2009)：“幌延深地層研究計画におけるサイクルタイムの分析”，土木学会平成21年度全国大会第64回年次学術講演会，2009年9月。
- 北沢俊幸，常盤哲也 (2010)：“天塩川河口砂州周辺における地中レーダー探査と OSL 年代測定”，日本堆積学会2010年大会，2010年3月。
- 小林保之，杉田 裕，泉 敦，戸井田 克，笹倉 剛 (2009)：“地層処分におけるグラウト技術の高度化開発，10；原位置適用性試験計画”，土木学会平成21年度全国大会第64回年次学術講演会，2009年9月。
- 小松 満，西垣 誠，瀬尾昭治，平田洋一，國丸貴紀 (2009)：“光ファイバー式圧力計を用いた土中水分量計測に関する研究”，日本地下水学会2009年秋季講演会，2009年10月。
- 窪田健二，鈴木浩一，杉田 裕，榊原淳一 (2009)：“深度140mの坑道掘削前後における比抵抗トモグラフィー及び音響トモグラフィの繰り返し測定”，物理探査学会第121回（平成21年度秋季）学術講演会，2009年11月。
- 國丸貴紀，山中義彰 (2009)：“深地層の科学研究における地質環境調査のノウハウ・判断根拠等の分析・整理，6；沿岸域におけるボーリング調査技術に関する調査事例”，日本原子力学会2009年秋の大会，2009年9月。
- 國丸貴紀，太田久仁雄，天野健治，Alexander, W. R., Lanyon, B. (2010)：“地上からの調査における間隙水水质データの品質管理システムの整備”，日本原子力学会2010年春の年会，2010年3月。
- 前川恵輔，戸村豪治，横田秀晴 (2009)：“幌延深地層研究計画における表層水理調査—積雪寒冷地域における涵養量の測定手法について—”，日本地球惑星科学連合2009年大会，2009年5月。
- 前川恵輔，三枝博光，稲葉 薫，下河内隆文 (2009)：“沿岸域を対象とした地下水流動評価手順・判断根拠等の整理”，日本地下水学会2009年秋季講演会，2009年10月。
- 前川恵輔，三枝博光，稲葉 薫，下河内隆文 (2009)：“深地層の科学研究における地質環境調査のノウハウ・判断根拠等の分析・整理，7；沿岸域における地下水流動解析事例”，日本原子力学会2009年秋の大会予稿，2009年9月。
- 前川恵輔，三枝博光，平賀正人，常盤哲也，小坂 寛 (2009)：“幌延深地層研究計画；地質環境調査技術開発；沿岸域を対象とした地下水流動の評価手法”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月。
- 前川恵輔，石井英一，下茂道人，熊本 創 (2010)：“地質環境調査の進展に伴う地下水流動解析への影響に関する一考察；北海道幌延地域における事例”，日本原子力学会2010年春の年会，2010年3月。
- 松岡稔幸，宮本哲雄，藪内 聡，浅森浩一，山中義彰，仙波 毅 (2009)：“次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発—国内外の沿岸域における物理探査・ボーリング孔での検層技術を対象としたノウハウ・判断根拠等

- の分析・整理”，物理探査学会第121回（平成21年度秋季）学術講演会講演論文集，pp.243-245，2009年11月。
- 松崎達二，岩月輝希，國丸貴紀，太田久仁雄，茂田直孝（2009）：“地質環境総合評価技術高度化開発（ISIS）：沿岸域における調査計画立案手法の整理”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月。
- 宮原重憲（2009）：“幌延深地層研究計画，開かれた研究；幌延深地層研究計画における共同研究の実施状況”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月。
- 宮澤大輔，木山 保，石島洋二，熊倉 聡，杉田 裕，真田祐幸（2010）：“軟岩を対象とした孔底変形法による測定装置の原位置適用化試験”，平成22年度（2010年）資源・素材学会春季大会，2010年3月。
- 宮澤大輔，木山 保，石島洋二，杉田 裕，真田祐幸（2009）：“間隙弾性論に基づく岩石挙動の検討”，平成21年度資源・素材関係学協会合同秋季大会，2009年9月。
- 森川佳太，岩月輝希，細谷真一（2009）：“深部地下水を対象とした複数電極による酸化還元電位測定手法の検討”，日本地球惑星科学連合2009年大会，2009年5月。
- 中村隆浩，杉田 裕，真田祐幸，加藤春實（2009）：“珪藻質泥岩における水圧破砕法・ブレイクアウト法による初期地圧の評価”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月。
- 中田英二，杉田 裕（2009）：“幌延深地層研究センター140m 東側調査坑道でのEDZ調査”，日本応用地質学会平成21年度研究発表会，2009年10月。
- 中田弘太郎，長谷川琢磨，岩月輝希（2009）：“北海道幌延地域における ^4He ・ ^{36}Cl 法による地下水年代推定の試み”，日本地下水学会2009年秋季講演会，2009年10月。
- 中山 雅，佐藤治夫，伊藤誠二（2009）：“低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討，5；幌延 URL における原位置試験”，日本原子力学会2009年秋の大会，2009年9月。
- 中山 雅，佐藤治夫，伊藤誠二（2009）：“幌延深地層研究計画，処分技術の信頼性向上；幌延 URL における低アルカリ性セメントの吹付けコンクリートの原位置施工試験”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月。
- 中安昭夫，安江健一，新里忠史，道家亮介，重廣道子（2009）：“地質環境総合評価技術高度化開発（ISIS） 幌延地域の地質環境調査事例を対象とした情報の抽出及び分析－隆起速度の算出に焦点を当てた分析－”，日本原子力学会バックエンド部会主催第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月。
- 南條 功，國丸貴紀，岩月輝希，細谷真一，森川佳太（2009）：“坑道内地下水モニタリング装置の開発と適用試験”，日本地下水学会2009年秋季講演会，2009年10月。
- 新里忠史，五十嵐八枝子，安江健一（2009）：“北海道北部，幌延地域における最終氷期後期の古気候と地表環境”，日本地球惑星科学連合2009年大会，2009年5月。
- Niizato, T., Yasue, K. and Kurikami, H. (2009): “Impacts of natural events and processes on groundwater flow conditions: a case study in the Horonobe area, Hokkaido, northern Japan”, In: Stability and buffering capacity of the geosphere for long-term isolation of radioactive waste: application to crystalline rock, Proceedings of an NEA workshop, Manchester, United Kingdom, 13-15 November 2007, OECD/NEA, pp.269-275, 2009年4月。
- Niizato, T., Yasue, K., Kurikami, H. and Oi, T. (2009): “Synthesising geoscientific data into a site model for performance assessment: a study on the long-term evolution of the geological environment in and around the Horonobe URL, Hokkaido, northern Japan”, In: Approaches and challenges for the use of geological information in the safety case for deep disposal of radioactive waste, Third AMIGO workshop proceedings, Nancy, France, 15-17 April 2008, OECD/NEA, pp.222-234, 2009年11月。
- 新里忠史，安江健一，中安昭夫，重廣道子（2009）：“深地層の科学的研究における地質環境調査のノウハウ・判断根拠等の分析・整理（4）幌延深地層研究計画における地質環境の長期安定性に関する調査事例”，日本原子力学会2009年秋の大会，2009年9月。
- 野口 聡，中山 雅，小林保之，三浦律彦，納多 勝，入矢桂史郎（2009）：“低アルカリ性セメント場所打ちコンクリートの基礎物性に関する検討”，土木学会平成21年度全国大会第64回年次学術講演会，2009年9月。
- Nohara, T. (2009): “Hydraulic and hydrochemical response to seismic events”, In: Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-term Isolation of Radioactive Waste: Application to Crystalline Rock, Proceedings of an NEA workshop, Manchester, United Kingdom, 13-15 November 2007, OECD/NEA, pp.197-203, 2009年4月。
- Nohara, T., Kosaka, H., Kagohara, K., Miwa, A., Tokiwa, T., Imaizumi, T. (2010): “Examination of an investigation technique for activity on a fault-related fold in the Tenpoku region, northern Hokkaido, Japan”, Hokudan 2010 International Symposium on Active Faulting, 2010年1月。
- 尾上博則，塩見哲也，徳楠充宏，平川芳明，草野友宏，安江健一，小坂 寛，三枝博光，竹内竜史，野原 壯，田力 正好（2009）：“実データに基づく過去数十万年前の古地形及び古気候の推定手法の整備”，地盤工学会中国支部土質工学セミナー報告会，2009年7月。
- 岡崎啓史，嶋本利彦，上原真一，新里忠史（2009）：“北海道北部，幌延地域の新第三紀堆積岩における浸透率・間隙率に対する変形の影響”，日本地球惑星科学連合2009年大会，2009年5月。
- 大里和己，山岡昌信，中嶋 智，吉村公孝，岡崎幸司，茂田直孝，藪内 聡，山中義彰（2009）：“幌延地域の沿岸域電磁法調査（その2）－調査結果とその解釈－”，物理探査学会第121回（平成21年度秋季）学術講演会講演論文集，pp.79-82，2009年11月。
- 大澤英昭，竹内真司，常盤哲也，新里忠史（2009）：“深地層の科学的研究における地質環境調査のノウハウ・判断

- 根拠等の分析・整理, 3; 深地層の研究施設計画における調査手法の付加地域への適用性検討”, 日本原子力学会 2009 年秋の大会, 2009 年 9 月.
- Ota, K., Alexander, W. R., Niizato, T., Kunimaru, T. (2009): “Evolution of the hydrochemical system at Horonobe, Japan; An Indication from rock matrix porewater chemistry”, Goldschmidt Conference, 2009 年 6 月.
- 太田久仁雄, 天野健治, 新里忠史(2010): “幌延・沿岸域を対象とした地質環境特性の長期変遷の評価 (1) 全体概要”, 日本原子力学会 2010 年春の年会, 2010 年 3 月.
- Ota, K., Kunimaru, T., Alexander, W. R. (2009): “A Quality assurance programme for rock matrix porewater chemistry; An Example from Horonobe, Japan”, Goldschmidt Conference, 2009 年 6 月.
- 坂井一雄, 小池真史, 青木智幸, 山本卓也, 羽出山吉裕, 山崎雅直 (2009): “ショートステップ工法による立坑掘削時の覆工及び周辺岩盤の挙動について”, 土木学会平成 21 年度全国大会第 64 回年次学術講演会, 2009 年 9 月.
- 坂下 晋, 小西千里, 吉村公孝, 岡崎幸司, 茂田直孝, 藪内 聡, 山中義彰 (2009): “幌延地域の沿岸域電磁法調査 (その 3) —岩石物理学的解釈手法の検討—”, 物理探査学会第 121 回 (平成 21 年度秋季) 学術講演会講演論文集, pp.83-86, 2009 年 11 月.
- Sanada, H., Matsui, H. and Fujii, Y. (2009): “Mechanical properties of siliceous rocks around Horonobe URL from triaxial compression and isotropic consolidation tests”, International Symposium on Rock Mechanics "Rock Characterization, Modelling and Engineering Design Methods" (SINOROCK 2009), 2009 年 5 月.
- 真田祐幸, 丹生屋純夫, 松井裕哉, 藤井義明 (2009): “堆積履歴が幌延地域に分布する珪質岩の力学的特性や微視的構造変化に及ぼす影響”, Journal of MMIJ, Vol.125, No.10,11, pp.521-529.
- 真田祐幸, 丹生屋純夫, 松井裕哉, 藤井義明 (2009): “幌延地域に分布する珪質岩に対する幾つかの岩盤応力測定法の適用性と推定された応力状態”, Journal of MMIJ, Vol.125, No.10,11, pp.530-539.
- 真田祐幸, 杉田 裕, 大丸修二, 松井裕哉, 柏井善夫 (2009): “幌延深地層研究計画, 地質環境調査技術開発; 光ファイバーを利用した多段式地中変位計の開発”, 日本原子力学会バックエンド部会第 25 回バックエンド夏期セミナー, 2009 年 7 月.
- Sanada, H., Sugita, Y. and Fujii, Y. (2009): “Deformation and failure behavior of rock mass around the ventilation shaft in Horonobe URL”, Proceedings of 3rd International Workshop and Conference on Earth Resources Technology 2009, pp.149-158, 2009 年 5 月.
- 真田祐幸, 杉田 裕, 國丸貴紀, 岩野圭太, 森川誠司, 瀬尾昭治, 並川 正 (2009): “幌延深地層研究計画における 140m 東側調査坑道での掘削影響; MBC モデルによる水平坑道掘削の試解析について”, 平成 21 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2009 年 9 月.
- 佐野満昭, 関谷美智 (2009): “幌延深地層研究計画; 地下施設建設の現状”, 日本原子力学会バックエンド部会第 25 回バックエンド夏期セミナー, 2009 年 7 月.
- Sato, H. (2009): “A Thermodynamic analysis on the effect of salinity on interlayer space of sodium-montmorillonite”, 14th International Clay Conference (ICC-14), 2009 年 6 月.
- Sato, H. (2009): “A Thermodynamic model on the effect of salinity on the micropore structure of Na-montmorillonite”, 12th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere (Migration '09), 2009 年 9 月.
- Sato, H. (2009): “Modelling on the swelling of Na-bentonite in the saturated condition based on the thermodynamic properties of interlayer water in Na-montmorillonite”, 12th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere (Migration '09), 2009 年 9 月.
- Sato, H. (2009): “Quantification of exchangeable cations in interlayer of Tsukinuno sodium-montmorillonite”, Materials Research Society Symposium Proceedings “, 33rd International Symposium on Scientific Basis for Nuclear Waste Management (MRS '09), 2009 年 5 月.
- 佐藤治夫 (2009): “幌延深地層研究計画, 処分技術の信頼性向上; 緩衝材の膨潤圧に関する熱力学解析”, 日本原子力学会バックエンド部会第 25 回バックエンド夏期セミナー, 2009 年 7 月.
- 佐藤治夫, 中山 雅 (2010): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討・幌延 URL における深度 140m 調査坑道での原位置試験-”, 第 12 回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会 (Sapporo Conference 2010), 2010 年 3 月.
- 仙波 毅, 宮本哲雄, 藪内 聡, 松岡稔幸, 浅森浩一, 山中義彰 (2009): “地質環境総合評価技術高度化開発 (ISIS); 国内外の沿岸域における物理探査・ボーリング孔での検層技術を対象とした情報の抽出及び分析”, 日本原子力学会バックエンド部会第 25 回バックエンド夏期セミナー, 2009 年 7 月.
- 仙波 毅, 松岡稔幸, 宮本哲雄, 藪内 聡, 浅森浩一, 山中義彰 (2009): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発; 国内外の沿岸域における物理探査・ボーリング孔での検層技術を対象としたノウハウ・判断根拠等の分析・整理”, 社団法人物理探査学会第 121 回 (平成 21 年度秋季) 学術講演会講演論文集, 2009 年 11 月.
- Semba, T., Mizuno, T., Hama, K. and Iwatsuki, T. (2009): “Development of advanced support system for site investigation”, American Geophysical Union 2009 Fall Meeting, 2009 年 12 月.
- 杉田 裕, 真田祐幸, 松井裕哉 (2009): “Geomechanical model for sedimentary soft rock based on surface-based investigations”, International Symposium on Rock Mechanics "Rock Characterization, Modelling and Engineering Design Methods" (SINOROCK 2009), 2009 年 5 月.
- 杉田 裕, 真田祐幸, 國丸貴紀 (2009): “幌延深地層研究計画における 140m 東側調査坑道での掘削影響; 原位置試

- 験計画と水平坑道掘削前の初期値について”，平成 21 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会，2009 年 9 月。
- 杉田 裕，中村隆浩，真田祐幸，國丸貴紀 (2009)：“140m 調査坑道掘削影響評価試験の計画と現状”，日本原子力学会バックエンド部会第 25 回バックエンド夏期セミナー，2009 年 7 月。
- 竹田宣典，桑江ひとみ，中山 雅，小林保之 (2009)：“ボゾラン高含有鉄筋コンクリートの長期海洋暴露試験”，コンクリート工学年次大会 2009，2009 年 7 月。
- 瀧谷啓晃，田中真悟，野田菜摘子，佐藤正知，小崎 完，佐藤治夫，畑中耕一郎 (2010)：“ポルトランドセメントペーストにおける水の拡散の水セメント比依存性”，日本原子力学会 2010 年春の年会，2010 年 3 月。
- Tanaka, S., Noda, N., Sato, S., Kozaki, T., Sato, H. and Hatanaka, K. (2010)：“Effect of ionic strength on Migration of chloride ions and water in compacted montmorillonite by electrokinetic method”，4th International Meeting on the Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement, 2010 年 3 月。
- Terashima, M., Seida, Y., Iwatsuki, T., Iijima, K., Yoshikawa, H., Yui, M. and Nagao, S. (2009)：“Eu(III) binding abilities of dissolved humic substances isolated from deep groundwater in Horonobe area, Hokkaido, Japan”，12th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere (Migration '09), 2009 年 9 月。
- 寺島元基，長尾誠也，岩月輝希，佐々木祥人，清田佳美，吉川英樹 (2009)：“北海道幌延地域の深部地下水から分離・精製した溶存腐植物質に対する Eu(III)の結合特性”，日本腐植物質学会第 25 回講演会，2009 年 11 月。
- 常盤哲也，新里忠史，前川恵輔，浅森浩一，阿部寛信 (2009)：“幌延深地層研究計画 地質環境の長期安定性に関する研究—地下水流動の長期変遷および断層運動に伴う影響の予測に向けた取り組み—”，日本原子力学会バックエンド部会主催第 25 回バックエンド夏期セミナー，2009 年 7 月。
- Tokiwa, T., Ishii, E., Funaki, H., Tsusaka, T. and Sanada, H. (2009)：“Relationship between fault system estimated by fault-striation analysis of drilling cores and rock mass behavior induced by shaft excavation in the Horonobe area, northern Japan”，3rd International Workshop and Conference on Earth Resources Technology 2009, pp.159-168 (CD-ROM), 2009 年 5 月。
- 常盤哲也，浅森浩一，石井英一，舟木泰智 (2009)：“GPS 観測と小断層解析を用いた応力変遷；北海道北部幌延地域の例”，日本地質学会第 116 年学術大会，2009 年 4 月。
- 鶴田忠彦，松岡稔幸，田上雅彦，栗原 新，天野健治，山田泰広，小池克明 (2010)：“地質構造の空間モデリング手法の開発；瑞浪超深地層研究所における取り組み”，平成 22 年度 (2010 年) 資源・素材学会春季大会，2010 年 3 月。
- 津坂仁和 (2009)：“幌延深地層研究所の水平坑道の内空変位計測結果に基づく支保工規模の評価”，土木学会平成 21 年度全国大会第 64 回年次学術講演会，2009 年 9 月。
- 津坂仁和 (2010)：“堆積軟岩における立坑掘削の内空変位計測に基づく岩盤挙動分類の提案”，土木学会論文集 F, Vol.66, No.1, pp.181-192。
- 津坂仁和，山崎雅直，稲垣大介 (2009)：“幌延深地層研究計画，深地層の工学的技術の基礎の開発；幌延深地層研究所の立坑掘削に基づく岩盤挙動分類の提案”，日本原子力学会バックエンド部会第 25 回バックエンド夏期セミナー，2009 年 7 月。
- Tsusaka, T., Yamasaki, M. and Hatsuyama, Y. (2009)：“Relationship between rock deformation and support load in shaft excavation in Horonobe Underground Research Laboratory”，Rock Engineering in Difficult Ground Conditions; Soft Rocks and Karst (EUROCK 2009), 2009 年 10 月。
- 上原真一，松本拓真，嶋本利彦，岡崎啓史，新里忠史 (2009)：“新第三紀泥質岩中の亀裂の透水性の深度依存性：北海道北部幌延地域の例”，日本地球惑星科学連合 2009 年大会，2009 年 5 月。
- 藪内 聡，國丸貴紀 (2009)：“幌延深地層研究計画における 140m 東側調査坑道での水理特性調査—水平坑道掘削の影響について—”，日本地下水学会 2009 年秋季講演会講演要旨，pp.300-303，2009 年 10 月。
- 藪内 聡，國丸貴紀，横田秀晴，山本陽一，前川恵輔，石井英一，平賀正人 (2009)：“幌延深地層研究計画 地質環境モニタリング技術開発—地下施設建設時の地質環境モニタリングの現状（地下水観測と予測解析）—”，日本原子力学会バックエンド部会第 25 回バックエンド夏期セミナー，2009 年 7 月。
- 藪内 聡，山中義彰 (2009)：“深地層の科学的研究における地質環境調査のノウハウ・判断根拠等の分析・整理 (5) 沿岸域における物理探査事例”，日本原子力学会 2009 年秋の大会予稿集(CD-ROM)，p.645，2009 年 9 月。
- 山本陽一，横田秀晴，前川恵輔 (2009)：“北海道幌延地域における積雪水量調査”，日本地下水学会 2009 年秋季講演会，2009 年 10 月。
- 山本陽一，前川恵輔，横田秀晴 (2009)：“幌延深地層研究計画，地質環境調査技術開発；表層水理調査とその評価に向けた取り組み”，日本原子力学会バックエンド部会第 25 回バックエンド夏期セミナー，2009 年 7 月。
- 山西 毅，関谷美智，稲垣大介，羽出山吉裕，北川義人 (2010)：“幌延深地層研究計画における大深度立坑掘削の実績と今後の課題”，北海道土木技術会トンネル研究委員会，2010 年 2 月。
- 山西 毅，関谷美智，鈴木達也，北川義人，齋藤綾佑，横田大輔 (2009)：“管理型掘削土（ズリ）の性状と今後の課題”，土木学会平成 21 年度全国大会第 64 回年次学術講演会，2009 年 9 月。
- 山崎雅直，福井勝則，南出賢司，羽出山吉裕 (2009)：“泥岩を対象とした掘削体積比エネルギーと割れ目頻度に関する一考察”，土木学会平成 21 年度全国大会第 64 回年次学術講演会，2009 年 9 月。
- 山崎雅直，羽出山吉裕，山本卓也，福井勝則 (2009)：“軟岩用自由断面掘削機の掘削体積比エネルギーを利用した岩盤強度の推定”，第 44 回地盤工学研究発表会，2009 年 8 月。
- Yokota, H., Tomura, G. and Maekawa, K. (2009)：“Study of estimation of hydrogeological structures based on fluctuation of groundwater pressure at Horonobe area, Hokkaido, north Japan”，3rd International Workshop

- and Conference on Earth Resources Technology 2009, pp.169-178, 2009 年 5 月.
- 横田秀晴, 山本陽一, 前川恵輔 (2009): “浅層ボーリング孔で観測された地下水位と地質構造の地下水流動への影響に関する一考察”, 日本地質学会第 116 年学術大会, 2009 年 4 月.
- 横田秀晴, 山本陽一, 前川恵輔 (2009): “北海道幌延地域における浅層ボーリング孔を用いた地下水位観測”, 日本地下水学会 2009 年秋季講演会, 2009 年 10 月.
- 横田秀晴, 藪内 聡, 戸村豪治, 前川恵輔 (2009): “幌延深地層研究計画における地下水の長期モニタリング-坑道掘削による水圧低下について-”, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月.
- 吉村公孝, 岡崎幸司, 大里和己, 中嶋 智, 大澤健二, 藪内 聡, 山中義彰, 茂田直孝 (2009): “沿岸域の地質構造調査に向けた海底電磁法技術の高度化開発その 4: 幌延沿岸域における適用試験”, 日本原子力学会 2009 年秋の大会 2009 年 9 月.
- 吉村公孝, 岡崎幸司, 大里和己, 中嶋 智, 大澤健二, 藪内 聡, 山中義彰, 茂田直孝 (2009): “沿岸域の地質構造調査に向けた海底電磁法技術の高度化開発, 4: 幌延沿岸域における適用試験”, 日本原子力学会 2009 年秋の大会, 2009 年 9 月.
- 吉村公孝, 岡崎幸司, 大里和己, 大澤健二, 山岡昌信, 中嶋 智, 茂田直孝, 藪内 聡, 山中義彰 (2009): “幌延地域の沿岸域電磁法調査 (その 1) -調査の概要-”, 物理探査学会第 121 回 (平成 21 年度秋季) 学術講演会講演論文集, pp.75-78, 2009 年 11 月.
- 吉村公孝, 若松尚則, 安藤賢一, 橋本秀爾, 藪内 聡, 茂田直孝 (2010): “沿岸域の水理地質構造に着目した塩淡水境界に関する地下水流動解析”, 日本原子力学会 2010 年春の年会, 2010 年 3 月.

2010 年度

- 阿部寛信, 畑中耕一郎 (2010): “Current Status of Horonobe URL Project in Construction Phase”, Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010) (CD-ROM), 2010 年 10 月.
- Amano, K., Niizato, T., Yokota, H., Ota, K., Lanyon, B., Alexander, W.R. (2010): “Development of comprehensive techniques for coastal site characterisation (2) Integrated palaeohydrogeological approach for development of site evolution models”, The 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), October 3-7, 2010, Tsukuba, Japan, ICEM2010-40048, 2010 年 10 月.
- 天野由記, 岩月輝希, 南條 功, 佐々木祥人, 浅野貴博, 吉川英樹, 長岡 亨, 中村孝道 (2010): “幌延の原位置微生物による酸化還元影響の評価, 1: 調査坑道における原位置試験”, 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 2010 年 9 月.
- 天野由記, 南條 功, 岩月輝希, 佐々木祥人, 浅野貴博, 寺島元基, 長岡 亨, 中村孝道, 吉川英樹, 青木和弘 (2010): “岩盤が有する酸化還元緩衝能に関する原位置試験”, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月.
- 道家涼介, 安江健一, 新里忠史, 中安昭夫 (2010): “地形・地質調査で専門家が利用する知識の分析・整理; 隆起速度の算出にかかわる調査・解析の事例”, 日本地質学会第 117 年学術大会, 2010 年 9 月.
- 道家涼介, 安江健一, 新里忠史, 中安昭夫, 梅田浩司, 大澤英昭 (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, (8)地質環境の長期安定性に関する調査を対象としたエキスパートシステムの開発”, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月.
- 道家涼介, 安江健一, 新里忠史, 中安昭夫, 梅田浩司, 大澤英昭 (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, (6)地質環境の長期安定性に関わるエキスパートシステムの開発”, 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 2010 年 9 月.
- 郷家光男, 石井 卓, 佐ノ木 哲, 松井裕哉, 杉田 裕 (2011): “せん断変形の進行に伴う堆積軟岩の透水特性の変化”, 第 40 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.282-287, 2011 年 1 月.
- Hatanaka, K., Lim, D.-H., Ishii, E. (2010): “Geo-descriptive modeling of water conducting features characterized in sedimentary formations in Horonobe area of Japan”, Materials Research Society Symposium Proceedings, Materials Research Society 2010 Spring Meeting, 2010 年 4 月.
- 人見 尚, 入矢桂史郎, 中山 雅 (2010): “幌延地下水環境下における低アルカリ性セメント系材料の溶脱挙動の検討”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月.
- 本多 眞, 櫻井英行, 山本真哉, 鈴木 誠, 真田祐幸, 杉田 裕, 松井裕哉 (2010): “物理探査データを利用した地下水水質分布の地球統計学的推定法, 2: 不確実性の評価”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月.
- 本多 眞, 山本真哉, 櫻井英行, 鈴木 誠, 真田祐幸, 杉田 裕, 松井裕哉 (2010): “地球統計学的手法を用いた地下水水質分布の推定とその不確実性の評価”, 土木学会論文集, C, Vol.66, No.3, pp.609-624.
- 稲垣大介, 津坂仁和, 井尻裕二, 小池真史, 羽出山吉裕 (2011): “幌延深地層研究所における立坑掘削に伴う周辺岩盤及び支保の挙動分析 1”, 第 40 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.1-6, 2011 年 1 月.
- Ishii, E., Funaki, H., Tokiwa, T. and Ota, K. (2010): “Relationship between fault growth mechanism and permeability variations with depth of siliceous mudstones in northern Hokkaido, Japan”, Journal of Structural Geology, Vol.32, No.11, pp.1792-1805, 2010 年 11 月.
- 岩月輝希 (2010): “幌延の地下研究施設における研究技術開発の現状”, 応用地質学会北海道支部講演会, 2010 年

- 9月.
- 岩月輝希, 天野由記, 吉川英樹 (2010): “地下研究施設を利用した水-鉱物-微生物相互作用研究”, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月.
- 岩月輝希, 濱 克宏, 中安昭夫, 橋 翔子, 宮入留雅, Yang, H. (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 5; 地球化学調査にかかわるエキスパートシステムの構築”, 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 2010 年 9 月.
- 岩月輝希, 中安昭夫, 濱 克宏, 水野 崇 (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 7; 地球化学調査にかかわるエキスパートシステムの構築”, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月.
- Iwatsuki, T., Sasaki, Y., Ito, T., Asano, T., Amano, Y., Yoshikawa, H., Nakamura, T., Nagaoka, T. (2010): “Biogeochemical modelling of water-rock-microbe system in Horonobe area, Japan”, Goldschmidt 2010, 2010 年 6 月.
- 川村 淳, 江橋 健, 牧野仁史, 新里忠史, 安江健一, 稲垣 学, 大井貴夫 (2010): “高レベル放射性廃棄物地層処分における性能評価のための隆起・浸食に起因する地質環境条件変化の評価方法の検討”, 応用地質, Vol.51, No.5, pp.229-240.
- Kawamura, A., Tanikawa, S., Niizato, T., Yasue, K. (2010): “Development of methodology to construct a generic conceptual model of river-valley evolution for performance assessment of HLW geological disposal”, Proceedings of the ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), October 3-7, 2010, Tsukuba, Japan, ICEM2010-40137, 2010 年 10 月.
- 北川義人, 南出賢司, 名雪利典, 山西 毅, 関谷美智, 伊藤誠二, 佐藤治夫, 中山 雅 (2010): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの原位置適用性試験, 2; 幌延 URL における原位置吹付け施工性試験”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月.
- 北沢俊幸, 常盤哲也 (2010): “天塩川の河口口及び蛇行州の地中レーダー探査”, 日本地質学会第 117 年学術大会, 2010 年 9 月.
- 熊倉 聡, 杉田 裕, 真田祐幸, 中村隆浩, 小原勇一, 菅原隆之, 藤井義明 (2010): “珪質泥岩を対象にした孔壁変形法による初期地圧測定; 幌延深地層研究センター, 深度 250m 調査坑道での測定事例”, 平成 22 年度日本応用地質学会北海道支部・北海道応用地質研究会研究発表会, 2010 年 6 月.
- Kunimaru, T., Ota, K., Amano, K., Russell, A. (2010): “Development of a Quality Management System (QMS) for borehole investigations, 2; QMS for hydrochemical investigations”, Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010)(CD-ROM), 2010 年 10 月.
- Kurikami, H., Niizato, T. and Yasue, K. (2011): “A study on timeframe definition and reference evolution of the geological system for safety assessment -case study on the Horonobe URL site”, Proceedings of 19th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE19), ICONE19-43731.
- 栗原 新, 小池克明, Liu, C., Masoud, A., 天野健治 (2010): “花崗岩体の広域的水理構造のモデリングと亀裂分布からの考察”, 第 21 回日本情報地質学会総会・講演会, 2010 年 6 月.
- Lim, D.-H., Hatanaka, K. and Ishii, E. (2010): “Site characterization & preliminary performance assessment calculation applied to JAEA-Horonobe URL site of Japan”, Korean Nuclear Society Autumn Meeting, 2010 年 10 月.
- 前川恵輔, 原 彰男, 日浦祐樹, Hou, J.-Y., 加藤 新 (2010): “前進的モデルを用いた堆積岩地域浅層部の水理地質構造の推定”, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月.
- Maekawa, K., Makino, H., Kurikami, H., Niizato, T., Inagaki, M. and Kawamura, M. (2010): “Development of methodology of groundwater flow and solute transport analysis in the Horonobe area, Hokkaido, Japan”, Proceedings of the ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), October 3-7, 2010, Tsukuba, Japan, ICEM2010-40041, 2010 年 10 月.
- 前川恵輔, 新里忠史, 今井 久, 塩崎 功, 山下 亮 (2010): “地質環境の長期変遷を考慮した地下水流動解析手法の汎用性向上”, 日本地下水学会 2010 年秋季講演会, 2010 年 11 月.
- 前川恵輔, 三枝博光, 松尾重明, 橋本秀爾, 安藤賢一 (2010): “沿岸域における地下水流動・地球化学特性評価のためのモデル化・解析; 北海道幌延地域を対象とした一事例”, 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 2010 年 9 月.
- 榎永幸介, 天野健治, 鶴田忠彦 (2010): “岐阜県東濃地域における深層ボーリング孔の崩壊事例; 地質リスク評価に向けた岩盤特性の整理・分析”, 平成 22 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2010 年 9 月.
- 松岡稔幸, 天野健治, 大澤英昭, 仙波 毅 (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 4; 地質モデル構築の考え方”, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月.
- 松崎達二, 岩月輝希, 中安昭夫, 仙波 毅 (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 3; 文献調査情報に基づく調査基本計画立案にかかわるエキスパートシステムの開発”, 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 2010 年 9 月.
- 松崎達二, 岩月輝希, 中安昭夫, 仙波 毅 (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 6; 全体調査計画の立案にかかわるエキスパートシステムの開発”, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月.
- 松崎達二, 岩月輝希, 中安昭夫, 仙波 毅 (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の紹介; 文献調査情報に基づく調査基本計画立案支援にかかわるエキスパートシステムを例として”, 幌延沿岸域 HLW 研究発表会, 2010 年 11 月.
- 松崎達二, 岩月輝希, 中安昭夫, 竹内真司, 仙波 毅 (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の開発の現状, 3; 計画立案に関するエキスパートシステムの作成”, 日本原子力学会バックエンド部会第 26 回バ

ックエンド夏期セミナー，2010 年 8 月。

- Matsuoka, T., Amano, K., Osawa, H., Semba, T. (2010): “Technical know-how for modeling of geological environment, 2; Geological modeling”, Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010), 2010 年 10 月。
- 宮原茂禎, 岡本礼子, 武田 均, 中山 雅, 佐藤治夫, 伊藤誠二 (2010): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの原位置適用性試験, 4; 幌延 URL における低アルカリ性吹付けコンクリート及び岩石の物質移行特性”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月。
- 宮澤大輔, 真田祐幸, 木山 保, 杉田 裕, 石島洋二 (2011): “幌延地域に分布する珪質岩を対象とした間隙弾性パラメータの取得と室内試験法の提案”, Journal of MMIJ, Vol.127, No.3, pp.132-138.
- Mizuno, T., Milodowski, A. and Iwatsuki, T. (2010): “Evaluation of the long-term evolution of the groundwater system in the Mizunami area, Japan”, Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010), 2010 年 10 月。
- Moriya, H., Asamori, K., Kitamura, I., Hotta, H., Ohara, H. and Niizato, T. (2010): “Estimation of crustal structure in Horonobe area, Hokkaido, Japan, using multiplet-clustering analysis”, Journal of Acoustic Emission, vol.28, pp.1-10.
- 村上裕晃, 天野由記, 南條 功, 岩月輝希 (2010): “幌延深地層研究所における地球化学特性調査; 地下施設建設に伴う周辺地下水の水圧・水質変化について”, 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 2010 年 9 月。
- 苗村由美, 井尻裕二, 天野健治, 横田秀晴, 前川恵輔, 澤田 淳 (2010): “割れ目を対象とした原位置トレーサー試験に対する 1 次元モデルの適用性に関する検討 3”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月。
- 中村隆浩, 真田祐幸, 杉田 裕, 加藤春實 (2010): “珪藻質泥岩における水圧破砕法・ブレイクアウト法による初期地圧の評価”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月。
- 中西達郎, 辻 正邦, 延藤 遵, 沖原光信, 杉田 裕, 藤田朝雄, 新貝文昭 (2010): “地層処分におけるグラウト技術の高度化開発, 6; グラウト浸透モデルによる原位置注入試験結果の事後分析”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月。
- 中島崇裕, 國友孝洋, 山田 治, 浅森浩一, 藪内 聡, 茂田直孝, 熊澤峰夫 (2010): “電磁 ACROSS の北海道幌延地域における地質環境モニタリング技術への適用”, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月。
- 中山 雅, 佐藤治夫, 畑中耕一郎 (2010): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討, 6; 吹付けコンクリート及び岩石の化学的性質”, 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 2010 年 9 月。
- Nakayama, M., Sato, H., Sugita, Y., Ito, S., Minamide, M., Kitagawa, Y. (2010): “Low alkaline cement used in the construction of a gallery in the Horonobe Underground Research Laboratory”, Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010), 2010 年 10 月。
- 中安昭夫, 道家涼介, 安江健一, 新里忠史, 梅田浩司, 大澤英昭 (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の開発の現状, 4; 地質環境の長期安定性調査にかかわるエキスパートシステムの作成”, 日本原子力学会バックエンド部会第 26 回バックエンド夏期セミナー, 2010 年 8 月。
- 中安昭夫, 岩月輝希, 橘 翔子, Yang, H. (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 5; エキスパートシステム構築ソフトウェアの開発”, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月。
- 南條 功, 天野由記, 岩月輝希, 村上裕晃, 佐々木祥人, 吉川英樹 (2010): “幌延深地層研究所における水理・地球化学特性評価技術開発の現状”, 2010 年度日本地球化学学会年会, 2010 年 9 月。
- Niizato, T., Amano, K., Ota, K., Kunimaru, T., Lanyon, B., Alexander, W.R. (2010): “Development of comprehensive techniques for coastal site characterisation (3) Conceptualisation of long-term geosphere evolution”, Proceedings of the ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), 2010 年 10 月。
- Niizato, T., Imai, H., Maekawa, K., Yasue, K., Kurikami, H., Shiozaki, I., Yamashita, R. (2011): “Development of a methodology for the characterisation of long-term geosphere evolution (1) Impacts of natural events and processes on the geosphere evolution of coastal setting, in the case of Horonobe area”, Proceedings of 19th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE19), ICONE19-43163.
- 新里忠史, 重野聖之, 宮坂省吾, 小坂橋重一 (2010): “北海道北部、幌延地域における地形発達史”, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月。
- Niizato, T., Yasue, K., Doke, R., Nakayasu, A., Shigehiro, M. (2010): “Technical know-how and decision process for geoscientific investigation of geological disposal of HLW (2) An externalization of tacit knowledge in a geoscientific investigation; an example of investigations for an estimation of uplift rate”, Joint Meeting of Korean and Japanese Geological Societies, Muroto Geopark, 2010 年 8 月。
- 野口 聡, 中山 雅, 佐藤治夫 (2010): “高レベル放射性廃棄物処分場の支保工材料に適した低アルカリ性吹付けコンクリートの開発”, 平成 22 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2010 年 9 月。
- 野口 聡, 中山 雅, 岸 裕和, 北川義人, 南出賢司 (2010): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの原位置適用性試験, 1; 坑道支保工としての吹付けコンクリート配合の選定”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月。
- 野原 壯, 常盤哲也, 山田 治 (2010): “褶曲に関連した珪質堆積岩の密度と透水性の特徴; 幌延地域大曲断層の検討事例”, 日本地震学会 2010 年秋季大会, 2010 年 10 月。
- 岡本礼子, 宮原茂禎, 武田 均, 中山雅, 佐藤治夫, 伊藤誠二 (2010): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコ

- ンクリートの原位置適用性試験, 3; 幌延 URL における低アルカリ性吹付けコンクリート及び岩石の化学的性質”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月.
- 大貫敏彦, 香西直文, 岩月輝希 (2010): “幌延深層地下水中 I の化学状態”, 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 2010 年 9 月.
- 大澤英昭, 道家涼介, 安江健一, 新里忠史, 中安昭夫, 梅田浩司 (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 6; 地質環境の長期安定性にかかわるエキスパートシステムの開発”, 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 2010 年 9 月.
- Ota, K., Amano, K., Niizato, T., Alexander, W.R. and Yamanaka, Y. (2010): “Development of comprehensive techniques for coastal site characterization (1) Strategic overview”, Proceedings of the ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), 2010 年 10 月.
- 大山卓也, 前川恵輔 (2010): “沿岸域における地下水流動・地球化学特性評価のためのモデル化・解析”, 幌延沿岸域 HLW 研究発表会, 2010 年 11 月.
- 三枝博光, 前川恵輔, 大山卓也, 仙波 毅 (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 3; 地質環境モデル構築領域設定及び地下水流動モデル構築の考え方”, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月.
- 三枝博光, 松岡稔幸, 前川恵輔, 天野健治, 竹内真司, 仙波 毅 (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システム (ISIS) の開発の現状, 2; 地質環境モデル構築にかかわるエキスパートシステムの作成”, 日本原子力学会バックエンド部会第 26 回バックエンド夏期セミナー, 2010 年 8 月.
- Saegusa, H., Takeuchi, S., Maekawa, K., Osawa, H., Semba, T. (2010): “Technical know-how for modeling of geological environment, 1; Overview and groundwater flow modeling”, Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010) (CD-ROM), 2010 年 10 月.
- 坂井一雄, 小池真史, 山本卓也, 稲垣大介, 山崎雅直 (2010): “ショートステップ工法における立坑掘削時の覆工及び周辺岩盤の挙動”, 大成建設技術センター報
- 櫻井英行, 本多 眞, 山本真哉, 鈴木 誠, 真田祐幸, 杉田 裕, 松井裕哉 (2010): “物理探査データを利用した地下水水質分布の地球統計学的推定法, 1; 推定法の有効性”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月.
- 真田祐幸, 中村隆浩, 杉田 裕 (2010): “幌延深地層研究計画における掘削影響調査, 2; 立坑の調査事例”, 平成 22 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2010 年 9 月.
- Sanada, H., Nakamura, T., Sugita, Y. (2010): “In situ stress measurements in siliceous mudstones at Horonobe Underground Research Laboratory, Japan”, Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010), 2010 年 10 月.
- 真田祐幸, 杉田 裕, 大丸修二, 松井裕哉, 柏井善夫 (2010): “光ファイバーを利用した多段式岩盤内変位計の開発”, Journal of MMIJ, Vol.126, No.10,11, pp.569-576.
- Sasaki, Y., Asano, T., Amano, Y., Iwatsuki, T., Yoshikawa, H. (2010): “Quantitative analysis of microbial community in deep subsurface at Horonobe area”, 8th International Congress on Extremophiles (Extremophiles 2010), 2010 年 9 月.
- Sato, H. (2010): “An analytical model on the sealing performance of space for the design of buffer material and backfill material”, Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010), 2010 年 10 月.
- Sato, H., Sugita, Y., Nakamaya, M., Hatanaka, K. (2010): “Status of the Horonobe URL project in construction phase and outline of in-situ investigation and experiment plan in the underground facilities”, The 6th Japan-Korea Joint Workshop on Radioactive Waste Disposal 2010; Practice to Science and Engineering, 2010 年 10 月.
- 佐藤治夫, 中山 雅, 畑中耕一郎 (2010): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討, 7; 吹付けコンクリート及び岩石の物質移動特性”, 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 2010 年 9 月.
- 佐藤治夫 (2010): “幌延深地層研究計画 地下施設での原位置試験計画 (深度 350m まで) の概要”, 第 13 回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会 (Sapporo Conference 2011), 2011 年 3 月.
- 関谷美智, 北川義人, 五十嵐敏文, 洞 秀幸 (2010): “幌延深地層研究センターにおける珪藻質泥岩掘削ブリからの無機窒素の溶出挙動”, 平成 22 年度資源・素材学会北海道支部総会及び春季講演会, 2010 年 6 月.
- 関谷美智, 北川義人, 五十嵐敏文, 洞 秀幸 (2010): “珪藻質泥岩からの浸出水の硝化反応の評価”, 日本応用地質学会平成 22 年度研究発表会, 2010 年 10 月.
- 関谷美智, 北川義人, 五十嵐敏文, 洞 秀幸 (2010): “珪藻質泥岩掘削土浸出水中の窒素成分の形態変化”, 平成 22 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2010 年 9 月.
- 関谷美智, 下山 正, 穴田英樹, 金谷次男, 山西 毅 (2010): “大深度地下施設建設における通気網解析”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月.
- 関谷美智, 下山 正, 平川芳明, 檜島好正, 山西 毅 (2010): “大深度地下施設建設における坑内火災のシミュレーション”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月.
- 仙波 毅, 大澤英昭, 濱 克宏, 竹内真司, 岩月輝希, 澤田 淳, 梅木博之 (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 1; システム開発の概要”, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月.
- Semba, T., Takeuchi, S., Tokiwa, T., Niizato, T., Osawa, H. (2010): “Technical know-how and decision process for geoscientific investigation of geological disposal of HLW (1) Overview of Information Synthesis and

- Interpretation System (ISIS) and application of investigation methodology in URL program to the characterization of accretionary complex”, Joint Meeting of Korean and Japanese Geological Societies, Muroto Geopark, 2010 年 8 月.
- 仙波 毅, 三枝博光, 松岡稔幸, 前川恵輔, 天野健治, Andersson, J. (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 2; 文献調査情報に基づく地質環境モデル構築手法と ES 化(地質/地下水流動モデルを例として)”, 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 2010 年 9 月.
- 仙波 毅, 大澤英昭, 岩月輝希, 濱 克宏, 竹内真司, 澤田 淳, 梅木博之 (2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の開発の現状, 1; 全体概要”, 日本原子力学会バックエンド部会第 26 回バックエンド夏期セミナー, 2010 年 8 月.
- 嶋本洋子, 高橋嘉夫, 天野由記, 松崎浩之, 村松康行, 岩月輝希 (2010): “幌延地域における珪藻質・珪質泥岩中のヨウ素の移行挙動解明”, 2010 年度日本地球化学学会年会, 2010 年 9 月.
- 嶋本洋子, 高橋嘉夫, 天野由記, 松崎浩之, 村松康行, 岩月輝希 (2010): “化学形態及び 129I/127I に基づく珪藻質・珪質泥岩中のヨウ素の移行挙動解明”, 第 13 回ヨウ素学会シンポジウム, 2010 年 11 月.
- 末永 弘, 野原慎太郎, 藪内 聡 (2010): “坑道掘削に伴う水理特性変化について”, 日本地下水学会 2010 年秋季講演会講演要旨, pp.132-137, 2010 年 11 月.
- 杉田 裕, 中村隆浩, 真田祐幸 (2011): “弾性波トモグラフィ調査の掘削影響領域モニタリング技術への適用”, 第 40 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.230-235, 2011 年 1 月.
- Sugita, Y., Nakamura, T., Sanada, H., Aizawa, T., Ito, S. (2010): “Seismic tomography investigation in 140m gallery in the Horonobe URL project”, Materials Research Society Symposium Proceedings, Materials Research Society 2010 Spring Meeting, 2010 年 4 月.
- 杉田 裕, 真田祐幸, 中村隆浩, 藪内 聡 (2010): “幌延深地層研究計画における掘削影響調査, 1; 水平坑道の調査事例”, 平成 22 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2010 年 9 月.
- 田中真悟, 野田菜摘子, 佐藤正知, 小崎 完, 佐藤治夫, 畑中耕一郎 (2010): “圧縮 Na 型モンモリロナイト中のイオンの移行に関する電気化学的研究; 乾燥密度及び塩濃度の影響”, 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 2010 年 9 月.
- Tanaka, S., Noda, N., Sato, S., Kozaki, T., Sato, H., Hatanaka, K. (2011): “Electrokinetic study of migration of anions, cations, and water in water-saturated compacted sodium montmorillonite”, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.48, No.3, pp.454-462.
- Teramoto, M., Nagao, S., Iwatsuki, T., Sasaki, S., Kiyota, Y., Yoshikawa, H. (2010): “Structural characteristics of deep groundwater humic substances in Horonobe area, Hokkaido, Japan”, Proceedings of 15th Meeting of International Humic Substances Society "Humic Substances and the Maintenance of Ecosystem Services" (IHSS-15), 2010 年 6 月.
- 寺島元基, 清田佳美, 岡崎充宏, 岩月輝希, 飯島和毅, 油井三和 (2010): “深部地下水腐植物質共存下における Eu 溶解度のシミュレーション; NICA-Donnan モデルの適用”, 日本腐植物質学会第 26 回講演会, 2010 年 11 月.
- Tokiwa, T., Asamori, K., Niizato, T., Nohara, T., Matsuura, Y., Kosaka, H. (2010): “An attempt to evaluate horizontal crustal movement by geodetic and geological approach in the Horonobe area, northern Hokkaido, Japan”, Proceedings of the ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), 2010 年 10 月.
- Tokiwa, T., Asamori, K., Hiraga, N., Yamada, O., Moriya, H., Hotta, H., Kitamura, I., Yokota, H. (2010): “Relationship between hypocentral distribution and geological structure in the Horonobe area, northern Hokkaido, Japan”, Proceedings of the ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), 2010 年 10 月.
- 津坂仁和, 稲垣大介, 小池真史, 井尻裕二, 羽出山吉裕 (2011): “幌延深地層研究所における立坑掘削に伴う周辺岩盤及び支保の挙動分析 2”, 第 40 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.7-12, 2011 年 1 月.
- 津坂仁和, 常盤哲也, 稲垣大介 (2010): “幌延深地層研究所の立坑掘削における岩盤挙動”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月.
- 藪内 聡, 岸 敦康, 小松 満 (2010): “幌延深地層研究計画における水平坑道の掘削に伴う岩盤水分量のモニタリング”, 日本地下水学会 2010 年春季講演会, pp.94-99, 2010 年 5 月.
- 藪内 聡, 國丸貴紀, 岩野圭太, 森川誠司, 並川 正 (2010): “幌延深地層研究所 140m 調査坑道における水理特性調査ー水平坑道の掘削影響評価ー”, 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 2010 年 9 月.
- Yamamoto, S., Honda, M., Sakurai, H., Suzuki, M., Sanada, H., Sugita, Y., Matsui, H. (2010): “Geostatistical modeling of groundwater properties and assessment of their uncertainties”, Proceedings of 14th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences (IAMG 2010), 2010 年 8 月.
- 山本陽一, 前川恵輔, 藪内 聡, 横田秀晴 (2010): “北海道幌延調査流域における水文諸量の空間分布推定”, 日本地下水学会 2010 年秋季講演会講演要旨, pp.166-171, 2010 年 11 月.
- 山本陽一, 前川恵輔, 横田秀晴, 向井和行, 石井啓滋 (2010): “水文諸量の空間分布推定に基づく幌延調査流域の流出解析”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月.
- 山西 毅, 関谷美智, 佐高裕之, 北川義人, 加藤欣也 (2010): “管理型掘削土(ズリ)の酸性・中和現象と今後の課題”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月.
- 山西 毅, 関谷美智, 鈴木達也, 北川義人, 加藤欣也, 齋藤綾佑(2010): “重金属含有掘削土(ズリ)のズリ置場における性状変化の現状”, 土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月.
- Yokota, H., Yamamoto, Y., Maekawa, K., Hara, M. (2010): “A Study on groundwater infiltration in the Horonobe

area, Northern Hokkaido, Japan”, Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010), 2010 年 10 月.
横田秀晴, 山本陽一, 山崎雅則, 前川恵輔 (2010): “北海道幌延調査流域における水収支法による地下水涵養量の推定; 2004 年 12 月～2009 年 11 月”, 日本地下水学会 2010 年秋季講演会講演要旨, pp.160-165, 2010 年 11 月.

2011 年度

鑑頭 正, 天野健治, 小池克明, 鶴田忠彦, 松岡稔幸 (2011): “多変量解析を用いたボーリング孔での断層の区間判定と岩盤区分; 瑞浪超深地層研究所における深層ボーリング孔での事例”, 情報地質, Vol.22, No.4, pp.171-188.
青木和弘, 佐藤治夫, 新里忠史, 天野健治, 田中真悟, 野原 壯, 岩月輝希, 村上裕晃, 杉田 裕, 中山 雅, 阿部寛信, 中司 昇 (2012): “東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の土壤中深度方向の分布状況に関する調査研究,1; 調査研究の概要”, 日本原子力学会 2012 年春の年会, 2012 年 3 月.
道家涼介, 安江健一, 中安昭夫, 新里忠史, 田中竹延 (2011): “既存情報に基づく日本列島における活断層の活動開始時期の整理とそれにかかわる不確実性の評価”, 日本地質学会第 118 年学術大会・日本鉱物科学会 2011 年年会合同学術大会, 2011 年 9 月.
Doke, R., Yasue, K., Niizato, T., Nakayasu, A. (2011): “Technical know-how for the investigation and modeling of topographic evolution for site characterization”, Proceedings of 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), pp.1467-1476, 2011 年 9 月.
Fujita, T., Sugita, Y. and Toida, K. (2011): “Experimental studies on penetration of pulverized clay-based grout”, Journal of Energy and Power Engineering, Vol.5, No.5, pp.419-427.
萩原健司, 小池真史, 関谷美智, 板橋秀治, 大原正嗣 (2011): “立坑ショートステップ工法における 1 覆工長の検討”, 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 2011 年 9 月.
板橋秀治, 関谷美智, 佐高裕之, 島田智浩, 加藤欣也 (2011): “土壌溶出試験のろ過時間短縮に関する検討”, 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 2011 年 9 月.
Ishii, E., Sanada, H., Funaki, H., Sugita, Y., Kurikami, H. (2011): “The Relationships among brittleness, deformation behavior, and transport properties in mudstones; An Example from the Horonobe Underground Research Laboratory, Japan”, Journal of Geophysical Research, Vol.116, B09, B09206 1-15, 2011 年 10 月.
Ishii, E., Sanada, Iwatsuki, T., Sugita, Y., Kurikami, H. (2011): “Mechanical strength of the transition zone at the boundary between opal-A and opal-CT zones in siliceous rocks”, Engineering Geology, Vol.122, pp.215-221.
Ishii, E. (2012): “Microstructure and origin of faults in siliceous mudstone at the Horonobe Underground Research Laboratory site, Japan”, Journal of Structural Geology, Vol.34, pp.20-29.
伊藤剛志, 佐々木祥人, 天野由記, 岩月輝希, 吉川英樹 (2012): “PHREEQC による酸化還元状態変化に関する微生物影響解析手法の開発,1; 微生物影響解析手法の適用性検討”, 日本原子力学会 2012 年春の年会, 2012 年 3 月.
岩月輝希, 本多照幸, 村上裕晃 (2011): “堆積岩中の重要な水理地質構造にかかわる地球化学的考察; 微量元素濃度を指標としたナチュラルアナログ”, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月.
Iwatsuki, T., Amano, Y., Murakami, H., Nanjo, I., Aoki, K., Sasaki, Y., Yoshikawa, H. (2011): “The Analysis of hydrochemical buffering process at Horonobe Underground Research Laboratory, Japan”, 13th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere (MIGRATION 2011), 2011 年 9 月.
加藤智子, 牧野仁史, 竹内真司, 宮原 要, 前川恵輔, 山口正秋, 飯島和毅, 天野健治, 三枝博光, 澤田 淳, 板津透, 新里忠史, 尾上博則, 佐藤治夫 (2011): “福島原発事故における環境修復に向けた取り組み,1; 地層処分技術の活用への枠組み”, 日本原子力学会バックエンド部会第 27 回バックエンド夏期セミナー, 2011 年 8 月.
小池真史, 井尻裕二, 稲垣大介, 津坂仁和 (2011): “ショートステップ工法による立坑掘削時の支保応力に関する一考察”, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演要旨, pp.149-150, 2011 年 9 月.
小池真史, 井尻裕二, 稲垣大介, 津坂仁和 (2011): “ショートステップ工法による立坑掘削時の支保応力に関する一考察”, 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 2011 年 9 月.
小松 満, 西垣 誠, 瀬尾昭治, 戸井田 克, 田岸宏孝, 竹延千良, 山本陽一 (2011): “原位置土中水分計測による浅地層における降雨浸透量の評価方法”, 地下水地盤環境に関するシンポジウム 2011 発表論文集(CD-ROM), pp.17-26, 地下水地盤環境に関するシンポジウム 2011, 2011 年 11 月.
Kunimaru, T., Takeuchi, R., Matsuzaki, T. (2011): “Technical know-how of selection process for the Horonobe Underground Research Laboratory area and site”, Proceedings of 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), 2011 年 9 月.
Kurikami, H., Niizato, T., Yasue, K. (2011): “A Study on time frame definition and reference evolution of the geological system for the safety assessment; Case study on the Horonobe URL site”, Proceedings of 19th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-19), 2011 年 10 月.

- 操上広志 (2011): “地層処分安全評価における混合型有限要素法の適用性の検討”, 日本地下水学会 2011 年春季講演会講演要旨, pp.28-33, 日本地下水学会 2011 年春季講演会, 2011 年 5 月.
- 榎永幸介, 天野健治, 國丸貴紀 (2011): “ボーリング掘削におけるトラブル事例の分析; 岐阜県東濃地区における深層ボーリング孔での崩壊事例を対象とした取り組み”, 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 2011 年 9 月.
- 宮川和也, 天野由記, 南條 功, 村上裕晃, 藪内 聡, 横田秀晴, 岩月輝希 (2011): “幌延深地層研究所における地下施設の建設に伴う深部地下水の地球化学特性変化”, 2011 年度日本地球化学会年会, 2011 年 9 月.
- 宮川和也, 野原 壯, 山崎雅則, 常盤哲也 (2011): “東北地方太平洋沖地震に伴う北海道北部地下水観測井における地下水位変化”, 日本地震学会 2011 年秋季大会, 2011 年 10 月.
- 宮澤大輔, 真田祐幸, 木山 保, 杉田 裕, 石島洋二 (2011): “幌延地域に分布する珪質岩を対象とした間隙弾性パラメータの取得と室内試験法の提案”, *Journal of MMIJ*, Vol.127, No.3, pp.132-138.
- 村上裕晃, 天野由記, 國分陽子, 岩月輝希 (2011): “北海道幌延町における 14C を用いた堆積岩中の地下水の滞留時間推定の試み”, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月.
- 中務真志, 山田泰広, 常盤哲也 (2011): “アナログモデル実験による北海道幌延地域の隆起評価”, 日本地質学会第 118 年学術大会・日本鉱物科学会 2011 年年会合同学術大会, 2011 年 9 月.
- 新里忠史, 道家涼介, 安江健一, 中安昭夫 (2011): “地質環境調査で利用される専門知識の表出化; 地形・地質発達モデルの事例”, 日本地質学会第 118 年学術大会・日本鉱物科学会 2011 年年会合同学術大会, 2011 年 9 月.
- Niizato, T., Imai, H., Maekawa, K., Yasue, K., Kurikami, H., Shiozaki, I., Yamashita, R. (2011): “Development of a methodology for the characterisation of long-term geosphere evolution, 1: Impacts of natural events and processes on the geosphere evolution of coastal setting, in the case of Horonobe area”, *Proceedings of 19th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-19)*, 2011 年 10 月.
- 新里忠史, 佐藤治夫, 天野健治, 野原 壯, 岩月輝希, 青木和弘, 田中真悟, 村上裕晃, 杉田 裕, 中山 雅, 阿部寛信, 中司 昇 (2012): “東京電力福島第 1 原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の土壤中深度方向の分布状況に関する調査研究, 2; 調査地域の地形及び調査地点の選定並びに深度方向の土壌分布”, 日本原子力学会 2012 年春の年会, 2012 年 3 月.
- 納多 勝, 山本修一, 志村友行, 佐藤 伸, 棚井憲治, 藤田朝雄 (2011): “ガス移行挙動に関する原位置試験計画の検討, 1; 試験体規模の検討”, 日本原子力学会 2011 年秋の大会, 2011 年 9 月.
- Ota, K., Kunimaru, T., Amano, K., Alexander, W. R. (2011): “Development of quality management system for site characterisation programmes; Experience in Japan”, *Proceedings of 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011)*, 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), 2011 年 9 月.
- Ota, K., Amano, K., Niizato, T., Lanyon, B., Alexander, W. R. (2011): “Development of comprehensive techniques for coastal site characterisation; Integrated palaeohydrogeological approach for development of site evolution models”, *Proceedings of 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011)*, 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), 2011 年 9 月.
- Saegusa, H., Niizato, T., Yasue, K., Onoe, H., Doke, R. (2011): “Technical know-how of site descriptive modeling for site characterization”, *Proceedings of 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011)*, 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), 2011 年 9 月.
- Sasaki, Y., Asano, T., Amano, Y., Sato, T., Iwatsuki, T., Yoshikawa, H. (2011): “Study of deep subsurface microbial community under changing redox conditions using quantitative method”, *Goldschmidt 2011*, 2011 年 8 月.
- 佐藤治夫, 天野健治, 新里忠史, 田中真悟, 野原 壯, 岩月輝希, 村上裕晃, 杉田 裕, 中山 雅, 阿部寛信, 青木和弘, 中司 昇 (2012): “東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の土壤中深度方向の分布状況に関する調査研究, 4; 深度方向の放射性物質の濃度分布と沈着量の推定”, 日本原子力学会 2012 年春の年会予稿集, 2012 年 3 月.
- Sato, H., Sugita, Y., Nakamaya, M. (2011): “Status of the Horonobe Underground Research Laboratory Project, Hokkaido, Japan, and future plan”, *Proceedings of 19th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-19)*, 2011 年 10 月.
- 佐藤 伸, 山本修一, 納多 勝, 志村友行, 藤田朝雄, 棚井憲治 (2011): “ガス移行挙動に関する原位置試験計画の検討, 2; 再冠水時及びガス移行時における試験体への力学影響”, 日本原子力学会 2011 年秋の大会, 2011 年 9 月.
- 鈴木浩一, 吉村公孝, 杉田 裕, 安藤 誠, 東 宏幸 (2011): “二粒子モデルを用いた弾性波速度と電気伝導度との組合せ解釈; 横須賀及び幌延堆積軟岩地点での検層データへの適用例”, 物理探査学会第 124 回 (平成 23 年度春季) 学術講演会, 2011 年 5 月.
- 田中真悟, 佐藤治夫, 新里忠史, 天野健治, 野原 壯, 岩月輝希, 村上裕晃, 杉田 裕, 中山 雅, 阿部寛信, 青木和弘, 中司 昇, 知場一訓, 小崎 完, 佐藤正知 (2012): “東京電力福島第 1 原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の土壤中深度方向の分布状況に関する調査研究, 3; 土壌に対する Cs 及び I の収着分配係数”, 日本原子力学会 2012 年春の年会, 2012 年 3 月.
- 東郷洋子, 高橋嘉夫, 天野由記, 松崎浩之, 村松康行, 岩月輝希 (2011): “表層土壌圏及び地下岩石圏でのヨウ素の挙動解明”, 2011 年度日本地球化学会年会, 2011 年 9 月.

- 常盤哲也, 新里忠史, 天野健治, 赤嶺辰之介, 田邊謹也, 中務真志, 山田泰広 (2011): “アナログモデル実験による地質構造発達過程の三次元モデル化に関する知識の分析・整理-幌延地域の事例-”, 日本地質学会第 118 年学術大会・日本鉱物科学会 2011 年学術大会合同学術大会, 2011 年 9 月.
- Tokiwa, T., Tsusaka, K., Ishii, E., Sanada, H., Tominaga, E., Hatsuyama, Y., Funaki, H. (2011): “Influence of a fault system on rock mass response to shaft excavation in soft sedimentary rock, Horonobe area, northern Japan”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol.48, No.5, pp.773-781.
- 鳥潟一文, 本多照幸, 岩月輝希, 村上裕晃 (2012): “幌延地域における堆積岩中の元素の存在形態”, 第 36 回フィッション・トラック研究会, 2012 年 1 月.
- 津坂仁和, 稲垣大介, 名合牧人, 松原 誠 (2012): “堆積軟岩における大深度立坑掘削に伴う壁面崩落現象”, 地下空間シンポジウム論文・講演集, 第 17 巻, pp.155-162, 2012 年 1 月.
- Tsusaka, K., Inagaki, D., Koike, M., Ijiri, Y., Hatsuyama, Y. (2011): “A study on mechanical behaviors of concrete lining and rock caused by shaft sinking at the Horonobe Underground Research Laboratory”, *Proceedings of the 12th Congress of International Society for Rock Mechanics*, pp.305-308, 2011 年 10 月.
- 上田貴宏, 五十嵐敏文, 洞 秀幸, 佐高裕之, 島田智浩 (2011): “珪藻質泥岩から溶出する窒素成分の挙動とその影響因子”, 平成 23 年度資源・素材学会北海道支部総会及び春季講演会, 2011 年 6 月.
- 上田貴宏, 五十嵐敏文, 洞 秀幸, 佐高裕之, 島田智浩 (2011): “珪藻質泥岩における窒素成分の溶出挙動に及ぼす影響因子”, 平成 23 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2011 年 9 月.
- 上原真一, 嶋本利彦, 松本拓真, 新里忠史, 岡崎啓史, 高橋美紀 (2011): “地下深部における新第三紀泥質軟岩中の亀裂の透水特性一室内試験による推定”, *Journal of MMIJ*, Vol.127, No.3, pp.139-144.
- 藪内 聡, 國丸貴紀, 岸 敦康, 小松 満 (2011): “水平坑道の掘削に伴う坑道周辺の間隙水圧・岩盤水分量モニタリング; 幌延深地層研究所 140m 調査坑道での測定”, *土木学会論文集 C*, Vol.67, No.4, pp.464-473.
- 山本陽一, 横田秀晴 (2011): “ライシメータによる北海道幌延調査流域の蒸発散量測定”, 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 2011 年 9 月.
- Yamamoto, Y., Takahashi, Y., Sakami, S., Mizuno, T., Amano, K., Hama, K., Shimizu, H. (2011): “Behavior of rare earth elements during chemical alteration of deep granitic rocks at Tono, Central Japan”, *Goldschmidt 2011*, 2011 年 8 月.
- 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分分布の検討”, 日本地下水学会 2011 年秋季講演会講演要旨, 日本地下水学会 2011 年秋季講演会, pp.276-281, 2011 年 10 月.
- Yasue, K., Doke, R., Niwa, M., Tanikawa, S., Nakayasu, A., Niizato, T., Asamori, K., Ishimaru, T., Umeda, K. (2011): “Spatial variations in the onset times of active faultings in Japan”, *American Geophysical Union 2011 Fall Meeting*, 2011 年 12 月.
- 吉川英樹, 佐々木祥人, 伊藤剛志, 天野由記, 岩月輝希 (2012): “PHREEQC による酸化還元状態変化に関する微生物影響解析手法の開発, 2; 微生物増殖パラメータデータベース化の検討”, 日本原子力学会 2012 年春の年会, 2012 年 3 月.
- 横田秀晴, 山本陽一, 前川恵輔 (2011): “北海道幌延地域における地下水位と地質構造に基づく浅部地下水流動に関する検討”, 地下水学会誌, Vol.53, No.2, pp.193-206.
- Yuguchi, T., Amano, K., Tsuruta, T., Danhara, T., Nishiyama, T. (2011): “Thermochronology and the three-dimensional cooling pattern of a granitic pluton: An Example from the Toki granite, Central Japan”, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol.162, No.5, pp.1063-1077.

2012 年度

- 阿部寛信, 池田幸喜, 見掛信一郎, 永崎靖志, 新里忠史, 浅妻新一郎, 青木 勲, 石川信行, 石川浩康, 石崎暢洋, 今村弘章, 上坂貴洋, 内田伸一, 江口和利, 菊池 栄, 古宮友和, 藺田 暁, 須藤智之, 高橋 修, 照沼章弘, 松本正喜 (2012): “福島県除染推進活動に関する平成 23 年度の専門家活動について; 仮置場の設置にかかわる原子力機構の支援対応”, 日本地質学会第 119 年学術大会, 2012 年 9 月.
- 天野由記, 南條 功, 村上裕晃, 藪内 聡, 横田秀晴, 佐々木祥人, 岩月輝希 (2012): “北海道幌延地域における深部地下水調査; 地上からの地球化学調査の妥当性評価と地下施設建設に伴う地球化学特性変化”, 地下水学会誌, Vol.54, No.4, pp.207-228.
- 青木和弘, 佐藤治夫, 新里忠史, 田中真悟, 阿部寛信 (2012): “東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の土壌中深度方向の分布状況に関する調査研究(その 2), 1; 調査研究の概要”, 日本原子力学会 2012 年秋の大会, 2012 年 9 月.
- Aoyagi, K., Tsusaka, K., Tokiwa, T., Kondo, K., Inagaki, D. (2013): “Geomechanical Assessment of the Excavation Damaged Zone in the Horonobe Underground Research Laboratory, Japan”, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム/第 6 回日韓ジョイントシンポジウム, 2013 年 1 月.
- 千々松正和, 小山倫史, 清水浩之, 中間茂雄, 藤田朝雄 (2013): “スウェーデン Äspö 地下研究施設において実施された pillar stability test の解析評価, 1; 連続体解析手法を用いた解析と各機関の解析結果の比較”, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム/第 6 回日韓ジョイントシンポジウム

- ム, 2013 年 1 月.
- Fujita, T., Kawaguchi, M., Walker, C., Sasamoto, H., Yui, M., Onishi, Y. (2012): “Development of grouting technologies for HLW disposal in Japan, 1; Overall program and key engineering technologies”, Proceedings of 7th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS-7), 7th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS-7), 2012 年 10 月.
- 藤田朝雄, 笹本 広, 杉田 裕, 松井裕哉 (2013): “地層処分におけるグラウト技術の高度化開発, 1; プロジェクトの概要と開発技術の適用例”, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム/第 6 回日韓ジョイントシンポジウム, 2013 年 1 月.
- 藤田朝雄, 棚井憲治, 志村友行, 納多 勝, 山本修一, 佐藤 伸 (2012): “岩盤中のガス移行挙動試験に関する基本計画, 2; 溶存メタンの影響把握”, 日本原子力学会 2012 年秋の大会, 2012 年 9 月.
- 萩原健司, 名合牧人, 工藤 元, 津坂仁和 (2012): “堆積軟岩における大深度立坑の施工”, 日本トンネル技術協会 第 70 回 (山岳) 施工体験発表会, 2012 年 6 月.
- 萩原健司, 名合牧人, 南出賢司, 小川弘之, 宇山幹紀, 傳馬啓輔, 木須芳男, 森本 勤, 工藤 元, 津坂仁和 (2012): “堆積軟岩における大深度立坑掘削に伴う崩落対策工の検討”, 土木学会平成 24 年度全国大会第 67 回年次学術講演会, 2012 年 9 月.
- Igarashi, T., Ueda, T., Hokora, H., Jo, M., Kudo, H. (2012): “Factors affecting the leaching of nitrogen species from diatomaceous mudstone”, 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on Geo-Disaster Mitigation in ASEAN, 2012 年 9 月.
- Ise, K., Nanjo, I., Amamiya, H., Amano, Y., Iwatsuki, T., Asano, T., Kageyama, K., Sasaki, Y., Yoshikawa, H. (2012): “Microbial structure change in the groundwater samples from two boreholes at depths of -250m in Horonobe Underground Research Laboratory”, 14th International Symposium on Microbial Ecology (ISME-14), 2012 年 8 月.
- 岩月輝希, 水野 崇, 萩原大樹, 新宮信也, 大森一秋, 福田朱里 (2012): “多変量解析による大規模地下施設周辺の地下水水質変化プロセスの推定”, 2012 年度日本地球化学会年会, 2012 年 9 月.
- 加藤欣也, 板橋秀治, 佐高裕之, 城 まゆみ (2012): “シート被覆による掘削土(ズリ)置場の浸出水量の低減及びハウス・窒素濃度低減の検証”, 土木学会平成 24 年度全国大会第 67 回年次学術講演会, 2012 年 9 月.
- 川口昌尚, 岸 裕和, 藤田朝雄, 岸田 潔 (2013): “地層処分におけるグラウト技術の高度化開発, 2; グラウト材料の選定”, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム/第 6 回日韓ジョイントシンポジウム 2013 年 1 月.
- 菊池広人, 棚井憲治, 澤田純之, 前川恵輔 (2013): “幌延 URL における人工バリアの性能確認試験, 3; 堆積岩の掘削ズリを用いた坑道の埋め戻し材の膨潤圧特性に関する検討”, 日本原子力学会 2013 年春の年会, 2013 年 3 月.
- 近藤桂二, 津坂仁和, 稲垣大介, 杉田 裕, 加藤春實, 丹生屋純夫 (2013): “幌延深地層研究所における珪藻質泥岩を対象とした水圧破碎法による初期地圧の測定”, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム/第 6 回日韓ジョイントシンポジウム, 2013 年 1 月.
- 松井裕哉, 水野 崇, 笹本 広, 佐藤稔紀 (2013): “地層処分におけるグラウト技術の高度化開発, 7; 結晶質岩における地震前後のプレグラウト領域の地下水流動及び水質変化”, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム/第 6 回日韓ジョイントシンポジウム, 2013 年 1 月.
- 松崎達二, 常盤哲也, 中務真志, 山田泰広, 赤嶺辰之介, 天野健治, 新里忠史 (2012): “アナログ実験を用いた地質発達モデルによる隆起量の定量的推定の試み; 北海道北部幌延地域の事例”, 日本地質学会第 119 年学術大会, 2012 年 9 月.
- 南出賢司, 萩原健司, 名合牧人, 小川弘之, 宇山幹紀, 傳馬啓輔, 木須芳男, 森本 勤, 工藤 元, 津坂仁和 (2012): “堆積軟岩における大深度立坑掘削に伴う崩落対策工の効果”, 土木学会平成 24 年度全国大会第 67 回年次学術講演会, 2012 年 9 月.
- Miyakawa, K., Nohara, T., Tokiwa, T., Yamazaki, M. (2013): “Repetition of spectral analysis on rock permeability applied to seven years record of pore-pressure response to atmospheric loading at the Horonobe URL in Japan”, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム/第 6 回日韓ジョイントシンポジウム, 2013 年 1 月.
- 宮坂省吾, 新里忠史, 重野聖之 (2012): “北海道北部、幌延地域西部の地すべり地形”, 北海道の地すべり 2012, pp.61-66, 2012 年 8 月.
- Mizuno, T., Iwatsuki, T. and Matsuzaki, T. (2012): “Procedure for estimation of salinity distribution based on resistivity data of rock mass”, American Geophysical Union 2012 Fall Meeting, 2012 年 12 月.
- 村上裕晃, 天野由記, 雨宮浩樹, 佐々木祥人, 岩月輝希, 吉川英樹 (2012): “埋め戻し材を用いた岩盤中の酸化還元緩衝能力に関する原位置試験”, 日本原子力学会 2012 年秋の大会, 2012 年 9 月.
- 中山 雅, 澤田純之, 棚井憲治, 杉田 裕 (2013): “幌延 URL における人工バリアの性能確認試験, 1; 試験計画の全体概要”, 日本原子力学会 2013 年春の年会, 2013 年 3 月.
- 新里忠史, 阿部寛信, 佐藤治夫, 酒井利啓, 田中真悟, 青木和弘 (2012): “東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の土壌中深度方向の分布状況に関する調査研究(その 2), 2; 調査地域の地形、土壌、地質及び土地利用条件と放射性物質の深度方向の分布状況の関連性”, 日本原子力学会 2012 年秋の大会, 2012 年 9 月.
- 新里忠史, 大澤英昭, 石丸恒存, 道家涼介, 中安昭夫 (2012): “地質環境調査における意思決定過程と論理構造の表出化”, 日本地質学会第 119 年学術大会, 2012 年 9 月.

- Saito, T., Suzuki, Y. and Mizuno, T. (2012): "Size and elemental analyses of nano colloids in deep granitic groundwater; Implications for transport of trace elements", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol.435, pp.48-55, 2013 年 10 月.
- Sasaki, Y., Asano, T., Ise, K., Sato, T., Murakami, H., Amamiya, H., Amano, Y., Iwatsuki, T., Yoshikawa, H. (2012): "Planktonic and attached microbes in deep subsurface", 14th International Symposium on Microbial Ecology (ISME-14), 2012 年 8 月.
- Sato, H., Niizato, T., Amano, K., Tanaka, S., Aoki, K. (2012): "Investigation and Research on Depth Distribution in Soil of Radionuclides Released by the TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident", *Materials Research Society Symposium Proceedings*, Materials Research Society 2012 Fall Meeting, 2012 年 11 月.
- 佐藤治夫, 新里忠史, 田中真悟, 阿部寛信, 青木和弘 (2012): "東京電力福島第 1 原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の土壤中深度方向の分布状況に関する調査研究(第 2 次調査)", 日本原子力学会バックエンド部会第 28 回バックエンド夏期セミナー, 2012 年 8 月.
- 佐藤治夫, 田中真悟, 新里忠史, 阿部寛信, 青木和弘 (2012): "東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の土壤中深度方向の分布状況に関する調査研究 (その 2), 4; 深度方向における放射性物質の濃度分布と移行に関する検討", 日本原子力学会 2012 年秋の大会, 2012 年 9 月.
- 澤田純之, 中山 雅, 棚井憲治, 森川義人, 城 まゆみ (2013): "幌延 URL における人工バリアの性能確認試験, 2; 堆積岩の掘削ズリを用いた坑道の埋め戻し材の締固め特性と透水性に関する検討", 日本原子力学会 2013 年春の年会, 2013 年 3 月.
- 澤田純之, 常盤哲也, 熊谷誓也, 南出賢司 (2012): "堆積軟岩を対象としたプレグラウト施工範囲の調査方法に関する研究", 土木学会平成 24 年度全国大会第 67 回年次学術講演会, 2012 年 9 月.
- 清水浩之, 菊池広人, 棚井憲治, 藤田朝雄 (2012): "ベントナイト膨潤圧試験における壁面摩擦力の影響に関する粒状個別要素法解析", 土木学会平成 24 年度全国大会第 67 回年次学術講演会, 2012 年 9 月.
- 清水浩之, 小山倫史, 千々松正和, 中間茂雄, 藤田朝雄 (2013): "スウェーデン Äspö 地下研究施設において実施された pillar stability test の解析評価, 2; 不連続体解析手法である粒状体個別要素法を用いた解析", 第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム/第 6 回日韓ジョイントシンポジウム, 2013 年 1 月.
- 塩崎 功, 山下 亮, 大山卓也, 新里忠史, 天野健治, 今井 久 (2012): "地質環境の長期変遷を考慮した地下水流動解析; 仮想変動事象による影響の推定", 日本地下水学会 2012 年秋季講演会, 2012 年 9 月.
- 杉田 裕, 真田昌慶, 藤田朝雄, 羽柴公博, 福井勝則, 大久保誠介 (2013): "破碎した珪質泥岩の強度及び遮水性の回復", 第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム/第 6 回日韓ジョイントシンポジウム, 2013 年 1 月.
- 須藤智之, 石川浩康, 上坂貴洋, 藺田 暁, 石川信行, 新里忠史, 見掛信一郎, 青木 勲, 石崎暢洋, 今村弘章, 梅澤克洋, 江口和利, 高橋 修, 和田孝雄, 浅妻新一郎 (2012): "JAEA 福島環境安全センターにおける除染活動にかかわる経験・教訓, 4; 自治体支援", 日本原子力学会 2012 年秋の大会, 2012 年 9 月.
- 多田浩幸, 熊坂博夫, 齋藤 亮, 中谷篤史, 石井 卓, 真田昌慶, 野口 聡, 岸 裕和, 中間茂雄, 藤田朝雄 (2013): "セメントの使用を極力抑えた岩石利用セグメント支保工の開発", 第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム/第 6 回日韓ジョイントシンポジウム, 2013 年 1 月.
- 田中真悟, 佐藤治夫, 大熊成地, 渡辺直子, 小崎 完, 佐藤正知, 阿部寛信, 新里忠史, 青木和弘 (2012): "東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の土壤中深度方向の分布状況に関する調査研究 (その 2), 3; 土壌特性評価と Cs 及び I の収着・脱着試験", 日本原子力学会 2012 年秋の大会, 2012 年 9 月.
- 棚井憲治, 藤田朝雄, 納多 勝, 山本修一, 志村友行, 佐藤 伸 (2012): "岩盤中のガス移行挙動試験に関する基本計画, 1; 試験条件の設定", 日本原子力学会 2012 年秋の大会, 2012 年 9 月.
- 棚井憲治, 藤田朝雄, 納多 勝, 山本修一, 志村友行, 佐藤 伸 (2013): "岩盤中のガス移行挙動試験計画の立案, 1; ガス移行挙動試験に用いる載荷ガス圧の設定", 第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム/第 6 回日韓ジョイントシンポジウム, 2013 年 1 月.
- 棚井憲治, 藤田朝雄, 佐藤 伸, 納多 勝, 山本修一, 志村友行 (2013): "岩盤中のガス移行挙動試験計画の立案, 2; 溶存メタンが及ぼすガス移行挙動試験への影響検討", 第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム/第 6 回日韓ジョイントシンポジウム, 2013 年 1 月.
- 東郷洋子, 鈴木庸平, 福田朱里, 水野 崇, 伊藤一誠 (2012): "SEC-ICP-MS を用いた地下水中の微量元素とコロイドの相互作用の検討", 2012 年度日本地球化学会年会, 2012 年 9 月.
- Togo, Y., Takahashi, Y., Amano, Y., Matsuzaki, H., Suzuki, Y., Muramatsu, Y., Iwatsuki, T. (2012): "Long-term migration of iodine in sedimentary rocks based on iodine speciation and $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ ratios", *American Geophysical Union 2012 Fall Meeting*, 2012 年 12 月.
- 常盤哲也, 澤田純之, 落合彰二, 宮川和也 (2013): "Occurrence of high-permeability fracture estimated by grouting in Horonobe URL of Japan", 第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.1021-1025, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム/第 6 回日韓ジョイントシンポジウム, 2013 年 1 月.
- Tokiwa, T., Tsusaka, K., Matsubara, M., Ishikawa, T., Ogawa, D. (2012): "Formation mechanism of extension fractures induced by excavation of a gallery in soft sedimentary rock, Horonobe area, northern Japan", *Geoscience Frontiers*, 4(1), pp.105-111, 2012 年 6 月.
- 常盤哲也, 津坂仁和, 松原 誠, 石川泰己, 小川大介 (2012): "北海道幌延地域に分布する堆積軟岩における坑道掘削に伴う割れ目の特徴", 日本地質学会第 119 年学術大会, 2012 年 9 月.

- 鳥潟一文, 本多照幸, 岩月輝希, 村上裕晃 (2012): “逐次溶解法を併用した中性子放射化分析法による堆積岩中の微量元素の存在形態に関する研究”, 2012 日本放射化学会年会・第 56 回放射化学討論会, 2012 年 10 月.
- 津坂仁和 (2012): “幌延深地層研究所”, 地下空間利用ガイドブック 2012, pp.350-354, 2013 年 4 月.
- 津坂仁和, 稲垣大介, 羽出山吉裕, 小池真史, 島田智浩, 井尻裕二 (2012): “ショートステップ工法による立坑掘削に伴う支保部材の力学挙動に関する研究”, 土木学会論文集 F1, Vol.68, No.1, pp.7-20.
- 津坂仁和, 稲垣大介, 名合牧人, 小池真史, 松原 誠, 菅原健太郎 (2013): “幌延深地層研究所での立坑掘削における覆工コンクリートに対する岩盤崩落の影響”, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム/第 6 回日韓ジョイントシンポジウム, 2013 年 1 月.
- Tsusaka, K., Inagaki, D., Tokiwa, T., Yokota, H., Nago, M., Matsubara, M., Shigehiro, M. (2012): “An Observational Construction Management in the Horonobe Underground Research Laboratory Project”, In Proceedings of World Tunnel Congress 2012, 2012 年 5 月.
- 津坂仁和, 常盤哲也, 稲垣大介, 羽出山吉裕, 小池真史, 井尻裕二 (2012): “幌延深地層研究所におけるショートステップ工法による立坑掘削に伴う岩盤の力学挙動に関する研究”, 土木学会論文集 F1, Vol.68, No.2, pp.40-54.
- 上原倫子, 國丸貴紀, 岩月輝希, 松崎達二, 中安昭夫 (2012): “ボーリング調査計画策定における知識の分析・整理”, 日本原子力学会 2012 年秋の大会, 2012 年 9 月.

2013 年度

- 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コロイド特性調査”, 日本原子力学会 2013 年秋の大会, 2013 年 9 月.
- 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, 2013 年 8 月.
- 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, 2013 年 11 月.
- Fujita, T., Nakayama, M., Tanai, K., Sugita, Y. (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, 2014 年 2 月.
- 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について”, トンネル工学論文集第 23 回トンネル工学研究発表会, 2013 年 11 月.
- 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, 2013 年 9 月.
- 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, 2013 年 9 月.
- 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, 2013 年 8 月.
- 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, 2013 年 9 月.
- 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り組み”, 第 29 回バックエンド夏期セミナー, 2013 年 8 月.
- 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, 2013 年 9 月.
- 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論文集, pp.171-176, 2014 年 1 月.
- 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, 2013 年 9 月.
- Kirishima, A., Kuno, A., Amamiya, H., Kubota, T., Kimuro, S., Amano, Y., Miyakawa, K., Iwatsuki, T., Mizuno, T., Sasaki, T. and Sato, N. (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), 2013 年 9 月.
- 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, 2013 年 9 月.
- 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, 2013 年 9 月.

- 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, 2013 年 6 月.
- 松崎達二, 天野健治, 中安昭夫, 笹本 広, 仙波 毅, 吉田英一 (2013): “データフローダイア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, 2013 年 10 月.
- 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, 2013 年 9 月.
- 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, 2014 年 2 月.
- 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.
- 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)*, 2013 年 9 月.
- 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, 2014 年 3 月.
- Murakami, T. and Mizuno, T. (2013): “Behavior of REEs, U and Th in sedimentary rock of Horonobe, Hokkaido, Japan”, 10th East Eurasia International Workshop, 2013 年 10 月.
- 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 年度日本地球化学学会年会, 2013 年 9 月.
- Nagaoka, T., Nakamura, T., Sasaki, Y., Asano, T., Ito, T., Amano, Y., Iwatsuki, T., Yoshikawa, H. (2013): “Microbially mediated redox processes in lactate stimulation with sedimentary rock and groundwater”, *Goldschmidt 2013, Florence*, 2013 年 8 月.
- 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 2014 年 3 月.
- 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 2013 年 9 月.
- 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, 2013 年 10 月.
- 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, 2013 年 5 月.
- 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, 2013 年 10 月.
- 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, 2013 年 1 月.
- 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, 2013 年 9 月.
- Shimizu, H., Koyama, T., Chijimatsu, M., Nakama, S., Fujita, T. (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), 2013 年 8 月.
- 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, 2013 年 9 月.
- 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, 2013 年 9 月.
- 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論文集, pp.177-182.
- 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, 2013 年 9 月.
- 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, 2013 年 4 月.
- 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, 2013 年 5 月.
- 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), pp.339-346, 2013 年 8 月.
- 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”, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.38, pp.542-549, 2013 年 9 月.
- 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, 2013 年 9 月.
- 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, 2013 年 5 月.

2014 年度

- 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, pp.487-492, 2014 年 5 月.
- 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), pp.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), 2014 年 10 月.
- 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), 2014 年 10 月.
- 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, pp.1-4, 2014 年 5 月.
- 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, 2015 年 3 月.
- 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), 2014 年 10 月.
- 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, pp.123-127, 2014 年 9 月.
- 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, Vol.139, pp.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, 2015 年 3 月.
- 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, pp.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, 2014 年 9 月.
- 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, 2014 年 9 月.
- 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 NH_4^+ 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, 2014 年 9 月.
- 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), 2014 年 10 月.
- 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), 2014 年 10 月.
- 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), 2014 年 8 月.

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。

(b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

表 3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光束度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照射度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。

(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてののみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてののみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。

(g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表 4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘着力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎平方メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
表面電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表 6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	′	1′=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	″	1″=(1/60)′=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表 7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表 8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	dB	

表 9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe ≡ (10 ³ /4 π) A m ⁻¹

(a) 3 元素のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≡ 」は対応関係を示すものである。

表 10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g = 2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
ミクロン	μ	1 μ = 1 μm=10 ⁻⁶ m

