

「平成19年度 東濃地科学センター 地層科学研究
情報・意見交換会」資料集

Proceedings of Information and Opinion Exchange Conference
on Geoscientific Study, 2007

(編) 西尾 和久 弥富 洋介 尾方 伸久

(Eds.) Kazuhisa NISHIO, Yosuke IYATOMI and Nobuhisa OGATA

地層処分研究開発部門

結晶質岩工学技術開発グループ

Crystalline Environment Engineering Group

Geological Isolation Research and Development Directorate

May 2008

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは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/index.shtml>)
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター*では実費による複写頒布を行っ
ております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 日本原子力研究開発機構内

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920

「平成 19 年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会」
資料集

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

(編) 西尾 和久[※], 弥富 洋介, 尾方 伸久

(2008 年 3 月 13 日受理)

独立行政法人 日本原子力研究開発機構 東濃地科学センターでは、「地層処分技術に関する研究開発」のうち深地層の科学的研究（以下、地層科学研究）を実施している。地層科学研究を適正かつ効率的に進めていくため、研究開発の状況や成果、さらに今後の研究開発の方向性について、大学、研究機関、企業等の研究者・技術者等に広く紹介し、情報・意見交換を行うことを目的とした「情報・意見交換会」を行っている。本資料は、平成 19 年 10 月 19 日に岐阜県瑞浪市で開催した「平成 19 年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会」にて用いた発表資料を取りまとめたものである。

東濃地科学センター（駐在）：〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-64

※) 技術開発協力員

Proceedings of Information and Opinion Exchange Conference on Geoscientific Study, 2007

(Eds.) Kazuhisa NISHIO✽, Yosuke IYATOMI and Nobuhisa OGATA

Tono Geoscientific Research Unit

Geological Isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency

Akeyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received March 13, 2008)

The Tono Geoscience Center (TGC) of Japan Atomic Energy Agency (JAEA) has been conducting a geoscientific studies in order to establish a scientific and technological basis for the geological disposal of HLW. Information and Opinion Exchange Conference on Geoscientific Study has been held by TGC annually. The conference provides technical information and an opportunity for peer review and exchange of opinions on the geoscientific studies conducted at TGC. Research specialists and engineers from Japanese universities, research organizations and private companies usually participate the conference. This document compiles research presentations, posters of the conference on October 19th, 2007 at Mizunami.

Keywords: Mizunami Underground Research Laboratory, MIU Project, Information and Opinion Exchange Conference, Geoscientific Study, Geological Disposal of HLW

✽) Collaborating Engineer

目 次

1. はじめに	1
2. 情報・意見交換会の概要	2
2.1 口頭発表の表題および発表者	2
2.2 ポスター発表の表題および発表者	2
3. 調査・研究発表資料	5
3.1 「地層処分技術に関する研究開発」における地層科学研究の役割	5
3.2 文献調査の技術基盤の整備 ー地質環境の長期安定性に関する研究ー	13
3.3 概要調査の技術基盤の整備 ー地上からの調査予測研究段階の研究成果ー	29
3.4 精密調査の技術基盤の整備 ー瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削における湧水抑制対策ー	42
4. ポスターセッション発表資料	53
5. おわりに	103
謝辞	103

Contents

1. Introduction.....	1
2. Overview of the Information and Opinion Exchange Conference on Geoscientific Study.....	2
2.1 Presentation titles.....	2
2.2 Poster titles	2
3. Presentations on research and development.....	5
3.1 The roles of geoscientific studies in research and development for geological disposal of HLW	5
3.2 Technical basis for step of Literature Survey on HLW disposal – Study on the long-term stability of geological environment –	13
3.3 Technical basis for step of Preliminary Investigation on HLW disposal—Results on the Surface-based Investigation at the Mizunami Underground Research Laboratory Project—	29
3.4 Technical basis for step of Detailed Investigation on HLW disposal –Reducing method against water inflow during the shafts sinking at the Mizunami Underground Research Laboratory—	42
4. Posters	53
5. Concluding Remarks.....	103
Acknowledgements	103

1. はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）は、わが国における地層処分技術に関する研究開発の中核的な機関として、原子力発電環境整備機構（以下、原環機構）による処分事業と、国による安全規制の両面を支える技術基盤を継続的に強化していくために、他の研究開発機関と連携して基盤的な研究開発を進めている。東濃地科学センターでは、「地層処分技術に関する研究開発」のうち深地層の科学的研究（以下、地層科学研究）を進めている。

東濃地科学センターでは、地層科学研究を適正かつ効率的に進めていくため、大学、研究機関、企業等の研究者・技術者等に地層処分計画との位置付けを明確にした研究開発の状況や成果について広く紹介し、情報・意見交換を行うことを目的として、「東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会」（以下、情報・意見交換会）を毎年1回開催している。本資料は、平成19年10月20日に開催した「情報・意見交換会」の報告資料を取りまとめたものである。

2. 情報・意見交換会の概要

東濃地科学センターでは、平成 19 年 10 月 19 日に岐阜県瑞浪市の陶磁器会館において「情報・意見交換会」を開催した。

平成 19 年度の「情報・意見交換会」においては、「地層処分技術に関する研究開発」における地層科学研究の役割、「文献調査の技術基盤の整備－地質環境の長期安定性に関する研究－」、「概要調査の技術基盤の整備－地上からの調査予測研究段階の研究成果－」、「精密調査の技術基盤の整備－瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削における湧水抑制対策－」について口頭発表の形式で報告した。また、ポスター発表の形式で個別研究の成果を報告した。

2.1 口頭発表の表題および発表者

- ①「地層処分技術に関する研究開発」における地層科学研究の役割
(発表者：結晶質岩工学技術開発グループ 尾方 伸久)
- ②文献調査の技術基盤の整備－地質環境の長期安定性に関する研究－
(発表者：自然事象研究グループ 石丸 恒存)
- ③概要調査の技術基盤の整備－地上からの調査予測研究段階の研究成果－
(発表者：結晶質岩地質環境研究グループ 仙波 毅)
- ④精密調査の技術基盤の整備－瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削における湧水抑制対策－
(発表者：施設建設課 見掛 信一郎)

2.2 ポスター発表の表題および発表者

- ①地質環境の長期安定性に関する研究－GIS データベースと成果の普及－
(発表者：自然事象研究グループ 齋藤 龍郎)
- ②地質環境の長期安定性に関する研究－古地形・古環境復元と地形変化シミュレーション－
(発表者：自然事象研究グループ 安江 健一)
- ③地質環境の長期安定性に関する研究－マグマ・高温流体等の調査技術 (MT 法に係わるデータ処理技術の開発)－
(発表者：自然事象研究グループ 根木 健之)
- ④地質環境の長期安定性に関する研究－活断層の調査技術－
(発表者：自然事象研究グループ 丹羽 正和)
- ⑤地上からの調査研究予測段階 (第 1 段階) の研究成果 (その 1)－第 1 段階における調査研究の全体概要－
(発表者：結晶質岩地質環境研究グループ 三枝 博光)

- ⑥地上からの調査研究予測段階（第1段階）の研究成果（その2）－地質・地質構造に関する調査研究－
（発表者：結晶質岩地質環境研究グループ 松岡 稔幸）
- ⑦地上からの調査研究予測段階（第1段階）の研究成果（その3）－岩盤水理に関する調査研究－
（発表者：結晶質岩地質環境研究グループ 大山 卓也）
- ⑧地上からの調査研究予測段階（第1段階）の研究成果（その4）－地下水の地球化学に関する調査研究－
（発表者：地結晶質岩質環境研究グループ 水野 崇）
- ⑨地上からの調査研究予測段階（第1段階）の研究成果（その5）－岩盤力学に関する調査研究－
（発表者：結晶質岩地質環境研究グループ 瀬野 康弘）
- ⑩地上からの調査研究予測段階（第1段階）の研究成果（その6）－地質環境の調査・評価技術の整備－
（発表者：結晶質岩地質環境研究グループ 竹内 竜史）
- ⑪地上からの調査研究予測段階（第1段階）の研究成果（その7）－深地層の工学技術に関する研究－
（発表者：結晶質岩工学技術開発グループ 松井 裕哉）
- ⑫精密調査の基盤技術の開発－瑞浪超深地層研究所における工学技術に関する研究の概要－
（発表者：結晶質岩工学技術開発グループ 黒田 英高）
- ⑬精密調査の基盤技術の開発－立坑における新しい定量的岩盤分類法の検討－
（発表者：結晶質岩工学技術開発グループ 松井 裕哉）
- ⑭瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削における湧水抑制対策－パイロットボーリング調査結果の概要－
（発表者：施設建設課 竹内 真司）
- ⑮瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削における湧水抑制対策－プレグラウト・結果と評価－
（発表者：施設建設課 原 雅人）
- ⑯量子ビーム応用研究部門との融合研究－放射線グラフト重合による捕集材を用いた瑞浪超深地層研究所における湧水処理の検討－
（発表者：結晶質岩工学技術開発グループ 弥富 洋介）
- ⑰アクロス研究の工学技術への応用－アクロス技術の現状と今後の予定－
（発表者：東濃地科学研究ユニット 長谷川 健）
- ⑱（財）地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所との研究協力－100m ステージにおける傾斜変化－
（発表者：財団法人 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所 石井 紘）

①9 Multi-Component Observations in Deep Boreholes operated by Tono Research
Institute of Earthquake Science

(発表者：財団法人 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所 浅井 康広)

3. 調査・研究発表資料

3.1 「地層処分技術に関する研究開発」における地層科学研究の役割

独立行政法人 日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門
東濃地科学研究ユニット 結晶質岩工学技術開発グループ
尾方 伸久

(1) はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）は、わが国における地層処分技術に関する研究開発の中核的な機関として、原子力発電環境整備機構（以下、原環機構）による処分事業と、国による安全規制の両面を支える技術基盤を継続的に強化していくために、他の研究開発機関と連携して基盤的な研究開発を進めている。東濃地科学センターでは、「地層処分技術に関する研究開発」のうち深地層の科学的研究（以下、地層科学研究）を進めている。

(2) わが国の地層処分計画における地層処分技術に関する研究開発の目的と役割

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、核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構）（現；原子力機構）が 1999 年に公表した「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－」（以下、第 2 次取りまとめ）¹⁾を技術的な拠り所として、研究開発段階から、研究開発と並行して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。2000 年 6 月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（平成 12 年、法律第 117 号、以下、「最終処分法」）が公布され、この法律に基づき同年 10 月に処分事業の実施主体である原環機構が発足した。また、2000 年 11 月に原子力委員会が公表した「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（以下、原子力長計）」²⁾、や「原子力政策大綱」³⁾では、原子力機構を中心とした研究開発機関は、深地層の研究施設等を活用して、深地層の科学的研究、地層処分技術的信頼性向上や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発、安全規制のための研究開発を引き続き着実に進めるべきであるとされている。

(3) 事業段階における地層科学研究の役割

原子力機構では、原子力長計等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」（以下、全体計画）⁴⁾を公表した。全体計画では、「第 2 次取りまとめ」で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。これらの目標を達成するために原子力機構では、「深地層の科学的研究」、「処分技術の信頼性向上」、「安全評価手法の高度化」という三つの分野について研究開発項目を設定し、それぞれの分野における研究開発課題を明らかにした。「深地層の科学的研究」の分野では、①地質環境特性の調査・評価技術の開発、②地質環境の長期安定性に関する研究、③深地層における工学技術の基礎の開発という研究課題を設定し、東濃地科学センター及び幌延深地層研究センターにおいて研究開発に取り組んでいる。

①地質環境特性の調査・評価技術の開発及び、③深地層における工学技術の基礎の開発を進めるための中核となる深地層の研究施設計画については、第1段階である地表からの調査予測研究段階を終了し、研究坑道を掘削しながら調査研究を行う第2段階を進めている。原環機構が行う処分地選定のための調査は、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るが、深地層へのアプローチの方法としては、概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」および「第3段階」が「地下施設を利用した精密調査」に対応すると考えられる。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「超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階（第1段階）研究成果報告書」⁵⁾などにより整備してきた。今後は、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整備していく観点から、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の妥当性を確認すること等を通じて、地表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。

②地質環境の長期安定性に関する研究については、「第2次取りまとめ」では、関連する地球科学の分野に蓄積された情報や知見を分析するとともに、過去の天然現象に認められる傾向や規則性に基づき将来の活動の可能性や変動の規模などを検討し、地層処分に適した安定な地質環境が、わが国にも広く存在し得るとの見通しが得られた。また、その科学的根拠となる基盤情報として、活断層や第四紀火山、海成段丘の分布・形成年代等に関する全国レベルでのデータベースを整備し、文献調査の技術基盤の整備に寄与した。「第2次取りまとめ」以降の研究開発では、従来から進めてきた全国レベルでのデータの蓄積や個別現象・メカニズムの解明といった学術的な研究を継続する一方で、原環機構による精密調査地区の選定や、国による安全規制に必要となる調査技術や評価手法の整備に重点をおいて研究を進めている。

(4) まとめ

東濃地科学センターでは、今後もニーズを的確に把握しつつ研究開発を着実に進め、処分事業と国による安全規制の両面を支える技術基盤の構築に資することを旨とするとともに、研究開発成果のタイムリーな公表、施設の公開、国内外の研究機関との研究協力などを積極的に進め、地層処分に対する国民の理解促進に寄与していく考えである。

参考文献

- 1) 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－”，核燃料サイクル開発機構，JNC TN1410 99-020～024(1999)．
- 2) 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 年度）”，原子力委員会(2000)．
- 3) 原子力委員会：“原子力政策大綱”，原子力委員会(2005)．
- 4) 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」”，核燃料サイクル開発機構，JNC TN1440 2001-008(2001)．
- 5) 日本原子力研究開発機構：“超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階（第 1 段階）研究成果報告書”，日本原子力研究開発機構，JAEA-Research 2007-43(2007)．

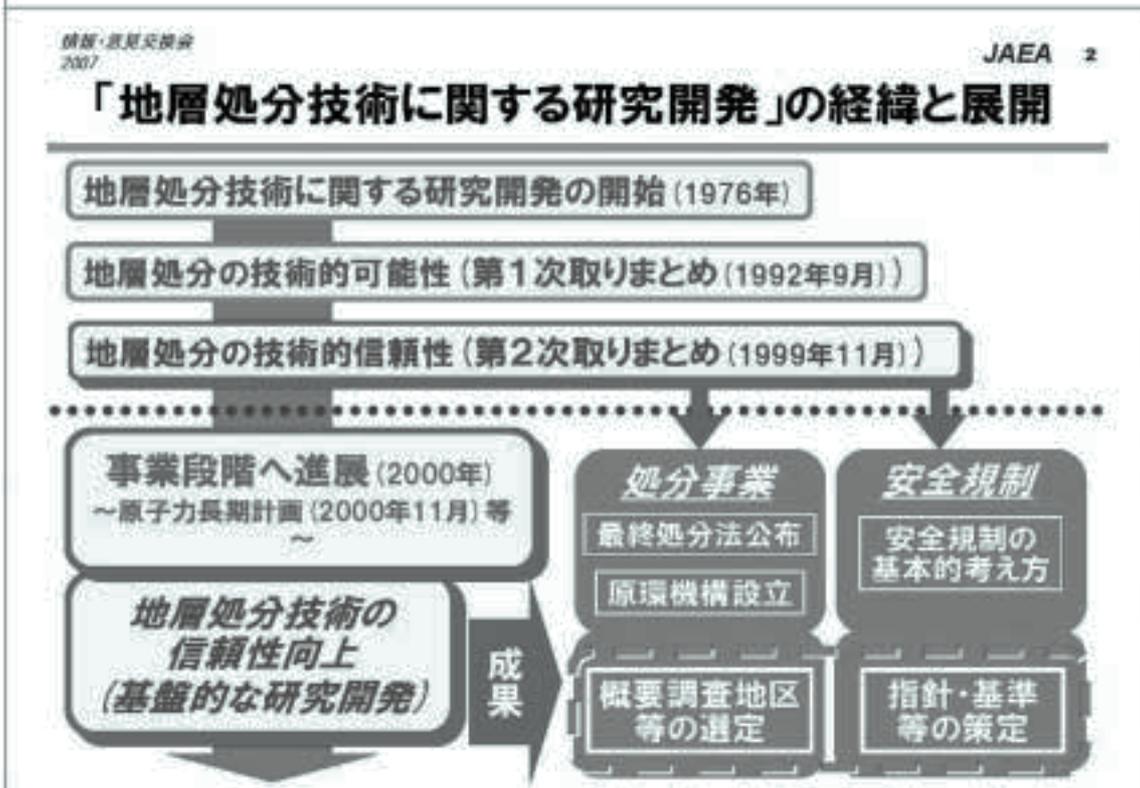
情報・広報委員会
2007

JAEA 1

「地層処分技術に関する研究開発」における 地層科学研究の役割

平成19年10月19日

独立行政法人 日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門
結晶質岩工学技術開発グループ
尾方 伸久



第2次取りまとめ以降の研究開発

第2次取りまとめ：わが国における地層処分の成立性を提示

信頼性の向上

(技術的信頼性)

- ・地層処分に適した地質環境が存在する
- ・地質環境条件に応じて処分場を建設できる
- ・地層処分の長期的な安全性を確認する

「高レベル放射性廃棄物地層処分技術に関する研究開発の全体計画」(2001)

実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認

- ・これまでに整備してきた調査技術や評価手法を実際の地質環境へ適用し、その信頼性や実用性を確認

地層処分システムの長期挙動の理解

- ・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る

事業段階における地層科学研究の役割

- 研究開発の目標と課題 -

目標

実際の地質環境への地層
処分技術の適用性確認

地層処分システムの
長期挙動の理解

研究課題

深地層の
科学的研究

地層処分研究開発

工学技術の
信頼性向上

安全評価手法の
高度化

地質環境特性の調査
・評価技術の開発
深地層における工学
技術の基礎の開発

処分技術実施の地質環境への
適用性の確認

処分場閉鎖等の工学
技術の信頼性向上

安全評価手法の実際の地質環
境への適用性の確認

地質環境の長期安
定性に関する研究
(隆起・侵食、
地震・断層活動、火山活動、
ナチュラルアナログ等)

人工バリア等の基本特性デー
タベースの開発

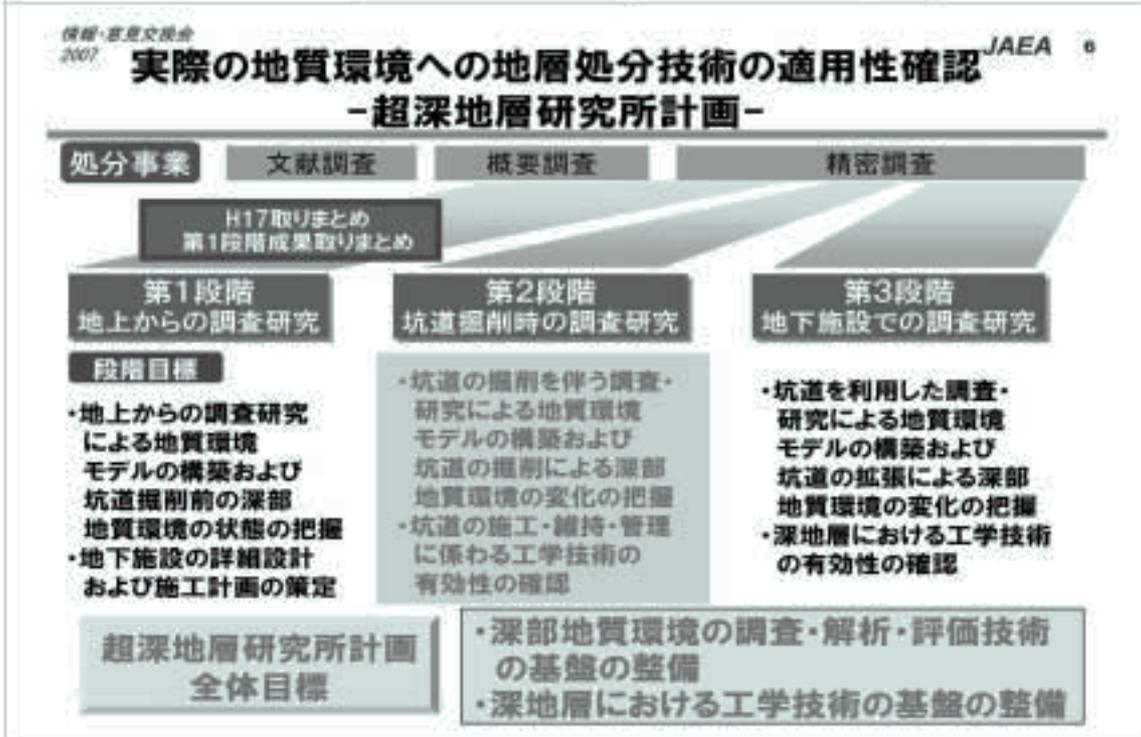
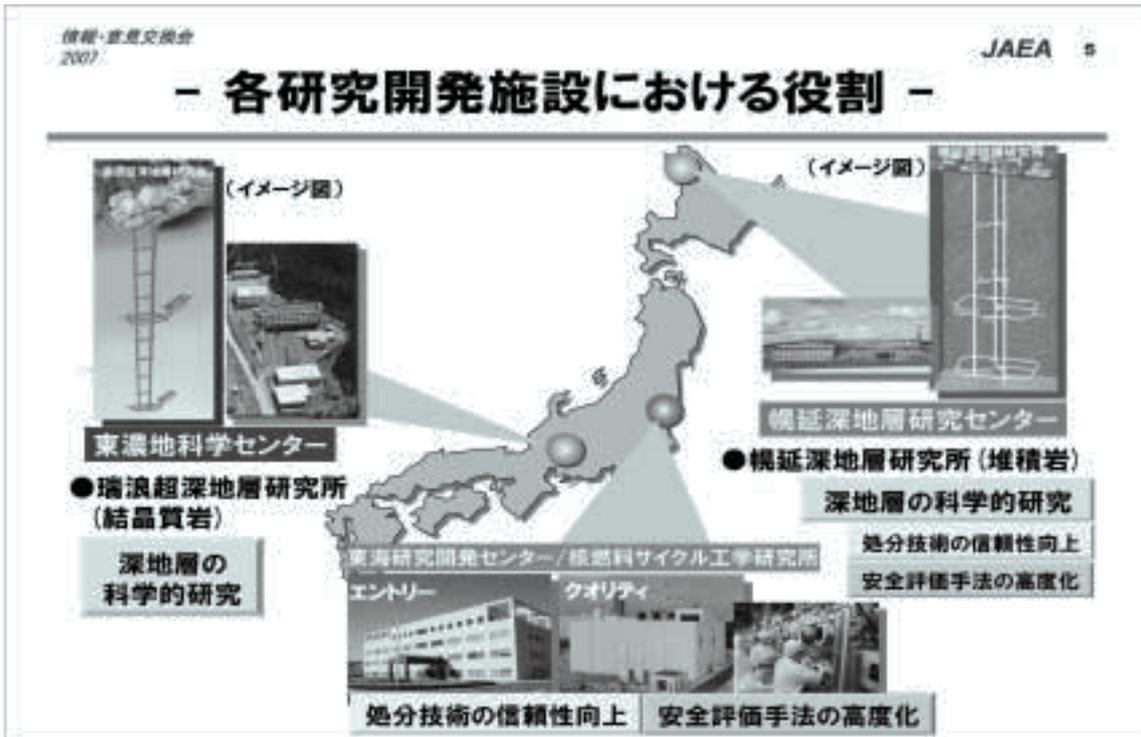
人工バリア等の長期推定挙動
に関する研究

安全評価シナリオの充実

安全評価モデルの高度化

核種移行データベースの整備

知識ベースの開発、知識管理システムの構築



情報・意見交換会 2007 JAEA 7

地層処分システムの長期挙動の理解

処分事業への反映

文献調査の技術基盤の整備に寄与

精密調査地区の選定や国による安全評価に必要な調査技術・評価手法の整備に寄与

「第2次取りまとめ」
までの調査研究

「第2次取りまとめ」
以降の調査研究

-地質環境の長期安定性に関する研究-

- 関連する地球科学の分野に蓄積された情報や知見を分析
- 過去の天然現象に認められる傾向や規則性に基づき将来の活動の可能性や変動規模などを検討
- 地層処分に適した安定な地質環境がわが国にも広く存在し得るとの見通しを得た。
- その科学的根拠となる基盤情報として、活断層や第四紀火山、海成段丘の分布・年代等に関する全国レベルでのデータベースを整備
- 全国レベルでのデータの蓄積や個別現象・メカニズムの解明といった学術的な研究を継続
- 精密調査地区の選定や安全規制に必要な調査技術や評価手法の整備に重点をおいた研究の実施

情報・意見交換会 2007 JAEA 8

「H19年度 情報・意見交換会」成果発表

- 高レベル放射性廃棄物の地層処分の信頼向上をめざして -

文献調査の技術基盤の整備

- 地質環境の長期安定性に関する研究 -

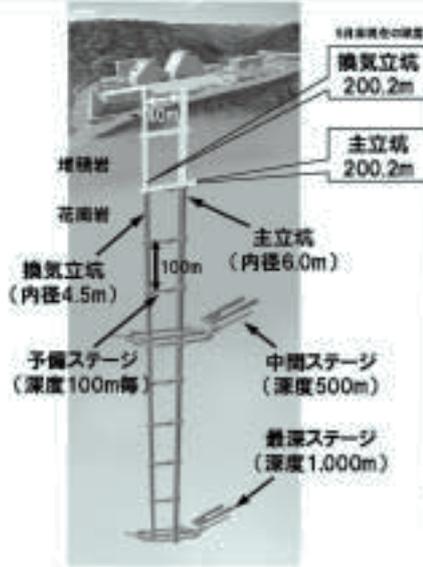
概要調査の技術基盤の整備

- 地上からの調査予測研究段階の研究成果 -

精密調査の技術基盤の整備

- 瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削における湧水抑制対策 -

瑞浪超深地層研究所の現状



撮影:平成19年9月



200m予備ステージ貫通状況

地下施設イメージ
(H15.7立坑掘削開始)

開かれた研究開発の推進



3.2 文献調査の技術基盤の整備 ―地質環境の長期安定性に関する研究―

独立行政法人 日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門
東濃地科学研究ユニット 自然事象研究グループ
石丸 恒存

(1)はじめに

安定大陸に比べて地殻変動や火成活動などが活発であるわが国において、地層処分の安全性を確保するためには、地層処分システムの性能が著しく損なわれないよう、地質環境が長期にわたって安定なサイトを選定することが前提となる。このため「地質環境の長期安定性に関する研究」では、地下深部の地質環境に影響を及ぼす可能性のある地震・断層活動、火山活動、隆起・侵食、気候・海水準変動などの天然現象を対象にこれまで研究を進めてきている。

第2次取りまとめに向けた研究では、特に地層処分に適した安定な地質環境がわが国にも存在し得るとの見通しを得るため、主に関連する地球科学の分野に蓄積された情報や知見を分析するとともに、過去の天然現象に認められる変動の傾向や規則性に基づき、将来の活動の可能性や変動の規模などを検討した。これらの研究成果は、2000年に制定された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」の技術的な拠り所となるとともに、2002年に実施主体が公表した「概要調査地区選定上の考慮事項」¹⁾（文献調査の段階に相当）に科学的な知見を提供している。

第2次取りまとめ以降の研究では、従来から進めてきた個別現象に係わる基盤的な研究を継続する一方で、処分地選定における概要調査や安全規制などに必要となる調査技術や評価手法の整備に重点をおいて研究を進めている。

(2) 第2次取りまとめに関連する研究成果の概要

地震・断層活動、火山活動、隆起・侵食、気候・海水準変動の各天然現象を対象に、主に全国規模でそれらの特徴や変動の規模、規則性などを把握するための調査研究を行った。

①地震・断層活動

日本全国を対象に、後期更新世（約13万年前）以降の断層変位地形に着目した4万分の1の空中写真の詳細判読作業により、「200万分の1日本列島活断層図」²⁾を作成するとともに、活断層の分布と地殻の水平歪速度との比較・検討等を行うことにより地域的な特徴を明らかにした。また、日本周辺海域の第四紀以降に活動したと考えられる約750の断層について、既存の音響地殻断面図等から抽出しデータを取りまとめた。その他、釜石鉾山における地下坑道を利用した地震観測等に基づき、地下での揺れの特性や地震動に伴う地下水変化等について取りまとめた。

②火山活動

日本列島の第四紀火山について、分布、活動年代、噴火様式等を収録した「日本の第四紀火山カタログ」³⁾を作成するとともに、これらの情報に基づいて過去から現在までの火山活動の地理的変遷について解析・検討を行った。また、日本列島の大局的な地下の温度構造を把握するため、全国約2000点の坑井温度データに基づいて日本列島地温勾配図を作成した。この他、火山活動等が地下水の水質に及ぼす影響を把握する等の観点から、全国の温泉・鉱泉等の地下水の化学分析値（約20,000点）を収集し、温泉地化学データベースの整備を進めた。

③隆起・侵食

日本列島の第四紀の海成段丘の分布や年代、第四紀層の基盤深度等の情報を取りまとめて「日本の海成段丘アトラス」⁴⁾として出版するとともに、これらの地殻変動に関するデータに基づいて過去約10万年間を対象とした日本列島の隆起速度の分布図を作成し、日本列島の地殻変動の特徴を明らかにした。また、全国約80箇所のダムの堆砂量や地形に関するデータ等に基づいて、全国の侵食速度の分布を推定した。この他、短時間に地形変化をもたらす侵食作用の一つである、地すべりの全国分布や特徴等に関する情報を取りまとめた。

④気候・海水準変動

気候・海水準変動については、第四紀以降、地球規模で氷期-間氷期と周期的に繰り返していることが知られており、過去数十万年間の日本列島の海水準の上下変動幅や気候変化について既存情報に基づき取りまとめた。また、永久凍土が発達した場合の地質環境への影響等を解析した。

(3) 第2次取りまとめ以降の研究の進め方

現在の「地質環境の長期安定性に関する研究」では、①調査技術の開発・体系化、②長期予測・影響評価モデルの開発、の大きく2つの目標を設定し、地震・断層活動、火山・地熱活動、隆起・侵食／気候・海水準変動に関連するそれぞれの研究課題に取り組んでいる。

①調査技術の開発・体系化

天然現象に関する過去の記録や現在の状況を調査するための体系的な技術の整備を目指して、主に個別の要素技術の開発や既存の調査技術の適用性の確認などを進めており、現段階では「活断層に関する調査技術」、「地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術」、「火山・熱水活動履歴の調査技術」、「古地形・古環境の復元調査技術」等の研究課題について取り組んでいる。

②長期予測・影響評価モデルの開発

将来の天然現象に伴う地質環境条件の変化を予測・評価するための手法の整備を目指して、現象のプロセスを考慮した数値モデル解析技術や現象を確率論的に取り扱う方法などの開発を進めており、現段階では「断層活動の影響評価モデル」、「火山活動等の長期予測モデル」、「熱水活動等の影響評価モデル」、「三次元地形変化モデル」等の研究課題に取り組んでいる。

(4) まとめ

わが国の地層処分計画が 2000 年以降に事業段階へと踏み出すにあたって、「地質環境の長期安定性に関する研究」の主要な研究開発成果はその基礎・基盤となっている。事業段階における研究開発においては、国の基盤研究開発の全体目標の達成に向けた研究機関間の連携や役割分担のもとに、地層処分技術のさらなる信頼性の向上を目指して、処分事業と安全規制の双方に反映できるように研究テーマの重点化を図りつつ、着実に進めていくことが肝要である。

－参考文献－

- 1) 原子力発電環境整備機構(2002)：高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料
- 2) 200 万分の 1 活断層図編纂ワーキンググループ(2000)：活断層研究 19, 3-12
- 3) 第四紀火山カタログ委員会編(1999)：CD-ROM ver. 1.0 日本火山学会
- 4) 小池一之, 町田洋(2001)：日本の海成段丘アトラス：東京大学出版会

情報・意見交換会
2007

JAEA 1

文献調査の技術基盤の整備

-地質環境の長期安定性に関する研究-

平成19年10月19日

独立行政法人 日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門
自然事象研究グループ
石丸 恒存

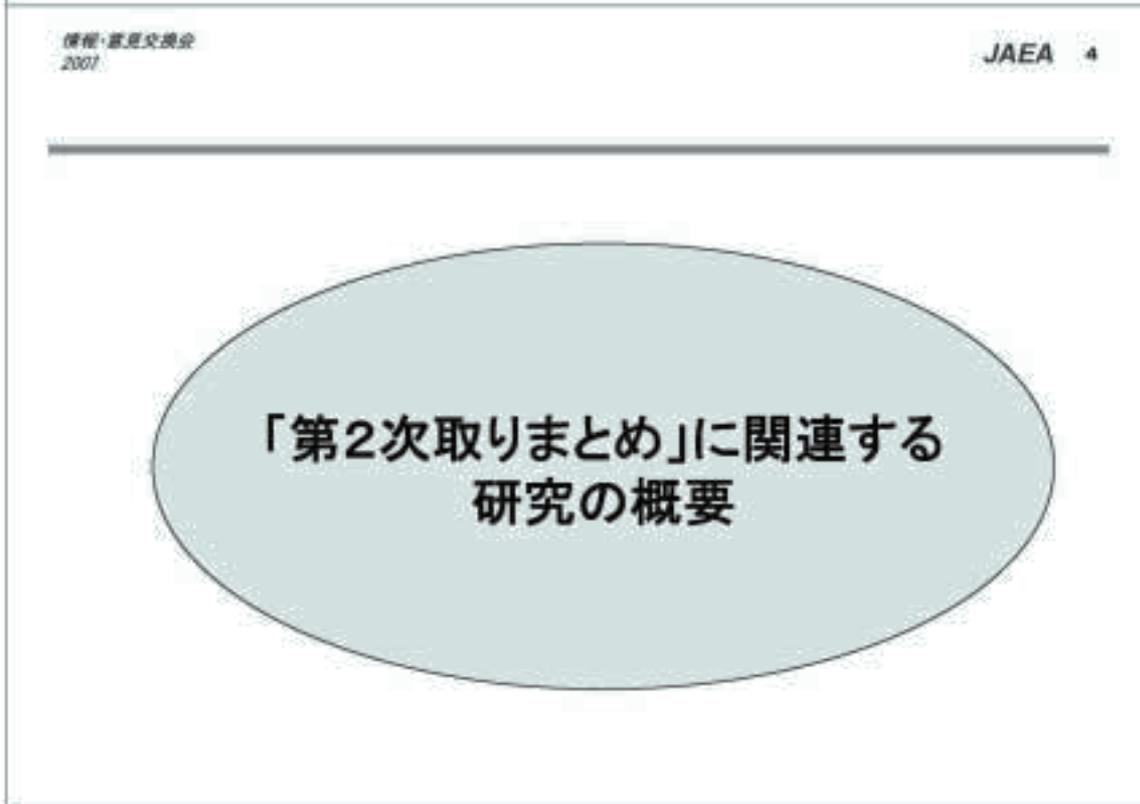
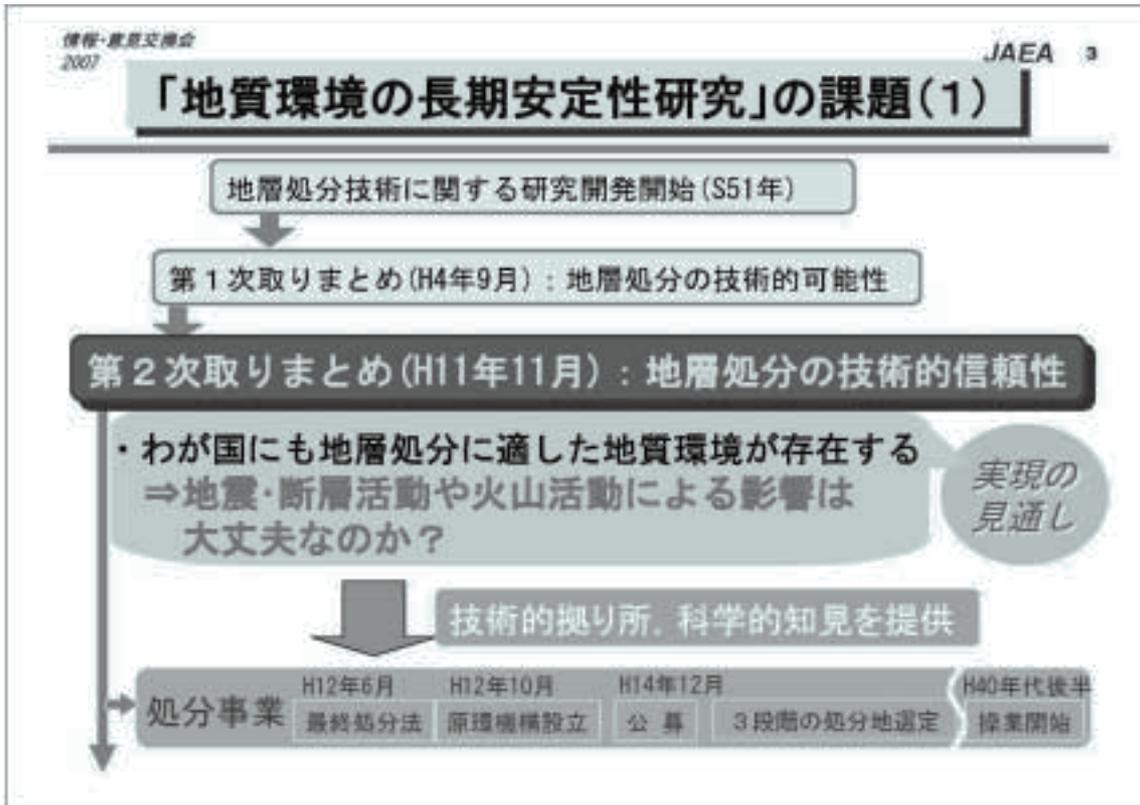
情報・意見交換会
2007

JAEA 2

長期安定性の観点から考慮すべき天然現象

日本列島は、太平洋を取り囲む地殻変動の活発な地域に位置している。

世界の地震分布



「第2次取りまとめ」に向けた主な取組み

- ① 地震・断層活動，火山活動，隆起・侵食，
気候・海水準変動に関する全国規模での
基盤情報の整備

<日本列島活断層図，第四紀火山カタログ，海成段丘アトラス等>

- ② 天然現象の**規則性，地域性の検討**
- ③ 天然現象が地質環境に及ぼす**影響の検討**

断層活動：基盤情報の整備



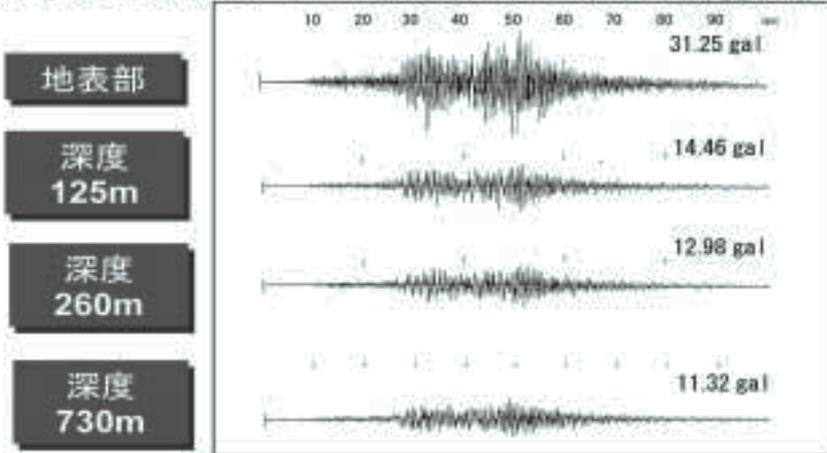
- ・ 4万分の1空中写真を用いて，
後期更新世(約13万年前)の断層
変位地形を重視する厳密な基準で，
日本全域を対象に活断層を判読
- ・ 活断層の変位量，変位基準の年代，
変位の向きなどの属性情報を整備

断層活動は，過去数十万年
間，既存の活断層帯で繰り
返し発生

日本列島活断層図(活断層研究，2000)

地震：影響の検討例

釜石鉾山(岩手県)での地震観測例 (三陸はるか沖地震; 1994年12月28日21時 マグニチュード7.5, 震央距離 212.6 km)



地下深部での地震による揺れは地表の半分以下

火山活動：基盤情報の整備

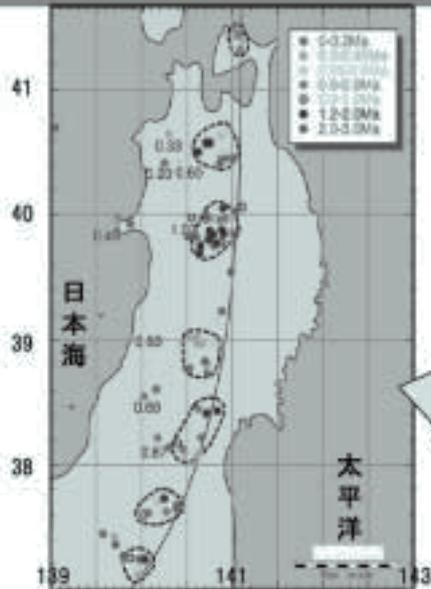


- ・日本列島の第四紀(約200万年前以降)に活動した火山についての基礎データを取りまとめ
- ・約350の火山体の面積・体積, 噴出物の分類, 噴火年代などの情報を整備

火山地域は偏在しており, 約200万年前以降, 大きく変化していない

日本の第四紀火山カタログ(日本火山学会, 1999)

火山活動：地域性、規則性の検討例

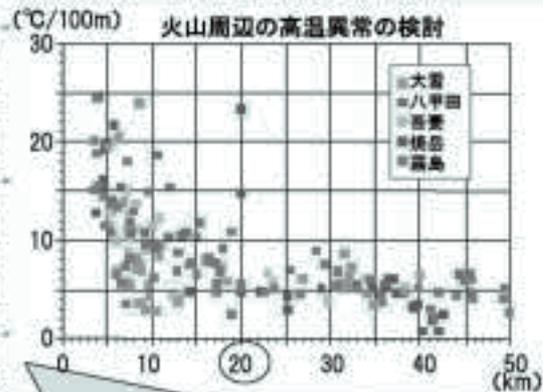


■東北日本では、約200万年前以降の火山活動は、火山フロントの日本海側の特定の地域(火山地域)において、ほぼ繰り返し活動

■火山地域のさらに日本海側(背弧側)には、100万年前(1.0 Ma)以降、いくつかの火山(岩木、鳥海等)が形成

東北日本における第四紀火山の分布と形成年代(梅田ほか, 1999)

火山活動：影響の検討例

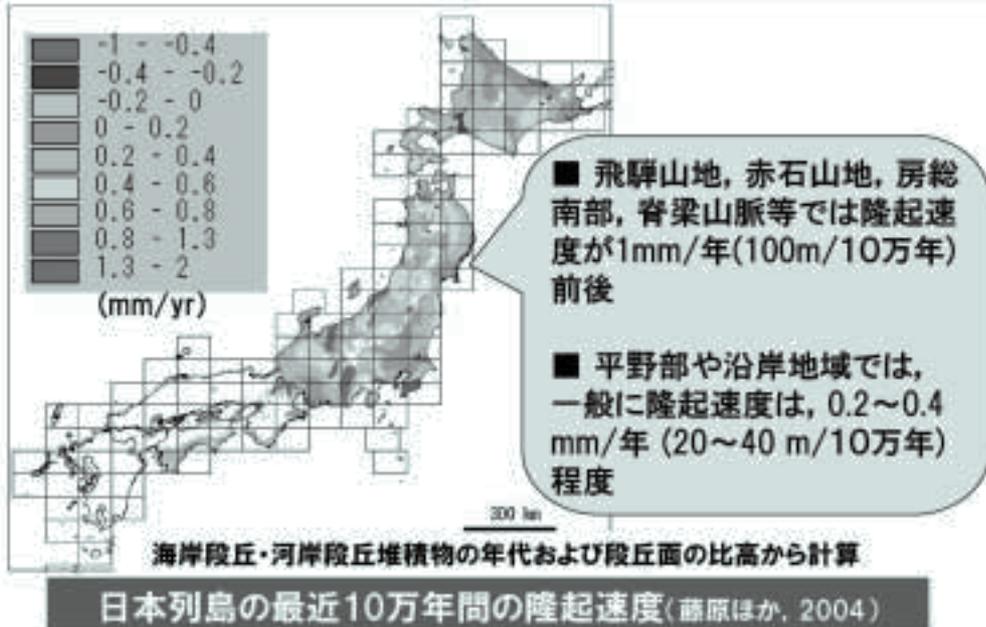


■高温異常の背景となるバックグラウンドは東日本3~5°C/100m, 西日本2°C/100m程度

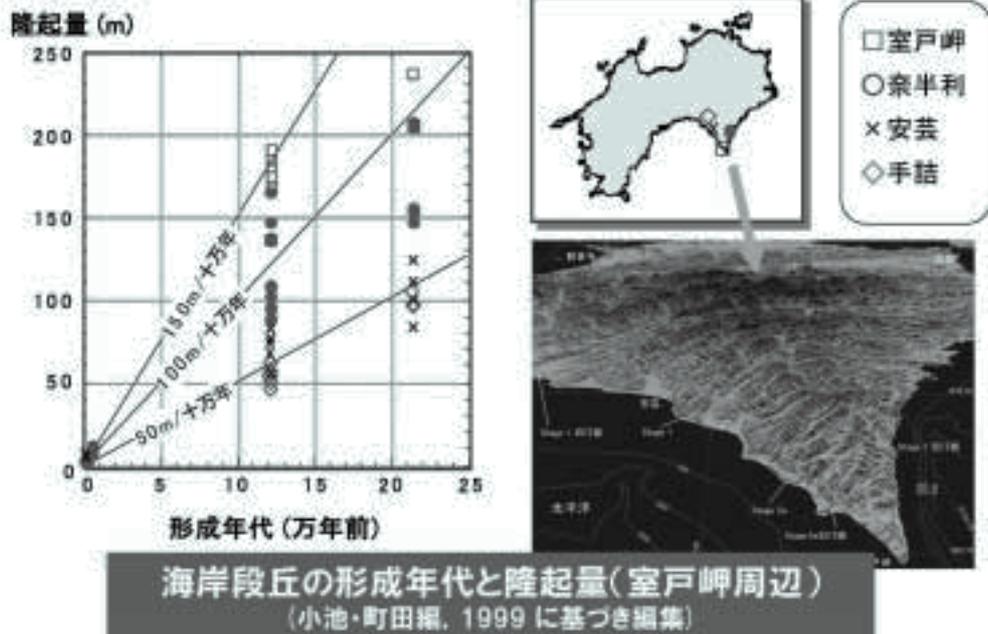
■火山周辺の地温勾配値は一般的に高いが、噴出中心から離れるにしたがって低減

日本列島地温勾配図と火山周辺の坑井の地温勾配(梅田ほか, 1999)

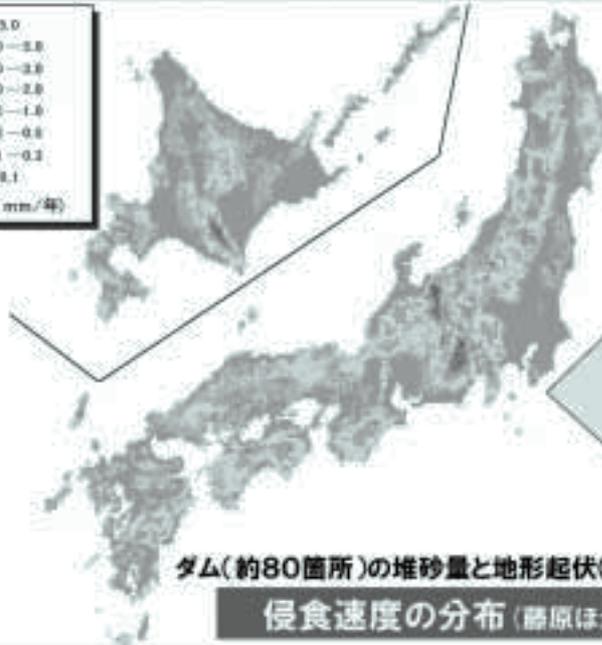
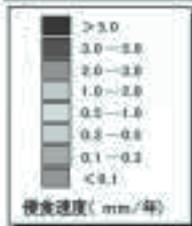
隆起：地域性の検討例



隆起：規模, 規則性の検討例



侵食：地域性の検討例



■ 中部山岳地帯で最も大きく、中心部では侵食速度が1mm/年を超える

■ 日高山脈、関東山地、紀伊山地、四国山地、九州山地等の中心部では侵食速度が0.5mm/年を超える

■ その他の地域では、侵食速度は0.5mm/年以下が大半

ダム(約80箇所)の堆砂量と地形起伏(基準高度分散量)から計算
侵食速度の分布 (藤原ほか, 1999)

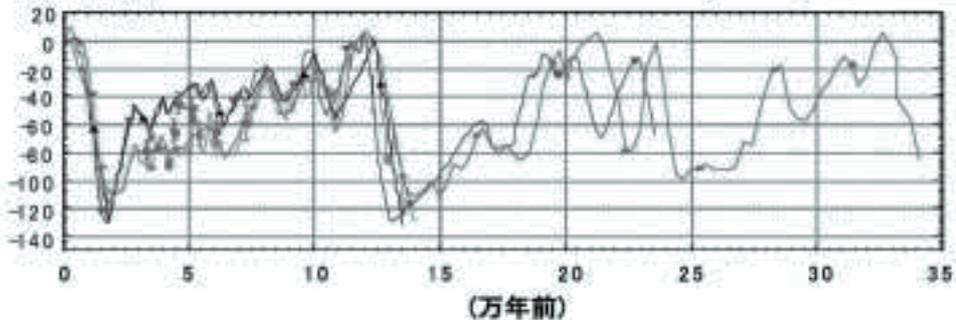
海水準変動：規模、規則性の検討例

- 有孔虫化石の¹⁸O値より(Shackleton, 1987)
- ヒュオン半島の海準標尺の高さより(Chappel and Shackleton, 1986)
- ヒュオン半島の海準標尺の高さより(Shackleton, 1987)
- ヒュオン半島の海準標尺の高さより(Chappel et al., 1988)
- カリブ海 / パナマ地峡の海準標尺の高さより(Shackleton and Sheen, 1997)
- 有孔虫化石の¹⁸O値より(Chappel, 1994)

■ 氷期-間氷期の周期性がある

■ 海水準の変動幅は現在に比べて+数m~-120m

海水準
(現在比: m)



過去35万年間の海水準変動

「第2次取りまとめ」以降の
地層処分計画の進展と
研究の進め方

地層処分計画の進展

第2次取りまとめ(H11年11月)：地層処分の技術的信頼性

・わが国にも地層処分に適した地質環境が存在する

実現の見通し

処分事業

H12年6月

H12年10月

H14年12月

H40年代後半

最終処分法

原環機構設立

公募

3段階の処分地選定

操業開始

地層処分における重要な地質環境条件

最終処分法での要件

- 【概要調査地区の選定】
当該文献調査対象地区：
-地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がない、将来にわたって生ずるおそれが少ないと見込まれる
(地震、噴火、隆起、侵食その他)
-第四紀未固結堆積物／鉱物資源
- 【精密調査地区の選定】
当該対象地層等：
-自然現象による地層の著しい変動が長期間生じていない
-坑道掘削に支障がない
-活断層・破砕帯・水流が地下施設への悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれる
-その他

原子力安全委での環境要件

- 【概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件】
- 地震・断層活動 (活断層の存在)
 - 火山・火成活動 (第四紀火山の存在)
 - 隆起・沈降・侵食 (著しい変動のおそれ)
 - 第四紀未固結堆積物の存在
 - 鉱物資源の鉱床等の存在
- <概要調査以降の検討項目>
- 気候変動・海水準変動
 - 地下水の流動特性
 - 地下水・岩石の地化学特性
 - その他(山はね等の主に建設及び操業時の安全性に係わるもの)

概要調査地区選定上の考慮事項 (原子力発電環境整備機構, 2002)

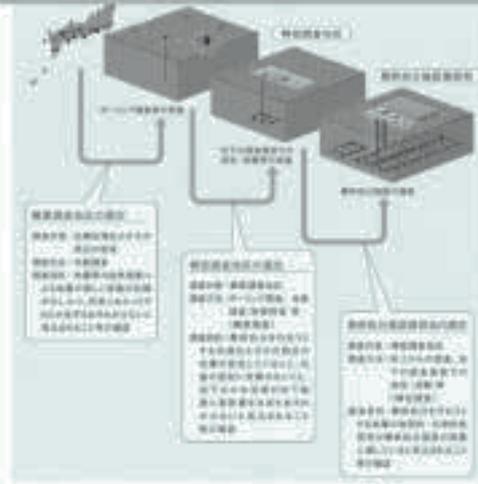
地質環境の長期安定性に関する研究の成果として、科学的な知見を提供

概要調査地区選定上の考慮事項

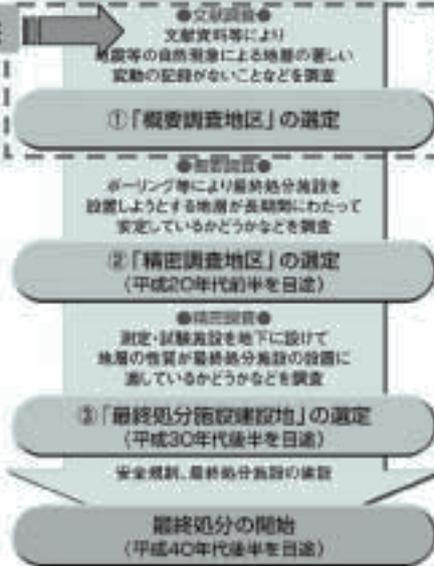
長期的安定性に関する研究の成果として、科学的な知見を提供

最終処分施設建設地の選定(3段階)

基礎・基盤となる科学的な知見を提供



(原子力発電環境整備機構, 2002)



「地質環境の長期安定性研究」の課題(2)

第2次取りまとめ(H11年11月): 地層処分の技術的信頼性

・わが国にも地層処分に適した地質環境が存在する

実現の見通し

処分事業

H12年6月

H12年10月

H14年12月

H40年代後半

最終処分法

原理機構設立

公募

3段階の処分地選定

操業開始

基盤的な研究開発 → 地層処分技術の信頼性向上

「第2次取りまとめ」以降(事業段階)の課題

・選ばれた場所での地層の安定性を評価できる
⇒未知の活断層があるのでは?
⇒非火山地域でも、将来、火山活動が起きるのでは?

調査手法等の
整備

「第2次取りまとめ」以降の取組み(目標と課題)

<研究開発の目標>

① 調査技術の開発・体系化

天然現象に関する過去の記録や現在の状況を調査するための体系的な技術の整備

⇒ 処分地の選定や安全性の検討に必要なとなる基盤技術

② 長期予測・影響評価モデルの開発

将来の天然現象に伴う地質環境条件(熱, 水理, 力学, 地球化学等)の変化を予測・評価するための手法の整備

⇒ 天然現象による影響を考慮した安全評価への反映

<JAEAで取組んでいる研究開発課題>

- 活断層に関する調査技術
- 地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術
- 火山・熱水活動履歴の調査技術
- 古地形・古環境の復元調査技術

- 断層活動の影響評価モデルの開発
- 火山活動等の長期予測(確率)モデルの開発
- 熱水活動等の影響評価モデルの開発
- 三次元地形変化モデルの開発
- 地殻変動等を考慮した地下水モデルの開発
- ナチュラル・アナログ研究 (モデルの信頼性向上)

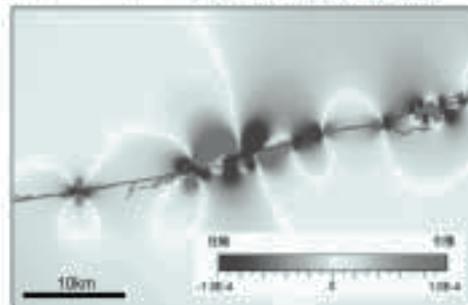
- 分析技術開発(共通基盤技術の整備)

活断層に関する調査技術 断層活動の影響評価モデルの開発

対象となる地域において、活断層の存在を確認し、断層活動の影響範囲を把握することが必要

活断層の特定(リニアメント抽出, 破砕帯調査, 断層ガス調査など), 地殻変動解析など

個別の調査手法の適用性の検討および各種手法を組合せた調査技術と評価手法の体系化



中央構造線を事例とした地殻変動解析(体積率の変化)



断層ガス(水素)調査による断層の活動性評価

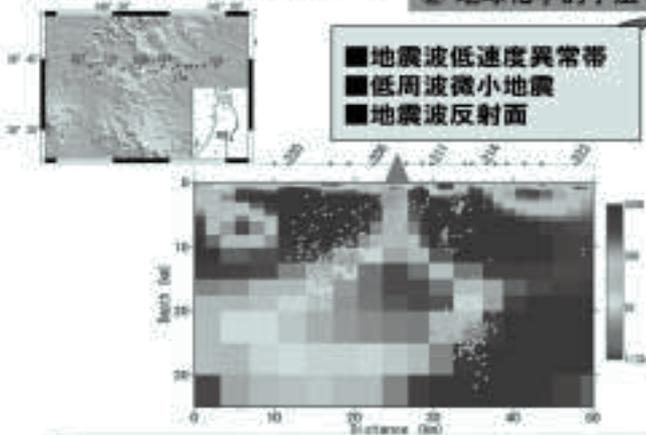
- ・ リニアメント抽出基準や破砕帯の特徴, 断層ガス(水素)による活断層調査法を検討中
- ・ 地殻変動解析プログラムによる, 断層活動の影響評価手法を検討中

地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術

新たな火山の発生の可能性
や非火山性の熱水活動の原
因等を検討することが重要

マグマ・高温流体等の存在
の有無を確認する方法
① 地球物理学的手法
② 地球化学的手法

個別の調査手法の
適用性の検討および
①, ②を組合せた調
査技術の体系化



噴子火山下のMT法(電磁法)による比抵抗構造と地震分布

地震活動が静穏な地域で
は、評価に不適。他の地
球物理学的手法はないの
か？その適用性は？

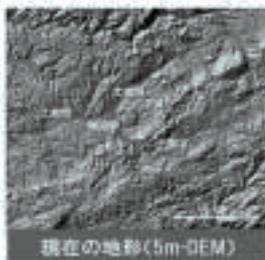
地震活動が静穏な地域
において、MT(電磁)法
(Magnetotelluric method)
の有効性を確認

三次元地形変化モデルの開発

対象となる地域において、
将来の地形変化や地下水
流動への影響を予測する
ことが必要

古環境推定の手法、地
形変化モデル、地下水
流動変化モデル

三次元地形変化シミュ
レーション技術の開発、
地下水流動変化の検討

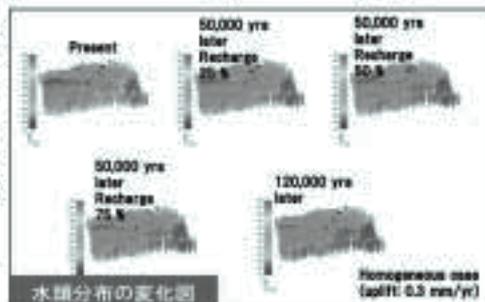


現在の地形(5m-DEM)



地形変化シミュレーション
の結果(12万年後)

【将来の気候変動及び地形変化
に伴う地下水流動の検討】



水頭分布の変化図

拡散理論に基づく、三次元地形変
化シミュレーション・プログラム
を開発中

地形および気候変動を考慮した地下水流
動のモデル化・解析手法の検討を開始

まとめ

- 第2次取りまとめに関連する「地質環境の長期安定性に関する研究」の主要な研究開発成果は、法律の制定や地層処分事業（文献調査の段階）の基礎・基盤となっている。
- 事業段階における研究開発においては、国の基盤研究開発の全体目標の達成に向けた研究機関間の連携や役割分担のもとに、地層処分技術のさらなる信頼性の向上を目指して、処分事業と安全規制の双方に反映できるように、研究テーマの重点化を図りつつ着実に進めていく。

「地質環境の長期安定性研究」のポスター発表

OGISデータベースと成果の普及

（齋藤龍郎，鈴木元孝）

○古地形・古環境復元と地形変化シミュレーション

（安江健一，田力正好）

○マグマ・高温流体等の調査技術

－MT法に係わるデータ処理技術の開発－

（根木健之，梅田浩司）

○活断層の調査技術

（丹羽正和，島田耕史，黒澤英樹）

3.3 概要調査の技術基盤の整備 ー地上からの調査予測研究段階の研究成果ー

独立行政法人 日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門
東濃地科学研究ユニット 結晶質岩地質環境研究グループ
仙波 毅

(1)はじめに

超深地層研究所計画は、「深地層の研究施設計画」の一つとして、花崗岩、淡水系地下水を対象に、岐阜県瑞浪市において調査研究を進めているプロジェクトである。

本計画では、第1段階「地表からの調査予測研究段階」、第2段階「研究坑道の掘削を伴う研究段階」、第3段階「研究坑道を利用した研究段階」の3つに分けて調査研究が実施される。原子力機構の中期計画に示されている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二つの研究領域のうちの「深地層の科学的研究」に関し、国の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¹⁾に規定されている結晶質岩(花崗岩)を対象として、地層処分にとって重要となる種々の地質環境特性に関して個別に調査技術を開発するとともに、それらを総合的な調査評価技術として体系化する研究開発、深部地層に人工物を建設する際に必要となる技術の検討などを行うため、超深地層研究所計画の基本計画でa)「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」およびb)「深地層における工学技術の基盤の整備」の2つを全体目標として調査研究を進め²⁾、その成果を地層処分の安全性確保の考え方やシステムの評価などに係る様々な論拠を支える知識基盤として整備していく。

平成18年度には、平成16年度までの地表からの調査予測研究段階の調査研究およびその後の解析評価結果に基づき、地表からの調査予測研究段階(第1段階)の成果を取りまとめた³⁾。以下に、超深地層研究所計画の2つの全体目標に対する成果の概要を述べる。

(2)地上からの調査予測研究段階の成果の概要

①深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備

第1段階の調査研究は、処分事業で行う概要調査及び精密調査において実施される地上からの調査や、安全規制の検討に資するための技術基盤の強化を目的としている。こうした観点から、取得したデータや結果のみならず、実際の調査研究を通じて得られた経験やノウハウを提供することに留意して報告書を取りまとめた。調査研究にあたり、研究成果を有効に活用できるようにするため、成果の反映先として地層処分システムの「安全評価」、「地下施設の設計・施工」、「環境影響評価」を念頭において個別目標と課題を明確に定めている。また、本プロジェクトに係る調査可能領域などの制約条件の下で不均質性を有する地質環境を効率的に把握していくため、全調査対象領域を調査密度の観点から分割する空間スケールを設定したうえで、調査研究を5つのステップに分け、繰り返しアプローチを適用した。

全体目標の a) に対しては、このような調査研究の進め方を採用することにより、地層処分にとって重要な地質環境特性を効果的に把握することができることを示した。また、調査の進展に応じて、各調査項目についてさらに必要とされる調査の程度や適用する手法の最適化を図ることができるような柔軟な調査計画を作成することが重要であることを明らかにし、調査ステップ毎に、調査から評価までの系統的なデータの流れを「統合化データフロー」として整理することが有効であることを示した。統合化データフローの作成とともに、調査研究を通して得られた技術的ノウハウや失敗の経験などをその背景情報として取りまとめている。

②深地層における工学技術の基盤の整備

全体目標の b) に対しては、実際に取得された地質環境情報に基づいて研究坑道を設計・施工していくことを通じて、「情報の取得や技術の実証を目的とした地下施設」を設置・維持するための工学技術の基盤を確立していくこととしている。

第 1 段階においては、調査研究に必要となる地下深部までの研究坑道を設計した。具体的には、地下施設の深さ、坑道レイアウトの複雑さ、および入坑者の多様性に留意するとともに、第 1 段階での調査研究結果、現状の土木工学や資源工学での施工技術、安全上・時間的な制約、対象とする岩盤の力学特性に基づき、研究坑道の仕様や詳細レイアウトを決定した。さらに、空洞安定性評価や支保設計、耐震設計などの地下施設の設計・施工計画に係る検討をおして、地下坑道の設計・施工対策技術の高度化・体系化を図るとともに、計測結果の設計・施工計画へのフィードバック技術（情報化施工）を検討した。あわせて、実際に適用する施工技術並びに機械・設備を選定し、具体的な施工計画を策定すると共に、突発湧水などの突発事象に対する対策や、リスクマネジメント手法を活用した安全を確保する技術の整備を行った。

(3) まとめ

平成 18 年度に、第 1 段階の調査研究の成果を取りまとめた。今後は、全体目標の a) については、坑道掘削時に得られる情報に基づき、地上からの調査研究で構築した地質環境モデルを確認しながら、地表での調査技術やモデル化手法の妥当性を検討していく。第 1 段階で残された重要な課題として、実際の地質環境に適用可能な体系的な技術の提示を行う上での信頼性の向上が挙げられた。このため繰り返しアプローチに基づく段階的な調査研究を継続することにより、地層処分にとって重要な地質環境特性に係る理解度を深めるための調査・解析・評価技術の体系化を図る予定である。また、第 2 段階以降に得られた経験（失敗例を含む）やノウハウをできるだけ知識化して提示していくことが重要となる。全体目標の b) においては、第 2 段階の調査研究として、研究坑道の設計結果の検証を掘削中に得られる計測データなどに基づいて実施していくとともに、実際の岩盤や湧水の状況に応じた施工対策技術、安全性を確保する技術の有効性などの確認を本格的に進めていく。具体的には、今後もデータの取得を継続し、設計時に行った検討内容の妥当性の評価及び

設定の見直しなどにより，以深の研究坑道掘削にフィードバックしていくことを繰り返すことにより，設計・施工技術の高度化を図る計画である。

参考文献

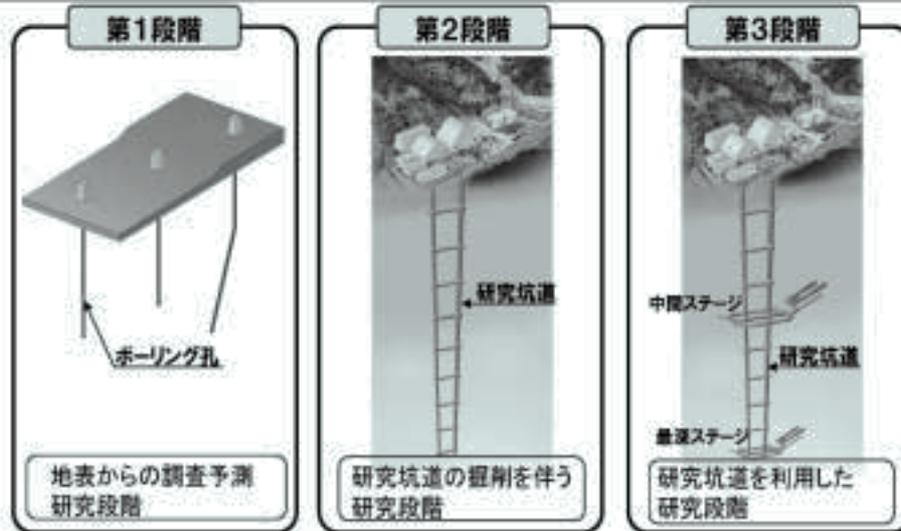
- 1) 資源エネルギー庁，日本原子力研究開発機構（2006）：“高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画”，2006年12月。
- 2) 核燃料サイクル開発機構（2002）：“超深地層研究所 地層科学研究基本計画”，JNC TN7410 2002-008。
- 3) 三枝博光ほか（2007）：“超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階（第1段階）研究成果報告書”，JAEA-Research 2007-043。

<p>情報・意思交換会 2007</p>	<p>JAEA 1</p>
<p>概要調査の技術基盤の整備 -地上からの調査予測研究段階の研究成果-</p>	
<p>平成19年10月19日</p> <p>独立行政法人 日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門 結晶質岩地質環境研究グループ 仙波 毅</p>	
<p>情報・意思交換会 2007</p>	<p>JAEA 2</p>
<p>発表内容</p>	
<ul style="list-style-type: none">■ 超深地層研究所計画の目標と進め方■ 深地層の調査・解析・評価技術の基盤の整備に関する成果■ 深地層における工学技術の基盤の整備に関する成果■ 第2段階の現状と今後の予定■ まとめ	

超深地層研究所計画の目標・進め方

全体目標

- 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備
- 深地層における工学技術の基盤の整備



第1段階調査研究の目標

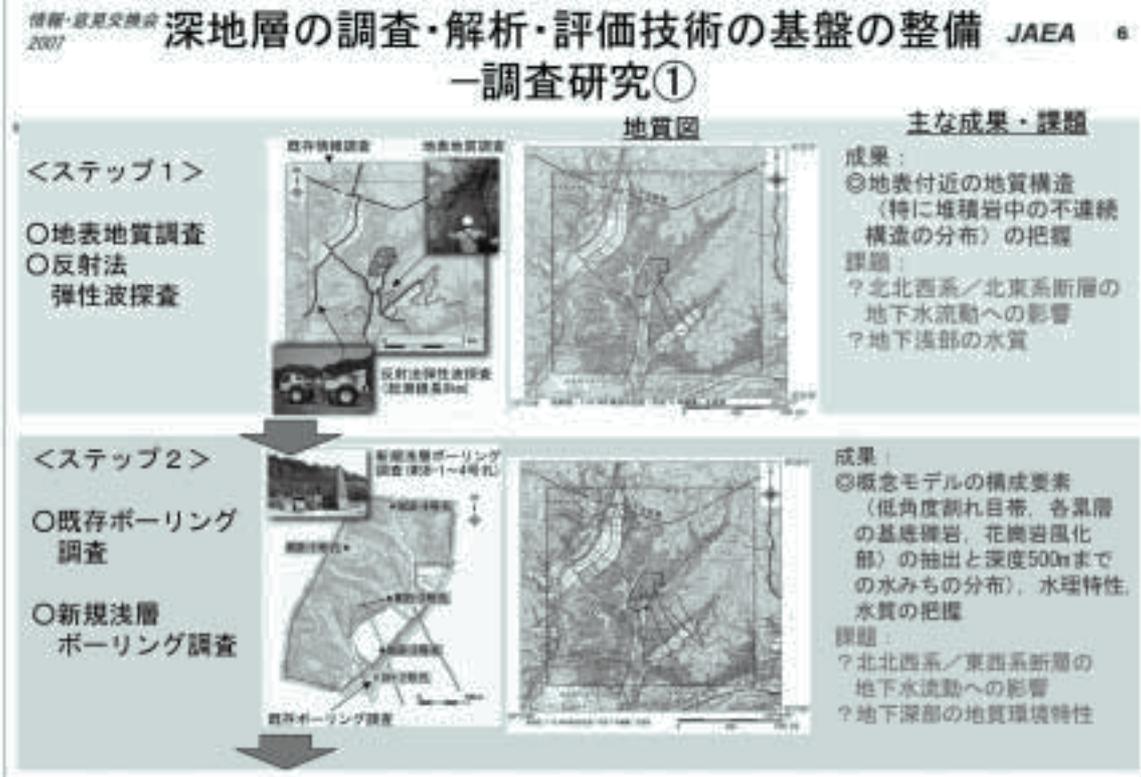
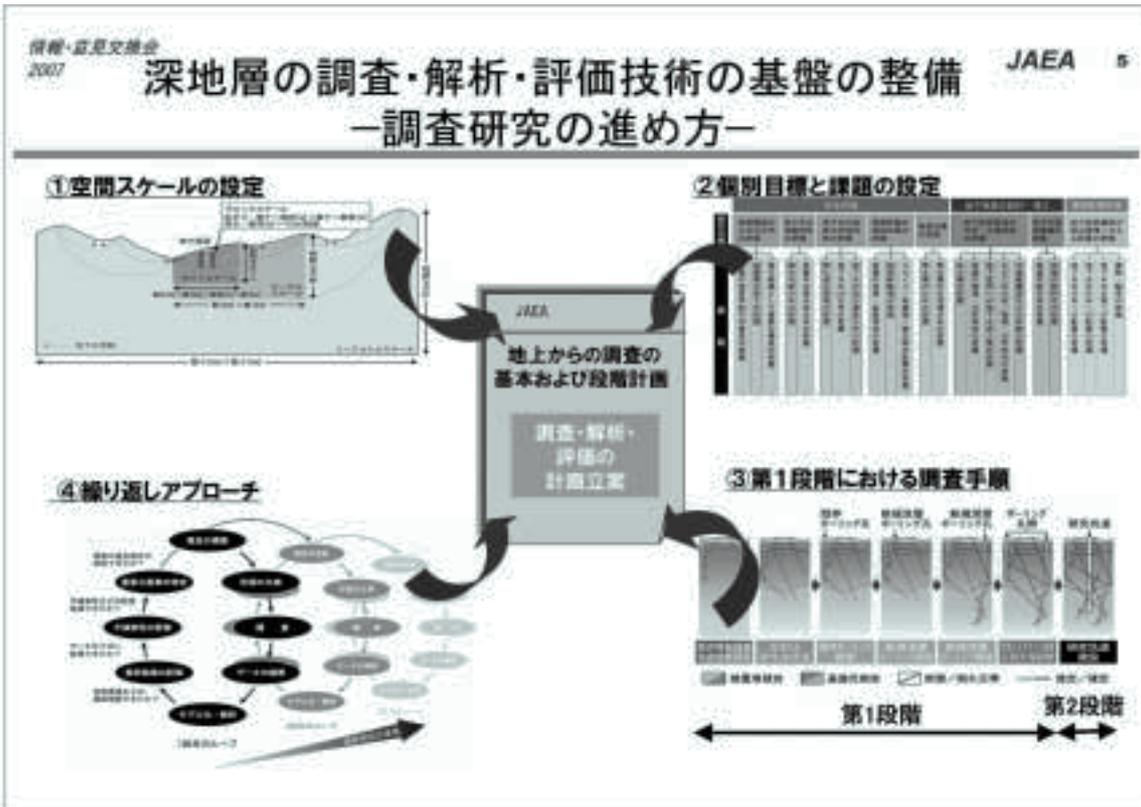
<地上からの調査予測研究段階（第1段階）の目標>

- ①地上からの調査研究による地質環境モデルの構築、および坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握
(全体目標の「深地層の調査・解析・評価技術の基盤の整備」に対応)
- ②地下施設（研究坑道）の詳細設計および施工計画の策定
(全体目標の「深地層における工学技術の基盤の整備」に対応)



第1段階の調査研究成果の取りまとめ(平成18年度)

「超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階
(第1段階)研究成果報告書」



情報・広報委員会 2007 深地層の調査・解析・評価技術の基盤の整備 JAEA 7
 一調査研究②

地質図 主な成果・課題

<ステップ3>

○新規深層
ボーリング調査

新規深層ボーリング調査
(掘削長1300m)

コントロール點
(0-14個)

立坑近傍
(14個)

成果：
◎深度1,300mまでの地質
構造の区分および領域
ごとの水理特性、水質、
力学特性の把握

課題：
?研究坑道近傍における
地下水流動の詳細な評価
?水みちの連続性

<ステップ4>

○孔間
トモグラフィー

○孔間水理試験

孔間トモグラフィ調査
(弾性波/圧縮波)

孔間水理試験

立坑近傍に設置した
深層(1200m)での
新設掘削坑道

成果
◎研究坑道近傍における水みちの連続性

課題
?透水構造として機能していると考えられる立坑近傍の断層の詳細な幾何学的形状と空間分布

情報・広報委員会 2007 深地層の調査・解析・評価技術の基盤の整備 JAEA 8
 一調査研究③

◎地質環境の効率的な理解

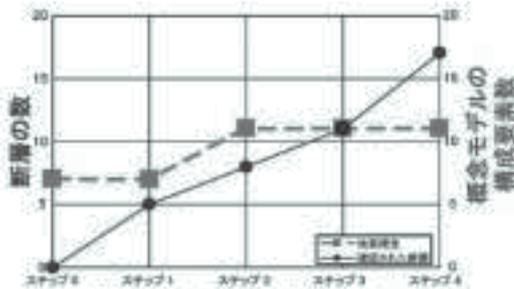
繰り返しアプローチに基づく段階的な調査研究により、「個別目標と課題」として設定した地層処分にとって重要な地質環境特性(例えば、地質構造分布、地下水流動特性など)を効率的に理解

不確実性

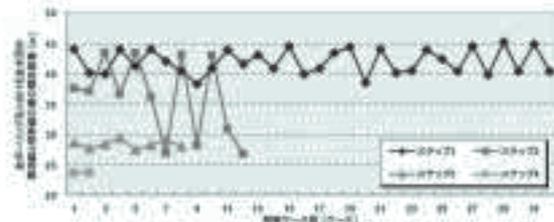
理解度

深地層の調査・解析・評価技術の基盤の整備 —調査研究④—

◎不確実性の低減（地下水流動特性の例）



確認された断層の総本数および概念モデルの構成要素数の推移



地下水流動特性の不確実性の推移

- 概念モデルの構成要素（地層区分や上部割れ目帯など）の数はステップ2で一定レベルに到達
- 断層の数はステップ2以降も増加 ⇒モデル精度の向上

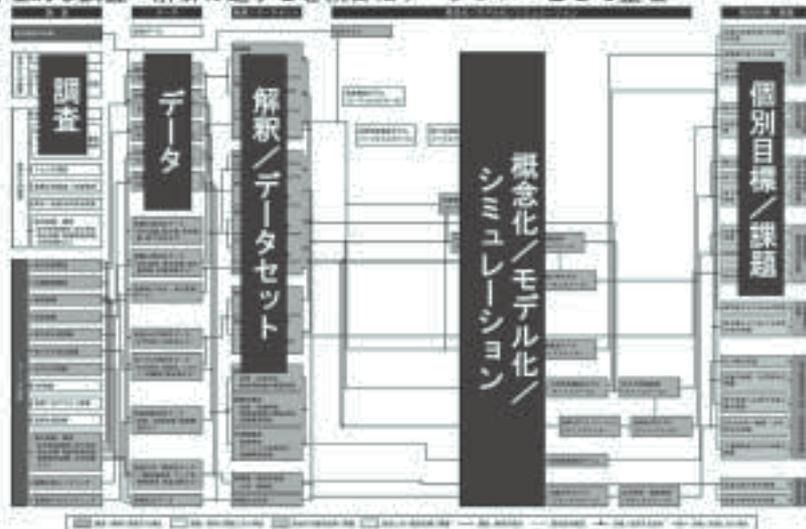
調査研究の進展に伴い・・・

- 不確実性低減に伴う感度解析のケース数の減少
- 感度解析のケース間での全水頭分布のばらつき減少
- 全水頭分布の実測値の再現性の向上
- 岩盤の透水性および動水勾配分布の理解度向上

深地層の調査・解析・評価技術の基盤の整備 —調査研究⑤—

◎統合化データフローの例示

- 研究対象の地質環境（例えば、割れ目などが地下水流動を大きく支配する岩盤であること）を踏まえつつ、調査ステップごとに、調査研究の個別目標と課題に向け、結晶質岩を対象とした合理的な調査・解析の進捗を統合化データフローとして整理



深地層の調査・解析・評価技術の基盤の整備 一個別の調査・評価技術①

◎ボーリング調査に関わる計画の策定と改訂

目的

- 複数分野の様々なニーズを担うボーリング調査における計画立案、調査時の品質管理などの最適化

主な技術的知見

- 調査目標、調査対象の地質環境の予測結果ならびに時間や予算などの与条件を踏まえた、ボーリング孔のレイアウトや個別の調査項目・手法などの最適化・合理化が重要

利用可能な資源(場所、時間、予算、調査機器)を用いて、調査対象を適切に評価可能なレイアウト案や技術スペックなどを複数設定

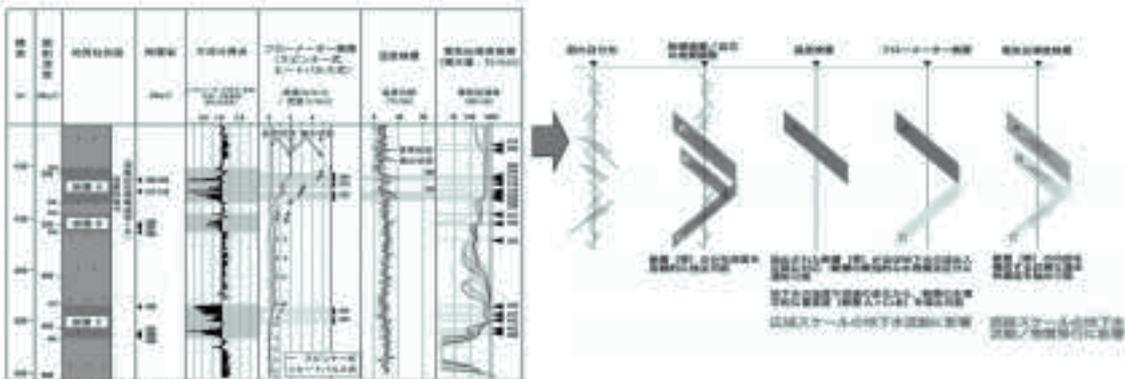


各レイアウト案に対して、メリット・デメリットを整理、最も効果的なレイアウト案を選定

深地層の調査・解析・評価技術の基盤の整備 一個別の調査・評価技術②

◎検層技術

目的: 岩盤中の地下水流動に影響を及ぼす水みちの抽出・評価



主な技術的知見

- 地質観察、物理検層、流体検層(温度、フローメーター、電気伝導度)などの個別調査技術を、水理地質構造モデルを念頭に置き適切に組み合わせることで解釈することが重要
- 一個別の検層技術のみで評価すると、「断層」の範囲が不明であったり、断層内の「水みち」か、健全部の「水みち」かの区別を誤る可能性有り

深地層の調査・解析・評価技術の基盤の整備 —個別の調査・評価技術③

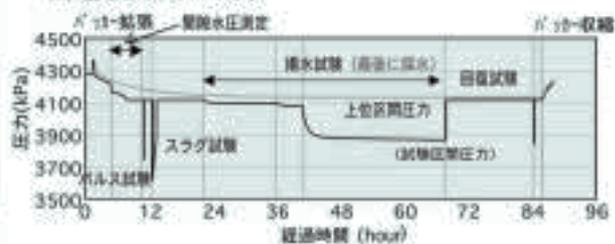
◎水理試験技術

目的:

- 幅広い透水性を有する岩盤 ($10^{-12} \sim 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ オーダー程度) に対して、試験データの品質を確保して取得可能な水理試験手法の整備



高透水性岩盤の例



主な技術的知見・成果:

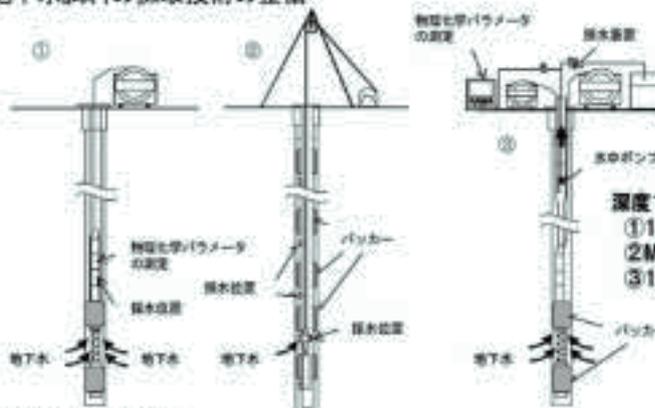
- 試験装置の改良、試験手法の構築、データ評価手法の改良からなる一連の試験技術を構築
- 開発、構築した試験手法の現場での適用性を確認

深地層の調査・解析・評価技術の基盤の整備 —個別の調査・評価技術④

◎地下水の地球化学調査に関わる調査技術

目的:

- 地下水試料の採取技術の整備



- 深度1,000 mまでを対象とした採水機器
- ① 1,000 m対応地下水の地球化学調査機器
 - ② MPシステム(多段階モニタリング装置)
 - ③ 1,000 m対応採水試験装置

主な技術的知見・成果:

- トレーサ物質の掘削水への添加、物理化学パラメータのモニタリング手法、直接採水方法などを構築
- ボーリング孔の掘削過程で、透水性の岩相(逸水帯や湧水帯など)に遭遇した時点で随時、揚水試験と組み合わせて地下水採取することにより、データの品質を向上させることが可能

深地層の調査・解析・評価技術の基盤の整備 一個別
別の調査・評価技術⑤

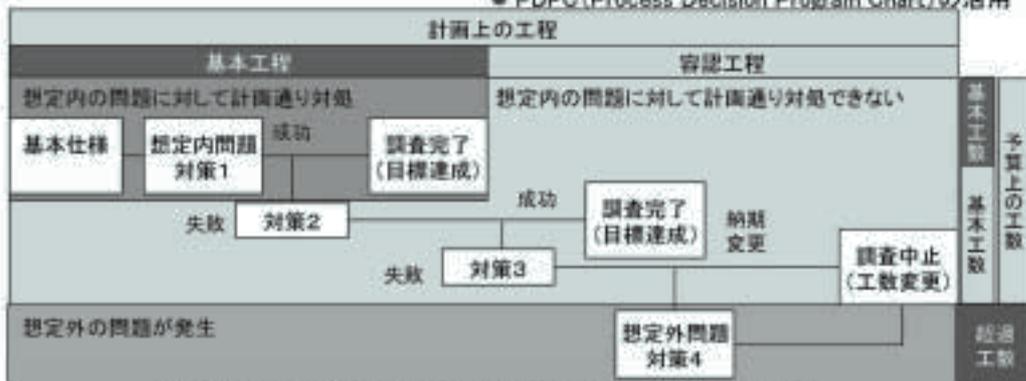
◎品質保証

目的:

- 地層処分技術や地質環境に関する研究成果などの信頼性を恒常的に高めていくための品質管理手法の整備

主な技術的知見・成果:

- 「透明性」、「追跡性」、「公開性」の留意と「専門家レビュー」の実践
- 事象予測と対応策の検討・準備
- 調査毎の調査実施計画書、品質管理計画書の作成による調査品質の確保
- PDPC (Process Decision Program Chart) の活用



PDPCを活用した問題発生を想定した調査計画立案の概念

深地層の調査・解析・評価技術の基盤の整備 一まとめ

◎計画性と品質保証

- 調査の対象となる地質環境の特性や調査手順をできる限り明確化するとともに、それらのある時点での理解度や時間・予算などの制約条件あるいは環境への影響などを考慮し、調査の項目や手法の最適化あるいは合理化を図った調査計画を策定することが重要
- 面的に調査できる手法を適用して広い領域を概念的に把握・概念モデル化した上で、詳細な情報を必要とする項目を抽出したうえで、それらをボーリング調査などにより更に精緻化する(モデルの更新を含む)といった手順が有効
- 複数のボーリングが利用可能な場合には、ボーリング孔間の地質学的・水理学的な連続性などを把握することを目的として、確認すべき対象領域や地質・地質構造を明確にしたうえで調査計画を立案することが重要

◎地質環境モデル構築システム

- 調査・解析・評価の繰り返しは、迅速に実施する必要があるため、地質環境モデルの構築が効率的に実施できるシステムを準備しておくことが重要

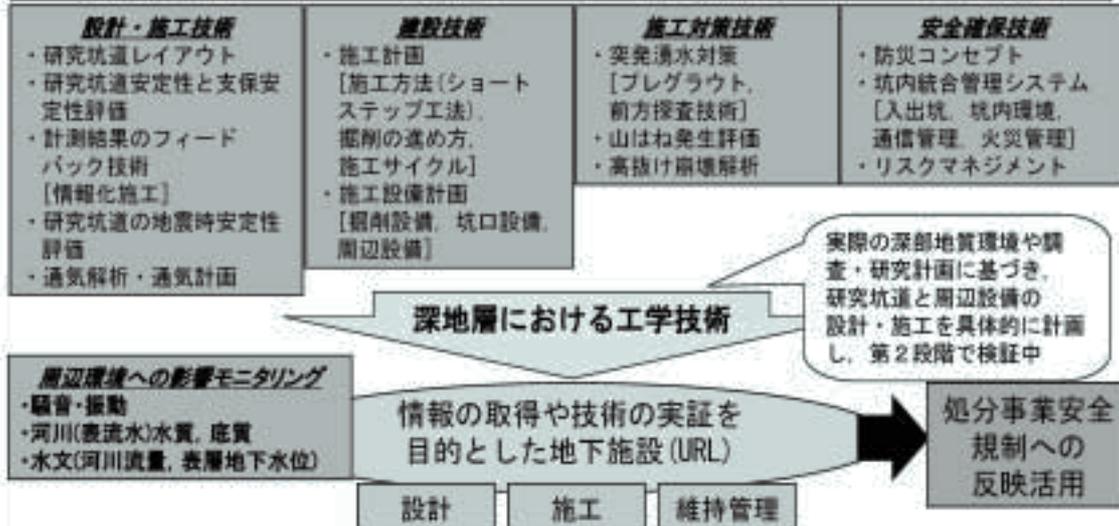
◎個別の調査・評価技術

- 結晶質岩を対象とした、主要な調査技術および解析技術に係る技術的知見および経験を蓄積

深地層における工学技術の基盤の整備

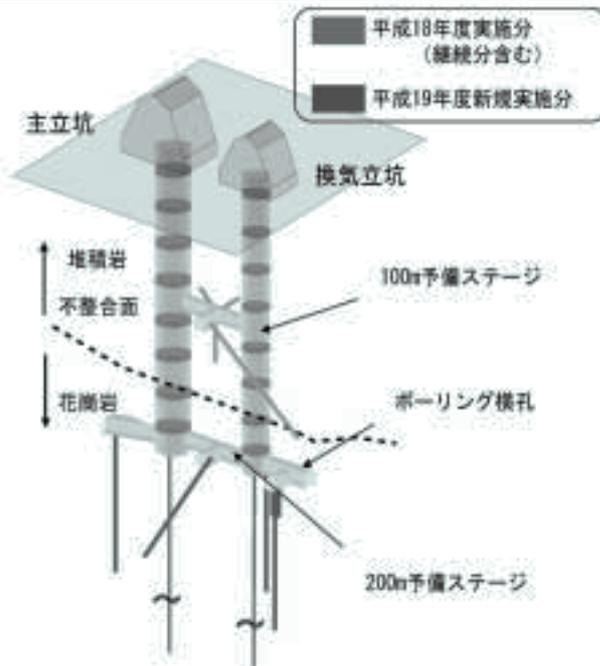
第1段階の目標

- ・ 研究所用地における深部地質環境に関する情報や次段階以降の調査・研究計画などに基づき研究坑道の詳細レイアウトを決定
- ・ 実際に適用する施工技術並びに機械・設備を選定し、具体的な施工計画を策定



第2段階の現状と今後の予定

- 第2段階以降の調査研究では、第1段階の課題の解決と調査研究成果(例えば、地質環境モデルや地質環境の変化の推定結果など)や設計・施工技術の妥当性の確認を行う
- 繰り返しアプローチに基づく調査研究を継続することにより、地層処分にとって重要な地質環境特性の理解度を深めるための調査・解析・評価技術の体系化を図る予定



まとめ

- 実際の地質環境を対象とした調査研究の計画立案、調査、データ解釈、解析・評価の各検討過程を通じて得られた技術的知見（ノウハウや失敗例）を処分事業の基盤技術として整理
- 地質環境の理解度や不確実性の評価結果に基づき、対象項目の優先度を明確にした調査研究計画の策定が有効であることを確認
- 結晶質岩を対象とした主要な調査技術および解析技術に係る技術的知見（例えば、ボーリング調査における透水性構造を抽出するための流体検層手法や水理試験手順、物理探査データの解析手法、品質管理体系・実施体制作りなどの有効性）および経験を蓄積
- 「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の基盤の確立を目標として合理的に設計
- 第1段階において残された課題を整理し、第2段階以降の調査研究の課題を具体化

3.4 精密調査の技術基盤の整備 ー瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削における湧水抑制対策ー

独立行政法人 日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター
施設建設課
見掛 信一郎

(1)はじめに

高レベル放射性廃棄物の最終処分施設建設地は法律にもとづき、「概要調査地区の選定」、「精密調査地区の選定」、「最終処分施設建設地の選定」の3段階の過程を経て選定され、各選定段階において実施する調査の方法や調査事項及び選定要件が定められている¹⁾。超深地層研究所計画では、全体目標の一つである「深部地質環境における工学技術の基盤の整備」において、処分事業や安全規制への基盤的な技術や情報の反映の観点から、「精密調査における地下施設の建設を見据えた工学技術（地下施設建設を含む）の体系化」を成果目標の一つとしている。超深地層研究所計画では、現在、第2段階「研究坑道の掘削を伴う研究段階」の調査研究を進めており、その成果が主に精密調査に対する基盤的な技術や情報として活用されることを目指している。具体的には、研究坑道掘削において地質環境に合わせて設計・施工を適合させていくことや、研究坑道の掘削が周辺環境に与える影響を把握すること、などである²⁾。

ここでは、瑞浪超深地層研究所の研究坑道掘削において実施している湧水抑制対策について「施工対策技術」の基盤の整備の観点から概要を述べる。

(2)研究坑道掘削の現状

瑞浪超深地層研究所では、岐阜県瑞浪市明世町を設置場所として2本の立坑（主立坑及び換気立坑）と複数の水平坑道からなる研究坑道の掘削工事を行っている。

研究坑道の掘削は、2007年（平成19年）10月現在で、主立坑深度200.2m、換気立坑深度200.2mまでの掘削と、深度200mにおいて同深度の両立坑をつなぐ水平坑道（「予備ステージ」）、ボーリング調査を実施するための水平坑道（「ボーリング横坑」、主立坑側及び換気立坑側各1箇所）の掘削を完了している。

研究坑道掘削工事に伴い発生する地下水（湧水）に関して、水質については、ふっ素、ほう素の濃度を低減させる対策を講じている。湧水量については、これまでの施工において支障はなかったが、地下水流動の予測解析結果によれば、深度200m以深の土岐花崗岩上部割れ目帯から多く発生する可能性がある。このことから、研究及び研究坑道掘削を計画的に推進する観点から、研究坑道掘削工事においては、湧水量の抑制に関する対策として掘削工事のためのグラウトを行いつつ掘削を進めている。

(3)湧水抑制対策の概要

研究坑道掘削においては、湧水抑制対策として掘削予定箇所周辺を対象に掘削に先行し

て行うグラウト³⁾（プレグラウト）を必要に応じ実施している。グラウトの施工方法については、グラウトの専用機械を用いて実施する方法や、立坑掘削で使用している機械（シャフトジャンボ：発破装薬孔掘削機械）を用いて一連の施工サイクルの中でグラウトを実施できる方法などについて、実際の施工に適用しつつ施工効率の向上について検討している。湧水抑制をより効果的に行うためには、2006年（平成18年）に実施したパイロットボーリング調査や⁴⁾、現在、ボーリング横坑で実施しているボーリング調査（ボーリング孔を利用した地下水水圧やひずみの計測、孔間トモグラフィなど）から取得する地質や地下水に関するデータにもとづき、掘削予定箇所周辺の地山状況を事前に把握することが必要となる。今後、地下深部の地質環境についてより精度の高い予測を行うとともに、地山状況に応じたグラウトを的確に実施するために、グラウト計画への反映を目的とした情報の取得方法を確立していく。

（4）まとめ

今後、研究坑道掘削においてデータの取得を継続し、掘削に伴う地下水流動の予測解析結果などをもとに⁵⁾、設計及び施工計画に必要な条件を整備し合理的な計画を立案する。また、それと同時に、グラウトを含むすべての掘削サイクルにおける施工方法の妥当性を検証し、深部地質環境における工学技術の課題である「建設技術」の合理化を図っていく。「施工対策技術」については、地質や湧水の状況に応じて対策を講じていくことにより、湧水に関する施工対策技術の適用性を確認し、その効果や有効性に関する評価について検討を進める。

参考文献

- 1) 法律第117号（2000）：特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律
- 2) 核燃料サイクル開発機構（2004）：超深地層研究所計画における調査研究の考え方と進め方（平成15～17年度），JNC TN7400 2004-008.
- 3) 原 雅人，久慈雅栄，南出賢司，見掛信一郎，佐藤稔紀，池田幸喜（2007）：瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題（その4）－瑞浪超深地層研究所における湧水抑制対策としてのプレグラウチング施工－，土木学会第62回年次学術講演会，CS5-068，pp. 295-296.
- 4) 竹内真司，鶴田忠彦，竹内竜史，中俣公德，水野 崇（2007）：瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題（その2）－パイロットボーリング調査結果の概要－，土木学会第62回年次学術講演会，CS5-066，pp. 291-292.
- 5) 大山卓也，三枝博光，尾上博則，竹内竜史，下茂道人，熊本 創（2007）：瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題（その3）－パイロットボーリング調査に基づく湧水量予測解析－，土木学会第62回年次学術講演会，CS5-067，pp. 293-294.

情報・意見交換会
2007

JAEA 1

精密調査の技術基盤の整備
瑞浪超深地層研究所 研究坑道掘削における湧水抑制対策

平成19年10月19日

独立行政法人 日本原子力研究開発機構
東濃地科学センター 施設建設課
見掛 信一郎

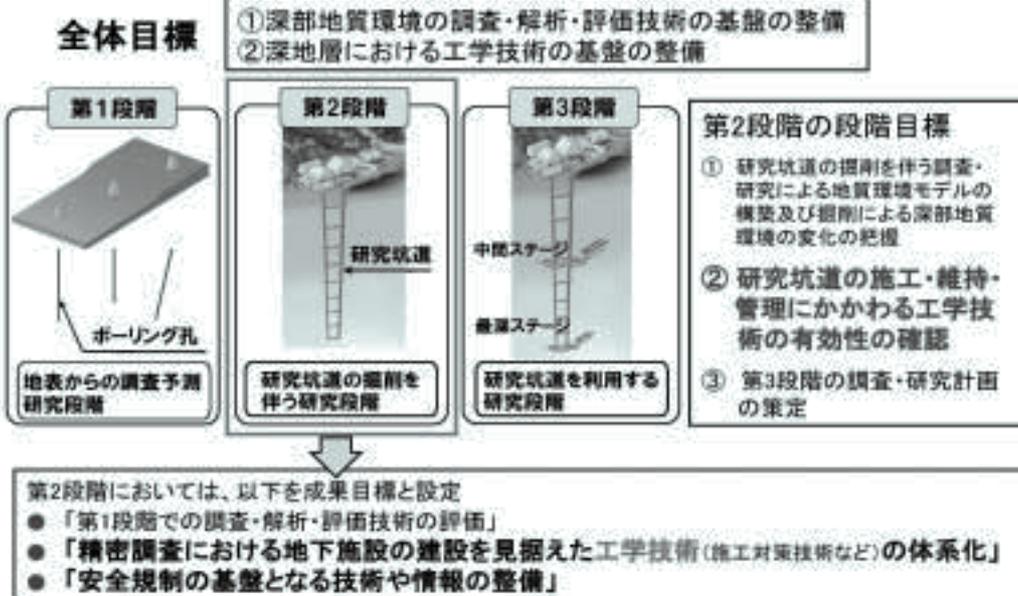
情報・意見交換会
2007

JAEA 2

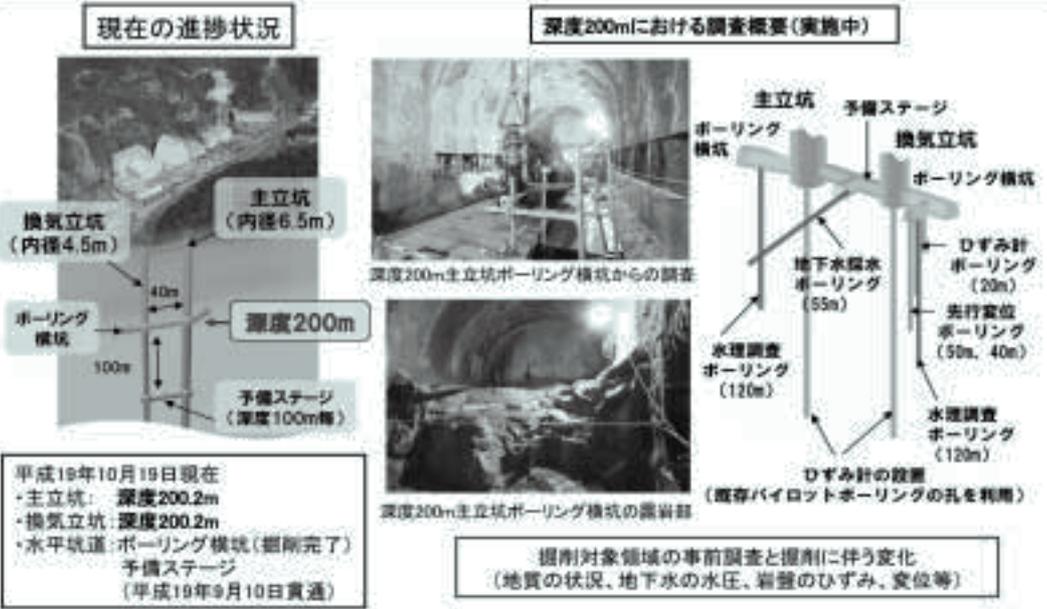
内容の構成

- 超深地層研究所計画の
目標と成果の反映
- 研究坑道掘削工事の概要
- 掘削に伴い発生する
地下水(湧水)の対策方法
- 湧水抑制対策の有効性の確認

超深地層研究所計画の目標と成果の反映



研究坑道掘削工事の概要



研究坑道掘削工事の概要 — 基本的な施工方法と設備 —



捲設備(捲設備)



捲設備(主立坑の
防音ハウス組立作業)



コンクリートプラントと
防音ハウス組立作業



スcaffold
(換気立坑への吊り込み作業)

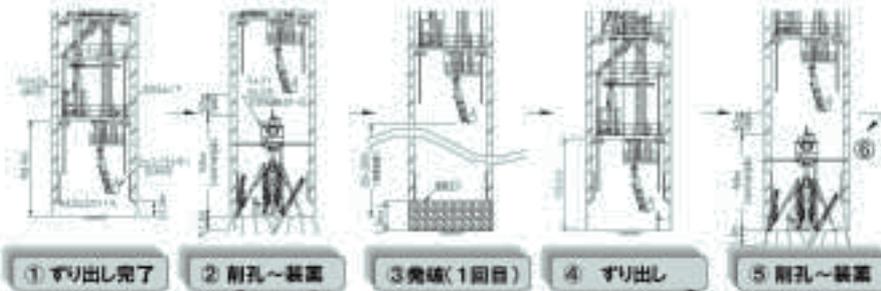


シャフトジャンボ(主立坑)



巻上設備(主立坑)

研究坑道掘削工事の概要 — 立坑掘削の施工サイクル —



削孔

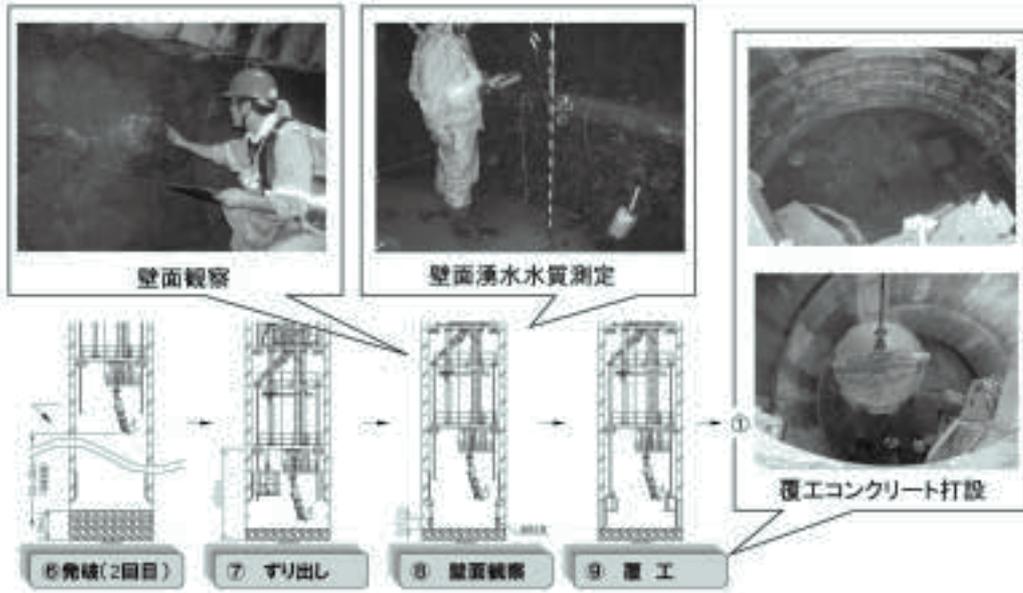


装薬



すり出し

研究坑道掘削工事の概要 —立坑掘削の施工サイクル—



研究坑道の掘削に伴い発生する地下水(湧水)の対策方法

課題 掘削に伴いより多量の湧水の可能性、湧水の溶存成分濃度の低減
 研究及び研究坑道掘削を計画的に推進する観点から
 ・湧水抑制対策(グラウト)の実施
 ・排水処理設備の改良、処理方法の検討



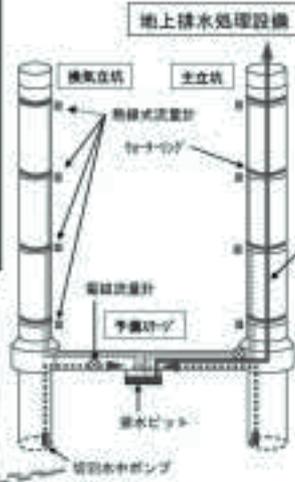
湧水抑制対策(グラウト)の目標設定

湧水量の目安と現実的な排水処理能力(坑道内から地上への揚水ポンプ、地上排水処理設備等の能力)を考慮し、グラウトにより湧水量を低減することを目標として設定

⇒パイロットボーリング調査による湧水箇所の把握



主立坑坑底

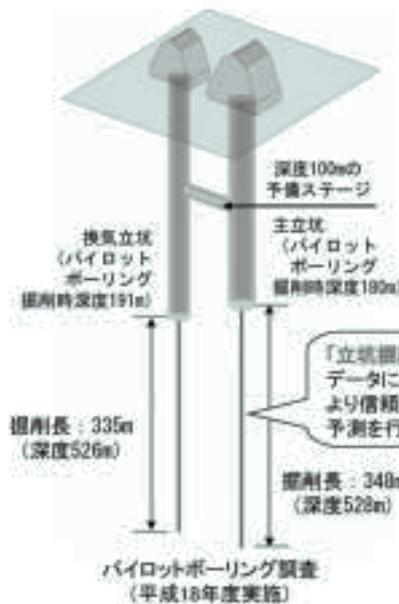


高揚程ポンプ 地上排水処理設備



手掘り階段の排水設備 (配管、揚水ポンプ等)

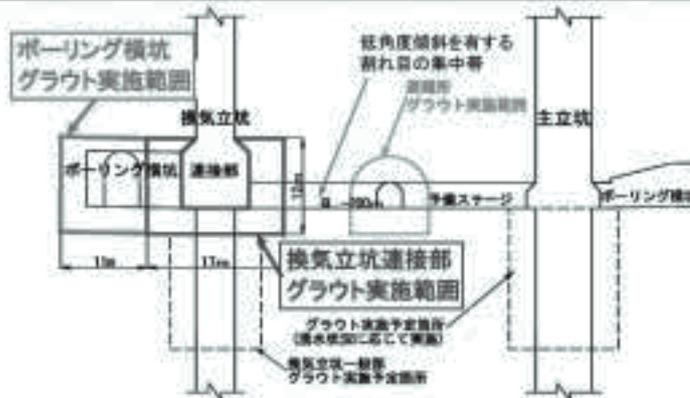
主立坑と換気立坑の掘削対象領域で異なる地質環境



パイロットボーリング調査結果

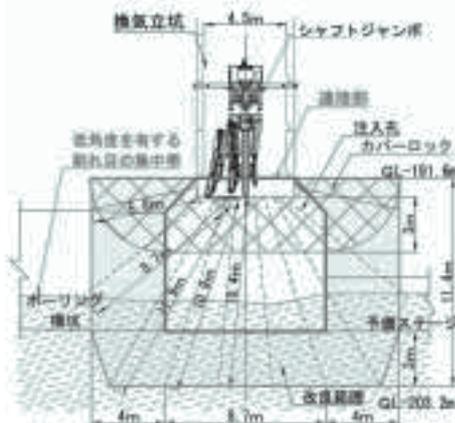
- 主立坑
 - 主立坑沿いに低透水性の断層の存在を確認
 - 立坑掘削範囲が低透水性領域の外側に遭遇した場合は湧水の可能性
 - ⇒ 切羽からの削孔により、掘削毎に前方の状況を把握
- 換気立坑
 - 硬質な花崗岩
 - 深度210m付近および400~460m付近において顕著な湧水の可能性(高透水性区間)
 - ⇒ グラウトの施工対象箇所として湧水量を低減

グラウトの施工対象箇所



- 換気立坑接続部及びボーリング横坑の低角度傾斜を有する割れ目集中帯の掘削において多量の湧水が発生することが想定される
- 対策: グラウト時の改良幅と透水係数を設定し、湧水量の低減を図る

換気立坑接続部におけるグラウト施工



対象範囲の概要

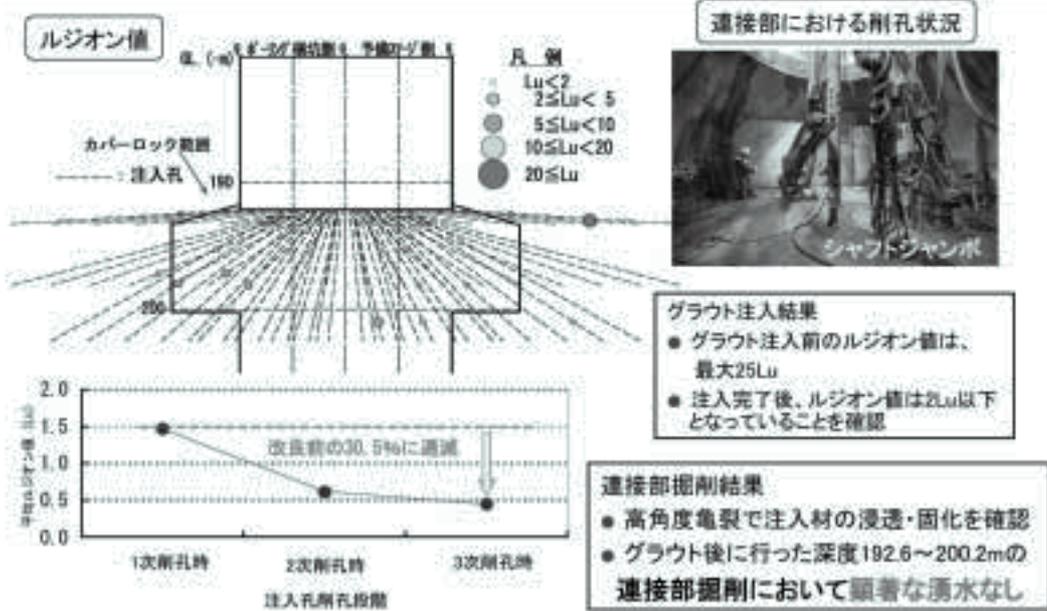
- 湧水圧: 1MPa
- 湧水量: 40~100ℓ/min
- ルジオン値: 17~230Lu



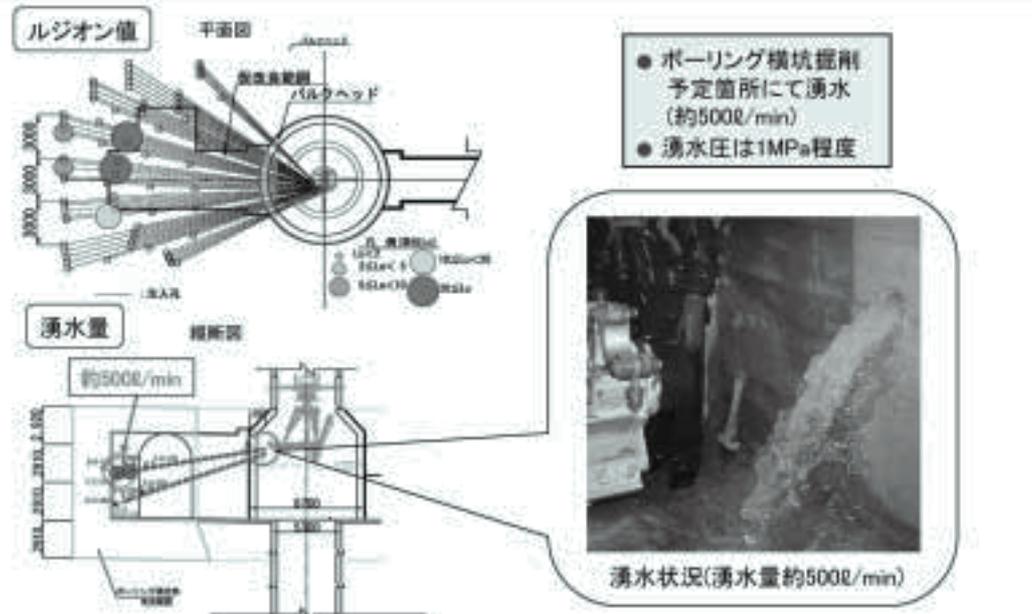
透水係数の設定
 10^{-4} m/sオーダー
 ↓
 10^{-7} m/sオーダー(2Lu以下)

- 改良範囲と透水係数: 接続部周辺3m以上を改良範囲
改良範囲の透水係数を 10^{-7} m/sオーダーまで低下
- 注入孔: 先端で3m以内の間隔で配置

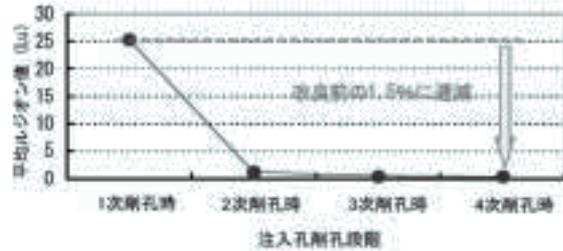
グラウトの施工結果：換気立坑接続部



換気立坑ボーリング横坑掘削前の湧水状況



グラウトの施工結果:換気立坑ボーリング横坑



グラウト注入前のルジオン値は、最大100Lu以上

注入完了後、ルジオン値は2Lu以下となっていることを確認

換気立坑ボーリング横坑掘削後の湧水抑制効果



換気立坑ボーリング横坑掘削壁面写真

掘削壁面において割れ目へのグラウト材の浸透・固化を確認



①: 高角度割れ目に充填したグラウト材

- グラウト材の浸透・固化が確認された箇所は、主に連続性の良い開口性の高角度割れ目であり、元々の透水経路を中心に浸透していると推定
- 掘削壁面の湧水は、注入孔削孔時に大量湧水が確認された箇所周辺を含めて滴水程度であり、顕著な湧水は観察されおらず、所期の目標は達成

今後の進め方

- ① 必要に応じ、湧水抑制対策(グラウト)を行いつつ、掘削工事を進める。
- ② 今後の掘削においてグラウトの施工性を把握し施工方法を確立し、深部地質環境における工学技術の課題である「施工対策技術」(湧水抑制対策技術)の適用性を確認する。
- ③ 知見の集約、技術と経験の蓄積により、的確な湧水抑制対策を確立していく。



ご清聴ありがとうございました



深度100m予備ステージ

2002 (H14) 年 瑞浪超深地層研究所開所 (4月)
瑞浪超深地層研究所造成工事着工 (7月)

2003 (H15) 年 瑞浪超深地層研究所立坑掘削工事着手 (7月)

2007 (H19) 年 主立坑深度200mに到達 (3月)

2007(H19)年9月10日 深度200m予備ステージ貫通
(9月12日撮影)



深度200m予備ステージ坑口施工(主立坑側)



深度200m換気立坑ボーリング横坑

4. ポスターセッション発表資料

- ①地質環境の長期安定性に関する研究 –GIS データベースと成果の普及–
- ②地質環境の長期安定性に関する研究 –古地形・古環境復元と地形変化シミュレーション–
- ③地質環境の長期安定性に関する研究 –マグマ・高温流体等の調査技術（MT 法に係わるデータ処理技術の開発）–
- ④地質環境の長期安定性に関する研究 –活断層の調査技術–
- ⑤地上からの調査研究予測段階（第1段階）の研究成果（その1）–第1段階における調査研究の全体概要–
- ⑥地上からの調査研究予測段階（第1段階）の研究成果（その2）–地質・地質構造に関する調査研究–
- ⑦地上からの調査研究予測段階（第1段階）の研究成果（その3）–岩盤水理に関する調査研究–
- ⑧地上からの調査研究予測段階（第1段階）の研究成果（その4）–地下水の地球化学に関する調査研究–
- ⑨地上からの調査研究予測段階（第1段階）の研究成果（その5）–岩盤力学に関する調査研究–
- ⑩地上からの調査研究予測段階（第1段階）の研究成果（その6）–地質環境の調査・評価技術の整備–
- ⑪地上からの調査研究予測段階（第1段階）の研究成果（その7）–深地層の工学技術に関する研究–
- ⑫精密調査の基盤技術の開発–瑞浪超深地層研究所における工学技術に関する研究の概要–
- ⑬精密調査の基盤技術の開発 –立坑における新しい定量的岩盤分類法の検討–
- ⑭瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削における湧水抑制対策 –パイロットボーリング調査結果の概要–
- ⑮瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削における湧水抑制対策 –プレグラウト・結果と評価–
- ⑯量子ビーム応用研究部門との融合研究 –放射線グラフト重合法による捕集材を用いた瑞浪超深地層研究所における湧水処理の検討–

- ⑰アクロス研究の工学技術への応用 –アクロス技術の現状と今後の予定–
- ⑱ (財) 地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所との研究協力 –100m ステージにおける傾斜変化–
- ⑲ Multi-Component Observations in Deep Boreholes operated by Tono Research Institute of Earthquake Science



地質環境の長期安定性に関する研究 —GISデータベースと成果の普及(1)—

地層処分研究開発部門 東遷地科学研究ユニット
斎藤 龍郎, 鈴木 元孝

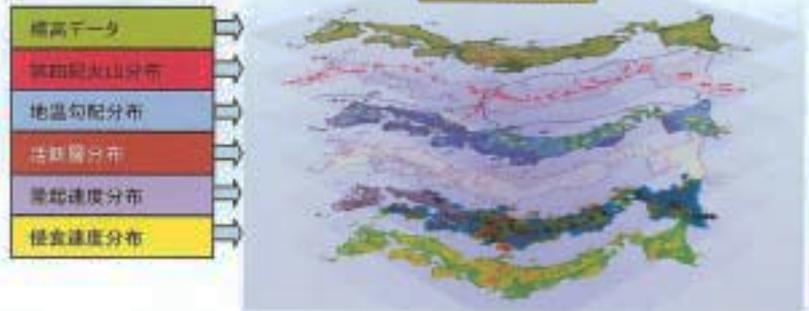


1. GISとは何か

地理情報システム (GIS: Geographic Information System)

「地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータ(空間データ)を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術」(国土地理院HPより)

GISの概念図



2. GISデータベースの整備

「第2次取りまとめ」報告

検討のベースとなっている様々な知見・情報

GISを利用した一元管理

- ・地震・断層活動,
- ・火山・地熱活動,
- ・隆起・沈降・侵食,
- ・気候・海水準変動

を対象に、関連する知見・情報等を収集し、図幅・データベースとして整備。

●JAEA作成GISデータベース

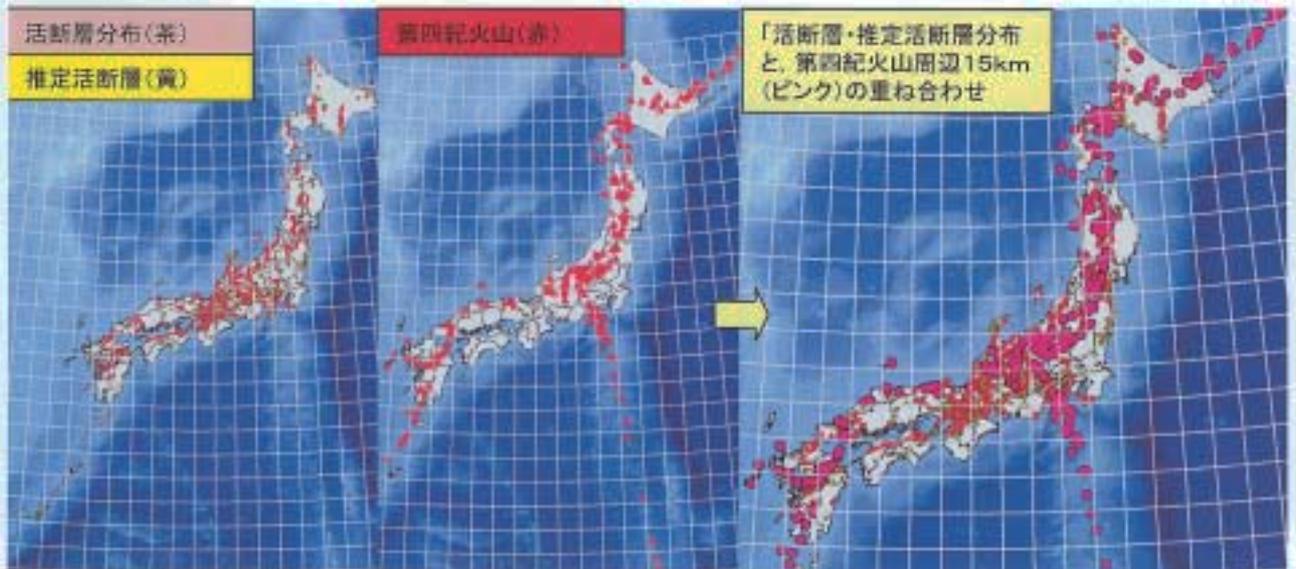
- ・200万分の1日本列島活断層図(基礎データ)
- ・日本周辺海域の地質構造図
- ・第四紀火山カタログ
- ・日本列島地温勾配図(図幅)
- ・坑井温度データベース
- ・温泉地化学データベース
- ・日本の海成段丘アトラス
- ・隆起速度分布図(図幅)
- ・日本列島における侵食速度分布図(図幅)
- ・地すべり地形分布図

●その他のGISデータベース

- ・標高データ
- ・道路・建物データ
- ・市町村境界データ
- ・地質データ
- ・海溝データ
- ・その他、各機関で配布・販売しているGISデータベース

地理的位置情報による統合

3. GISの活用例



This is a blank page.



地質環境の長期安定性に関する研究 —GISデータベースと成果の普及(2)—



地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット
齋藤 龍郎, 鈴木 元孝

年度毎の成果報告書

全体の成果・進展の概要を年度毎に成果報告書として公表



学会等の論文投稿

全体の成果・進展を報告・議論する報告会等を開催



プレス発表

最新の研究成果についてのプレス発表

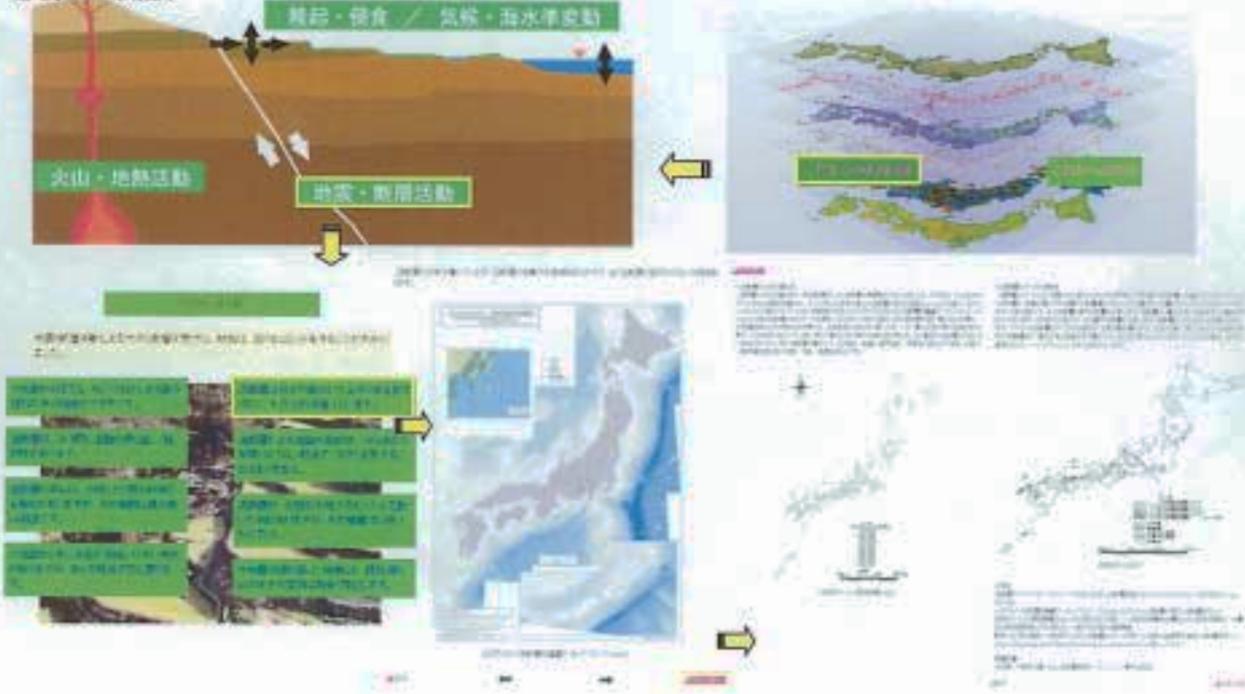
H16.05.08(土)
朝日新聞 夕刊 10頁
熱源、地球深部の水？
火山のない紀伊半島の温泉
核燃機構「岩盤から出てくる」

H16.05.02(日)
日本経済新聞 朝刊 34頁
熱源は地下の高温水
マグマ関与せず
紀伊半島南部の温泉
核燃機構調査

H16.04.28(水)
読売新聞 朝刊 2面
火山が遠いのに なぜ温泉？
プレートから高温の水にしみ出る
核燃機構が解明 南紀白浜地下に
熱源、地下水を加熱

公開HP

全体の成果・進展を常時発信する公開HPを新たに開設



This is a blank page.



地質環境の長期安定性に関する研究 — 古地形・古環境復元と地形変化シミュレーション —

地層免分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット
安江健一・田力正好



背景

○隆起・侵食などによる地形変化は、土壌や地形勾配などの変化を通じて、崩壊やそこに含まれる地下水などの地質環境へ影響を与える可能性がある。
○気候・海水準変動は、侵食や堆積の速さをコントロールする要因であり、地形変化と密接に関連するとともに、表層水環境特性に変化をもたらし地質環境へ影響を与える可能性がある。

よって、隆起・侵食や気候・海水準変動等の自然現象が引き起こす地質環境の変遷の評価においては、天然現象の過去の変動傾向や変動様式を把握し、それらに基づいて将来を予測するための調査技術・解析手法が必要である。

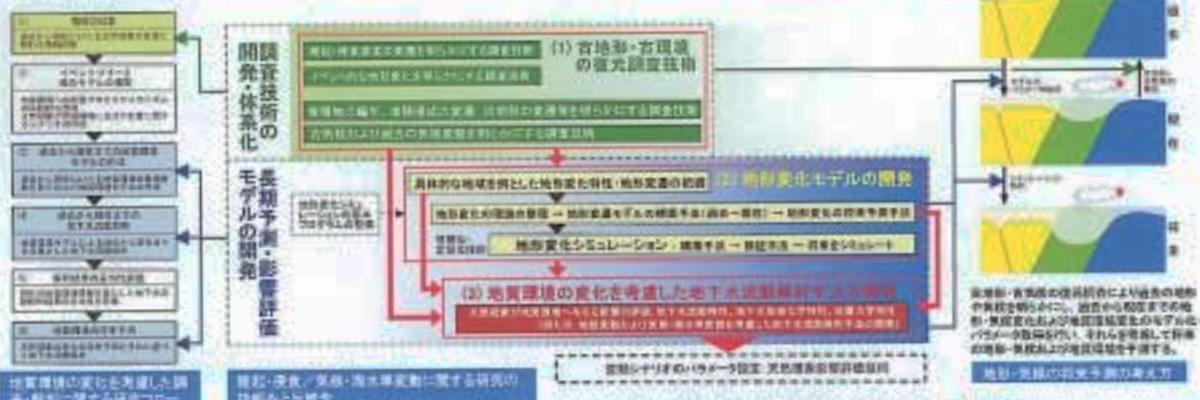


天然現象と地下水変動特性との関係

研究概要

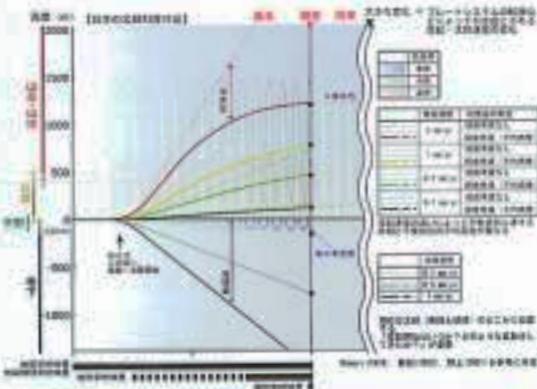
地質環境の長期安定性に関する研究では、「調査技術の開発体系化」と「長期予測・影響評価モデルの開発」の2つの目標を設定している。隆起・沈降/気候・海水準変動の研究においては、過去から現在までの地形や環境の変化を明らかにし、将来の地形や環境を推測するための技術を開発するとともに、地形変動および気候・海水準変動が複合して引き起こす地下水流動の長期変化に関する解析手法の開発を進めている。具体的には、以下の3つの調査技術・解析手法の開発・体系化に取り組んでいる。

(1)古地形・古環境の復元調査技術、(2)地形変化モデルの開発、(3)地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法の開発



【古地形・古環境復元の重要性】

隆起・沈降/気候・海水準変動のような緩慢かつ広域的な現象に伴う将来の地形や気候などの変化を推測するためには、過去から現在までの変化の様式や傾向を明らかにし、それを将来へ外挿することが有効な手法の一つである。よって、様々な調査・研究手法を用いて過去の地形や気候をできるだけ詳細に把握することが必要である。



地形に基づく隆起・侵食/気候・海水準変動の様式と傾向を明らかにし、過去の地形や気候をできるだけ詳細に把握することが必要である。

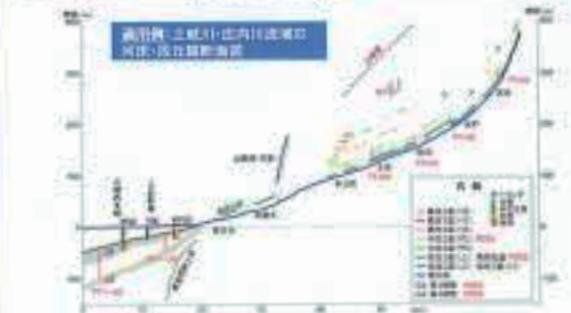
【(1-1) 古地形・古環境の復元調査技術】

【内陸部の隆起速度を推定する調査技術】

内陸部の隆起量(速度)は河成段丘の比高から求められると考えられている。この手法の信頼性を高めるための調査・研究を行っている。



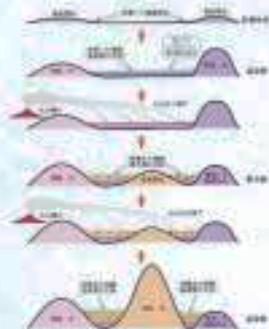
河成段丘の比高から内陸部の隆起量を推定する手法の概要



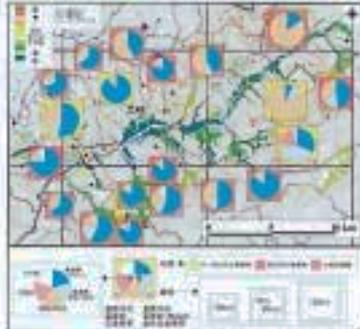
This is a blank page.

(1-2) 古地形・古環境の復元調査技術 【内陸部の古地形と古気候を復元する調査技術】

堆積物中には、堆積当時の地形分布や気候状態、火山活動などに関する情報が記録されている。これらの情報については、様々な調査・分析手法を用いて把握することができる。よって、堆積物中に記録されている情報を取得する調査・分析手法の整備を目的として、堆積物の調査・分析、火山灰分析、花粉分析等の事例研究を行っている。



古地形・古気候の復元に繋がる考え方



調査例：土砂中・土質中の取土堆積物と土砂堆積層の堆積物の特徴(堆積物の分布や堆積層の厚さ)によって堆積物の堆積時期を推定し、堆積物中の花粉や火山灰の分析から古気候を復元する(土砂中)

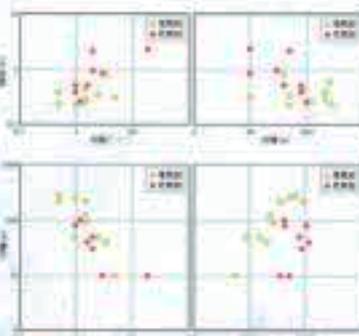


調査例：風成砂層で堆積したボーリングコアの火山灰分布と花粉堆積層から推定される古気候の変化

(2) 地形変化モデルの開発 【内陸部における地形変化シミュレーション】

将来の地形変化を予測するためには、地形が過去から現在までの間にどのように変化してきたのかを明らかにし(古地形・古環境の復元調査)、一連の変化の中で現在がどのようなフェーズにあるのかを把握することが必要である。さらに地形変化を可視化・定量化するためには、地形変化シミュレーションの技術が必要である。よって、実際の地形変化パラメータの取得技術およびそのパラメータを考慮した地形変化シミュレーション(将来約10万年間の地形変化を対象)の技術開発を進めている。

地形変化シミュレーション技術の開発では、地形を斜面域・河川域・海域に分け、それぞれ異なる拡散方程式を用いることにより地形変化をシミュレートするモデルの開発を進めている。自然界では同じ地形勾配であっても、地質・地質構造、風化の程度、気候条件等に応じて物質移動の挙動が異なることから、例えば、実際の河川沿いに分布する地質を考慮して、過去の地形から現在の地形をシミュレートできるかどうかの検討を行っている。



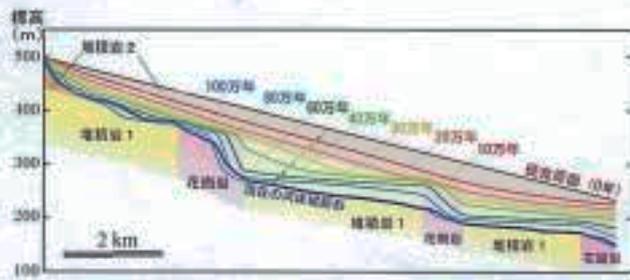
地形変化パラメータ取得の事例①：土砂中堆積物の地質・勾配・土層、および流域長の関係



地形変化パラメータ取得の事例②：土砂中流域の地質分布と地形勾配の関係



地形変化シミュレーションの基本的な考え方



シミュレーション例：地質分布を考慮した過去から現在までの河川網形状のシミュレーション結果(侵食係数は3000年ごとの堆積層28層とし、それ以降では堆積層2より薄い堆積層1と花粉層を参考に、侵食係数は100万年間一定と仮定し、その直前をスタートの地形とした)



シミュレーション例：気候条件を考慮した地形変化シミュレーション(気候条件は3000年ごとの堆積層28層とし、それ以降では堆積層2より薄い堆積層1と花粉層を参考に)

This is a blank page.

This is a blank page.



地質環境の長期安定性に関する研究 — 活断層の調査技術 —

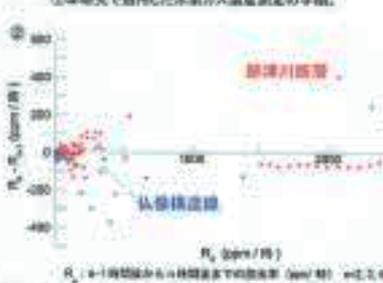


地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット 自然事象研究グループ
丹羽 正和・島田 耕史・黒澤 英樹

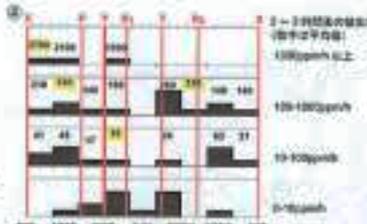
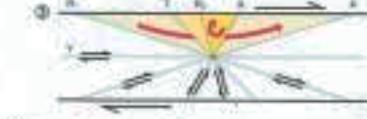
地質環境の長期安定性調査評価技術のうち、地震・断層活動に関しては、断層活動に伴う力学的・水理学的影響範囲を調査・評価できる手法を提示する必要がある。そのためには、まず活断層を特定するとともに、断層活動に伴う周辺岩盤の破断や変形の範囲を把握することが重要である。そこで、活断層を特定する手法開発のための断層水素ガス濃度測定、断層活動に伴う周辺岩盤の破断の影響範囲を把握するための破砕帯の発達過程の地質調査、および、断層活動による地形変化について評価するための数値モデル解析を行っている。

断層の活動性評価手法の提示

断層帯直上の土壌からは、大気中の水素ガス濃度の数10倍から数10万倍以上の濃度の水素が観測されることが報告されている(例えば、Sugisaki et al., 1983)。これらの高濃度水素ガスは、断層活動に伴う新生破砕表面と水とのラジカル反応によって生成したと考えられている(Kameda et al., 2003など)。そこで、断層帯における水素ガス濃度の分布をもとに断層の活動性を評価する手法を検討するため、携帯型水素ガス測定器Finch-Mono II (Infratron, Inc.製)を使用し、活断層である岐阜県の断津川断層と、地質断層である三重県の仏像橋遺跡で、それぞれ多地点で水素ガス濃度の測定を行った。その結果、仏像橋遺跡では測定開始から1時間後以降はほぼ全ての地点で水素ガス濃度が減少していくのに対し、断津川断層では1時間以上経過しても増大し続ける地点が多く、放出率も大きいという違いが認められた。また、断津川断層中でも、割れ目の方向により、水素ガス濃度に大きな違いがあることが分かった。水素ガス濃度分布を用いた手法により、断層の活動性を評価できる可能性が出てきた。



断津川断層と仏像橋遺跡での水素ガス放出率の時系列変化の違い。

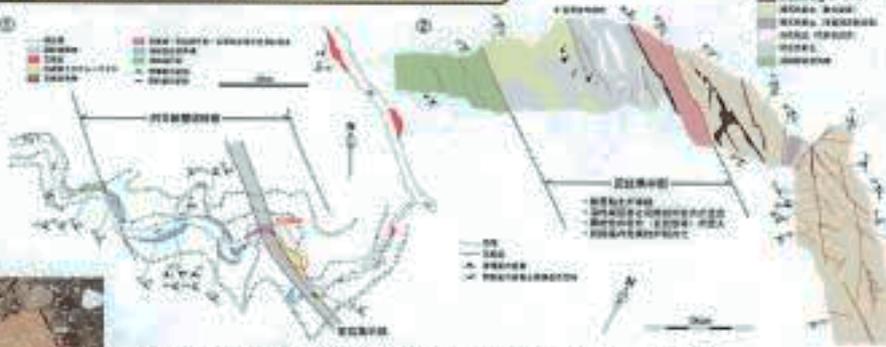


割れ目方向による水素ガス濃度の分布と測定地点の割れ目の走向との関係。また、R1面やR2面などのブロック運動による変位差による違いについて高濃度の水素ガス放出が想定。R1面が断津川断層の一般走向。

断層活動に伴う周辺岩盤の破断、地形変化の影響範囲のモデル化

<破砕帯の発達過程の把握>

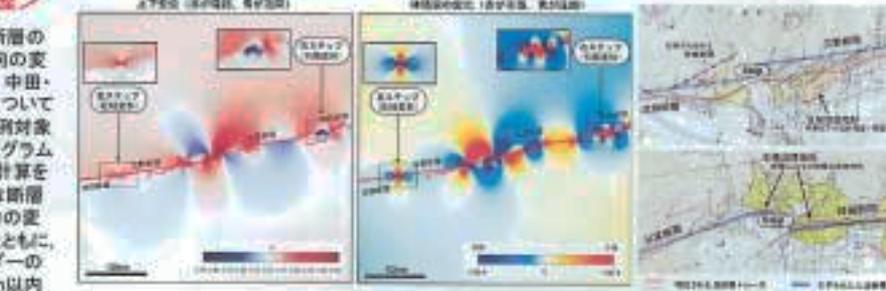
断層活動に伴う周辺岩盤の破断の影響範囲のモデル化のため、岐阜県の阿寺断層を事例対象として、破砕帯の発達過程を把握するための地質調査を行った。露頭スケール～顕微鏡スケールでの変形構造、充填域などの詳細な観察により、幅数10m程度の破砕帯の中で、第四紀以降の断層活動に伴う変位は、概約1m程度の断層粘土帯に集中していることを示すことができた。



断層帯直上における破砕帯の分布と盛状を示したルートマップ(②は①の部分拡大)。②は位置割りに含まれる異地帯の実際の断片。③破片化した異地帯の充填域(変位ゾーン)。

<断層活動による地形変化の把握>

概ずれ断層において、応力の集中する断層のステップ部や固曲部では、地表の上下方向の変形が起こることが指摘されている(例えば、中田・後藤, 1998)。この上下変位の量と分布について把握するため、岐阜県の中央構造線を事例対象として、空中写真判読と地殻変動解析プログラムCoulomb (Toda et al., 2005)による数値計算を行った。その結果、ステップや固曲のような断層の不連続部および走向変化部に歪や応力の変化が集中する傾向があることを確認するとともに、1回の地震による概ずれ変位が数mオーダーの場合は、上下変位の量は最大でも数10cm以内であることを明らかにした。



岐阜県の中央構造線における地殻変動解析結果と空中写真判読によるステップ構造部分の地形分布の調査結果との比較。破断に用いた断層帯の分布は空中写真判読結果をもとにしており、傾斜は垂直と仮定した。各断層帯の単位変位量は、高橋・境(1997)を参考に設定した。

This is a blank page.



地上からの調査予測研究段階(第1段階)の研究成果 (その1)

— 第1段階における調査研究の全体概要 —

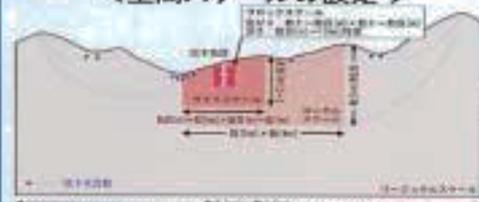
地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

仙波 毅・三枝博光・濱 克宏・鶴田忠彦・天野健治・竹内章史・瀬野康弘・内田裕大



1) 調査研究の着眼点

<空間スケールの設定>



新費城から流出域までの地下水流動系や研究用地および地下施設のレイアウトなどに着目して、4つの空間スケールを定義

<繰り返しアプローチの適用>



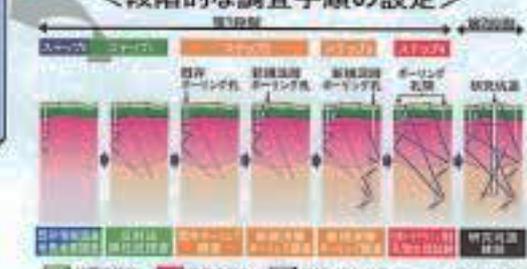
空間的、時間的、経済的な制約の下、効率的な調査を行うため、繰り返しアプローチを適用

<調査研究の個別目標と課題の設定>

調査研究の個別目標	課題
① 地質環境の理解	地質環境の理解
② 地質環境の予測	地質環境の予測
③ 地質環境の管理	地質環境の管理
④ 地質環境の改善	地質環境の改善

安全評価、地下施設の設計・施工および環境影響評価の観点から、調査研究の個別目標と課題として整理

<段階的な調査手順の設定>



第1段階では、調査研究を4つのステップに区分し、繰り返しアプローチを意図した調査研究を展開

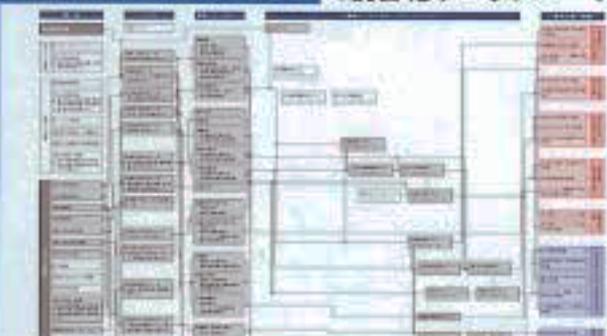
JAEA 第1段階研究成果報告書 <<全体目標>>

① 地上からの調査研究による地質環境モデルの構築および研究地層層間の深部地質環境の把握

② 研究地層の詳細設計および施工計画の策定

2) 調査研究結果の概要

<統合化データフロー>



取得するデータの種別、データの解釈及び異なる分野で得られた情報の統合などの観点から調査ステップごとに、調査から評価までの合理的な道すじ(系統的なデータの流れ)を統合化データフローとして整理

<地質環境の理解度の変遷>



地質環境モデル
地下水流動解析結果

不確実性 → 理解度

- 調査研究の進展に伴う情報の種類・量と地質環境の理解度や調査研究の達成度との関係を階次評価するとともに、この評価結果に基づき次の調査研究における重要要素を抽出・特定して調査計画に反映
- 地層区分によって異なる地質環境特性を効率的に把握

本報告書で記述されている主な成果

- 実際の調査研究を通じて得られた技術的知見(ノウハウや失敗例)を**基盤技術**として整理
- 地下施設近傍の地質・地質構造および地下施設建設に伴う水理・水質・力学特性の変化を推定
- 地下施設の建設が地質環境へ与える影響を観測する技術を開発
- 結晶質岩を対象とした主要な調査技術および解析技術に係る**技術的知見**(例えば、ボーリング調査における透水性構造を抽出するための流体換層手法や水理試験手順、物理探査データの解析手法などの有効性)および**経験**や**ノウハウ**を蓄積
- 地上からの調査研究において、地質環境の理解度や不確実性の評価結果に基づく**対象項目の優先度**を明確にした**調査研究計画**の策定、個別の調査研究における**品質管理体制**と**実地体制**作りが有効であることを確認

This is a blank page.



地上からの調査予測研究段階(第1段階)の研究成果(その2)

—地質・地質構造に関する調査研究—

地層処分研究開発部門 東濃地科学研究所ユニット
松岡稔幸・天野健治・鶴田志彦・鈴木 勲正・程塚保行



1) 目標・実施概要

全体目標を受けて設定した地質・地質構造に関する調査研究における個別目標と課題

- 地質構造(岩盤の地質学的不均質性、被覆層の厚さ、移行経路として重要な構造)の三次元的分布の把握
- 地下空間周辺の力学・水理状態の把握に必要な不連続構造などの有無の把握



下記の段階的な調査ステップの設定により、理解度や不確実性を段階的に評価するとともに重要な要素を効果的に特定

- ステップ0: 既存情報調査
- ステップ1: 地表地質調査
- ステップ2: 反射弾性波探査
- ステップ3: 既存深部ボーリング調査
- ステップ4: 新規深部ボーリング調査
- ステップ5: 新規深部ボーリング調査
- ステップ6: 孔壁トモグラフィ探査等

2) 主な調査研究結果

ステップ1 地表地質調査

ステップ2 反射弾性波探査

ステップ3 既存深部ボーリング調査

ステップ4 新規深部ボーリング調査

ステップ5 新規深部ボーリング調査

ステップ6 孔壁トモグラフィ探査

3) 得られた主な技術的知見

- 地表地質調査と反射弾性波探査により、被覆層中の地層境界や基盤岩と被覆層の不整合面の分布を確定的に把握し、基盤岩上部に分布する割れ目等の構造区分が可能
- 地表地質調査により、既存の地質図に記載されていない被覆層を裏付けさせる数値のデータ領域の範囲を把握
- 反射弾性波探査は断層の深部方向への連続性を推定する際に有効
- 既存深部ボーリング調査および新規深部ボーリング調査により、被覆層中の岩相区分や基盤岩上部において特に割れ目が卓越する区間の構造区分が可能
- ボーリング孔における岩土地質調査、物理探査、マルチセクタースキャンの組合せは、反射弾性波探査では不明確であった基盤岩を裏付けさせる断層の空間分布を把握する際に有効
- 新規深部ボーリング孔は、岩相・構造区分の妥当性を確認する際に不可欠であるほか、基盤岩を裏付けさせる断層のより深部への連続性を把握する際に重要
- コントロール断面を用いることにより、断層の水平・垂直方向の推定精度が格段に向上し、断層分布の全体像や可動性のある構造を効果的に推定することが可能
- 孔壁トモグラフィ探査などの複数の物理調査を深部ボーリング調査の後に適用することにより、研究対象領域など重要な領域における断層の分布位置をより精度よく把握することが可能
- 本調査研究を通じて新たに開発した水平成分記録を用いた三次元反射波のイメージング技術は、断層の三次元的分布や規模、深部構造の有無などの解釈に特に有効
- 地質・地質構造の概念化は、ステップ2までの調査により概ね可能
- 断層を例にとると、今回適用した各調査は、解断対象領域(4km²)においてそれぞれ数本程度抽出することが可能
- 岩盤水理に関する調査研究との連携により、抽出された断層のうち、移行経路として重要な構造が特定可能
※本報告書の概要集(その3)「断層水理」に関する調査研究一巻

調査の進展に伴う理解度の変遷



4) 処分事業・安全規制のための主な技術的基盤

- 地表からの調査の進め方として、面的に調査できる手法を適用して広い領域を網羅的に把握・概念モデル化した上で、詳細な情報を必要とする項目を抽出し、それらをボーリング調査などにより更に精緻化する(モデルの更新を含む)といった手順が有効。特に重要な構造である断層の分布は、地質調査と弾性波探査を一体化した調査と解釈、モデル化により効率的に把握していくことが可能
- 調査計画の最適化に関しては、水理学的調査・解析との連携による移行経路として重要な構造の抽出とそれらの理解度・不確実性の評価が不可欠。また、これらを行うために整備された一連のモデル化技術は、それぞれの調査結果を統合し、解釈する際に有益

本報告書では、これらの知見を処分事業(概要調査、地上からの精密調査など)や安全規制のための技術的基盤として記述・とりまとめ

This is a blank page.



地上からの調査予測研究段階(第1段階)の研究成果(その3) —岩盤水理に関する調査研究—

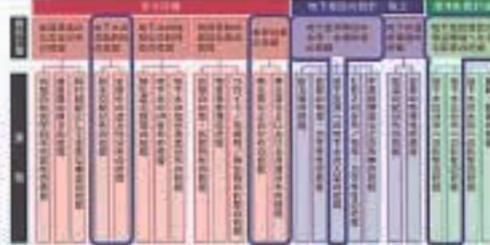


地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット
大山卓也・三枝博光・岸上博則・竹内竜史

1) 目標・実施概要

全体目標を受けて設定した岩盤水理に関する調査研究における個別目標と課題

- 地下水の流動特性の把握
- 希釈効果の把握
- 地下空間周辺の力学・水理状態の把握に必要な地下空間への地下水流入量の把握
- 地下施設建設が地下水分布や地下水圧分布へ与える影響の把握



下記の調査ステップの設定により、地質・地質構造に関する調査研究結果に基づく岩盤水理に関する調査研究を段階的に実施

- ステップ0: 既存情報調査
- ステップ1: 地表地質調査
- ステップ2: 放射線探査調査
- ステップ3: 数ヶ所掘削ボーリング調査
- ステップ4: 新設深部ボーリング調査
- ステップ5: 孔間トモグラフィ調査等
- ステップ6: 孔間水理調査

2) 主な調査研究結果

ステップ1
地質構造モデル

ステップ2
水理地質調査

ステップ3
水理地質調査

ステップ4
水理地質調査

3) 得られた主な技術的知見

- 断層の透水性に着目した地下水流動解析は、断層の透水性が動水勾配分布に及ぼす影響の評価及び断層領域内の動水勾配分布に大きな影響を及ぼす断層を抽出し、調査を行う断層の優先順位をつけるうえで有効
- 水理地質構造モデルを構築する際には、断層の分布位置及び断層のトレス長に着目したスクリーニングによって、モデル化対象断層の選定を行うことが効果的
- 単孔式水理試験を実施するに当たっては、ボーリング調査で把握された地質・地質構造に基づいた試験区画を設定することが重要
- 水みちを抽出するうえで電気伝導度検測が有効
- 電気伝導度検測に基づく数値解析結果は水理試験を補強するうえで有効
- 複数のボーリング調査を実施する場合は、これらを同時に実施することを避け、1本のボーリング調査終了後に地下水モニタリング装置を挿入して、次の掘削調査による水圧応答などのモニタリングを実施することが水理地質構造を把握するうえで有効
- 高透水性構造が立坑に出現することが想定される場合は、その数や位置、水理特性などの情報を優先的に取得することが重要
- 研究対象断層に伴う水圧低下の範囲や程度は、地下水の流入量に影響を及ぼすものであることから、研究対象地帯に分布する断層の空間分布や水理特性に関する情報を取得することが重要
- 水圧の非定常変化のデータは、地質・地質構造の水理特性及び分布範囲・位置を特定するうえで有益
- ボーリング孔を利用した調査で得られた地質学的情報や水理学的情報などに基づき、割拠水圧が異なると考えられる区画ごとに観測区画を設定することにより、初期値の取得からその後の断層に伴う影響を正確に把握することが可能

調査の進展に伴う理解度の向上



断層影響評価



4) 処分事業・安全規制のための主な技術的基盤

- 効率的に地下水流動特性を把握するためには、調査とモデル化・解析を繰り返して実施するといったアプローチが有効
- 断層中の透水性分布を把握するための単孔式水理試験の実施に当たっては、地質学的な調査・解析から推定された地質構造要素の分布や断層構造から把握されるボーリング孔内の地下水の流出入箇所に基づき実施計画(試験区画の設定、試験方法の選定など)の立案が重要
- 研究領域内で複数のボーリング調査を実施する際には、ボーリング孔間の水理学的な連続性や水理地質界を把握することを前提として、確認すべき対象領域や地質・地質構造の明確化、最適なボーリング調査位置、ボーリング調査の実施時期などの調査計画を立案することが重要
- 調査・解析・評価の繰り返しは、迅速に実施する必要があるため、地質/水理地質構造モデルの構築や地下水流動解析が効率的に実施できるシステムを構築しておくことが有効

This is a blank page.



地上からの調査予測研究段階(第1段階)の研究成果(その4) —地下水の地球化学に関する調査研究—

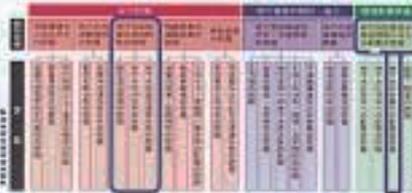
地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット
水野 崇・濱 克宏・吉田治生・齋 正貴・天野由記・萩原大樹



1) 目標・実施概要

全体目標を受けて設定した地下水の地球化学に関する調査研究における個別目標と課題

- 地下水の地球化学特性(塩分濃度、pHおよび硫酸根状態)の把握
- 地下施設建設が地下水の水質へ与える影響の把握

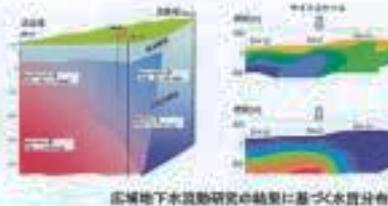


- 下記の段階的な調査ステップの設定により、理解度や不確実性を段階的に評価するとともに重要な要素を効果的に特定
- ステップ1(地盤からの調査・解析・評価)およびステップ4(ボーリング孔を対象とした調査・解析・評価)は当該分野に該当なし

- ステップ0: 既存情報調査
- ステップ1: 地盤調査
- ステップ2: 既存深部ボーリング調査、浅部ボーリング調査
- ステップ3: 深部ボーリング調査

2) 主な調査研究結果

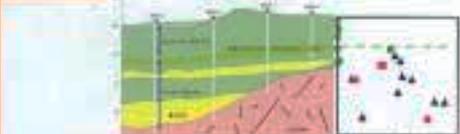
ステップ0



広域地下水流動研究の結果に基づく水質分布

<課題>
サイトスケールの広域における地下水の地球化学特性の把握

ステップ1



新規浅部ボーリング孔を用いた調査結果に基づく研究用地内の水質分布



<課題>
サイトスケールの調査における地下水の地球化学特性の把握

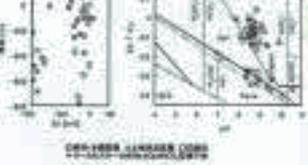
ステップ2



新規深部ボーリング孔を用いた調査結果から得られた水質のヘキサダイアグラム



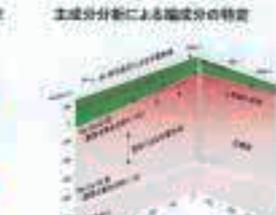
主成分分析による塩成分の特定



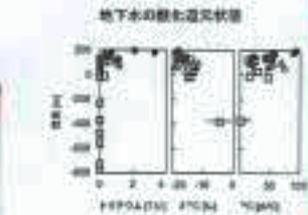
地下水の酸化還元状態



研究用地内および周辺における水質分布図



第1段階における地球化学調査モデル



地下水の空間的分布

3) 得られた主な技術的知見

- 主な地下水水質はNa-Ca-HCO₃型
- 湧出域の土壌花崗岩中の地下水水質はNa-C型
- pHは弱アルカリ性
- 酸化還元状態は単一還元性
- 環状岩群層ではケイ素、硫酸根イオンに富むNa-Ca-HCO₃型地下水
- 環状岩群深部および土壌花崗岩上部ではNa-C型地下水
- 両者の分存境界の深さでは低濃水層の存在により低濃水層に深部の水層の急激な低下が観察されており、水層地質構造が地下水の地球化学特性の分布を支配
- pHは概ね7~9の範囲を呈しステップ1の結果を支持
- 水理特性と地下水の水質分布を比較することにより、地下水流動解析結果の妥当性を確認するとともに地球化学モデルの信頼性を向上させることが可能
- 深さ約1,000mの花崗岩中には塩分濃度が2,500mg/L程度のNa-Ca-C型地下水が存在
- 多変量解析により地下水水質の三次元的分布を想定
- 土壌花崗岩中の地下水のpHは概ね8~9の範囲を呈し、ステップ0の結果を支持
- 主要なpH緩衝反応は硫酸塩結物の溶解・沈殿反応
- 酸化還元反応については含鉄鉱物、含硫黄鉱物、硫酸水素ガスが関与した酸化還元反応が支配
- 本ステップにおいて研究地周辺部前の地球化学的初期条件を把握し、その結果に基づく定量的な地球化学モデル構築
- Na-Ca-C型地下水の起源や滞留時間の把握は第2段階以降の調査における課題

4) 処分事業・安全規制のための主な技術的基盤

- 地下水水質に関する地球化学モデルを構築するための手順として、下記の手順が有効
 - 1) 定性的な情報も含む地下水の水質データベースに基づき場の状態の概念を構築
 - 2) 調査により得られたデータによる解析用データベースを構築し、1)の概念について適切な解析手法を用いて解析を実施
 - 3) 解析用データベースを用いた性能・安全評価に関わる溶存化学成分等の水質形成プロセスについての解析を実施
- サイトスケールのように異なる地下水の混合により地下水の水質が形成される環境では、地下水の地球化学特性を理解する手法として、多変量解析や熱力学解析と鉱物-地下水の分析・観察を使用した調査・解析が有効
- 調査地域の地球化学データの参照に用いることのできる各地の情報(地質、地史、水質、割拠体構成、水質形成プロセスなど)の整備により、調査地域の不況情報を補正可能

This is a blank page.

This is a blank page.



地上からの調査予測研究段階(第1段階)の研究成果(その6) —地質環境の調査・評価技術の整備—



地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

竹内寛史・三枝博光・鶴田忠彦・松岡稔幸・水野崇・瀧野康弘・内田雅大

1) 地表からの調査・評価技術

① リニアメント調査技術

目的:

- 大規模の地盤(100m²程度の面積)を調査し、調査に必要となるリニアメントの長さや材料の選定および各種測定装置の設置の計画(調査の経路や測定点の位置)の決定

主な技術的知見・成果:

- リニアメントの設置計画、長さ(約1000m程度、幅約10cm程度)
- リニアメントと基礎の接合部(埋設部)の長さや位置と付帯装置の位置(位置)から、調査はほぼ同一のフラットな地盤
- 土質の調査から、リニアメント設置の位置が埋設部から直線状に掘削可能

② 物理探査技術

反射弾性性調査

目的:

- 地盤の弾性係数、圧縮率、せん断弾性係数等の物理特性を調査することにより、地盤の物理特性(弾性係数)と地質学的特性(地質学的特性)との関係性を明らかにする

主な技術的知見・成果:

- 地盤の弾性係数、圧縮率、せん断弾性係数等の物理特性を調査することにより、地盤の物理特性(弾性係数)と地質学的特性(地質学的特性)との関係性を明らかにする

高密度電気探査

目的:

- 高密度電気探査では地盤の電気抵抗率が異なる層が地表に露出して、地表に打った電極間の電気抵抗率の調査

主な技術的知見・成果:

- 高密度電気探査では地盤の電気抵抗率が異なる層が地表に露出して、地表に打った電極間の電気抵抗率の調査

マルチオフセットVSP調査

目的:

- 反射弾性性調査では地盤の弾性係数、圧縮率、せん断弾性係数等の物理特性を調査することにより、地盤の物理特性(弾性係数)と地質学的特性(地質学的特性)との関係性を明らかにする

主な技術的知見・成果:

- 反射弾性性調査では地盤の弾性係数、圧縮率、せん断弾性係数等の物理特性を調査することにより、地盤の物理特性(弾性係数)と地質学的特性(地質学的特性)との関係性を明らかにする

2) ボーリング孔を利用した調査・評価技術

③ ボーリング調査計画

目的:

- 調査地域の地質学的特性を把握し、ボーリング調査における調査地点、調査深度の決定や調査計画の決定

主な技術的知見・成果:

- ボーリング調査の計画・実施

⑤ 物理検層技術

目的:

- 一定の深さの層に於ける物理特性(弾性係数、圧縮率、せん断弾性係数)を調査することにより、地盤の物理特性(弾性係数)と地質学的特性(地質学的特性)との関係性を明らかにする

主な技術的知見・成果:

- 一定の深さの層に於ける物理特性(弾性係数、圧縮率、せん断弾性係数)を調査することにより、地盤の物理特性(弾性係数)と地質学的特性(地質学的特性)との関係性を明らかにする

⑦ 水理試験技術

目的:

- 地盤の透水性や貯留性を調査し、ボーリング調査の計画・実施

主な技術的知見・成果:

- 地盤の透水性や貯留性を調査し、ボーリング調査の計画・実施

④ ボーリング技術

目的:

- 一定の深さの層に於ける物理特性(弾性係数、圧縮率、せん断弾性係数)を調査することにより、地盤の物理特性(弾性係数)と地質学的特性(地質学的特性)との関係性を明らかにする

主な技術的知見・成果:

- 一定の深さの層に於ける物理特性(弾性係数、圧縮率、せん断弾性係数)を調査することにより、地盤の物理特性(弾性係数)と地質学的特性(地質学的特性)との関係性を明らかにする

⑥ 流体検層技術

目的:

- 地盤の透水性や貯留性を調査し、ボーリング調査の計画・実施

主な技術的知見・成果:

- 地盤の透水性や貯留性を調査し、ボーリング調査の計画・実施

⑧ 地下水の地球化学調査技術

目的:

- 地下水の地球化学的調査

主な技術的知見・成果:

- 地下水の地球化学的調査

⑨ 初期応力測定技術

目的:

- 地盤の初期応力を調査し、ボーリング調査の計画・実施

主な技術的知見・成果:

- 地盤の初期応力を調査し、ボーリング調査の計画・実施

3) 解析技術・その他

⑩ 地下水流動解析

目的:

- 地下水の流動解析

主な技術的知見・成果:

- 地下水の流動解析

⑪ 品質管理手法

目的:

- 調査データの品質管理

主な技術的知見・成果:

- 調査データの品質管理

This is a blank page.



地上からの調査予測研究段階（第1段階）の研究成果（その7） — 深地層の工学技術に関する研究 —



地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット / 東濃地科学センター
久慈雅栄・見掛信一郎・黒田英高・松井裕哉

1) 目標・実施概要

第1段階の目標	研究所用地における深部地質環境に関する情報や次段階以降の調査・研究計画などに基づいて、研究坑道の詳細レイアウトを決定するとともに、実際に適用する施工技術並びに機械・設備を選定し、具体的な施工計画を策定		
研究の進め方	設計・施工技術 ・調査坑道と周辺設備の設計・施工 ・計画管理・フェードバック ・地層内水文評価 ・通気網解析	建設技術 ・ショートステップ工法 ・施工設備（掘削マシン、弄電気式巻揚機等）	施工対策技術 ・突発湧水対策（プレグラウト、事前調査） ・山はね、高圧け発生対策
	安全確保技術 ・坑内管理システム（入出坑、坑内環境、換気、火災監視） ・リスクマネジメント		

2) 主な調査研究結果

注1 研究坑道の詳細レイアウトは、第2段階以降に得られる地質環境や研究開発ニーズに基づき、適時に見直し予定

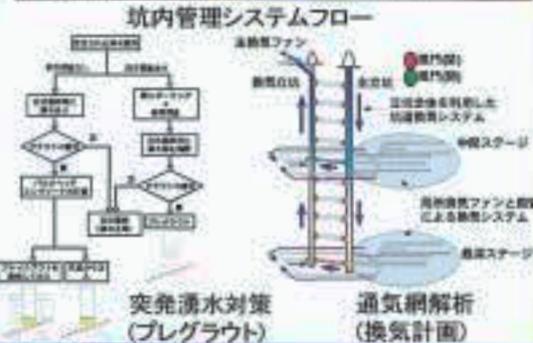
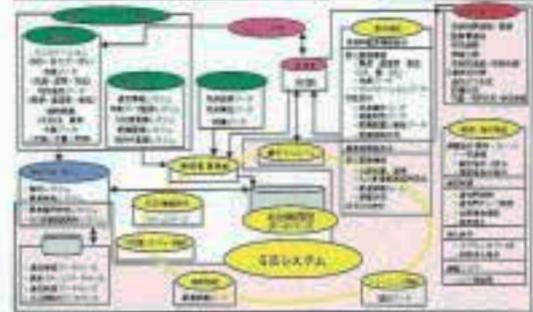


立坑の目的と仕様

目的	調査立坑	緊急立坑
	・ 調査坑道に併設し、掘削機やポンプ等の設置・撤去に利用 ・ 緊急時に坑内作業員が避難するための立坑 ・ 坑内作業員が立坑から坑道へ出入りする際の安全確保	・ 緊急時に坑内作業員が避難するための立坑 ・ 坑内作業員が立坑から坑道へ出入りする際の安全確保
掘削計画	1.2m/分	1.2m/分
掘削径	7.5m	5.5m
掘削深	3.5m	5.5m

水平坑道の目的と仕様

目的	調査ステップ	中間ステップ	底部ステップ
	・ 調査坑道の中間部分にある掘削機を設置するための掘削機用ステップ ・ 掘削機を設置するための掘削機用ステップ	・ 掘削機を設置するための掘削機用ステップ ・ 掘削機を設置するための掘削機用ステップ	・ 掘削機を設置するための掘削機用ステップ ・ 掘削機を設置するための掘削機用ステップ
掘削径	1.05m-径道	1.05m-径道	1.05m-径道
掘削深	約170m	約170m	約170m



3) 得られた技術的知見

- 【設計・施工技術】 【建設技術】**
- 研究ニーズや安全性、効率性を考慮した研究坑道の詳細レイアウトの設定手順、実施設計方法を検討し、適用
 - 効率性、信頼性、経済性等を考慮して施工技術・設備を選定し、具体的な施工計画に反映
 - 空洞安定性と支保設計は、第2次取りまとめの手法を踏襲して実施。なお、第1段階調査と併行し、実施設計（ステップ3）で基本計画を、調整設計（ステップ4）でその見直しを実施。この結果を岩盤等級の取扱い、ボーリング調査位置等の計画に反映
 - 当地域の想定地震等に基づき、鉛直地震動についても第2次取りまとめの手法を用いて耐震性を検討し、手法の妥当性と耐震安全性を確認
 - 計画結果の設計・施工計画へのフィードバック技術（情報化施工）について、フロー図を作成。地質観察においては、豊富な岩盤分類法の検討を計画

- 【施工対策技術】**
- 突発湧水について、プレグラウト（事前グラウト）による止水を基本とする対策工検討フローを作成
- 【安全確保技術】**
- 安全対策について入出坑、火災、坑内環境及び通風の各システムと通気網解析を組み合わせた統合管理システムの概念を構築。また、リスクマネジメント手法を活用してリスクを抽出し、安全対策に反映を計画

4) 処分事業・安全規制のための技術的基盤

- 実際の深部地質環境や調査・研究計画を反映し、研究坑道と周辺設備を設計・施工・維持管理する一連のフローを提示
- 検討内容を実際に超深地層研究所計画に反映・適用し、その妥当性を検証（第2段階以降、実施予定）
- 実際の設計・施工・維持管理を通じてノウハウを含めた情報を取得・データベース化し、地層処分計画へ反映・活用（第2段階以降、実施予定）

This is a blank page.



精密調査の基盤技術の開発

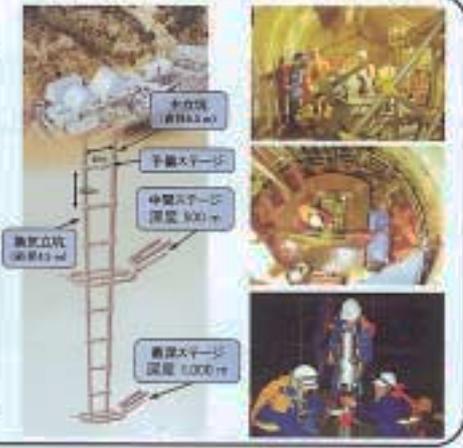
— 瑞浪超深地層研究所における工学技術に関する研究の概要 —

地層処分研究開発部門 東濃地科学研究所 結晶質岩工学技術開発グループ
黒田 英高・久慈 雅栄・見掛信一郎・松井 裕哉



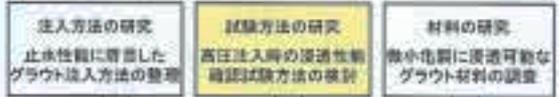
工学技術の基礎の開発

設計・施工技術 <ul style="list-style-type: none"> 地下施設の設計・施工 計画管理・フォードバック 地質的安定性評価 通気機解析 崩壊分類適用性評価 	建設技術 <ul style="list-style-type: none"> 施工設備（特スキブル、非電氣式需要等） 施工設備の安全評価 掘削方法（スームスプレスタング） 	施工対策技術 <ul style="list-style-type: none"> 湧水抑制・突発湧水対策（グラウト技術の開発および高度化） 山はね発生評価 高圧けり増解析
安全確保技術 <ul style="list-style-type: none"> 坑内管理システム（入出坑管理、坑内環境、通信管理、火災監視） リスクマネジメント 維持管理マニュアル 	掘削影響軽減・修復技術 <ul style="list-style-type: none"> 研究坑掘削が地質環境に及ぼした影響の軽減あるいは修復技術に関する研究など 	長期影響評価試験 <ul style="list-style-type: none"> 人工材料（セメント、ベントナイト等）の地盤への長期的な影響と修復する試験など

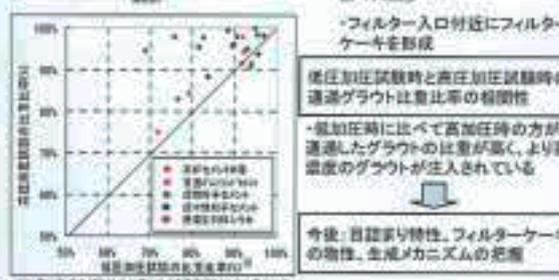
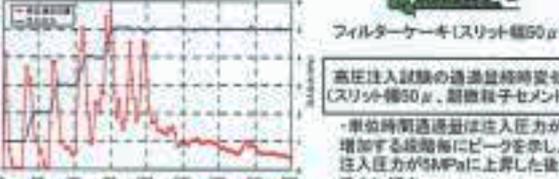
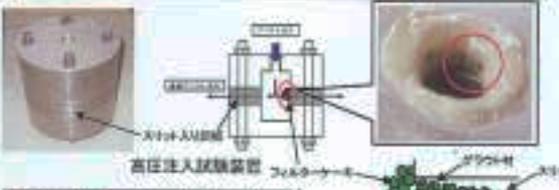


施工対策技術 グラウト技術の開発および高度化

・高い止水性能を有するグラウト技術の開発

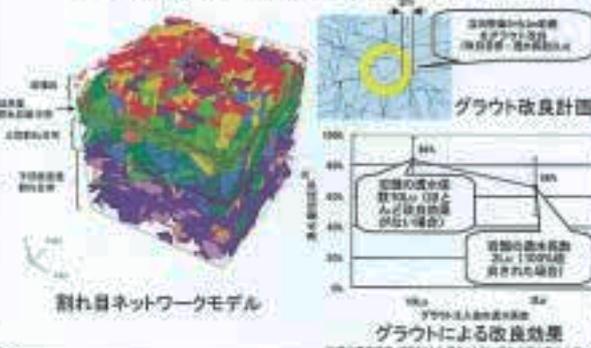
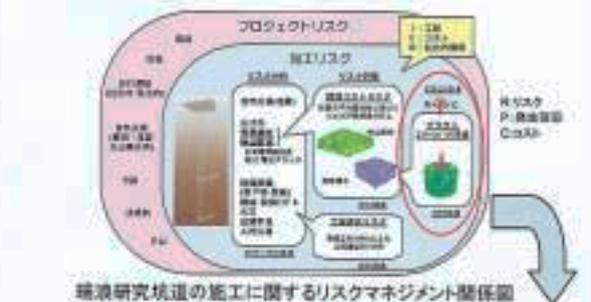


目標：地下深部においてグラウトにより高い止水性能を確保



安全確保技術 リスクマネジメント

- ・湧水対策(グラウト)が湧水リスクに及ぼす影響(湧水量の削減効果)を検討
- ・割れ目ネットワークモデル・グラウトの改良範囲と透過性を限定し地下水流動解析を実施し、グラウト実施の前後で湧水量を比較
- ・グラウトにより崩壊領域の透水性を改善するよりも、湧水帯に絞った対策が効果的
- ・グラウト工事費と湧水処理費用のトータルコストを最小とする最適なグラウト計画について、今後検討していく



This is a blank page.



精密調査の基盤技術の開発 —新しい定量的岩盤分類法の検討—



地層処分研究開発部門・結晶質岩工学技術開発グループ 東濃地科学センター・施設建設課
久慈雅栄・見掛信一郎・黒田英高・松井裕哉

既往岩盤分類法の評価

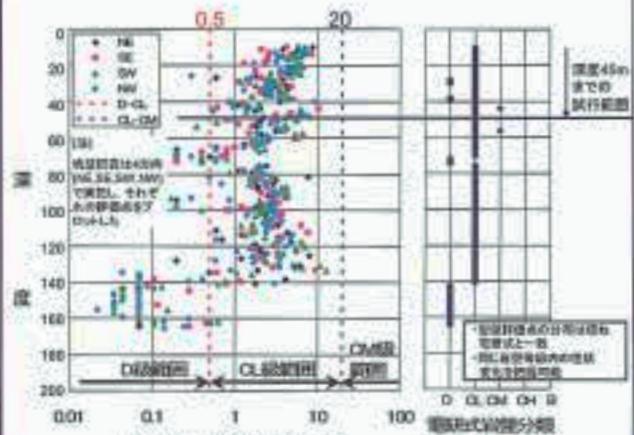
- 研究坑道(立坑及び水平坑道)掘削では、掘削時の支保パターンの妥当性検討と実施支保パターンを選定するために、既存の分類法(電研式^①、RMR^②、新JH式^③)による岩盤分類を実施し、以下の結果を得た。
- 今回対象とした堆積軟岩は岩盤強度が低く(数MPa)、風化作用もほとんどないことから、RMR及び新JH式では岩盤の性状の違いを十分に評価できていないと考えられる。
- 電研式は岩盤強度の違いは相応に考慮されているが、岩盤状態を数種類(例えばA,B,CH,CM,CL,D)で評価するため、連続した岩盤の性状変化を表現することが難しい。

①電研式 地質調査技術協会編「地質調査技術」第1巻、1984。
②RMR Barton, N. P. Geotechnical classification of rock masses and application to tunneling, Proc. 3rd Int. Cong. Rock Mechanics, vol. 2, Paris, pp.153-156, 1974。
③新JH式 国土交通省「地質調査技術」第1巻、1984。

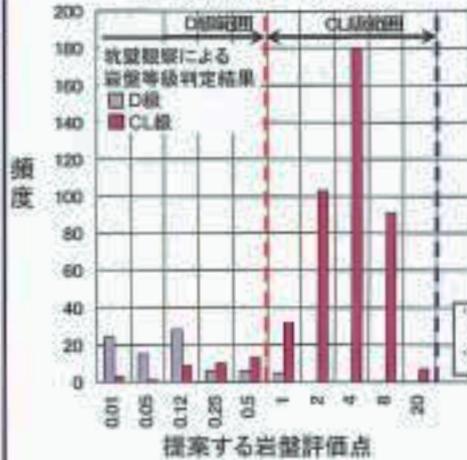


提案する岩盤分類法の適用結果

- 新しい定量的岩盤分類法を深度45mまでの堆積軟岩で試し妥当性確認
- 深度168mまでの堆積軟岩全体に適用。その結果、同じ評価点法であるRMR及び新JHと比較して深度方向の岩盤性状変化(強度等)をより忠実に反映して、評価点の変化を得られた



提案する岩盤評価点



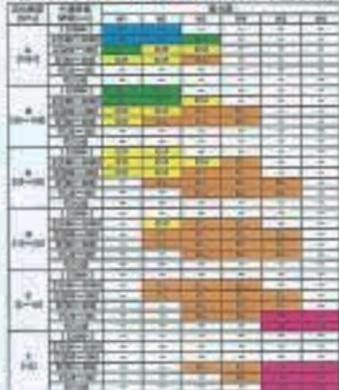
新しい定量的岩盤分類法の検討

- 地盤工学会基準「岩盤の工学的分類法JGS3811-2004」をベースとした新しい定量的岩盤分類法を検討

JGS「岩盤の工学的分類法」

岩種	平均粒径 [mm]										区分	強度	風化
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10			
粘土質	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	10	0.1	0.1
	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	20	0.1	0.1
シルト質	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	30	0.1	0.1
	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	40	0.1	0.1
砂質	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	50	0.1	0.1
	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	60	0.1	0.1
粗砂質	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	70	0.1	0.1
	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	80	0.1	0.1
中砂質	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	90	0.1	0.1
	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	100	0.1	0.1
粗砂質	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	110	0.1	0.1
	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	120	0.1	0.1
中砂質	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	130	0.1	0.1
	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	140	0.1	0.1
粗砂質	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	150	0.1	0.1
	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	160	0.1	0.1
中砂質	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	170	0.1	0.1
	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	180	0.1	0.1
粗砂質	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	190	0.1	0.1
	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	200	0.1	0.1

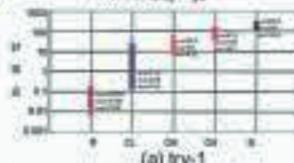
電研式岩盤分類との対応(暫定版)



定量化
手法の
検討

一般的な電研式分類が適用されている場合、不適切な風化係数、不均一な風化係数、不均一な風化係数により、岩盤強度を定量的に評価

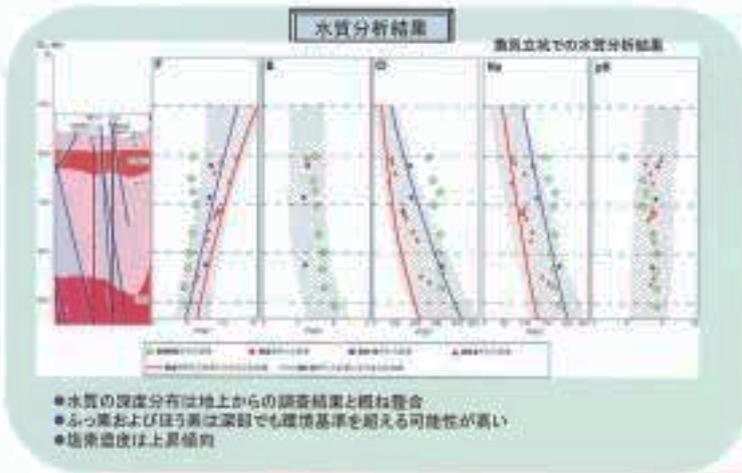
$$\text{評価点} = \left[\frac{\text{岩石強度}[\text{MPa}]}{\sqrt{\text{不連続面間隔}[\text{m}]}} \right] \times \left[\frac{1}{\text{風化度}[-]} \right]$$



$$\text{評価点} = \left[\frac{\text{岩石強度}[\text{MPa}]}{\sqrt{\text{不連続面間隔}[\text{m}]}} \right] \times \left[\frac{1}{\text{風化度}[-]} \right]$$



This is a blank page.

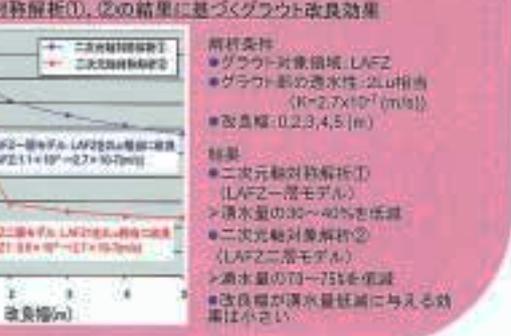
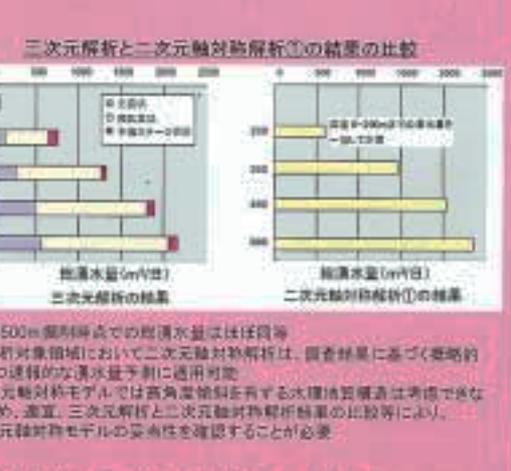
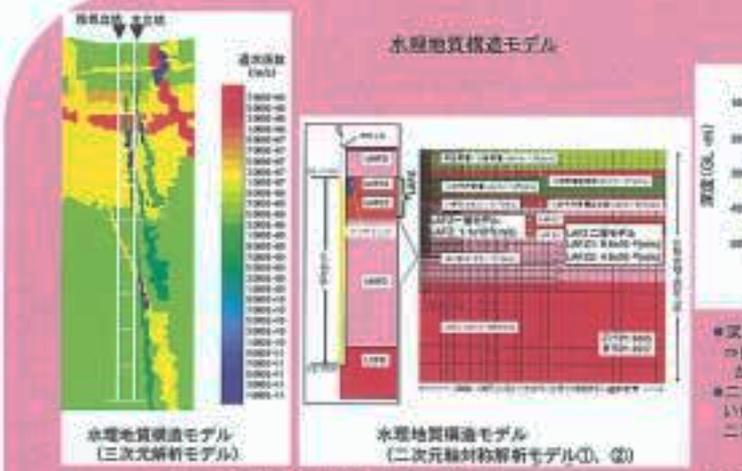


湧水量予測解析結果

予測解析の内容

1. 三次元解析
2. 三次元解析と同パラメータを用いた二次元軸対称解析
3. LAFZの水理学的不均質性を考慮した二次元軸対称解析
4. グラウティングの効果性を考慮した二次元軸対称解析

解析ケース	
解析ケース名称	解析モデルの内容
三次元解析	既存情報（地質や水理等）を総合的に解析したモデル
二次元軸対称解析 ①	LAFZ一部モデル（三次元解析パラメータを使用）
二次元軸対称解析 ②	LAFZ二層モデル（三次元解析パラメータを使用。但しLAFZを二層に分割し、パイロットボーリングの試験結果を使用）



- ### まとめ
- パイロットボーリング調査結果に基づき、新規排水処理設備の設計条件(処理能力と処理すべき水質項目)を整備
 - 換気立坑の深度210m付近のLAFZと深度約400～460mは顕著な湧水の可能性があり、グラウティング対象箇所として重要
 - 二次元および三次元の数値解析による深度500mまでの掘削に伴う予測湧水量は、2,000～2,500 (m³/日)(グラウトなしの場合)
 - 大量湧水の可能性のあるLAFZへのグラウティングによる2Lu相当の改良により当該箇所からの湧水を大幅に低減可能
 - 今後、ふっ素およびほう素に加えて、塩素の処理を必要に応じて検討
 - 地下水圧測定の結果、著しく高い水圧に遭遇する可能性は低く、既存の装置によるグラウティングが可能
 - 予測された地質・岩盤状況に基づき、今後、支保工(壁面の補強等)の仕様および水平坑道のレイアウト等を検討
 - 適用した調査解析技術に基づいて地下深部の地質環境を適切に予測することにより、合理的な施設計画に反映

This is a blank page.

This is a blank page.



「瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削における湧水抑制対策」

－ プレグラウト・結果と評価 －

独立行政法人 日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター
 施設建設課 原 雅人 南出賢司 池田幸喜 山本 務
 結晶質岩工芸技術開発Gr 松井裕哉 久慈雅洋

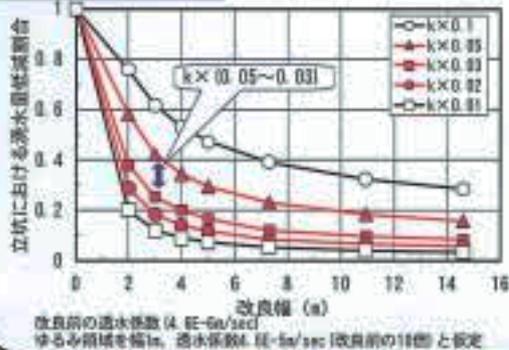


1) プレグラウトの概要

湧水抑制対策の目的

- 工事の健全性の確保
排水処理設備の増強規模縮小、施工性の向上等による工期・工費の縮減
- 排水処理量の低減
・ 排水処理コストの低減
・ 深部の塩分濃度の高い地下水の上昇による水質の変化等の軽減
- 施工対策技術の適用性の評価
湧水抑制対策工の設計技術・施工技術・確認技術の構築、及び他地点への反映

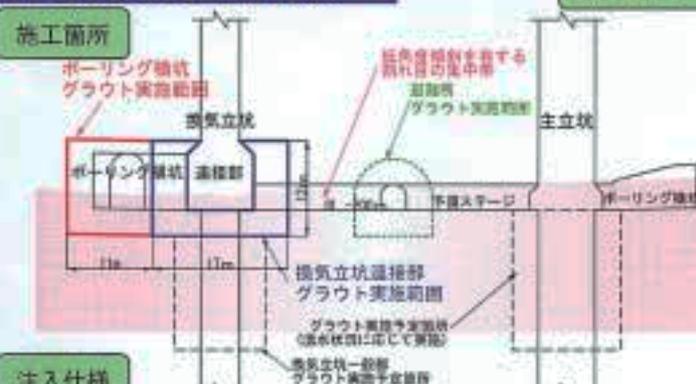
プレグラウトの目標



- 既存の数値解析結果に基づく予測湧水量とポンプ排水能力を考慮し、グラウトにより湧水量を4割に低減することを目標に設定
- 掘削時の発破影響を考慮し、ゆるみ領域 (1m) を含む **3mを改良範囲**とする

- ・ 改良前の地山の透水係数 $k = 4.6 \times 10^{-6}$ (m/sec)
- ・ 改良後の透水係数 $k_g = k \times 0.05 = 2.3 \times 10^{-7}$ (m/s) $= 1.7Lu \approx 2Lu$ (改良目標値)

2) プレグラウトの施工概要



施工フロー



注入仕様

- 注入材は、普通ポルトランドセメントを使用したセメントミルク
- 注入圧は、湧水圧 + 1MPa
- 注入材配合は、注入前のルジオン値に応じてセメント水比1:8~1:1に分類

ルジオン値	注入開始配合 (C/W)	配合比 (C/W) (単位: 1/孔)						合計
		1:8	1:6	1:4	1:2	1:1.5	1:1	
$L_u < 5$	1:8	400	400	400	400	600	800	3,000
$5 \leq L_u < 10$	1:6	—	400	400	400	800	1,000	3,000
$10 \leq L_u < 20$	1:4	—	—	400	800	800	1,000	3,000
$20 \leq L_u$	1:2	—	—	—	800	1,000	1,200	3,000

掘孔状況

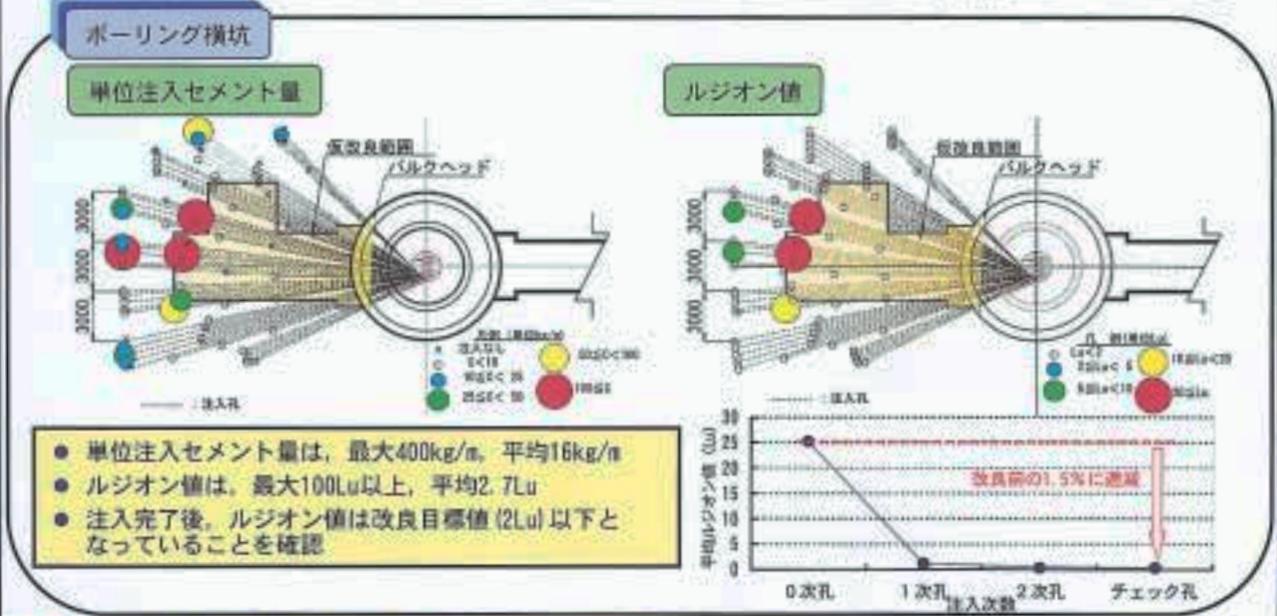
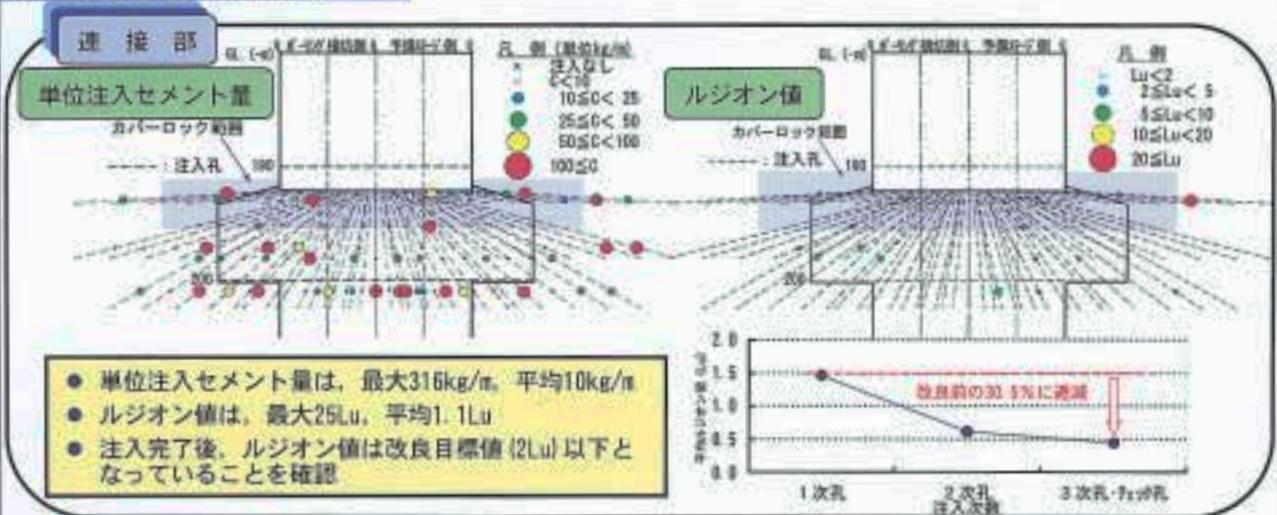


注入状況



This is a blank page.

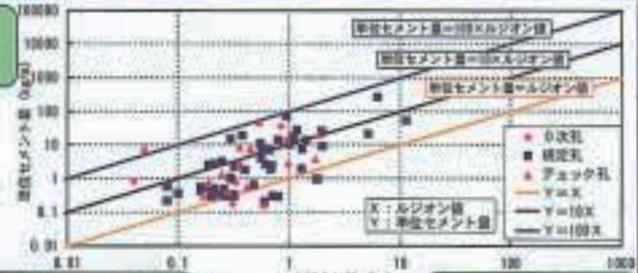
(3) プレグラウト施工結果



(4) プレグラウトの評価

ルジオン値とセメント量の関係

- 現状の開口性の亀裂性岩盤では、今回実施したグラウトが湧水抑制に有効
- 注入材は、主に連続性の良い開口性の高角度亀裂のみで浸透・固化したことから、元々の透水経路を中心に浸透した可能性がある
- 掘削範囲でのカバーロックや仮改良等は、注入材のリーク経路の遮断や、高角度亀裂への初期充填効果に有効
- ルジオン値(X)と単位セメント量(Y)の関係を $Y=A \times X$ (A:分布線の上・下限係数) で整理すると、ルジオン値が増加するとセメント量も増加傾向 また全データの90%がA=1~100の間に分布



接続部掘削状況



注入材浸透状況



This is a blank page.



量子ビーム応用研究部門との融合研究

放射線グラフト重合法による捕集材を用いた 瑞浪超深地層研究所における湧水処理の検討

地層処分研究開発部門 東濃地科学センター 瑞浪超深地層研究所
 量子ビーム応用研究部門 環境・産業応用研究開発ユニット 瀬古 典明、保科 宏行、岡田 健治、玉田 正男



1. 融合研究の経緯

地層処分研究開発部門 / 東濃地科学センター 瑞浪超深地層研究所
 ・坑道掘削に伴う湧水中のふっ素・ほう素を排水処理設備において環境基準以下まで除去して排水



湧水中濃度と環境基準の関係

	湧水中濃度 (mg/L)	環境基準 (mg/L)
ふっ素	7~10	0.8
ほう素	0.8~1.5	1

ふっ素除去: 薬剤による薬床法
 ほう素除去: イオン交換処理



量子ビーム応用研究部門 (高崎量子応用研究所) 放射線グラフト重合法で作製した捕集材により、温泉等における希少金属捕集の実績を持つ

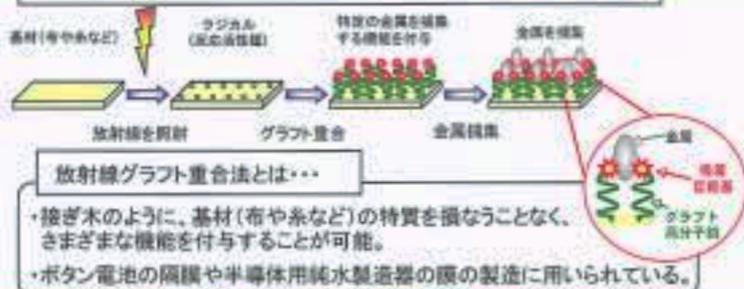
捕集材を用いた湧水中のふっ素・ほう素除去方法の検討



作製した捕集材 (直径 4.2cm)

・低濃度の特定金属を捕集するという性質を持つ

2. 放射線グラフト重合法による捕集材のしくみ



放射線グラフト重合法で作製した捕集材の特徴

- ・繊維状であるので、接触面積が大きい
- ・溶存イオンの高速除去が可能
- ・低濃度での除去が可能
- ・凝集沈殿処理と比べての利点
 - ・固形廃棄物が発生しない
 - ・捕集金属を資源として再利用可能
 - ・処理設備の省スペース化が図れる

3. 捕集材の性能評価結果(湧水を用いたカラム試験)

<試験状況>

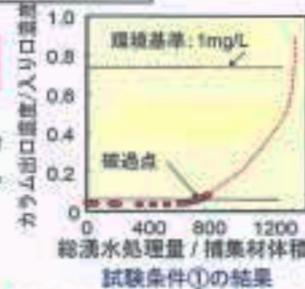


ほう素除去カラム

ほう素

ふっ素除去カラム

ふっ素



捕集材体積の約760倍の湧水量について、湧水に含まれるほう素を95%以上除去可能

- ・一般的なイオン交換樹脂と比べて、5倍の通液速度で除去処理が可能。
- ・スケールアップした試験条件②においても同様の結果が得られた。

<試験条件>

	カラム径 (mm)	通液速度 (h ⁻¹) ^{※1}	捕集材体積 (cm ³) ^{※2}
ほう素	① 30	50	10
	② 42	50	90
ふっ素	42	15	300

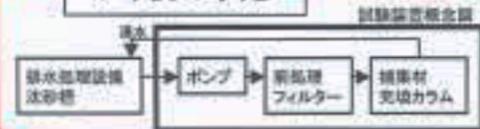
- ※1: 通液速度 (h⁻¹) = $\frac{\text{単位時間当たりの流量 (m}^3/\text{h)}}{\text{捕集材体積 (m}^3)}$
一般的なイオン交換樹脂は通液速度 約10h⁻¹
- ※2: 捕集材体積: ふっ素については1/10まで除去するため、カラムへの充填量を増加

ふっ素

- ・捕集材体積の280倍の湧水の処理が可能
- ・湧水中のふっ素濃度が7~10mg/Lであり、1/10まで除去する必要があるため、低濃度における捕集効果が強い捕集材の効果が十分発揮されない

現在の排水処理設備における凝集沈殿処理よりも効率化を図るためには、引き続き検討が必要

4. 今後の予定



カラム試験結果を基にスケールアップした試験装置を用いた実験を行い、ふっ素除去の効率化の検討とともに、捕集材利用におけるコスト低減のための課題抽出を行う。

- ① 捕集材の耐久性の評価
長期運転時の捕集性能の評価
- ② 捕集材の再生利用試験
捕集したふっ素、ほう素を分離し、再度捕集材を利用する再生試験の実験

This is a blank page.



アクロス研究の工学技術への応用 -アクロス技術の現状と今後の予定-



地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット
長谷川 健・園友 孝洋・中島 崇裕・館澤 峰夫

陸域地下構造フロンティア研究プロジェクトの一環として実施してきたアクロス(ACROSS(Accurately controlled Routinely Operated Signal System))の技術開発については、所期の目標を達成したことから平成17年度をもって終了した。

しかし、そこで培われてきた技術は地層研究等に特化したものではなく、その技術の汎用性は非常に広い。特に、崩壊の変位や物性の変化を捉える技術としては、他に類を見ない精度での計測を可能とするポテンシャルを有している技術である。

例えば、アクロス技術を工学技術に取り込むことにより、坑道の掘削による坑道周囲の地質環境の変化や、坑道の安定性(例えばコンクリート圍工の変化など)を評価できる技術として活用できる可能性がある。そこで、工学技術としてのアクロス技術の適用性検討試験を平成21年度末までを目途に実施することとした。検討項目は以下の2項目である。

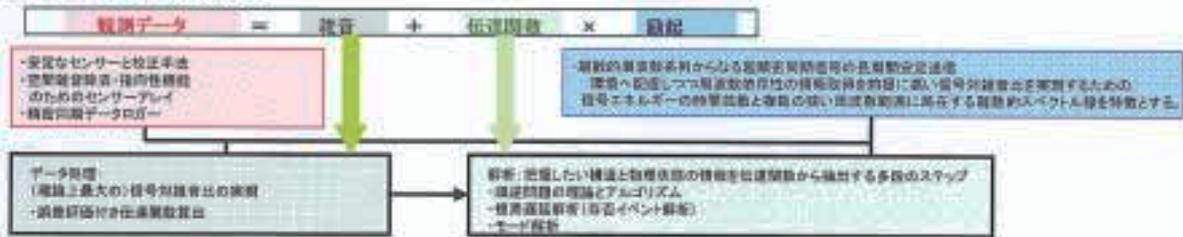
①地質環境のモニタリング技術としてのアクロス技術

研究坑道の掘削が坑道周囲の地質環境(特に力学特性)に与える影響のモニタリング技術として利用できるかどうかを検討する。

②坑道の安定性評価技術としてのアクロス技術

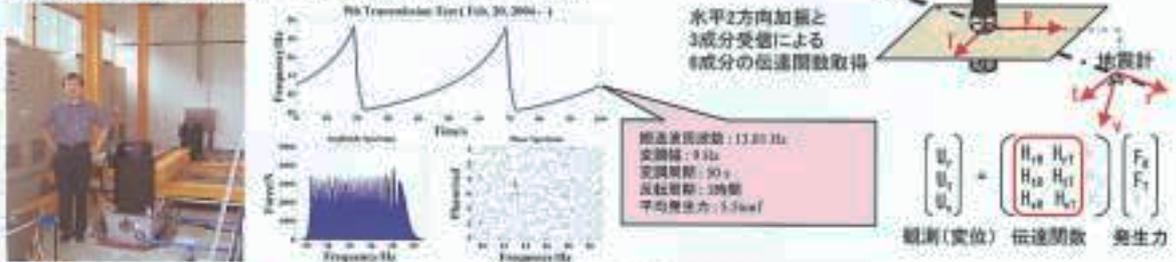
坑道復工コンクリートおよびその周囲の岩盤の振動モードを常時観測することにより、それら物性の時間的変化を非破壊でかつ連続的にモニタリング出来るシステムの開発について検討する。

【アクロスの要素技術】



【弾性波アクロス技術の現状】

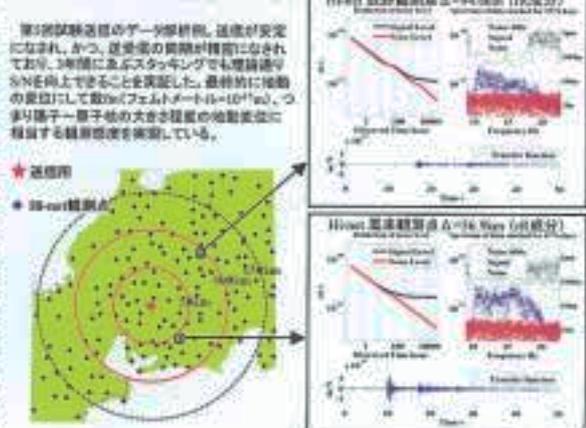
土岐弾性波アクロス送信所 送信信号(第5回試験送信)



送信履歴



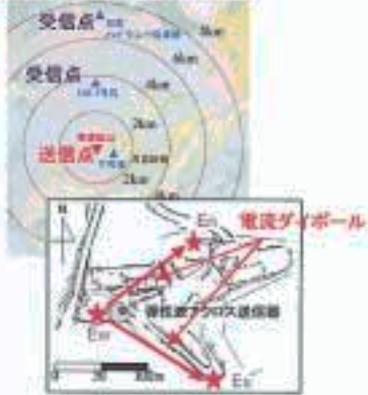
連続送信試験の結果の一例



This is a blank page.

【電磁アクロス技術の現状】

電磁アクロスの試験観測



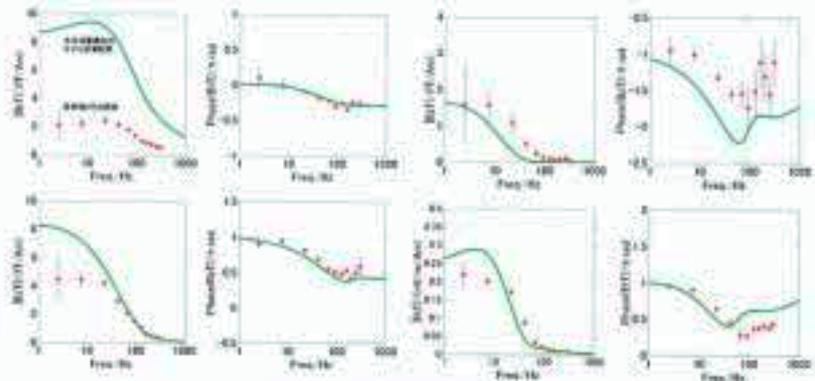
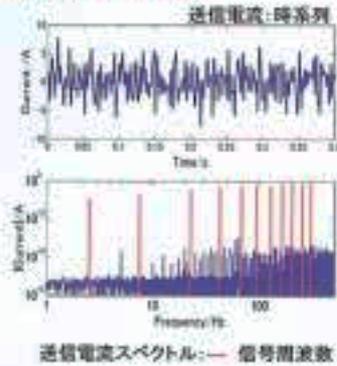
電磁アクロス送信仕様

- ・3つの接地電極を用いてベクトル送信
- ・最大電流: 10A. 電極間隔150m.

水平成層構造によって説明できる成分へのモデルフィッティング
 ⇨ 地下に行くほど低導電率(高比抵抗)

DH-3号孔		日吉ハイランド	
深さ	導電率 (S/m)	深さ	導電率 (S/m)
40 m	0.01 S/m	30 m	0.2 S/m
	0.005 S/m	50 m	0.002 S/m
200 m	0.004 S/m	300 m	0.0007 S/m

試験送信した信号



【平成19年度の計画】

①地質環境のモニタリング技術としてのアクロス技術(弾性波アクロス, 電磁アクロス)

アクロス送信所と瑞浪超深地層研究所を挟む位置に受信器(地震計と磁力計)を設置し、観測を開始する。



②坑道の安定性評価技術としてのアクロス技術(弾性波アクロス)

換気立坑・深度100m連絡坑道に設置されている地震計を連続データが取得出来るように改良し、掘削工事等のノイズの多い環境下で、アクロス送信所から発信されている弾性波信号がどの程度の精度で観測できるのかを確認する。

This is a blank page.



(財)地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所との共同研究
 - 100mステージにおける傾斜変動 -



財団法人 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所
 石井 紘、浅井 康広

概要：東濃地震科学研究所では立坑掘削に伴う各種変動を調べるための一環として100m予備ステージにおいて傾斜変動の連続観測を実施している。ステージにおいて安定した観測を行うために深度23.3mのボアホールを掘削し孔底に当研究所において開発した傾斜計を設置した。現在データは現地でデータロガーに記録しており、良好な観測データが蓄積され続けている。ここでは3月9日から9月19日までのデータの解析結果を示す。得られた主な結果は以下のようである。

1. 全体的な傾斜変動は 2.5×10^{-4} 程度の換気立坑方向への下降傾斜が進行した。
2. 3月9日から4月1日頃までは発破に対応した傾斜ステップが観測され、南方向への下降傾斜が観測された。
3. 4月1日以降は発破に対応した顕著な傾斜変動は観測されなくなった。



図1:立坑周辺における東濃地震科学研究所の観測網



図2:100mステージの傾斜計設置位置(上)と傾斜計設置ボアホールの構造(右)



図3:傾斜計設置に関連した写真

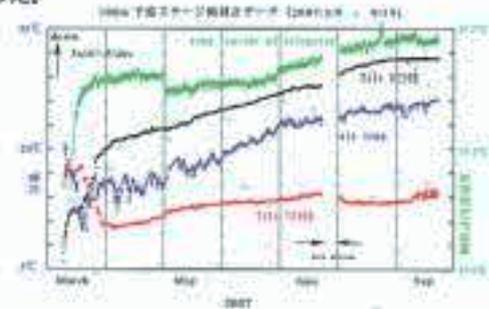


図4:100m予備ステージにおける傾斜観測データプロット(2007/3/9 - 9/19)



図5:100m予備ステージにおける傾斜変動、最大下降ベクトル図(2007/3/9 - 9/19)

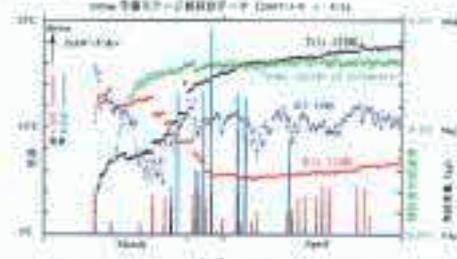


図6:100m予備ステージにおける傾斜観測データプロット(2007/3/9 - 5/1)と発破データ

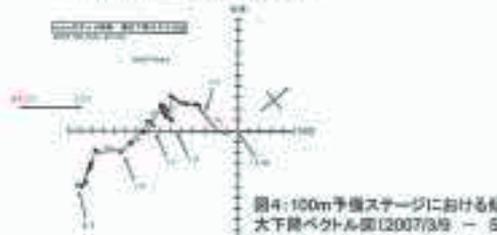


図7:100m予備ステージにおける傾斜変動、最大下降ベクトル図(2007/3/9 - 5/1)

This is a blank page.

This is a blank page.

5. おわりに

東濃地科学センターが進める地層科学研究における研究開発の成果については、処分事業と国による安全規制の両面を支えるわが国全体としての技術基盤の構築に資するため、研究開発報告書の作成・公開や「情報・意見交換会」の開催等により、処分事業の各選定過程に先行してタイムリーに広く公開し、提供していく。平成19年度の「情報・意見交換会」には、大学、研究機関、企業をはじめ多くの方々に参加いただき、貴重なご意見をいただいた。いただいたご意見等は、今後、研究開発の策定や「情報・意見交換会」を開催する際の参考にしたいと考えている。また、関係各位のさらなるご理解とご協力をお願いしたい。

謝辞

「平成19年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会」において、財団法人 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所の石井紘様、浅井康広様にポスター発表をお願いし、貴重な研究成果を報告いただいた。また、大学、研究機関、企業をはじめ多くの方々にご参加いただき、貴重なご意見をいただいた。これらの全ての方々に深く感謝する次第である。

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
物質の量	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 基本単位	
	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	メートル ⁻¹	m ⁻¹
密度 (質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
質量体積 (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
(物質の)濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率	(数の) 1	1

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼツタ	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3. 固有の名称とその独自の記号で表される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 ^(a)	rad		m ² ・m ⁻¹ =1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)		m ² ・m ⁻² =1 ^(b)
周波数	ヘルツ	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m ² ・kg ² ・s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ² ・kg ² ・s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N・m	m ² ・kg ² ・s ⁻²
工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² ・kg ² ・s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s ² ・A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² ・kg ² ・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 ² ・s ⁻³ ・A ⁻²
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m ² ・kg ⁻¹ ・s ³ ・A ²
磁束密度	ウェブエー	Wb	V・s	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・A ⁻¹
磁束	テスラ	T	Wb/m ²	kg ² ・s ⁻² ・A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(d)	°C		K
光照射度	ルクス	lx	cd・sr ^(c)	m ² ・m ⁻² ・cd=cd
(放射性核種の)放射能吸収線量, 質量エネルギー当量, カーマン線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量, 組織線量当量	グレイ	Gy	J/kg	m ² ・s ⁻²
	シーベルト	Sv	J/kg	m ² ・s ⁻²

- (a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときにいくつかの用例は表4に示されている。
 (b) 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“1”は明示されない。
 (c) 測光学では、ステラジアンと記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。
 (d) この単位は、例としてミリセルシウス度m°CのようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含む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	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	ニュートンメートル	N・m		m ² ・kg ² ・s ⁻²
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m		kg ² ・s ⁻²
角速度	ラジアン毎秒	rad/s		m ² ・m ⁻¹ ・s ⁻¹ =s ⁻¹
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s ²		m ² ・m ⁻¹ ・s ⁻² =s ⁻²
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²		kg ² ・s ⁻³
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K		m ² ・kg ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
質量熱容量 (比熱容量), 質量エントロピー (比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/(kg・K)		m ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m・K)		m ² ・kg ² ・s ⁻³ ・K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³		m ⁻¹ ・kg ² ・s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m		m ² ・kg ² ・s ⁻³ ・A ⁻¹
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³		m ⁻³ ・s ² ・A
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²		m ⁻² ・s ² ・A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m		m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁴ ・A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m		m ² ・kg ² ・s ⁻² ・A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol		m ² ・kg ² ・s ⁻² ・mol ⁻¹
モルエントロピー	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol・K)		m ² ・kg ² ・s ⁻² ・K ⁻¹ ・mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg		kg ⁻¹ ・s ² ・A
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s		m ² ・s ⁻³
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr		m ⁴ ・m ⁻² ・kg ² ・s ⁻³ =m ² ・kg ² ・s ⁻³
放射輝度	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 ² ・s ⁻³ =kg ² ・s ⁻³

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	1° = (π/180) rad
分	'	1' = (1/60)° = (π/10800) rad
秒	"	1" = (1/60)' = (π/648000) rad
リットル	l, L	1l=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg
ネーパ	Np	1Np=1
ベル	B	1B= (1/2) ln10 (Np)

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位で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 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	1eV=1.60217733 (49) × 10 ⁻¹⁹ J
統一原子質量単位	u	1u=1.6605402 (10) × 10 ⁻²⁷ kg
天文単位	ua	1ua=1.49597870691 (30) × 10 ¹¹ m

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	海里	1海里=1852m
ノット	ノット	1ノット=1海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	1a=1 dam ² =10 ² m ²
ヘクタール	ha	1ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
バール	bar	1bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 ⁵ Pa
オングストローム	Å	1Å=0.1nm=10 ⁻¹⁰ m
バール	b	1b=100fm ² =10 ⁻²⁸ m ²

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	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 =0.1Pa・s
ストークス	St	1 St =1cm ² /s=10 ⁻⁴ m ² /s
ガウス	G	1 G ≐10 ⁻⁴ T
エルステッド	Oe	1 Oe ≐ (1000/4π) A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx ≐10 ⁻⁸ Wb
スチル	sb	1 sb =1cd/cm ² =10 ⁴ cd/m ²
ホト	ph	1 ph=10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal =1cm/s ² =10 ⁻² m/s ²

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
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=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
X線単位	X unit	1X unit=1.002 × 10 ⁻⁴ nm
ガンマ	γ	1γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
ジャンスキー	Jy	1 Jy=10 ⁻²⁶ W・m ⁻² ・Hz ⁻¹
フェルミ	f	1 fermi=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット	metric carat	1 metric carat = 200 mg = 2 × 10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	
マイクロン	μ	1 μ = 1μm=10 ⁻⁶ m

