

JNC TN7420 2001-001

**MIU-3号孔における力学特性調査結果及び
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**

平成12年10月

核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター
地質環境特性研究グループ

MIU-3 号孔における力学特性調査結果及び 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

松井裕哉*、前田信行*、吉川和夫*

要旨

本調査は、岐阜県瑞浪市月吉地区に分布する土岐花崗岩を対象とした超深地層研究所計画の地表からの調査の一部として平成 11 年度に実施したものである。その目的は、地表からの調査段階における初期的な岩盤力学的概念モデルを構築すること、超深地層研究所の設計に必要な力学的特性を把握すること、の 2 点である。

MIU-3 号孔における調査は、大きく室内試験と原位置試験に分かれる。室内試験としては、コアを用いた物理試験と力学試験ならびに AE 法による応力測定を地表～深度 1000m の範囲で実施した。原位置試験としては、水圧破碎法による初期応力測定を実施した。また、同孔で得られた調査結果と既存の調査結果を比較・検討し、正馬様用地における土岐花崗岩体の岩盤力学的特性の総合的評価を試みた。結果の概要は以下の通りである。

- ・ MIU-3 号孔のコアを用いた室内試験等の結果から、鉛直方向に 3 つの異なる物性を有するゾーンが存在することが推定された。すなわち、地表 深度 300m 程度、300 600m 程度、800m 以深であり、月吉断層に付随する割れ目帯を除く上盤側の岩体（深度 600m 以浅）では、2 つの物性ゾーンに分けられる。月吉断層に付随する割れ目帯を除く深度 800m 以深は、月吉断層下盤側の岩体であるが、岩石マトリックス部の物理・力学物性は上盤側岩体のそれとほぼ同等と考えられる。
- ・ MIU-3 号孔における初期応力測定の結果では、水平面内の主応力値は、深度 500m までは、深度増加とともにほぼ線形的に増加するが、深度 500m～断層までの区間では減少する傾向を示す。さらに断層下盤側の岩体で測定された主応力値は上盤側に比べて小さい。水平面内の最大主応力方向については、深度 136.5m 地点で東西方向になっているが、それ以深では NNW-SSE NW-SE 方向となっており極端な変化は見られない。鉛直応力については、断層下盤側の岩体では土被り圧よりも小さい可能性がある。
- ・ 既存の調査結果（AN-1,MIU-1 及び MIU-2 号孔）との比較により、既に構築した月吉断層上盤側の岩体の岩盤力学的概念モデルは、MIU-3 号孔の地点においても整合性があると判断される。また、東濃鉱山及び広域地下水流動研究における調査結果を加味し、新たに月吉断層下盤側の岩盤力学的概念モデルを提案した。断層下盤側の岩体の力学特性は、上盤側のそれよりも良好であると考えられるが、応力状態は上盤側に比べて小さいことが推定される。これらの月吉断層上盤側及び下盤側岩体の概念モデルを合わせ、正馬様用地における岩盤力学的概念モデルを構築した。

The results of the geomechanical investigations in the MIU-3 borehole and the conceptual geomechanical model of the Toki granite in Shobasama area

Hiroya MATSUI*, Nobuyuki MAEDA* and Kazuo YOSHIKAWA*

Abstract

Geomechanical investigations have been carried out since 1998 in 1000m depth surface boreholes as surface-based investigation phase in Mizunami Underground Research Laboratory(MIU) project. The objectives of the investigation are: to develop the conceptual geomechanical model in this phase of MIU project, to obtain mechanical data on the Toki granite for design of the underground research laboratory.

The geomechanical investigations in MIU-3 borehole were carried out in 2000 and focused on the major reverse fault, Tuki-yoshi fault intersected at approximately 700m depth in MIU-3 borehole.

The investigations consist of three parts:

- Laboratory tests to determine the mechanical properties of the rock matrix
- Stress measurement in the laboratory using the AE method
- In-situ stress measurement using the hydraulic fracturing

This report describes the results of the geomechanical investigations in the borehole and laboratory. Additionally, integration of the geological, geophysical and geomechanical investigations in AN-1, MIU-1, MIU-2 and MIU-3 boreholes is attempted to establish a conceptual geomechanical model of the Toki granite. The results are summarized as follows:

- In MIU-3 borehole, the distribution of the mechanical properties in the granite changes with depth in definable sections from the top of the granite to 300m, from 300 to 600m and over 800m. The hanging wall of the Tuki-yoshi fault (to 600m depth)can be divided into two section. The mechanical properties of the granite in foot wall of the fault is estimated with similar properties of the granite in hanging wall of the fault. The results of the seismic velocity measurements of the cores in two dimension show that the degree of the anisotropy in the rock matrix are different between the hanging and the foot wall of the fault.

- In MIU-3 borehole , the vertical component of stress tensors is changing near the Tuki-yoshi fault and it is lower than the overburden pressure in the foot wall of the fault. The variation of the horizontal stress magnitude is increasing linearly with depth until 500m depth. The horizontal stress magnitude in the foot wall of the fault is remarkably low. The directions of maximum principal stresses from 300 to 1000m depth is seems to be almost NNW-SSE. However , it is possibly rotated in the hanging wall of the fault if the measured seismic velocity on core correlate with stress magnitude .

- The results of geomechanical investigation in MIU-3 borehole are consistent with the existing conceptual geomechanical model on Toki granite in the hanging wall of Tuki-yoshi fault. The first conceptual mechanical model in the foot wall of the fault is developed based on the results of mechanical investigation in MIU-3 borehole , Tono mine and regional scale including Shobasama area as well.

* Japan Nuclear Cycle development institute (JNC)
Tono Geoscience Center Geoscience Research Group

目次

| | ページ |
|---|-----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 目的 | 1 |
| 3. 調査位置及び地質構造 | 1 |
| 4. MIU-3号孔における力学特性に関する調査項目 | 5 |
| 5. MIU-3号孔における力学特性調査結果 | 7 |
| 5.1 室内試験結果 | 7 |
| 5.2 弾性波速度測定による土岐花崗岩の異方性に関する室内試験結果 | 14 |
| 5.3 初期応力測定結果 | 18 |
| 5.4 MIU-2号孔における力学特性調査結果のまとめ | 23 |
| 6. 考察 | 24 |
| 6.1 既存試験孔(AN-1,MIU-1,MIU-2号孔)における力学特性調査結果との比較 | 24 |
| 6.2 地質構造と岩盤物性値及び応力状態との関係について | 36 |
| 6.3 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について | 38 |
| 7. まとめ | 50 |
| 8. 参考文献 | 51 |

1.はじめに

核燃料サイクル開発機構は、岐阜県瑞浪市正馬様用地にて超深地層研究所計画を実施している。現在、この計画は、地表からの調査を実施している段階であるが、地表からの調査項目の一つとして正馬様用地内に分布する土岐花崗岩の岩盤力学的特性に関する調査がある。この調査の目的は、超深地層研究所の建設が予定されている正馬様用地内の土岐花崗岩体の力学特性を把握し、同研究所の設計・施工に反映することおよび地表からの調査～評価～解析～検証という一連の流れを通じて、岩盤力学的調査手法の体系化を図ることである。

本資料は、岩盤力学的調査の一環として、平成11年度に実施した MIU-3 号孔における力学特性調査結果^{1),2)}および MIU-1 号孔の岩石コアを用いた土岐花崗岩マトリックス部の力学的異方性に関する室内試験結果をとりまとめたものである。さらに、既報告の AN-1,MIU-1, MIU-2 号孔の調査結果³⁾と今回の MIU-3 号孔及び MIU-1 号孔のコアを用いた調査試験結果を総合的に評価し、正馬様用地内の土岐花崗岩体の岩盤力学的概念モデルを更新した結果についても述べる。

2.目的

本調査の目的は、以下の2点である。

地表からの調査段階における初期的な岩盤力学的概念モデルを構築する。

超深地層研究所の設計に必要な力学的特性を把握する。

MIU-3 号孔における力学特性調査は、超深地層研究所の研究坑道が展開される可能性があり、かつデータがほとんど取得されていない月吉断層下盤側の岩盤の力学的特性を把握することを主目的として実施した。

3.調査位置及び地質構造

調査対象領域は、岐阜県瑞浪市に位置する正馬様用地である(図3.1)。調査対象領域は、表層部(層厚は数m~100m程度)に新第三紀の堆積岩が分布し、それ以深は基盤となる土岐花崗岩より構成されている。既存の調査結果及びこれまでに掘削した深度1000mの鉛直下向き試錐孔(AN-1号孔,MIU-1号孔,MIU-2号孔)における調査結果に基づき構築された現段階での地質構造概念モデル⁴⁾を図3.2に示す。既存の調査結果から、調査領域の土岐花崗岩体は、黒雲母花崗岩と優白色花崗岩で構成されており、堆積岩との不整合面

近傍で相対的に高透水性の花崗岩風化部が水平方向に連続的に存在することが推定されている。黒雲母花崗岩の部分では、深度 300 700m 程度の領域で相対的に低透水性のゾーンが存在すること、月吉断層沿いには 100m 程度の幅の破碎帯の存在が推定されている。MIU-3 号孔は、正馬様用地の北側境界付近に掘削された鉛直下向きの試錐孔であり、深度 693.2 719.3m の位置で月吉断層と交差している¹⁾。

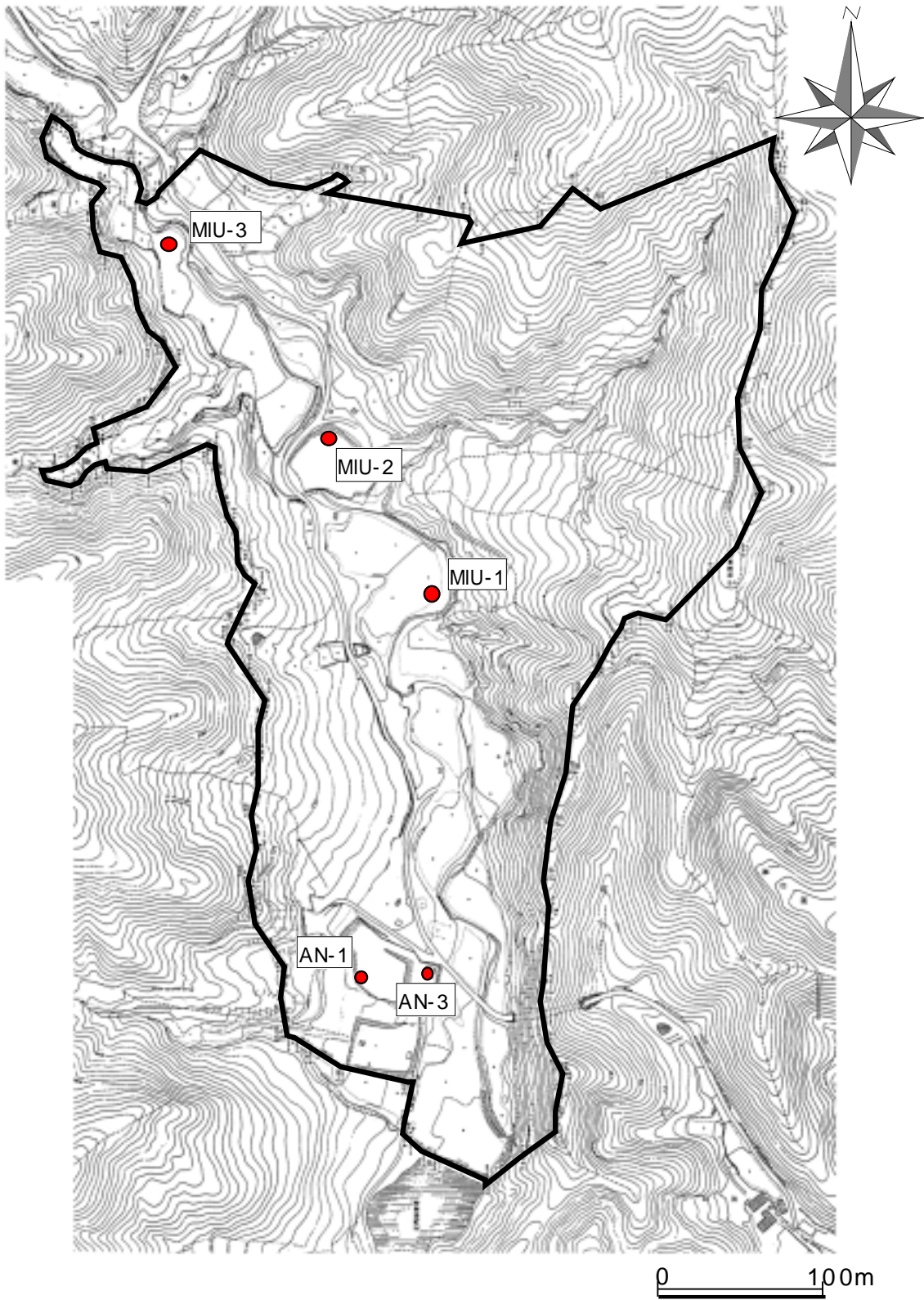


図 3.1 正馬様用地及び試錐孔位置図

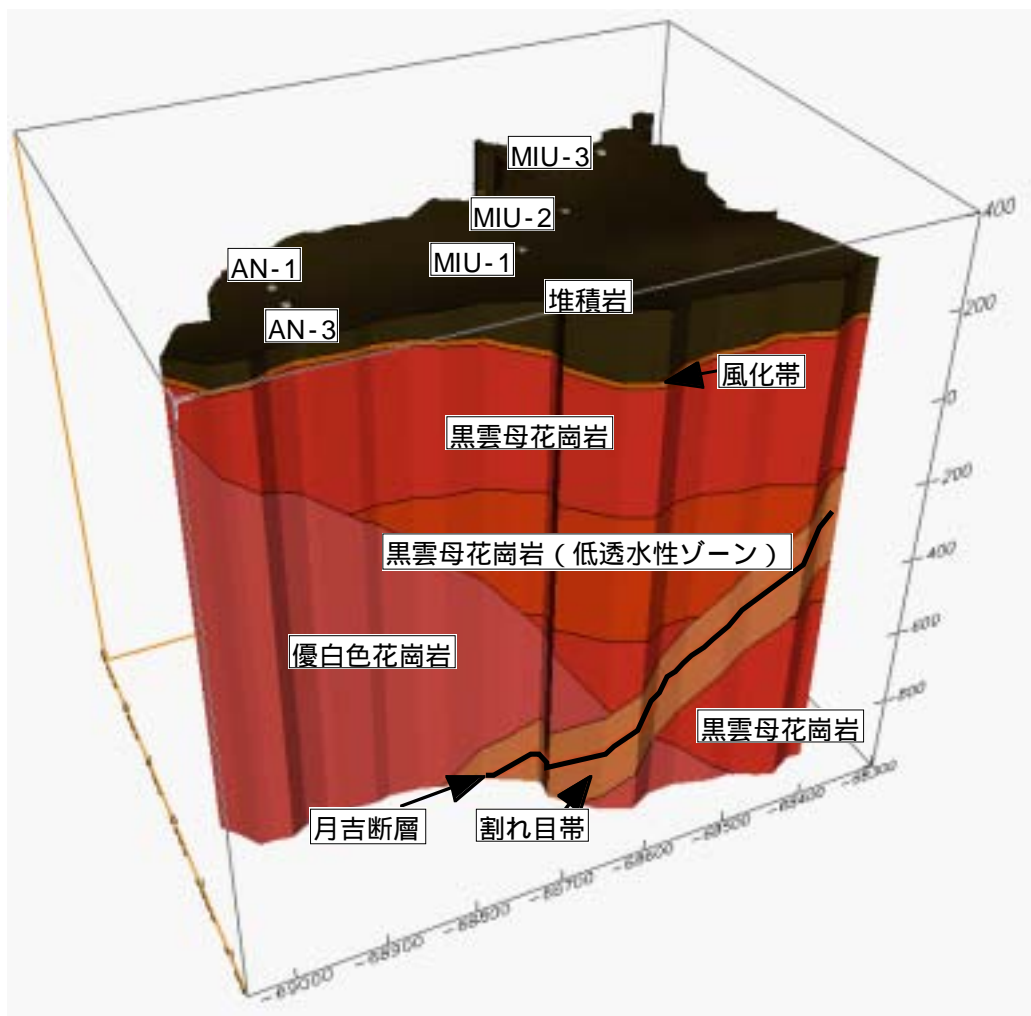


図 3.2 正馬様用地における地質構造の概念図

4.MIU -3 号孔における力学特性に関する調査項目 ^{1),2)}

MIU-3 号孔における力学特性調査として、以下の項目を実施した。

- ・室内物理・力学試験（室内）
- ・初期応力測定（室内、原位置）

供試体のサンプリングは、MIU-1,2 号孔と同様ほぼ 100m ピッチでサンプリングを実施し、物理試験・力学試験及び熱特性試験を実施した。また、水圧破碎試験時にも水圧破碎試験深度と同一箇所から供試体のサンプリングを実施し弾性波速度測定を行った。なお、この測定においては、岩石の異方性とそれが水圧破碎法による初期応力測定結果に及ぼす影響を検討するため、コア軸方向並びに半径方向の弾性波速度測定を実施している。試験手法等の仕様を表 4.1 に示す。

表 4.1 MIU-3 号孔における室内物理試験及び力学試験の仕様一覧

| | 試験名 | 試験項目 | 試験仕様 | 数量 | 備考 |
|-------------|------|-------------------|--|-----------------|--------------------------------|
| 試錐 調査時 | 物理試験 | 空隙率 | ISRMの指針に準拠 | 40 | 一軸、三軸圧縮 試験供試体 |
| | | 含水比 | ISRMの指針に準拠 | 40 | |
| | | カサ比重 | ISRMの指針に準拠 | 40 | |
| | | 見かけ比重 | ISRMの指針に準拠 | 40 | |
| | | 弾性波速度測定 (P,S波) | 受発信子 100kHz | 40 | |
| | 力学試験 | 一軸圧縮試験 | 変位制御(0.1%/min) 軸ひずみ、横ひずみは ひずみゲージにより測定 JIS規格（一軸、圧 裂）及びISRM指針に 準拠（三軸） | 10 | |
| | | 圧裂試験 | | 10 | |
| | | 三軸圧縮試験 | | 10深度× 3試料=30 | 側圧： 10,20,30MPa |
| 水圧破碎 試験時 | 試験名 | 試験項目 | 試験仕様 | 数量 | 備考 |
| | 物理試験 | 弾性波速度測定 (P,S波) | 受発信子 200kHz 測定方向：コア軸方 向。コア周方向 (22.5°ピッチ) | 10 | 水圧破碎試験 深度に合わせてサンプリ ングを実施 |

* 上表以外の室内試験として、熱特性試験(熱伝導率測定、比熱容量測定、熱膨張率測定)も実施

初期応力測定に関しては、原位置試験として地表～深度 1000m までの範囲で水圧破碎

法による応力測定を、室内試験として岩石コアを用いた AE 法及び DRA 法による鉛直方向の初期応力測定を実施した。本測定では、断層付近及び断層下盤側の応力状態を把握することを主目的とした。表 4.2 に適用した各初期応力測定の仕様を示す。

表 4.2 初期応力測定仕様一覧

| 測定手法 | 目的 | 使用機器 | 備考 |
|---------|----------------------|---|---|
| 水圧破碎法 | 水平面内の応力状態を二次元的に把握する。 | ストラドルパッカー 1本 (ウレタンゴム製、耐圧30MPa) インプレッションパッカー 1本 (ウレタンゴム製、耐圧30MPa) ケーブルウインチ 1台 (1.5kW、1000m対応) 高圧ポンプ 3台 (JHP-500W、3.5 l/min35MPa) 制御システム(パソコン) 1台 (PC-9801T) A/Dコンバーター 1台 (ADC-116C) シグナルコンディショナー 1台 (CDA-230C) 圧力変換器 1台 (PGM-500KD、測定範囲49.0MPa) 流量計 1台 (MP-MCF-SLE、測定範囲 6.0 l/min) 坑井方位傾斜儀計 1台 (TYPE-SS、最小読み取り誤差1°) | 試験箇所：10点 122.0m、266.0m、 338.0m、462.0m、 509.0m、589.0m、 847.0m、858.0m、 946.0m、98.0m |
| AE/DRA法 | 鉛直土被り方向の応力状態を把握する。 | スクリュードライバー式材料試験機 1台 (インストロンジャパン製、8500PLUS、 容量10tf) AE計測器 1台 (トランスデューサー500kHz共振型、 プリアンプ40dB固定) ひずみ測定器 1台 制御システム(パソコン) 1台 ロードセル 1台 ひずみゲージ 4枚 | 試験箇所：10箇所 602.15～602.29m、 626.00～626.12m、 661.62～661.88m、 697.54～698.45m、 754.45～754.67m、 799.00～799.12m、 850.70～850.82m、 905.43～905.55m、 949.00～949.12m、 1002.60～1002.72m ローパスフィルター:500kHz 供試体上下のエンドピース内にAEセンサーを入れ、位置評定やノイズ除去などを行い、供試体中央部から出てくるAEのみを検出する。 試料採取後3日以内に測定を実施 DRA法による応力測定もあわせて実施 |

5.MIU-3号孔における力学特性調査結果

5.1 室内試験結果¹⁾

1)物理試験結果

図 5.1.1 は、取得した各物性値と深度との関係を示したものである。既存の調査結果の整理法と同様、取得した各物性値と深度の関係をより明確にする観点で、4次多項式による近似曲線も図中に並記した。

バラツキの大きい箇所も見られるが、各物性値の分布範囲は概略下記の通りである。

| | | | | |
|-------|---|------|---------------------|------------------|
| 比重 | : | 2.61 | 2.65 | |
| 有効空隙率 | : | 1.2 | 1.7% | |
| 含水比 | : | 0.45 | 0.65% | |
| 弾性波速度 | : | 5.4 | 6.0km/sec(波速度), 3.0 | 3.5km/sec (S波速度) |

既存の調査結果により月吉断層は、それに付随する割れ目帯（割れ目帯幅は、月吉断層上下部でそれぞれ 100m 程度）を伴うことがわかっている。このため、MIU-3 号孔における月吉断層本体部の位置（深度 693.2 719.3m）から上・下部 100m 程度の領域を除く部分を、断層の影響範囲外の土岐花崗岩と捉えることとする。この前提と、図 5.1.1 の結果から、MIU-3 号孔掘削地点における土岐花崗岩の物理物性は、深度方向に異なる変化傾向を有する 3 つのゾーンに区分できると考えられる。すなわち、地表～深度 300m 程度、深度 300 600m 程度、深度 800m 以深である。各ゾーンには以下のような特徴が見られる。

ゾーン 1: 地表～深度 300m 程度

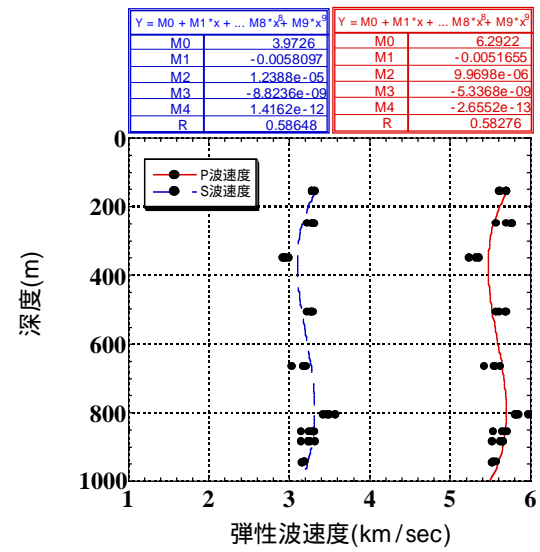
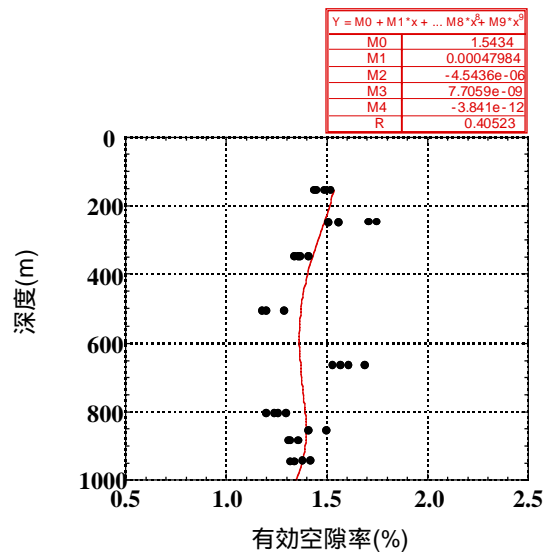
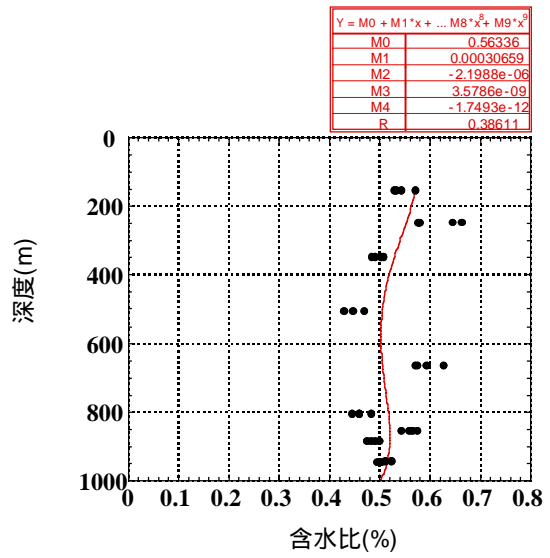
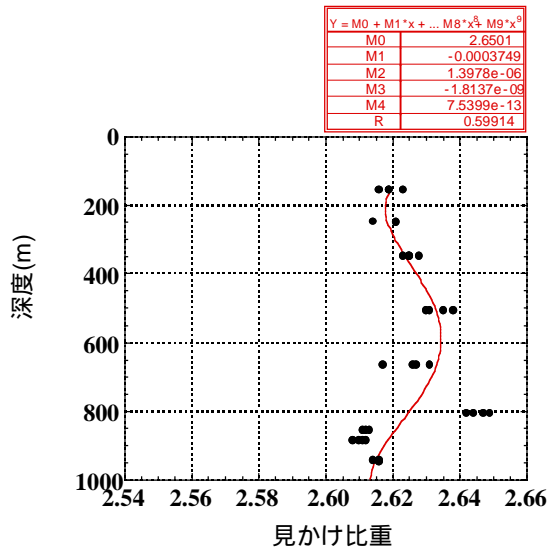
試験点数は少ないものの、含水比、有効空隙率は深度の増加により若干増加する傾向がある。見かけ比重及び弾性波速度については深度方向の変化は認められない。

ゾーン 2: 深度 300m 程度

深度増加に伴い、見かけ比重は増加し有効空隙率と含水比は減少する傾向が認められる。弾性波速度については深度方向の明確な変化は認められない。

ゾーン 3: 深度 800m 以深

各物性値は、それ以浅の領域の値から比べると不連続的に変化している。全体的には深度の増加に伴い有効空隙率と含水比は増加し、弾性波速度は低下するように見えるが、その変化の程度は小さい。



礫石の物理物性とその深度方向の変化(MIU-3号孔)

2)力学特性

図 5.1.2(a)、5.1.2(b)に試験結果を示す。各物性値の分布範囲は概略下記の通りである。

| | |
|-------------------|---------------|
| 静弾性係数(E_{50}) | : 20 ~ 62GPa |
| 一軸圧縮強度 | : 50 ~ 200MPa |
| ポアソン比 | : 0.3 ~ 0.4 |
| 粘着力 | : 20 ~ 50MPa |
| 内部摩擦角 | : 48 ~ 60° |

力学特性についても、物理特性の区分と同様に 3 つの物性ゾーンに区分できると考えられる。すなわち、地表～深度 300m 程度、深度 300 ~ 600m 程度、深度 800m 以深の領域である。以下、各ゾーンの特徴を記す。

ゾーン 1: 地表～深度 300m 程度

静弾性係数や一軸圧縮強度、ポアソン比については、深度の増加に伴い若干の増加が認められる。圧裂引張強度と内部摩擦角については減少している。

ゾーン 2: 深度 300 ~ 600m 程度

静弾性係数、ポアソン比、一軸圧縮強度、粘着力、内部摩擦角については深度方向の変化がないのが特徴的である。圧裂引張強度のみ若干深度とともに増加する傾向を示す。

ゾーン 3: 深度 800m 以深

深度増加に伴う物性値の変化が顕著である。静弾性係数、一軸圧縮強度、ポアソン比、粘着力は深度とともに増加しており、圧裂引張強度は逆に低下している。内部摩擦角については深度方向の変化はほとんどない。

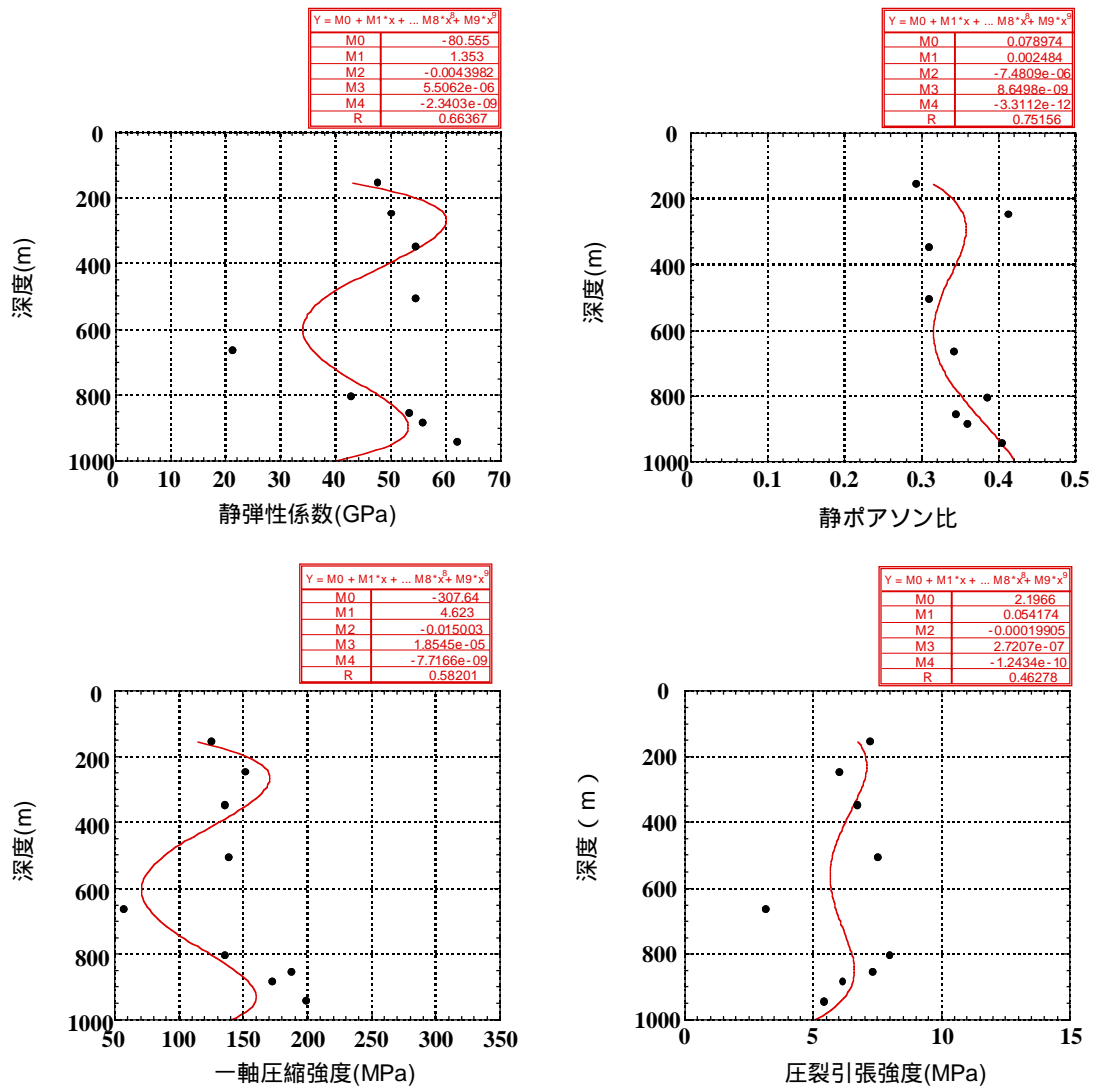


図 5.1.2(a) 岩石の力学物性とその深度方向の変化

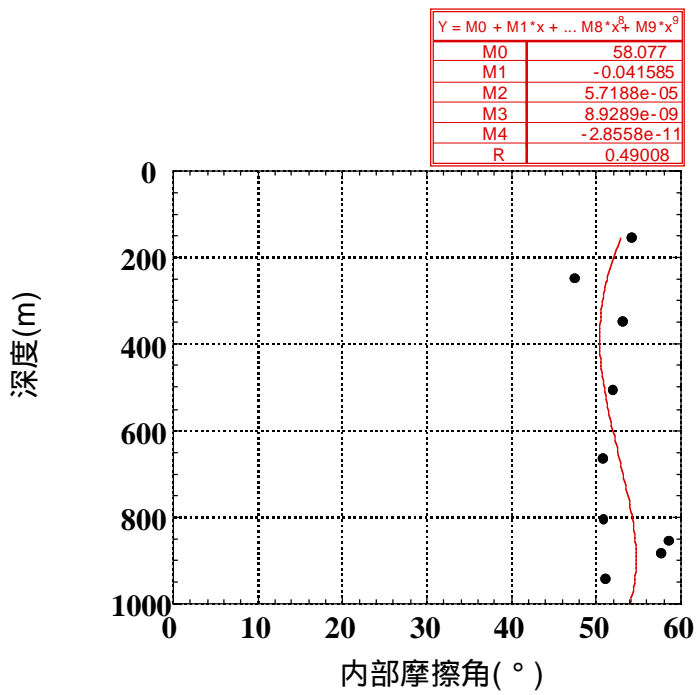
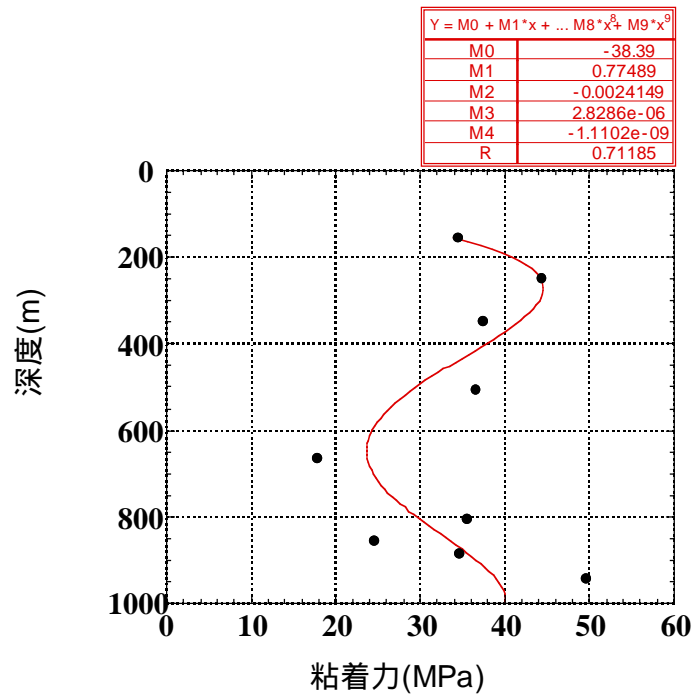


図 5.1.2(b) 岩石の力学物性とその深度方向の変化

3) 各物性値間の相関性

図 5.1.3(a), 5.1.3(b)に測定した物理物性と力学物性の相関性を検討した結果を示す。これまでの試錐孔調査と異なり、物理物性（見かけ比重、有効空隙率）と力学物性（静弾性係数、ポアソン比、一軸圧縮強度）はほとんど相関性がない。相関係数が相対的に高い（ $R=0.5$ 以上）ものは、静弾性係数(E_{50})と一軸圧縮強度の関係のみであった。

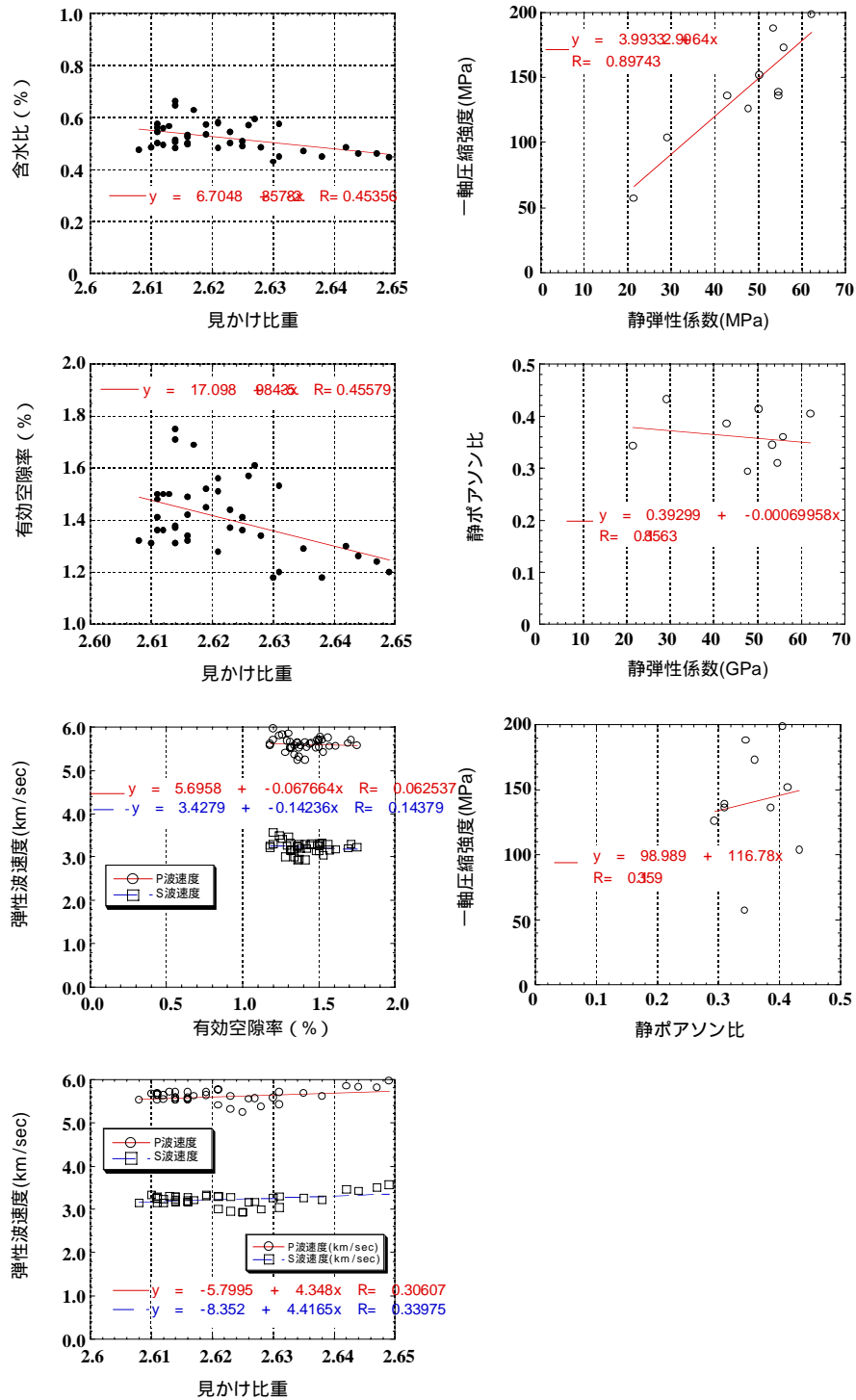


図 5.1.3(a) 各物性値の相関性の検討結果

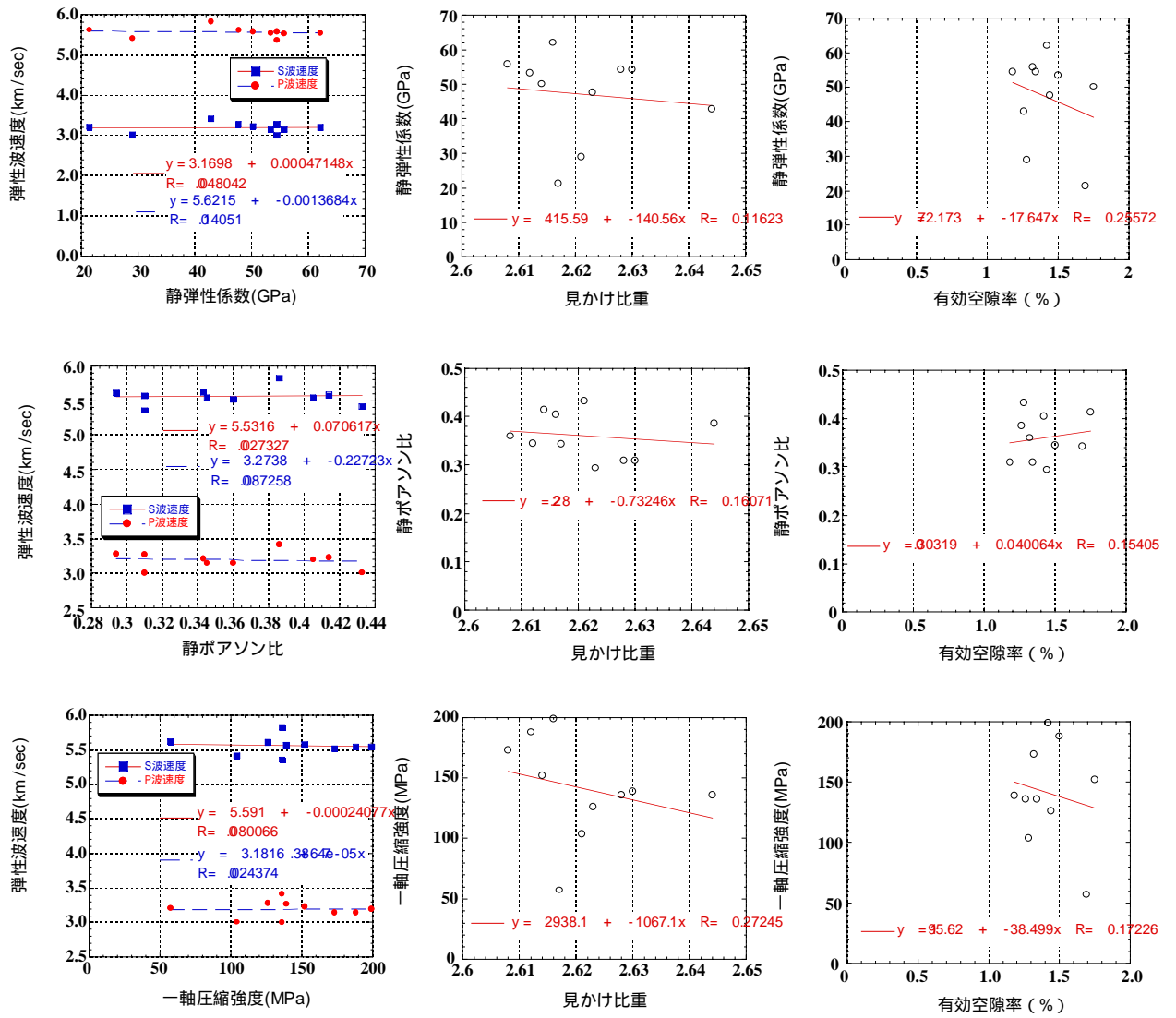


図 5.1.3(b) 各物性値の相関性の検討結果

5.2 弾性波速度測定による土岐花崗岩の異方性に関する室内試験結果⁴⁾

1) コア軸方向および半径方向の弾性波速度測定結果

MIU-3 号孔では、MIU-2 号孔と同様に水圧破碎試験を実施した深度とほぼ同一深度から岩石コアを採取し、試錐孔軸方向の弾性波速度測定（P 波）に加え、コア半径方向の弾性波速度を 22.5° ピッチで全周にわたり測定した。なお、今回は BTV 観察結果を用いて採取した岩石コアの方位を同定している。

測定結果を図 5.2.1 に示す。同図は、コア軸方向と直交する平面内でコアの中心を通過して伝播する P 波速度の分布である。横軸はコアの側面に設けた任意の基準点から時計回りに計った測線までの回転角を示す。また、破線は、コア軸方向の弾性波速度を示す。

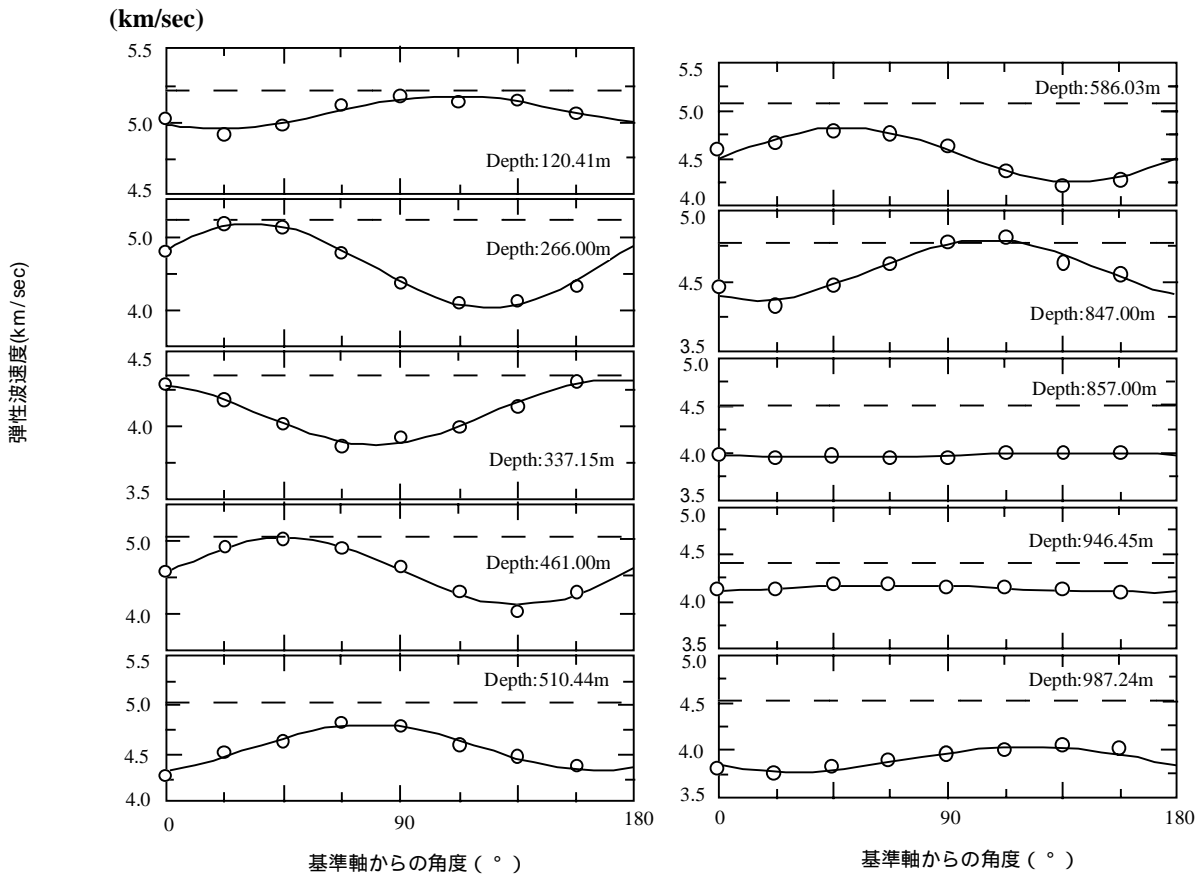


図 5.2.1 MIU-3 号孔の岩石コアを用いた室内弾性波速度測定結果
 (破線：軸方向の弾性波速度、○：岩石コア周方向の測線で測定した弾性波速度)

同図より、各深度において採取されたコアの半径方向の弾性波速度分布は、周期 180° の速度異方性を有することが読みとれる。表 5.2.1 は、半径方向に測定したコアの弾性波速度分布をサインカーブにより最小自乗近似した時の最大・最小値を示している。P 波速度の

最小値 $V_{p_{min}}$ と最大値 $V_{p_{max}}$ は 3.87 5.17km/sec の範囲に分布している。MIU-2 号孔の結果と異なる特徴は、断層下盤側の深度 857m より深い部分では水平面内の速度異方性の程度が非常に小さくなっていることである。

表 5.2.1 弾性波速度測定結果一覧

| 採取深度 (m) | V_{p_v} (km/s) | $V_{p_{min}}$ (km/s) | $V_{p_{max}}$ (km/s) | $((V_{p_{max}}/V_{p_{min}})-1) \times 100$ (%) | $V_{p_{min}}$ の方位(°) |
|----------|------------------|----------------------|----------------------|--|----------------------|
| 120.41 | 5.21 | 4.96 | 5.16 | 4.0 | 10.9 |
| 266.00 | 5.20 | 4.00 | 5.17 | 29.4 | -41.1 |
| 337.15 | 4.33 | 3.87 | 4.29 | 11.1 | 73.8 |
| 461.00 | 5.02 | 4.09 | 5.04 | 23.2 | -48.6 |
| 510.44 | 5.01 | 4.31 | 4.79 | 11.2 | -0.7 |
| 586.03 | 5.06 | 4.24 | 4.82 | 13.5 | -24.5 |
| 847.00 | 4.76 | 4.37 | 4.78 | 9.2 | -22.2 |
| 857.00 | 4.48 | 3.95 | 4.00 | 1.3 | 44.4 |
| 946.45 | 4.40 | 4.10 | 4.17 | 1.7 | -27.2 |
| 987.24 | 4.50 | 3.79 | 4.04 | 6.8 | 7.1 |

* $V_{p_{min}}$ の方位は、磁北から時計回りの角度を示す

MIU-3 号孔における深度と水平面内の $(V_{p_{max}}/V_{p_{min}}-1)$ の関係は図 5.2.2 のようになる。この図においても、速度異方性の程度は、月吉断層上盤側と下盤側で異なっていることが読みとれ、その程度は深度 600m 以深が 600m より浅の領域よりも相対的に小さい。全体的な速度異方性の分布傾向を見ると、深度 600m を境にして速度異方性は約 10%以下に不連続的に減少する傾向が認められる。

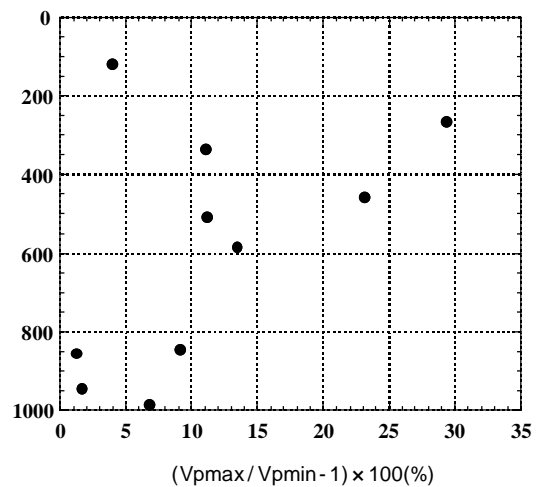


図 5.2.2 $V_{p_{max}}/V_{p_{min}}$ の深度変化

次に $V_{p_{max}}$, $V_{p_{min}}$ およびコア軸方向で測定した V_{p_v} の関係を示したものを図

5.2.3 に示す。各速度の大きさを比較すると、深度 461 及び 847m の 2 深度は、 $V_{p_{max}} > V_{p_v}$

$V_{p_{min}}$ であり、他の 8 深度では $V_{p_v} > V_{p_{max}}$ である。一般に、弾性波速度の異方性は、コア内部のマイクロクラックの配向性に起因して生じると考えられるため、 V_{p_v} が $V_{p_{max}}$ 以上である場合は、地下深部の高応力状態から大気圧下に解放された岩石コアにおいて、内

部のマイクロクラックが水平面内よりも鉛直面内で発達していることを示していると判断される。これは、MIU-2 号孔における測定結果と同様、MIU-3 号孔の地点においても土岐花崗岩が垂直方向に異方性の主軸を有する横等方性岩石の性質を有することを示している。しかし、図 5.2.1 および 5.2.2 の結果は、断層上盤側と下盤側では水平面内の異方性の程度は、大きく異なることを示唆している。これは、断層下盤側は断層上盤側に比べ水平面内の速度異方性がない、すなわち最もマイクロクラックが発達しているのは鉛直面内であるが、水平面内のマイクロクラックの分布特性はあまり変わらないことが想定される。

一方、岩盤内部の初期応力の急激な解放に伴って生じるマイクロクラックの発達や既存のマイクロクラックの伸長を仮定して、岩石に静水圧をかけたときのひずみテンソルから初期応力を推定する方法として DSCA(Differential Strain Curve Analysis)法がある。この方法では、主応力方向に垂直にクラックが生じ、その量は主応力の大きさに比例すると仮定している。ここで測定した $V_{p_{max}}$, $V_{p_{min}}$ および V_{p_v} は、コアの内部の配向性マイクロクラックの分布に関する情報を含んでいると考えられるので、もしも DSCA 法の仮定が正しくかつ主応力軸の方向の一つが試錐孔軸の方向と大きく違わなければ、初期応力状態が $H > h > v$ の逆断層型のときは $V_{p_v} > V_{p_{max}} > V_{p_{min}}$ 、 $H > v > h$ の横ずれ断層型の時は、 $V_{p_{max}} > V_{p_v} > V_{p_{min}}$ 、 $v > H > h$ の正断層型のときは $V_{p_{max}} > V_{p_{min}} > V_{p_v}$ となることが想定される。ここでは、鉛直応力を土被り圧を等しいと仮定し、後述する水圧破碎法による測定結果(図 5.3.2)との比較を行う。

まず、図 5.2.3 を見ると、深度 461m と 847m を除く 8 深度から得られた岩石で V_{p_v} が最も大きく、ほとんどのコアは逆断層型に対応する。このうち、510.44m より浅い所から採取された岩石コアの速度異方性は、後述する水圧破碎法による測定で得られた初期応力環境と対応する。MIU-3 号孔は深度 693.2 719.3m の位置で月吉断層と交差しているため、断層上盤側の領域は逆断層型の応力環境になっていることが推定され、この結果は既存の調査結果と矛盾しない。

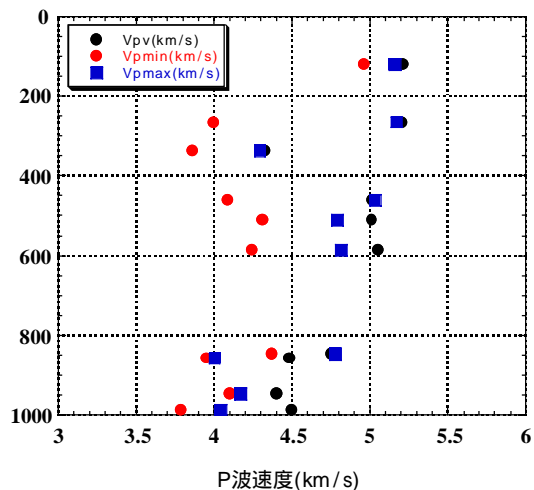


図 5.2.3 コア軸方向の弾性波速度(V_{p_v})と水平面内の最大・最小弾性波速度($V_{p_{max}}$, $V_{p_{min}}$)の深度変化

一方、深度 857m 以深では、水圧破碎法により測定された応力環境は正断層型であり、コアの速度異方性から推定される応力環境(逆断層型)とは対応していない。しかし、後

述する AE/DRA 法による鉛直応力測定結果では、断層下盤側の領域において測定された鉛直応力成分が土被り圧より小さい可能性があることを示す結果となっていることを考慮すると、深度 857m 以深においてコアの速度異方性と原位置測定結果で得られた応力環境が一致しないとは現時点では言い切れない。すなわち、原位置の応力状態において鉛直面内のマイクロクラックが卓越しており、かつ鉛直応力が小さい場合は、応力解放によって生じる水平面内のマイクロクラックが少ないため、結果として V_{p_v} が最も大きくなる関係が成立する可能性があるためである。

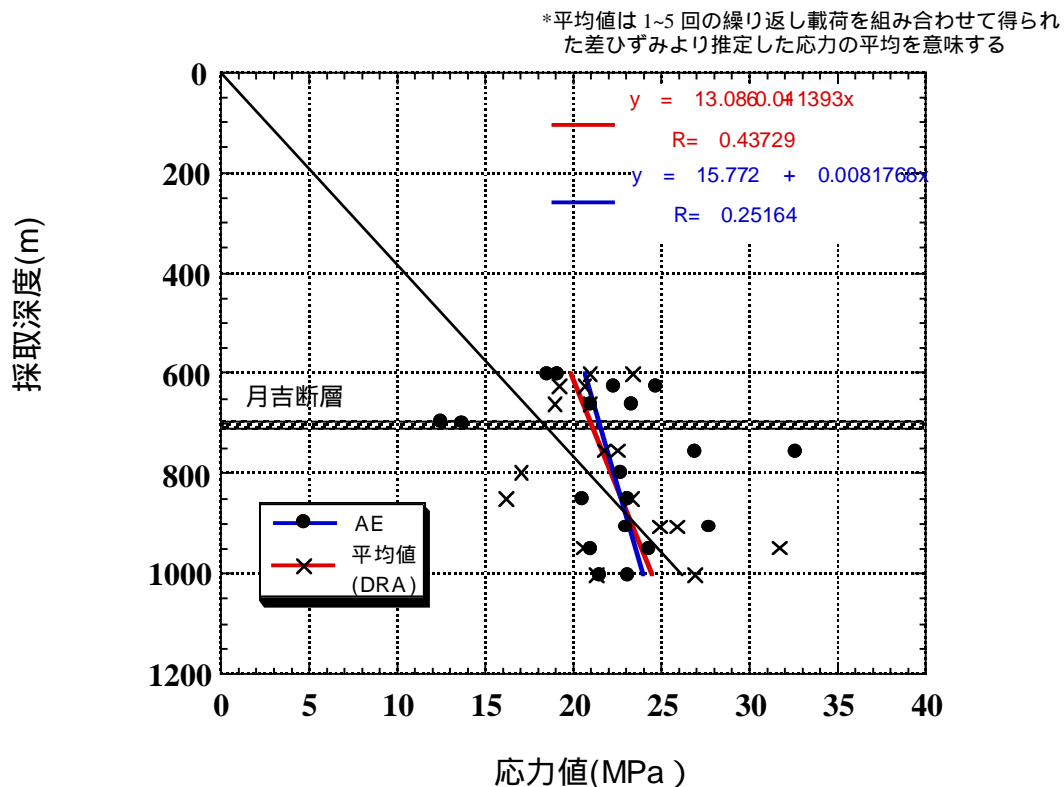
5.3 初期応力測定結果

1)室内測定結果¹⁾

MIU-3 号孔では、初期応力の鉛直方向応力成分の深度分布を把握するため、MIU-1,MIU-2号孔と同様に AE/DRA 法による応力測定を実施した。図 5.3.1 に AE 法及び DRA 法から算定された鉛直方向の初期応力分布を示す。AE 法による測定は、カイザー効果の時間依存性⁸⁾を考慮し、コア採取後 2 ~ 3 日以内に測定を終了するよう配慮した。

MIU-3 号孔における AE 法の結果のばらつきは、同一深度で比較すると DRA 法よりも小さい。このため、評価は、主として AE 法の結果を用いて行う。

AE 法の結果では、断層直上と直下において急激な応力変化が認められる。また、単位体積重量から想定される推定土被り圧と比較すると、月吉断層上盤側では土被り圧より大きくなっているが、断層下盤側の深度 900m 地点以深は土被り圧より小さい。また、鉛直方向の初期応力の深度勾配は、推定土被り圧から想定される深度勾配と比べると小さい。このような変化は、MIU-3 号孔地点の断層近傍 ~ 断層下盤側における鉛直応力が、単純に重力に起因する地圧成分のみで発生していないことを示唆していると考えられる。



2)原位置測定結果²⁾

図 5.3.2 に水圧破碎法の測定結果から算定された最大・最小主応力値の深度分布を、図 5.3.3 に最大主応力方向の深度変化をそれぞれ示す。なお、図 5.3.3 には、弾性波速度から求めた水平面内の $V_{p\min}$ の方位も併記している。深度 338m および 462m の地点以外は、水圧破碎時に造成された亀裂はすべて試錐孔軸方向にほぼ平行な縦亀裂であり、解析上の理論的な仮定は満足していると考えられる。深度 462m 地点の亀裂は横亀裂であり、既存の亀裂が開口した可能性が高いと判断されたため、以降の解析・評価からは除外した。

深度 338m の地点では、造成された亀裂は試錐孔軸にほぼ垂直であるがエシェロン状の微細な亀裂が連続して1本の亀裂を形成している。これは、鉛直方向が最大主応力方向の一つと一致していない、すなわち主応力方向が鉛直方向から傾斜していることを示している。また、本孔のような深度が深い試錐孔での測定結果は、岩盤中の間隙水圧を考慮するか否かで算定される最大主応力値が大きく異なるため、図 5.3.2 には両者の値 (H_{\max} , H_{\min})を示している。図 5.3.3 に示される誤差範囲は、造成された縦亀裂を最小二乗法により直線近似した際に得られる誤差範囲を示す。

図 5.3.2 より、MIU-3 号孔周辺の岩盤の応力状態は、 H , h , v の関係で整理すると、深度 0 550m, 深度 600m 付近, 深度 700m 以深の3つのエリアに大きく区分される。深度 0 550m の範囲では、応力状態が $H > h > v$ となるいわゆる逆断層型の応力状態であり、深度 600m 付近では応力状態が $H > v > h$ の横ずれ断層型、深度 700m 以深は、 $v > H > h$ の正断層型となっている。このような応力環境の変化は、AN-1, MIU-2 号孔と同様 MIU-3 号孔の地点でも深度方向に Stress decoupling が生じていることを示している。特に、水平面内の初期応力の大きさが 600m 付近から全体的に低応力側にシフトする傾向は、前述の弾性波速度測定結果で見られた速度異方性の不連続的な変化と対応している。

図 5.3.3 に示す最大主応力方向の深度変化を見ると、深度 300m 程度より深い所では NNW-SSE 方向付近に最大主応力方向が分布している。また、深度 100m 付近の最大主応力方向は、EW 方向に近く、それ以深の主応力方向と比較すると明らかに異なる。弾性波速度測定結果と比較すると、深度 120.41m, 337.15m, 857m 地点から採取したコアの $V_{p\min}$ の方向は水圧破碎法から決定された最大主応力方向の方位から 60 90°ずれている。しかし、残り 7 深度から採取したコアの $V_{p\min}$ の方位は、水圧破碎法によって得られた最大主応力の方位に近く、その差は最大でも 30°程度である。この方位差は、コアの方位づけの時に生じる誤差を考慮すると比較的良い一致であると言える。このような類似性は、試錐によって原位置の応力状態からコアが切り離される際に、少なくとも水平面内の最大圧縮応力の方向に最も大きく膨張し、この最大圧縮応力の方向と垂直な方向にマイクロクラックが開口および伸長したことを示唆していると思われる。

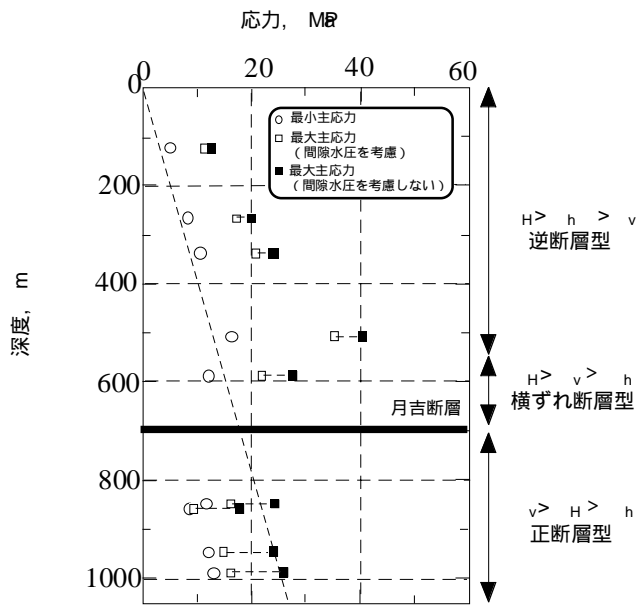
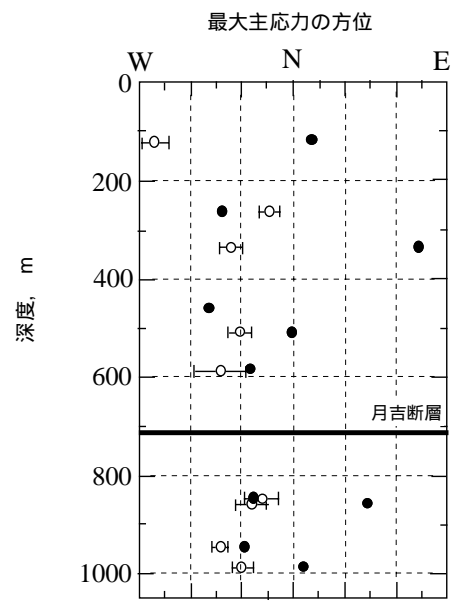


図 5.3.2 深度方向の水平面内応力分布



* は、岩石コアの周方向の VPmin の方位を示す

図 5.3.3 深度別の最大主応力方向

図 5.3.4 に MIU-3 号孔で実施した水圧破砕により誘起された亀裂の型取り結果を示す。前述の通り、深度 338m 地点の破砕亀裂は、15 20° 程度の緩い角度で試錐孔軸方向から斜交しており、エシェロン型を呈していることが特徴である。これは、試錐孔軸の方向と一つの主応力軸が一致するという仮定が満たされていないことを示している。

このため、水圧破砕法によって測定した水平面内応力成分 σ_1 , σ_3 および鉛直応力成分 σ_v から、この領域の 3 次元応力状態に関する考察を行っている。原位置応力のもとで発生する孔壁上の 3 次元応力状態は弾性理論に基づき次式で表される（座標系については、図 5.3.5 参照）。

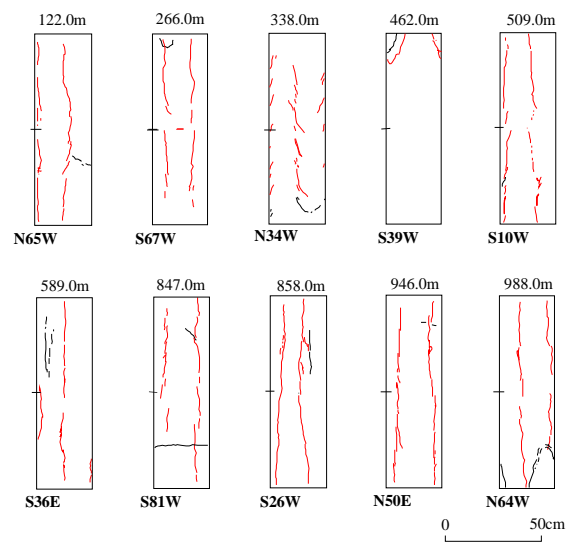


図 5.3.4 水圧破砕により誘起された亀裂

$$\begin{aligned}
 P_{\theta} &= \sigma_x + \sigma_y - 2(\sigma_x - \sigma_y)\cos 2\theta - 4\tau_{xy}\sin 2\theta - P \\
 P_z &= -2\nu(\sigma_x - \sigma_y)\cos 2\theta + 4\nu\tau_{xy}\sin 2\theta + \sigma_z \\
 P_{\theta z} &= -2\tau_{zx}\sin\theta + 2\tau_{yz}\cos\theta
 \end{aligned}$$

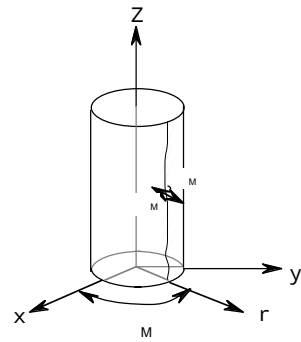
また、試錐孔壁面の最小主応力値 σ_M は、上式の試錐孔軸方向の応力 P_z 接線応力 P_{θ} およびせん断応力 $P_{\theta z}$ から式のように表される。

$$\sigma_M = \frac{1}{2} \left\{ (P_{\theta} + P_z) - \sqrt{(P_{\theta} - P_z)^2 + 4P_{\theta z}^2} \right\}$$

試錐孔壁への流体圧 P の内圧増加により σ_M が岩盤の引張強度 T と等しくなった時点で最初の亀裂が発生する。試錐孔軸に対する傾斜角 γ_m は次式で計算される

$$\gamma_m = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2P_{\theta z}}{P_{\theta} - P_z} \right]$$

γ_m は、主応力値、主応力軸に対する試錐孔の方位、岩盤の引張強度およびポアソン比によって変化する。ここでは、右図のような座標系を定義し、水圧破碎試験によって求めた深度 338m 付近の応力値を岩盤内の初期応力と仮定し、任意の方向を向いた試錐孔に形成される水圧破碎時の亀裂の傾斜角度を求めた。なお、 $\sigma_1=18.3\text{MPa}$, $\sigma_2=8\text{MPa}$, $\sigma_3=H=6.8\text{MPa}$ とし、岩石の引張強度及びポアソン比はそれぞれ 8MPa , 0.3 と仮定した。また、 θ は試錐孔軸と X - Y 面内のなす角度、 ϕ は試錐孔軸を X - Y 面内に投影した直線から X 軸までの角度である。同図の試錐孔に関する X, Y, Z のうち、 y 軸は X - Y 平面に含まれる。



3次元応力場における破碎亀裂の発生位置

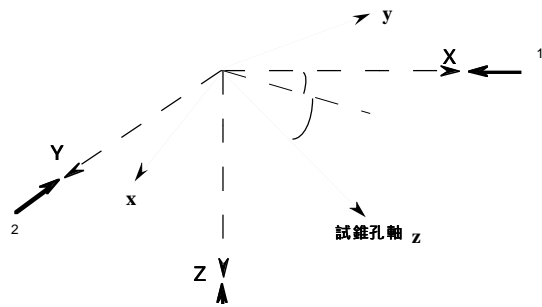


図 5.3.5 計算に使用した座標系

図 5.3.6 は、 α と β の値を変えたときに生じる水圧破碎亀裂の傾斜角 θ_m がとりえる値の範囲をコンターとして示したものである。MIU-3 号孔の深度 338m では傾斜角 θ_m は $15 \sim 20^\circ$ の範囲に分布していた。同図より θ_m が $15 \sim 20^\circ$ となる α および β の範囲は、 $18^\circ < \alpha < 28^\circ$ および $0^\circ < \beta < 7^\circ$ という狭い範囲に限定されることがわかる。この結果から、MIU-3 号孔の孔軸と主応力軸との傾き α 、 β はそれぞれ $18^\circ < \alpha < 28^\circ$ および $0^\circ < \beta < 7^\circ$ の範囲にあると推定される。

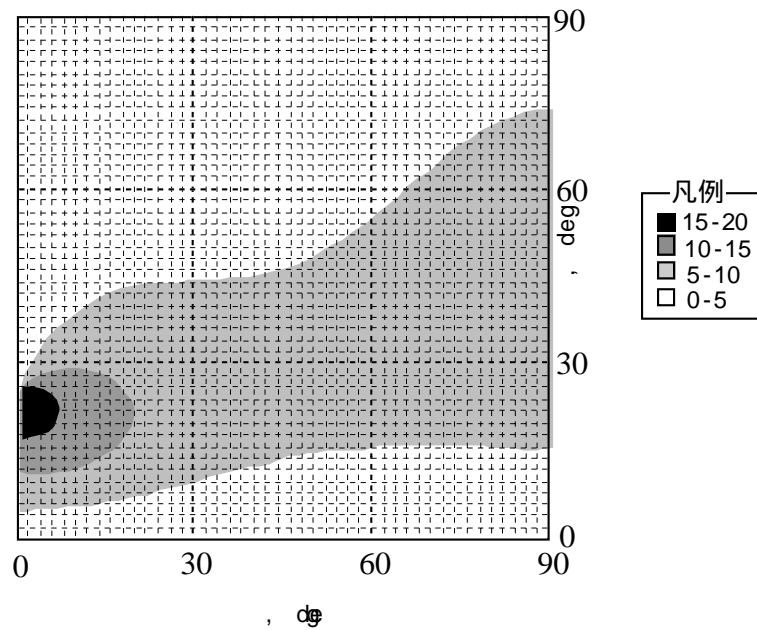


図 5.3.6 試錐孔軸が主応力軸と一致しない場合の α と β の分布範囲

5.4 MIU-3 号孔における力学特性調査結果のまとめ

MIU-3 号孔においては、既存の調査と同種の調査(物理試験・力学試験、AE 法及び水圧破砕法による初期応力測定)とともに、室内弾性波速度測定により岩石マトリックス部の異方性についても検討した。これらの結果から得られた知見を以下にまとめる。

1. 物理・力学試験

- ・ 岩石マトリックスの物理物性（見かけ比重、有効空隙率、弾性波速度等）や力学物性（静弾性係数、一軸圧縮強度、圧裂引張強度等）の深度分布から、MIU-3 号孔においては、月吉断層及びそれに付随する割れ目帯を除くと、鉛直方向に 3 つの異なる物性を有するゾーンに区分できることが推定された。すなわち、地表 深度 300m 程度、300 600m 程度、800m 以深である。

2. 弾性波速度測定による岩石マトリックスの力学的異方性の検討

- ・ 岩石コアの軸方向及び半径方向の弾性波速度を測定した結果、若干の異方性（P 波速度の最大値と最小値で 5 10%程度の違い）が認められ、その変化傾向は深度 600m 地点を境に異なることがわかった。
- ・ 土岐花崗岩は、断層上盤側及び下盤側の岩体とも横等方性岩石の性質を有するものの、岩石マトリックス内のマイクロクラックの分布特性は上盤側と下盤側で異なる可能性があることがわかった。

3. 初期応力測定

- ・ 鉛直応力は、月吉断層上盤側では推定土被り圧より大きく、下盤側深度 900m 以深では逆に小さい。また、その深度勾配は、推定土被り圧の勾配より小さく、MIU-3 号孔地点の鉛直応力は、単純に重力のみで発生していない可能性が示唆された。
- ・ 水平面内の主応力値は、一般的な知見と異なり深度に伴い線形的に増加するような傾向は示さず、深度 600m 付近および月吉断層下盤側で不連続に変化しており、Stress decoupling を呈する。主応力方向については、深度 300m より浅い部分は EW 方向、それ以深は深度によらず NNW-SSE 方向に位置している。
- ・ 岩石コアの弾性波速度測定から得られた水平面内の弾性波速度の最小主軸の方向は、水圧破砕法から得られた水平面内の最大主応力の方位とある程度一致している。
- ・ 深度 338m の地点においては、主応力軸の一つが鉛直軸と一致せず傾いている可能性がある。

6. 考察

MIU-3 号孔で得られた室内物理・力学試験結果及び応力測定結果を、以下の観点から考察するとともに、その結果に基づき更新した岩盤力学的概念モデルについて述べる。

6.1 既存試錐孔(AN-1, MIU-1, MIU-2 号孔)における力学特性調査結果との比較

1) 岩石の力学特性

表 6.1.1 に AN-1, MIU-1, MIU-2 及び MIU-3 号孔で実施した室内物理試験・力学試験で得られた結果の平均値を示す。また、図 6.1.1 に AN-1, MIU-1 および MIU-2 号孔で実施した土岐花崗岩の物理・力学特性の深度方向の分布を示す。ここで、AN-1~MIU-1 の孔間距離は 250m 程度、MIU-1 MIU-2 号の孔間距離は約 100m、MIU-2 MIU-3 号の孔間距離は 120m 程度である（各試錐孔の位置関係については図 3.1 を参照）。

表 6.1.1 AN-1, MIU-1, MIU-2 及び MIU-3 号孔における室内力学試験結果一覧

| | | AN-1 | MIU-1 | MIU-2 | MIU-3 |
|-----------------------|------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| 物理的性質 | | | | | |
| 見かけ比重 (-) | 平均値 | 2.605 | 2.621 | 2.610 | 2.622 |
| | 標準偏差 | 0.009 | 0.011 | 0.030 | 0.011 |
| 有効空隙率 (%) | 平均値 | 1.404 | 1.328 | 1.192 | 1.408 |
| | 標準偏差 | 0.263 | 0.25 | 0.272 | 0.143 |
| 含水比 (%) | 平均値 | 0.233 | 0.444 | 0.362 | 0.523 |
| | 標準偏差 | 0.047 | 0.084 | 0.068 | 0.056 |
| 弾性波速度(P波) (km/sec) | 平均値 | 4.511 | 5.476 | 5.118 | 5.601 |
| | 標準偏差 | 0.373 | 0.274 | 0.520 | 0.154 |
| 力学的性質 | | | | | |
| 静弾性係数(E50) (GPa) | 平均値 | 47.276 | 55.95 | 49.968 | 47.150 |
| | 標準偏差 | 8.048 | 5.941 | 7.450 | 12.761 |
| 一軸圧縮強度 (MPa) | 平均値 | 197.16 | 180.11 | 165.915 | 131.209 |
| | 標準偏差 | 44.7 | 38.297 | 34.528 | 50.972 |
| ポアソン比 (-) | 平均値 | 0.335 | 0.32 | 0.372 | 0.360 |
| | 標準偏差 | 0.03 | 0.04 | 0.039 | 0.048 |
| 圧裂引張強度 (MPa) | 平均値 | 8.472 | 7.18 | 7.920 | 6.249 |
| | 標準偏差 | 1.818 | 1.825 | 1.417 | 1.465 |
| 粘着力 (MPa) | 平均値 | 実施せず | 39.04 | 22.785 | 35.070 |
| | 標準偏差 | 実施せず | 8.914 | 4.886 | 8.915 |
| 内部摩擦角 (°) | 平均値 | 実施せず | 52.596 | 57.715 | 53.070 |
| | 標準偏差 | 実施せず | 4.582 | 2.495 | 3.343 |

表 6.1.1 では、MIU-3 号孔の平均物性値は、MIU-1 号孔のそれに近い。具体的には、

物理物性は見かけ比重、空隙率、含水比、弾性波速度のいずれの値も AN-1,MIU-2 号孔に比べ大きい。力学物性については、静弾性係数、一軸圧縮強度、圧裂引張強度とも4孔の中で最も小さくなっている。粘着力、内部摩擦角及びポアソン比については、MIU-1号孔のそれに近い結果である。

図 6.1.1(a),6.1.1(b)に各孔別の岩石マトリックス部の物理物性および力学物性の深度変化を示す。反射法弾性波探査の結果⁵⁾からは、AN-1号孔とMIU-1号孔の間に大規模な不連続面と考えられる反射面が捉えられていると同時に、その反射面の両側で岩盤内の構造がかなり異なっていることが想定される。このため、AN-1号孔の付近の原位置岩盤物性とAN-1号孔より北に掘削した試錐孔(MIU-1号孔以降)の調査試験から得られた原位置岩盤の物性を比較する場合は注意を要するが、ここでは岩石マトリックスについては地質学的に岩種が同じであればその工学的性質も同じであると仮定し比較を行う。

物理物性値の深度変化を見ると、程度の差はあるものの、4孔とも深度方向の物性値分布は一樣ではない。正馬様用地南側境界から月吉断層に近づく方向、すなわち AN-1 MIU-3号孔の順に整理した場合にも、AN-1 MIU-2号孔の範囲では、断層に近づくにつれ物性値の変化の程度が大きくなるような傾向が認められたため、断層形成時の力学的なダメージによりその変化が生じた可能性を考えていたが、MIU-3号孔の物性値の深度方向の変化程度は、断層と交差していないMIU-1号孔程度にとどまっている。断層形成に起因するような力学的ダメージであれば、MIU-2号孔よりもMIU-3号孔の方が物性変化の程度が大きくなることが想定されるため、MIU-2号孔における深度300m以浅領域の物理物性の変化は、それ以外の要因、例えば酸化水の流入による岩石の風化等が一つの可能性として考えられる。

一方、力学物性についても、深度方向に物性値は一樣ではない可能性が高いが、物理物性と異なり、断層と交差しているMIU-2、MIU-3号孔では物性値の変化程度がAN-1,MIU-1号孔と比べ相対的に大きい。変化の傾向を見ると、MIU-3号孔では月吉断層の直上部で物性値が不連続になっており、MIU-2号孔では月吉断層の交差位置より400m程度浅い部分から物性値の変化が生じている。MIU-3号孔の地点の力学物性の不連続点は、地質学的な調査から推定される月吉断層に付随する割れ目帯の中にあることから、力学的なダメージが主たる要因と考えられる。MIU-2号孔のそれは、割れ目帯からかなり離れた地点から力学物性の不連続的な変化が生じていることから、物理物性の変化と同様、力学的ダメージ以外の要因、例えば酸化水の流入による岩石の風化等が一つの可能性として考えられる。

以上の結果から、正馬様用地内の月吉断層上盤側の土岐花崗岩の物性値は深度方向には

一様ではなく、同岩体として深度方向に幾つかの力学物性の異なるゾーンに区分できると考えられる。また、その物性変化の要因としては、月吉断層形成による力学的ダメージのみならず、酸化水の流入による岩石の風化等も一つの可能性として考えられる。

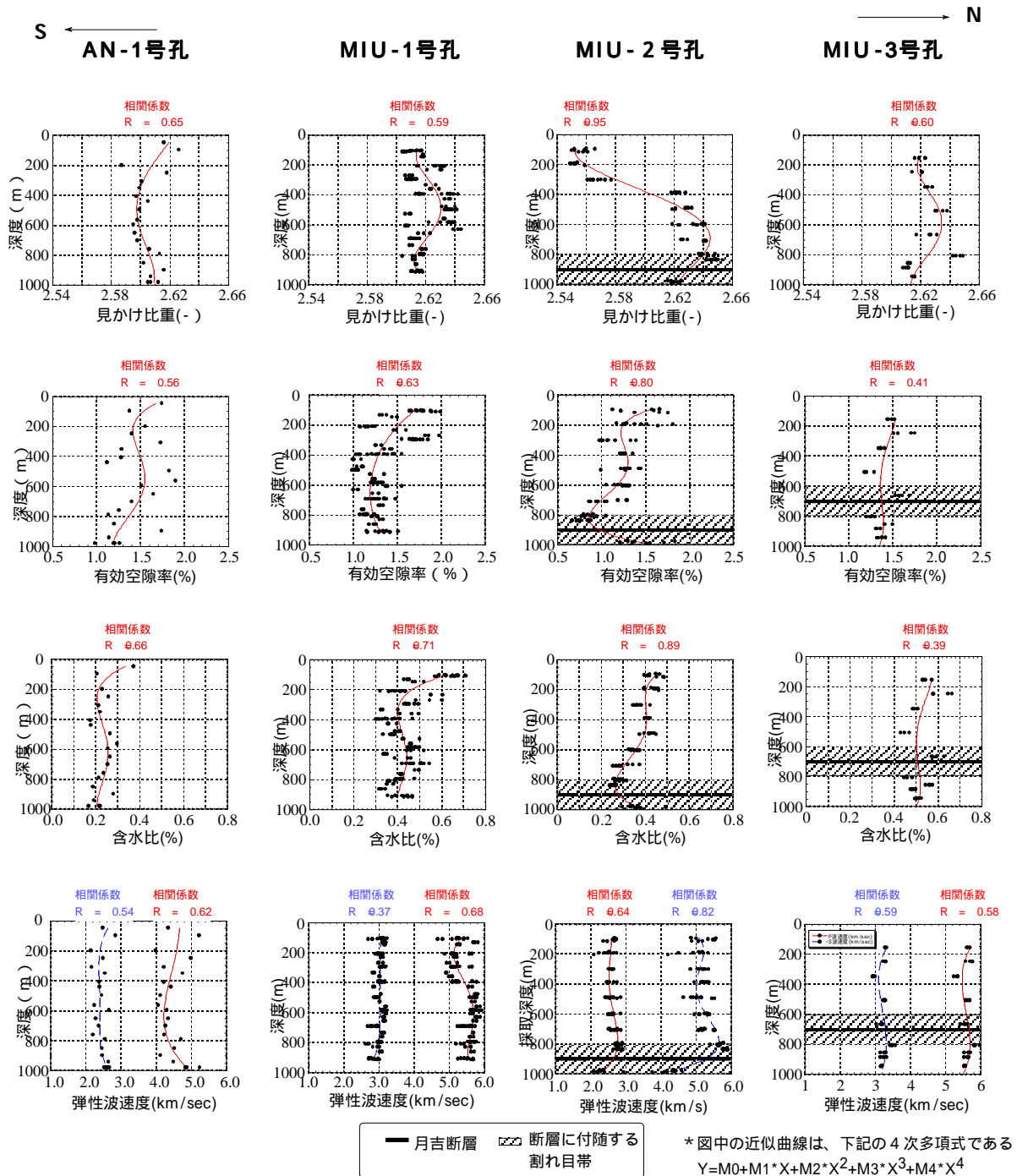


図 6.1.1(a) 各試錐孔における物理試験結果の比較

2)原位置岩盤物性と室内試験結果との比較

図 6.1.2 に岩石コアで測定した P 波速度と原位置で実施した P 波検層結果および岩石コアの密度及び密度検層結果の深度分布を示す^{1),6),7)}。前回の報告では MIU-1 号孔の速度検層結果は、コア試験で得られた P 波速度分布よりも 0.5km/sec 程度低くなるような傾向があったが、これは MIU-1 号孔とその後実施した MIU-2, MIU-3 号孔における検層データの解析方法が異なることにより生じたことが明らかになったため、今回のデータはその補正を実施したものを表示している。

全ての試錐孔を対象として、コアで測定された弾性波速度(P 波速度)の分布傾向および原位置での P 波速度の深度分布傾向を比較すると、原位置測定結果では局所的には割れ目の影響を受け弾性波速度の低下が著しい部分があるものの、地表 地下 1000m までの定性的な変化の傾向は岩石コアで計測したそれと類似している。この結果から、岩石コアの室内試験結果から推定した月吉断層上盤側の岩体 (MIU-1 号孔の全域、MIU-2 号孔の深度 890m 地点、MIU-3 号孔の深度 700m 地点まで) のゾーニングは、原位置岩盤の力学的な物性区分を考える際にも適用できるものと判断される。

原位置での速度検層結果は、原位置岩盤内に存在する割れ目の影響を反映していることから、一般には岩石コアの弾性波速度よりも遅くなると考えられる。MIU-1 号孔の深度 400m 以深、MIU-2 号孔の深度 700 800m 程度の区間、MIU-3 号孔の深度 300m 以浅と深度 600m 以深の領域は、P 波速度検層より得られた原位置岩盤の P 波速度が岩石コアのそれよりも遅くなっている。月吉断層上盤・下盤には、断層に伴って形成された幅 100m 程度の地質的なダメージゾーンの存在が推定されているが、MIU-2 号孔及び MIU-3 号孔の検層結果ではその領域で P 波速度が著しく減少しており、ダメージゾーンの存在を肯定する結果となっている。MIU-1 号孔の深度 400m 以深の区間において原位置岩盤と岩石コアにおける測定結果に差が生じている要因は、現時点では不明であり今後さらに検討する予定である。

密度検層結果についても、原位置岩盤中には割れ目が存在するため、原位置岩盤の密度は岩石コアのそれと異なることが想定される。一つの可能性として、仮に割れ目が大きな開口幅を有し地下水で充填されている、もしくは割れ目充填物がマトリックス部を構成する鉱物種と著しく異なる場合には、検層結果より換算される見かけ密度は、花崗岩の岩石マトリックスのそれに比べ小さくなることが考えられる。このことを考慮し、図 6.1.2 を見ると、MIU-1 の深度 700m 以深、MIU-2 号孔の深度 400m 以深、MIU-3 号孔の深度 500m 以深は岩石コアの密度に比べ、原位置岩盤の密度がかなり低くなっており、この領域の割れ目は大きな開口幅を有し地下水で充填されている、もしくは風化変質が著しいことが想定される。逆に MIU-2 号孔の深度 300m までの範囲では、原位置岩盤の密度に比

べ岩石コアの密度が相対的に小さい。この領域では有効空隙率も大きくなっており、岩石コアの密度変化はその事実と整合的であるが、図 6.1.2 の弾性波速度の比較ではコアの弾性波速度と原位置岩盤の弾性波速度の関係は他孔で見られる関係と大きな違いはない。速度検層及び岩石コアの弾性波速度測定の両者とも、試錐孔軸方向の P 波速度を計測していると考えられるため、MIU-2 号孔の深度 300m 程度までの範囲は、他の領域に比べると、岩石マトリックス部のマイクロクラックが鉛直断面内で相対的に良く発達していることが推定される。

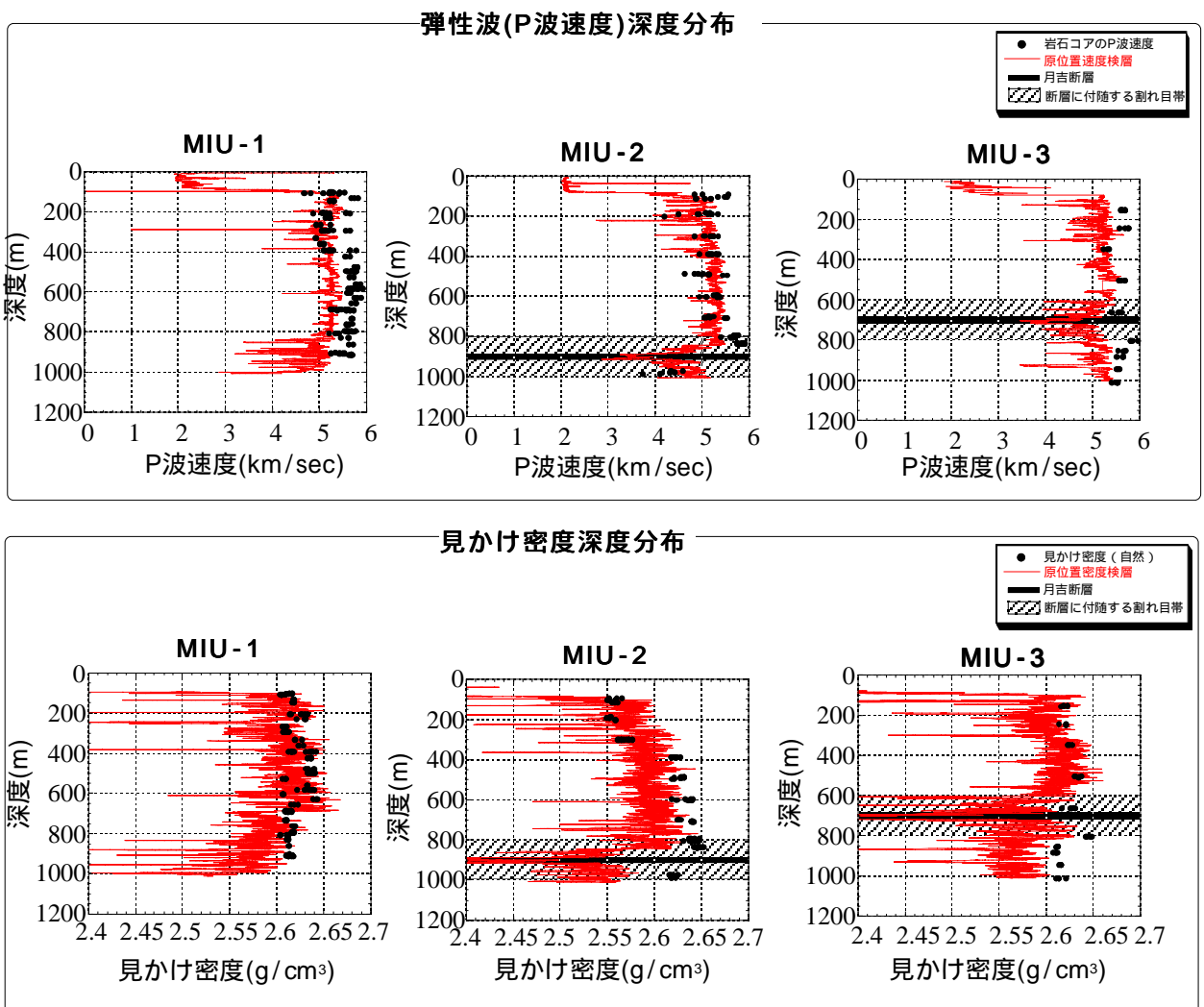


図 6.1.2 室内試験および孔内検層より得られた P 波速度及び見かけ密度の深度変化

(● : 室内試験結果、赤実線 : 検層結果)

3) 岩体中の初期応力状態

図 6.1.3 は、AE/DRA 法によって測定した MIU-1, MIU-2 及び MIU-3 号孔における鉛直応力分布を示したものである。月吉断層上盤側岩体(MIU-1 号孔の地表～深度 1000m, MIU-2 号孔の地表～深度 900m 程度)に着目すると、ばらつきは大きいものの MIU-1 号孔の深度 900m 付近と 1000m 付近以外の地点でほぼ推定土被り圧に等しい鉛直応力が得られている。一方、断層下盤側岩体(MIU-2 号孔の深度 900m 以深, MIU-3 号孔の深度 700m 以深)では、明瞭ではないが推定土被り圧の勾配に比べ応力変化の勾配が小さくなっているように見える。また、MIU-3 号孔では断層およびそれに付随する割れ目帯(深度 600～800m)の応力測定を詳細に実施したが、その変化は複雑である。MIU-2 号孔では、月吉断層本体部より下盤側の領域では、鉛直応力が推定土被り圧に比べ小さくなっている。これらの結果は、断層周辺部や断層下盤側の岩体において、鉛直方向の応力に重力以外の力が作用しているもしくは鉛直方向の応力が解放されているような状態が発生している可能性を示すものと考えられる。

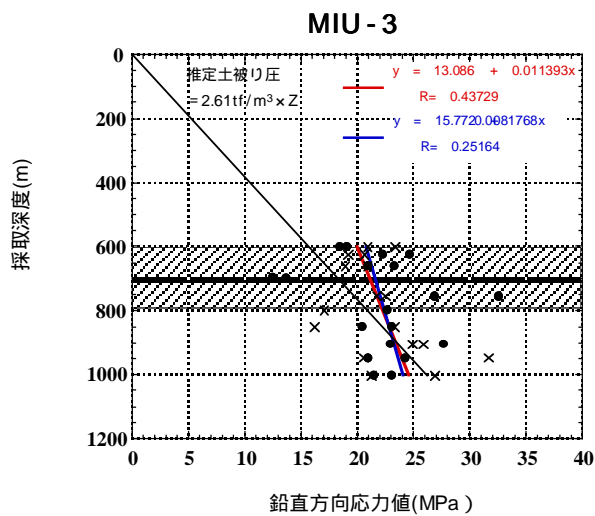
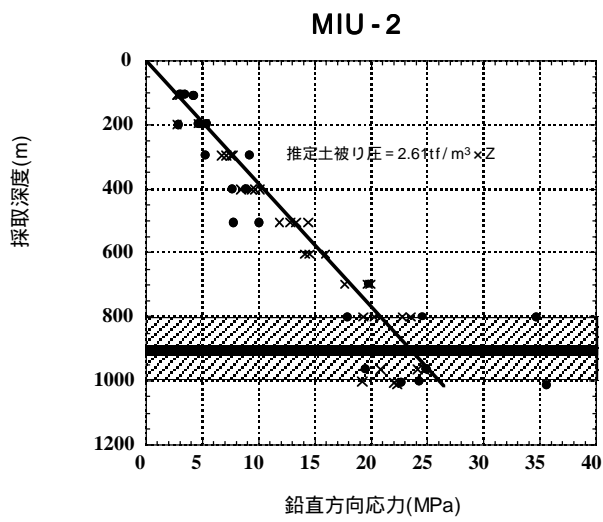
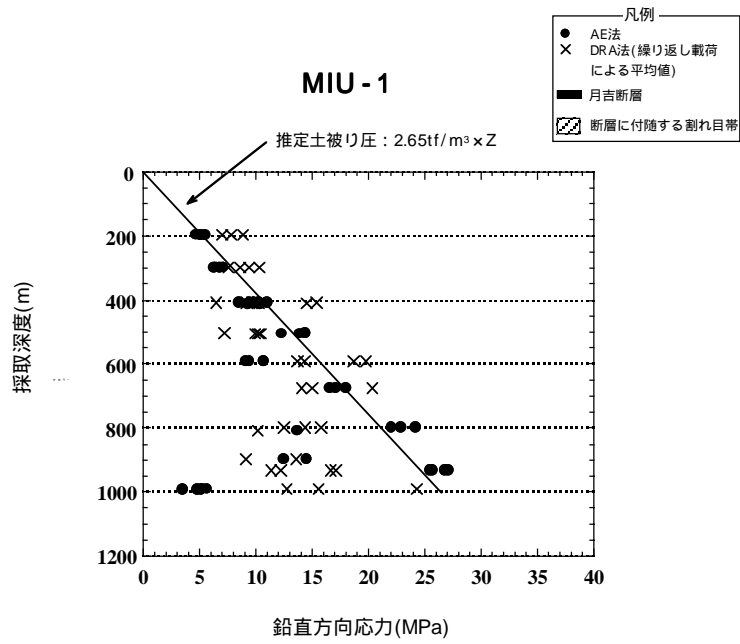
図 6.1.4 は、AN-1、MIU-2 及び MIU-3 号孔で実施した水圧破碎法による初期応力測定結果を示したものである。実線は、応力値や最大主応力の方向がその上下において完全に不連続になっていると判断される深度を示している。

測定された主応力値に関して比較すると、特徴的なことは月吉断層下盤側の領域において最大・最小主応力値とも著しく小さくなっていることである。MIU-3 号孔において、初めて断層下盤側の岩体の応力を計測したが、この結果は断層下盤側の応力状態と上盤側の応力状態に大きな差が生じていることを示唆している。断層上盤側の測定結果について既存の AN-1、MIU-2 号孔における測定結果と比較すると、地表 700m 程度までの範囲の応力値の分布傾向は、深度 500m 付近で最大値を取る、深度 500m 以浅では、ほとんどの領域で深度増加に伴い線形的に応力が増加する傾向にあるが、深度 500m 程度の地点を境に応力値が減少する、という 2 つの点で既存の調査結果と定性的な傾向が一致する。また、深度 300～600m 間の応力値は、若干ではあるが、AN-1、MIU-3 に向かうに従い、全般的に増加するような傾向が認められる。

主応力方向については、AN-1 号孔の結果では深度 300m で 45° 程度の主応力方向の回転が見られるのみであるのに対して、MIU-2 号孔では地表～深度 400m と 400～700m の領域で、深度増加に伴い NS ～ NWW-SEE ～ NW-SE 方向への主応力の回転がそれぞれ認められた。MIU-3 号孔については、水圧破碎法による測定結果からは深度 136m 地点の測定では EW 方向を示したもののそれ以深では NNW-SSE ～ NW-SE の方位に最大主応力方向はあり、深度とともに大きく変化しない。しかしながら、弾性波速度測定結果から

推定された最大主応力の方位も合わせて示すと MIU-2 号孔のような主応力の回転をしている可能性もある。NWW-SEE 方向は本調査対象領域の広域応力場の最大圧縮軸方向 (NW-SE 方向) とほぼ一致している (図 6.1.5⁸⁾)。

一方、AN-1, MIU-2, MIU-3 号孔すべての測定結果で深度方向に応力値や主応力方向の不連続的な変化が生じている、いわゆる Stress decoupling が生じているという事実は、試錐孔を利用しない地表からの調査段階において地下の応力状態 (特に主応力値の分布) を正確に推定することは困難であることを示している。図 6.1.6 に結晶質岩中に掘削された海外の地下研究施設において実施された応力測定⁹⁾の事例を示すが、同地点においても、地質学的に割れ目帯と評価されている場所において、応力値や主応力方向が不連続になる傾向が認められている。この結果と本調査での測定結果を比較して考えた場合、正馬様用地内の岩体中に月吉断層以外にも Stress decoupling を生じさせうる地質学的な不連続構造が存在する可能性が高いことが推察される。



法に、図6測定された鉛直応力分布

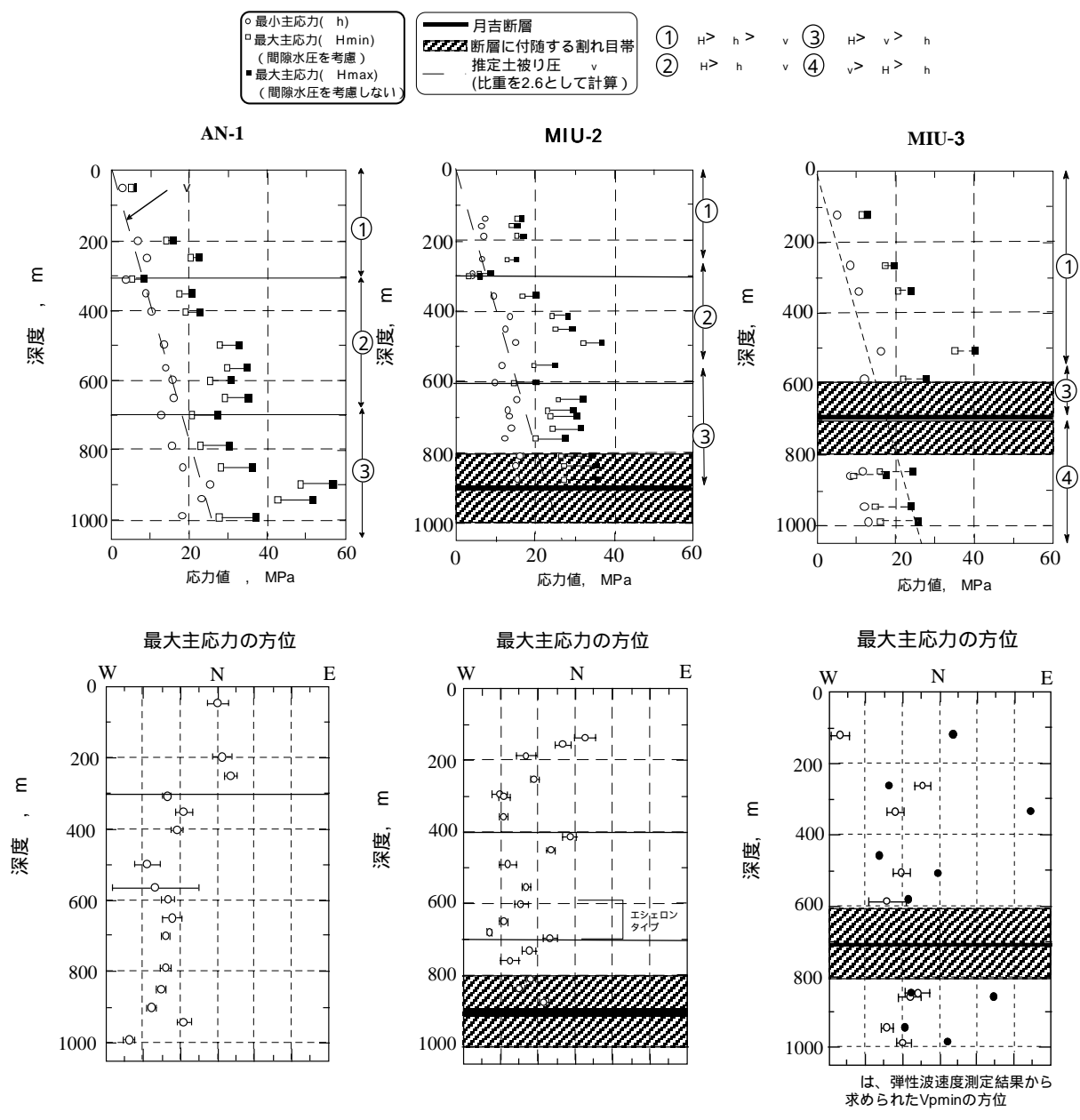


図 6.1.4 AN-1、 MIU-2 及び MIU-3 号孔における水圧破砕法による応力測定結果の比較

東濃鉦山周辺の広域的な応力場 「日本の地殻水平ひずみ（1883-1985年）」

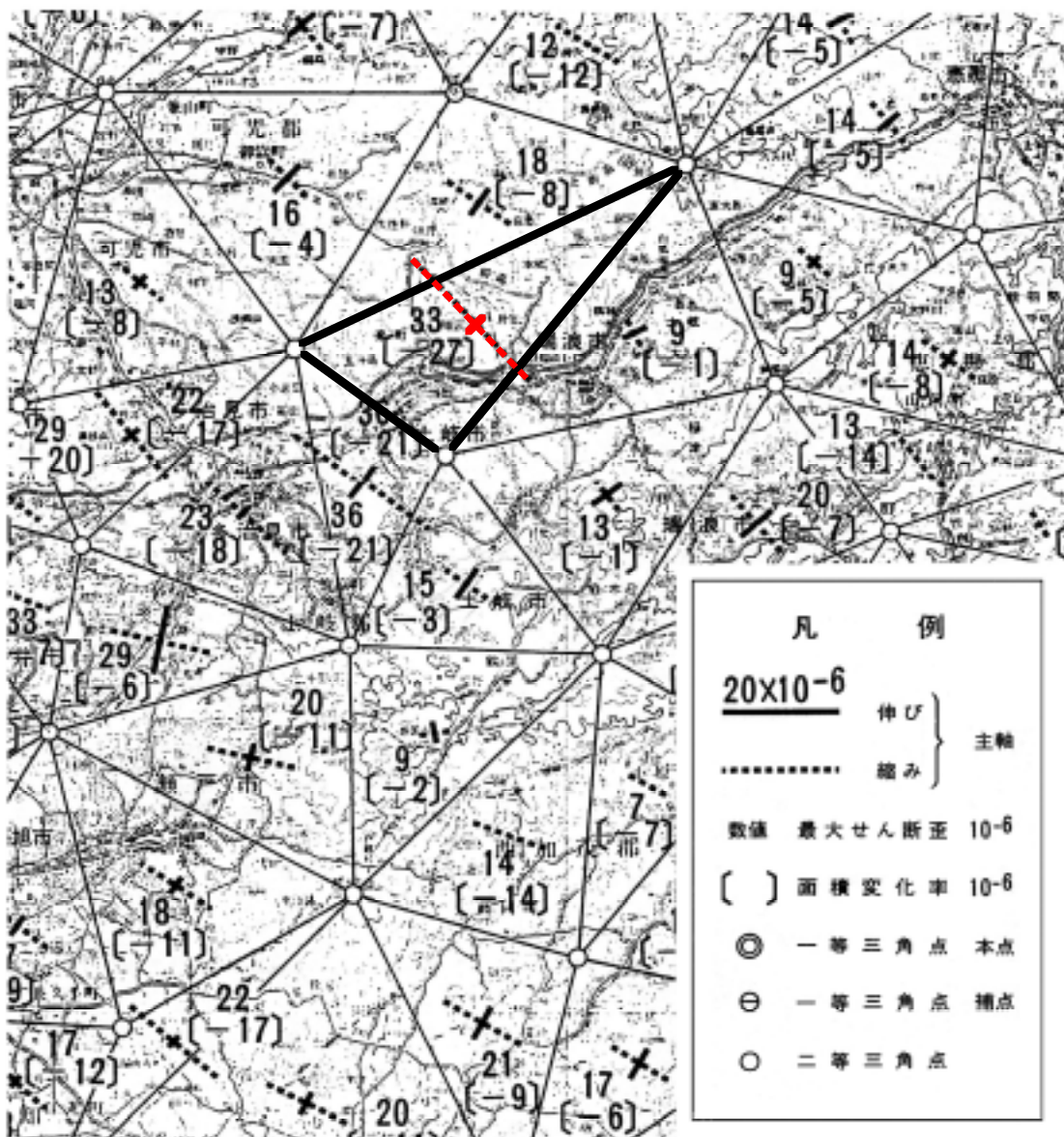
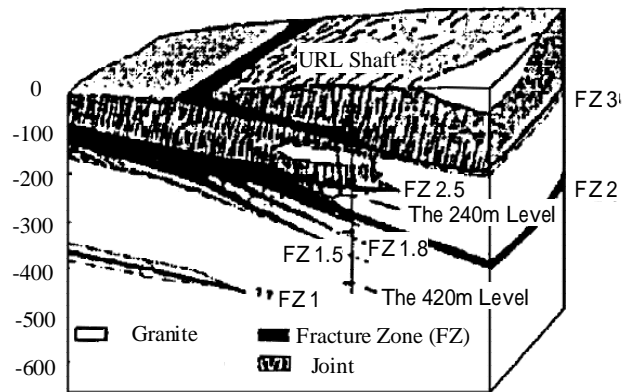
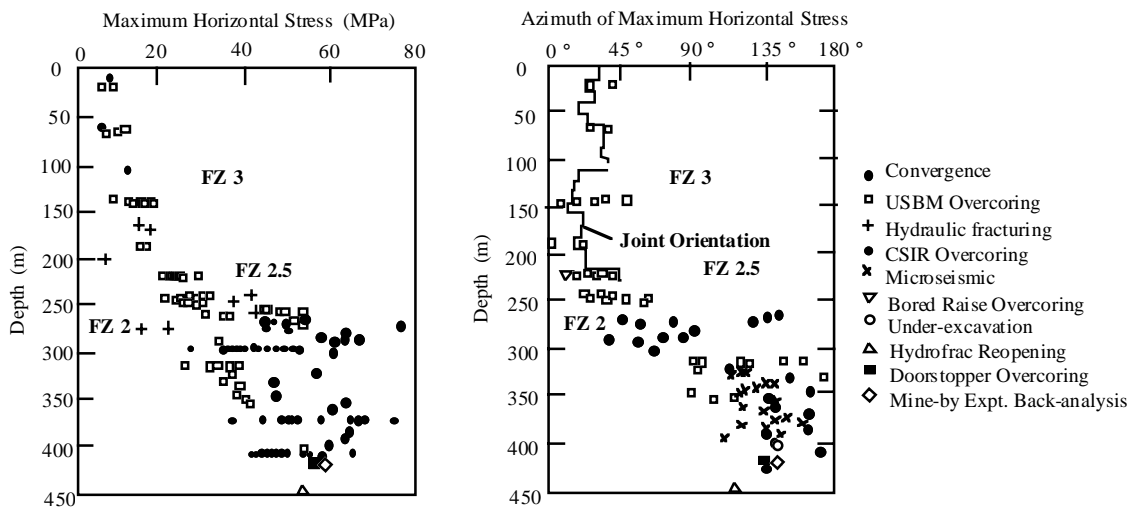


図 6.1.5 正馬様用地周辺領域の水平地殻ひずみ分布⁶⁾



Cross-section of geology at the URL site.



Maximum stress magnitudes and directions from various techniques employed at the URL

図 6.1.6 カナダ URL にて実施された各種応力測定結果の事例⁷⁾

6.2 地質構造と岩盤物性値及び応力状態との関係について

図 6.2.1 に AN-1、 MU-1、 MIU-2 および MIU-3 号孔において実施した BTV 観察結果に基づく割れ目数およびその卓越方向の深度変化を示す。割れ目本数については、MIU-2 号孔までの結果では地表～400m 程度までと 700m より深い領域で相対的に割れ目の数が多くなっており、その中間領域では割れ目本数が少ない傾向を示していた。

MIU-3 号孔でも、この傾向とほぼ同様の傾向が見られ、地表～400m 程度までと深度 750m 以深では相対的に割れ目数が多く、その中間領域では割れ目が相対的に少ない傾向を示している。既存の試錐孔と異なるのは、今まで割れ目が少なかった中間領域の割れ目数が増加しており、地表～深度 1000m までの範囲での割れ目数のコントラストが相対的に小さくなっていることである。全体としての割れ目数の深度分布の特徴は、AN-1 号孔から MIU-3 号孔に向かうにつれて、つまり月吉断層に近づくにつれて全体的に割れ目数が増加していることである。この傾向は特に深部のゾーンで顕著である。

一方、割れ目の卓越方向に関しては、MIU-1 号孔までの結果では、深度 300m までは水平方向の割れ目が多くそれ以深では相対的に高傾斜の割れ目が卓越する傾向を示していた。MIU-2 号孔における調査結果では、深度 400m 程度までと、深度 700m 以深の領域で水平方向の割れ目が卓越するような傾向を示す。MIU-3 号孔では、地表～深度 1000m までの範囲で水平に近い傾斜を有する割れ目が他孔に比べ多くなっている。言い換えれば、月吉断層に近づくに従い、次第に水平傾斜に近い割れ目が増加していることが言える。

図 6.2.2 は、MIU-1 3 号孔における原位置の割れ目頻度分布と、室内及び原位置で計測された P 波速度の分布を比較したものである。いずれの試錐孔においても、割れ目本数やその深度変化は、速度検層や室内試験から得られた P 波速度の深度変化とよく対応していることがわかる。この結果は、割れ目数の深度変化が岩石コアの物性分布等から推定したゾーニングとも矛盾しないことを示している。MIU-1 及び MIU-2 号孔で見られた割れ目数の粗密が認められる領域と原位置での水圧破砕法により得られた鉛直方向の主応力値および最大主応力方向の分布特性が異なる領域との対応関係は、MIU-3 号孔では月吉断層上盤側の試験点数が不足しているため明瞭ではない。

以上の結果から、正馬様用地内の土岐花崗岩上盤部の岩体は、深度 1000m までの範囲で、おおそ 3 つの地質学的・力学的に異なる性質を有するゾーンに区分できると判断できる。

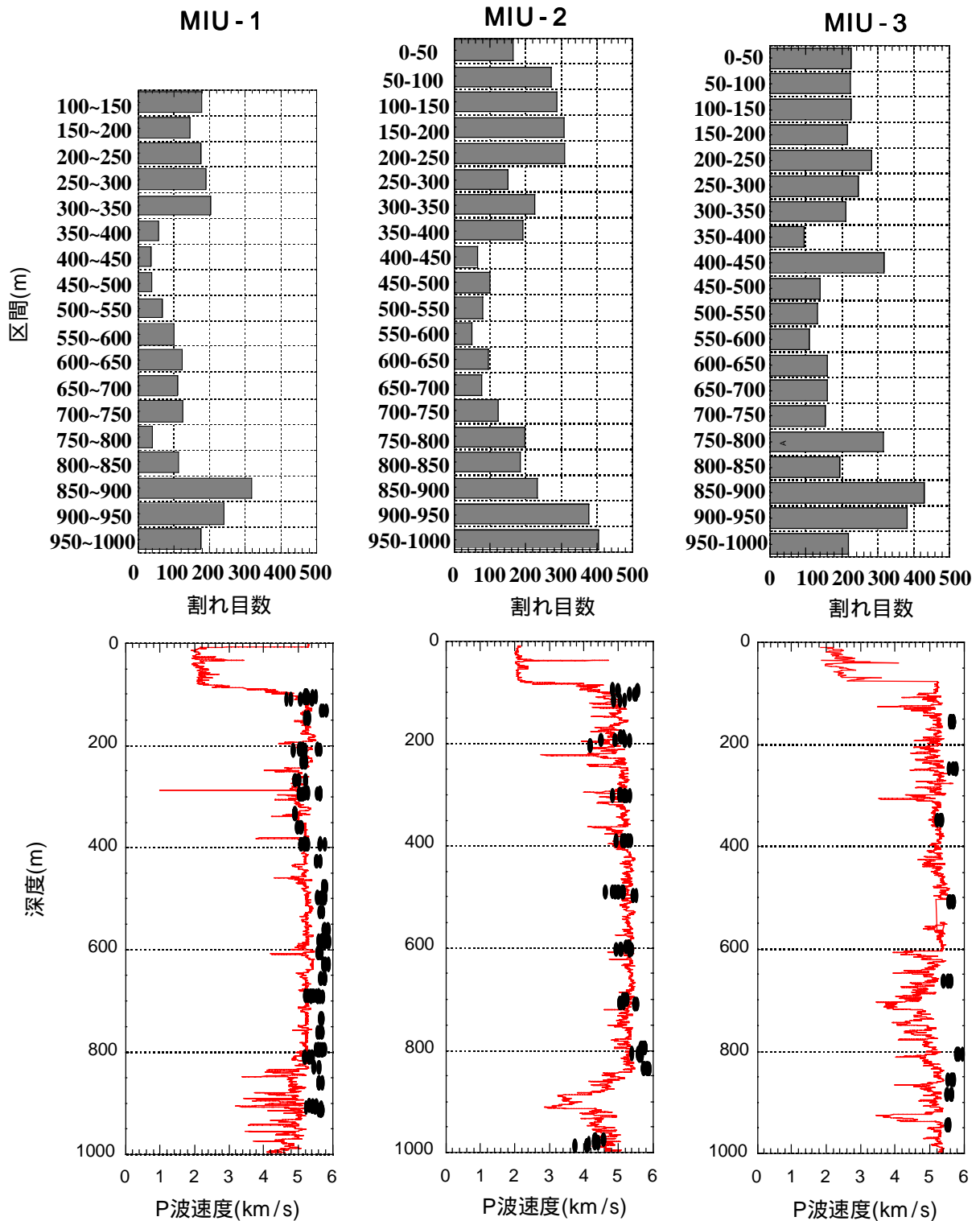


図 6.2.2 BTV 観察により得られた割れ目数の深度変化と室内及び原位置弾性波速度(P 波速度)測定結果との比較 (赤実線：速度検層、●：コアの P 波速度)

6.3 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

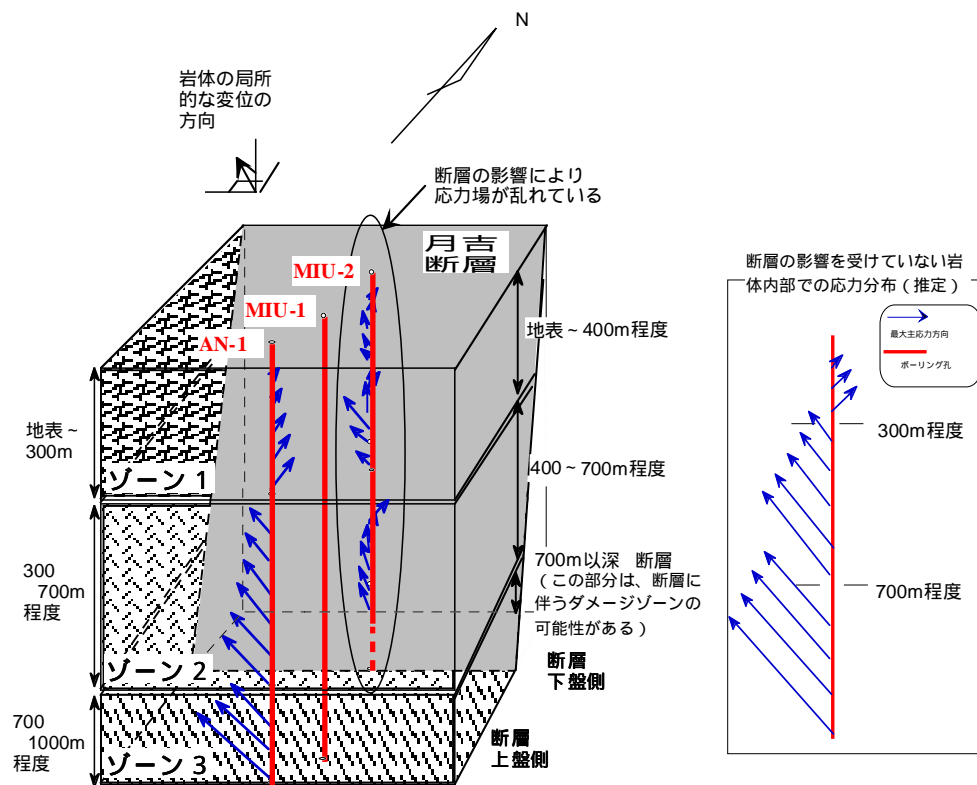
既報では、既存の AN-1,MIU-1 および MIU-2 号孔の3つの 1000m 試錐孔を用いた調査によって、正馬様用地内の土岐花崗岩体（断層上盤側）については、深度 1000m までの範囲で、おおむね3つの地質学的・力学的に異なる性質を有するゾーンに区分可能であることが把握され、その結果に基づき月吉断層上盤側岩体の岩盤力学的概念モデルを構築した。

さらに今回 MIU-3 号の調査結果が付加されたため、既に構築した岩盤力学的概念モデルとの対比・更新を行った。その結果を以下に示す。

6.3.1 正馬様用地における月吉断層上盤側の岩盤力学モデル

既報にて示した AN-1, MIU-1 及び MIU-2 号孔における力学特性調査結果より構築した岩盤力学的概念モデル⁵⁾を図 6.3.1.1 に示す。この時点では、月吉断層下盤側の力学特性に関するデータが取得できていなかったため、このモデル上では月吉断層上盤側の岩体に関してのみモデルを構築した。このモデルは以下のような仮定に基づいている。

- ・ 各ゾーンの境界を定めるには連続的に計測されたデータを用いるのが望ましいと考えられる。このため、本概念モデル上のゾーニングでは、主として原位置で計測された P 波速度の変化に着目する。
- ・ MIU-2 号孔における初期応力値の深度分布は複雑であるが、それは断層の影響を受けていると判断し、ゾーニングでは割れ目の鉛直方向の分布特性の変化や原位置岩盤の深度方向の P 波速度検層結果と良く対応している主応力方向の変化に着目する。
- ・ 断層から離れた地点（ここでは、AN-1 号孔）の初期応力値は、深度 300m 以深の最大主応力方向がほぼ NW-SE 方向であり広域的な圧縮応力軸と一致することから、断層の影響がほとんど及んでいないと仮定する。
- ・ AN-1 号孔の BTV観察結果でも、深度方向の割れ目数の変化傾向は MIU-1,MIU-2 号孔と同じであるため、岩体内の構造（ゾーニング）自体は、AN-1 号孔～MIU-2 号孔の位置まで水平方向には連続的に延長する。ただし、単純化のため、断層から離れた地点の応力値は、それぞれのゾーン毎に深度とともに線形的に増加すると仮定する。



| | ゾーン1 | ゾーン2 | ゾーン3 |
|----|---|---|--|
| 特徴 | <ul style="list-style-type: none"> ・割れ目が多いゾーン（低角～水平） ・マトリックス部の剛性 小 ・マトリックス部の異方性 不明 | <ul style="list-style-type: none"> ・割れ目が少ないゾーン ・マトリックス部の剛性 大 ・マトリックス部の力学的異方性 大 | <ul style="list-style-type: none"> ・割れ目が多いゾーン（高傾斜） ・マトリックス部の剛性 小 ・マトリックス部の異方性 小 |

図 6.3.1.1 月吉断層上盤側岩体の岩盤力学的概念モデル

上記の概念モデルは、各ゾーン毎にプレート運動によって発生する広域応力場により、月吉断層上盤側の岩体が月吉断層のような大規模不連続構造部に押しつけられ、断層沿いに押し上げられるような変形モードをイメージしている。このようなモデルを考えると、断層下盤側で鉛直方向の応力が推定土被り圧より小さいことやゾーン毎に主応力方向が回転している現象も定性的に説明しうる可能性がある。

一方、MIU-3号孔における力学特性調査結果では以下のような知見が得られている。

- ・ 上盤側の岩体は、月吉断層に付随する割れ目帯を除くと、力学特性の異なる2つのゾーンに区分できると考えられる。その深度は、地表～深度 300m 程度、300 600m 程度の2つの領域である。

- ・断層上盤側の水平面内の応力状態は、定性的にはこれまでの調査結果とほとんど変わらない。鉛直応力成分については、重力以外の力が作用している可能性がある。上盤側岩体内の各ゾーンの主応力方向の回転については、測定点数の関係から不明確である。

ゾーン区分については、図 6.3.1.1 の概念モデルでは、断層上盤側の岩体はほぼ水平方向に広がる 3 つのゾーンに区分していた。それらの深度は、地表～深度 300,400m 程度、300,400m 700m 程度、700m 以深である。水平方向にゾーンが広がるというモデルを想定すれば、MIU-3 号孔の位置では、断層上盤側の岩体の深度 700m 以深のゾーンは現れてこないことになるが、この結果は MIU-3 号孔における 2 つのゾーン区分と調和的である。また、水平面内の応力状態については、既存の力学特性調査結果で得られている結論とほぼ同様である。鉛直方向の応力成分については、重力以外の応力が作用している可能性がある点で、前回構築したモデルで想定される現象と定性的に一致している。これらの結果から、前回構築した概念モデル(図 6.3.1.1) は、MIU-3 号孔地点においても整合性があると判断される。

6.3.2 正馬様用地近傍における月吉断層下盤側の岩盤力学モデル

MIU-3 号孔においては、初めて月吉断層下盤側の力学特性に関する情報が取得されている。この結果だけでは不十分なため、東濃鉱山、広域地下水流動研究における調査結果も考慮し、正馬様用地近傍の月吉断層下盤側の岩体に関する岩盤力学的概念モデルの構築を試みる。

力学的物性

力学物性値に関しては、MIU-2 号孔で 900m 以深、MIU-3 号孔で深度 700m 以深の領域のみであり、それ以浅の情報はない。このため、東濃鉱山で実施している力学特性調査結果¹⁰⁾の基盤花崗岩中のデータ、および広域地下水流動研究で実施した DH-9 号孔の測定結果¹¹⁾を加味して検討を加えることとする。DH-9 号孔は、深度 1000m の試錐孔であり、正馬様用地境界より約 1km 北側に掘削されている。従って、花崗岩部は全体が月吉断層下盤側の岩体となる。

図 6.3.2.1 は、MIU-3 号孔及び 99SE-02 号孔(深度 200m)において実施した断層下盤側岩体中の岩石の室内力学試験結果を示している。99SE-02 孔における試験結果では、堆積岩部直下の基盤花崗岩上部 50m 程度は室内試験用の岩石コアも採取が困難なほどにかなり風化が進んだ領域であり、それ以深で計測された力学的物性も、深度とともに増加

する傾向が見られている。このため、最深部以外のデータは健全な花崗岩の物性値として扱えない可能性が高いと判断される。最深部(207m 地点)における断層下盤側の岩石物性値は、見かけ密度で 26.2kN/m^3 程度、 E_{50} は 50GPa 程度、一軸圧縮強度で 150MPa 程度である。これらの値は、MIU-3 号孔における断層下盤側の物理物性及び力学物性とほぼ同等であり、かつ断層上盤側にて得られている平均物性値と大きな差はない。今回の試験で得られていない断層下盤側の深度 200 800m 程度の領域については、DH-9 孔の岩石コアを用いた試験を行い岩石コアの物性分布を確認する必要がある。

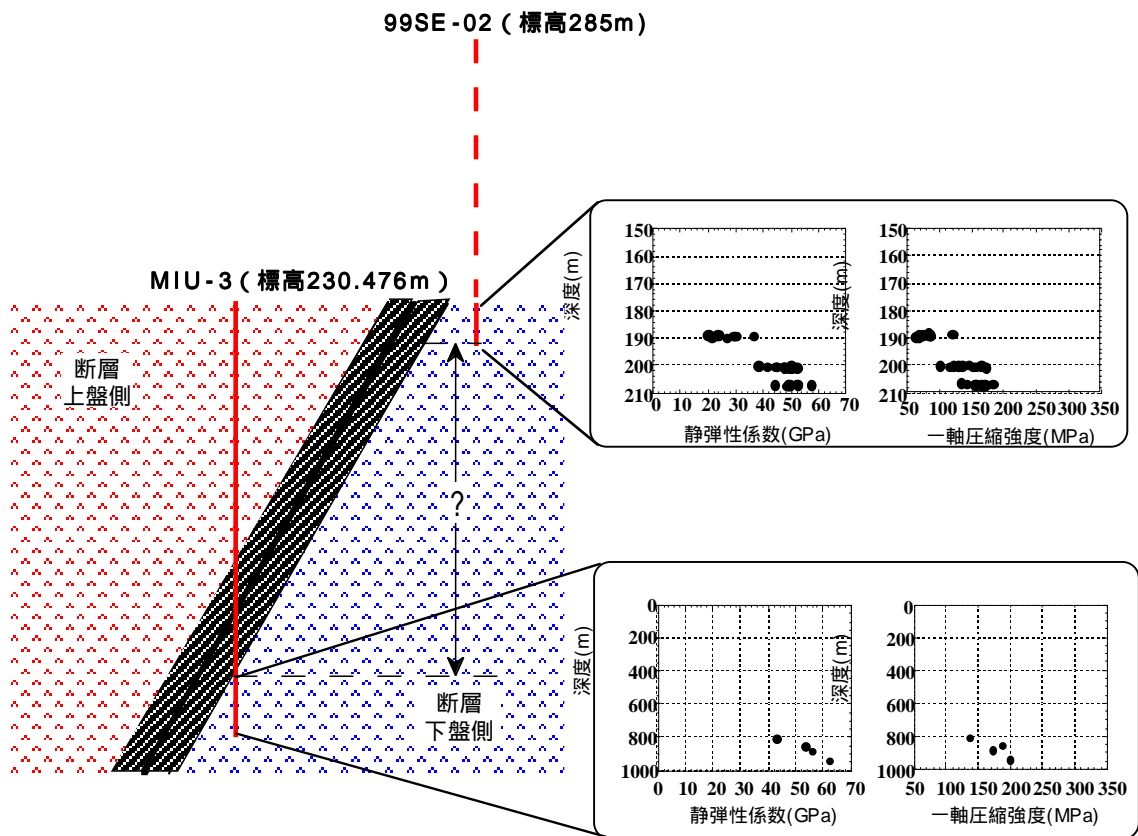


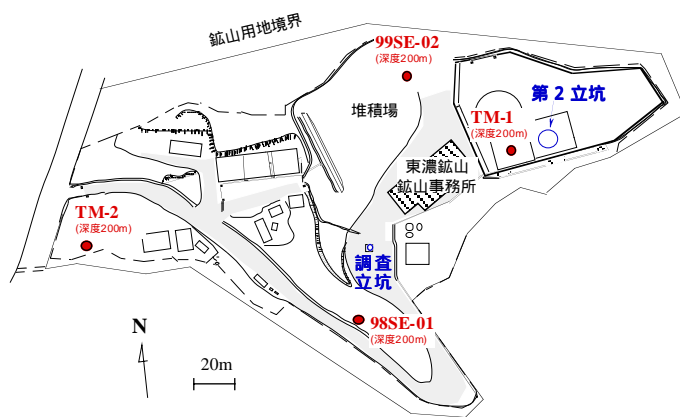
図 6.3.2.1 MIU-3 及び 99SE-02 号孔における断層下盤側岩体中の岩石の室内力学試験結果

応力状態

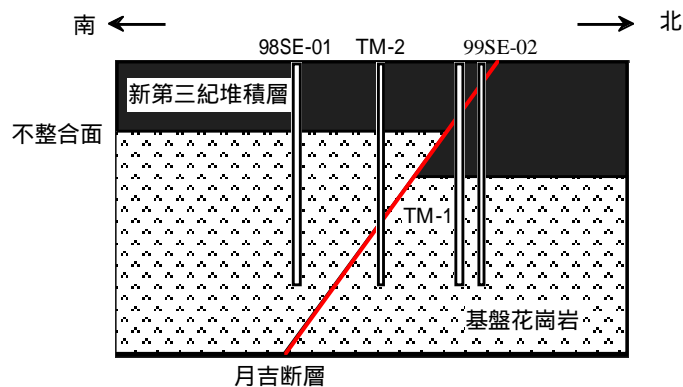
断層下盤側の応力状態については、MIU-2 号孔の深度 900m 以深、MIU-3 号孔の深度 700m 以深の他、東濃鉱山にて実施した 4 孔の試錐孔(TM-1, TM-2, 98SE-01, 99SE-02 号孔)における水圧破碎法による測定結果がある(図 6.3.2.2)^{10), 12)}

図 6.3.2.3 にその結果を示す。なお、4 孔は月吉断層および基盤花崗岩との交差位置がそれぞれ異なるため、本報告での整理の仕方と同様、南側(断層上盤側)から北側(断層下盤側)に向かって測定結果を併記した。

図 6.3.2.3 より、基盤花崗岩中で測定された応力値は、断層上盤側から下盤側に向い明らかに減少していく傾向を示し、最も北に位置する 99SE-02 孔では最小主応力はほぼ土被り圧に等しく最大主応力は最小主応力の 1.4 1.7 倍となっている。他方、MIU-3 号孔において測定された断層下盤側の応力状態も上盤側に比べ極端に低くなっている。最大主応力方向は、東濃鉱山においても岩種境界に近い所を除くと NNW-SSE NW-SE の方位にあり、MIU-3 号孔の結果とほぼ同様の結果となっている。



地表試錐孔の配置



地表試錐孔と地質断面の模式図

図 6.3.2.2 地表試錐孔配置及び地質断面図

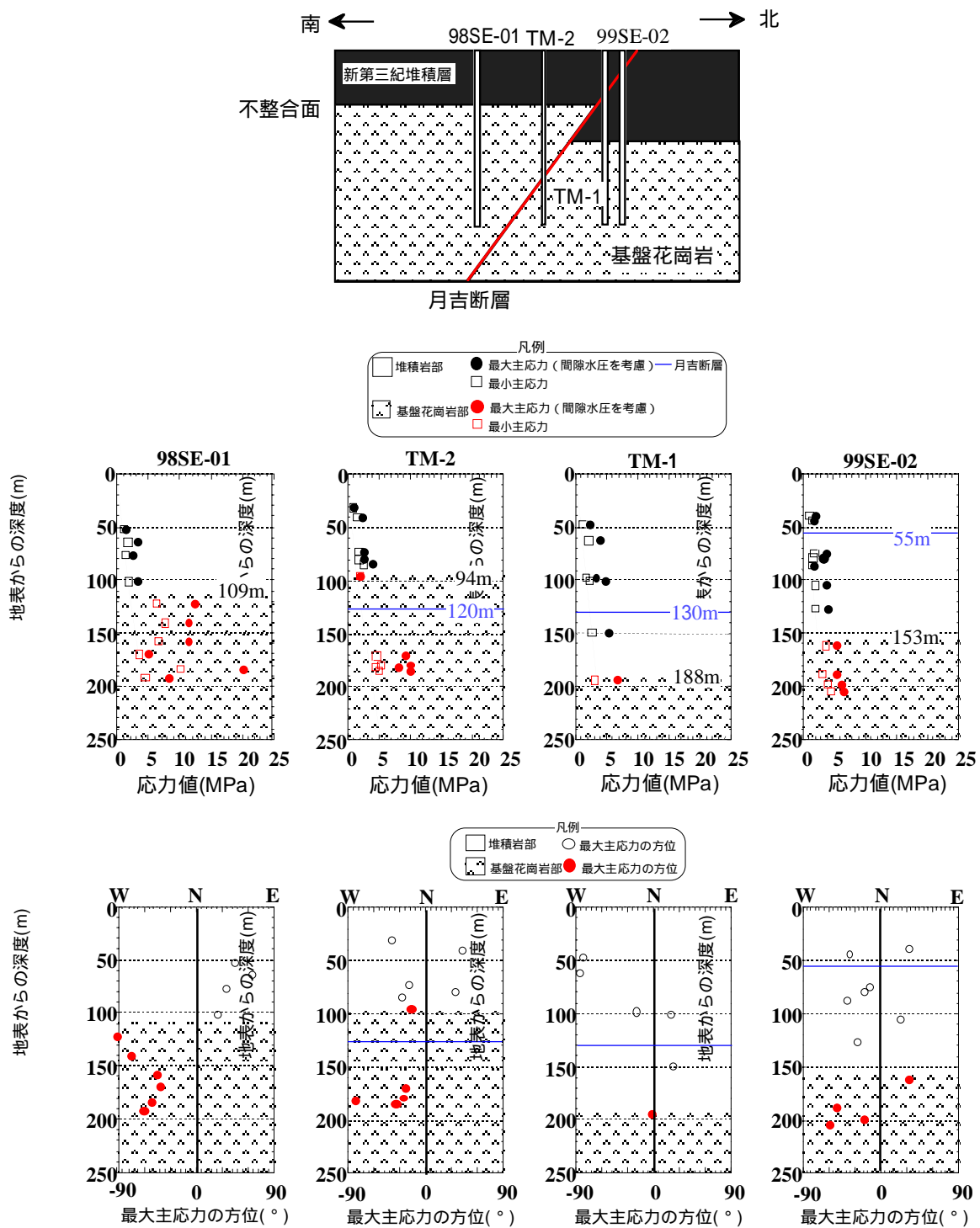


図 6.3.2.3 地表試錐孔における水圧破碎法による初期応力測定結果

(東濃鉦山)

地質構造（断層下盤側岩体）

広域地下水流動研究の一環として掘削された DH-9 号孔の試錐調査結果¹³⁾も合わせた、各試錐孔(MIU-2,MIU-3,DH-9 号孔)における BTV 観察結果、速度検層結果および密度検層結果を図 6.3.2.4 示す。同図より、DH-9 号孔における割れ目数は、MIU-2,3 号孔の断層上盤側の岩体に比べ極端に少なくなっていることがわかる。また、MIU-2,3 及び DH-9 号孔いずれの場合も岩体内に存在する割れ目密集部や破砕部では弾性波速度、密度とも急激に低下している。それ以外の領域に着目すると、基本的には割れ目数の変化点で弾性波速度の若干の変化が生じており、それぞれの領域内の速度変化幅も、割れ目の多い所では大きく、少ない所では小さい。DH-9 号孔では、割れ目密集部や破砕部以外の領域では地表～深度 1000m までの範囲でほとんど弾性波速度の変化はない。密度検層の結果は弾性波速度ほど明瞭ではないがほぼ同様の傾向を示していると考えられる。

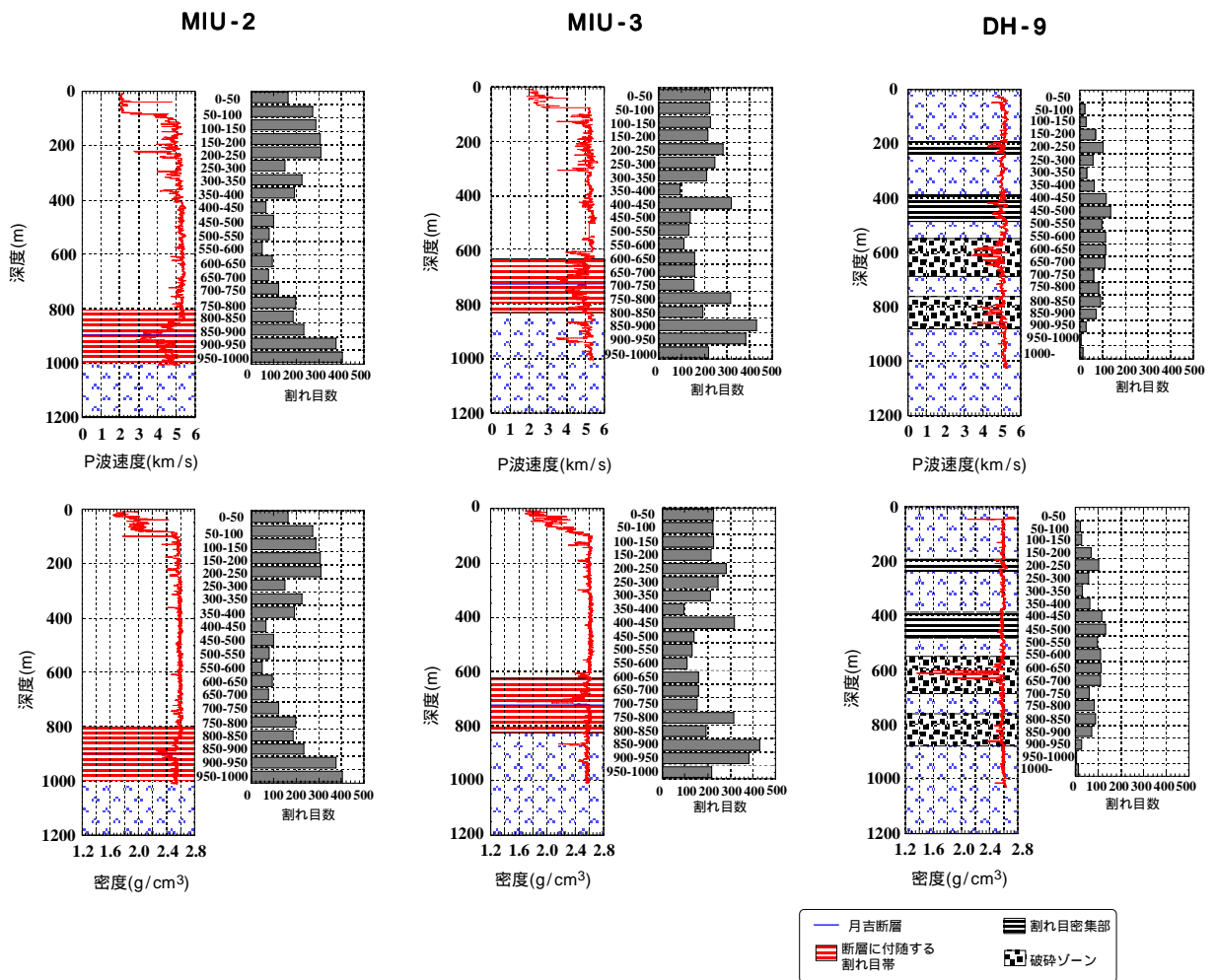


図 6.3.2.4 AN-1～DH-9号孔におけるBTV観察、速度検層及び密度検層結果

以上の結果を総合すると、月吉断層下盤側の岩体の力学特性については、以下のような仮説を立てることができる。

- ・ 東濃鉱山及び MIU-3 号孔の岩石コアを用いた室内試験結果から想定すると、健岩部のマトリックス部の力学特性については、基本的に上盤側の物性値と大きく異ならない可能性が高い。ただし、MIU-3 号孔のコアを用いた弾性波速度測定では、断層下盤側の岩石マトリックス部については、水平面内の力学的異方性はかなり小さい可能性がある。
- ・ 応力状態については、東濃鉱山で実施した水圧破碎法による初期応力測定結果や MIU-3 号孔における断層下盤側岩体内の測定結果から、上盤側の応力状態とはかなり異なり、作用している応力値はかなり小さい可能性がある。これは、割れ目数が少ないにも関わらず、深度 600m 以深にかなり風化の進んだ破碎ゾーンがあることから裏付けられると考えられる。つまり、一般に応力状態と割れ目の開口幅には密接な関係があるため、下盤側岩体に作用している応力が小さいがゆえに岩体内部に生成される割れ目は少ないものの、個々の割れ目の開口幅は大きくなっており、地表付近の酸化水や熱水が広範囲に渡って浸透しやすい状態を形成していることが想定できる。深度方向の変化については、DH-9 号孔はかなり厚い破碎帯や割れ目密集帯があるため、上盤側と同様に Stress decoupling を呈している可能性があるが、作用している応力が小さいため、その程度は上盤側ほど顕著でないと思われる。水平面内の最大主応力方向については、中間領域のデータはないものの、東濃鉱山及び MIU-3 号孔の測定結果から、断層上盤側と同様に概ね NNW-SSE NW-SE 方向にあると推定される。
- ・ MIU-3 号孔の深部及び DH-9 号孔の P 波速度検層結果および割れ目数の違いから、割れ目密集ゾーンは存在するものの、原位置岩盤の力学特性は破碎部を除き、断層上盤側よりも良好であると考えられる。また、破碎帯や割れ目密集帯の存在にも関わらず、割れ目数が少ないことから、断層上盤側のような岩石物性値の深度変化は小さいことが推定される。ただし、地質学的に同定されている破碎帯の規模は、断層上盤側に比べかなり広く、破碎帯部は風化が著しいことから、この領域では岩石の力学物性はかなり小さい可能性がある。

以上の仮説に基づき構築した月吉断層下盤側の岩盤力学的概念モデルを図 6.3.2.5 に示す。

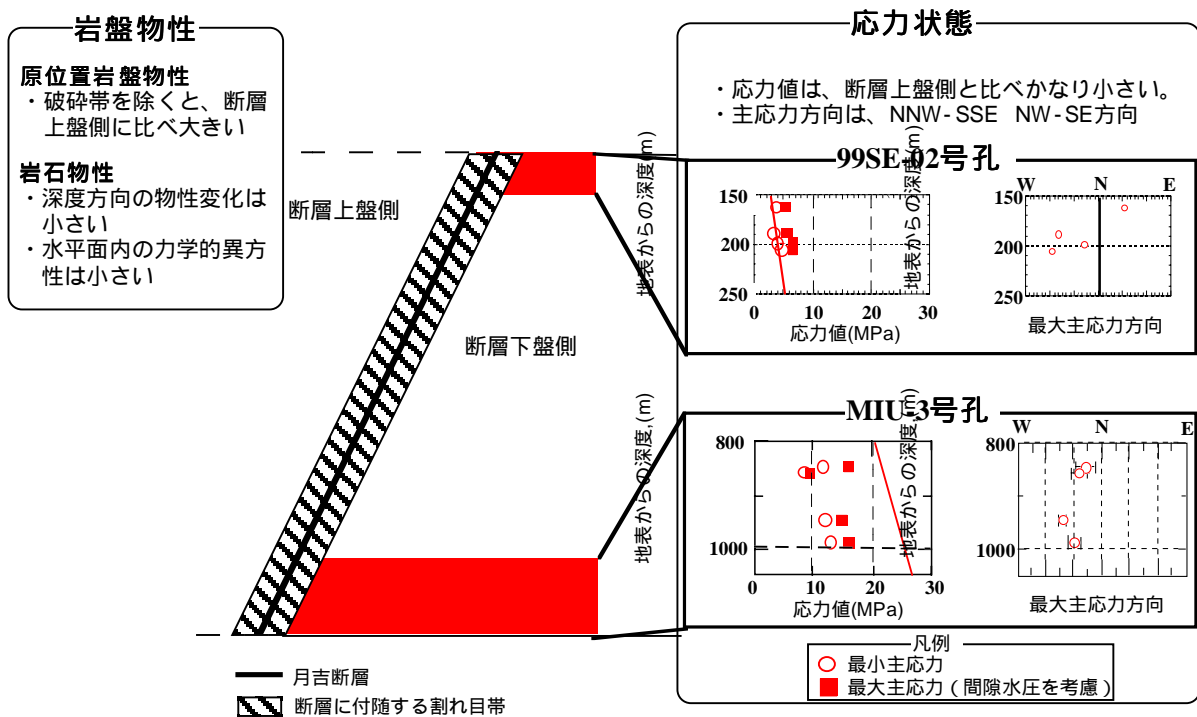


図 6.3.2.5 月吉断層下盤側岩体の岩盤力学的概念モデル

上記のモデルの特徴は以下の通りである。

- ・ 岩石マトリックス部の岩石物性は断層上盤側とほぼ同等であり、また深度方向の物性変化はあまり大きくない。ただし、岩石マトリックス部の水平面内の異方性は小さい。
- ・ 割れ目数が少ないことから、原位置岩盤の力学特性としては、断層上盤側よりも良好である。
- ・ 応力状態については、最大主応力方向が NNW-SSE NW-SE 方向であり、深度方向に大きく変化しない。応力値については、最小主応力が推定土被り圧とほぼ等しいか小さく、最大主応力値は最小主応力値との差が小さい。

このモデルでは、DH-9 号孔で見られた割れ目帯や破砕帯を考慮していない。これは、DH-9 号孔で見られた割れ目帯や破砕帯が高傾斜であることと、正馬様用地北側境界と DH-9 号孔との距離が 1km 程度離れており、DH-9 号孔で見られた割れ目帯や破砕帯について、正馬様用地～DH-9 号孔間の連続性やその他の不連続構造に関する情報が欠落しているためである。

上記モデルはまだ多くの推定を含んでいる。岩石物性については、DH-9 号孔から採取

した岩石コアを用いて室内試験を行うことにより、今回の推定の妥当性を確認することが可能である。応力状態については、DH-9 号孔において正馬様用地内と同様水圧破碎法による応力測定を実施することが望ましいが、同孔に MP システムが設置されることもあり、原位置測定は困難である。この場合は、岩石コアを用いた室内応力測定(DSCA 法など)によりその応力状態の推定を試みる方法がある。

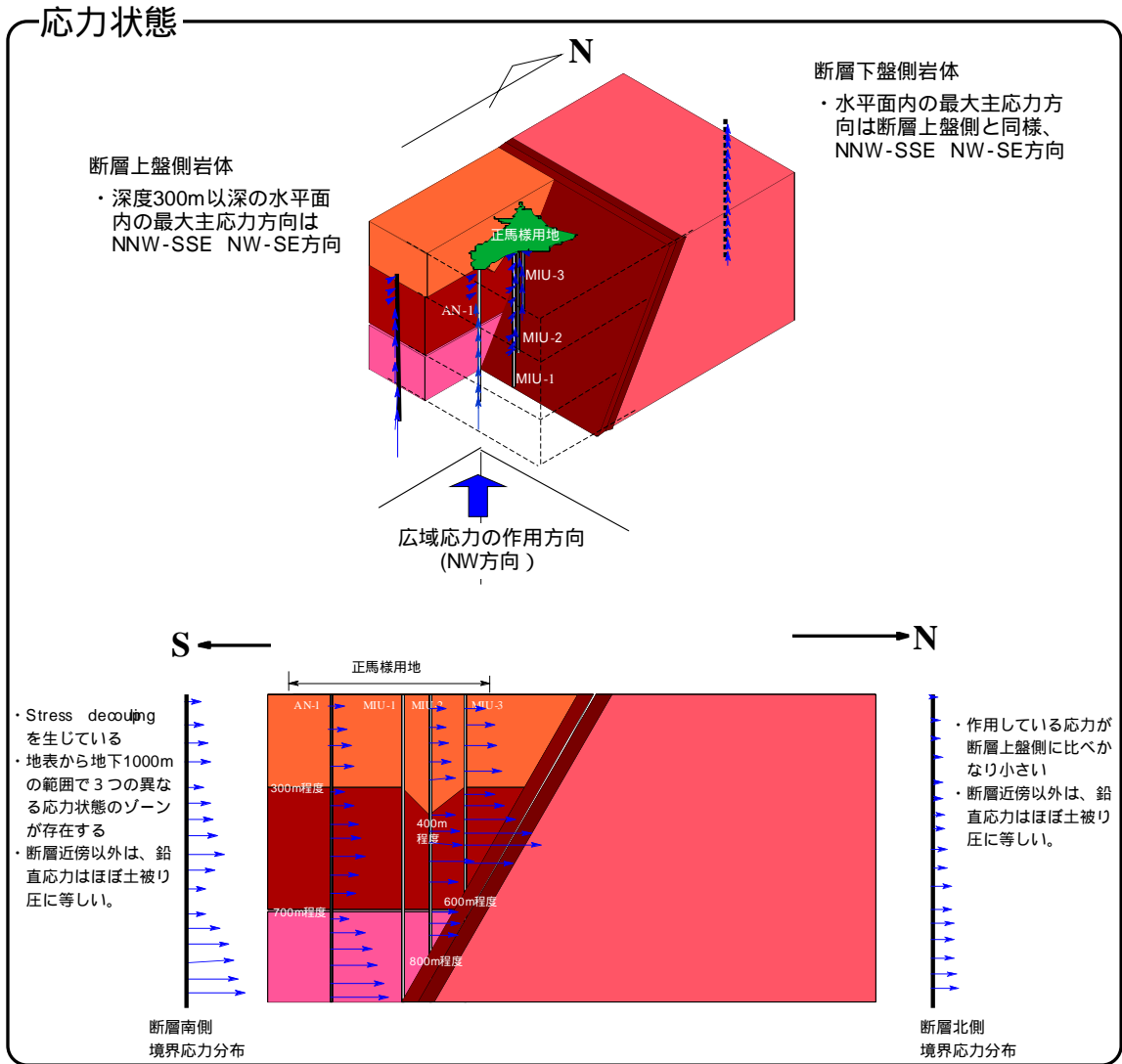
6.3.3 正馬様用地における土岐花崗岩体の岩盤力学的概念モデル

1),2)の検討結果を基に、前出の岩盤力学的概念モデルを拡張したモデルを図 6.3.3 に示す。拡張したモデルの特徴は以下の通りである。

- ・ 断層上盤側岩体については、基本的に既設の概念モデルを用いる。
- ・ 断層下盤側岩体については新たに構築した概念モデルを付加する。ただし、DH-9 号孔で認められているような断層破碎帯や割れ目密集部については、その位置・方向や連続性を現時点で推定することが困難であるため、そのような領域が存在しない、すなわち健岩部のみで構成されているものと仮定する。

図 6.3.3 に示すモデルは、断層下盤側の力学特性等に関する情報を付加して再構築したものであるが、基本的な考え方は前出の概念モデルと異ならない。すなわち、断層上盤側の岩体と下盤側の岩体は、力学的にはほぼ完全に不連続で挙動しており、広域応力の作用によって月吉断層部で上盤側岩体が下盤側に押しつけられるような変形モードとなっている。このような変形モードで月吉断層上盤側の岩体が挙動するためには、月吉断層上盤側の岩体がブロック状になっていることが必要と考えられ、東西系の月吉断層だけではなく、それを分断する南北系の大きな断裂系の存在が重要となる。これについては、図 6.3.4 に示すように、広域地下水流動研究において実施したリニアメント調査結果から、正馬様用地及びその周辺(図中の f 地区及びその周辺)に南北系のリニアメントが確認されており、上記のような仮説を支持するものと考えられる。

この岩盤力学的概念モデルの妥当性については、数値解析等により確認していく予定である。



岩盤物性

| | 月吉断層上盤側岩体 | | | 月吉断層下盤側岩体 | 月吉断層周辺部 |
|----------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------|---|---|
| | ゾーン1 | ゾーン2 | ゾーン3 | ゾーン4 | 断層上盤側割れ目帯 断層下盤側割れ目帯 |
| 岩石マトリックス部の力学特性 | ・剛性 小 ・力学的異方性 不明 | ・剛性 大 ・力学的異方性 大 | ・剛性 小 ・力学的異方性 小 | ・剛性 小 ・力学的異方性 水平面内の異方性は非常に小さい | ・剛性 最小 ・力学的異方性 大 |
| 割れ目の分布特性 | ・割れ目が多い ・低角～水平傾斜の割れ目が相対的に卓越 | ・割れ目が少ないゾーン | ・割れ目が多いゾーン ・高傾斜の割れ目が卓越 | ・上盤側の岩体に比べ、極端に割れ目が少ない | ・割れ目数は相対的に多い ・上盤側に比べ、断層下盤側の割れ目帯の方が相対的に割れ目が多い |
| 原位置岩盤の力学特性 | ・剛性 ゾーン2に比べ小さい ・局所的な変化が大きい | ・剛性 最も大きい ・局所的な変化は小さい | ・剛性 ゾーン2に比べ小さい ・局所的な変化は大きい | ・剛性 上盤側岩体とほぼ同等 ・割れ目密集部や断層破砕部以外の領域では、局所の変化は最小 | ・剛性 最小値で他の領域の60%程度 |

図 6.3.3 正馬様用地における岩盤力学的概念モデル

7.まとめ

本報告では、MIU-3 号孔における力学特性調査結果をとりまとめるとともに、その結果と既の実施した AN-1,MIU-1 及び MIU-2 号孔の同種の計測結果を比較・検討した。さらに、前報告にて構築した岩盤力学的概念モデルを、今回取得した MIU-3 号孔の力学特性調査結果などにに基づき更新した。その概要を以下に示す。

- ・ MIU-3 号孔における物理・力学試験等の結果から、月吉断層に付随する割れ目帯を除くと、鉛直方向に 3 つの異なる物性を有するゾーンが存在することが推定された。すなわち、地表 深度 300m 程度、300 600m 程度、800m 以深であり、月吉断層上盤側の岩体（深度 600m 以浅）では、2 つの物性ゾーンに分けられる。深度 800m 以深は、断層下盤側の岩体であるが、岩石マトリックス部の物理的・力学的物性は上盤側岩体のそれとほぼ同等と考えられる。しかし、岩石コアの 2 次元弾性波速度測定結果から、断層上盤側と下盤側の岩石マトリックス部の力学的異方性の程度は異なり、下盤側の岩石マトリックス部の水平面内の力学的異方性はかなり小さい可能性がある。
- ・ MIU-3 号孔における初期応力測定の結果では、水平面内の主応力値は、深度 500m までは、深度増加とともにほぼ線形的に増加するが、深度 500m ~ 断層までの区間では減少する傾向を示す。さらに断層下盤側の岩体で測定された主応力値は上盤側に比べ小さい。最大主応力方向については、深度 136.5m 地点で東西方向になっているが、それ以深では NNW-SSE NW-SE 方向となっており極端な変化は見られない。しかし、岩石コアの 2 次元弾性波速度測定結果を加味すると、試験点数の減少により応力状態の変化が把握できていない可能性もある。鉛直応力については、断層下盤側の岩体では土被り圧よりも小さい可能性がある。
- ・ 既存の調査結果との比較(AN-1,MIU-1 及び MIU-2 号孔)より、既報において構築した月吉断層上盤側の岩体の岩盤力学的概念モデルは、MIU-3 号孔の地点においても適用できるものと判断される。また、MIU-3 号孔において初めて取得した月吉断層下盤の力学特性に関するデータ及び東濃鉦山及び広域地下水流動研究における調査結果を加味し、新たに月吉断層下盤側の岩盤力学的概念モデルを提示した。断層下盤側の岩体の力学特性は、上盤側のそれよりも良好であると考えられるが、応力状態は上盤側に比べ小さいことが想定される。これらの月吉断層上盤側及び下盤側岩体の概念モデルを合わせ、正馬様用地における岩盤力学的概念モデルを構築した。

8. 参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構(2000)：正馬様用地における試錐調査(MIU-3号孔),JNC TJ7440 2000-002
- 2) 核燃料サイクル開発機構(2000)：MIU-3号孔における水圧破砕法による初期応力測定 JNC TJ 304 2000-005
- 3) 核燃料サイクル開発機構(1999):MIU-2号孔における力学特性調査結果及び月吉断層上盤側岩体の岩盤力学的概念モデル, JNC TN7420 00-001
- 4) 核燃料サイクル開発機構(1999):Working Programme for MIU-4 Borehole Investigation ,JNC TN7410 99-007
- 5) 核燃料サイクル開発機構(1999):パイプレータ震源による弾性波探査, JNC TJ7420 99-005
- 6) 核燃料サイクル開発機構(1998)：立坑掘削予定地点における試錐調査(MIU-1号孔), JNC TJ40 98-001
- 7) 核燃料サイクル開発機構(1999)：正馬様用地における試錐調査(MIU-2号孔), JNC TJ 7410 99-016
- 8) 国土地理院編(1990):日本の地殻水平ひずみ
- 9) Chadler N. A., Read R. ~~Wartam~~,d C. ~~1996~~):In-situ stress measurement for nuclear fuel waste repository design, Proc.No~~7~~ Earth AmericanRock Mechanics Symposium, pp.929-936.
- 10) 核燃料サイクル開発機構(1999)：99SE-02孔における水圧破砕法による初期応力測定, JNC TJ7430 2000-001
- 11) 核燃料サイクル開発機構(1999):広域地下水流動研究における試錐調査(その2)(DH-9号孔), JNC TJ7440 98-002
- 12) Maeda, ,N. Sato, T., Matsui, H. and Sugihara, K. (1999)on Est applicability of stress measurement methods and three dimensionsstate In soft sedimentary ckro Proceeding of THE~~9~~ JAPAN-KOREA JOINT SYMOPSIUM ON ROCK ENGINEERING, pp.277 284.