

DH-2 号孔の岩芯を用いた力学特性調査結果

(研究報告)

2003 年 10 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

電話：029-282-1122(代表)

ファックス：029-282-7980

電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquires 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)

2003

DH-2号孔の岩芯を用いた力学特性調査結果  
(研究報告)

中間 茂雄\*, 中島 貴弘\*, 青木 俊朗\*, 佐藤 稔紀\*

要旨

核燃料サイクル開発機構・東濃地科学センターでは、岐阜県瑞浪市において超深地層研究所計画を実施している。本調査では、超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階（第1段階）として、瑞浪超深地層研究所用地（以下、研究所用地）近傍の既存試錐孔（DH-2号孔）の岩芯を用いた力学特性調査により、研究坑道を掘削する岩盤（土岐花崗岩）の力学特性を把握した。結果の概要は以下のとおりである。

- ・ 研究所用地周辺の土岐花崗岩の代表的な力学特性値（平均値）として、見かけ比重=2.623, 一軸圧縮強度=117MPa, 50%接線ヤング率=58GPa, ポアソン比=0.33が得られた。これらの値は、日本の花崗岩の平均的な値, 正馬様用地における土岐花崗岩の値とほぼ同様であった。
- ・ 研究所用地周辺の土岐花崗岩におけるジョイント（割れ目面）の強度・変形特性は、深度500mまでの試験結果からは深度依存性は認められなかった。
- ・ DSCA試験によって得られたクラックパラメータの最大主値の走向は、N-SからNW-SE方向に分布する傾向が認められた。これは正馬様用地における土岐花崗岩の分布傾向とほぼ同様であった。

**The results of the rock mechanical properties of the Toki granite using core specimen  
from DH-2 borehole  
(Research Report)**

Shigeo Nakama\*, Takahiro Nakajima\*, Toshiro Aoki\* and Toshinori Sato\*

Tono Geoscience Center (TGC), Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) has been carrying out the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) project in Mizunami city, Gifu prefecture. In the investigations, as a part of the surface-based investigations in the MIU project, the rock mechanical properties of the Toki granite at the MIU facility site were defined on DH-2 borehole core specimens. The main results of the investigations are summarized as follows:

- The rock mechanical properties of the Toki granite at the MIU facility site are: apparent specific gravity 2.623, unconfined compressive strength 117MPa, Young's modulus 58GPa, Poisson's ratio 0.33. The rock mechanical properties of the Toki granite near the MIU facility site are similar to those of Shobasama site and average value in Japan.
- It was not confirmed that depth dependence of the strength/deformation property of joint in the Toki granite near the MIU facility site.
- The maximum principal value of the crack parameter by the DSCA indicated N-S to NW-SE orientation. The orientation was consistent with one of the maximum crack parameters of cores from Shobasama site.

---

\* Mizunami Underground Research Laboratory, Research Group

## 目次

1. はじめに	1
2. 目的	2
3. 調査位置および地質構造	3
4. DH-2号孔のコアを用いた力学特性に関する調査項目	4
5. DH-2号孔のコアを用いた力学特性調査	5
5. 1 室内物理試験	5
5. 1. 1 試験方法	5
5. 1. 2 試験結果	5
5. 2 室内力学試験	7
5. 2. 1 試験方法	7
5. 2. 2 試験結果	7
5. 3 ジョイントせん断試験	10
5. 3. 1 試験方法	10
5. 3. 2 試験結果	11
5. 4 岩石の異方性に関する室内試験 (DSCA 試験)	19
5. 4. 1 試験方法	19
5. 4. 2 試験結果	23
6. まとめ	26
参考文献	27
巻末資料	

## 図表目次

図 3.1	研究所用地と既存試錐孔 (DH-2 号孔) との位置関係	3
図 5.1	DH-2 号孔および正馬様用地における土岐花崗岩の物理物性値の深度分布	6
図 5.2	DH-2 号孔および正馬様用地における土岐花崗岩の力学物性値の深度分布	8
図 5.3	ジョイント面のラフネス測定結果の例	12
図 5.4	ジョイントせん断試験の前後でのジョイント面の凹凸変化量の例	12
図 5.5	垂直载荷・せん断試験結果の例	14
図 5.6	せん断応力-せん断変位曲線のタイプ	15
図 5.7	ジョイント分類ごとの各パラメータ (Kn, Ks, JCS, JRC) の分布	17
図 5.8	ジョイントせん断試験で得られた各パラメータ (Kn, Ks, JCS, JRC) の深度分布	18
図 5.9	DSCA 法による室内試験供試体	20
図 5.10	DSCA 法における静水圧-垂直差ひずみ曲線と微小クラックの特性量に関わる諸パラメータ	21
図 5.11	解析手順フローチャート	22
図 5.12	クラックパラメータ $(\Delta\beta/\beta')_l$ と供試体の採取深度との関係	24
図 5.13	クラックパラメータ $(\Delta\beta/\beta')_l$ の主値の方向	24
表 4.1	DH-2 号孔のコアを用いた力学特性調査項目	4
表 5.1	DH-2 号孔および正馬様用地における土岐花崗岩体の物理物性	6
表 5.2	DH-2 号孔および正馬様用地における土岐花崗岩体の力学物性	8
表 5.3	ジョイントの分類	10
表 5.4	新鮮な岩石コアの試験から得られた特性値	11
表 5.5	Barton-Bandis によるジョイント面の破壊基準パラメータ	18
表 5.6	固有線圧縮率およびクラックパラメータ	25
表 5.7	$(\Delta\beta/\beta')_l$ から推定された初期応力の比	25

## 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では、岐阜県瑞浪市明世町において超深地層研究所計画を実施している（サイクル機構，2002a）。本計画は、平成8年度より、瑞浪市明世町月吉にあるサイクル機構の正馬様用地において実施されてきた。その後、平成14年1月に瑞浪市明世町山野内の瑞浪市市有地において、瑞浪超深地層研究所の研究坑道を設置することとなった（以下、瑞浪超深地層研究所用地を「研究所用地」と呼ぶ）。

本報告書は、超深地層研究所計画における地表からの調査の一環として、研究所用地近傍の既存試錐孔（DH-2号孔，掘削長501.0m）の岩芯（土岐花崗岩）を用いた力学特性調査を行い、その結果をとりまとめたものである。

## 2. 目的

超深地層研究所計画の地表からの調査段階（第1段階）における岩盤力学に関する調査・研究の目標は、①研究所用地における土岐花崗岩体の力学特性（物理特性、変形特性、強度特性）および初期応力状態を三次元的に把握し、岩盤力学モデルを構築すること、②このモデルを用いて、研究坑道掘削前の初期応力状態を推定するとともに、研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の変形挙動および応力変化、ならびに応力集中に伴う岩盤の損傷範囲を推定することである。これらの情報を基に、研究坑道の詳細設計や次段階以降の調査・研究計画の策定に反映する（サイクル機構, 2002a）。

本調査では、研究所用地近傍のDH-2号孔の岩芯を用いて、深度500mまでの土岐花崗岩の力学特性を把握することを主な目的として、次の3つの室内試験を実施した。

- ・ 土岐花崗岩の力学特性およびその深度依存性を把握するために、複数の深度から供試体を採取し物性試験および力学試験を実施した。
- ・ ジョイントの変形特性や強度特性およびその深度依存性を把握するためにジョイントせん断試験を実施した。
- ・ 岩石の力学的異方性の程度と初期応力状態を推定するために DSCA (Differential Strain Curve Analysis) 法による室内試験を実施した。



### 3. 調査位置および地質構造

調査実施領域は、岐阜県瑞浪市明世町山野内に位置する研究所用地である。研究所用地周辺には、基盤である後期白亜紀の土岐花崗岩体とそれを覆う新第三紀の堆積岩（瑞浪層群）が分布する。本調査を実施した既存試錐孔（DH-2号孔、掘削長501m）は、研究所用地近傍に位置し、基盤を覆う堆積岩の層厚は約170mである。研究所用地と既存試錐孔（DH-2号孔）との位置関係を図3.1に示す。

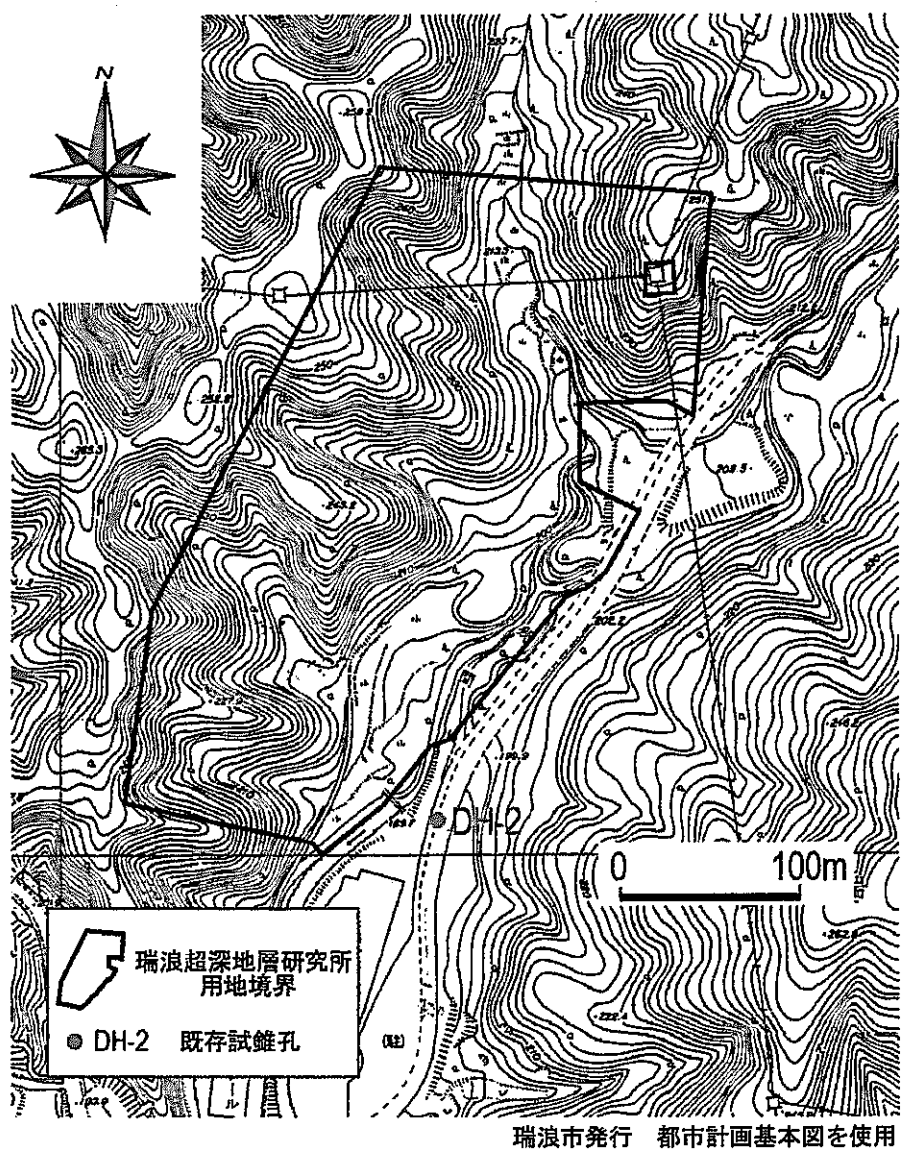


図 3.1 研究所用地と既存試錐孔（DH-2号孔）との位置関係

#### 4. DH-2号孔のコアを用いた力学特性に関する調査項目

DH-2号孔のコアを用いた力学特性調査として、以下の項目を実施した。

- ・ 室内物理試験
- ・ 室内力学試験
- ・ ジョイントせん断試験
- ・ 岩石の異方性に関する室内試験 (DSCA 法)

試験供試体 DH-2 号孔の花崗岩部コア (深度 170m 以深) を対象とし、土岐花崗岩の力学特性の深度分布を把握するため、深度方向にほぼ等間隔にサンプリングした。なお堆積岩部 (地表～深度 170m) のコアは経年保存の影響による劣化 (乾燥クラックなどの発生) が激しく、試験対象から除外した。試験手法などの仕様を表 4.1 に示す。

表 4.1 DH-2号孔のコアを用いた力学特性調査項目

調査項目	試験項目 (方法)	数量	備考
室内物理試験	密度試験	60	
	含水比試験	60	
	有効空隙率試験	60	
	弾性波速度試験 (P 波, S 波)	60	
室内力学試験	一軸圧縮試験	30	
	圧裂引張試験	30	
	三軸圧縮試験	30	封圧 10, 20, 30MPa
ジョイントせん断試験	ラフネス測定	22	
	垂直載荷試験	22	
	せん断試験	22	
	ティルト試験	25	ジョイントを含む試料 : 22 個, 新鮮岩石試料 : 3 個
	点載荷試験	25	
岩石の異方性に関する室内試験	DSCA 法	10	初期応力状態の推定を含む

## 5. DH-2号孔のコアを用いた力学特性調査

### 5. 1 室内物理試験

#### 5. 1. 1 試験方法

室内物理試験として、密度試験、含水比試験、有効空隙率試験および弾性波速度試験を実施した。これらの試験で得られる岩石の物理特性は力学特性と高い相関を示すため、力学試験結果を評価する上での重要な指標となる。それぞれの試験は International Society for Rock Mechanics (ISRM) が設けた指針 (Brown, 1981; 以下, ISRM 指針と称す) に準拠して実施した。

##### (1) 密度試験, 含水比試験および有効空隙率試験

直径 5cm, 長さ 10cm の円柱形に整形した岩石供試体の自然重量, 乾燥重量, 表面乾燥重量, 飽和浸漬重量, 体積をそれぞれ測定した。単位体積重量, 見かけ比重, 密度, 含水比, 有効空隙率の各値は, 飽和・成形法および飽和・浮力法に基づいた計算により算出した。

##### (2) 弾性波速度試験

岩石供試体の両端部に P 波および S 波の発信・受信子をあて, 供試体間を伝わる弾性波の伝播時間および供試体の長さを測定した。弾性波速度 (P 波, S 波) は得られた供試体の長さを弾性波伝播時間で除することにより算出した。

#### 5. 1. 2 試験結果

図 5.1 は, 室内物理試験によって取得した各物性値と深度との関係を示したものである。図には値の比較のため, 正馬様用地における試験結果 (松井, 1999; 石川ほか, 1999; 豊蔵ほか, 2000; サイクル機構, 2002b) も合わせて示した。研究所用地における土岐花崗岩の物理物性値の範囲および平均値は表 5.1 のとおりである。表には日本の花崗岩類の平均値 (佐藤ほか, 1999) も合わせて示した。なお, 密度等のデータについては正馬様用地のすべての試錐孔において共通して測定した見かけ比重のデータで代表させて示した。

研究所用地周辺における土岐花崗岩の物理物性値は, 含水率や有効空隙率はやや小さいものの, 日本の花崗岩の平均的な値とほぼ同じである。また, 正馬様用地における物理物性値の測定結果との比較においては, 力学的に影響の生じるような有意な差は無く, ほぼ同様の分布傾向を示している。しかしながら, 有効空隙率および弾性波速度は正馬様用地における土岐花崗岩の平均値よりも小さい。岩石では一般に, 有効空隙率が小さいと弾性波が伝わりやすくなり, 弾性波速度は大きくなることが知られており, 研究所用地周辺の土岐花崗岩は逆の傾向となっている。これらのことから, (1)研究所用地周辺における土岐花崗岩はき裂や空隙が少なく, ち密な岩石であること, (2)研究所用地

周辺の土岐花崗岩の弾性波速度が正馬様用地のそれに比べて小さいのは、き裂や空隙の影響より岩石基質部の構造など（例えば、鉱物組成や風化・変質の度合いの違い）に起因していること、が推測される。

表 5.1 DH-2 号孔および正馬様用地における土岐花崗岩体の物理物性

物理物性	DH-2 号孔			正馬様用地 (平均値)	日本の花崗岩類* (平均値)
	範囲	平均値	測定誤差		
見かけ比重	2.611~2.635	2.623	0.0003	2.624	2.63
含水率	0.26~0.39%	0.32%	0.004%	0.38%	0.4%
有効空隙率	0.67~1.02%	0.83%	0.01%	1.31%	2.0%
弾性波速度 (P 波)	3.96~5.35km/s	4.80km/s	0.02km/s	5.27km/s	4.75km/s
弾性波速度 (S 波)	1.95~2.66km/s	2.41km/s	0.004km/s	2.85km/s	2.44km/s

\*佐藤ほか, 1999 ; 花崗岩, 花崗閃緑岩, 花崗斑岩, 石英斑岩, 石英閃緑岩, 石英閃長岩, 片麻岩

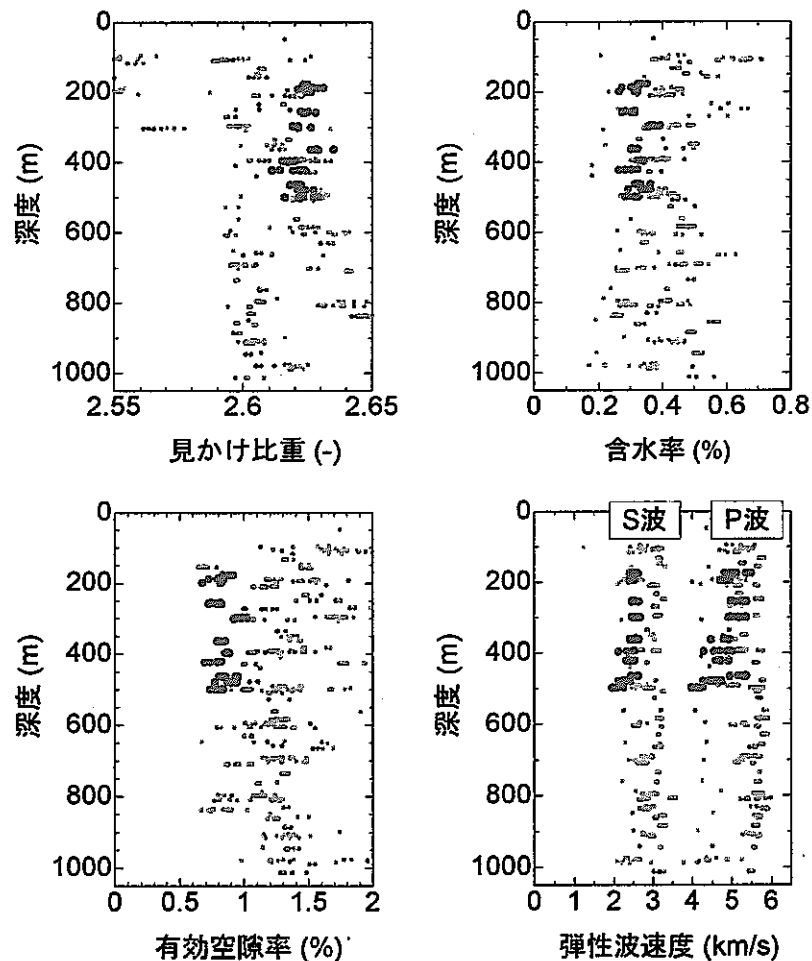


図 5.1 DH-2 号孔および正馬様用地における土岐花崗岩の物理物性値の深度分布

● : DH-2 号孔, ○ : 正馬様用地

## 5. 2 室内力学試験

### 5. 2. 1 試験方法

室内力学試験として、一軸圧縮試験、圧裂引張試験および三軸圧縮試験を実施した。それぞれの試験は室内物理試験と同様に ISRM 指針に準拠して実施した。

#### (1) 一軸圧縮試験

直径 5cm、長さ 10cm の円柱形の岩石供試体の縦ひずみ・横ひずみおよび圧縮荷重を計測しつつ、変位一定制御の条件下で岩石供試体を圧縮した。岩石供試体の破壊時のピーク応力を一軸圧縮強度 $\sigma_c$ とし、試験により得られた応力-ひずみ関係より、ヤング率およびポアソン比を算出した。

#### (2) 圧裂引張試験

直径、長さ各 5cm の円柱形の岩石供試体の直径方向に圧縮線荷重を載荷し、岩石供試体の破壊時のピーク荷重から弾性論に基づいて引張強度(圧裂引張強度)を算出した。

#### (3) 三軸圧縮試験

直径 5cm、長さ 10cm の円柱形の岩石供試体について、異なる封圧(10MPa, 20MPa, 30MPa) 下での圧縮試験を行い、三軸圧縮強度を測定した。測定された三軸圧縮強度と封圧の関係から、モールの応力円を描画し、岩石の破壊基準となる粘着力  $c$  および内部摩擦角  $\phi$  を求めた。

### 5. 2. 2 試験結果

図 5.2 は、室内力学試験によって取得された各物性値と深度との関係を示したものである。図には値の比較のため、正馬様用地における試験結果(松井, 1999; 石川ほか, 1999; 豊蔵ほか, 2000; サイクル機構, 2002b) および日本の花崗岩類の平均値(佐藤ほか, 1999) も合わせて示した。研究所用地周辺における土岐花崗岩の力学物性値の範囲および平均値は表 5.2 のとおりである。なお、ヤング率のデータについては、正馬様用地のすべての試錐孔において共通して評価した 50%接線ヤング率のデータで代表させて示す。

研究所用地周辺における土岐花崗岩の力学物性値は、ヤング率や粘着力は大きいものの、その他の値は日本の花崗岩の平均的な値とほぼ同じである。また、正馬様用地における力学物性値の測定結果との比較においては、一軸圧縮強度を除き、有意な差は認められない。一軸圧縮強度については、深度とともに増加する傾向があり、全体的な値は正馬様用地のそれに比べやや小さい。岩石では一般に一軸圧縮強度は弾性波速度と正の相関があることが知られており、一軸圧縮強度の小ささは弾性波速度が小さいことと整合している。

表 5.2 DH-2 号孔および正馬様用地における土岐花崗岩体の力学物性

力学物性	DH-2 号孔			正馬様用地 (平均値)	日本の花崗岩類* (平均値)
	範囲	平均値	測定誤差		
一軸圧縮強度	65~144MPa	117MPa	0.05MPa	168MPa	136MPa
50%接線ヤング率	34~105GPa	58GPa	0.1GPa	51GPa	33GPa
ポアソン比	0.21~0.42	0.33	0.1	0.34	0.23
圧裂引張強度	5.1~11.8MPa	7.8MPa	0.3MPa	7.6MPa	8.0MPa
粘着力	25~60MPa	37MPa	0.1MPa	34MPa	21MPa
内部摩擦角	41~56°	53°	0.1°	55°	52°

\*佐藤ほか, 1999 ; 花崗岩, 花崗閃緑岩, 花崗斑岩, 石英斑岩, 石英閃緑岩, 石英閃長岩, 片麻岩

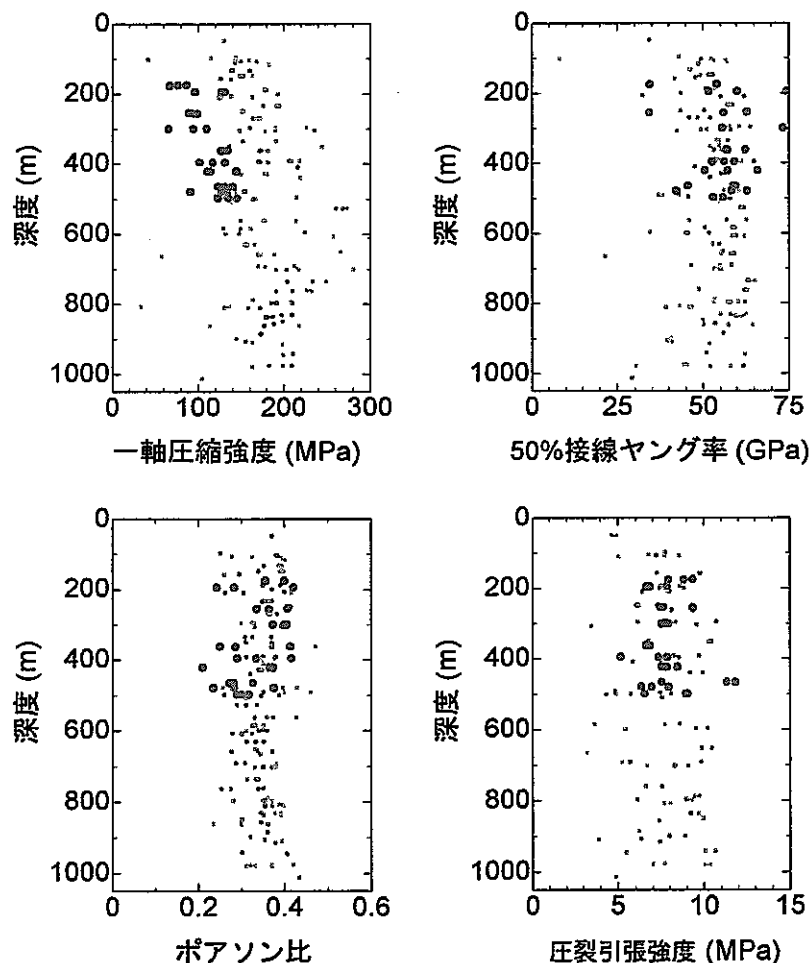


図 5.2(1) DH-2 号孔および正馬様用地における土岐花崗岩の力学物性値の深度分布

● : DH-2 号孔, ○ : 正馬様用地

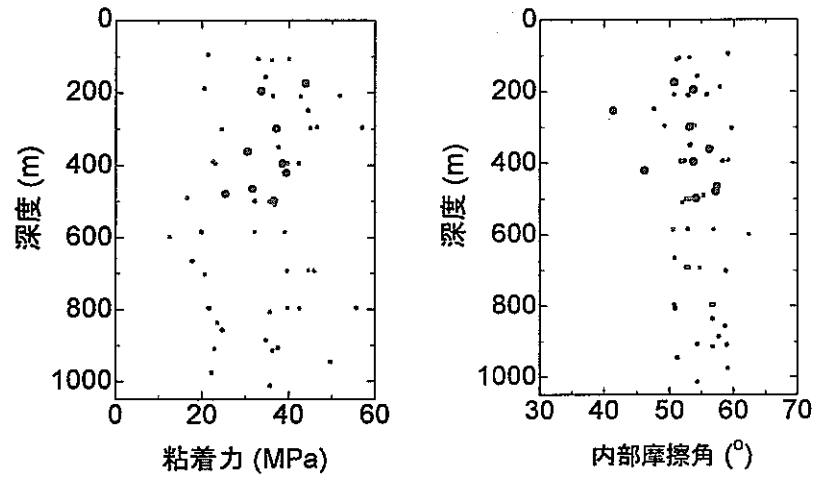


図 5.2(2) DH-2 号孔および正馬様用地における土岐花崗岩の力学物性値の深度分布  
 ● : DH-2 号孔, ○ : 正馬様用地

### 5. 3 ジョイントせん断試験

#### 5. 3. 1 試験方法

ジョイントの強度・変形特性を評価するために、ジョイントを含む岩石コアによる試験として、ラフネス測定、垂直載荷試験、せん断試験、ティルト試験および点載荷試験を実施した。なお、ジョイント性状については、コア観察結果およびBTVデータに基づき、土岐花崗岩のジョイントを3つの分類指標（ジョイントの角度、形状、充填物の有無）により、表5.3に示す6グループに分類した。

表 5.3 ジョイントの分類

ジョイント分類	ジョイント角度*	ジョイント形状**	充填物
分類1	低	P	有
分類2	低	P	無
分類3	低	C	有
分類4	高	C	無
分類5	高	P	無
分類6	高	C	無

\* 傾斜45°を基準に、これより低角度のものを低、高角度のものを高と標記

\*\*滑らかで平滑な形状を呈するものをP、緩く湾曲する形状を呈するものをCと標記。

詳細は吉田ほか(1989)を参照。

#### (1) ラフネス測定

レーザ式変位計を備えたラフネス測定装置を用いて、ジョイント面の三次元凹凸形状を測定した。測定間隔は、0.5mmピッチで行った。また、トレーシングペーパーでジョイント面の形状を写し取り、その接触平面積を算定し垂直応力の算定などに用いた。

#### (2) 垂直載荷試験

早強性モルタルセメントで供試体の両端面を載荷治具用に加工成形し、ジョイントせん断試験装置を用いてジョイント面に垂直応力を3回繰り返し作用させ、垂直応力-垂直変位（ダイレーション）曲線を求めた。なお、垂直応力のレベルは、コア採取深度の土被り圧相当とした。

#### (3) せん断試験

自重圧による垂直応力一定の条件下でせん断応力を作用させ、せん断応力-せん断変位曲線を求めた。せん断方向は、採取試料のジョイント面（楕円形）の長軸方向で、地表面（上面側）から地中深部（下面側）の方向とした。

#### (4) ティルト試験

ティルト試験装置を用いて、新鮮岩石のコア表面およびせん断破壊後のジョイントが



滑り始める傾斜角度を測定した。測定は 10 回行い、その平均値を傾斜角度とした。

(5) 点載荷試験

軽量コンクリート用シュミットハンマー (LR 型) を用いて、新鮮岩石の切断面およびジョイント面 (上面および下面それぞれ) の反発度を測定した。測定は 10 回行い、その平均値を反発度とした。なお、本測定は、ジョイント面に衝撃を与え損傷を与える恐れがあるため、ティルト試験終了後に行った。

5. 3. 2 試験結果

(1) 新鮮な岩石コアによる試験結果

新鮮な岩石コアは 3 深度から採取し、密度試験、点載荷試験およびティルト試験を行った。各試験から得られた結果を表 5.4 に示す。なお、ここで得られた特性値は、後述するジョイントを含む岩石コアによる試験からジョイントの特性を評価する際に用いた。

単位体積重量 $\gamma$ は 25.66~25.71kN/m<sup>3</sup>であり、採取深度による差はほとんどない。圧縮強度 $\sigma_c$ は、点載荷試験結果の反発度  $R$  をもとに下式を用いて算定した (小杉ほか, 1991 ; Barton and Bandis, 1990)。

$$\log_{10} \sigma_c = 0.00088\gamma R + 1.01 \quad (5.3.1)$$

圧縮強度 $\sigma_c$ は、134.7~153.7MPa であった。また、ティルト試験の結果から、基礎摩擦角 $\phi_b$ は 32.3~34.1°の範囲のほぼ一定値が得られた。

表 5.4 新鮮な岩石コアの試験から得られた特性値

試験 特性値 採取深度(m)	密度試験	点載荷試験		ティルト試験
	単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	反発度 $R$	圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	基礎摩擦角 $\phi_b$ (°)
176.90~177.20	25.71	49.5	134.8	34.1
396.16~396.46	25.66	52.1	153.7	32.5
448.40~449.00	25.71	50.3	140.5	32.3

(2) ジョイントを含む岩石コアによる試験結果

ジョイントを含む岩石コア試料の試験結果について、以下にまとめる。

①ラフネス測定

ラフネス測定結果の代表例として、ジョイントせん断試験前と試験後のジョイント面の凹凸形状の測定例を図 5.3 に示す。ジョイント面は 2 面あるため、便宜的に地表面側を上面、地中深部側を下面と呼ぶ (図 5.3 参照)。なお、図中の A と A', B と B', C と C' は岩石コア上でそれぞれ一致する。

ラフネス測定の結果に基づき、図 5.4 に例示するように、ジョイントせん断試験の前

後での上面(左)と下面(右)の凹凸の変化量について解析した。この例では、最大の変化量は下面の0.4~0.5mmで、ほとんどが0.2mm以下の変化量であり、0.1mm以下が80~95%を占めていることがわかる。このような結果は、正馬様用地の土岐花崗岩を対象に行った試験結果(畑ほか, 2001)とほぼ同様の傾向を示している。

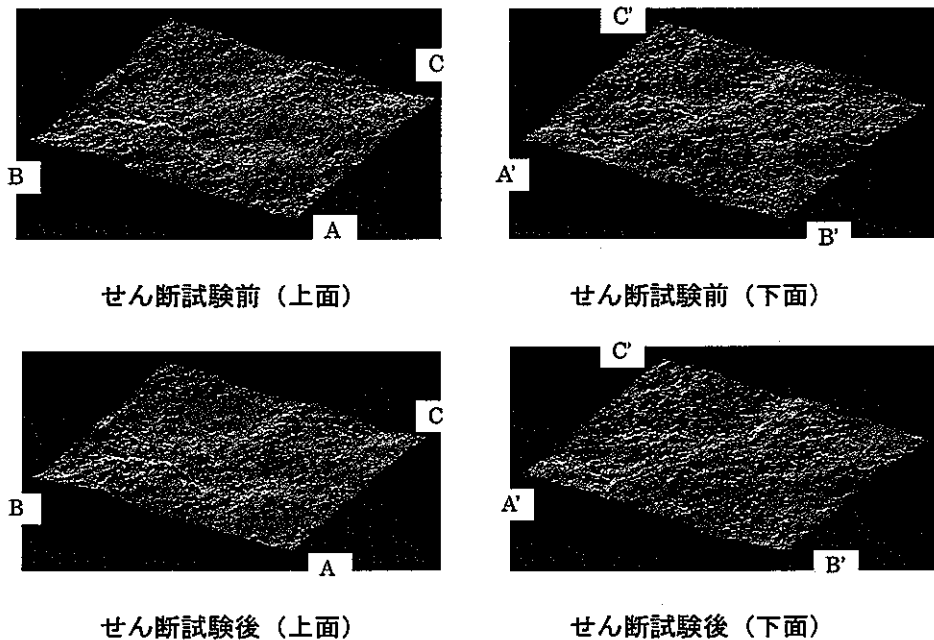


図 5.3 ジョイント面のラフネス測定結果の例  
(深度 233.75m, 走向傾斜 N53W19NE, 分類 2)

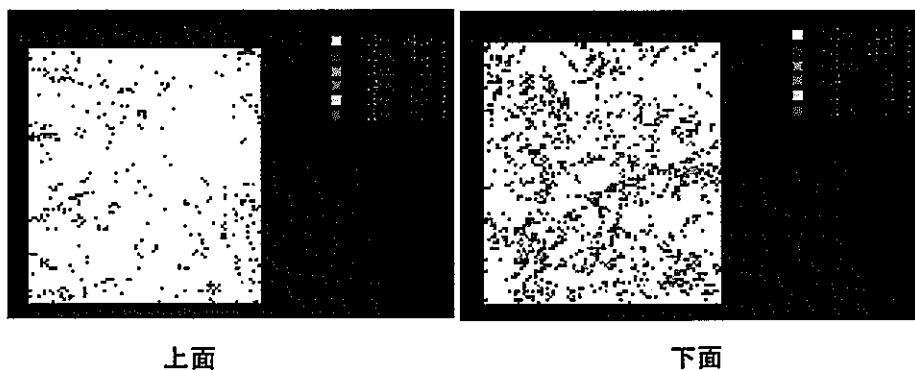


図 5.4 ジョイントせん断試験の前後でのジョイント面の凹凸変化量の例  
(深度 233.75m, 走向傾斜 N53W19NE, 分類 2)

## ②点載荷試験

シュミットハンマーによる点載荷試験によって測定した反発度  $R_f$  を用いて、ジョイント面の圧縮強度  $JCS$  (MPa) を下式から推定した(小杉ほか, 1991; Barton and

Bandis, 1990)。

$$\log_{10} JCS = 0.00088\gamma R_j + 1.01 \quad (5.3.2)$$

ここで、 $\gamma$  (kN/m<sup>3</sup>) は新鮮な岩石の単位体積重量であり、 $JCS$  算定の際には、試験供試体に最も近い深度で実施された新鮮な岩石コアの密度試験の結果を採用した。 $JCS$  の算出結果として 36~59MPa の値が得られた。

また、点載荷試験結果と新鮮な岩石のティルト試験結果より、ジョイントの残留摩擦角  $\phi_r$  を次式により求めた (小杉ほか, 1991 ; Barton and Bandis, 1990)。

$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20R_j/R \quad (5.3.3)$$

ここで、 $R_j$  および  $R$  は、それぞれジョイント面および新鮮な岩石供試体における点載荷試験で得られた反発度であり、 $\phi_b$  は新鮮な岩石コアのティルト試験から得られた基礎摩擦角である。なお、 $R_j$  はジョイント面の上面と下面の反発度の平均値であり、 $\phi_b$  および  $R$  は、ジョイントを含む供試体の採取深度に最も近い新鮮な岩石コアの試験結果を採用した。その結果、残留摩擦角  $\phi_r$  は 22.8~26.8° の範囲のほぼ一定値が得られた。

### ③垂直載荷・せん断試験

垂直載荷・せん断試験の結果として得られた、(a)垂直応力-ダイレーション(垂直変位)関係、(b)せん断応力-せん断変位関係および(c)ダイレーション-せん断変位関係を図 5.5 に例示する。なお、垂直載荷試験時の載荷応力は試料採取深度の土被り圧相当とした。また、せん断試験は、垂直応力  $\sigma_n$  を一定((試験治具重量分+自重)/ジョイントの平面積  $A$ )とし、せん断変位 5mm まで試験を行った。なお、ジョイントの平面積  $A$  は、ジョイント上面および下面についてそれぞれトレーシングペーパーでその形状を写し取って求め、その小さいほうの値を採用した。

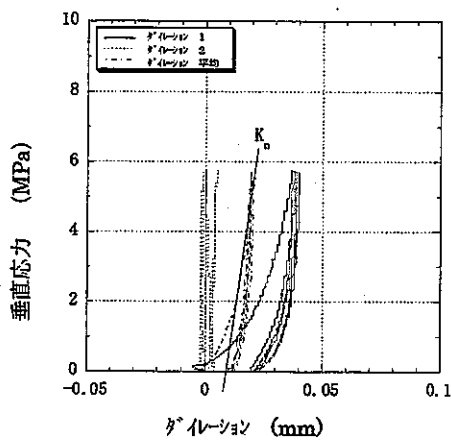
図 5.5(a)において、実線と点線は試料対角線上の 2 点で測定されたそれぞれの垂直応力と垂直変位の関係を、一点鎖線はそれらの平均値を示している。垂直応力-ダイレーション曲線は一般に下に凸の非線形性を示し、繰り返し回数が増えると非線形性は小さくなる。また、実線と点線では異なった動きを示しており、この違いは局所的なジョイントの噛み合わせや粒子破碎の影響と考えられる。垂直剛性  $K_v$  は、載荷時の始点と終点を結ぶ割線から求めた。

図 5.5(b)では、ピーク強度を迎えた後は徐々にせん断応力が低下し、その後せん断応力が増加する挙動が読み取れる。せん断剛性  $K_s$  は最大せん断強度に達する直前の直線部分の勾配から求め、残留強度  $\tau_r$  は後半部分の最小せん断応力とした。

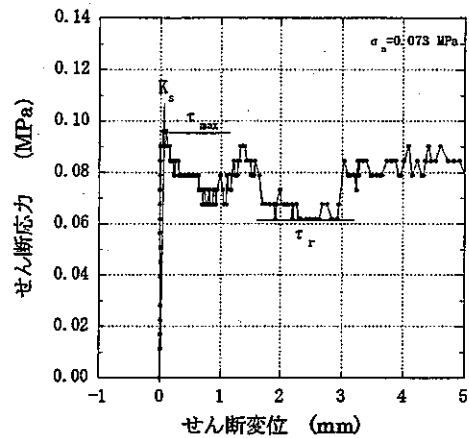
図 5.5(c)において、試料対角線上の 2 点で測定されたダイレーションとせん断変位の関係を実線と鎖線でそれぞれ示し、一点鎖線はそれらの平均値を示している。せん断変位の増加に伴いダイレーションも増加する傾向があり、対角線上で異なる動きが読み取れる。この挙動も前述の垂直載荷試験時と同様にジョイントの局所的な噛み合わせや粒

子の破砕などによるものと考えられる。

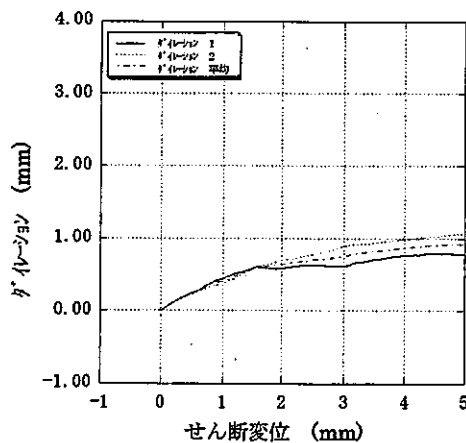
以上のようなジョイントの力学特性に係わる試験結果から、ジョイントの最大せん断強度  $\tau_{max}$ 、残留強度  $\tau_r$ 、垂直剛性  $K_n$ 、せん断剛性  $K_s$  を求めた。ジョイント面のせん断挙動を示すパラメータのうち、最大せん断強度  $\tau_{max}$  は 0.07~0.12MPa、残留強度  $\tau_r$  は 0.03~0.09MPa と値のばらつきは小さかったものの、垂直剛性  $K_n$  は 60~660MPa/mm、せん断剛性  $K_s$  は 0.1~11.0MPa/mm とかなり広い範囲の値となった。



(a)垂直応力-ダイレーション



(b)せん断応力-せん断変位



(c)ダイレーション-せん断変位

図 5.5 垂直載荷・せん断試験結果の例

(深度 233.75m, 走向傾斜 N53W19NE, 分類 2)

つぎに、上述のパラメータを用いてジョイント面の粗さ係数  $JRC$  を求めた。なお、ジョイント面の粗さ係数  $JRC$  の算定方法はいくつかの方法が提案されているため、以下では算定方法の違いを区別できるように、 $JRC$  の後ろに添え字をつけて標記する ( $JRC_s$  はせん断試験結果から求めたもの、 $JRC_T$  はティルト試験結果から求めたものを示す)。せん断試験の結果から求まるジョイント面の粗さ係数  $JRC_s$  は次式より求めた

(小杉ほか, 1991 ; Barton and Bandis, 1990)。

$$JRC_s = \{ \tan^{-1}(\tau_{\max}/\sigma_n) - \phi_r \} / \log_{10}(JCS/\sigma_n) \quad (5.3.4)$$

ここで、 $\phi_r$ は残留摩擦角、 $JCS$ は点載荷試験によって求めたジョイント面の圧縮強度、 $\sigma_n$ は垂直応力である。せん断試験から求まるジョイント面の粗さ係数  $JRC_s$ として、7.20～15.4 が得られた。

また、せん断応力-せん断変位曲線を図 5.6 に示すように 3つのタイプに分類した。タイプ-1 はピーク強度を迎えた後せん断応力が低下するもの、タイプ-2 は明瞭なピーク強度を示すことなく、徐々にせん断応力が増加するもの、タイプ-3 はピーク強度を迎えた後せん断応力がほぼ一定となるものである。せん断応力-せん断変位曲線のタイプはタイプ-1 とタイプ-3 が多く、タイプ-2 が最も少ない結果となった。

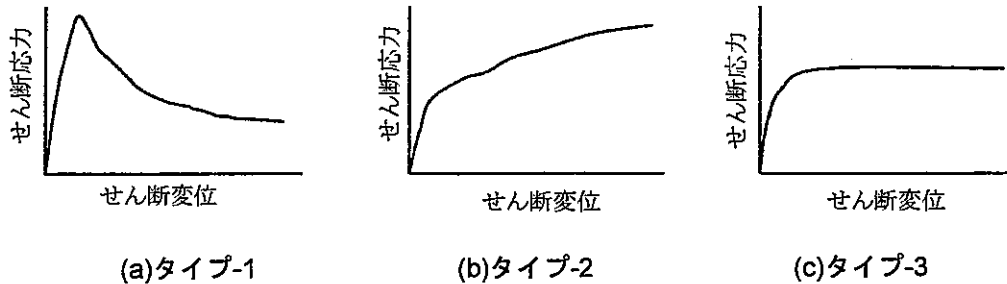


図 5.6 せん断応力-せん断変位曲線のタイプ

#### ④ティルト試験

ティルト試験の結果から求まるジョイント面の粗さ係数  $JRC_T$ を次式により算出した (小杉ほか, 1991 ; Barton and Bandis, 1990)。

$$JRC_T = (\alpha - \phi_r) / \log_{10}(JCS/\sigma_{no}) \quad (5.3.5)$$

ここで、 $\alpha$ はティルト試験で得られる傾斜角度、 $\phi_r$ はジョイント面の残留摩擦角、 $JCS$ はジョイント面の圧縮強度、 $\sigma_{no}$ はジョイント面に作用する垂直応力である。なお、 $\sigma_{no}$ はジョイント上面の供試体重量を平面積  $A$  で除した値である。

ティルト試験で得られた傾斜角度  $\alpha$  は 35～75°と広い範囲にばらついており、この試験から求まるジョイント面の粗さ係数  $JRC_T$ も 2.8～11.4 とその値の範囲は大きくなった。この  $JRC_T$ の値は、前述のせん断試験から求めた  $JRC_s$ と比較して、かなり低い値となった。

#### (3) 考察

垂直剛性  $K_n$ 、せん断剛性  $K_s$ 、ジョイント面の圧縮強度  $JCS$ 、およびジョイント面の粗さ係数  $JRC$ の 4つのパラメータについて、ジョイント分類および深度との相関関係をそれぞれ図 5.7 および図 5.8 に示す。また、Barton-Bandis によるジョイントの破壊基準式 (Barton and Bandis, 1990) のパラメータをジョイント分類ごとにまとめた結

果を表 5.5 に示す。なお、ジョイント面の粗さ係数  $JRC$  については、ここではせん断試験から求められた粗さ係数  $JRC_s$  をジョイント面の粗さ係数  $JRC$  として整理した。以下に考察結果を述べる。

①剛性  $K_n$ 、せん断剛性  $K_s$ 、ジョイント面の圧縮強度  $JCS$ 、およびジョイント面の粗さ係数  $JRC$  と、ジョイント分類との関係

図 5.7 から以下のことが確認された。

- ・ 一般的に分類 1 のジョイントが最も低い値を示した。その他の分類に属するジョイントの  $JCS$  は 44~54MPa であり、分類 1 のジョイントの  $JCS$  と比較して 30%ほど高い。
- ・ 分類 1 と分類 2 は充填物の有無だけが異なる。この二つの分類を比較すると、充填物がある場合の方が無い場合に比べて、変形性と強度を直接表現するパラメータである垂直剛性  $K_n$ 、せん断剛性  $K_s$  およびジョイント面の圧縮強度  $JCS$  の値が明らかに小さい値となっている。
- ・ 分類 1 と分類 3、分類 2 と分類 4、および分類 5 と分類 6 は、形状だけが異なる組み合わせである。これらの組み合わせごとに比較すると、ジョイントの粗さ係数  $JRC$  については、当然のことながら湾曲を呈するジョイント (C) の方が平滑な形状のジョイント (P) に比べ大きな値となっている。しかし、垂直剛性  $K_n$ 、せん断剛性  $K_s$  およびジョイント面の圧縮強度  $JCS$  については形状の違いによるそれらの値の差異は見出せない。
- ・ 分類 2 と分類 5、および分類 4 と分類 6 は、ジョイントの傾斜角だけが異なる。傾斜角の違いによる各パラメータの一般傾向は見出せないが、 $JCS$  を除き傾斜角の違いによりパラメータの分布や平均値に差異が見受けられる。

以上のことより、ジョイントをモデル化する際、ここで用いた 3 つのジョイント分類指標はジョイント特性を分類する上で有効な指標であると考えられる。

②垂直剛性  $K_n$ 、せん断剛性  $K_s$ 、ジョイント面の圧縮強度  $JCS$ 、およびジョイント面の粗さ係数  $JRC$  と深度との関係

図 5.8 から、各パラメータの深度分布には特徴的な傾向を認めることができなかった。垂直剛性  $K_n$  および粗さ係数  $JRC$  は地中深部ほど大きくなる傾向がわずかに認められる程度で、せん断剛性  $K_s$  およびジョイント面の圧縮強度  $JCS$  は深度との相関関係はない。なお、これらの結果は、MIU-1 孔、MIU-2 孔および MIU-3 孔から採取した岩芯を用いた同様の試験結果 (畑ほか, 2001) と反対の結果となっている。土岐花崗岩中のジョイントにおいては、上記のジョイントのパラメータと深度との関係には一般的な傾向はないものと推察される。

③せん断応力-せん断変位曲線のタイプとジョイントの分類指標との関係

せん断応力-せん断変位曲線のタイプ (図 5.6 参照) とジョイントの分類指標との関係として以下のことが確認された。

- ・ タイプ-1 はジョイント形状が平滑で充填物がない場合に多く、充填物がある場合には見られなかった。
- ・ 充填物がある場合はすべてタイプ-3 となった。
- ・ 緩く湾曲する形状を呈する場合、タイプ-3 が多い。

以上のことより、ジョイントのせん断特性をモデル化の際は、ジョイントの形状および充填物の有無でジョイントを分類し、分類ごとにモデル化を図るのが適切と考えられる。

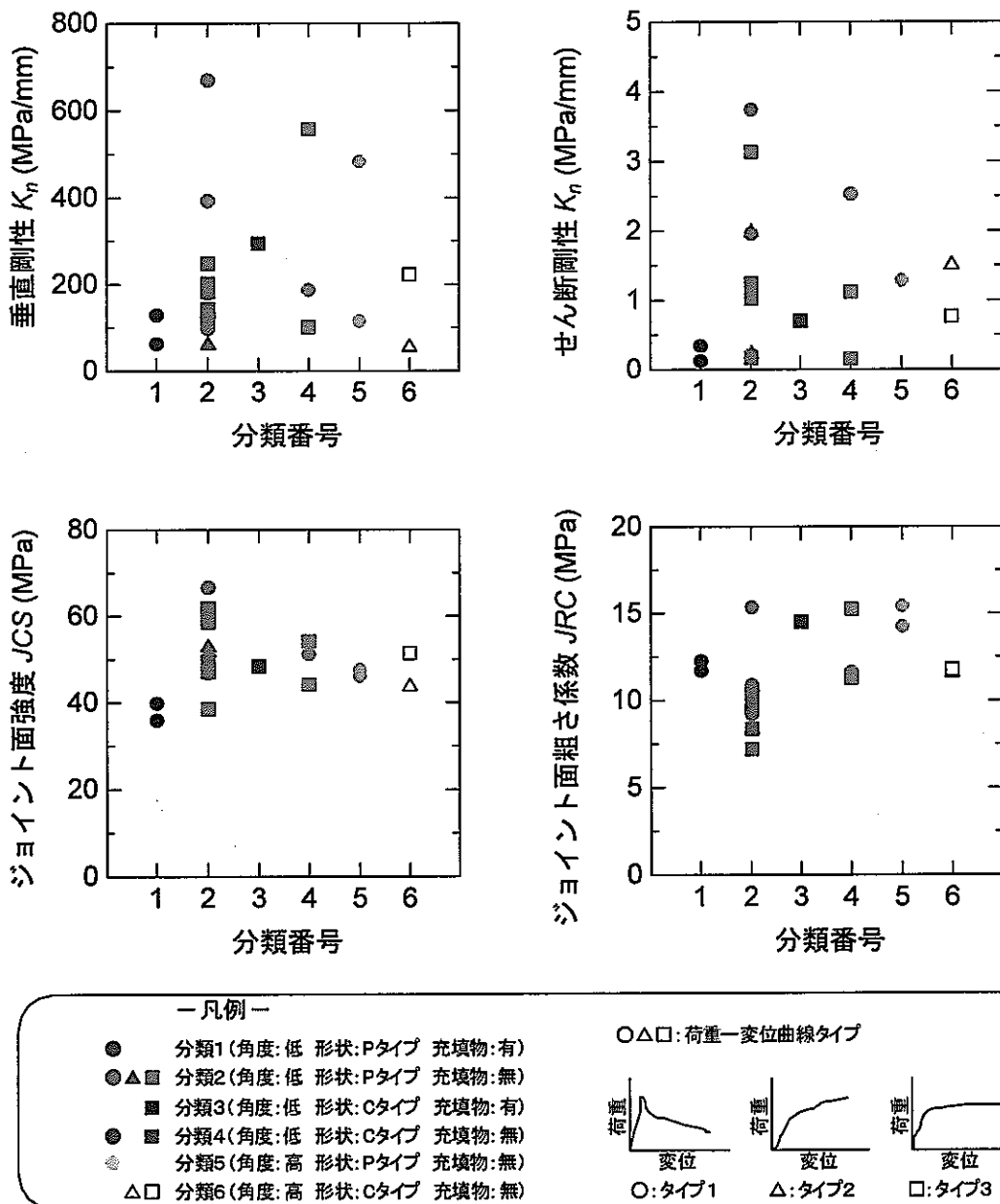


図 5.7 ジョイント分類ごとの各パラメータ ( $K_n, K_s, JCS, JRC$ ) の分布

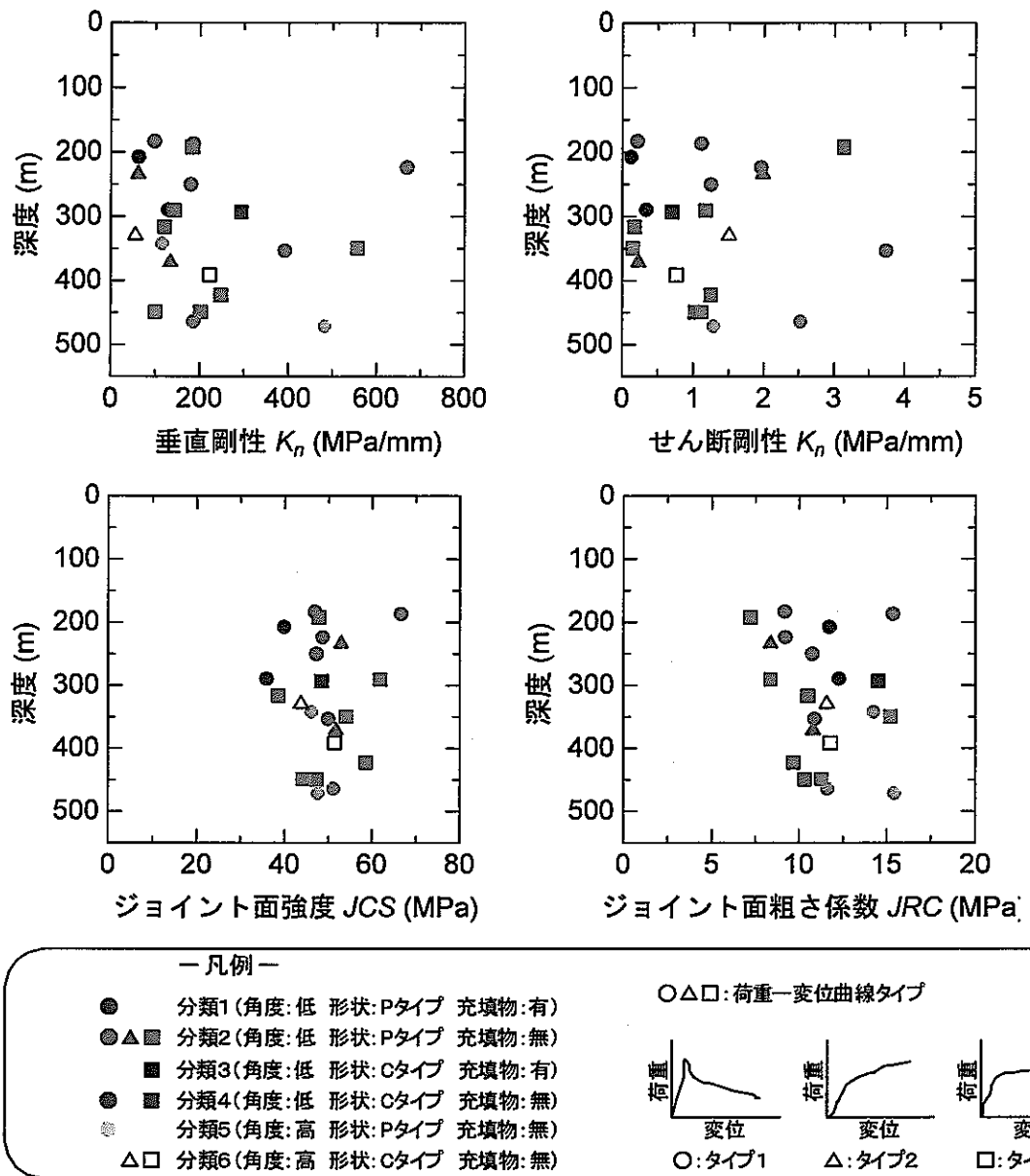


図 5.8 ジョイントせん断試験で得られた各パラメータ ( $K_n, K_s, JCS, JRC$ ) の深度分布

表 5.5 Barton-Bandis によるジョイント面の破壊基準パラメータ

分類	ジョイント面の圧縮強度 $JCS(\text{MPa})$	ジョイント面の粗さ係数 $JRC$	残留摩擦角 $\phi_r(^{\circ})$
1	37.9	11.98	23.8
2	51.4	10.04	26.0
3	48.4	14.52	24.5
4	49.8	12.72	24.8
5	46.8	14.84	24.4
6	47.5	11.67	24.3



## 5. 4 岩石の異方性に関する室内試験 (DSCA 法)

岩石の力学的異方性の程度および初期応力状態を推定するために、DSCA 法による室内試験を実施した。

DSCA (Differential Strain Curve Analysis) 法の基礎となる DSA (Differential Strain Analysis) 法は、Simmons ほか (1974) や Siegfried and Simmons (1978) により、岩石供試体中のクラックによるひずみを静水圧下における高精度ひずみ計測を適用して定量化する方法として開発された。この方法は、クラックを含まない参考供試体として熔融石英を用い、対象とする供試体と参考供試体 (熔融石英) のひずみを同時に計測し、計測値に含まれる電氣的なノイズなどの影響をキャンセルして二つの計測値の差を取ることに由来しており、 $2 \times 10^{-6}$  のひずみ精度が得られる。DSA 法は、Strickland and Ren (1980) により DSCA 法として初期応力測定に応用され、簡便でかつ経済的な方法であることに加えて、岩石コアからの 1 個の供試体で三次元的な主応力の比と方向を測定することが可能であるとされている (たとえば松木ほか, 1995)。

なお、DSCA 法では、次の基本仮定に基づいて初期応力状態 (初期主応力の大きさの比と方向) が推定される。

- ① ボーリングなどによって地下応力が解放されると、岩石が膨張し、それに伴って初期主応力に垂直に微小クラックが発生する。
- ② 発生する微小クラックの量は初期 (有効) 主応力の大きさに比例する。
- ③ 応力解放以前に存在していた微小クラックは無視する。

### 5. 4. 1 試験方法

#### (1) DSCA 法による室内試験方法

DSCA 法による室内試験は以下の手順で行う。

- ① 方位が既知の岩石コアを用いて一辺が 35mm~40mm の立方体供試体を新たなクラックが生じないように注意深く成形する。
- ② 図 5.9 に示すように合計 12 枚の抵抗線ひずみゲージを岩石供試体に貼付する。具体的には、互いに垂直な隣り合う 3 つの面にそれぞれシングルゲージおよびせん断ひずみを求めるためのロゼットゲージを 1 枚ずつ貼付する。
- ③ ひずみゲージを貼付した参考供試体 (熔融石英) とともに圧力容器に入れ、供試体内の全てのクラックが閉じるまで静水圧を加える。
- ④ 対象供試体と参考供試体 (熔融石英) の垂直差ひずみ  $\hat{\epsilon}_U$  を計測する。

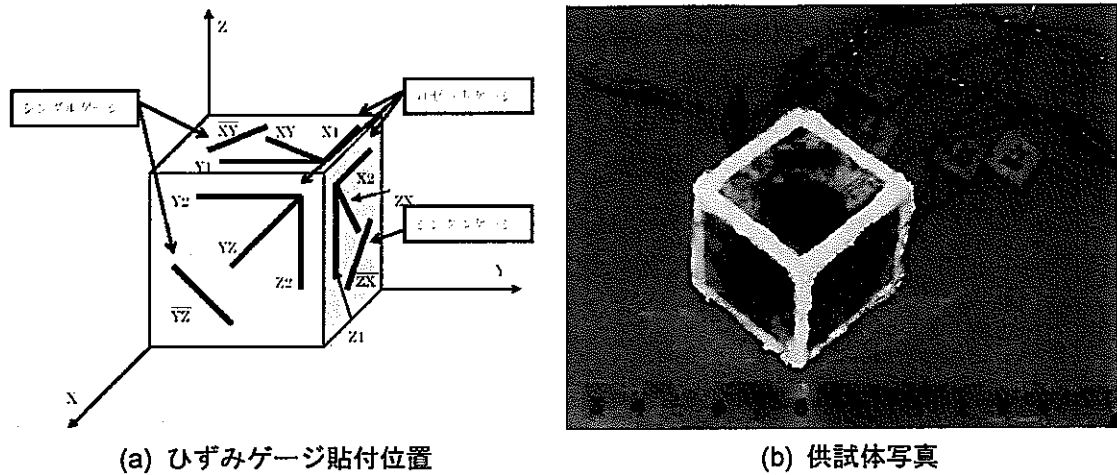


図 5.9 DSCA 法による室内試験供試体

## (2) DSCA 法による初期応力評価方法

ある方向の垂直差ひずみ  $\hat{\epsilon}_{IJ}$  と静水圧  $P$  の関係を模式的に図 5.10 に示す。なお，“ $\hat{\phantom{x}}$ ” 記号は差を表し，下付きの添え字  $IJ$  は測定方向を表す。また，本報告では，原語の differential strain を表すために「差ひずみ」という言葉を用いるが，これは対象供試体と参考供試体（熔融石英）のひずみとの差を意味する。

低圧力領域ではクラックの存在によってひずみ増加率が大きい，圧力の増加とともにクラックが閉じる結果，静水圧—垂直差ひずみ曲線において次第に勾配は減少し，全てのクラックが閉じると一定の勾配  $\hat{\beta}_{IJ}$  になる。なお，ここでの勾配とは圧力に対する垂直差ひずみの勾配である。 $\hat{\beta}_{IJ}$  は，対象供試体中のマイクロクラック以外の静水圧下で閉じない球状空隙を含む実質部の線圧縮率(linear compressibility)  $\beta'_{IJ}$  と参考供試体（熔融石英）の線圧縮率  $\beta_{RS}$  の差 ( $\beta'_{IJ} - \beta_{RS}$ ) である。なお，等方弾性体の線圧縮率  $\beta'$  は，垂直ひずみを  $\epsilon$ ，静水圧を  $p$  として次式で定義される。

$$\epsilon = \beta' p \quad (5.4.1)$$

ここで，ヤング率を  $E$ ，ポアソン比を  $\nu$  とすれば

$$\beta' = (1 - 2\nu)/E \quad (5.4.2)$$

となる。

一方，圧力が十分小さい場合の初期勾配（または初期接線勾配） $\hat{\beta}_{eff-IJ}$  は，クラックが閉じる以前の岩石の有効線圧縮率  $\beta_{eff-IJ}$  と  $\beta_{RS}$  の差 ( $\beta_{eff-IJ} - \beta_{RS}$ ) であり， $\beta_{eff-IJ}$  はクラックを除く実質部の線圧縮率  $\beta'_{IJ}$  とクラックによる増分からなる。参考供試体（熔融石英）の線圧縮率は圧力に依存しないため，図 5.10 中の二つの勾配  $\hat{\beta}_{eff-IJ}$  と  $\hat{\beta}'_{IJ}$  の差  $\Delta\beta_{IJ}$  は供試体内のクラックによって付加された線圧縮率の増分を示し，次の式のようになる。

$$\Delta\beta_{II} = \hat{\beta}_{eff,II} - \hat{\beta}_{II}^I = \beta_{eff,II} - \beta_{II}^I \quad (5.4.3)$$

また、図 5.10 中の  $\eta_{II}$  は、各圧力でのそれまでに生じたクラックによるひずみである。 $\eta_{II}$  は圧力とともに増加し、すべてのクラックが閉じると一定値  $\eta_{0II}$  となる。 $\eta_{0II}$  はクラックが閉じたことによって生じた最大のひずみ量である。DSCA を用いた初期応力評価においては上記の  $\Delta\beta_{II}$  を用いている。 $\Delta\beta_{II}$  はクラックによって生じた垂直ひずみの圧力に対する最大の増加率と考えることができ、無負荷時の開口クラックの量を反映している。

次に、測定した各方向の垂直ひずみから求めたこれらの値  $\Delta\beta_{II}$  や  $\eta_{0II}$  から、せん断成分を含むテンソル成分を求める。例えば垂直ひずみ  $\varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_{XY}$  とせん断ひずみ  $\gamma_{XY}$  は次の関係にある。

$$\gamma_{XY} = 2\varepsilon_{XY} - (\varepsilon_X + \varepsilon_Y) \quad (5.4.4)$$

ただし、6 個の独立な成分に対して 12 個の計測値があるため、最確のひずみテンソルは最小自乗法により求める。なお、 $\Delta\beta_{II}$  は垂直ひずみの圧力に対する増加率の差であるが、垂直ひずみそのものとして扱う (Strickland and Ren, 1980)。

このようにしてひずみテンソルに対応する成分が求まると、 $\Delta\beta$  や  $\eta_0$  に関する主値  $\Delta\beta_I$  や  $\eta_{0I}$  とその方向が求められる。既に述べた基本仮定により、これらの主値の方向は主応力の方向であり、それらの大きさの比は主応力の大きさの比に等しい。

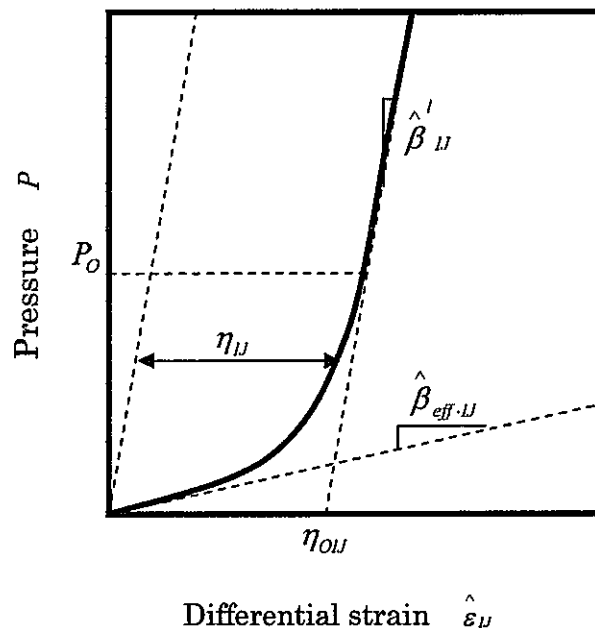


図 5.10 DSCA 法における静水圧—垂直差ひずみ曲線と微小クラックの特性量に関する諸パラメータ

解析手順のフローチャートは図 5.11 のとおりである。まず、前述の試験により得られる静水圧  $P$  - 差ひずみ  $\varepsilon_{ij}$  関係をグラフに表示し、次に、低圧部の直線区間と全てのクラックが閉じた後の直線区間の圧力範囲を決め、当該区間のデータについて最小自乗法による直線のフィッティングを行って、有効線圧縮率  $\hat{\beta}_{eff,ij}$  と固有線圧縮率  $\hat{\beta}_{ij}$  を決定した。以上の値を用いて、12 方向のそれぞれについて以下のパラメータを決めた。

- 岩石の固有線圧縮率：  $\beta_{ij} = \hat{\beta}_{ij} + \beta_{FS}$  (\*)
- (\*)  $\beta_{FS}$  : 溶融石英の固有線圧縮率
- 岩石の有効線圧縮率：  $\beta_{eff,ij} = \hat{\beta}_{eff,ij} + \beta_{FS}$
- 線圧縮率の差：  $\Delta\beta_{ij} = \beta_{ij} - \beta_{eff,ij}$
- $\Delta\beta_{ij}$  と岩石の固有線圧縮率の比：  $\Delta\beta_{ij} / \beta_{ij}$
- 最大クラック垂直ひずみ：  $\eta_{0ij}$
- クラック垂直ひずみ - 静水圧関係：  $\eta_{ij} - p$

この後、せん断ひずみを含むテンソル成分を求めた。テンソル成分からヤコビ法により各量の主値およびその方向を求めた。DSCA 法の基本仮定に基づけば、 $\Delta\beta$  と  $\eta_0$  に関する主値  $\Delta\beta_1$  や  $\eta_{01}$  の大きさの比は初期応力の大きさの比に等しいことから、

$$\Delta\beta_1 : \Delta\beta_2 : \Delta\beta_3 = \sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3$$

または

$$\eta_{01} : \eta_{02} : \eta_{03} = \sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3$$

となり、これらの主応力のうちのどれかの大きさが既知であれば全ての主応力の大きさが決定できる。

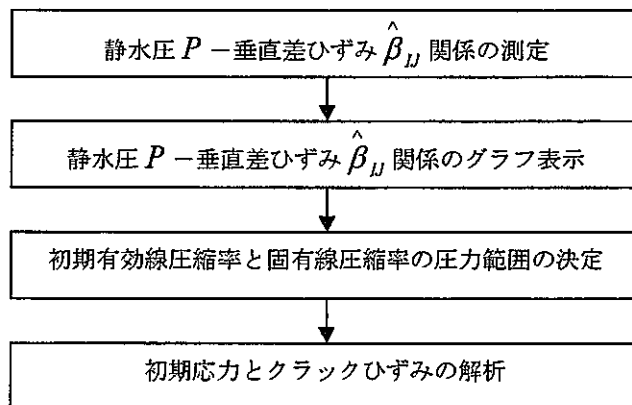


図 5.11 解析手順フローチャート

## 5. 4. 2 試験結果

### (1)クラックパラメータの主値の大きさ

各供試体について求めた固有線圧縮率の主値  $\beta_i$  とクラックパラメータを表 5.6 にまとめて示す。固有線圧縮率は供試体の採取深度によってわずかに変化し、その異方性の大きさを各供試体の最大値と最小値の差の全平均値に対する比で表すと、供試体 A (採取深度約 209m) が 27%と最も大きく、供試体 D (採取深度約 291m) が 10%と最も小さい。他の供試体の固有線圧縮率は 10%から 20%程度の異方性を示す。このことから、クラックの評価に及ぼす固有線圧縮率の異方性をできるだけ排除したクラックパラメータ  $(\Delta\beta/\beta')_i$  に基づいてクラック評価を行った。

クラックパラメータ  $(\Delta\beta/\beta')_i$  の大きさと、供試体の採取深度との関係は図 5.12 に示すようになる。クラック密度に関するこのパラメータの分布をみると、深度 200m～370m 付近では採取深度の増加に伴って各パラメータは徐々に増加している。すなわち、この区間では深部になるほどマイクロクラックの数も増加する。深度 370m～450m では、各クラックパラメータは減少し、深度 470m 付近で再び増加する。

DSCA 法の基本仮定が成り立つならば、測定されたクラックパラメータの大きさの比は初期応力の大きさの比に等しい。表 5.7 は、 $(\Delta\beta/\beta')_i$  から最小主値を基準として求めた初期主応力比である。ばらつきはあるものの  $\sigma_1/\sigma_3$  は 1.4～3.1、また  $\sigma_2/\sigma_3$  は 1.2～1.9 の範囲に分布する。

### (2) クラックパラメータの主値の方向

DSCA 法によって評価されたクラックパラメータのうち、 $(\Delta\beta/\beta')_i$  の主値の方向を上半球ウルフ投影 (等角投影) したものを図 5.13 に示す。ここで、E,W,N,S は供試体に設けた東西南北の座標系である。また、●印、▲印および■印は、それぞれ、各パラメータの最大、中間および最小主値を示し、これらの印に付された数字は供試体の採取深度 (m) を表す。これらの投影図から、主値の方向はかなりばらついていることが認められるものの、クラックパラメータの最大主値 (●印) に注目すると、その走向は N-S から NW-SE 方向に分布する傾向が認められる。この傾向は、正馬様用地内で採取された花崗岩コアのクラックパラメータの分布傾向 (加藤, 2002) とおおむね一致する。 $(\Delta\beta/\beta')_i$  の最大主値の鉛直方向からの傾きをみると、深度 300m よりも浅いところから採取された供試体は 60° 以上傾斜しているが、深度 300m よりも深部から採取された供試体では 60° よりも小さい。DSCA 法の基本仮定が成り立つならば、深度 200m～300m は逆断層型か横ずれ断層型、深度 300m よりも深部は正断層型に近い初期応力環境であることが予想される。

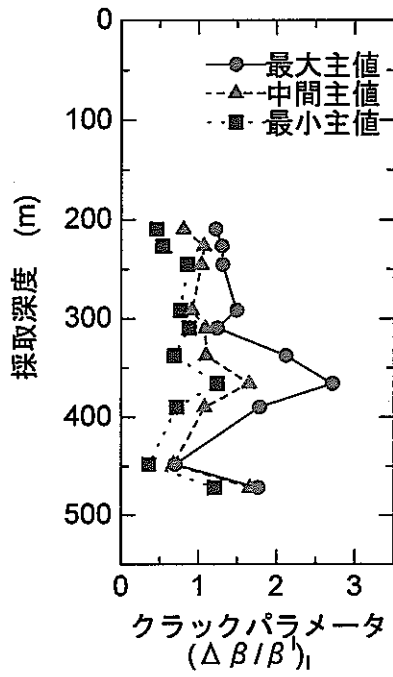


図 5.12 クラックパラメータ  $(\Delta\beta/\beta')_l$  と供試体の採取深度との関係

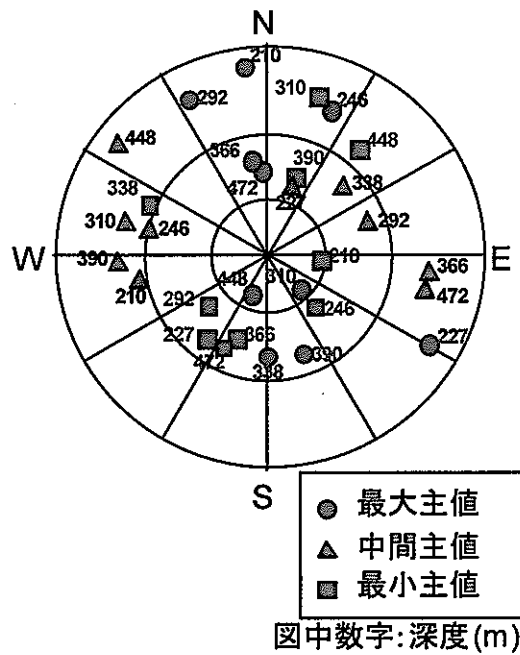


図 5.13 クラックパラメータ  $(\Delta\beta/\beta')_l$  の主値の方向 (上半球ウルフ投影)

表 5.6 固有線圧縮率およびクラックパラメータ

供試体		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	採取深度	209.4	226.5	245.1	291.4	309.5	337.4	365.8	389.9	448.0	471.9
パラメータ	I	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		209.6	226.7	245.3	291.6	309.7	337.6	366.0	390.1	448.2	472.0
$\beta'_1$ (10 <sup>-6</sup> /MPa)	1	8.93	8.90	9.02	8.85	8.36	8.98	8.65	8.42	8.56	8.79
	2	8.46	7.92	8.03	8.45	8.10	8.17	8.20	8.24	7.87	7.67
	3	6.73	7.30	7.10	8.01	7.50	7.52	7.68	6.64	7.44	7.51
$\Delta\beta_1$ (10 <sup>-6</sup> /MPa)	1	9.94	9.96	10.31	12.62	10.28	17.51	22.96	14.33	5.81	13.77
	2	6.00	9.22	8.36	7.77	8.59	9.89	12.81	8.90	5.27	13.14
	3	3.75	4.40	7.11	6.54	6.80	4.88	10.20	4.67	2.75	10.06
$(\Delta\beta/\beta')_1$ (-)	1	1.22	1.30	1.31	1.49	1.24	2.12	2.71	1.78	0.70	1.76
	2	0.81	1.07	1.04	0.92	1.09	1.10	1.65	1.08	0.68	1.66
	3	0.46	0.54	0.86	0.77	0.88	0.69	1.24	0.72	0.36	1.21
$\eta_{01}$ (10 <sup>-6</sup> )	1	237	242	173	247	269	335	423	273	183	253
	2	166	210	157	185	225	195	217	188	143	208
	3	117	121	111	134	181	106	188	77	79	132

表 5.7  $(\Delta\beta/\beta')_1$  から推定された初期応力の比

供試体		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	採取深度	209.4	226.5	245.1	291.4	309.5	337.4	365.8	389.9	448.0	471.9
	(mbgl)	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
		209.6	226.7	245.3	291.6	309.7	337.6	366.0	390.1	448.2	472.0
主応力比	$\sigma_1/\sigma_3$	2.65	2.41	1.52	1.94	1.41	3.07	2.19	2.47	1.94	1.45
	$\sigma_2/\sigma_3$	1.76	1.98	1.21	1.19	1.24	1.59	1.33	1.50	1.89	1.37
	$\sigma_3/\sigma_3$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

## 6. まとめ

本調査では、超深地層研究所計画における地表からの調査の一環として、研究所用地近傍の既存試錐孔（DH-2号孔、掘削長501.0m）の岩芯（土岐花崗岩）を用いて各種力学試験を行い、研究所用地における土岐花崗岩の力学的特性を把握した。得られた結果のまとめを以下に示す。

- (1) 研究所用地の土岐花崗岩の代表的な力学特性値（平均値）として、見かけ比重=2.623、一軸圧縮強度=117MPa、50%接線ヤング率=58GPa、ポアソン比=0.33が得られた。これらの値は、日本の花崗岩の平均的な値、正馬様用地における土岐花崗岩の値とほぼ同様である。
- (2) 研究所用地における土岐花崗岩は、き裂や空隙が少なく、ち密な岩石であることが推測される。ただし、岩石基質部は鉱物組成の違いや風化・変質などの影響により、正馬様用地の岩石とは性質が異なることが推測される。
- (3) 研究所用地の土岐花崗岩のジョイント（割れ目）面の強度・変形特性と深度とには、深度500mまでの試験結果を見る限り深度依存性は認められない。
- (4) DSCA法による室内試験で評価されたクラックパラメータの最大主値の走向はN-SからNW-SE方向に分布する傾向が認められた。これは正馬様用地内の土岐花崗岩のマイクロクラックの分布傾向を概ね一致しており、研究所用地における初期応力環境は正馬様用地におけるそれとほぼ同様であることが推測される。

以上、本調査によって研究所用地における土岐花崗岩の力学的特性を取得した。ここで取得・整理した情報は、研究坑道の設計に反映するとともに、研究所用地における岩盤力学モデルを構築する際の初期情報とする。

今後は、研究所用地において掘削される新規試錐孔（MIZ-1号孔）の堆積岩部および花崗岩部コアを対象とした各種力学試験を実施し、研究所用地の深度1,000mまでに分布する岩石の力学特性を把握し、研究所用地における岩盤力学モデルを構築していく予定である。構築された岩盤力学モデルは、超深地層研究所計画における地表からの調査の一環として、研究坑道の掘削影響予測解析の入力データとして用いていく計画である。



## 参考文献

Barton, N. and Badis, S. (1990): Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice, *Rock Joints*, pp.603-610.

Brown, E.T. (1981): *Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods*, Pergamon Press.

畑 浩二, 丸山 誠, 鳥井原誠 (2001): 土岐花崗岩中の割れ目を対象としたジョイントせん断試験, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書; 株式会社大林組), JNC TJ7430 2001-002

石川 清, 目崎吉彦, 鈴木秀雄, 甲斐昌宣, 渡部 俣, 藤盛誠二, 石川潤一 (1999): 正馬様洞用地における試錐調査 (MIU-2 号孔), 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書; 開発工事株式会社), TJ7420 99-016.

核燃料サイクル開発機構 (2002a): 超深地層研究所地層科学研究基本計画, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7410 2002-018.

核燃料サイクル開発機構 (2002b): 超深地層研究所計画年度報告書 (平成 13 年度), 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7400 2002-004.

加藤春實 (2002): 土岐花崗岩を対象とした断層の岩盤力学的影響に関する室内試験, 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書; 同和工営株式会社), JNC TJ7400 2002-006.

小杉昌幸, ダナー・ビック, ニコラス・バートン (1991): JRC/JCS 指標によるジョイント特性評価—不連続性岩盤挙動の予測評価の研究(第一報), *資源*, 3 巻, 1 号, pp.11-21.

松井裕哉 (1999): AN-1 号孔及び MIU-1 号孔における力学特性調査結果, サイクル機構技術資料, JNC TN7420 99-004.

松木浩二, 志水俊仁, 奥村清彦 (1995): DSCA による岩石内部微小き裂の評価, *資源と素材*, Vol.111, pp.607-615.

佐藤稔紀, 谷口 航, 藤田朝雄, 長谷川宏 (1999): 文献調査による我が国の岩石の物理的特性に関するデータの収集 (その 2), 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN7400 99-011.

Siegfried, R., Simmons, G. (1978): Characterization of oriented cracks with differential strain analysis, *JGR*, Vol.83, pp.1269-1278.

Simmons,G., Siegfried,R., Feves,M.(1974): Differential strain analysis : A new method for examining cracks in rock, JGR, Vol.79, pp.4283-4385.

Strickland.F.G. , Ren.N-K. (1980): Use of differential strain curve analysis in predicting in-situ stress state for deep wells, Proc. 21st U.S. Symp. on Rock Mech., pp.523-532.

豊蔵 勇, 橋井智毅, 名越澄生, 伊藤 孝, 杉森辰次, 杉田信隆, 政枝 宏 (2000) : 正馬様用地における試錐調査 (MIU-3 号孔), 核燃料サイクル開発機構技術資料 (契約業務報告書 ; 株式会社ダイヤコンサルタント), JNC TJ7440 2000-022.

吉田英一, 大澤英昭, 柳澤孝一, 山川 稔 (1989) : 深部花崗岩中の割れ目解析 — 岐阜県東濃地域に分布する花崗岩類を例にして —, 応用地質, 第 30 巻, 第 3 号, pp.11-22.

## 卷末資料

表 I 正馬様用地で掘削された岩芯の物理・力学試験結果一覧  
(AN-1, MIU-1, MIU-2, MIU-3, MIU-4 号孔)

表 II 研究所用地近傍で掘削された岩芯の物理・力学試験結果一覧  
(DH-2 号孔)

表 I 正馬様用地で掘削された岩芯の物理・力学試験結果一覧(1/11)

試験孔名: AN-1号孔

供試体 採取深度 (m)	見かけ比重 (乾燥状態)	含水比 $w$ (%)	有効空隙率 $n$ (%)	P波速度 $V_p$ (km/s)	S波速度 $V_s$ (km/s)	一軸圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	50%接線 ヤング率 $E_{50}$ (GPa)	ポアソン比 $\nu$	圧裂引張強度 $\sigma_t$	粘着力 $C$ (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ (°)
48.07	2.616	0.371	1.742	4.356	2.484	129.4	34.1	0.37			
96.14	2.626	0.205	1.376	5.227	2.856	114.5		0.25			
157.61	2.550	0.343	3.126	4.408	2.442	137.9	41.5	0.26			
199.52	2.587	0.230	1.556	3.885	2.143	192.6	43.3	0.37			
249.45	2.618	0.258	1.402	4.995	2.504	150.8	43.1	0.34			
306.95	2.601	0.213	1.732	4.223	2.179	177.8	42.1	0.33			
350.83	2.599	0.220	1.285	4.756	2.553	244.1	52.0	0.37			
408.32	2.597	0.176	1.281	4.223	2.383	215.6	47.4	0.35			
438.88	2.605	0.177	1.122	4.429	2.399	218.9	52.0	0.32			
495.37	2.599	0.266	1.826	4.131	2.456	214.4	45.5	0.32			
561.68	2.598	0.298	1.901	4.060	2.245	213.5	45.8	0.33			
595.12	2.595	0.256	1.508	4.312	2.667	224.6	34.3	0.35			
650.77	2.596	0.266	1.643	4.351	2.287	265.1	55.6	0.33			
700.37	2.588	0.254	1.400	4.271	2.373	280.0	53.3	0.38			
758.92	2.606	0.236	1.255	4.235	2.206	226.6	48.5	0.35			
787.52	2.613	0.214	1.137	4.709	2.545	163.2	53.3	0.36			
848.92	2.602	0.189	1.197	4.520	2.461	198.0	49.7	0.30			
897.83	2.616	0.279	1.741	4.124	2.481	144.2	40.3	0.32			
941.58	2.607	0.192	1.138	4.499	2.652	210.2	50.8	0.30			
978.88	2.612	0.168	0.978	5.243	2.670	162.6	51.9	0.33			
978.40	2.607	0.215	1.212	4.876	2.518						
978.50	2.612	0.217	1.259	4.837	2.564						
978.60	2.605	0.220	1.193	4.880	2.624						
48.95									4.59		
48.10									4.87		
97.61									7.70		
157.45									9.77		
157.50									9.72		
199.64									8.80		
199.69									7.40		
248.47									7.26		
248.52									6.18		
262.03									8.05		
262.08									9.34		
307.13									3.42		
350.95									10.24		
351.00									10.43		
408.50									5.81		
408.55									7.49		
439.52									9.15		
439.57									9.87		
494.43									7.40		
494.67									8.88		
595.30									9.49		
595.35									10.18		
651.61									9.82		
651.66									10.42		
700.55									6.68		
700.60									8.22		
759.10									6.57		
759.15									7.53		
787.70									9.68		
787.75									9.40		
848.77									9.95		
848.82									9.88		
898.22									7.94		
898.27									8.84		
940.95									10.05		
941.00									10.82		
978.06									10.02		
979.11									10.31		

表 I 正馬様用地で掘削された岩芯の物理・力学試験結果一覧(2/11)

試錐孔名: MIU-1号孔

供試体 採取深度 (m)	見かけ比重 (乾燥状態)	含水比 w (%)	有効空隙率 n (%)	P波速度 $V_p$ (km/s)	S波速度 $V_s$ (km/s)	一軸圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	50%接線 ヤング率 $E_{50}$ (GPa)	ポアソン比 $\nu$	圧裂引張強度 $\sigma_t$	粘着力 C (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ (°)
101.19	2.533	1.480	4.170								
101.13				2.410	1.220	41.5	8.0				
102.56	2.598	0.614	1.770								
102.50				5.260	3.110	143.2	49.3	0.38			
102.68	2.602	0.587	1.710								
102.62				5.220	3.140	158.9	52.3	0.38			
105.43									6.74		
106.52									7.18		
110.43									5.01		
105.56	2.600	0.619	1.840								
105.50				5.430	3.080	149.1	56.4	0.28			
106.65	2.591	0.706	1.880								
106.59				5.430	3.080	167.8	53.1	0.32			
110.95	2.588	0.642	1.990								
110.89				5.410	3.150	143.2	56.9	0.39			
108.20	2.591	0.709	1.890								
108.14				5.210	2.960						
105.80	2.600	0.621	1.660								
105.74				5.530	3.240					32.96	53.1
106.19	2.592	0.672	1.790								
106.13				5.300	3.080						
106.84	2.594	0.675	1.800								
106.78				5.250	3.030						
106.96	2.593	0.667	1.780								
106.90				5.290	3.020					40.02	51.5
107.10	2.596	0.650	1.730								
107.04				5.220	3.030						
110.10	2.589	0.577	1.940								
110.04				4.680	2.700						
110.22	2.590	0.569	1.890								
110.16				5.080	2.820					36	51.1
110.34	2.590	0.657	1.940								
110.28				4.810	2.810						
132.55	2.606	0.452	1.380								
132.49				5.820	3.160	138.3	46.2	0.35			
132.67	2.608	0.444	1.330								
132.61				5.690	3.100	140.3	45.9	0.39			
132.79	2.607	0.429	1.300								
132.73				5.740	3.200	159.9	46.0	0.39			
147.61	2.605	0.519	1.500								
147.55				5.220	3.150	162.9	52.7	0.34			
147.73	2.605	0.467	1.440								
147.67				5.300	3.170	148.1	49.0	0.39			
147.85	2.606	0.479	1.440								
147.79				5.310	3.190	152.1	51.5	0.40			
208.02									7.86		
208.55									7.95		
209.54									6.37		
208.15	2.620	0.385	1.210								
208.09				5.580	3.030	162.9	61.8	0.26			
208.88	2.606	0.320	1.150								
208.62				5.570	3.130	125.6	61.9	0.42			
209.67	2.620	0.407	1.070								
209.61				5.650	2.950	123.6	55.0	0.30			
208.27	2.611	0.391	1.070								
208.21				5.050	2.980						
208.39	2.616	0.433	1.230								
208.33				5.050	2.980					36.3	55.8
208.51	2.604	0.422	1.250								
208.45				5.080	3.000						
208.80	2.605	0.371	1.170								
208.74				5.150	3.070						
208.92	2.616	0.387	1.070								
208.86				5.090	3.000					51.8	50.7
209.50	2.623	0.390	1.130								
209.44				5.080	2.960						
209.79	2.622	0.412	1.080								
209.73				4.870	2.900						
209.91	2.618	0.434	1.140								
209.85				5.220	3.070					42.58	52.9
210.10	2.620	0.360	1.170								
210.04				5.150	3.000						
233.10	2.616	0.550	1.480								
233.04				5.130	3.060	191.3	57.1	0.36			
233.22	2.615	0.604	1.600								
233.16				5.210	3.120	175.6	58.8	0.37			
233.34	2.606	0.552	1.460								
233.28				5.230	3.100	195.2	57.2	0.35			
269.10	2.594	0.481	1.820								
269.04				4.930	2.990	163.8	52.0	0.38			
269.22	2.597	0.545	1.860								
269.16				5.020	3.000	171.7	45.8	0.36			

表 I 正馬様用地で掘削された岩芯の物理・力学試験結果一覧(3/11)

試錐孔名: MIU-1号孔

供試体 採取深度 (m)	見かけ比重 (乾燥状態)	含水比 w (%)	有効空隙率 n (%)	P波速度 $V_p$ (km/s)	S波速度 $V_s$ (km/s)	一軸圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	50%接線 ヤング率 $E_{50}$ (GPa)	ポアソン比 $\nu$	圧裂引張強度 $\sigma_t$	粘着力 C (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ (°)
269.39	2.593	0.601	1.980								
269.33				5.240	3.120	169.7	48.2	0.37			
294.24									10.69		
294.96									6.10		
295.50									8.29		
294.35	2.602	0.437	1.550								
294.29				5.650	3.200	190.3	60.4	0.32			
295.10	2.598	0.427	1.700								
295.04				5.570	3.080	225.6	57.6	0.30			
295.86	2.598	0.452	1.690								
295.80				5.650	3.180	159.9	63.7	0.33			
294.47	2.599	0.477	1.640								
294.41				5.300	3.140						
294.75	2.601	0.436	1.680								
294.69				5.220	3.090					46.5	53.6
294.87	2.601	0.442	1.670								
294.81				5.190	3.100						
295.22	2.597	0.449	1.710								
295.16				5.060	3.080						
295.46	2.597	0.478	1.720								
295.40				5.050	3.060					56.9	49.2
295.72	2.599	0.451	1.670								
295.66				5.150	3.100						
295.98	2.595	0.496	1.790								
295.92				5.100	3.060						
296.10	2.594	0.491	1.850								
296.04				5.090	3.030					44.93	53.9
296.78	2.598	0.491	1.760								
296.72				5.110	3.040						
334.26	2.612	0.321	1.260								
334.21				4.930	2.820	191.3	57.2	0.37			
334.37	2.617	0.401	1.320								
334.31				4.920	2.870	152.1	54.5	0.31			
334.49	2.618	0.331	1.250								
334.43				4.910	2.870	190.3	53.9	0.33			
361.14	2.616	0.496	1.350								
361.08				5.000	3.010	172.7	55.3	0.47			
361.26	2.611	0.464	1.440								
361.20				5.070	3.040	180.5	57.4	0.37			
361.38	2.614	0.410	1.420								
361.32				5.100	3.020	171.7	53.1	0.37			
393.14									7.98		
395.43									8.47		
395.02									7.60		
393.25	2.606	0.386	1.450								
393.19				5.660	3.170	169.7	61.0	0.38			
393.77	2.628	0.346	1.210								
393.71				5.650	2.990	171.7	61.0	0.33			
394.62	2.622	0.330	1.160								
394.56				5.790	3.170	180.5	64.8	0.35			
393.37	2.608	0.386	1.350								
393.31				5.220	3.000						
393.46	2.603	0.467	1.550								
393.52				5.190	3.040					42.18	52.3
393.65	2.602	0.409	1.470								
393.59				5.250	3.060						
393.89	2.626	0.343	1.290								
393.83				5.100	3.030						
394.30	2.608	0.376	1.390								
394.25				5.090	3.010					22.96	58.3
394.50	2.610	0.354	1.260								
394.44				5.110	3.000						
394.74	2.629	0.309	1.080								
394.68				5.200	3.060						
394.86	2.632	0.299	1.030								
394.80				5.290	3.120					39.63	51.7
394.98	2.634	0.317	1.060								
394.92				5.220	3.090						
427.49	2.628	0.360	1.010								
427.40				5.660	2.870	176.6	56.3	0.34			
427.54	2.626	0.355	0.992								
427.60				5.550	2.830	150.1	55.4	0.35			
427.73	2.622	0.395	1.080								
427.67				5.560	2.830	179.5	55.3	0.37			
477.03	2.620	0.411	1.100								
477.09				5.770	3.050	153.0	56.1	0.43			
477.22	2.624	0.404	1.110								
477.16				5.740	3.060	155.0	63.1	0.26			
477.34	2.630	0.387	1.040								
477.28				5.810	3.050	143.2	60.4	0.40			
498.14									5.68		
498.67									4.84		

表 I 正馬様用地で掘削された岩芯の物理・力学試験結果一覧(4/11)

試験孔名: MIU-1号孔

供試体 採取深度 (m)	見かけ比重 (乾燥状態)	含水比 w (%)	有効空隙率 n (%)	P波速度 $V_p$ (km/s)	S波速度 $V_s$ (km/s)	軸圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	50%接線 ヤング率 $E_{50}$ (GPa)	ポアソン比 $\nu$	圧裂引張強度 $\sigma_t$	粘着力 c (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ (°)
499.26									4.27		
498.10	2.626	0.380	1.050								
498.04				5.570	2.890	143.2	56.6	0.26			
498.63	2.625	0.374	1.030								
498.57				5.670	2.850	166.8	55.9	0.39			
500.14	2.628	0.363	0.985								
500.23				5.690	2.890	162.9	58.0	0.35			
498.27	2.631	0.333	1.010								
498.21				5.780	2.910						
498.39	2.623	0.376	1.010								
498.33				5.600	2.880					32.08	54.3
498.51	2.628	0.388	0.992								
498.45				5.700	2.900						
498.80	2.628	0.384	1.010								
498.74				5.750	3.000						
498.92	2.625	0.370	1.030								
498.86				5.790	2.940					38.3	52.6
499.10	2.624	0.386	1.060								
499.04				5.750	2.950						
499.39	2.630	0.380	1.020								
499.33				5.790	2.960						
499.51	2.631	0.387	1.040								
499.45				5.780	2.900					35.61	53.1
499.63	2.630	0.382	1.030								
499.57				5.750	2.930						
526.60	2.598	0.429	1.190								
526.51				5.730	3.040	266.8	60.7	0.31			
526.72	2.598	0.421	1.190								
526.66				5.640	3.020	260.0	61.7	0.29			
526.84	2.593	0.500	1.350								
526.78				5.640	3.030	272.7	61.3	0.34			
561.10	2.621	0.461	1.250								
561.04				5.880	3.180	177.6	56.8	0.43			
561.22	2.620	0.456	1.220								
561.16				5.780	3.210	149.1	62.4	0.36			
561.34	2.621	0.463	1.240								
561.28				5.790	3.210	175.6	62.4	0.37			
583.14										8.51	
583.67										3.62	
584.50										7.68	
583.10	2.623	0.481	1.310								
583.04				5.610	3.130	129.5	50.3	0.35			
583.63	2.627	0.462	1.240								
583.57				5.700	3.160	160.9	58.5	0.33			
584.46	2.625	0.446	1.200								
584.40				5.800	3.130	149.1	59.2	0.33			
583.27	2.622	0.480	1.260								
583.21				5.700	3.080						
583.39	2.625	0.499	1.340								
583.33				5.780	3.150					31.98	52.8
583.51	2.625	0.485	1.320								
583.45				5.690	3.090						
584.10	2.618	0.479	1.280								
584.04				5.690	3.110						
584.22	2.625	0.490	1.290								
584.16				5.770	3.170					19.82	56.9
584.34	2.610	0.470	1.230								
584.28				5.670	3.160						
584.63	2.627	0.452	1.210								
584.57				5.670	3.240						
584.75	2.629	0.446	1.200								
584.69				5.820	3.220					39.04	50.6
584.87	2.623	0.478	1.250								
584.81				5.680	3.220						
606.63	2.597	0.441	1.370								
606.57				5.600	3.220	310.0	58.4	0.32			
606.87	2.593	0.520	1.550								
606.81				5.610	3.200	257.0	59.6	0.28			
606.98	2.594	0.460	1.390								
606.93				5.670	3.230	298.2	61.9	0.30			
629.22	2.635	0.344	1.050								
629.16				5.750	3.150	154.0	54.6	0.33			
629.34	2.630	0.336	1.000								
629.28				5.600	3.120	157.0	52.8	0.35			
629.39	2.633	0.352	1.080								
629.45				5.890	3.150	165.8	54.6	0.31			
657.10	2.607	0.459	1.290								
657.04				5.780	3.160	169.7	55.2	0.34			
657.22	2.605	0.386	1.220								
657.16				5.680	3.130	189.3	59.0	0.37			
657.34	2.611	0.446	1.220								
657.28				5.780	3.190	172.7	57.9	0.28			
680.34									9.79		

表 I 正馬様用地で掘削された岩芯の物理・力学試験結果一覧(5/11)

試験孔名: MIU-1号孔

供試体 採取深度 (m)	見かけ比重 (乾燥状態)	含水比 $w$ (%)	有効空隙率 $n$ (%)	P波速度 $V_p$ (km/s)	S波速度 $V_s$ (km/s)	一軸圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	50%接線 ヤング率 $E_{50}$ (GPa)	ポアソン比 $\nu$	圧裂引張強度 $\sigma_t$	粘着力 $C$ (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ (°)
690.87									5.64		
692.47									5.20		
690.23	2.597	0.505	1.350								
690.29				5.610	2.950	211.9	58.3	0.31			
690.83	2.596	0.509	1.350								
690.77				5.360	2.760	169.7	46.4	0.29			
691.92	2.598	0.464	1.260								
691.94				5.730	2.920	177.6	54.8	0.38			
690.47	2.605	0.420	1.140								
690.41				5.550	2.940						
690.59	2.601	0.469	1.280							44.54	52.6
690.53				5.470	2.940						
690.71	2.598	0.521	1.380								
690.65				5.300	2.780						
691.10	2.598	0.502	1.350								
691.04				5.230	2.690						
691.22	2.595	0.543	1.480								
691.16				5.430	2.770					45.91	53
691.34	2.600	0.472	1.300								
691.28				5.390	2.790						
692.60	2.600	0.456	1.230								
692.54				5.650	2.920						
692.72	2.601	0.455	1.210								
692.66				5.580	2.950					39.53	54.7
692.84	2.604	0.440	1.170								
692.78				5.580	2.990						
735.14	2.598	0.497	1.290								
735.08				5.700	3.080	249.2	62.7	0.33			
735.26	2.598	0.496	1.310								
735.20				5.700	3.140	233.5	65.0	0.34			
735.38	2.597	0.478	1.340								
735.32				5.680	3.160	204.1	63.3	0.31			
762.10	2.606	0.412	1.120								
762.04				5.700	3.110	209.9	62.0	0.27			
762.22	2.607	0.419	1.120								
762.16				5.580	3.070	191.3	62.0	0.25			
762.34	2.609	0.412	1.100								
762.28				5.630	3.070	231.5	62.8	0.34			
795.14									8.91		
796.14									9.26		
796.67									6.06		
795.10	2.605	0.414	1.150								
795.04				5.530	3.020	208.0	60.1	0.35			
796.10	2.606	0.391	1.070								
796.04				5.630	3.060	209.9	58.0	0.28			
796.63	2.607	0.421	1.150								
796.57				5.590	2.980	209.9	57.8	0.28			
795.27	2.608	0.425	1.160								
795.21				5.770	3.020						
795.39	2.607	0.477	1.240								
795.33				5.680	3.010					55.62	50.7
795.51	2.607	0.418	1.140								
795.45				5.600	3.040						
796.27	2.607	0.415	1.110								
796.21				5.580	3.010						
796.39	2.607	0.415	1.110								
796.33				5.690	3.090					39.63	56.9
796.51	2.608	0.413	1.130								
796.45				5.590	2.960						
796.80	2.607	0.396	1.080								
796.74				5.610	3.030						
796.85	2.607	0.390	1.140								
796.91				5.730	3.030					42.38	56.5
797.03	2.607	0.408	1.130								
797.09				5.700	2.970						
810.10	2.594	0.365	1.270								
810.04				5.340	2.880	130.5	39.0	0.37			
810.34	2.602	0.357	1.280								
810.28				5.200	2.630	157.9	46.4	0.35			
810.49	2.603	0.386	1.210								
810.40				5.410	2.720	171.7	45.8	0.40			
830.10	2.604	0.353	1.300								
830.04				5.460	2.830	197.2	54.9	0.38			
830.22	2.603	0.380	1.300								
830.16				5.610	2.960	209.9	62.3	0.34			
830.34	2.602	0.350	1.340								
830.28				5.630	3.010	209.0	58.0	0.39			
861.10	2.605	0.315	1.230								
861.04				5.620	3.030	112.8	49.9	0.23			
861.22	2.604	0.344	1.260								
861.16				5.620	3.080	216.8	57.3	0.36			
861.34	2.605	0.327	1.180								
861.28				5.710	3.100	176.6	64.4	0.30			



表 I 正馬様用地で掘削された岩芯の物理・力学試験結果一覧(6/11)

試錐孔名: MIU-1号孔

供試体 採取深度 (m)	見かけ比重 (乾燥状態)	含水比 $w$ (%)	有効空隙率 $n$ (%)	P波速度 $V_p$ (km/s)	S波速度 $V_s$ (km/s)	一軸圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	50%接線 ヤング率 $E_{50}$ (GPa)	ポアソン比 $\nu$	圧裂引張強度 $\sigma_t$	粘着力 $C$ (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ (°)
905.97									6.30		
908.67									3.86		
914.74									7.39		
905.29	2.604	0.389	1.340								
905.23				5.340	2.720	155.0	39.4	0.35			
909.03	2.601	0.395	1.250								
908.97				5.250	2.720	162.9	40.6	0.39			
914.63	2.601	0.465	1.420								
914.69				5.670	3.010	198.2	51.6	0.38			
906.46	2.603	0.443	1.380								
906.40				5.440	2.780						
906.58	2.608	0.355	1.150								
906.52				5.540	2.790					37.38	54.3
907.28	2.605	0.419	1.300								
907.22				5.420	2.730						
908.61	2.606	0.442	1.340								
908.55				5.510	2.810						
909.93	2.598	0.466	1.510								
909.87				5.690	2.990					22.76	58.9
912.21	2.603	0.427	1.410								
912.15				5.680	2.890						
914.11	2.604	0.447	1.290								
914.05				5.680	2.970						
914.23	2.608	0.373	1.160								
914.17				5.700	2.970					36.2	56.8
914.38	2.602	0.429	1.350								
914.32				5.620	2.940						

表 I 正馬様用地で掘削された岩芯の物理・力学試験結果一覧(7/11)

試錐孔名: MIU-2号孔

供試体 採取深度 (m)	見かけ比重 (乾燥状態)	含水比 w (%)	有効空隙率 n (%)	P波速度 $V_p$ (km/s)	S波速度 $V_s$ (km/s)	軸圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	50%接線 ヤング率 $E_{50}$ (GPa)	ポアソン比 $\nu$	圧裂引張強度 $\sigma_t$	粘着力 $c$ (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ (°)
95.00	2.560	0.448	1.659	4.844	2.679	142.2	34.4	0.36		21.4	59.1
96.00	2.566	0.466	1.572	5.003	2.700	143.7	42.7	0.35			
96.25	2.552	0.419	1.127	5.585	2.657						
104.24	2.559	0.395	1.593	5.334	2.736						
104.43	2.552	0.410	1.221	5.483	2.637						
104.53	2.550	0.419	1.219	5.533	2.729						
116.07	2.558	0.482	1.655	4.878	2.360	182.1	48.4	0.40			
116.36	2.555	0.452	1.375	5.190	2.678						
116.52	2.561	0.487	1.757	5.067	2.478						
107.48	2.624	0.368	1.616						7.68		
107.80	2.618	0.379	1.293						8.50		
187.18	2.554	0.396	1.171	5.172	2.538	179.7	53.5	0.39		20.5	57.9
187.46	2.554	0.428	1.287	5.082	2.509	177.3	50.7	0.35			
193.00	2.553	0.460	1.810	4.504	2.236						
193.10	2.552	0.440	1.512	4.907	2.655						
193.20	2.553	0.448	1.451	4.929	2.468						
194.20	2.550	0.393	1.254	5.201	2.738						
194.30	2.549	0.442	1.376	5.193	2.542						
194.40	2.552	0.398	1.244	5.333	2.385						
205.22	2.559	0.462	1.638	4.193	2.088	138.1	32.2	0.40			
193.43	2.623	0.377	1.416						8.54		
193.81	2.617	0.400	1.377						7.46		
300.60	2.570	0.372	1.074	5.042	2.509					24.4	59.7
301.02	2.573	0.362	1.064	5.074	2.639						
302.03	2.577	0.377	1.064	5.214	2.598	189.9	50.9	0.37			
302.47	2.565	0.364	1.015	5.349	2.524						
302.67	2.568	0.381	1.155	4.839	2.564						
302.67	2.563	0.361	0.986	5.193	2.644						
303.38	2.573	0.421	1.332	5.258	2.600	147.8	49.2	0.39			
303.70	2.565	0.361	1.389	5.180	2.624	235.5	57.9	0.37			
303.80	2.561	0.343	0.974	5.201	2.609						
303.50	2.634	0.351	1.074						9.55		
303.55	2.634	0.338	1.028						7.74		
390.19	2.621	0.399	1.262	5.133	2.455					22.5	59.2
390.29	2.623	0.408	1.266	4.942	2.471						
390.39	2.623	0.422	1.258	5.222	2.457	217.9	53.5	0.38			
390.50	2.618	0.397	1.232	5.161	2.543						
390.60	2.628	0.422	1.354	5.194	2.532	206.0	53.6	0.35			
390.70	2.622	0.408	1.224	5.197	2.492						
391.00	2.621	0.398	1.225	5.312	2.749						
391.10	2.620	0.416	1.210	5.361	2.658						
391.20	2.624	0.406	1.255	5.289	2.662	208.4	54.4	0.31			
390.85	2.623	0.366	1.185						8.22		
390.90	2.623	0.357	1.104						9.67		
490.22	2.632	0.433	1.423	4.845	2.846						
490.50	2.630	0.427	1.322	4.914	2.547						
490.69	2.632	0.442	1.444	4.634	2.426						
490.79	2.629	0.422	1.314	5.026	2.609						
490.89	2.628	0.395	1.218	5.123	2.424						
491.30	2.621	0.420	1.282	4.997	2.490						
491.40	2.629	0.417	1.261	5.155	2.663						
498.10	2.619	0.449	1.269	5.449	2.550						
498.20	2.621	0.373	0.992	5.530	2.750						
491.50	2.633	0.378	1.322						4.79		
498.30	2.629	0.358	0.899						8.02		
598.20	2.639	0.323	1.146	5.341	2.588	127.1	36.8	0.40		16.6	55.3
598.30	2.633	0.327	1.053	5.299	2.649	120.8	42.7	0.46			
598.40	2.619	0.332	1.186	5.315	2.850	127.8	38.0	0.35			
598.50	2.641	0.345	1.224	5.241	2.647						
603.47	2.635	0.336	1.242	5.080	2.482						
603.57	2.624	0.362	1.314	4.946	2.505						
603.67	2.623	0.367	1.296	5.101	2.645						
604.00	2.636	0.373	1.269	5.381	2.592						
604.10	2.640	0.349	1.237	5.328	2.583						
598.55	2.628	0.328	1.181						5.34		
598.60	2.634	0.345	1.228						5.39		
701.35	2.626	0.373	1.292	5.140	2.553	131.9	44.7	0.36		12.50	62.4
701.45	2.629	0.344	1.283	5.214	2.513	147.1	51.6	0.31			
701.55	2.625	0.319	1.186	5.252	2.765	132.0	45.5	0.34			
708.01	2.640	0.291	1.059	5.169	2.664						
708.11	2.641	0.280	0.960	5.056	2.575						
708.21	2.640	0.291	1.035	5.082	2.688						
708.40	2.641	0.254	0.853	5.505	2.763						
709.50	2.642	0.268	0.876	5.496	2.592						
709.60	2.640	0.281	0.932	5.539	2.860						
701.78	3.040	0.334	1.458						8.28		
701.81	3.053	0.344	1.483						9.06		
795.45	2.648	0.262	0.900	5.779	2.900	184.7	62.1	0.35		21.6	56.5
795.55	2.643	0.256	0.795	5.770	2.762	191.7	53.1	0.37			
795.76	2.639	0.279	0.841	5.729	2.763	189.9	57.0	0.35			
795.86	2.637	0.290	0.908	5.678	2.710						
807.10	2.631	0.266	0.808	5.608	2.889						
807.20	2.638	0.301	0.886	5.602	2.791						

表 I 正馬様用地で掘削された岩芯の物理・力学試験結果一覧(8/11)

試験孔名: MIU-2号孔

供試体 採取深度 (m)	見かけ比重 (乾燥状態)	含水比 $w$ (%)	有効空隙率 $n$ (%)	P波速度 $V_p$ (km/s)	S波速度 $V_s$ (km/s)	一軸圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	50%接線 ヤング率 $E_{50}$ (GPa)	ポアソン比 $\nu$	圧裂引張強度 $\sigma_t$	粘着力 $C$ (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ (°)
807.30	2.639	0.316	1.047	5.402	2.748						
809.70	2.643	0.264	0.768	5.675	2.710						
809.80	2.647	0.285	0.946	5.612	2.806						
795.65	3.133	0.262	1.234						9.00		
807.70	3.059	0.282	1.230						7.62		
836.00	2.647	0.258	0.837	5.775	2.765	188.7	59.7	0.35		23.5	56.7
836.10	2.650	0.271	0.873	5.758	2.807	178.6	59.4	0.35			
836.31	2.645	0.249	0.667	5.879	2.812	180.4	61.3	0.39			
836.41	2.648	0.258	0.740	5.836	2.896						
836.62	2.653	0.242	0.763	5.849	2.649						
837.00	2.644	0.263	0.751	5.746	2.791						
837.50	2.642	0.254	0.716	5.894	2.914						
837.60	2.649	0.261	0.749	5.867	2.746						
837.81	2.646	0.238	0.661	5.903	2.845						
838.20	3.064	0.260	1.026						9.66		
838.51	3.054	0.247	0.904						9.19		
975.15	2.616	0.342	1.289	4.592	2.351	198.5	44.1	0.32		22.2	59.1
975.38	2.618	0.365	1.380	4.335	2.360	182.1	45.1	0.42			
975.48	2.625	0.368	1.832	4.357	2.264	209.0	45.0	0.37			
981.43	2.620	0.331	1.350	4.425	2.231						
981.53	2.622	0.294	1.212	4.324	2.230						
983.47	2.619	0.493	1.712	4.158	2.073						
987.40	2.619	0.362	1.504	4.101	2.936						
987.50	2.623	0.354	1.551	3.754	2.180						
987.60	2.618	0.380	1.546	4.102	2.406						
975.58	3.053	0.381	1.773						7.67		
978.77	3.021	0.383	1.958						7.00		



表 I 正馬様用地で掘削された岩芯の物理・力学試験結果一覧(10/11)

試験孔名: MIU-3号孔

供試体 採取深度 (m)	見かけ比重 (乾燥状態)	含水比 $w$ (%)	有効空隙率 $n$ (%)	P波速度 $V_p$ (km/s)	S波速度 $V_s$ (km/s)	一軸圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	50%接線 ヤング率 $E_{50}$ (GPa)	ポアソン比 $\nu$	圧裂引張強度 $\sigma_t$	粘着力 $C$ (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ (°)
1012.04				5.410	3.010	104.0	29.0	0.43			
1012.22	2.614	0.462	1.310								
1012.16				5.530	3.160						
1012.34	2.614	0.505	1.370								
1012.28				5.520	3.290					35.6	54.3
1012.46	2.611	0.560	1.480								
1012.40				5.530	3.140						
1012.50									4.83		

表 I 正馬様用地で掘削された岩芯の物理・力学試験結果一覧(11/11)

試験孔名: MIU-4号孔 \*傾斜試験孔(鉛直から30°)

供試体 採取深度 (mabh)*	見かけ比重 (乾燥状態)	含水比 w (%)	有効空隙率 n (%)	P波速度 $V_p$ (km/s)	S波速度 $V_s$ (km/s)	軸圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	50%接線 ヤング率 $E_{50}$ (GPa)	ポアソン比 $\nu$	圧裂引張強度 $\sigma_t$	粘着力 c (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ (°)
177.75	2.625	0.183	0.652	2.657	5.314	162.5	52.7	0.31			
177.85	2.621	0.201	0.715	2.625	5.207	128.7	49.6	0.44			
178.53	2.627	0.217	0.786	2.578	5.185	135.2	51.4	0.41			
176.45	2.618	0.164	0.675						5.54		
176.54	2.617	0.159	0.638						7.90		
176.57	2.620	0.154	0.693						8.41		
440.30	2.649	0.520	1.635	2.555	4.625	99.0	55.3	0.26			
441.51	2.650	0.536	1.670	2.613	5.149	86.2	44.3	0.31			
441.96	2.628	0.104	0.855	2.478	4.997	126.2	44.9	0.28			
440.40	2.646	0.508	1.471						6.27		
440.60	2.670	0.512	1.454						7.38		
442.42	2.635	0.530	1.452						6.32		
220.00	2.631	0.179	1.533	2.592	4.656	204.7	59.1	0.29			
220.11	2.630	0.180	1.553	2.459	4.791	129.1	62.5	0.27			
220.22	2.626	0.193	1.576	2.556	4.884	166.6	59.7	0.32			
219.16	2.630	0.171	1.171						9.71		
219.21	2.629	0.175	1.196						9.84		
219.26	2.625	0.191	1.236						10.78		
314.45	2.640	0.115	1.214	2.553	5.011	112.5	50.4	0.36			
314.56	2.642	0.103	1.135	2.492	5.011	152.2	54.4	0.38			
314.57	2.639	0.098	1.255	2.580	4.975	133.6	54.5	0.36			
314.78	2.643	0.108	1.008						9.03		
314.83	2.645	0.149	1.169						8.51		
314.88	2.635	0.143	0.995						9.04		
491.00	2.640	0.228	2.062	2.013	3.387	105.8	33.0	0.28			
491.11	2.636	0.253	1.928	2.102	3.679	99.2	39.2	0.32			
491.22	2.635	0.203	1.734	2.368	4.196	99.2	42.6	0.34			
491.45	2.638	0.357	1.765						3.38		
491.50	2.644	0.350	1.939						2.19		
491.55	2.639	0.378	1.801						4.19		
576.03	2.639	0.143	1.684	2.286	4.409	61.9	27.6	0.25			
576.14	2.643	0.167	1.780	2.584	4.268	57.0	25.7	0.25			
576.25	2.642	0.175	1.680	2.620	4.306	57.0	22.8	0.35			
576.39	2.646	0.182	1.381						5.45		
576.41	2.642	0.198	1.333						5.70		
576.46	2.638	0.198	1.389						4.28		
577.74	2.642	0.147	1.431	2.013	3.387	87.1	38.9	0.35			
577.85	2.642	0.112	1.364	2.102	3.679	74.9	44.7	0.38			
580.23	2.638	0.127	1.371	2.368	4.196	88.5	39.0	0.36			
578.88	2.629	0.203	1.136						3.89		
578.93	2.645	0.204	1.227						6.55		
578.98	2.647	0.190	1.244						3.28		
684.62	2.658	0.115	1.236	2.286	4.409	124.6	50.3	0.34			
684.73	2.645	0.110	1.187	2.584	4.268	124.3	54.8	0.36			
684.84	2.648	0.117	1.195	2.620	4.306	141.4	53.8	0.34			
685.05	2.648	0.159	1.167						8.78		
685.10	2.647	0.143	1.084						8.75		
685.15	2.646	0.139	1.009						9.61		
696.95	2.648	0.083	1.128	2.751	5.134	147.2	50.6	0.35			
697.06	2.647	0.079	1.036	2.606	5.139	177.8	55.9	0.31			
697.17	2.635	0.075	1.050	2.646	5.217	164.2	54.7	0.36			
698.64	2.647	0.075	0.786						10.44		
697.69	2.644	0.078	0.819						10.21		
698.74	2.646	0.096	0.923						10.26		
746.98	2.635	0.096	1.075	2.594	5.188	165.4	61.3	0.36			
747.09	2.636	0.290	1.801	2.680	5.043	97.6	77.0	0.29			
747.20	2.631	0.167	1.304	2.631	5.116	177.3	61.1	0.34			
745.98	2.631	0.166	1.178						10.07		
746.03	2.635	0.236	1.309						9.25		
746.38	2.633	0.045	0.666						10.74		



表 II 研究所用地近傍で掘削された岩芯の物理・力学試験結果一覧(2/2)

試験孔名: DH-2号孔

供試体 採取深度 (m)	見かけ比重 (乾燥状態)	含水比 w (%)	有効空隙率 n (%)	P波速度 $V_p$ (km/s)	S波速度 $V_s$ (km/s)	一軸圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	50%接線 ヤング率 $E_{50}$ (GPa)	ポアソン比 $\nu$	圧裂引張強度 $\sigma_t$	粘着力 C (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ (°)
395.81	2.615	0.32	0.85								
396.00	2.620	0.34	0.88								
396.60	2.618	0.34	0.88								
396.70	2.617	0.34	0.88								
394.45									5.10		
395.54									7.30		
395.59									7.80		
420.21				4.894	2.401	110.4	50.3	0.21			
420.31				4.589	2.295	114.1	57.1	0.36			
420.46				4.671	2.380	144.2	65.7	0.37			
420.56				4.918	2.507					39.3	46.1
421.56				4.889	2.493						
421.66				4.687	2.387						
420.67	2.614	0.32	0.82								
420.77	2.621	0.30	0.80								
420.98	2.623	0.30	0.79								
421.81	2.611	0.30	0.79								
422.27	2.624	0.28	0.73								
422.37	2.619	0.26	0.69								
421.89									7.50		
422.55									8.40		
422.60									7.80		
463.56				5.135	2.417	130.5	59.4	0.33			
463.66				5.344	2.617	122.8	45.3	0.28			
464.71				5.281	2.587	139.6	58.8	0.27			
464.81				5.335	2.605					31.50	57.4
465.05				5.295	2.586						
465.80				4.926	2.416						
462.42	2.620	0.31	0.80								
462.52	2.622	0.32	0.83								
462.62	2.620	0.32	0.85								
462.81	2.618	0.36	0.93								
462.91	2.621	0.33	0.86								
463.01	2.618	0.36	0.95								
465.88									7.50		
465.93									11.30		
466.13									11.80		
477.71				4.718	2.403	90.8	41.9	0.28			
477.96				4.418	2.209	126.8	58.3	0.23			
478.06				4.611	2.306	133.7	62.7	0.38			
479.01				4.258	2.094					25.3	57.2
479.91				4.668	2.329						
480.01				4.524	2.223						
478.21	2.624	0.29	0.77								
478.31	2.621	0.35	0.91								
478.46	2.627	0.34	0.88								
478.54	2.624	0.36	0.94								
478.76	2.621	0.33	0.87								
478.86	2.622	0.36	0.93								
477.79									6.30		
479.09									7.90		
479.14									6.90		
496.66				4.105	2.052	144.7	55.6	0.29			
496.77				4.242	2.232	123.2	52.9	0.30			
496.91				3.989	2.016	135.1	52.8	0.32			
497.01				4.097	2.044					36.4	54.1
497.23				3.960	1.945						
498.02				4.174	2.053						
497.41	2.629	0.29	0.77								
497.66	2.622	0.29	0.77								
497.77	2.627	0.29	0.77								
498.12	2.623	0.28	0.73								
499.05	2.621	0.31	0.80								
499.15	2.616	0.32	0.83								
497.31									6.50		
498.19									9.00		
498.24									8.90		