

東濃鉍山における調査試験研究
年度報告書（2001年度）

（研究報告）

2002年4月

核燃料サイクル開発機構

東濃地科学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2002

東濃鈾山における調査試験研究
年度報告書（2001年度）

（研究報告）

太田久仁雄¹，中間茂雄²，竹内真司³
濱 克宏²，天野健治³，茂田直孝¹

要 旨

東濃鈾山とその周辺域においては、主として地表から深度約 150m までに分布する新第三紀堆積岩（瑞浪層群）を対象に、「ウラン鈾床を胚胎し断層などの地質学的特徴を有する堆積岩中における物質の移行・遅延特性を把握すること」および「坑道周辺部の地質環境や堆積岩中の断層などを総合的に調査・評価するための技術を開発すること」を目標とした4項目の調査試験研究を実施している。2001年度に得られたおもな成果の概要は以下のとおりである。

「岩盤の力学的安定性に関する調査試験研究」においては、東濃鈾山における坑道周辺岩盤の約 10 年間にわたる長期クリープ変形挙動を確認するとともに、堆積岩のクリープ特性を把握した。また、クリープひずみ速度の温度依存性ならびに応力緩和の主要因を把握した。

「坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究」においては、不飽和領域における岩盤の含水量計測のために開発した装置の現場適用性を確認した。また、北延 NATM 坑道周辺の三次元的な間隙水圧分布を概ね把握するとともに、坑道壁面からの酸化還元状態の変化に関する定量的情報を取得した。

「岩盤中の物質移動に関する調査試験研究」においては、地下水および岩石の地球化学データセットの拡充を図り、東濃ウラン鈾床周辺における化学的環境の安定性や天然ウランの存在形態について解析的に評価した。また、地下水中の微生物の種類や存在量、硫酸還元菌の活性度などに関する基礎情報を取得した。

「月吉断層に関する調査試験研究」においては、瑞浪層群中の月吉断層の空間分布、幾何学的形状、活動履歴や地下水流動に及ぼす影響などに関する知見を取りまとめた。また、月吉断層を事例とした断層活動年代の調査を行い、今後必要と考えられる断層活動年代の調査手法について考察した。

1：地層科学研究情報化グループ

2：地質環境研究グループ

3：瑞浪超深地層研究所・研究グループ

Geoscientific Studies in the Tono Mine
Annual Report 2001

Kunio Ota¹, Shigeo Nakama², Shinji Takeuchi³,
Katsuhiro Hama², Kenji Amano³ and Naotaka Shigeta¹

Abstract

The current geoscientific studies in the Tono Mine have been carried out since 1998. The main aims of the studies are to assess solute transport/retardation in Tertiary sedimentary rocks that host uranium ore bodies and to develop comprehensive techniques for the characterisation of faults, near-field geological environments around tunnels, *etc* in the sedimentary formation. A variety of results were obtained in the 2001 financial year in four different tasks involved in the studies.

The long-term time-dependent behaviour of the rock mass was characterised by a couple of experimental studies involving *in situ* rock mass displacement measurements for over a decade and laboratory creep tests on sedimentary rock samples. In addition, temperature-dependent rock creep behaviour and a stress relaxation process were described.

In the tunnel near-field geological environments, 3D distribution of pore water pressure and penetration of oxidised zone into the sedimentary formation were characterised. For the *in situ* characterisation of an unsaturated zone surrounding the tunnel, the applicability of a packer-type TDR (Time Domain Reflectometry) probe developed was confirmed.

As part of studies on solute transport/retardation in the rock mass, the stability of reducing environment and uranium geochemistry in the host sedimentary formation were evaluated based upon the hydrogeochemical data sets developed in this task. Information on microbial diversity and abundance in groundwater and activity of sulphate-reducer was obtained.

With respect to the Tsukiyoshi fault observed in the sedimentary formation, all information obtained were synthesised and a spatial distribution, geometrical features, the past movement and its function for groundwater flow were described in detail. Limitations and future approaches to the dating of a fault activity were discussed in this study.

1: Geoscience Research Integration and Dissemination Group

2: Geoscience Research Group

3: Underground Research Group, Mizunami Underground Research Laboratory

目次

要旨		i
Abstract		ii
1	はじめに	1
2	2001年度の調査試験研究の概要	2
2.1	岩盤の力学的安定性に関する調査試験研究	3
2.2	坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究	3
2.3	岩盤中の物質移動に関する調査試験研究	4
2.4	月吉断層に関する調査試験研究	4
3	2001年度の調査試験研究の実施内容および成果	6
3.1	岩盤の力学的安定性に関する調査試験研究	6
3.1.1	実施内容	6
3.1.2	おもな成果	6
3.1.3	今後の予定	11
3.2	坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究	12
3.2.1	実施内容	12
3.2.2	おもな成果	12
3.2.3	今後の予定	14
3.3	岩盤中の物質移動に関する調査試験研究	16
3.3.1	実施内容	16
3.3.2	おもな成果	16
3.3.3	今後の予定	19
3.4	月吉断層に関する調査試験研究	20
3.4.1	実施内容	20
3.4.2	おもな成果	20
3.4.3	今後の予定	24
参考文献		25

図表目次

図 2.1	東濃鉱山における調査試験研究の実施領域	2
図 3.1	北延 NATM 坑道から採取した細粒砂岩のクリープ特性	8
図 3.2	稲田花崗岩を用いた応力緩和試験の結果	8
図 3.3	応力緩和試験中の微小割れ目の進展	8
図 3.4	東濃鉱山における長期変形挙動観測結果（一例）	8
図 3.5	試錐孔内での孔壁崩壊岩塊量の経時変化	9
図 3.6	双設坑道安定性解析モデル	10
図 3.7	双設坑道安定性解析による坑道周辺の局所安全率分布	10
図 3.8	双設坑道安定性評価試験の坑道レイアウト案	11
図 3.9	開発・改良したパッカー式プローブ	13
図 3.10	北延 NATM 坑道における間隙水圧の長期観測	13
図 3.11	坑道壁面からの鉄成分および微生物分布の深度プロファイル	14
図 3.12	KNA-6 号孔地下水中の微生物数の長期観測結果	17
図 3.13	地下深部に生息する硫酸還元菌とその硫酸還元活性	17
図 3.14	ウラン鉱物／化学種の Eh-pH 安定領域と堆積岩中の地下水組成	18
図 3.15	UO _{2(am)} の溶解度と酸化還元電位および CO ₂ 分圧との関係	18
図 3.16	月吉断層のフィッシュトラック年代測定結果	21
図 3.17	第 2 立坑付近における月吉断層の分布と幾何学的形状	22
図 3.18	月吉断層破碎帯中の自形方解石のストロンチウム同位体比	23
表 3.1	解析における岩盤物性値	10

1 はじめに

核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構）東濃地科学センターは、岐阜県土岐市に所有する東濃鉍山とその周辺において、主として地表から深度約 150m までに分布する新第三紀堆積岩を対象とした各種の調査・研究（「東濃鉍山における調査試験研究」）を地層科学研究の一環として進めてきている。東濃鉍山における調査試験研究は、「東濃鉍山における調査試験研究基本計画書」（サイクル機構，1999）に基づき、ウラン鉍床を胚胎し断層などの地質学的特徴を有する堆積岩中における物質の移行・遅延特性の把握、および地質環境を総合的に調査・評価するための技術・機器の開発を目標として実施しており、その調査試験研究の項目は以下のとおりである。

- ①岩盤の力学的安定性に関する調査試験研究
- ②坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究
- ③岩盤中の物質移動に関する調査試験研究
- ④月吉断層に関する調査試験研究

これらの調査試験研究計画において得られた成果は、地層処分研究開発の基盤として反映されるほか、地下深部についての学術的研究や地下空間利用などにも寄与するものである。たとえば、ウランを含む岩石を採取・利用して行われる研究は、ウラン鉍床の成因や形成プロセスの解明の一助となる。また、坑道の力学的安定性の評価や掘削工法と岩盤への影響との関係に関する研究成果は、鉍山開発や地下空間利用の技術としても活用されると期待される。

本報告書は、「東濃鉍山における調査試験研究基本計画書」および「東濃鉍山における調査試験研究年度計画書（2001年度）」（サイクル機構，2001a）に基づき、2001年度に実施した各調査試験研究の実施内容および成果を取りまとめたものである。

2 2001年度の調査試験研究の概要

2001年度は、東濃鉱山坑道ならびに鉱山敷地とその周辺部において、地表から深度150m程度までの範囲に分布する堆積岩（瑞浪層群）を対象に、前述の4項目の調査試験研究を実施した（図2.1）。2.1～2.4に、2001年度における本調査試験研究の実施内容および成果の概要を示す。

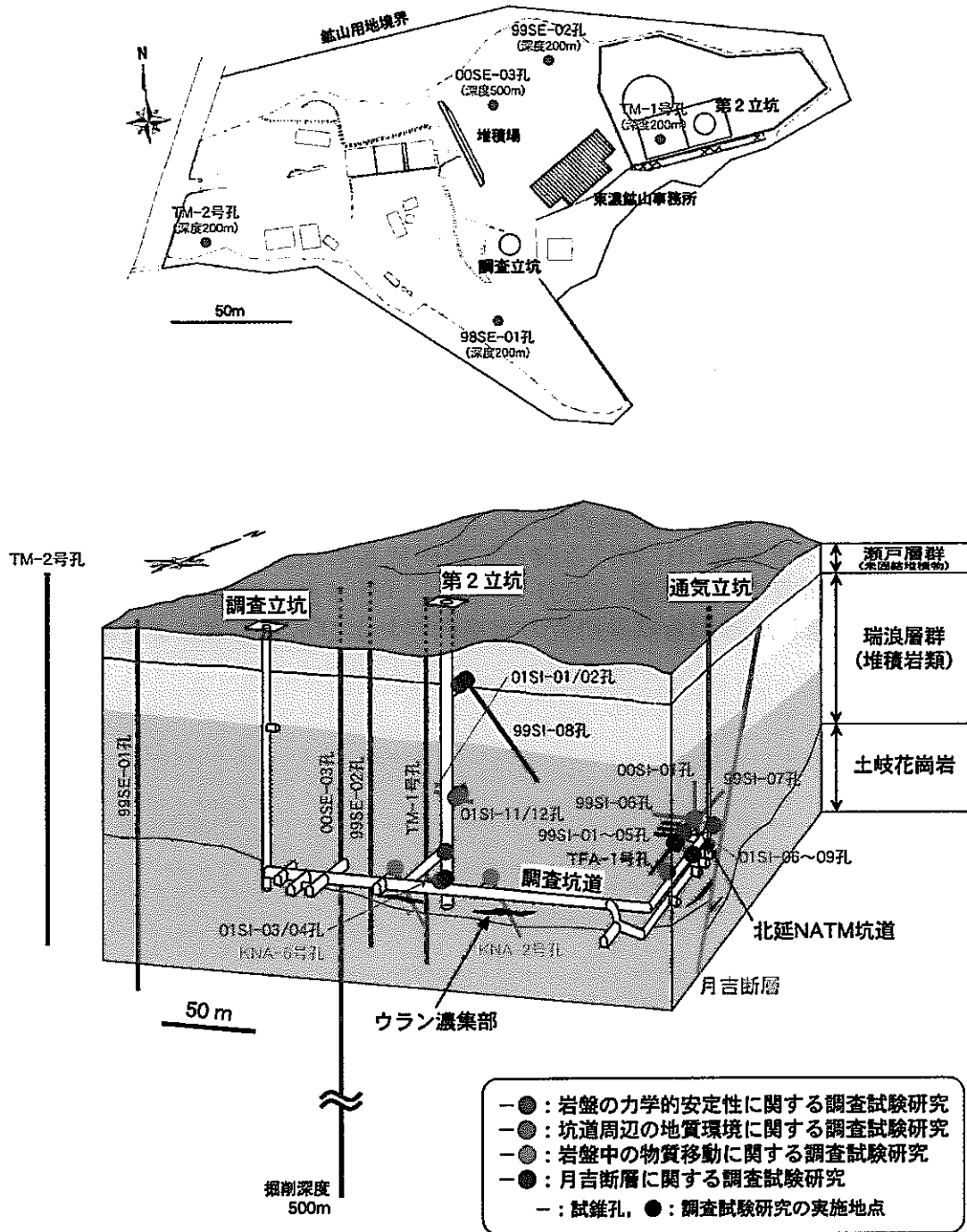


図 2.1 東濃鉱山における調査試験研究の実施領域

2.1 岩盤の力学的安定性に関する調査試験研究

一般に岩盤内の応力状態は不均一性を有することが知られているが、応力状態の不均一性を考慮し、客観的に場の三次元応力分布を評価し得る調査・解析手法は十分には確立されていない。また、坑道掘削によって力学的な塑性領域が生じるような場合における物性変化の程度やその範囲に関する知見も得られておらず、塑性領域内の物性変化という観点での既存の調査・研究事例もほとんどない。このような調査・研究は一般的な三次元地下構造物の設計・施工および空洞の安定性を確保する上で必要不可欠であるとともに、その成果は幌延深地層研究計画などにおける坑道の物理的安定性に関する研究にも反映されるものである。さらに、空洞周辺岩盤の長期的な挙動を定量的に予測可能な解析手法が現存しないため、その手法の開発は掘削影響領域を含む空洞周辺岩盤の長期安定性を評価するために必要である。

2001年度は、場の三次元的応力分布を解析的に推定する手法や堆積岩の長期挙動を表現できる解析手法の開発を目的とした調査試験研究、および双設坑道安定性評価試験の計画策定や予測解析などを実施し、以下の成果を得た。

- ・場の三次元応力分布を解析的に推定する手法について三ヵ年研究計画を策定した。また、応力解析手法などに関する情報収集や解析用データセットの作成を行い、3種類の解析手法を選定した。
- ・北延 NATM 坑道から採取した細粒砂岩のクリープ特性を把握した。また、クリープひずみ速度の温度依存性を把握するとともに、載荷方向に平行に進展する微小割れ目が応力緩和の主要因であることを実験的・解析的に確認した。
- ・東濃鉱山において約 10 年間にわたり取得した長期変形挙動データを取りまとめた結果、坑道周辺岩盤の長期クリープ変形が確認された。
- ・新規坑道の概略設計に基づく予測解析により、坑道離間距離が 2.0m の場合に坑道の安全性が確保されつつ、坑道間に塑性領域が発生する可能性があることが示された。

2.2 坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究

坑道周辺岩盤を対象としたこれまでの調査試験研究により、力学的・水理学的・地球化学的な物性や現象などが個別に把握されてきている。しかしながら、岩盤物性の変化と坑道周辺岩盤中の地下水の水理学的、地球化学的な状態変化との関係は把握されておらず、坑道掘削によって生じると考えられる地質環境の力学－水理－地球化学連成現象やその発生メカニズムなどは十分に解明されていない。坑道周辺における地質環境の特性や状態変化に関する調査試験研究を行うことにより、坑道周辺の地質環境特性に関する総合的な概念モデルの構築が可能になる。また、開発した評価・モデル化手法は、幌延深地層研究計画における坑道掘削を伴う調査・研究ならびに坑道を利用した調査・研究に直接反映される。

2001年度は、坑道周辺岩盤中における三次元的な水理学的・地球化学的な状態の変化領域の把握、および堆積岩中の酸化還元状態に関する定量的情報の取得を目的とした調査試験研究を実施し、以下の成果を得た。

- ・ TDR (Time Domain Reflectometry) 法に基づき不飽和領域における岩盤の含水量計測が可能な装置 (パッカー式プローブ) の現場適用性を確認した。
- ・ 北延 NATM 坑道における長期間隙水圧観測を継続し、坑道周辺岩盤の三次元的な隙水圧分布を概ね把握した。
- ・ 坑道周辺の堆積岩中の鉄成分や微生物分布の深度プロファイルから、坑道壁面から 50cm 程度で酸化還元状態が変化する可能性が示された。

2.3 岩盤中の物質移動に関する調査試験研究

東濃ウラン鉱床を事例研究の場として、実際の地質環境下で起きている現象と場の特性を把握し、定量的データを取得することにより、地質環境が本来有している、物質の移行を遅延させ長期的に保存する性能の評価が可能となると考えられる。また、物質を長期間にわたり保持するために要求される地質環境条件を明らかにすることも可能となると期待される。このような地質環境中における物質移行・遅延に関する情報 (実例) は、地層処分システムの安全評価モデルおよび安全評価結果の信頼性を向上させるために重要である。本調査試験研究においては、地質環境中における物質移行・遅延に関する情報の取得とともに、そのための調査・解析手法を開発する。

2001 年度は、地下水中の微生物が物質移行・遅延に与える影響、および東濃ウラン鉱床周辺の化学的環境の把握を目的とした調査試験研究を実施し、以下の成果を得た。

- ・ 地下水中のトリチウム濃度およびヘリウム同位体比のデータを取得し、地下水の地球化学データセットの拡充を図った。
- ・ 微生物による硫酸還元反応が堆積岩層中の還元環境形成に関与していること、および地下水中の微生物数は (経時) 変動する可能性があることが明らかになった。また、掘削水による微生物汚染のない岩石試料を採取する手法を開発した。
- ・ 地下水/岩石の地球化学データセットを用いた解析的評価により、堆積岩/花崗岩不整合付近にある酸化フロントの移動は極めて遅く、堆積岩は十分な還元緩衝能力を有すること、および堆積岩中の天然ウランの溶解度は、pH、酸化還元電位とともに CO_2 分圧に大きく影響を受けることが示された。

2.4 月吉断層に関する調査試験研究

断層の水理・物質移動における機能や、断層が岩盤の力学的安定性に及ぼす影響などを評価するためには、断層の分布や性状などの地質学的特性ならびに地球化学的特性を評価することが重要である。東濃鉱山における地質学的特徴の一つである月吉断層を事例として詳細な調査試験研究を実施することにより、とくに堆積岩中における、水理・物質移動および岩盤力学の観点からの断層の役割を把握することが可能になると考えられる。また、超深地層研究所計画において実施中の花崗岩中の月吉断層に関する調査・研究と合わせ、異なる岩相における断層の地質学的・地

球化学的特性およびその機能を把握することにより、月吉断層を総合的に評価することができると考えられる。

2001年度は、月吉断層の地質学的性状に関する総合評価を行うとともに、月吉断層の年代測定をとおして、既存の断層活動年代の調査手法についての評価を実施し、以下の成果を得た。

- ・瑞浪層群中の月吉断層の空間分布、幾何学的形状、構造、形成プロセス、活動履歴、水理学的特性や地下水流動に及ぼす影響などに関して、これまでに得られた知見や定量的情報を整理し、総合的に取りまとめた。
- ・月吉断層を事例とした断層活動年代の調査を行い、断層のみならず周囲の地質・地質構造を対象とした地質学的調査と、既存の複数の手法による年代測定との組み合わせによる調査手法の必要性を確認した。

3 2001 年度の調査試験研究の実施内容および成果

2001 年度における本調査試験研究の項目ごとに、その実施内容ならびに成果の詳細を以下に示す。

3.1 岩盤の力学的安定性に関する調査試験研究

3.1.1 実施内容

(1) 応力状態の調査研究

2000 年度までに東濃鉱山用地内に掘削した 5 本の試錐孔 (TM-1、TM-2、98SE-01、99SE-02、00SE-03 : 図 2.1) において実施した初期応力測定結果 (サイクル機構, 2001b) に基づき、任意の領域を対象とした初期応力の三次元分布を解析的に推定するための手法に関する研究を開始した。事例となる領域は、東濃鉱山のほか、サイクル機構がこれまでに初期応力測定を実施してきた正馬様用地および釜石鉱山である。今年度は研究の全体計画の策定や解析手法の選定作業などを実施した。

(2) 長期挙動に関する試験研究

東濃鉱山から採取した岩石試料の一軸クリープ試験を実施し、長期変形挙動観測を実施している北延 NATM 坑道周辺岩盤のクリープ特性を把握した。また、田下凝灰岩の長期クリープ試験および油圧式多連クリープ試験装置の開発を継続するとともに、温度とクリープひずみ速度の相関性を把握するための室内試験を実施した。さらに、岩石中の微小割れ目の進展について、実体顕微鏡下での観察を伴った応力緩和試験ならびに粘弾性均質化解析を行った。一方、現場調査では、北延 NATM 坑道および第 2 立坑における変形挙動ならびに孔壁崩壊現象の長期観測を継続するとともに、東濃鉱山において約 10 年間にわたり取得した長期変形挙動データを取りまとめた。

(3) 双設坑道安定性評価試験

堆積岩中に既存坑道からの離間距離を変えて新規坑道を掘削し、坑道周辺岩盤中に塑性域が発生した際の岩盤物性の変化の程度とその範囲を把握・評価する手法の開発を目的として、2000 年度の予備解析結果ならびに既存情報に基づき、調査項目を選定し試験計画を策定した。また、新規坑道の概略設計に基づき予測解析を実施し、新規坑道掘削時の周辺岩盤における岩盤物性の変化や範囲を評価した。

3.1.2 おもな成果

(1) 応力状態に関する調査研究 (水田, 2002)

3 年間にわたる「三次元応力場の同定手法に関する研究」の全体計画を以下のよう

- ・2001 年度：研究に必要となる既存情報の整理・検討、適当な解析手法の選定、および解析用データセットの作成
- ・2002 年度：前年度に作成したデータセットに基づく解析用モデルの作成、選定した解析手法を用いた三次元応力場の逆解析的な推定、および解析モデル・手法の妥当性評価
- ・2003 年度：前年度に抽出された問題点に基づく解析モデル・手法の高度化、再解析の実施、再解析結果と検証用データとの比較・検討による解析手法の妥当性の最終的な評価、および研究結果の取りまとめ

応力状態の不均一性を考慮し、場の三次元応力分布を定量的に表現できる解析手法は十分に確立されていないものの、岩盤の応力解析については、すでにいくつかの手法が開発されている。したがって、研究を効率的に進めるという観点から、本研究では新たな解析手法の開発を行わず、既存の異なる解析手法を適用し、その適用性を評価する。この基本方針に基づき検討を行い、岩盤の応力解析に一般的に適用されている有限要素法、境界要素法および有限差分法を今後の解析に用いることとした。なお、解析用データセットについては、東濃鉱山のほか、正馬様用地、初期応力データが多く取得されている釜石鉱山についても取りまとめ、2002 年度以降の研究に利用できるように整備した。

(2)長期挙動に関する研究（大久保，2002；市川，2002）

北延 NATM 坑道 01SI-08 孔から採取した細粒砂岩（土岐夾炭累層）を用いたクリープ試験を実施した（高倉ほか，2002）。試験条件は湿潤状態で温度一定、試験期間は 30 日である。クリープ応力は試験装置の載荷能力を考慮し、一軸圧縮強度の 30%と設定した。試験の結果、細粒砂岩は試験開始から 30 日経過した時点でも、ひずみが増加し続ける粘弾性的な特性を有することが示された（図 3.1 (a)）。一方、田下凝灰岩の長期クリープ試験では、試験開始から 5 年が経過した現在でもクリープひずみは増加する傾向にある。細粒砂岩と田下凝灰岩とを比較すると、試験開始から 1,000 秒時点までの細粒砂岩のひずみ量は 5~7 倍程度大きいものの、それ以降の挙動（ひずみ曲線の形状）は類似している（図 3.1 (a)）。なお、両対数グラフ上では、細粒砂岩のクリープひずみ速度は、岩石一般に見られるように時間とともにほぼ直線的に減少する（図 3.1 (b)）。

クリープ特性に及ぼす温度の影響を評価するために、結晶質岩試料を用いた予備的な試験を実施した。その結果、40~80℃の温度領域において、温度の上昇とともにクリープひずみ速度がわずかに上昇することが明らかになった。

稲田花崗岩を用いた応力緩和試験では、載荷応力が大きいほど応力緩和量が大きくなり（図 3.2）、微小割れ目は載荷方向に多く進展することが実体顕微鏡下で観察された（図 3.3）。粘弾性均質化解析においても、載荷方向に平行に伸びる微小割れ目が応力緩和の主要因であることが確認された。

東濃鉱山において約 10 年間にわたり取得した長期変形挙動データを取りまとめた（中間ほか，2002）結果、北延 NATM 坑道および第 2 立坑の周辺岩盤においては、多くの地点で一定の変位増加、すなわちクリープ変形が認められた（図 3.4）。また、孔壁崩壊現象の長期観測では、大孔径試験錐孔において孔壁の崩壊現象が継続的に生じていることが確認された（図 3.5）。

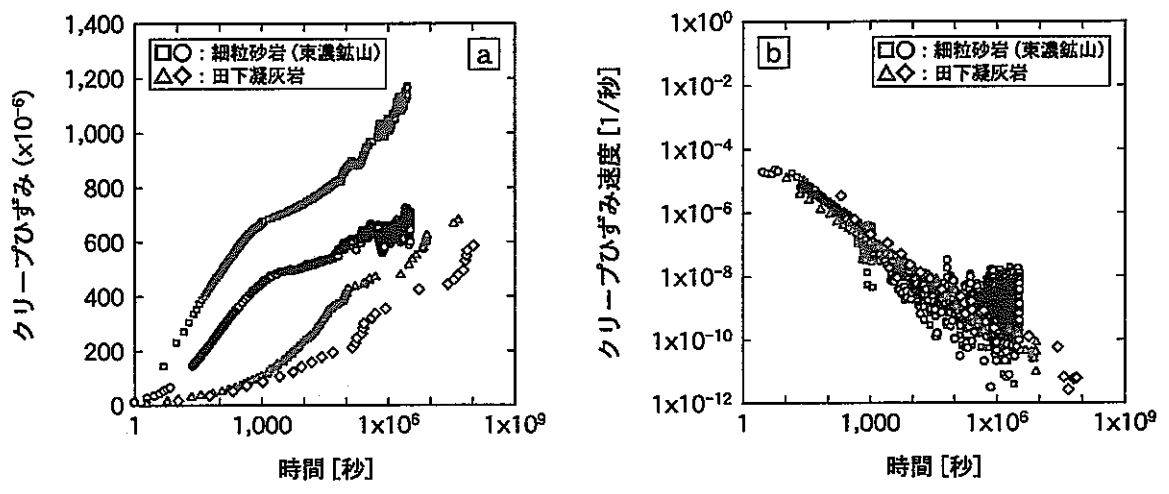


図 3.1 北延 NATM 坑道から採取した細粒砂岩のクリープ特性

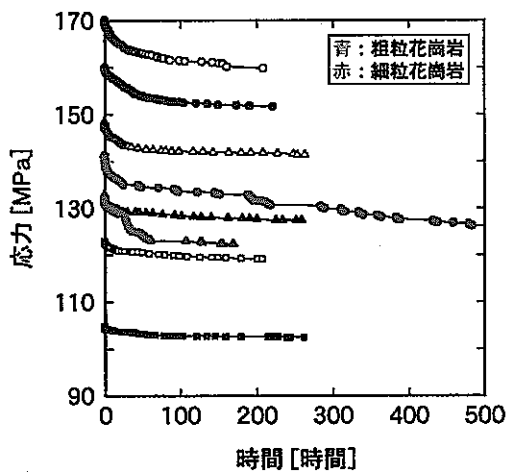


図 3.2 稲田花崗岩を用いた応力緩和試験の結果

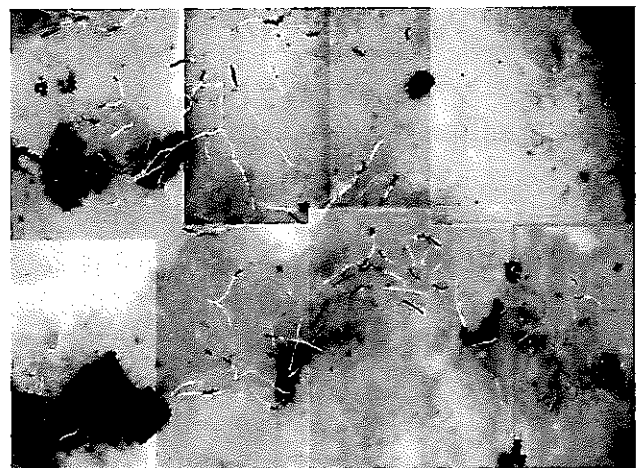


図 3.3 応力緩和試験中の微小割れ目の進展
白色：試験前に分布，有色：試験中に進展

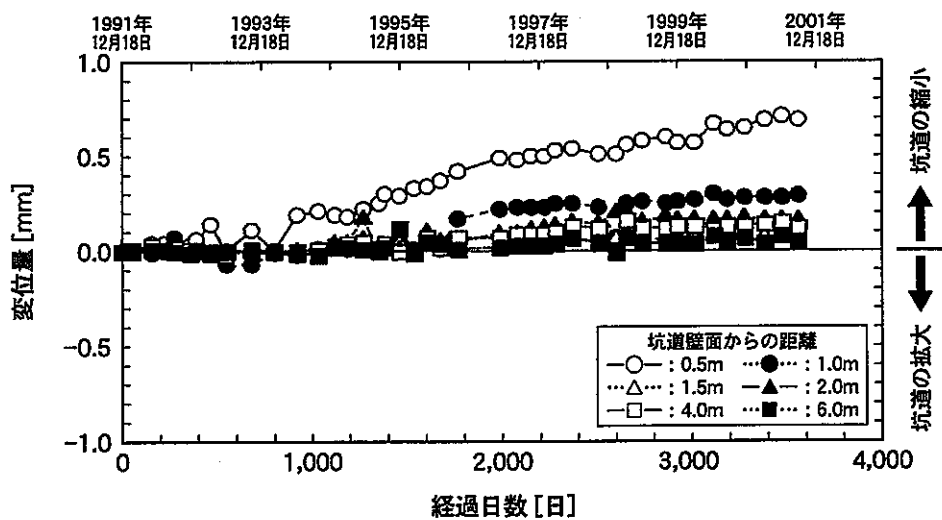


図 3.4 東濃鉱山における長期変形挙動観測結果 (一例)

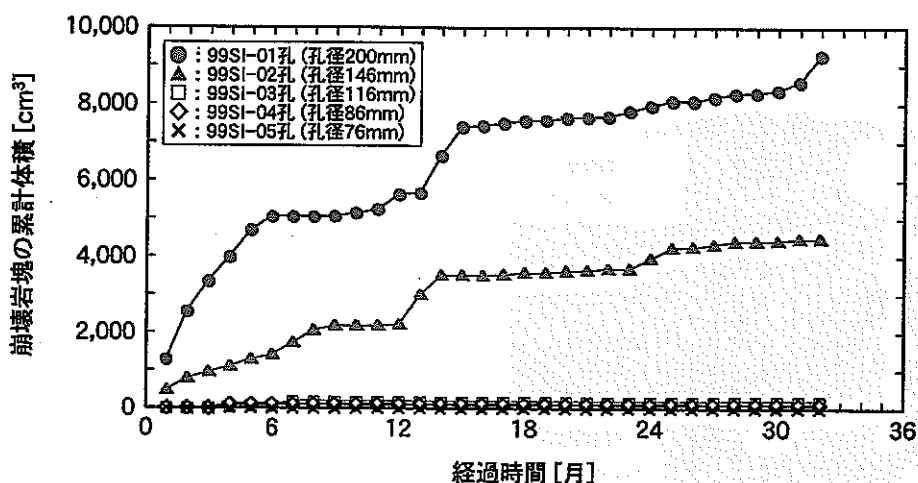


図 3.5 試錐孔内での孔壁崩壊岩塊量の経時変化

(3) 双設坑道安定性評価試験 (山本, 2002)

岩盤の塑性化に関連する国内外の既往の研究事例について調査し、本試験において調査・評価すべき以下の項目を抽出した。

- ・ 試錐孔における計測・試験：岩盤内変位・ひずみ・応力の変化、AE・弾性波速度の変化、透水試験
- ・ 坑道周辺の調査・観察：孔壁の観察、不連続面のスケッチ、トレンチによる直接観察、AEの震源探査、弾性波速度の分布調査

予測解析は図 3.6 に示す解析モデルを用い、二次元有限要素法による逐次掘削解析を実施した。初期応力状態は、土かぶり荷重を載荷し、側圧係数を 1.0 と設定した。また、完全弾塑性およびひずみ軟化の 2 種類の構成式を用い、塑性域の発生条件は、モールクーロンの破壊基準および限界ひずみの 2 種類を適用した。設定した岩盤物性値を表 3.1 に示す。坑道間の塑性域の発生状況を評価するため、計測坑道と新規坑道の離間距離を 4.5m、3.0m、2.5m、2.0m、1.5m と変えて解析を行った。おもな結果は以下のとおりである。

- ・ 坑道離間距離が短くなると、最大鉛直変位、最大支保応力および坑道間の最大せん断ひずみは大きくなる。とくに、坑道離間距離 1.5m の完全弾塑性解析の結果では、塑性域発生条件として設定した限界ひずみ値とほぼ等しいひずみ値を示す。
- ・ 坑道離間距離が 2.5m 以下になると、坑道間の局所安全率が 1.5 以下となる（塑性化する可能性が高い）領域が連続して発生する。坑道離間距離が短くなるとともに、局所安全率が 1.5 以下となる領域が拡大する（図 3.7）。

以上の解析結果を踏まえ、双設坑道安定性評価試験の計画案を策定した。この計画案では、北延 NATM 坑道および計測坑道間に新規坑道を途中で折れ曲がるように掘削し、計測坑道に対して離間距離 3.0m と、坑道の安全性が確保されつつ坑道間に塑性領域が発生する可能性がある離間距離 2.0m の二つの試験区間を設定する試験レイアウトとした（図 3.8）。

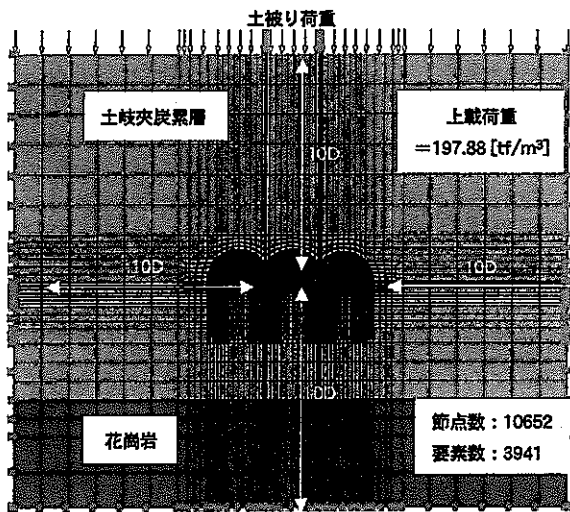


図 3.6 双設坑道安定性解析モデル

表 3.1 解析における岩盤物性値

	弾性係数 [MPa]	ポアソン比 [-]	単位体積重量 [t/m³]
土岐夾炭累層	1,900	0.30	1.94
花崗岩	26,000	0.38	2.60
	粘着力 [MPa]	内部摩擦角 [°]	引張強度 [MPa]
土岐夾炭累層	1.86	27	0.78
花崗岩	1.96	45	19.6

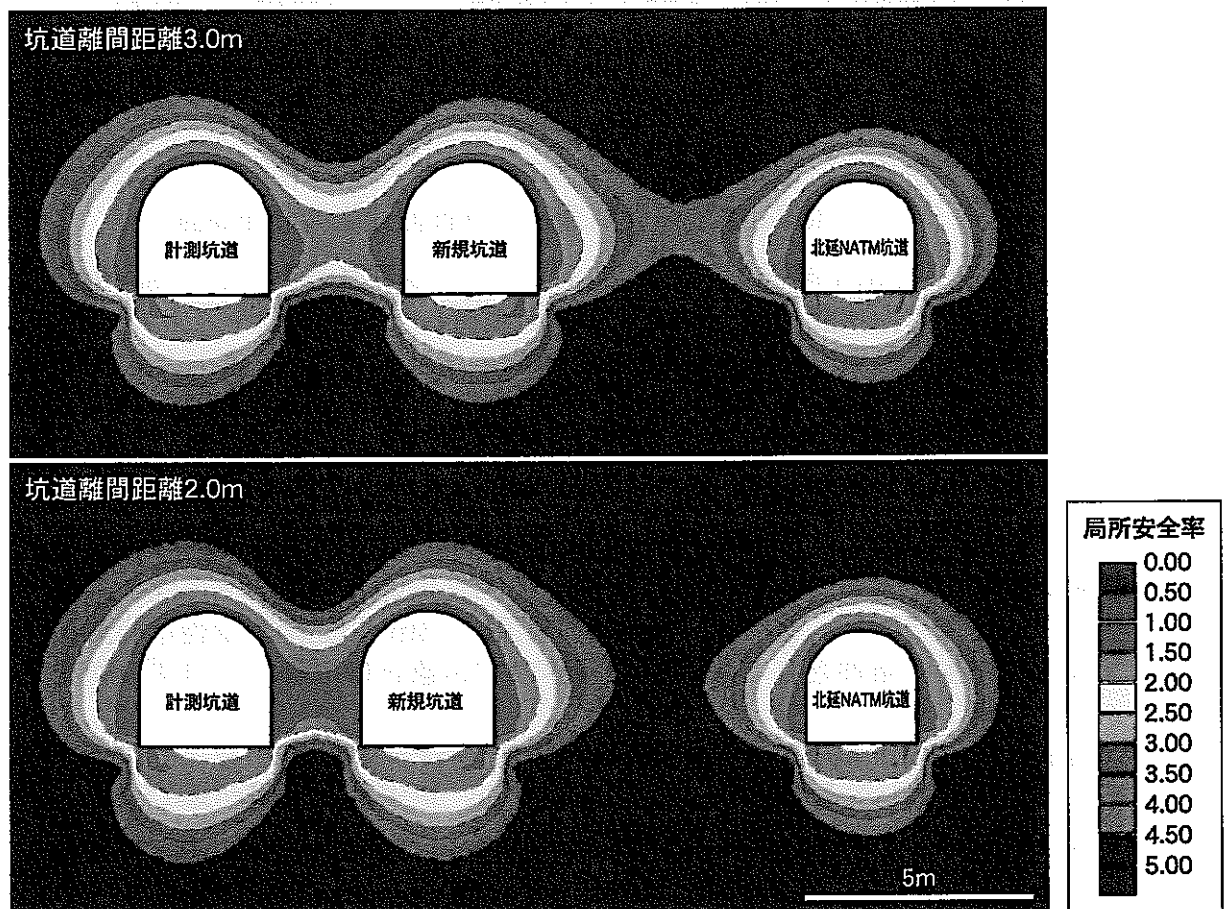


図 3.7 双設坑道安定性解析による坑道周辺の局所安全率分布

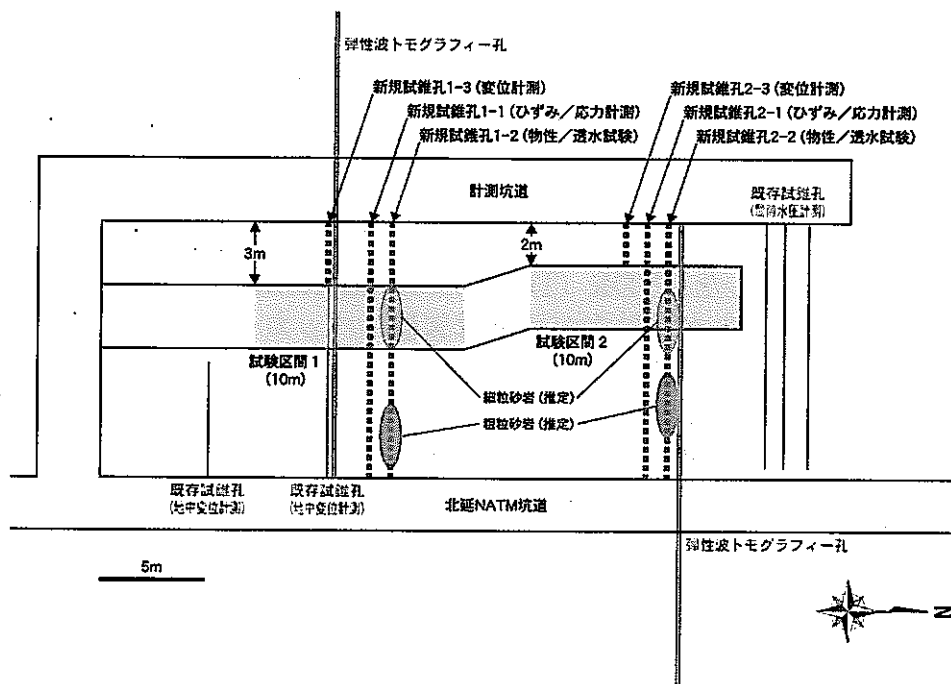


図 3.8 双設坑道安定性評価試験の坑道レイアウト案

3.1.3 今後の予定

(1) 応力状態に関する調査研究

2001 年度に作成した解析用データセットと選定した解析手法を用い、逆解析的に三次元応力場を推定する。また、解析対象領域の三次元応力場に及ぼす地質構造の影響を評価するとともに、地質構造を考慮した三次元応力場の同定手法について検討し、解析モデル・手法の妥当性を評価する。

(2) 長期挙動に関する研究

田下凝灰岩の長期クリープ試験を継続し、長期挙動に関する基礎情報を蓄積するとともに、花崗岩などへの適用を目的とした油圧式多連クリープ試験装置の適用試験を継続する。また、北延 NATM 坑道周辺から採取した岩石試料に対してコンプライアンス可変型構成式のパラメータを決定するとともに、その構成式を組み込んだ二次元粘弾性モデルによる、北延 NATM 坑道を対象としたクリープ変形解析を実施する。その解析結果と長期観測結果との比較により、構成式の適用性について検討する。さらに、岩盤の長期変形挙動に関する試験・解析手法の開発、ならびに北延 NATM 坑道および第 2 立坑における変形挙動の長期観測を継続する。

孔壁崩壊現象については、小孔径試錐孔のオーバーコアリングおよび孔径検層などを実施し、大孔径試錐孔で認められた破壊現象の支配要因（孔径や岩盤の不均質性）を把握する。

(3) 双設坑道安定性評価試験

2003 年度の試験開始に向け、詳細な実施計画の策定などの準備作業を行う。

3.2 坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究

3.2.1 実施内容

(1)坑道周辺水理特性調査

①不飽和計測手法に関する研究

2000年度までに開発した、TDR (Time Domain Reflectometry) 法に基づき不飽和領域における岩盤の含水量計測が可能な装置 (パッカー式プローブ: 導電性テープを圧着式パッカーに接着したもので、パッカーを拡張し岩盤に導電性テープを密着させることにより、電磁波速度の測定を行うことができる装置; 前村・得丸, 2001) の現場適用試験を第2立坑第2計測坑道において実施した。

②長期間隙水圧観測

北延 NATM 坑道に掘削した水平試錐孔 (99SI-06 および 99SI-07 孔) および鉛直上向きの試錐孔 (00SI-01 孔) において、多点式パッカーシステムを用いた計測システムによる間隙水圧観測を継続した。

(2)坑道周辺地球化学特性調査

第2立坑第2計測坑道および下盤連絡坑道において掘削した試錐孔 (01SI-01~04 孔) から岩芯試料を採取し、酸化還元状態の指標となる鉄 (とくに $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$) などを含む主要化学成分の含有量、および酸化還元条件の変化を反映すると考えられる微生物 (好気性菌/嫌気性菌) の生息数について、坑道壁面からの深度プロファイルを取得した (一部については2002年度に継続)。具体的には、坑道壁面から約2mまでの岩石試料を採取し、10~50cm ごとに分析を行った。

3.2.2 おもな成果

(1)坑道周辺水理特性調査

①不飽和計測手法に関する研究 (細野・前村, 2002)

パッカー式プローブの現場適用試験の結果、その構造に起因する問題点 (耐久性や修理に長時間を要するなど)、および測定における問題点 (得られる電磁波波形が不鮮明である) が抽出された。このため、パッカー式プローブを改良するとともに、鮮明な電磁波波形を得るために緩衝材と電極の材質や構造について検討し、以下の知見を得た。

- ・2000年度に製作したパッカー式プローブが有する耐久性に関する構造上の問題を、パッカー式プローブを孔壁との摩擦に強い構造に改良する (緩衝材の両端を金属で固定し、電極の材質を銅から真鍮に変更するとともに厚くする) ことで解決した。また、改良後のパッカー式プローブ (図 3.9) の現場適用性を確認した。
- ・現場における修理時間を短縮するために、部品交換が容易な構造 (電極、緩衝材、ケーブルを一体化し、ゴムチューブから独立) に改良した (図 3.9)。その結果、鮮明な電磁波波形を得るためのプローブの仕様の検討が容易となった。

- ・パッカー式プローブに用いる緩衝材と電極の組み合わせが異なる 16 種類のプローブを用いて現場適用試験を実施し、緩衝材や電極のコーティングが波形改善に効果があることが確認された

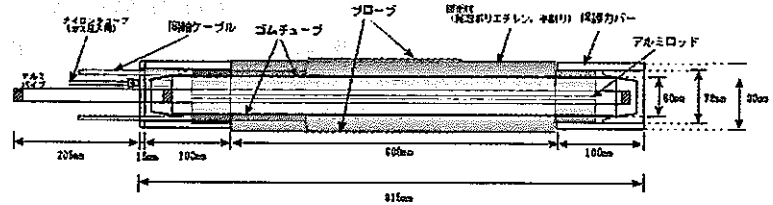
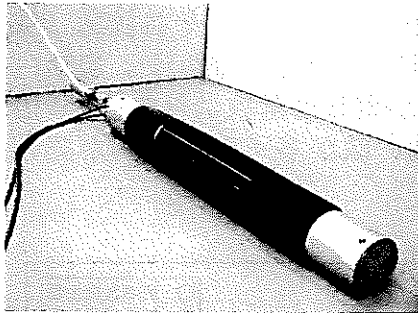
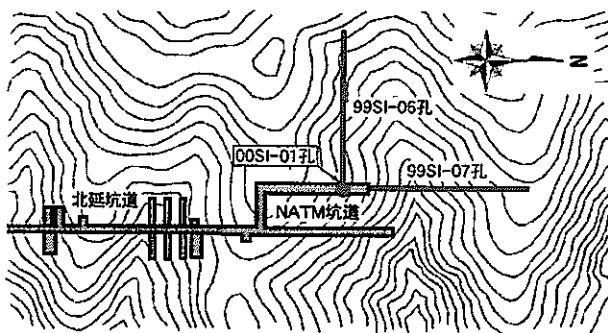


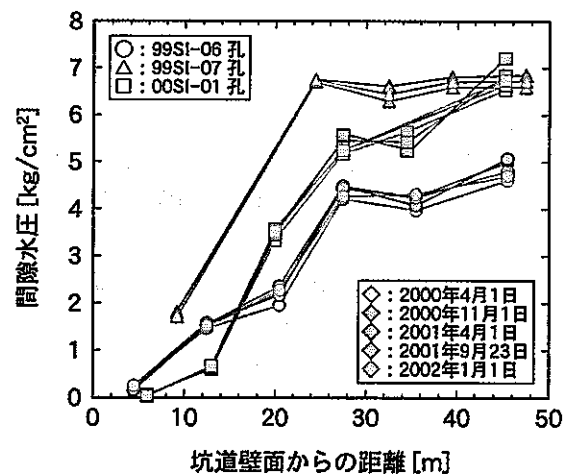
図 3.9 開発・改良したパッカー式プローブ

②長期間隙水圧観測

北延 NATM 坑道の 3 本の試錐孔 (図 3.10 (a)) において間隙水圧観測を継続した結果、堆積岩中の間隙水圧は坑道壁面から離れるにしたがって高くなる傾向を示した (図 3.10 (b))。ただし、水平試錐孔 (99SI-06 および 99SI-07 孔) においては、坑道壁面から約 25m 以上離れると堆積岩中の間隙水圧ほぼ一定の値となる。この結果から、坑道壁面から少なくとも 25m までの堆積岩中では、坑道に向かう大きな地下水流動場が形成されていると推定される。また、各観測区間の間隙水圧には多少の経時変動が認められるものの、その変動は一定の範囲内に収まっていることから、坑道周辺の間隙水圧はほぼ定常状態に達していると判断される。



(a)試錐孔レイアウト



(b)間隙水圧の経時変化

図 3.10 北延 NATM 坑道における間隙水圧の長期観測

(2)坑道周辺地球化学特性調査

堆積岩中の鉄含有量および $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比、嫌気性菌数および好気性菌数の坑道壁面からの深度プロファイルをそれぞれ図 3.11 (a)(b)に示す。坑道壁面から深度プロファイルを取得した約 2m までの堆積岩中では、鉄含有量には大きな変化が認められないものの、坑道壁面から約 50cm までの堆積岩中の $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比は、それ以深（堆積岩内部）に比べて明らかに低い（全鉄含有量に対する Fe^{3+} の割合が高い）。また、坑道壁面から約 50cm までの堆積岩中では、好気性菌数が嫌気性菌数よりも約 20 倍も多く、それ以深では反対に、好気性菌よりも嫌気性菌の数が多くなる傾向が認められる。

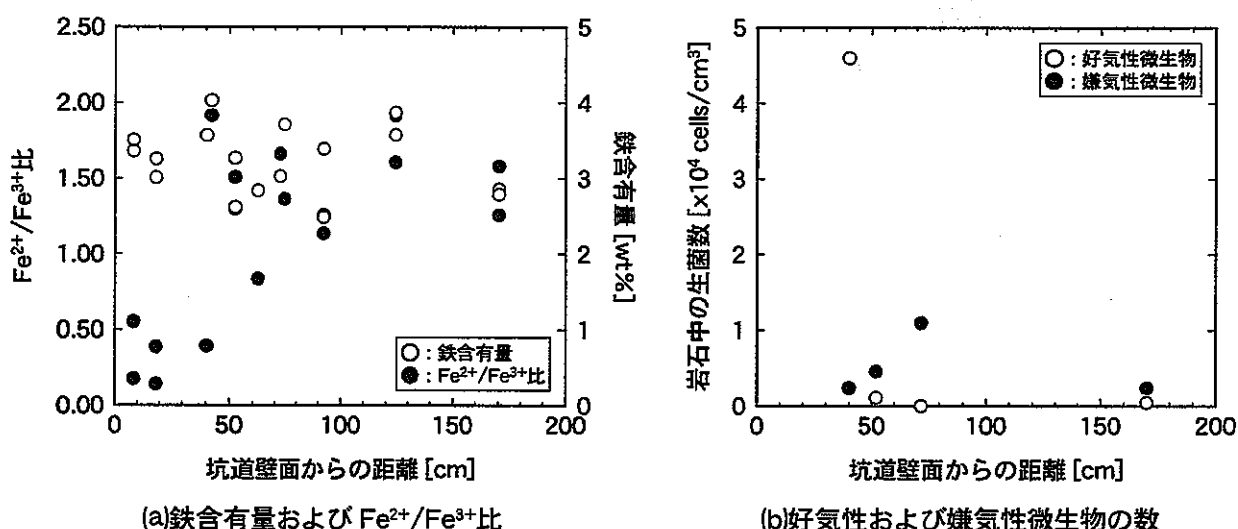


図 3.11 坑道壁面からの鉄成分および微生物分布の深度プロファイル

2000 年度の本調査では、坑道壁面から 10cm までの堆積岩を対象に鉄およびウラン系列核種についての深度プロファイルを取得し、坑道壁面から数 cm の範囲までは酸化還元状態の変化が生じている可能性を示す結果を得ている（サイクル機構, 2001b）。調査の実施地点は異なるものの、この調査結果における鉄含有量および $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比は、今年度取得した坑道壁面から約 50cm までの堆積岩中の値（図 3.11 (a)）とほぼ一致する。

以上の調査結果を総合的に解釈すると、東濃鉱山坑道周辺の堆積岩中では、酸化還元状態の変化は坑道壁面から約 50cm の範囲まで及んでおり、さらに坑道のごく近傍（坑道壁面から数 cm）では、その変化の程度が大きくなることが推測される。

3.2.3 今後の予定

(1)坑道周辺水理特性調査

①不飽和計測手法に関する研究

現場で測定した比誘電率と岩盤の含水量との相関が不明確であるため、室内試験をとおしてその相関を把握する。具体的には、含水量を調整した多種の岩石試料を用い、パッカー式プローブによる比誘電率と定量的な含水量測定を実施する。

②長期間隙水圧観測

北延 NATM 坑道における間隙水圧観測を継続し、長期的な水圧変動を把握する。また、既存の地質学的・水理学的データと合わせ、北延 NATM 坑道周辺における水理学的状態変化についての検討を行う。

(2)坑道周辺地球化学特性調査

第2立坑第2計測坑道ならびに下盤連絡坑道から採取した堆積岩試料の化学分析を継続し、酸化還元状態の指標となる元素（とくに鉄やマンガン）の価数や微生物の分布について、坑道壁面からの深度プロファイルを取得する。また、北延 NATM 坑道における、地下水の物理化学パラメータの長期観測を継続する。さらに、取得した情報に基づき、坑道周辺岩盤中における地球化学的状态の変化に関する概念モデルの構築について、予察的な検討を行う。

3.3 岩盤中の物質移動に関する調査試験研究

3.3.1 実施内容

(1)物質移行データベースの作成

岩盤中の物質移行・遅延を解析・評価する際に必要となるデータベースの高度化を目的に、調査坑道内より掘削した試錐孔（KNA-6 号孔）における地下水の水質連続モニタリング、およびウランを含む堆積岩試料の化学分析を継続し、地下水／岩石の地球化学データセットの拡充を図った。また、KNA-6 号孔の地下水（堆積岩／花崗岩不整合および基盤花崗岩）中のトリチウム濃度およびヘリウム同位体比に関するデータを取得し、地下水の流動状況や起源に関する考察を行った。

(2)地下水中の微生物に関する研究

地下水中の微生物が物質移行・遅延に与える影響を把握するための研究の一環として、品質の保証されたデータを取得するための技術開発を行うとともに、地下微生物生態系に関する基礎情報を取得した。

技術開発では、掘削水による微生物汚染のない岩石試料を採取する手法の開発・整備を目的に、微生物とほぼ同じサイズ（ $0.2\mu\text{m}$ ）の蛍光ビーズを掘削水に加え、その掘削水を用いて採取した岩芯（00SE-03 孔）について、岩芯内部の蛍光ビーズの分布を調査した。また、地下微生物生態系については、KNA-6 号孔の地下水（堆積岩／花崗岩不整合および基盤花崗岩）中の微生物数（全菌数および ATP（アデノシン三リン酸）濃度）や硫酸還元菌の活性度に関する調査などを実施した。

(3)東濃ウラン鉱床周辺の化学的環境に関する研究

これまでに整備した地下水／岩石の地球化学データセットを用い、東濃鉱山周辺に分布する堆積岩および花崗岩中の地球化学的・水理学的環境を考慮し、基盤花崗岩から堆積岩（土岐夾炭累層下部層）への酸化フロントの移動速度ならびに堆積岩が有する還元緩衝能力を化学量論的に見積もった。

また、還元状態にある堆積岩中における天然ウランの存在形態（化学種）とその溶解度を支配する要因について、実測および想定される化学的条件をインプットパラメータとした感度解析により評価した。

3.3.2 おもな成果

(1)物質移行データベースの作成

地下水の水質および岩石の化学組成などのデータを取得し、地球化学データセットの拡充を図った。

KNA-6 号孔の地下水中のトリチウム濃度は、これまでの測定結果と同様に定量下限値（ 0.3TU ）以下であり、その変動は認められていない。この結果から、水質連続モニタリングを開始した 1996 年度から現在までに、地下水中のトリチウム濃度に変化をもたらすような地下水流動状況の変化は生じていないと考えられる。また、地下水中のヘリウム同位体比（ $^3\text{He}/^4\text{He}$ ）を測定した結果、堆積岩および花崗岩中

の地下水では、大気起源のヘリウム同位体に、 ^{238}U などを親核種とする壊変系列核種の α 壊変起源の ^4He が付加していることが明らかになった。この結果は、東濃地域における地下水中の溶存希ガスを対象とした調査結果（森川，2001）と一致しており、東濃鉱山周辺の堆積岩および花崗岩中の地下水が天水起源であるという、これまでの調査・研究結果を裏付けるものである。

(2)地下水中の微生物に関する研究

微生物と同じサイズ（ $0.2\mu\text{m}$ ）の蛍光ビーズを加えた掘削水を用いて採取した岩芯（堆積岩）について、岩芯内部の蛍光ビーズの分布を調査した結果、礫岩相などを除き、岩芯中心部では蛍光ビーズの分布が認められなかった。したがって、岩相により異なるものの、掘削水による微生物汚染のない岩芯試料が採取できることを確認した。また、無酸素かつ無菌環境で、上記の岩芯試料から汚染のない部分を取り出すためのグローブボックスを開発した。

KNA-6号孔における地下水中の微生物数（全菌数およびATP濃度）について、2001年7月～2002年3月の9ヵ月間にわたり観測を行った結果、その測定値に大きな変動が認められた（図3.12）。これまでに、その変動の要因は特定できていないことから、今後も長期観測を継続するとともに、測定値の変動の要因についての調査を行う。

地下水中の微生物に関しては、深度に関係なく、硝酸・亜硝酸還元菌、鉄関連菌、硫酸還元菌（図3.13 (a)）などが存在することが確認された。

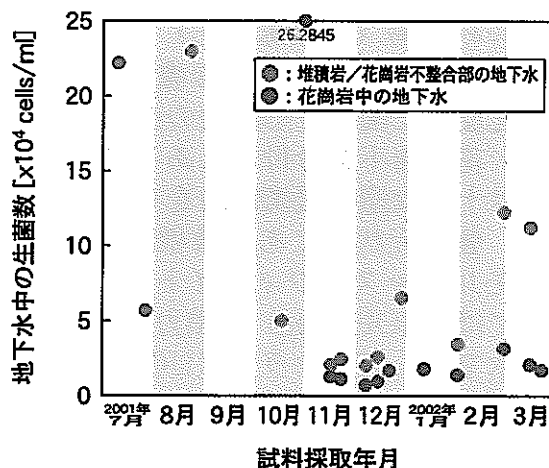


図 3.12 KNA-6号孔地下水中の微生物数の長期観測結果

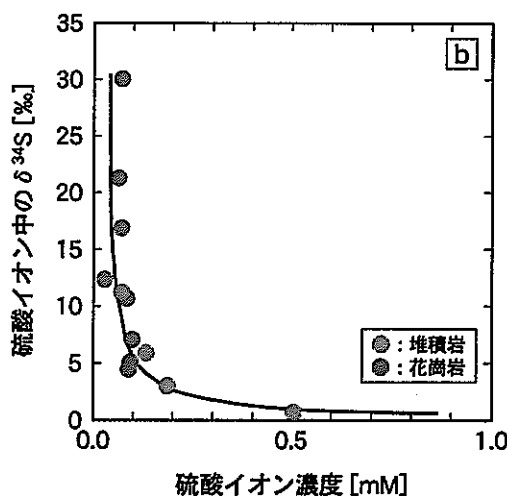
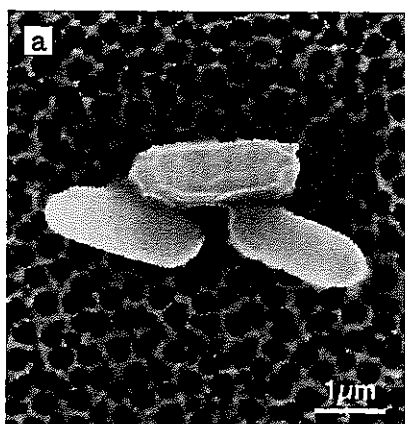


図 3.13 地下深部に生息する硫酸還元菌とその硫酸還元活性

また、地下水中の硫酸イオンの硫黄同位体比 ($\delta^{34}\text{S}$) を測定した結果、硫酸イオン濃度と硫黄同位体比には逆相関 (図 3.13 (b)) があり、観察された硫酸還元菌が実際に硫酸還元活性を持ち、硫酸イオンと栄養となる有機物の供給により硫酸還元反応が生じていることが確認された。この反応は、無機化学的な水-鉱物反応に比べて極めて早く安定状態に達し、酸化還元平衡電位は弱アルカリ性の条件下で-300~-400mV になる。堆積岩層下部の地下水の酸化還元電位 (実測値) は-300~-360mV であり、微生物による硫酸還元反応の平衡電位と一致する。したがって、微生物による硫酸還元反応は、堆積岩層下部の還元環境形成に関与する主要な反応の一つである可能性が考えられる。

(3) 東濃ウラン鉱床周辺の化学的環境に関する研究 (JNC, 2002)

東濃鉱山周辺では、基盤をなす土岐花崗岩の風化部および浅部の地下水は、その直上の堆積岩 (土岐夾炭累層) に比べて酸化状態にあり、基盤花崗岩から堆積岩へ向かう地下水の流動が推定されている。また、地下水中の酸化還元状態は鉄や硫黄を含む鉱物 (黄鉄鉱など) の溶解反応によって支配されている。このような地球化学的・水理学的環境を考慮し、現在の地下水中の溶存酸素濃度、地下水流速および還元反応に関与する鉱物の存在量を主要なパラメータとして解析を行った結果、堆積岩/花崗岩不整合付近にある酸化フロントの移動は極めて遅く ($7 \times 10^{-57} \text{m/年}$)、堆積岩は十分な還元緩衝能力を有することが確認された (Arthur et al., 2002)。

また、強還元状態にある堆積岩層中の天然ウランは、固相としては $\text{UO}_2(\text{am})$ またはアモルファスコフィナイト ($\text{U}(\text{SiO}_2)_{1-x}(\text{OH})_{4x}(\text{am})$) が、地下水中の溶存化学種としては $\text{U}(\text{OH})_4(\text{aq})$ が熱力学的に安定である (図 3.14)。さらに、堆積岩層中の地下水では、天然ウラン ($\text{UO}_2(\text{am})$) の溶解度は、pH および酸化還元電位 (Eh) とともに CO_2 分圧 (P_{CO_2}) に大きく影響を受けることが示された (図 3.15)。

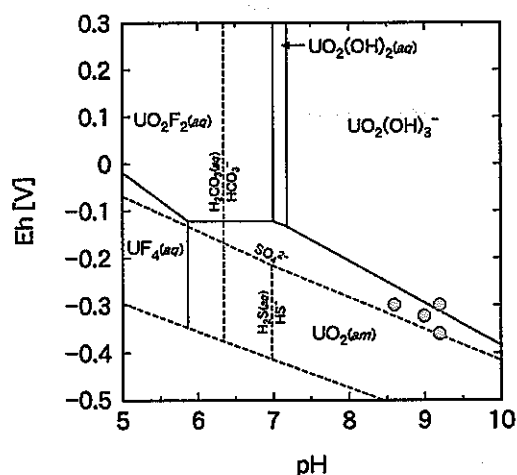


図 3.14 ウラン鉱物/化学種の Eh-pH 安定領域と堆積岩中の地下水組成 (25°C, 1 気圧)

$$a_{\text{U species}} = 10^{-8.7}, \quad a_{\text{S species}} = 10^{-5}, \\ a_{\text{SiO}_2(\text{aq})} = 10^{-3.5}, \quad P_{\text{CO}_2} = 10^{-5} \text{ bar}$$

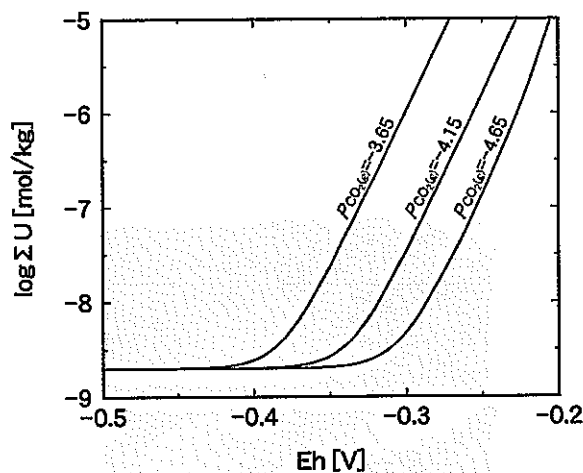


図 3.15 $\text{UO}_2(\text{am})$ の溶解度と酸化還元電位および CO_2 分圧との関係 (pH=9, 25°C, 1 気圧)

3.3.3 今後の予定

2002年度以降、本調査試験研究を3.4の「月吉断層に関する調査試験研究」と統合し、1～10万年といった長期的な時間スケールで生じる地質学的事象や地質環境の変化に主眼を置いた「ナチュラルアナログ研究」の一環として実施する計画である。具体的には、「東濃ウラン鉱床の長期保存に関わる地質環境」と「ウラン系列核種の移行・遅延に及ぼす影響要因」の評価、および「体系的なナチュラルアナログ研究手法の整備」の観点から、これまでの調査試験研究の成果ならびに今後取り組むべき課題を考慮し、調査・研究を展開する。

とくに、岩盤中の物質移動に関する調査・研究としては、物質移行データベースの拡充を図るとともに、地球化学的環境の長期的変遷についての解析、ウラン系列核種の移行・遅延挙動やウランの存在形態に関する定量的情報の取得、微生物による化学的緩衝能力の調査などを行う必要がある。

3.4 月吉断層に関する調査試験研究

3.4.1 実施内容

(1)断層活動年代調査

月吉断層が確認されている MIU-4 号孔（超深地層研究所計画において正馬様用地に掘削）の岩芯試料を利用し、既存の年代測定技術（FT（フィッシュトラック）法および K-Ar 法）を適用することにより、月吉断層の活動年代の推定を試みた。また、本調査をとおして、既存の年代測定技術を適用した断層活動年代調査における今後の課題や有効な手法について考察した。なお、本調査は、超深地層研究所計画の地質・地質構造に関する調査研究と連携して実施した。

(2)月吉断層の地質学的性状に関する総合評価

これまでの月吉断層に関する調査試験研究の成果を構造地質学的、鉱物学的、地球化学的観点から整理し評価するとともに、以下の項目に関する月吉断層の地質学的性状について総合的な取りまとめを行った。

- ・月吉断層および断層に付随する破碎帯の空間分布および幾何学的形状
- ・月吉断層および断層に付随する破碎帯の活動履歴
- ・月吉断層および断層に付随する破碎帯が地下水流動に及ぼす影響

3.4.2 おもな成果

(1)断層活動年代調査

これまでの本調査試験研究および超深地層研究所計画における月吉断層に関する調査・研究（サイクル機構, 2001b, 2001c）から、土岐花崗岩中の月吉断層は瑞浪層群中に比べて、その規模が大きいものの、活動履歴は基本的に同一の特徴を示すことが明らかになっている。この規模の相違は、①花崗岩と堆積岩の物性が異なること、あるいは②瑞浪層群の堆積以前にも断層活動が生じていた（ただし、その形跡は新第三紀中新世以降の主要な断層活動により、現在は認められない）ことに起因する可能性が考えられる。本調査では、②の可能性を検討するために、土岐花崗岩中の月吉断層を対象に年代測定を実施した。年代測定は、MIU-4 号孔の岩芯から、ジルコンとアパタイト、および変質鉍物脈の近傍からセリサイトを抽出し、それぞれ FT 法および K-Ar 法により実施した。

月吉断層中のジルコンおよびアパタイトの FT 年代は、それぞれ約 6,300 万年前および約 3,800 万年前を示し、土岐花崗岩マトリクスの FT 年代とほぼ一致した（図 3.16）。また、変質鉍物脈の近傍から採取したセリサイトの K-Ar 年代は約 3,800 万年前を示した。この変質鉍物脈は月吉断層に付随する小規模な断層によって切られており、その形成は明らかに断層活動よりも早い。したがって、月吉断層が新第三紀中新世以降の主要な断層活動よりも早期に活動していた場合、その開始時期は約 3,800 万年前以降に限定されることとなる。

一方、月吉断層の主要な断層活動時には 200℃を超える熱水の循環が推定されている（サイクル機構, 2001b）ものの、その活動による断層中のジルコンおよびア

パタイトの FT 年代値に若返りは認められない (図 3.16)。一般に、ジルコンやアパタイトの FT 年代値が若返るためには、最低 100 万年間に及ぶ加熱 (ジルコンでは 200~300°C 以上、アパタイトでは 110°C 以上) が必要である (Gallagher et al., 1998) ことから、月吉断層の主要な断層活動の期間は比較的短かった可能性が考えられる。

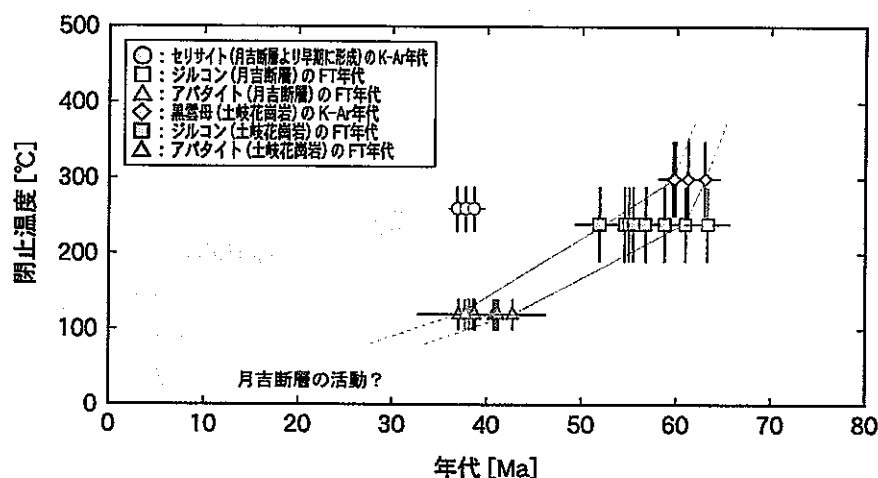


図 3.16 月吉断層のフィッシュトラック年代測定結果

土岐花崗岩中の月吉断層には、年代測定に有効な二次鉱物が少なく、断層活動による初生鉱物の年代値の若返りも認められないことから、その活動年代の測定には困難な点が多い。この事例は、断層のみを対象とした年代測定・調査を行った場合、必ずしもその活動年代を特定できるとは限らないことを示している。したがって、今後このような調査においては、断層のみならず周囲の地質・地質構造 (たとえば、層序、鉱物脈や変質鉱物の産状) を対象とした地質学的調査と、既存の複数の手法による年代測定とを組み合わせることにより、断層の活動年代を絞り込むことが必要と考えられる。

(2)月吉断層の地質学的性状に関する総合評価 (Gilliespie, et al., 2000 ; Milodowski, et al., 2001)

①月吉断層および断層に付随する破碎帯の空間分布および幾何学的形状

これまでの調査結果から、瑞浪層群中の月吉断層は、幅数十 cm~数 m の断層主要部と幅数 m~十数 m の断層に付随する破碎帯から構成されることが明らかとなった。断層主要部と断層に付随する破碎帯の層厚は、瑞浪層群の層準とは関係なく変化し、断層に付随する破碎帯の割れ目密度は、断層主要部に近くなるほど増加することから、断層破碎帯は均一な内部構造を有していないと考えられる (サイクル機構, 2001b)。また、TH-1/2/3 号孔、TM-2 号孔、99SI-08 孔の岩芯観察の結果から、東濃鉱山周辺の月吉断層は、平行な 2 条の断層からなることが確認された。各試錐孔における断層主要部の幅や断層岩に認められる変形作用の程度から、深度 90m 以浅では 2 条ある断層のうち上位の断層が、深度 150m 以深では下位の断層が主要な断層面を形成していると考えられる (図 3.17)。

以上の知見を総合すると、東濃鉱山周辺では、瑞浪層群中の月吉断層は少なくとも2条の断層からなり、層厚が三次元的に変化する断層主要部とそれに付随する破碎帯から構成され、湾曲しながら連続していると推定される。

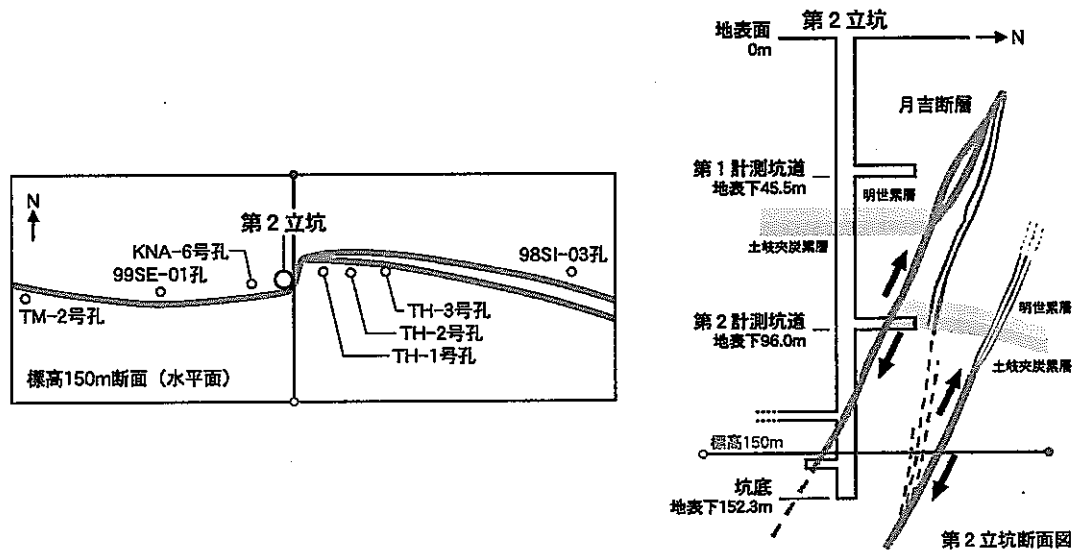


図 3.17 第2立坑付近における月吉断層の分布と幾何学的形状

②月吉断層および断層に付随する破碎帯の活動履歴

これまでの調査結果から、瑞浪層群中の月吉断層は、数十 m 規模の変位を有する逆断層系の变形作用と、それに引き続く数 m~数十 cm 規模の変位を有する正断層系の变形作用（再動）の2段階からなる活動履歴を有することが明らかになった。逆断層系の变形作用は、堆積岩の層準などに関係なく全域的に認められるものの、正断層系の变形作用は2条あると推定される断層のうち、上位にある断層の、とくに間隙水圧の上昇により破碎された箇所部分的に観察される。

月吉断層に付随する破碎帯に認められる地質構造のほとんどは、逆断層系の变形作用により形成されており、このような变形運動が作用した断層岩には変質鉱物としてイライトが同定される。一方、正断層系の变形作用が確認される箇所では、逆断層系の变形作用により形成された割れ目の再動に伴い、方解石や沸石類による割れ目の充填や初生鉱物の置換などが認められる。したがって、逆断層系の断層活動時には 200℃を超える熱水が断層内を循環し、正断層系の再動時にはその温度が 100℃以下にまで降下していたと考えられる。また、このような複数の段階を有する断層活動は、断層周辺部において局所的な再動や二次割れ目を生じさせており、結果的に月吉断層とそれに付随する破碎帯の幾何学的形状や空間分布を断層活動ごとに変化させていると推定される。

③月吉断層および断層に付随する破碎帯が地下水流動に及ぼす影響

現在の水みちを示す自形方解石の分布は、月吉断層に付随する破碎帯においてのみ観察され、断層主要部ではほとんど観察されない。また、過去の水みちを示していると考えられる他形結晶の方解石脈の分布についても同様な傾向を示すことから、月吉断層は現在に至るまで、断層破碎帯が主要な水みちとして機能してきていると推定される。

瑞浪層群中の月吉断層破碎帯に産する自形方解石のストロンチウム同位体比の分析結果を、花崗岩中の月吉断層破碎帯に産する自形方解石、堆積岩および花崗岩のマトリクスの値と合わせて図 3.18 に示す。なお、花崗岩中の月吉断層破碎帯の自形方解石および花崗岩マトリクスの試料は、超深地層研究所計画において正馬様用地に掘削された MIU-3 号孔より採取した。

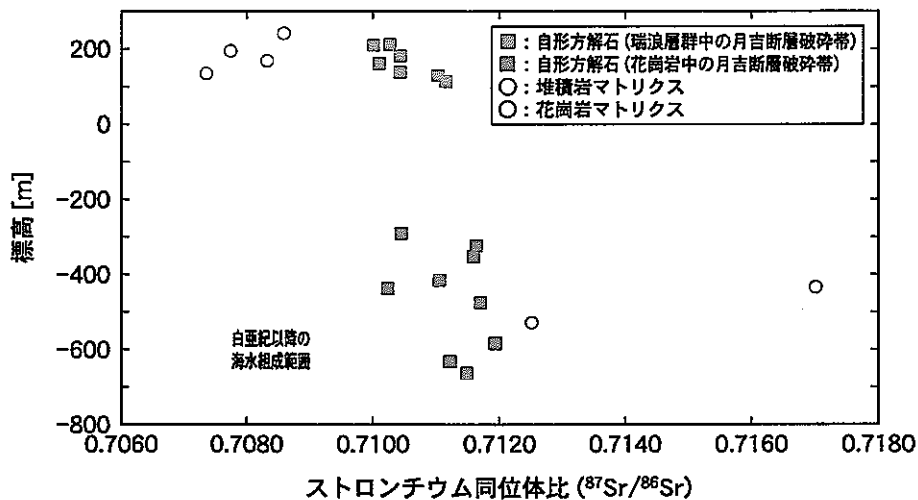


図 3.18 月吉断層破碎帯中の自形方解石のストロンチウム同位体比

瑞浪層群中の月吉断層破碎帯に産する自形方解石の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は 0.7100～0.7110 であり、堆積岩マトリクスの 0.7077～0.7086 よりも高いが、花崗岩中の月吉断層に付随する破碎帯中に産する自形方解石の 0.7105～0.7119 よりも低くなる傾向を示す (図 3.18)。この結果は、瑞浪層群中の月吉断層破碎帯に分布する自形方解石は、高い $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を有する花崗岩中の地下水が月吉断層に付随する破碎帯中を上昇し、低い $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を有する海成堆積岩 (瑞浪層群) 中の地下水と混合したことより形成された可能性を示唆している。

以上の調査結果から、瑞浪層群中の月吉断層に付随する破碎帯は、現在まで主要な水みちとして機能してきていると考えられ、破碎帯内部における地下水の流動方向は、自形方解石が形成された時期において上向きであったと推定される。

3.4.3 今後の予定

2002年度以降、本調査試験研究を3.3の「岩盤中の物質移動に関する調査試験研究」と統合し、1～10万年といった長期的な時間スケールで生じる地質学的事象や地質環境の変化に主眼を置いた「ナチュラルアナログ研究」の一環として実施する計画である。具体的には、「東濃ウラン鉱床の長期保存に関わる地質環境」と「ウラン系列核種の移行・遅延に及ぼす影響要因」の評価、および「体系的なナチュラルアナログ研究手法の整備」の観点から、これまでの調査試験研究の成果ならびに今後取り組むべき課題を考慮し、調査・研究を展開する。

とくに、月吉断層に関する調査・研究としては、その活動年代を特定するとともに、断層活動がウラン鉱床の長期保存に及ぼした影響について定量的情報を取得することが必要である。

参考文献

Arthur,R., Iwatsuki,T., Hama,K., Amano,K., Metcalfe,R. and Ota,K. (2002) : The redox environment of deep groundwaters associated with the Tono uranium deposit, Japan. *Sci. Basis Nucl. Waste Manag.* XXV. (in press)

Gallagher,K., Brown,R. and Johnson,C. (1998) : Fission track analysis and its applications to geological problems. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 26, 519-572.

Gillespie,M.R., Milodowski,A.E., Hama,K., Amano,K., Metcalfe,R., Hards,V.L., Darbyshire,D.P.F., Iwatsuki,T., Kunimaru,T. and Yoshida,H. (2000) : Characterization of the Tsukiyoshi fault phase I [1999-2000] : The Tsukiyoshi fault intersections in the Toki Formation, the Toki Formation-Toki granite unconformity and preliminary investigations in the Toki granite. BGS Technical Report CR/00/37.

細野隆康, 前村庸之 (2002) : 不飽和領域の原位置計測手法の研究. サイクル機構技術資料 (研究委託報告書 : 株式会社ダイヤコンサルタント), JNC TJ7400 2001-014.

市川康明 (2002) : 長期岩盤挙動評価のための微視的観点による基礎的研究. サイクル機構技術資料 (研究委託報告書 : 名古屋大学), JNC TJ7400 2001-017.

Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) (2002) : TAP - Tono natural analogue project, annual report 2001. JNC Tech. Rep. (in prep)

核燃料サイクル開発機構 (1999) : 東濃鉾山における調査試験研究基本計画書. サイクル機構技術資料, JNC TN7410 99-006.

核燃料サイクル開発機構 (2001a) : 東濃鉾山における調査試験研究年度計画書 (2001年度). サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-010.

核燃料サイクル開発機構 (2001b) : 東濃鉾山における調査試験研究年度報告書 (2000年度). サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-007.

核燃料サイクル開発機構 (2001c) : 超深地層研究所計画年度報告書 (平成 11 年度). サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-003.

前村庸之, 得丸昌則 (2001) : 不飽和領域の原位置計測手法の研究. サイクル機構技術資料 (研究委託報告書 : 株式会社ダイヤコンサルタント), JNC TJ7400 2001-001.

Milodowski,A.E., Gillespie,M.R., Hama,K., Amano,K., Kemp,S.J., McKevey,J., Metcalfe,R., Kunimaru,T. and Iwatsuki,T. (2001) : Characterisation of the Tsukiyoshi fault Phase II [2000-2001] : The Tsukiyoshi fault intersection in the Toki granite in Borehole MIU-3 and the Akeyo Formation in Tono Mine Borehole 99SI-08. BGS Technical Report CR/01/17.

水田義明 (2002) : 3次元応力場の同定手法に関する研究. サイクル機構技術資料 (研究委託報告書: 社団法人資源・素材学会), JNC TJ7400 2001-012.

森川徳敏 (2001) : 地球化学的調査に基づいた地下水流動に関する研究—東濃地域を対象とした溶存希ガスによる地下水調査. サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-003.

中間茂雄, 高倉 望, 松井裕哉 (2002) : 東濃鉱山における坑道周辺岩盤の長期変位計測. サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2002-002.

大久保誠介 (2002) : 長期岩盤挙動評価のための巨視的観点による基礎的研究. サイクル機構技術資料 (研究委託報告書: 東京大学), JNC TJ7400 2001-010.

高倉 望, 松井裕哉, 大久保誠介 (2002) : 堆積岩を対象とした低応力レベルにおける一軸圧縮荷重下のクリープ試験. 第37回地盤工学研究発表会講演集 (印刷中).

山本卓也 (2002) : 双設坑道安定性評価試験のための新規坑道掘削による掘削影響予測解析. サイクル機構技術資料 (契約業務報告書: 大成建設株式会社), JNC TJ7400 2001-015.