

東濃鉾山における調査試験研究  
年度報告書（2000年度）

（研究報告）

2001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) 2001

東濃鉱山における調査試験研究  
年度報告書（2000年度）

（研究報告）

太田久仁雄<sup>1</sup>，松井裕哉<sup>2</sup>，竹内真司<sup>3</sup>，濱 克宏<sup>3</sup>，杉原弘造<sup>1</sup>

要 旨

東濃鉱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、「ウラン鉱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。2000年度に得られたおもな成果の概要を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、堆積岩および花崗岩中の初期応力状態を把握した。また、空圧式クリープ試験装置を開発するとともに、岩盤の長期挙動評価のための基礎情報を取得した。

「坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究」においては、東濃鉱山北延 NATM 坑道周辺の三次元的な間隙水圧分布の長期観察を開始するとともに、TDR（Time Domain Reflectometry）法による岩盤中の不飽和領域計測に適用できるパッカー式プローブを開発した。また、坑道周辺岩盤中における酸化・還元状態の変化領域に関する予察的な情報を取得した。

「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的特性に関するデータセットの拡充を図った。また、地下水中の微生物の存在量などに関する予察的な情報を取得した。

「月吉断層に関する調査試験研究」においては、月吉断層および付随する破碎帯の空間分布、幾何学的形状および活動時期・様式に関する新たな知見を得た。

---

1：地層科学研究情報化グループ  
2：地質環境長期予測研究グループ  
3：地質環境特性研究グループ

Geoscientific Studies in the Tono Mine  
Annual Report 2000

Kunio Ota<sup>1</sup>, Hiroya Matsui<sup>2</sup>, Shinji Takeuchi<sup>3</sup>,  
Katsuhiko Hama<sup>3</sup> and Kozo Sugihara<sup>1</sup>

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 hosts 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 2000 financial year in four different tasks involved in the studies.

Experimental studies on the mechanical stability of the rock mass defined *in situ* stress states in the sedimentary formation and the basement granite. To elucidate the long-term behaviour of the rock mass, a pneumatic creep testing apparatus was developed and fundamental information was obtained.

In the tunnel near-field geological environments, long-term measurements of the 3D distribution of pore water pressure were started and redox conditions were preliminarily investigated. A packer-type TDR (Time Domain Reflectometry) probe was developed, which can be applied to the *in situ* characterisation of an unsaturated zone.

As part of studies on solute transport/retardation in the rock mass, hydrochemical and geochemical data sets used in solute transport calculations were continuously improved. Preliminary information on microbes in groundwater was obtained.

With respect to the Tsukiyoshi fault observed in the sedimentary rocks, a spatial distribution, geometrical features and the past fault movements were described on the basis of detailed examination on cores.

---

1: Geoscience Research Integration and Dissemination Group  
2: Neotectonics Research Group  
3: Geoscience Research Group

## 目次

要旨		i
Abstract		ii
1	はじめに	1
2	2000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	2
2.2	坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究	2
2.3	岩盤中の物質移動に関する調査試験研究	3
2.4	月吉断層に関する調査試験研究	3
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	9
3.2	坑道周辺の地質環境に関する調査試験研究	13
3.2.1	実施内容	13
3.2.2	おもな成果	13
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	19
3.3.1	実施内容	19
3.3.2	おもな成果	19
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	21
3.4.1	実施内容	21
3.4.2	おもな成果	21
3.4.3	今後の予定	22
参考文献		24

## 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鉾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（「東濃鉾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。東濃鉾山における調査試験研究は、「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，1999a）に基づき、ウラン鉾床を胚胎し断層などの地質学的特徴を有する堆積岩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、ウラン鉾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、鉾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。

本計画書は、「東濃鉾山における調査試験研究基本計画書」および「東濃鉾山における調査試験研究年度計画書（平成 12 年度）」（サイクル機構，2000a）に基づき、2000 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 2000年度の調査試験研究の概要

2000年度は、東濃鉱山の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300m程度までの範囲に分布する堆積岩とその直下の基盤花崗岩を対象に、前述の4項目の調査試験研究を実施した(図1)。以下に、2000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。

### 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うる調査・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ケースでの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うえで必要不可欠であるとともに、その成果は超深地層研究所計画(動燃事業団, 1996)および幌延深地層研究計画(サイクル機構, 1998)における坑道の物理的な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、そのような解析手法の開発も掘削影響領域を含む空洞周辺岩盤の長期的な安定性を評価するうえで重要である。

2000年度は、土岐花崗岩中の初期応力状態が堆積岩中の初期応力状態に及ぼす影響の把握を目的とした調査試験研究や長期挙動に関する調査試験に必要な試験装置の開発などを実施し、以下のような成果を得た。

- ・新規に掘削した00SE-03孔において、水圧破碎法による初期応力測定を実施した。その結果、土岐花崗岩中の応力状態は月吉断層下盤側で逆断層型であり、最大主応力値は岩種(堆積岩および花崗岩)の違いによらず深度とともにほぼ線形的に増加し、最大主応力方向は北西-南東であることが明らかとなった。
- ・空圧式長期クリープ試験装置の設計・製作、および田下凝灰岩を用いた性能試験を行い、長期試験における同装置の適用性を確認した。

### 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(たとえば、杉原ほか, 1998)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解明されていない。これらを明らかにするための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、超深地層研究所計画(動燃事業団, 1996)および幌

延深地層研究計画（サイクル機構，1998）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。

2000年度は、坑道周辺岩盤中における三次元的な水理学的・地球化学的状态の変化領域の把握を目的とした調査試験研究を実施し、以下のような成果を得た。

- ・ TDR（Time Domain Reflectometry）法に基づき現場において岩盤の含水率測定に適用できる、パッカー式プローブの詳細仕様を検討し、装置を試作した。
- ・ 東濃鉾山北延 NATM 坑道において、1999年度に引き続き、試錐孔（鉛直上向き方向）の掘削および間隙水圧計測システムの設置を行い、間隙水圧計測を開始した。これにより北延 NATM 坑道における坑道周辺岩盤の三次元水圧分布の観測が可能となった。
- ・ ウラン濃集部において坑道壁面からの鉄（ $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ）およびウラン系列核種放射能比の深度プロファイルを取得した結果、酸化・還元状態の変化領域は坑道壁面から数 cm 程度であ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

東濃ウラン鉾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（事例）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（サイクル機構，1999b）。本調査試験研究においては、上記の情報を取得するための調査・解析手法を開発する。

2000年度は、物質移行・遅延の解析・評価に用いる地球化学データセットの拡充、ならびに天然ウランの移行・遅延に影響を及ぼすと考えられる諸要因の把握を目的とした調査試験研究を実施し、以下のような成果を得た。

- ・ KNA-6 号孔の地下水（土岐花崗岩および堆積岩／土岐花崗岩不整合）についてトリチウム分析などを実施し、同位体データの拡充を図った。
- ・ 現場において地下水中の微生物を採取・分析するための環境整備を完了し、KNA-6号孔の地下水から脂肪酸を分離・回収することができた。

### 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。東濃鉾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基盤花崗岩



中の月吉断層に関する調査・研究 (Ota et al., 1999) 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役割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。

2000 年度は、堆積岩浅部における月吉断層の分布・性状、形成プロセスおよび鉱物学的・地球化学的特性の把握を目的とした調査試験研究を実施し、以下のような成果を得た。

- ・月吉断層は 2 条の断層からなり、それらが幅十数 m~20m 程度の破碎帯を両側に伴い、堆積岩浅部から深部まで連続していることが推定された。
- ・岩芯を用いた微視的構造調査により、逆断層系の変形作用に引き続く正断層系の再動 (変形) は局所的であり、とくに 2 条ある断層のうち、上部の断層の、間隙水圧の上昇により破碎された箇所作用したことが明らかになった。
- ・岩芯を用いた鉱物学的・地球化学的調査により、主要な逆断層系の断層運動には 200℃以上の熱水が、正断層系の再動には 100℃以下の熱水の循環が密接に関与した可能性が示された。

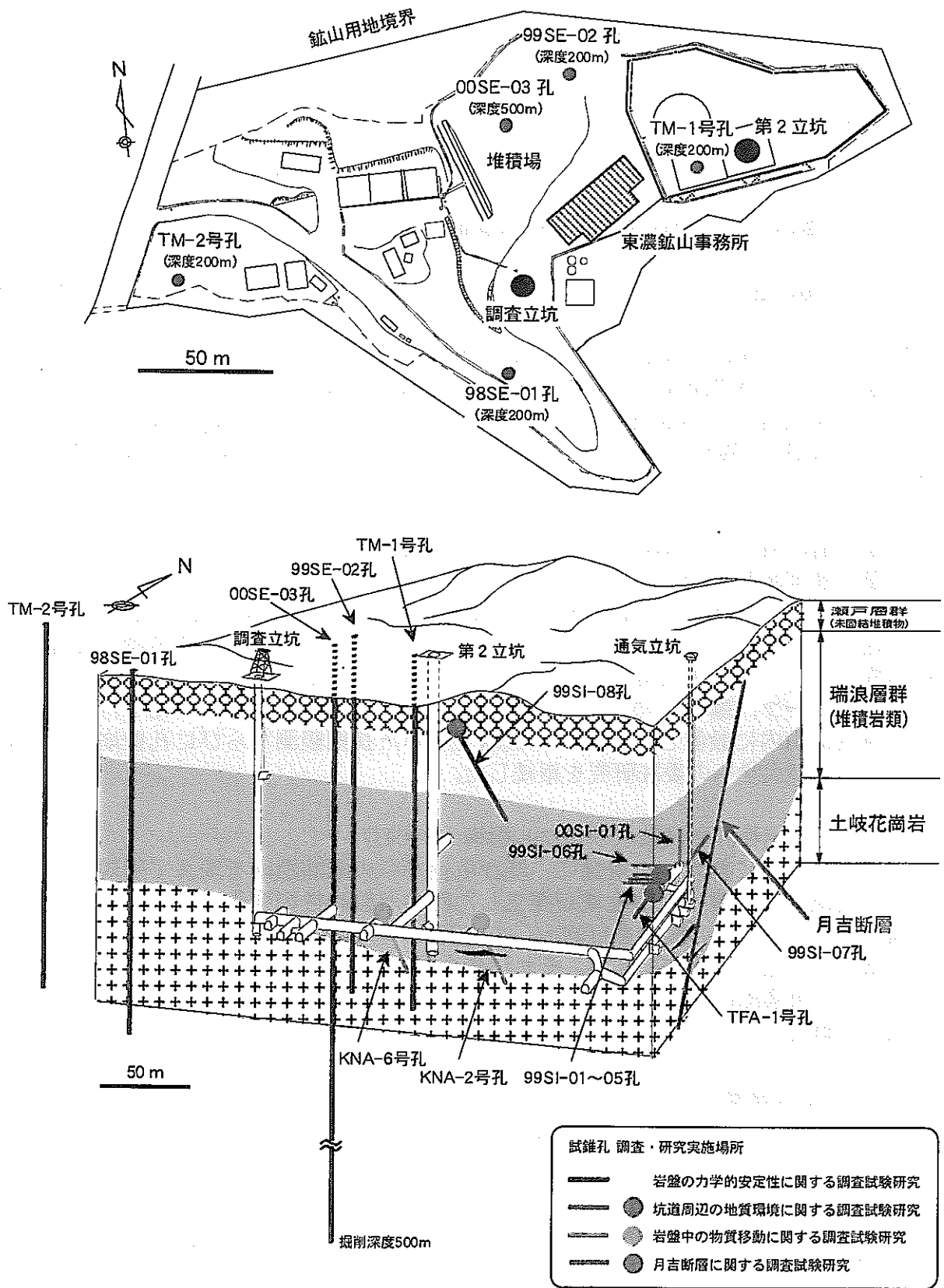


図1 東濃鉱山における調査試験研究の実施領域

### 3 2000年度の調査試験研究の実施内容および成果

2000年度における本調査試験研究の各項目ごとに、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 (サイクル機構, 2001a, b)

東濃鉱山において深度 500m の鉛直試験孔 (00SE-03 孔 ; 図 1) を掘削し、BTV 観察、孔径検層および水圧破碎法による初期応力測定を実施した。なお、これらの測定深度は BTV 観察および孔径検層に加え、既存の初期応力測定の結果を参考として決定した。

###### (2) 長期挙動に関する試験研究 (サイクル機構, 2001c, d, e)

岩盤の長期挙動に関する研究の一環として、これまでの大学への委託研究において開発され、その適用性が確認された空圧式長期クリープ試験装置を設計・製作し、東濃地科学センターに導入した。併せて、空圧式長期クリープ試験装置の性能試験を実施した。この性能試験においては、これまでに東京大学において約 3 年以上にわたるクリープ試験の実績がある田下凝灰岩を用い、試験結果の対比を行った。また、東濃鉱山内に設置した変位計測機器を用いた長期観測ならびに孔壁崩壊状況の観測、および大学への委託研究を継続した。

###### (3) 双設坑道安定性評価試験 (サイクル機構, 2001f)

堆積岩 (とくに軟岩) を対象に、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、2001 年度より約 3 年間にわたり現場における試験を実施する予定である。それに先立ち 2000 年度は詳細な実施計画を策定するために、東濃鉱山北延 NATM 坑道において新規坑道掘削を想定した二次元解析を実施し、新規坑道と既存坑道との離間距離について検討した。

##### 3.1.2 おもな成果

###### (1) 応力状態の調査研究 (サイクル機構, 2001a, b)

00SE-03 孔において実施した水圧破碎法による初期応力の測定結果を図 2 に示す。最大主応力値については間隙水圧を考慮した値を示している。

本調査研究においては、当初、東濃鉱山周辺に分布する堆積岩中の初期応力状態と堆積岩層直下の土岐花崗岩中の初期応力状態との相関性の把握を目的に、深度約 200~500m において土岐花崗岩の初期応力を測定する計画としていた。しかしながら、00SE-03 孔の局所的な孔径・孔内状況の変化などにより、とくに深度 275m (標高 10m) 以深における初期応力測定の実施が技術的に極めて困難となったため、深

度 230~265m (標高 55~20m) の 35m 間に限定した初期応力測定を実施し、主応力値や主応力方向などの変化を把握した。

図 2 に示すように、深度 230~240m (標高 55~45m) 区間の主応力値は、深度 250~265m (標高 35~20m) 区間の主応力値に比べてわずかに大きく、とくに深度 238.5m (標高 46.5m) 地点の主応力値は他の 1.5 倍程度大きくなっている。鉛直応力が土被り圧に等しいと仮定した場合、深度 230~265m (標高 55~20m) 区間の応力状態は水平面内最大主応力 > 水平面内最小主応力 > 鉛直応力の逆断層型となっており、超深地層研究所計画の研究実施領域における地表~深度約 300m の土岐花崗岩中での初期応力測定結果 (サイクル機構, 2001g) と矛盾しない。また、最大主応力方向も深度 230~240m (標高 55~45m) および深度 250~265m (標高 35~20m) の 2 区間ではわずかに異なっており、上位の区間では北西~西であるのに対し、下位の区間では北北西に集中している。これらの方向は、東濃地域における地殻水平ひずみの最大圧縮方向 (北西) とほぼ一致している。

00SE-03 孔における割れ目の分布特性を図 2 に示す。割れ目頻度は深度方向に大きく変化しており、深度 230~265m (標高 55~20m) の初期応力測定区間においても割れ目数は 9~25 本 (0.9~2.5 本/m) の間で変化している。超深地層研究所計画の研究実施領域の土岐花崗岩中においては、割れ目の分布特性が異なる領域では初期応力状態も異なること (サイクル機構, 2001g) が明らかになっており、岩盤の剛性の不均一性が応力状態に影響を及ぼすこと (石田・金川, 1987) を考慮すると、深度 240~245m (標高 45~40m) 区間で局所的に大きな初期応力値が得られた要因の一つとして、土岐花崗岩中の割れ目分布に起因する岩盤剛性の不均質性が考えられる。

上記の初期応力測定結果と 1999 年度の 99SE-02 孔における初期応力測定結果とを合わせて総合的に解釈すると、土岐花崗岩中には開口割れ目の影響による変化が局所的に認められるものの、堆積岩および土岐花崗岩中の初期応力値は岩種の違いによらず深度とともにほぼ線形的に増加し、水平面内の最大主応力方向は北西~南東であると考えられる (図 3)。

## (2) 長期挙動に関する試験研究 (サイクル機構, 2001c, d, e)

東濃鉾山において継続中の長期変位計測の結果の解釈に必要な基礎データを取得するために、空圧式クリープ試験装置を設計・製作した (図 4)。この試験装置は、東京大学において開発され、その性能ならびに長期適用性が確認された長期クリープ試験装置をベースとして開発したものである。載荷装置は、載荷棒、載荷装置架台、圧力管理システムからなる。圧力管理システムは、圧力源 (コンプレッサー)、圧力調整弁、空圧シリンダー、開閉弁、圧力計から構成され、圧力源から供給される空気圧を調整弁により一定に制御し、空圧式シリンダーに送り込むシステムである。短時間 (2~3 時間程度) の停電であれば、空圧シリンダー内の圧力はほとんど低下しないという特長を有する。また、計測部は、長期安定性に優れるカンチレバー式変位計、デジタルボルトメータ、アンプおよびパソコンより構成される。

田下凝灰岩を用いて実施した、上記の空圧式クリープ試験装置の性能試験の結果を図 5 に示す。今回の性能試験の結果は、東京大学における長期クリープ試験の結果とほぼ一致しており、上記の空圧式クリープ試験装置が長期試験に適用できる性能を有することが確認できた。

一方、大学への委託研究では、これまでに約 4 年間（試験日数 1300 日）継続してきた長期クリープ試験を継続するとともに、花崗岩などの硬岩への適用を目的とした油圧式多連クリープ試験装置を用いた実験手法をほぼ確立した。また、低応力条件下における岩石の変形挙動の時間依存性を把握するために、弾性係数の載荷速度依存性を調べる室内試験を実施し、異なる種類の岩石に関する基礎データを取得した。さらに、応力緩和試験による供試体内部の破壊過程の観察を継続するとともに、巨視的な応力変化と供試体内部のマイクロクラックの幾何学的特性（方向や長さなど）との関係について、応力緩和試験と同様の設定条件を用いて均質化法粘弾性解析による解析的検討を行った。

### (3) 双設坑道安定性評価試験（サイクル機構, 2001f）

解析的検討においては、東濃鉱山北延 NATM 坑道の計測坑道と試験坑道との間に同規模の坑道を新たに掘削することを想定した。解析は、北延 NATM 坑道を含む鉛直断面において、計測坑道を基準（坑道径  $D=1$  とする）に新規坑道との離隔距離を 1.5m (0.5D)、3.0m (1.0D)、4.5m (1.5D)、6.0m (2.0D)、7.5m (2.5D) と変化させた場合について実施し、双設坑道周辺岩盤における塑性領域の分布を安全率として評価した（図 6）。この際、応力条件は北延 NATM 坑道における三次元初期応力測定結果（Maeda et al., 1999）に基づいて設定し、解析断面内の地質は土岐夾炭累層および土岐花崗岩からなり、月吉断層は分布しないものと仮定した。表 1 に設定した岩盤物性値を示す。

双設坑道掘削時の坑道周辺の安全率分布に関する解析結果を図 7 に示す。離隔距離が 1.5m (0.5D) および 7.5m (2.5D) の場合には安全率  $<1$  となる領域が発生することが示された。これらの場合には、安全率  $<1$  となる領域は坑道間のかなりの部分を占めており、既存坑道と新規坑道との間の岩盤は塑性化すると考えられる。また、離隔距離が 3.0m (1.0D) および 6.0m (2.0D) の場合は安全率  $<1$  の領域は生じないものの、安全率  $\approx 1.4$  の領域が分布することから、その領域の岩盤は比較的不安定になり塑性化する可能性がある。一方、離隔距離が 4.5m (1.5D) の場合は既存坑道と新規坑道の掘削影響領域は干渉せず互いに独立しており、坑道間の岩盤は安定であると考えられる。以上の解析結果を、双設坑道安定性評価試験の実施という観点から整理すると、

- ・ 離隔距離 = 3.0m (1.0D) および 6.0m (2.0D) の場合：坑道間の岩盤の一部に塑性領域が発生すると考えられるため本試験の目的に合致
- ・ 離隔距離 = 1.5m (0.5D) および 7.5m (2.5D) の場合：坑道間の岩盤が広範囲で塑性化する可能性が高く安全上の問題が生じる可能性が高いため不適
- ・ 離隔距離 = 4.5m (1.5D) の場合：坑道間に塑性領域が発生しないため本試験の試験条件として不適

となり、双設坑道安定性評価試験における坑道の離隔距離は、3.0m (1.0D) が最適であると考えられる。この場合、計測坑道および試験坑道のそれぞれから 3.0m (1.0D) 離れた位置に新規坑道を掘削する二つの方法が考えられる。一方、比較のために 4.5m (1.5D) の離隔距離で本試験を行う場合も設定され、この場合は計測坑道と試験坑道の間にも新規坑道を掘削する必要がある。

### 3.1.3 今後の予定

#### (1)応力状態の調査研究

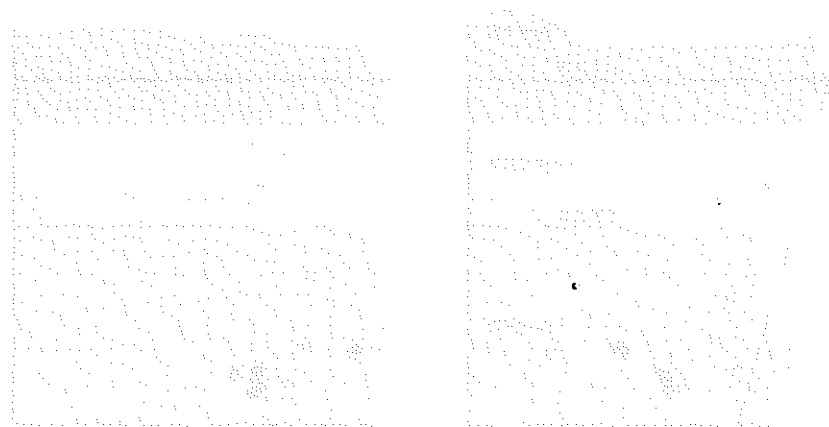
2001年度は、東濃鉦山用地内に掘削した試錐孔および東濃鉦山坑道内（第2立坑および北延 NATM 坑道）において実施した初期応力測定の結果に基づき、東濃鉦山およびその周辺地域を事例として、場の三次元応力分布を解析的に推定するための手法に関する研究を開始する。

#### (2)長期挙動に関する試験研究

東濃鉦山から採取した岩石試料および空圧式クリープ試験装置を用いた長期クリープ試験を実施し、コンプライアンス可変型構成式に含まれるパラメータの同定を試みる。また、大学への委託研究では、長期クリープ試験を継続するとともに、花崗岩などの硬岩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実施する。併せて、分子動力学-均質化法統合解析（MD-HA 法）に必要となるパラメータの設定手法に関する研究を継続する。一方、現場調査として、東濃鉦山北延 NATM 坑道において、孔径の異なる5本の試錐孔における孔壁面の経時変化の観察ならびに変位計測を継続する。

#### (3)双設坑道安定性評価試験

2001年度は、今年度実施した予備的検討（二次元解析による坑道離間距離の検討など）の結果、およびこれまでの東濃鉦山における掘削影響試験の結果に基づき、詳細な試験計画を策定するとともに、坑道掘削前の事前調査（試錐孔掘削、水理試験など）を実施する。



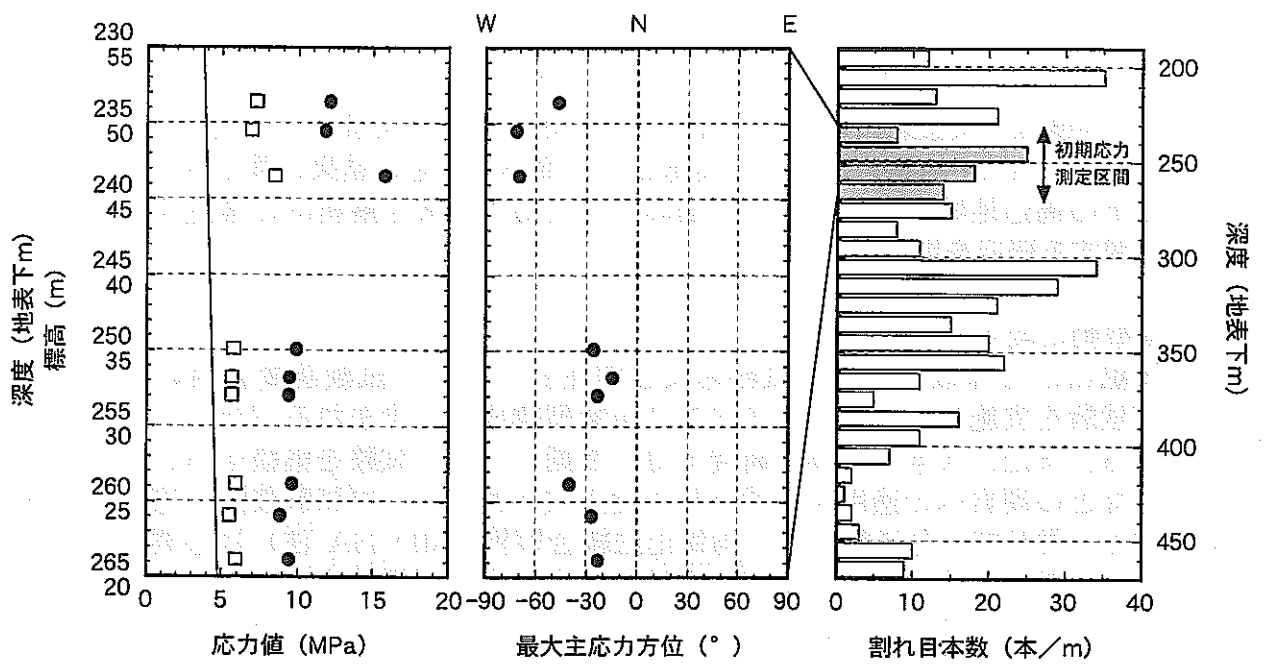


図2 00SE-03孔における水圧破碎法による応力測定およびBTV観察の結果

●：最大主応力，□：最小主応力，—：推定土被り圧

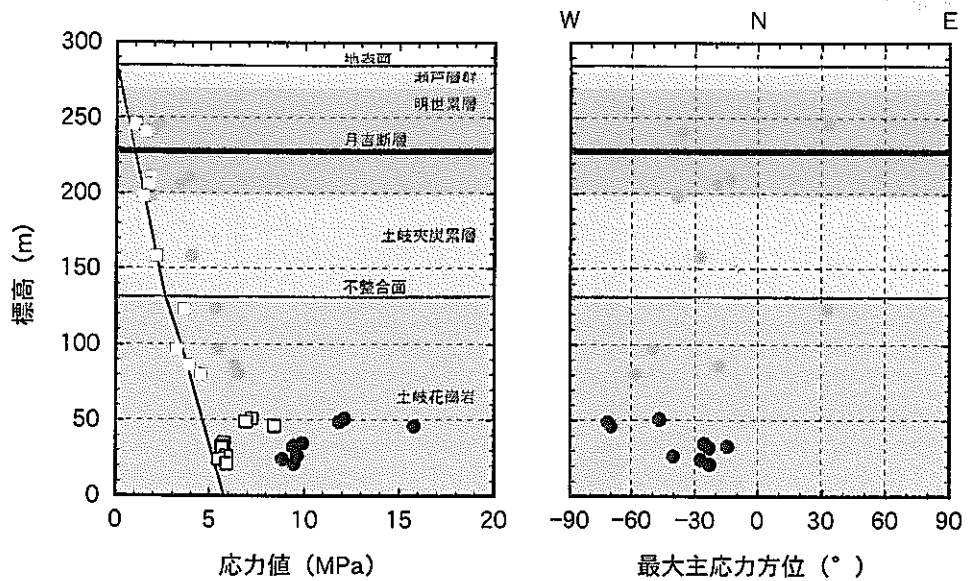


図3 00SE-03孔および99SE-02孔における初期応力測定結果のまとめ

[00SE-03孔] ●：最大主応力，□：最小主応力

[99SE-02孔] ●：最大主応力，□：最小主応力

—：推定土被り圧

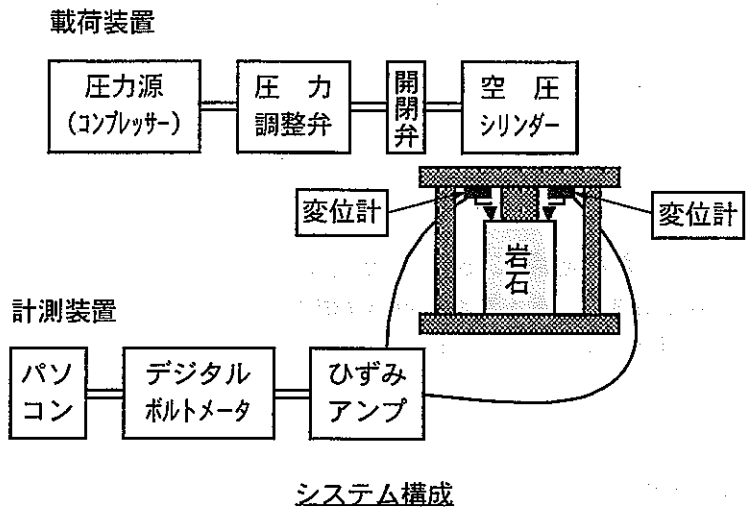
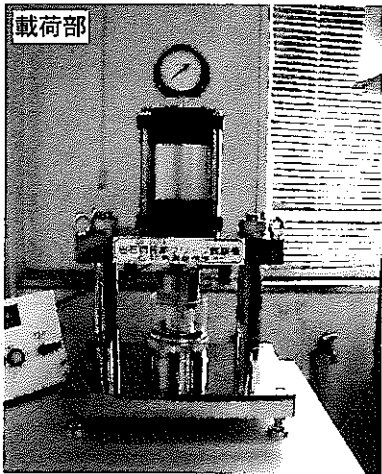
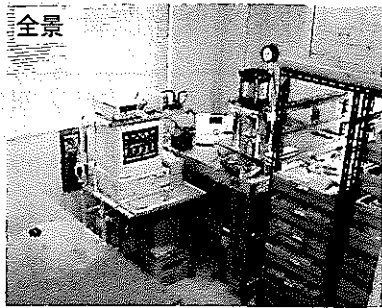


図4 2000年度に製作・設置した空圧式クリープ試験装置

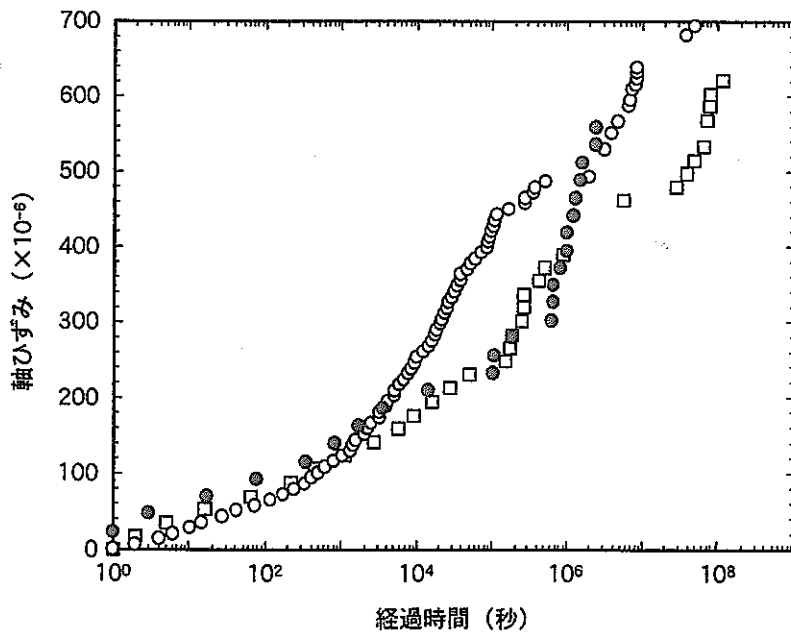


図5 田下凝灰岩を用いた空圧式クリープ試験装置の性能試験結果  
 ●：性能試験結果, ○□：東大における長期試験結果



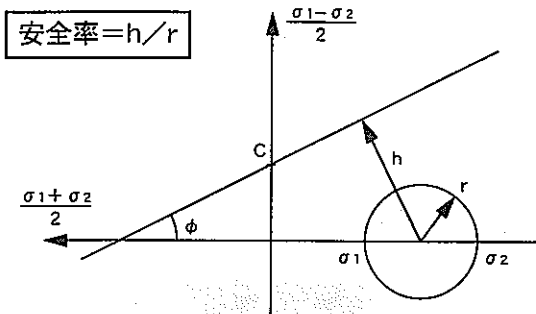


表 1 解析における岩盤物性値

	弾性係数 (tf/m <sup>2</sup> )	ポアソン比 (-)	単位体積重量 (t/m <sup>3</sup> )	粘着力 (tf/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 (°)	引張強度 (tf/m <sup>2</sup> )
土岐夾炭累層	193,800	0.3	1.94	190	27	80
花崗岩	2,655,000	0.38	2.6	200	45	2,000

図 6 任意の地点における安全率  
 C : 岩盤の粘着力,  $\phi$  : 岩盤の内部摩擦力  
 $\sigma_1$  : 最大主応力,  $\sigma_2$  : 最大主応力

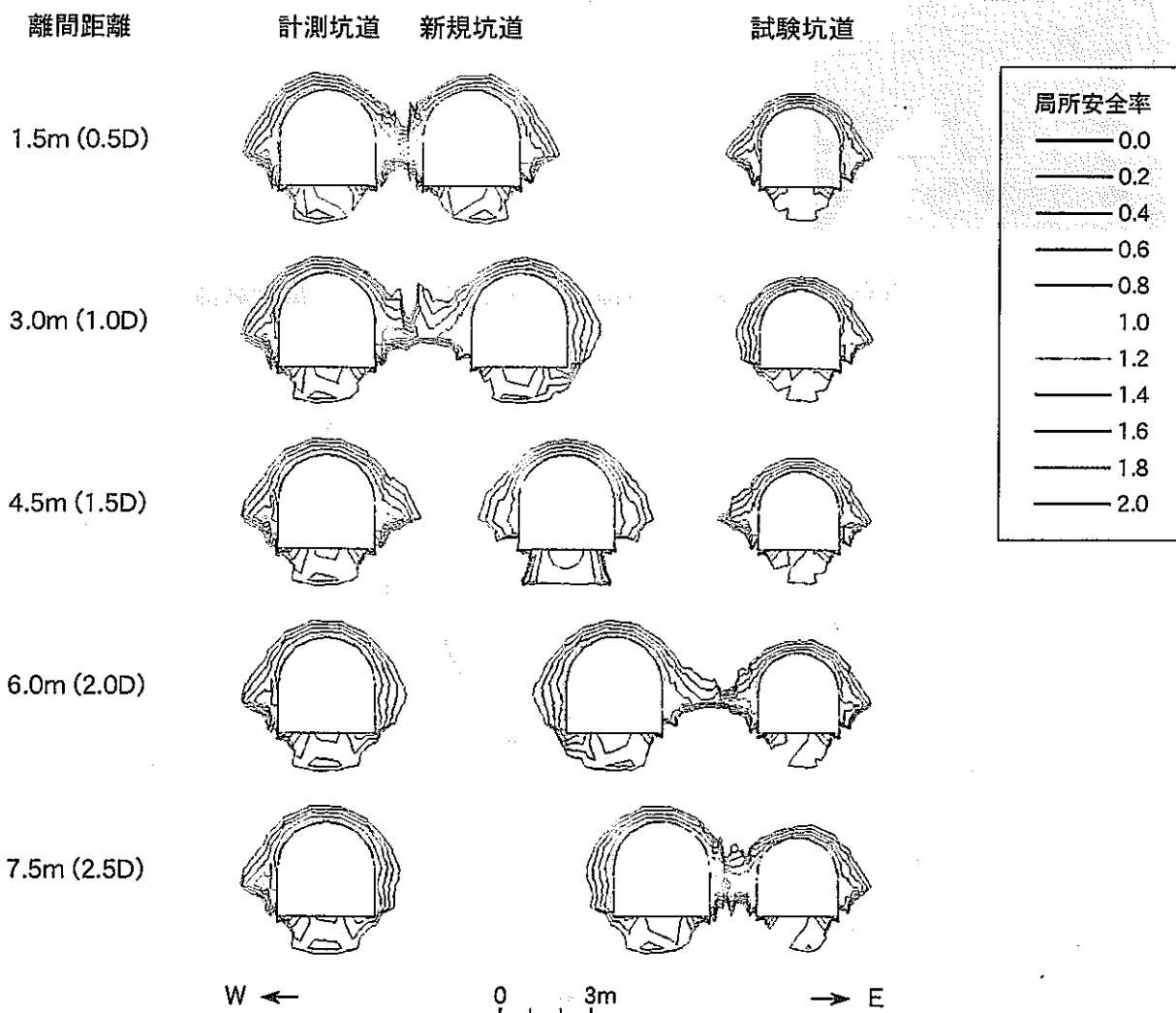


図 7 東濃鉦山北延NATM坑道における双設坑道掘削時の坑道周辺の安全率分布

## 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不飽和計測手法の開発 (サイクル機構, 2001h)

1999年度までに実用化の見通しが得られた、電磁波の伝達速度を利用し岩盤中の飽和・不飽和状態を計測する手法について、問題点を抽出するとともに、技術的信頼性の向上を図るための検討を行った。とくに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）の仕様・構造に関しては、孔軸方向のプローブ配置を対象として、プローブ間隔、緩衝材の厚みや材質などによる電磁波の影響範囲の変化について検討し、その検討結果を踏まえパッカー式プローブを試作した（図8）。また、測定結果として得られるTDR波形データから比誘電率を精度良く、客観的に、かつ簡便に求めるために、1999年度に提案した微分法に基づくプログラム（サイクル機構, 2000b）を用いた自動読み取りを試行し、マニュアル法との比較をとおして、その有効性について検討した。

##### ②長期間隙水圧観測 (サイクル機構, 2001i)

東濃鉱山北延 NATM 坑道の水平試錐孔（99SI-06 および 99SI-07 孔）内に設置した間隙水圧計測システムを用い、長期的な間隙水圧計測を継続した。また、同地点において長さ 50m の試錐孔（00SI-01 孔；図1）を鉛直上向き方向に掘削するとともに、上記の試錐孔と同様に多点式パッカーシステムならびに間隙水圧計測システムを設置し、間隙水圧計測を開始した。

#### (2)坑道周辺地球化学特性調査

東濃鉱山調査坑道内のウラン濃集部の坑壁（露頭）から岩石試料を採取し、酸化・還元の指標となる化学種として鉄（とくに  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ）、酸化・還元条件の変化を反映すると考えられるウラン系列核種（ $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ）の放射能比を測定した。具体的には、坑道壁面から約 10cm までの岩石試料を採取し、1cm ごとに分析を行い深度プロファイルを取得した。また、上記の調査と平行して、海外の地下研究施設などにおける研究事例の調査を行った。

### 3.2.2 おもな成果

#### (1)坑道周辺水理特性調査

##### ①不飽和計測手法の開発 (サイクル機構, 2001h)

図9に孔軸方向のプローブ配置による電磁波の影響範囲の測定方法を示す。プローブ間隔を変化させた時の比誘電率の測定結果に基づき、パッカー式プローブの仕様・構造について検討を行った結果、以下の知見を得た。

- ・電磁波の影響範囲は、周面の外側および内側に対して最大でプローブ間隔程度である。プローブ間隔が大きくなるにしたがい測定される比誘電率は小さくなる傾

向がある(図10)。

- ・孔軸方向のプローブ配置により測定された比誘電率は、周面の外側および内側の材質の単純平均に近く、円周方向プローブよりも簡易に対象物の比誘電率を求めることができると考えられる(図11)。

以上の結果を踏まえてパッカー式プローブを試作した。また、微分法に基づくTDR波形データの自動読み取りにより、比誘電率をマニュアル法と同等以上の精度で、客観的に、かつ簡便に求められることを確認した(図12)。

## ②長期間隙水圧観測(サイクル機構, 2001i)

東濃鉦山北延 NATM 坑道およびその周辺における試錐孔の配置を図13に示す。99SI-06 および 99SI-07 孔(水平孔)における間隙水圧計測の結果は、坑道壁面から離れるにしたがって間隙水圧は高くなり、その変動幅も大きくなる傾向を示している(図14)。しかしながら、99SI-06 孔における間隙水圧の上昇(変動幅)は、2000年4~11月に比べて、2000年11月~2001年3月は小さくなっていることから、坑道周辺の間隙水圧はほぼ定常状態に向かいつつあると推定される。

また、鉛直上向き方向の試錐孔(00SI-01 孔)の掘削時には毎分3リットルの湧水があり、同孔に間隙水圧計測システムを設置するまでの間、北延 NATM 坑道周辺の試錐孔(KA-1, 2, 3号孔; 図13)において北延 NATM 坑道周辺と同一層準の堆積岩層中の地下水位に変化が観察された(図15)。とくに間隙水圧計測システムの設置とほぼ同時に間隙水圧の変動が確認された。坑道周辺の水理学的特性の把握においては、今後も間隙水圧(水位)の変化の観察を継続することが有効であると考えられる。

## (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  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  比、 $^{234}U/^{238}U$  および  $^{230}Th/^{238}U$  放射能比の坑道壁面からの深度プロファイルをそれぞれ図16(a), (b)に示す。坑道壁面から10cm程度までの堆積岩中の鉄含有量には大きな変化が認められないものの、坑道壁面では堆積岩内部に比べて  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  比が低い(全鉄含有量に対する  $Fe^{3+}$  の割合が高い)。一方、坑道壁面から2cmまでの堆積岩は放射非平衡( $^{234}U/^{238}U$  放射能比 $>1$ )状態にあるのに対し、坑道壁面から2cm以深の堆積岩中では放射平衡( $^{234}U/^{238}U$ 、 $^{230}Th/^{238}U$  放射能比 $\approx 1$ )状態が保たれている。

以上の結果から、東濃鉦山調査坑道内のウラン濃集部の坑壁においては、坑道壁面から数cm程度の範囲までは、酸化・還元状態などの変化が生じている可能性が高いと考えられる。また、この結果は2001年度以降の本調査における、調査対象の化学種、スケール、サンプリングおよび分析手法などの検討において、重要な基礎情報を提供するものである。

## 3.2.3 今後の予定

### (1)坑道周辺水理特性調査

#### ①不飽和計測手法の開発

東濃鉦山第2立坑第2計測坑道において水平試錐孔(孔径86mm×掘削長約

20m) を掘削し、今年度試作したパッカー式プローブの適用試験を行う。この試験をとおしてパッカー式プローブの現場での適用性を確認するとともに測定手法の検討を行う。

## ②長期間隙水圧観測

東濃鉱山北延 NATM 坑道の試錐孔（水平方向 2 孔および鉛直上向き 1 孔）内に設置した間隙水圧計測システムを用い、長期的な水圧変化の観測を行い、坑道周辺岩盤中の三次元的な水圧分布とその変化の程度を把握する。

## (2)坑道周辺地球化学特性調査

東濃鉱山第 2 立坑第 2 計測坑道ならびに下盤連絡坑道において試錐孔（2 地点とも孔径 146mm×掘削長 2m×2 本）を掘削し、取得した堆積岩試料の化学分析を行い、鉄、マンガン、ウラン系列核種などの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 99SI-07 孔において、地下水の物理化学パラメータの長期観測を開始する。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態の変化に関する概念モデル構築についての予察的な検討を行う。

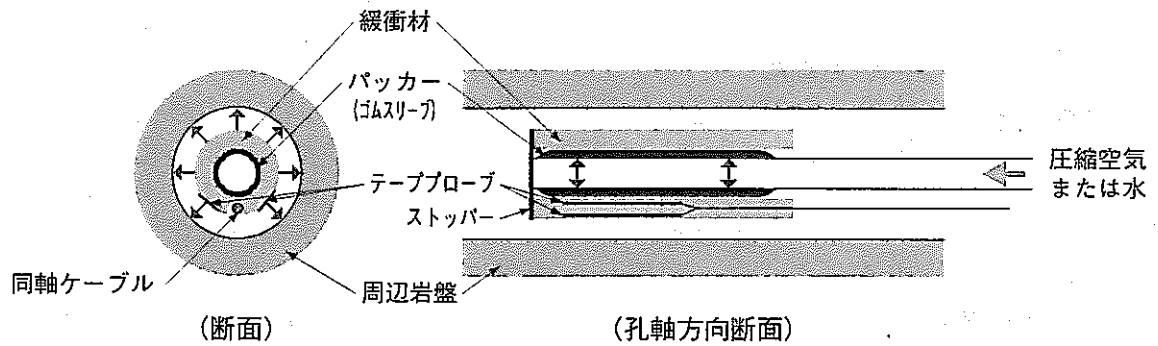


図8 2000年度に製作したパッカー式プローブ (孔軸方向プローブ配置)

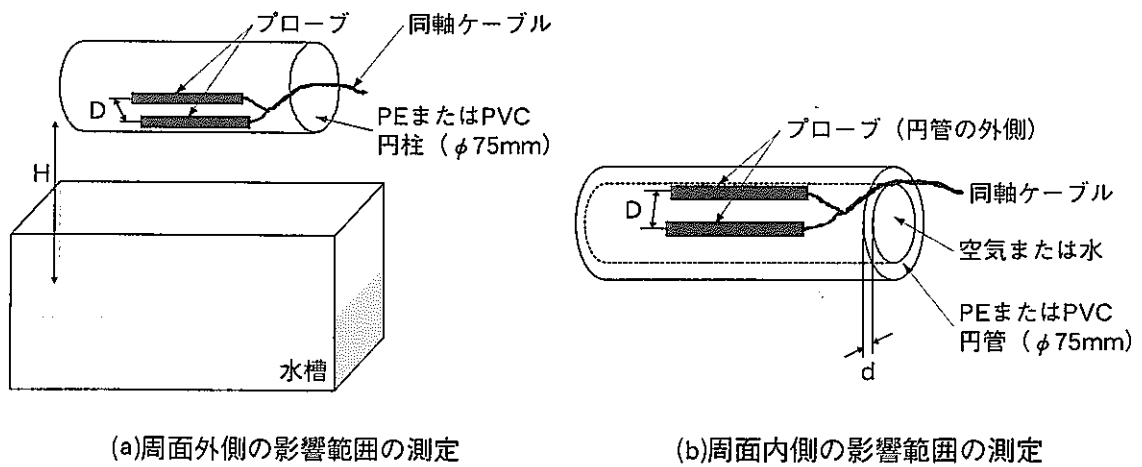


図9 電磁波の影響範囲を調査する室内試験の概念図

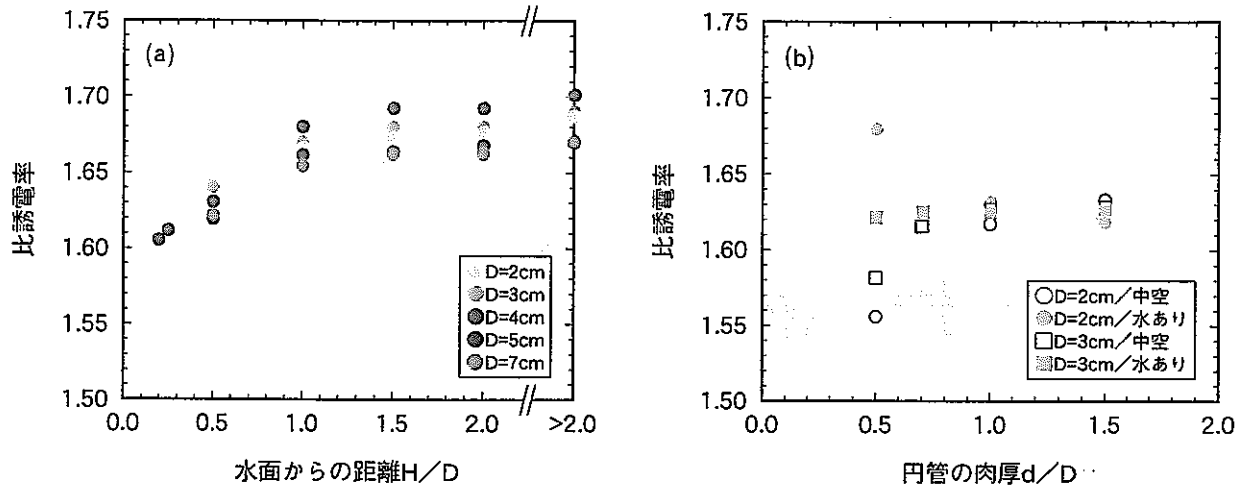


図10 電磁波の影響範囲とプローブ間隔との関係

- (a)水面からの距離と比誘電率との関係 (図9(a)参照)  
 (b)円管の肉厚と比誘電率との関係 (図9(b)参照)

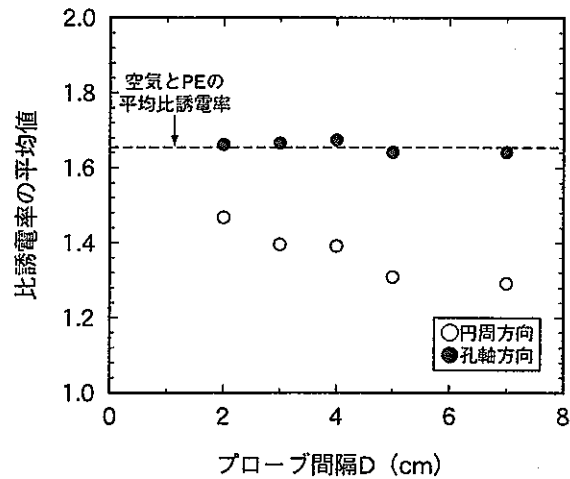


図11 円周方向および孔軸方向プローブによる比誘電率測定結果の比較

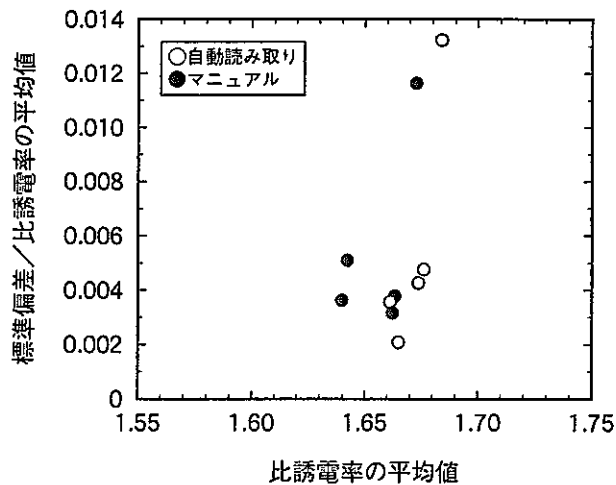


図12 比誘電率測定における自動読み取り法とマニュアル法との比較

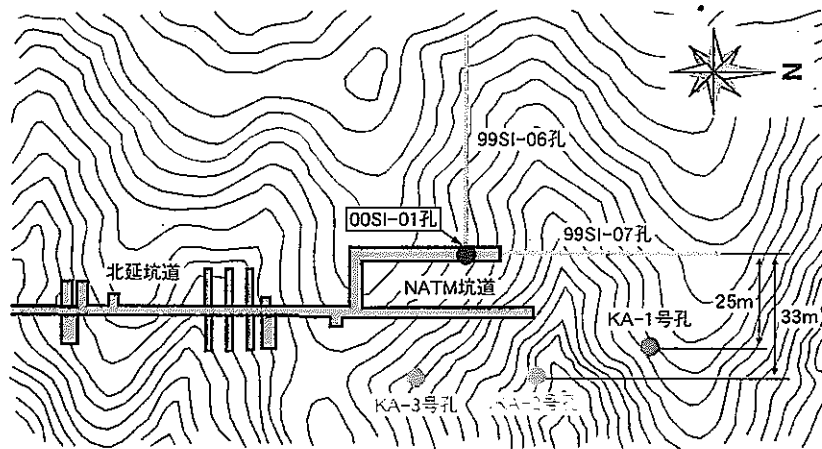


図13 北延NATM坑道および周辺域における間隙水圧／水位観測用試錐孔

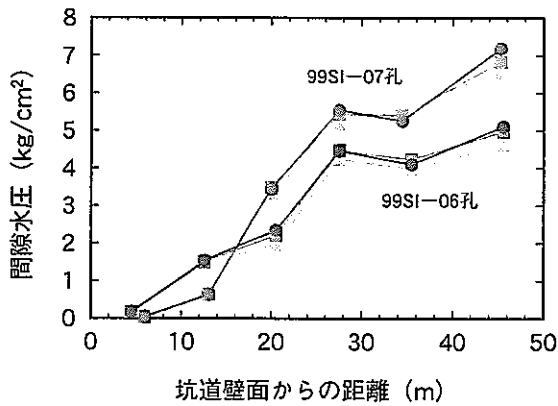


図14 間隙水圧の経時変化

- ▲ : 2000年4月1日測定
- : 2000年11月1日測定
- : 2001年3月31日測定

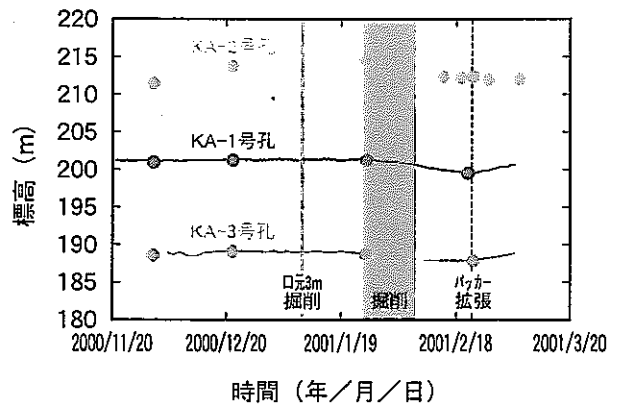


図15 00SI-01孔の掘削／パッカー設置にともなう地下水位の経時変化

- : 圧力式地下水水位計による連続観測
- : 手計り式水位計による計測

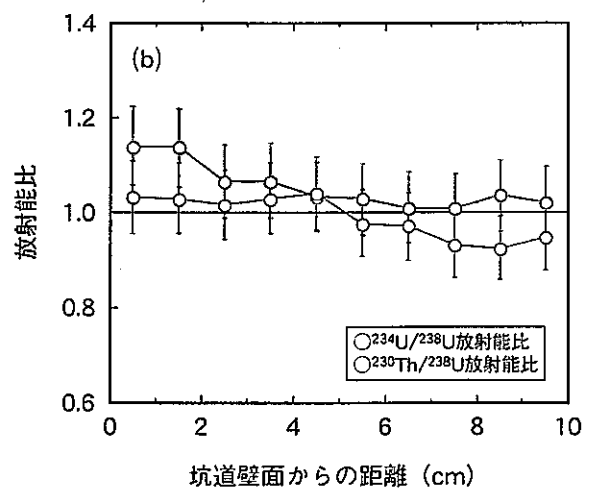
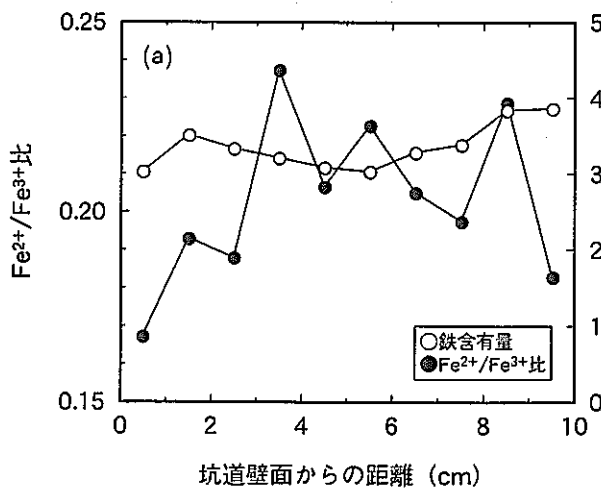


図16 坑道壁面からの元素の深度プロフィール  
(a)鉄含有量およびFe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup>比, (b)ウラン系列核種放射能比

### 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、東濃鉱山調査坑道内より掘削した試錐孔（KNA-6 号孔）において、土岐花崗岩および堆積岩／土岐花崗岩不整合の地下水の水質連続モニタリングとともに、ウランを含む堆積岩試料の化学分析を継続し、地下水および岩石の地球化学データセットの拡充を図った。また、上記の現場調査の一環として KNA-6 号孔の地下水（土岐花崗岩、堆積岩／土岐花崗岩不整合）中のトリチウム濃度を測定した。

##### (2)地下水中の有機物／微生物に関する調査研究

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調査研究の一環として、東濃鉱山調査坑道内の KNA-6 号孔掘削地点に、地下水中の微生物を現場において採取・分析するための建屋および前処理装置の設置を行った。設置した前処理装置を利用し、KNA-6 号孔の地下水（土岐花崗岩および堆積岩／土岐花崗岩不整合）中の微生物の種類を特定するために、地下水をろ過し脂肪酸の回収を行った。

#### 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。また、KNA-6 号孔の地下水中のトリチウム濃度は、定量下限値（0.3TU）以下であり、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。

##### (2)地下水中の有機物／微生物に関する調査研究

KNA-6 号孔掘削地点に、前処理などに使用するグローブボックス、安全キャビネット、オートクレーブ、冷凍庫、ろ過装置など、およびそれらの装置を収納する建屋を設置した（図 17）。設置した前処理装置を用いて、土岐花崗岩および堆積岩／土岐花崗岩不整合の地下水をそれぞれ約 200 リットル採取し、ろ過を行い、地下水から脂肪酸を回収した。

#### 3.3.3 今後の予定

##### (1)物質移行データベースの作成

東濃鉱山調査坑道内から掘削した試錐孔（KNA-6 号孔）からの湧水（土岐花崗岩および堆積岩／土岐花崗岩不整合）の水質連続モニタリングおよび採水、化学分析により、地下水の地球化学データを継続して取得する。併せて、ウランを含む堆積岩試料の化学・鉱物組成分析も継続し、岩石の地球化学・鉱物データを蓄積する。



これにより、地下水および岩石の地球化学データセットの拡充を図る。

(2)地下水中の有機物／微生物に関する調査研究

KNA-6 号孔の地下水から微生物を採取し、微生物の種類、存在量、および特定の微生物（硫酸還元菌および鉄酸化菌）の活性度に関する調査研究を継続する。

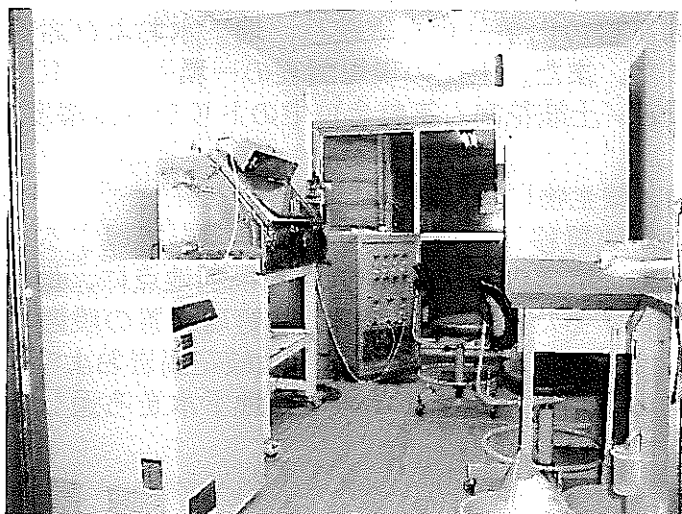


図 17 KNA-6 号孔掘削地点における微生物採取・分析用建屋

### 3.4 月吉断層に関する調査試験研究

#### 3.4.1 実施内容

堆積岩層浅部（明世累層）における月吉断層の地質学的特性を把握するために、東濃鉦山第2立坑第1計測坑道から掘削された試錐孔（99SI-08孔）の岩芯を用いて、下記の調査・研究を実施した（Milodowski, et al., 2001）。

- ①月吉断層および断層に付随する破碎帯の分布特性調査
- ②月吉断層および断層に付随する破碎帯の構造地質学的調査
- ③月吉断層および断層に付随する破碎帯の鉱物学的・地球化学的特性調査

#### 3.4.2 おもな成果

##### ①月吉断層および断層に付随する破碎帯の分布特性調査

99SI-08号孔の岩芯を詳細に観察した結果、明世累層における月吉断層主要部と断層に付随する破碎帯が確認された。図18に示すように、月吉断層は堆積岩層浅部においても2条の断層からなることが明らかとなり、1999年度までの土岐夾炭累層における調査結果（Gillespie, et al., 2000）から推察された月吉断層の分布特性を裏付けることとなった（Milodowski, et al., 2001）。

上位の断層においては、掘削長約17m付近に断層主要部が観察され、断層主要部に付随する破碎帯はほぼ対称的な層厚（上盤側≒15m, 下盤側≒18.3m）で分布しており、これまでに報告されている月吉断層の分布に整合的に連続している。一方、下位に観察される断層は、掘削長約52m付近に断層主要部が位置し、断層主要部に付随する破碎帯は十数mの層厚（上盤側≒16.7m, 下盤側≒10m）を有しており、東濃鉦山第2立坑周辺に掘削されたTH-1, 2, 3号孔およびTM-2号孔において土岐夾炭累層中に認められた断層岩の分布（Gillespie, et al., 2000）に連続すると推定される。なお、2条の断層とも断層主要部に近づくにしたがい、断層岩の分布密度が増加していることから、断層破碎帯の内部は均一ではないと考えられる。

##### ②月吉断層およびそれに付随する破碎帯の構造地質学的調査

99SI-08号孔の岩芯の巨視的観察および光学顕微鏡や電子顕微鏡などを用いた微視的な観察の結果、堆積岩層浅部における月吉断層は、これまでの調査結果と同様に大部分が逆断層系の変形構造を呈しており、引き続き生じた正断層系の変形作用により一部の断層岩が再動していることが明らかになった。ただし、この再動作用は月吉断層全域にわたるようなものではなく、2条ある断層のうち、上部の断層の、間隙水圧の上昇により破碎された箇所のみ特徴的に認められる（Milodowski, et al., 2001）。

##### ③月吉断層およびそれに付随する破碎帯の鉱物学的・地球化学的特性調査

X線回折法による構成鉱物の同定の結果、断層主要部にはスメクタイトを多量に含む粘土鉱物の充填が特徴的に認められた。主要な逆断層系の断層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、正断層系の再動を示す断層岩には

沸石の形成が観察される。したがって、主要な断層運動時には、200℃を超える熱水が断層内を循環し、一方、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。

### 3.4.3 今後の予定

#### (1)断層活動年代調査

月吉断層が確認されている既存試錐孔（TH-1, 2, 3 号孔、KNA-6 号孔、TM-2 号孔、98SE-01 孔、99SI-08 孔）において岩石試料を採取し、断層の充填鉱物について複数の手法（Rb-Sr 法、K-Ar 法、FT 法）による年代測定を行い、月吉断層が活動した年代を特定する。また、既存の年代測定技術の適用性に関する技術的検討を行う。

#### (2)月吉断層の地質学的性状に関する総合評価

今年度までの月吉断層に関する調査・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するとともに、深度依存性を考慮し、月吉断層および断層に付随する破碎帯の幾何学的形状およびその空間的分布、活動履歴、地下水の流動特性に及ぼす影響に関する総合評価を行う。

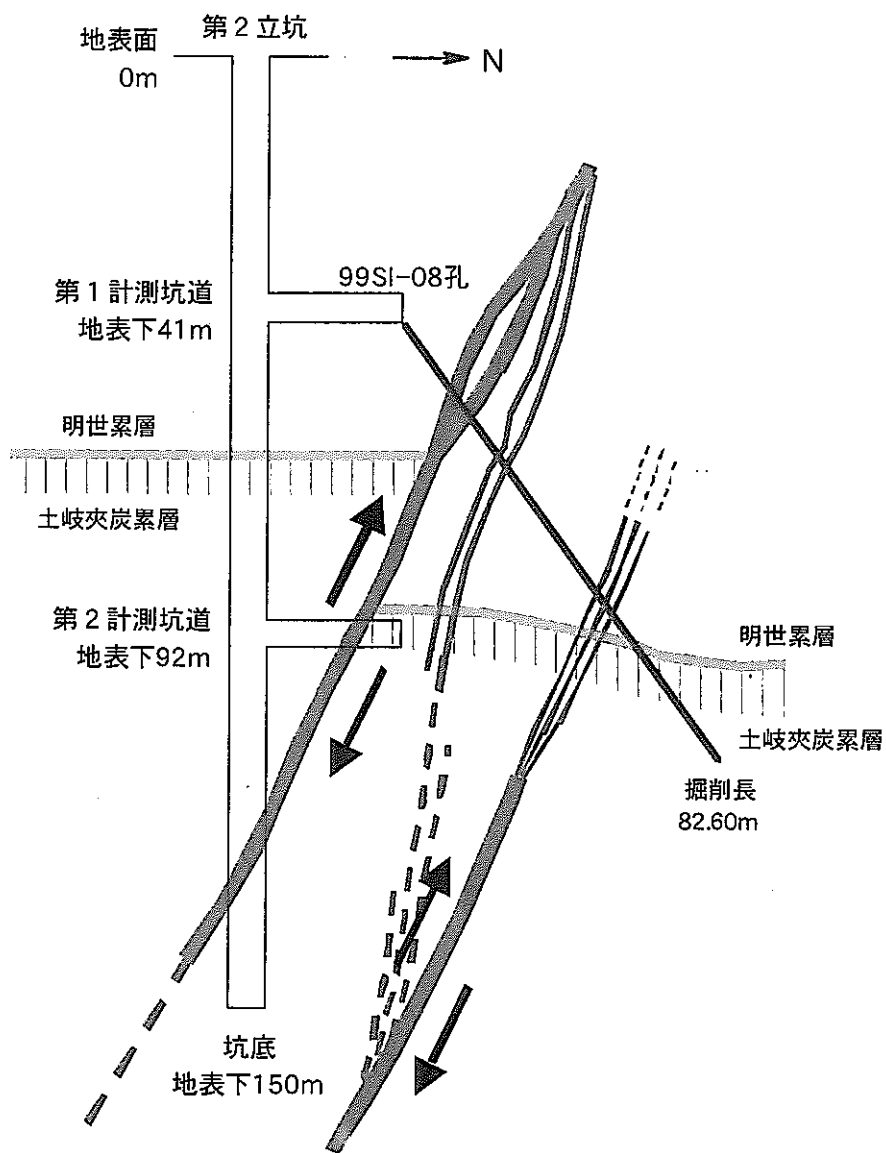


図 18 99SI-08 孔において観察された月吉断層の分布とその連続性

## 参考文献

動力炉・核燃料開発事業団（1996）：超深地層研究所地層科学研究基本計画．動燃事業団技術資料，PNC TN7070 96-002．

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.

石田 毅, 金川 忠 (1987) : 地殻応力測定結果にみられる岩盤の不均質性の影響. 地震第 2 輯, 40, pp.329-339.

核燃料サイクル開発機構 (1998) : 深地層研究所 (仮称) 計画 平成 10 年 10 月.

核燃料サイクル開発機構 (1999a) : 東濃鉱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 (1999b) : わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分技術的信頼性—地層処分研究開発第 2 次取りまとめ—. サイクル機構技術資料, JNC TN1410 99-020~024.

核燃料サイクル開発機構 (2000a) : 東濃鉱山における調査試験研究年度計画書 (平成 12 年度). サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2000-004.

核燃料サイクル開発機構 (2000b) : 不飽和領域の原位置計測手法の研究 (平成 11 年度). サイクル機構技術資料, JNC TJ7400 2000-004.

核燃料サイクル開発機構 (2001a) : 00SE-03 孔における水圧破碎法による初期応力測定. サイクル機構技術資料, JNC TJ7430 2001-001.

核燃料サイクル開発機構 (2001b) : 00SE-03 孔におけるボアホールテレビ観察. サイクル機構技術資料, JNC TJ7420 2001-003.

核燃料サイクル開発機構 (2001c) : 岩石用長期クリープ試験機の設計・製作. サイクル機構技術資料, JNC TJ7410 2001-001.

核燃料サイクル開発機構 (2001d) : 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, JNC TJ7400 2001-002.

核燃料サイクル開発機構 (2001e) : 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, JNC TJ7400 2001-003.

核燃料サイクル開発機構 (2001f) : 東濃鉱山における双設坑道の安定解析. サイクル機構技術資料, JNC TJ7400 2001-005.

核燃料サイクル開発機構 (2001g) : MIU-3 号孔における力学的特性調査結果及び正馬様用地における土岐花崗岩体の岩盤力学的概念モデル. サイクル機構技術資料, JNC TJ7420 2001-001.

核燃料サイクル開発機構 (2001h) : 不飽和領域の原位置計測手法の研究 (平成 12 年度). サイクル機構技術資料, JNC TJ7400 2001-001.

核燃料サイクル開発機構 (2001i) : 北延 NATM 坑道における間隙水圧計測システムの設置. サイクル機構技術資料, JNC TJ7440 2001-002.

Maeda,N., Sato,T., Matsui,H., and Sugihara,K. (1999) : Estimation of applicability of stress measurement methods and three dimensional stress state in soft sedimentary rock. In: Proceeding of The '99 Japan-Korea Joint Symposium on Rock Engineering, pp.277-284.

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.

Ota,K., Nakano,K., Metcalfe,R., Ikeda,K., Goto,J., Amano,K., Takeuchi,S., Hama,K. and Matsui,H. (1999) : Working programme for MIU-4 borehole investigations. JNC Technical Report, JNC TN7410 99-007.

杉原弘造, 亀村勝美, 二宮康郎 (1998) : 堆積軟岩での発破による掘削影響の現場計測に基づく検討. 土木学会論文集, No.589, III-42, pp.239-251.