



超深地層研究所計画（岩盤力学に関する調査研究）
MIZ-1 号孔における岩盤力学調査

Mizunami Underground Research Laboratory Project
(Rock Mechanical Investigations)
- MIZ-1 Borehole Investigations -

平野 享 中間 茂雄 山田 淳夫 瀬野 康弘 佐藤 稔紀

Toru HIRANO, Shigeo NAKAMA, Atsuo YAMADA
Yasuhiro SENO and Toshinori SATO

地層処分研究開発部門
東濃地科学研究ユニット

Tono Geoscientific Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate

November 2009

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2009

超深地層研究所計画（岩盤力学に関する調査研究）MIZ-1号孔における岩盤力学調査

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット
平野 享^{*}、中間 茂雄⁺、山田 淳夫^{*1}、瀬野 康弘^{*2}、佐藤 稔紀^{*3}

（2009年8月28日受理）

超深地層研究所計画は、深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備および深地層における工学技術の基盤の整備を目標として、日本原子力研究開発機構が、岐阜県瑞浪市において実施している結晶質岩を対象とした深地層の研究施設の建設をとまなう研究プロジェクトである。研究は、地表からの調査予測研究段階(第1段階)、研究坑道の掘削を伴う研究段階(第2段階)、研究坑道を利用した研究段階(第3段階)の3段階からなり、全体で20年程度の計画である。このうち第1段階の活動は2004年度まで行なわれた。

第1段階においては、「地表からの調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握」が成果目標の一つとして設定されており、調査量と個別目標や課題に対する理解度や不確実性との関連性を事例で示すことにしている。本件、MIZ-1号孔における岩盤力学調査は、研究所用地内における深層ボーリング孔(MIZ-1号孔)の掘削による研究所用地の深部地質環境の把握のための調査と、それに基づく地質環境モデルの構築を課題としていた。

本報告書は、2004年度に実施したMIZ-1号孔における岩盤力学調査から得た、以下の項目の調査結果等を取りまとめたものである。結果の概要をあわせて示す。

① ボーリングコアを用いた室内試験による基盤岩の物理・力学的特性の把握

研究所用地での基盤岩（土岐花崗岩）の物理・力学的特性は、局所的な脆弱部を除く健岩部で、見かけ比重=2.62、一軸圧縮強度=173MPa、50%接線静ヤング率=53.9GPa、ポアソン比=0.265等であり、正馬様用地の土岐花崗岩と同程度であった。

② ボーリングコアを用いた初期応力測定

コアを用いた応力測定法として、AE、DRA、ASR、DSCAの四手法を適用したが、DSCAを除いてボーリング時の応力解放によるひずみが微小なため信頼できる結果は得られなかった。

③ 水圧破碎法を用いた原位置試験による基盤岩の初期応力測定

水平面内の最大主応力の方向はNW-SEに集中した。また、概ね深度400mより浅いところでは逆断層型（ $S_H > S_h \geq S_v$ 、ただし土被り圧 ρgh を S_v とした）、概ね深度600mより深いところでは正断層・横ずれ断層型（ $S_v \geq S_H > S_h$ ）となる環境であった。

④ 岩盤力学モデルの構築

既往の地質構造モデルを基本として上記の調査結果を解釈した岩盤力学モデルを構築した。その力学モデルでは、物理・力学的特性は概ね一様とし、初期応力状態は断層を境とする異なる二つの領域に区分した。

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

※ 技術開発協力員

+ 地層処分基盤研究開発ユニット

*1 株式会社間組(元 技術開発協力員)

*2 東急建設株式会社(元 技術開発協力員)

*3 経済産業省

Mizunami Underground Research Laboratory Project (Rock Mechanical Investigations)
- MIZ-1 Borehole Investigations -

Toru HIRANO*, Shigeo NAKAMA+, Atsuo YAMADA*¹, Yasuhiro SENO*²
and Toshinori SATO*³

Tono Geoscientific Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Akeyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received August 28, 2009)

In order to establish the scientific and technical basis of geological disposal of high level radioactive waste, Japan Atomic Energy Agency (JAEA) is advancing the geo-scientific research at the Mizunami Underground Laboratory (MIU). In this project, the surface-based investigation phase (Phase D) was finished in fiscal year 2004.

Rock mechanics investigations were conducted in Phase I using the MIZ-1 borehole in order to understand the rock mechanical conditions deep underground and to construct a rock mechanical model of the MIU construction site. This report describes the results of these investigations. A brief summary is shown as follows.

1) Determining the average rock physical and mechanical properties using core from Toki Granite are:

- apparent specific gravity: 2.62;
- unconfined compressive strength (U.C.S.): 173Mpa;
- tangent modulus at 50% U.C.S: 51.8Gpa;
- poisson's ratio: 0.265.

These results are consistent with the results of similar investigations in the nearby Shobasama site.

2) Estimation of *in situ** stress by stress measurements using cores

Four different methods (AE, DRA, ASR, and DSCA) were applied to estimate the *in situ* stress state. However the results are very low confidence due to very small deformation during drilling, excepting DSCA.

3) Determining of *in situ* stress by hydraulic fracturing

The horizontal, maximum principal stress is oriented to NW-SE (using north magnetic pole). Above six hundred meters depth, the *in situ* stress state is reverse fault type ($S_H > S_h \geq S_v$, overburden pressure ρgh as S_v). But below it, the *in situ* stress state changed to a wrench or normal fault type ($S_v \geq S_H > S_h$).

4) Rock mechanical model

In consideration of the investigations and geological model, we proposed a rock mechanical model consisting of two *in situ* stress states and homogeneous, rock mechanical properties.

*mean "in the natural or original position"

Keywords: MIZ-1, Rock Mechanics, Rock Mechanical Property, In Situ Stress, Rock Mechanical Model

* Collaborating Engineer

+ Geological Isolation Research Unit

*1 Hazama Corporation (Former Collaborating Engineer)

*2 Tokyu Construction (Former Collaborating Engineer)

*3 Ministry of Economy, Trade and Industry

目 次

1. はじめに.....	1
2. 調査項目.....	3
3. 室内物理・力学試験.....	4
3.1 室内物理試験.....	4
3.1.1 試験方法.....	4
3.1.2 試験結果.....	6
3.2 室内力学試験.....	10
3.2.1 試験方法.....	10
3.2.2 試験結果.....	10
4. 岩石試料を用いた初期応力測定.....	14
4.1 測定原理.....	14
4.1.1 AE法.....	14
4.1.2 DRA法.....	14
4.1.3 ASR法.....	15
4.1.4 DSCA法.....	15
4.2 試験方法.....	16
4.2.1 AE法およびDRA法.....	16
4.2.2 ASR法.....	19
4.2.3 DSCA法.....	23
4.3 試験結果.....	26
4.3.1 AE/DRA法.....	26
4.3.2 ASR法.....	31
4.3.3 DSCA法.....	33
4.4 岩石試料を用いた初期応力測定のまとめ.....	35
5. 水圧破碎法による初期応力測定.....	39
5.1 測定原理.....	39
5.1.1 概要.....	39
5.1.2 低コンプライアンス加圧システムの要求.....	39
5.2 試験方法.....	39
5.2.1 試験位置.....	39
5.2.2 試験装置および試験方法.....	40
5.3 水圧破碎法で得られた初期応力状態.....	42
6. 岩盤力学モデル.....	45
7. まとめ.....	47
参考文献.....	48
付録（室内物理・力学試験における個々の試験体での結果）.....	50

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Specification of rock mechanical investigations	3
3. Determining the rock physical and mechanical properties	4
3.1 Physical properties	4
3.1.1 Testing method	4
3.1.2 Results	6
3.2 Mechanical properties	10
3.2.1 Testing method	10
3.2.2 Results	10
4. Estimation of <i>in situ</i> stress by stress measurements using core.....	14
4.1 Theory.....	14
4.1.1 AE method.....	14
4.1.2 DRA method	14
4.1.3 ASR method.....	15
4.1.4 DSCA method	15
4.2 Measurement Procedure	16
4.2.1 AE/DRA method	16
4.2.2 ASR method.....	19
4.2.3 DSCA method	23
4.3 Results.....	26
4.3.1 AE/DRA method	26
4.3.2 ASR method.....	31
4.3.3 DSCA method	33
4.4 Discussion	35
5. Determining <i>in situ</i> stress by hydraulic fracturing.....	39
5.1 Introduction of applied hydraulic fracturing.....	39
5.1.1 Overview.....	39
5.1.2 New hydraulic fracturing system (low compliance pressurizing system)	39
5.2 <i>In situ</i> measurement	39
5.2.1 Layout in the bore hole.....	39
5.2.2 Procedure and data analysis.....	40
5.3 Results.....	42
6. Construction of rock mechanical model.....	45
7. Conclusion.....	47
Reference	48
Appendix (The rock physical and mechanical properties of each specimen)	50

図目次

図 1.1	研究所用地と MIZ-1 号孔の位置関係	1
図 3.1.1	MIZ-1 号孔の掘削方向	6
図 3.1.2(a)	室内物理試験の結果（密度試験、含水比試験、有効間隙率試験）	7
図 3.1.2(b)	室内物理試験の結果（弾性波速度試験）	8
図 3.1.3	MIZ-1 号孔の物理試験結果の正馬様および国内平均との比較	9
図 3.2.1(1)	室内力学試験の結果（一軸圧縮試験）	11
図 3.2.1(2)	室内力学試験の結果（圧裂引張試験）	11
図 3.2.1(3)	室内力学試験の結果（三軸圧縮試験）	12
図 3.2.2	MIZ-1 号孔の力学試験結果の正馬様および国内平均との比較	13
図 4.1.1	DRA 法におけるひずみ差関数	14
図 4.2.1(a)	AE/DRA 法の円柱形試験体の軸のとり方	16
図 4.2.1(b)	AE/DRA 法における試験装置（一軸圧縮載荷時）	18
図 4.2.1(c)	AE センサーおよびひずみゲージを同時に貼付した試験体	18
図 4.2.2(a)	ASR 法における試験体(左) ASR 試験体作成状況(右)	20
図 4.2.2(b)	ASR 法における試験装置（現場測定）	21
図 4.2.2(c)	ASR 法適用のためのコンプライアンス取得試験における試験体	22
図 4.2.2(d)	ASR 法適用のためのコンプライアンス取得試験における恒温槽（室内測定）	22
図 4.2.3(a)	(左)DSCA 法における試験体（右)DSCA 試験体作成状況	24
図 4.2.3(b)	DSCA 法における試験装置	25
図 4.2.3(c)	DSCA 法における差ひずみと静水圧の関係	25
図 4.3.1(a)	AE 法での検出応力の特定	28
図 4.3.1(b)	DRA 法での検出応力の特定	29
図 4.3.2(a)	ASR 法での非弾性ひずみ現象の特定	32
図 4.3.3(a)	DSCA 法での差ひずみ - 静水圧関係	34
図 4.4(a)	AE 法による初期応力の深度分布（圧縮を正）	35
図 4.4(b)	DRA 法による初期応力の深度分布（圧縮を正）	36
図 4.4(c)	DSCA 法による初期応力の深度分布（圧縮を正）	37
図 5.2.2	水圧破碎法における試験装置（現場測定）	41
図 6	岩盤力学モデル（物理・力学特性および初期応力状態）	45

表目次

表 2.1	MIZ-1 号孔における調査項目	3
表 3.1.1	試験対象深度	5
表 3.1.2(a)	室内物理試験の結果（土岐花崗岩）	9
表 3.1.2(b)	室内物理試験の結果（土岐夾炭累層）	9
表 3.2.2(a)	室内力学試験の結果（土岐花崗岩）	12
表 3.2.2(b)	室内力学試験の結果（土岐夾炭累層）	12
表 4.2.1(a)	AE/DRA 法 試験対象深度	17
表 4.2.1(b)	AE/DRA 法の載荷におけるピーク応力の決定根拠	19
表 4.2.2(a)	ASR 法 試験対象深度	20
表 4.2.3(a)	DSCA 法 試験対象深度	23
表 4.3.1(a)	AE/DRA 法で得た検出応力	26
表 4.3.1(a)つづき	AE/DRA 法で得た検出応力	27
表 4.3.1(b)	AE/DRA 法で得た MIZ-1 号孔の初期応力状態（圧縮を正）	30
表 4.3.2(a)	ASR 法による初期応力計算の可否	31
表 4.3.2(b)	深度 No.4 の ASR 法で得た MIZ-1 号孔の初期応力方向（圧縮を正）	31
表 4.3.3(a)	DSCA 法で得た MIZ-1 号孔の初期応力方向（圧縮を正）	33
表 4.3.3(b)	鉛直主応力が土被り圧とした場合の DSCA 法で得た初期応力値（圧縮を正）	33
表 4.3.3(c)	クラックテンソル	34
表 4.3.3(c)	クラックテンソル(つづき)	35
表 4.4	MIZ-1 号孔に岩石試料を用いた初期応力測定を適用したときの結果	38
表 5.2.1	水圧破碎法 試験対象深度	40
表 5.3(a)	水圧破碎法で求めた MIZ-1 号孔の初期応力の方向	42
表 5.3(b)	水圧破碎法で求めた MIZ-1 号孔の初期応力値（圧縮を正）	43
表 7(a)	研究所用地の深部にある土岐花崗岩の特性（健岩部での平均）	47
表 7(b)	同、脆弱部も含めた試験全体での平均	47

1. はじめに

超深地層研究所計画は、深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備および深地層における工学技術の基盤の整備を目標として、独立行政法人日本原子力研究開発機構が、岐阜県瑞浪市において実施している結晶質岩を対象とした深地層の研究施設の建設をともなう研究プロジェクトである。研究は、地表からの調査予測研究段階（第1段階）、研究坑道の掘削を伴う研究段階（第2段階）、研究坑道を利用した研究段階（第3段階）の3段階からなり、全体で20年程度の計画である¹⁾。このうち第1段階の活動は2004年度まで行なわれた²⁾。

第1段階においては、「地表からの調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握」が成果目標の一つとして設定されており、調査量と個別目標や課題に対する理解度や不確実性との関連性を事例で示すことにしている。そこで、掘削長1,300mで下方は斜孔としたボーリング孔（MIZ-1号孔）を掘削し、鉛直深度GL.-1,000mに達するまでを範囲とする以下のような調査を実施した。

- ① ボーリングコアを用いた室内試験による基盤岩の物理・力学的特性の把握
土岐花崗岩を対象とし、ボーリングコアから深度の異なる試料を採取して試験を行い、研究用地における地下深部までの岩盤の力学的特性を把握する。
- ② ボーリングコアを用いた初期応力測定
土岐花崗岩を対象とした場合の、AE (Acoustic Emission) 法、DRA (Deformation Rate Analysis) 法、ASR (Anelastic Strain Recovery) 法、および DSCA (Differential Strain Curve Analysis) 法の適用性を確認する。
- ③ 水圧破砕法を用いた原位置試験による基盤岩の初期応力測定
水圧破砕法による原位置初期応力測定を行い、研究用地における地下深部までの初期応力状態を把握する。

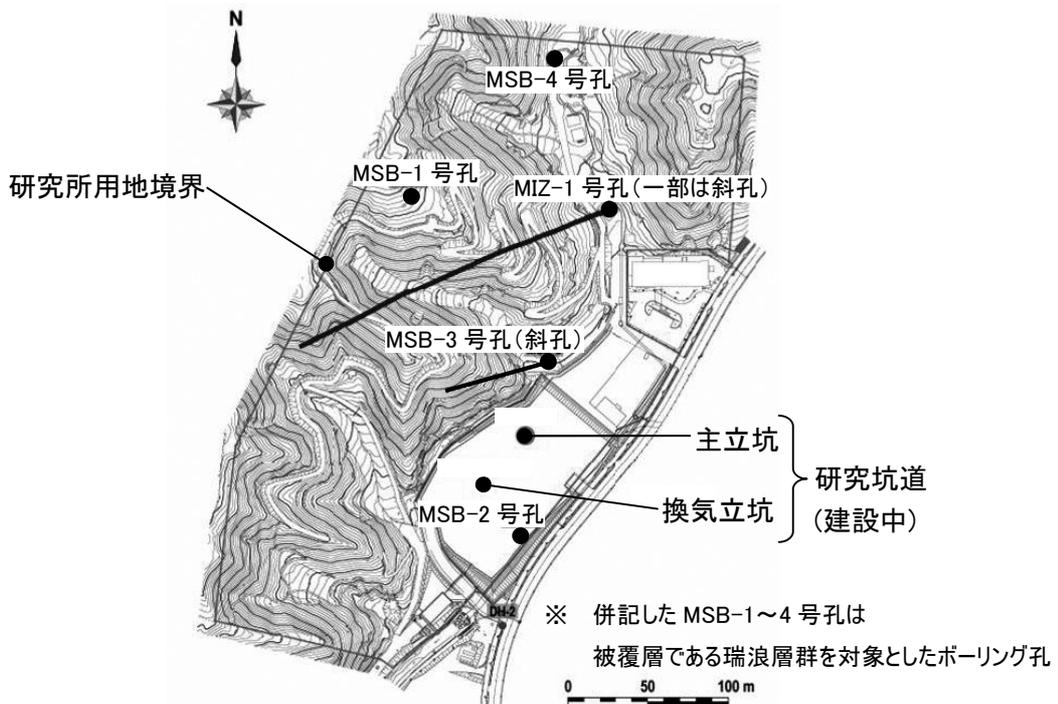


図 1.1 研究用地と MIZ-1 号孔の位置関係
第1段階報告書²⁾の付図に加筆

また、以上の調査で得られた結果は、第 2 段階以降の活動において、研究坑道掘削にともなう掘削影響領域の検討、研究坑道の詳細設計、調査研究計画の策定などに反映するとしている。そこで、MIZ-1 号孔での調査結果に基づいた岩盤力学モデルを構築した。

④ 研究所用地における岩盤力学モデルの構築

研究所用地の深度 1,000m までのサイトスケールにおける岩盤力学モデルの構築

本報告書は、2004 年度に実施した、①から④までの作業について取りまとめたものである。初めに、第 2 章では調査項目の概要を述べる。次に、第 3 章では室内物理・力学試験の方法と結果、考察を述べる。続いて、第 4 章ではボーリングコアを用いた初期応力測定について、四種類の手法ごとに測定原理や試験方法を概括し、測定結果を示し、また適用性について検討する。さらに、第 5 章では水圧破碎法による初期応力測定の結果をまとめる。最後に第 6 章では、前述の調査結果に基づく岩盤力学モデルの構築について述べる。

2. 調査項目

MIZ-1 号孔における調査項目を表 2.1 に示す。ボーリングコアの採取深度や原位置測定の実施深度は、調査対象とした土岐花崗岩において深度方向の変化が把握できるように、採取深度や実施深度ができるだけ等深度間隔に配置されるよう設定した。

表 2.1 MIZ-1 号孔における調査項目

調査項目	試験又は測定名	数量	備考
室内物理試験	(1) 密度試験、含水比試験、有効間隙率試験	204 個	17 深度(深度 1 点あたり 12 個)
	(2) 弾性波速度試験(P 波, S 波)	153 個	17 深度(深度 1 点あたり 9 個)
室内力学試験	(1) 一軸圧縮試験	51 個	17 深度(深度 1 点あたり 3 個)
	(2) 圧裂引張試験	51 個	
	(3) 三軸圧縮試験	102 個	17 深度(深度 1 点あたり 6 個) 封圧 10, 20, 30MPa
初期応力測定 (コアによる)	AE/DRA 法(室内試験)	72 個	6 深度(深度 1 点あたり 6 方向×2 個) 測定手順に共通点の多い AE、DRA 法の二手法を同時実施
	ASR 法(現場試験)	10 個	5 深度(深度 1 点あたり 2 個) ボーリングによる応力解放に伴う非弾性ひずみ測定のため採取現場に測定装置持込み
	DSCA 法(室内試験)	6 個	6 深度(深度 1 点あたり 1 個)
初期応力測定 (岩盤を対象)	水圧破碎法(原位置測定)	15 測点	15 深度(深度 1 点あたり 1 測点)

3. 室内物理・力学試験

3.1 室内物理試験

3.1.1 試験方法

室内物理試験で得られる岩石の物理特性は、後述する室内力学試験で得られる力学特性と相関が高く、相互の試験結果の妥当性を検証する指標となるとともに、これら結果を総合的に評価することでより正確に岩石の特性を評価できるものと考えられる。

今回実施した室内物理試験の項目は、密度試験、含水比試験、有効間隙率試験および弾性波速度試験であり、それぞれ地盤工学会が示した指針「岩の試験・調査方法の基準・解説書（平成14年度版）」³⁾に準拠して実施した。なお、同指針は国際的な学会組織である International Society for Rock Mechanics (ISRM)の指針⁴⁾（以下、ISRM 指針）をふまえた内容となっている。

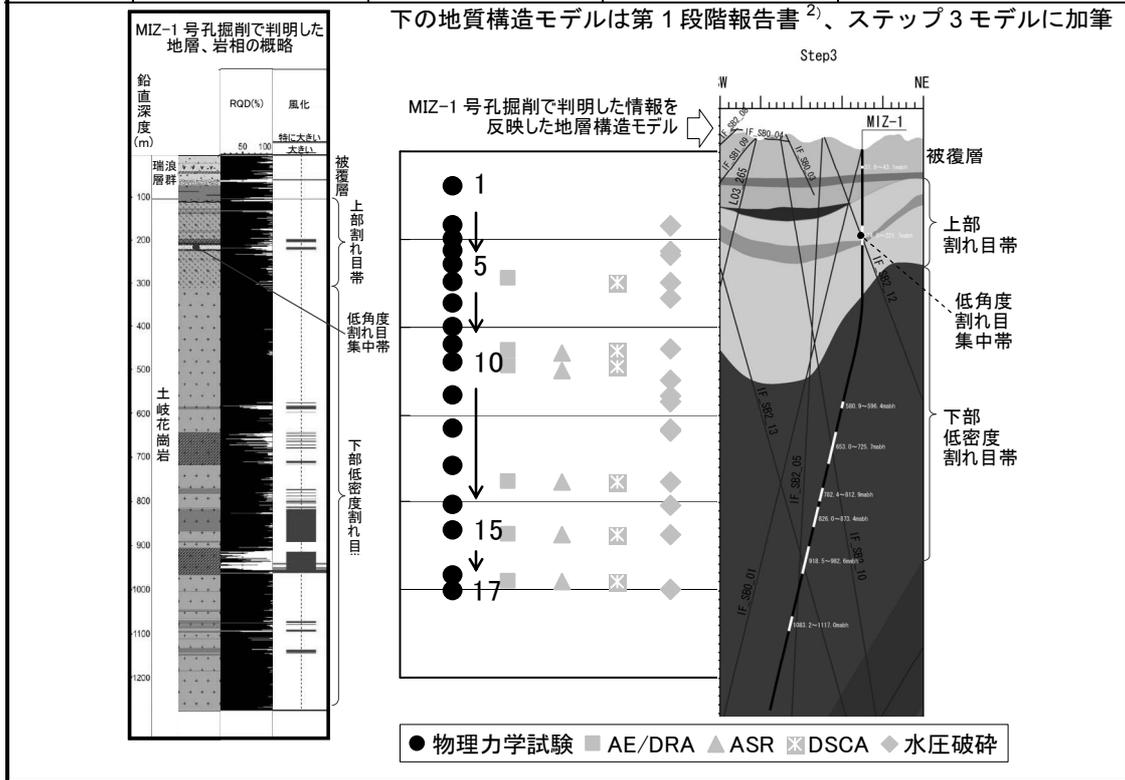
(1) 密度試験、含水比試験、有効間隙率試験

試験するボーリングコアを採取した深度は、MIZ-1号孔の掘削で確認された地層・岩相および地質構造²⁾を参考に以下のように決めた。MIZ-1号孔の掘削で判明した地層・岩相および地質構造は、概略として以下のとおりである。被覆層である瑞浪層群は掘削深度109mで基盤岩である土岐花崗岩を不整合に覆っている。土岐花崗岩内は掘削深度109～311mで局所的に低角度割れ目集中帯（210～220m）を含む亀裂密度の比較的高い領域（以下、上部割れ目帯）であり、掘削深度311m以深で、幾つかの、断層の影響による風化変質と亀裂密度の高い（RQDの低い）ゾーンを含む、基本的には亀裂密度の比較的低い領域（以下、下部低密度割れ目帯）であった（表3.1.1内の付図左）。そこで、ボーリングコアの採取位置は、試験体の作成に必要な連続した長さが得られるよう極端にRQDの低いゾーンを避けつつ、土岐花崗岩内で概ね等深度間隔に採取されるように16点を設定した。なお、被覆層（瑞浪層群、土岐夾炭累層）にも参考点を一つ設定したので全体の採取数は17点である。表3.1.1にコアの採取深度を示す。なお、MIZ-1号孔は図3.1.1のように掘削深度250m付近からコントロールボーリングで徐々に屈曲させた一部斜孔であり、深部では掘削深度と鉛直深度の差が大きくなるため、これ以後、採取位置は鉛直深度で示す。

次に、これらボーリングコアを整形し、直径3.5cmで、長さ7cm（L/D比1.5）と長さ3.5cm（L/D比1.0）の二種類の円柱形試験体を作成した。本試験に供した試験体数は深度1点あたり12個である。なお、ここで試験に供した試験体は、本試験後（物理試験後）に力学試験に供し、両試験で試験体が異なることによる物理物性値と力学物性値の対応のばらつきが小さくなるようにした。

表 3.1.1 試験対象深度

深度 No.	コア採取平均深度 掘削深度で表記 (GL.- m)	コア採取平均深度 鉛直深度で表記※ (GL.- m)	採取区間長 (m)	備考
1	81.59	81.5	1.96	瑞浪層群 土岐夾炭累層
2	167.53	167.5	0.88	
3	199.52	199.5	1.65	
4	228.55	228.5	0.90	
5	260.52	260.5	1.03	
6	299.54	299.5	0.92	
7	349.56	349.5	0.97	
8	400.58	400.3	1.07	
9	441.53	440.6	0.98	
10	482.54	480.4	1.03	
11	562.71	558.4	1.19	
12	641.49	635.1	0.98	
13	727.50	718.8	0.91	
14	818.83	807.6	1.93	
15	879.13	866.3	1.32	
16	985.91	970.2	2.51	土岐花崗岩 下部低密度割れ目帯
17	1020.93	1004.3	1.35	



※掘削深度と鉛直深度の関係に曲線補間して算定したため 0.3m 程度の計算誤差を含む

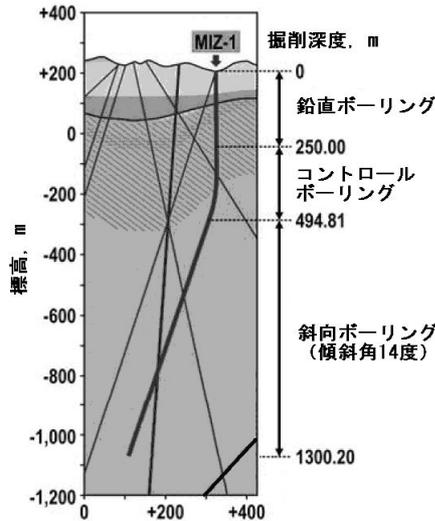


図 3.1.1 MIZ-1 号孔の掘削方向
第 1 段階報告書²⁾、MIZ-1 号孔レイアウト図に加筆

試験では、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。ついで、これらの測定値に基づき、見かけ比重（乾燥）^{脚注)}、吸水率、有効間隙率、含水比、飽和度の各値を、飽和・成形法および飽和・浮力法を用いて計算した。

(2) 弾性波速度試験

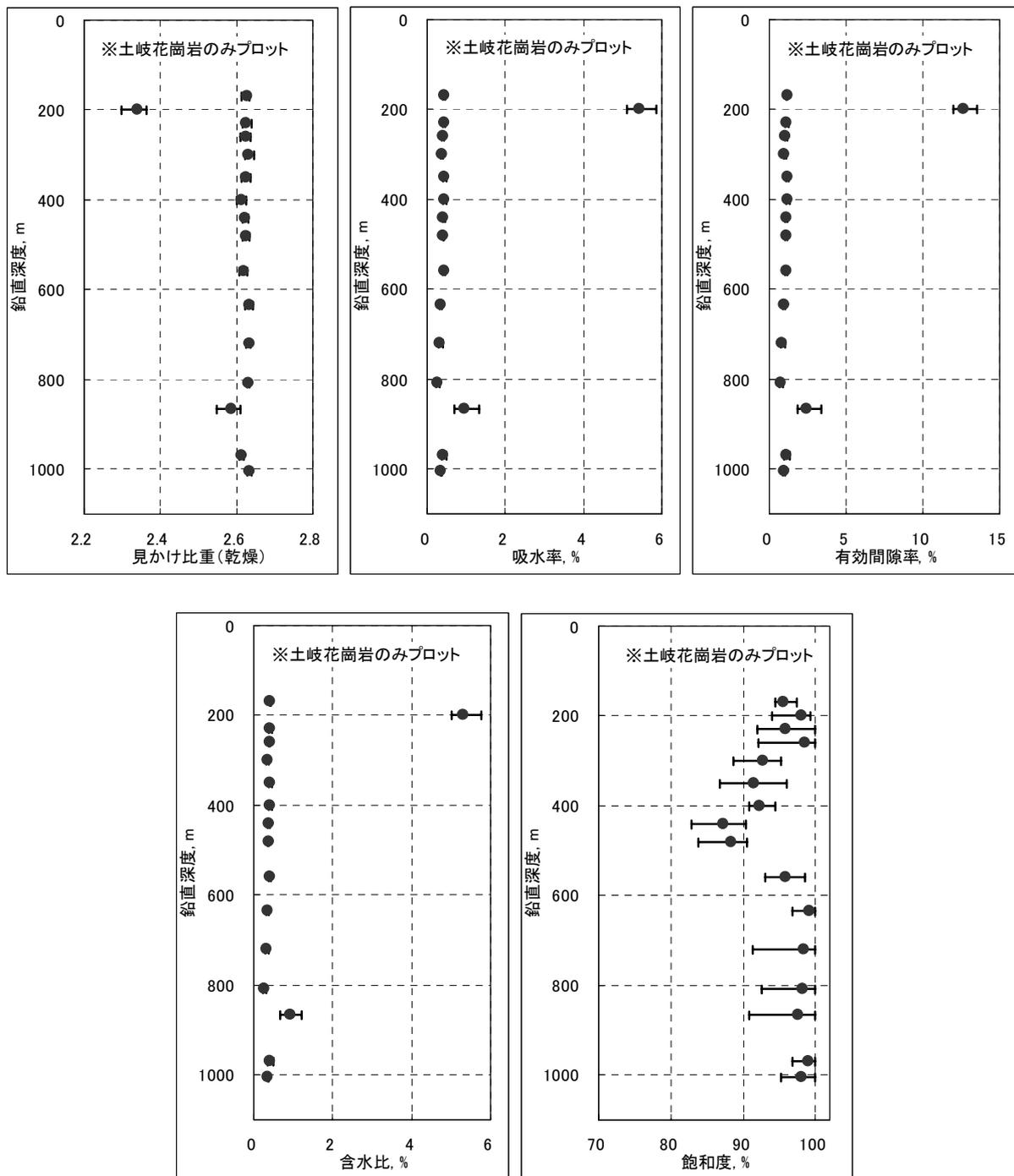
試験するボーリングコアの採取深度と試験体数の設定方法は上述の(1)と同じである。ただし深度 1 点あたり 12 個の試験体中に 3 個含まれる L/D 比 1.0 の試験体は、L/D 比 1.5 のものと比較して弾性波伝播距離が 2/3 であり、測定精度が低下することから試験対象から除外した。よって、深度 1 点あたり 9 個が試験体数である。

試験では、試験体の両端に P 波および S 波の弾性波発信子および受信子をあて、円柱形試験体の軸方向に伝播する弾性波のトラベルタイムを測定した。次に別途測定しておいた試験体長さをこのトラベルタイムで除して弾性波速度（P 波、S 波）を計算した。さらに、これら弾性波速度と(1)の試験結果を用い、弾性論に基づいて動ヤング率と動ポアソン比を計算した。

3.1.2 試験結果

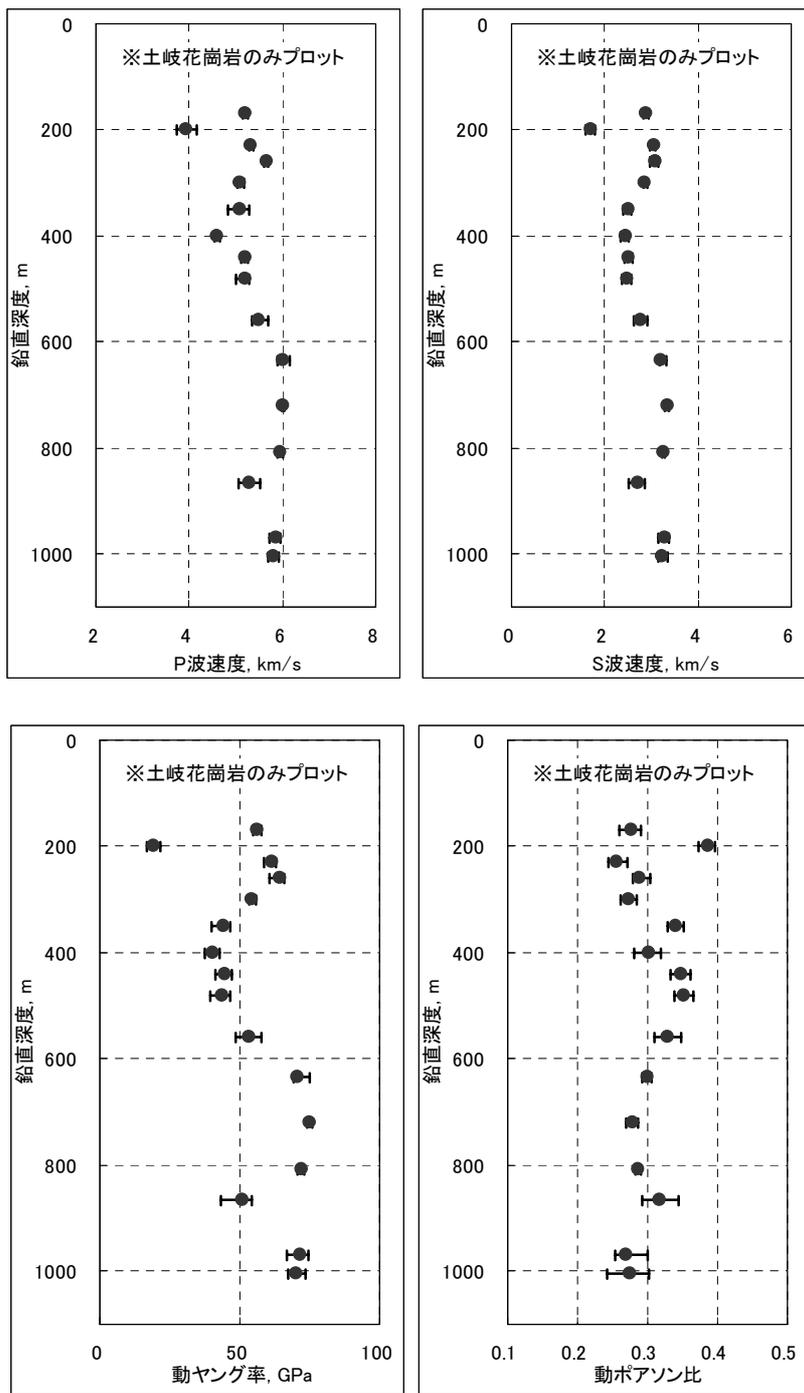
室内物理試験で得られたボーリングコアの鉛直深度に対する物性値の変化を図 3.1.2(a)と(b)に示す。ここで、全測定深度 17 点のうち 1 点だけ含まれる土岐夾炭累層（表 3.1.1 の深度 No.1 の試料）の値は大きく異なるため、図には示していない。次に、試験で得られた主な物性値の範囲と平均を表 3.1.2 (a)と(b)に示す。土岐花崗岩についてまとめた表(a)では、今回調査で得られた値の全てを用いた場合を示すとともに、鉛直深度 199.5m の脆弱部を除外した場合の平均を括弧内に記載した。また比較として既往の研究（正馬様用地^{5),6),7),8)}、日本の花崗岩類⁹⁾）から得た平均値¹⁰⁾を併記した。

注) ISRM 指針⁴⁾では、乾燥相対密度（固体部分の重量 M_s を固体部分の見かけ体積 $V = V_s + V_v$ で除した乾燥密度 ρ_d と水の密度 ρ_w の比）と粒子相対密度（ M_s を固体部分の体積 V_s で除した粒子密度 ρ_s と ρ_w の比）を定義しているが、見かけ比重の定義はない。一般には乾燥相対密度を乾燥状態での見かけ比重とすることが多いが、岩石を対象とする場合、粒子相対密度とすることがある。本調査では前者にならない乾燥相対密度を見かけ比重とした。乾燥相対密度と粒子相対密度のいずれを見かけ比重とするかによる値の相違は有効間隙率の大きさと関係しており、有効間隙率が比較的大きな土岐夾炭累層で相違が大きく、小さな土岐花崗岩で相違はほとんどない。



※エラーバーは測定値の上限と下限を示す

図 3.1.2(a) 室内物理試験の結果 (密度試験、含水比試験、有効間隙率試験)



※エラーバーは測定値の上限と下限を示す

図 3.1.2(b) 室内物理試験の結果 (弾性波速度試験)

表 3.1.2(a) 室内物理試験の結果（土岐花崗岩）

室内物理試験の項目	MIZ-1 号孔（今回調査） 鉛直深度 167.5～1004.3m		正馬様用地の 土岐花崗岩 平均 ¹⁰⁾	国内における 花崗岩の平均 ¹⁰⁾
	測定値上限下限	平均値		
見かけ比重（乾燥） （＝乾燥相対密度）	2.30～2.65 (2.55～2.65)	2.61 (2.62)	2.62	2.63
含水比，%	0.24～5.76 (0.24～1.22)	0.71 (0.41)	0.38	0.4
有効間隙率，%	0.64～13.5 (0.64～3.41)	1.84 (1.12)	1.31	2.0
弾性波速度 P 波，km/s	3.74～6.16 (4.53～6.16)	5.36 (5.45)	5.27	4.75
同 S 波，km/s	1.58～3.38 (2.34～3.38)	2.83 (2.91)	2.85	2.44

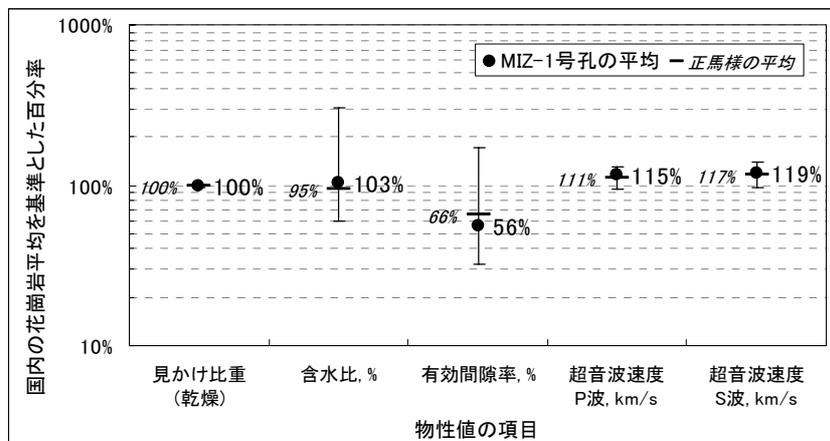
※括弧内は花崗岩のうち鉛直深度 199.5m の脆弱部データを除いて計算したもの

表 3.1.2(b) 室内物理試験の結果（土岐夾炭累層）

室内物理試験の項目	MIZ-1 号孔（今回調査） 鉛直深度 81.5m	
	測定値上限下限	平均値
見かけ比重（乾燥） （＝乾燥相対密度）	1.31～1.66	1.47
含水比，%	22.7～38.5	30.5
有効間隙率，%	37.7～50.4	44.3
弾性波速度 P 波，km/s	2.21～2.57	2.39
同 S 波，km/s	1.02～1.12	1.09

図 3.1.3 は、表 3.1.2(a)の値に基づいて、MIZ-1 号孔と正馬様で得られた土岐花崗岩の物性値を比較した図である。比較にあたり差異の程度を分かりやすく示すため、国内の花崗岩平均値を基準（100%）とした百分率で表した。また、この比較では、局所的脆弱部である鉛直深度 199.5m（表 3.1.1 の深度 No.3）を除いた表 3.1.2(a)の括弧内の値を用いることにした。なお、ボーリングコアの観察によると、当該脆弱部は断層に伴う変形作用を受けた領域と考えられている²⁾。

これによると、MIZ-1 号孔と正馬様で土岐花崗岩の物性値は概ね同様であるとわかる。さらに、国内の花崗岩平均値と比べると、どちらも見かけ比重や含水比は同程度であるのに対して、有効間隙率が小さく、弾性波速度が速い傾向にある。したがって、土岐花崗岩の健岩部は国内の平均的花崗岩に比較してやや密であると言える。



※花崗岩のうち鉛直深度 199.5m の脆弱部データを除く

図 3.1.3 MIZ-1 号孔の物理試験結果の正馬様および国内平均との比較

3.2 室内力学試験

3.2.1 試験方法

今回実施した室内力学試験の項目は、一軸圧縮試験、圧裂引張試験および三軸圧縮試験である。各試験方法は、室内物理試験の項と同様、地盤工学会の指針³⁾に準拠して行った。また、各試験に供するボーリングコアの採取深度の設定は室内物理試験の項で述べたとおりである。深度1点あたり12個とした試験体はいずれも室内物理試験を先に行ったもので、同一試験体を用いることで両試験結果の比較における物性のばらつきの影響を緩和できると考えられる。

(1) 一軸圧縮試験

L/D比1.5の試験体から深度1点あたり3個を抽出して一軸圧縮試験に供した。試験結果は、個々の試験体が持つ力学的性質のばらつきを考慮した試験法の指針にしたがい、3個の平均値を当該深度の試験結果とした。試験では、定変位制御で試験体を圧縮し、その速度は試験体が10分程度で破壊するよう決めており、速度をひずみ速度に換算すると $10^{-5} \sim 10^{-6} / s$ 程度に相当する。試験中は、試験体に貼り付けたひずみゲージを用いて試験体の縦・横ひずみを、また、試験機の載荷板に装着したロードセルを用いて試験体に加えた圧縮荷重をそれぞれ測定した。次に、試験結果から、破壊時のピーク応力を一軸圧縮強度とし、また、応力-ひずみ関係に基づき50%強度での接線静ヤング率と静ポアソン比を求めた。

(2) 圧裂引張試験

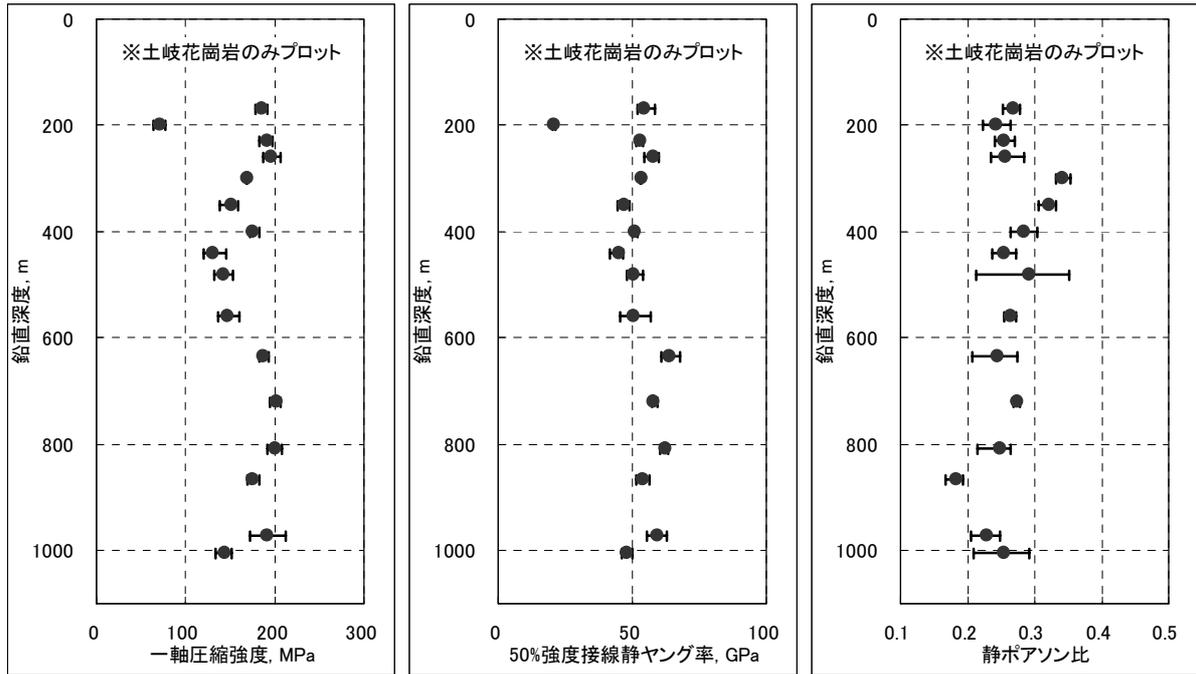
深度1点あたり3個作成したL/D比1.5の試験体を圧裂引張試験に供した。(1)と同じく3個の平均値で当該深度の試験結果とした。次に、試験結果から破壊時のピーク荷重を得て、弾性論に基づく理論式(試験法の指針に記載)を用いて圧裂引張強度を計算した。

(3) 三軸圧縮試験

L/D比1.5の試験体から深度1点あたり6個を抽出して三軸圧縮試験に供した。封圧試験では、個々の試験体が持つ力学的性質のばらつきの大きな原因と考えられる既存き裂が圧力で閉塞し、そのばらつきが緩和されるため、再現性の確認に必要な最低個数2個を試験体数とした。また、封圧は10MPa、20MPa、30MPaの三条件としたので、合計で6個の試験体数となる。次に、試験で得られた三軸圧縮強度に基づいてモールの応力円を描き、モールクーロンの破壊規準に基づいた粘着力 c と内部摩擦角 ϕ を求めた。

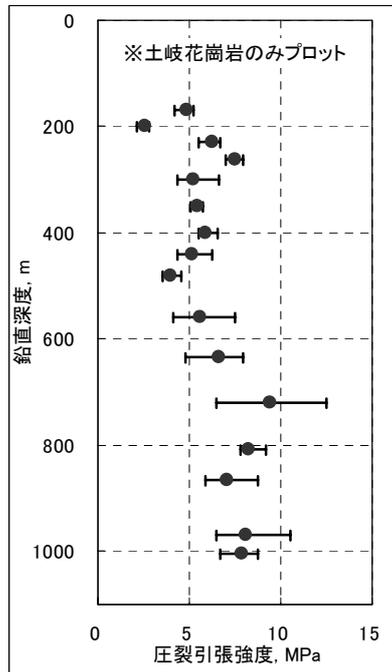
3.2.2 試験結果

室内力学試験で得られたボーリングコアの鉛直深度に対する物性値の変化を図3.2.1(a)~(c)に示す。ここで、全測定深度17点のうち1点だけ含まれる土岐夾炭累層の値(表3.1.1の深度No.1の値)は大きく異なるため、図には示していない。次に、試験で得られた主な物性値の範囲と平均値を表3.2.2(a)と(b)に示す。室内物理試験の結果と同じように、土岐花崗岩をまとめた(a)表では、今回調査で得られた値の全てを用いた場合を示すとともに、鉛直深度199.5mの脆弱部を除外した場合の平均を括弧内に記載した。また比較として既往の研究(正馬様用地^{5),6),7),8)}、日本の花崗岩類⁹⁾から得た平均値¹⁰⁾を併記した。



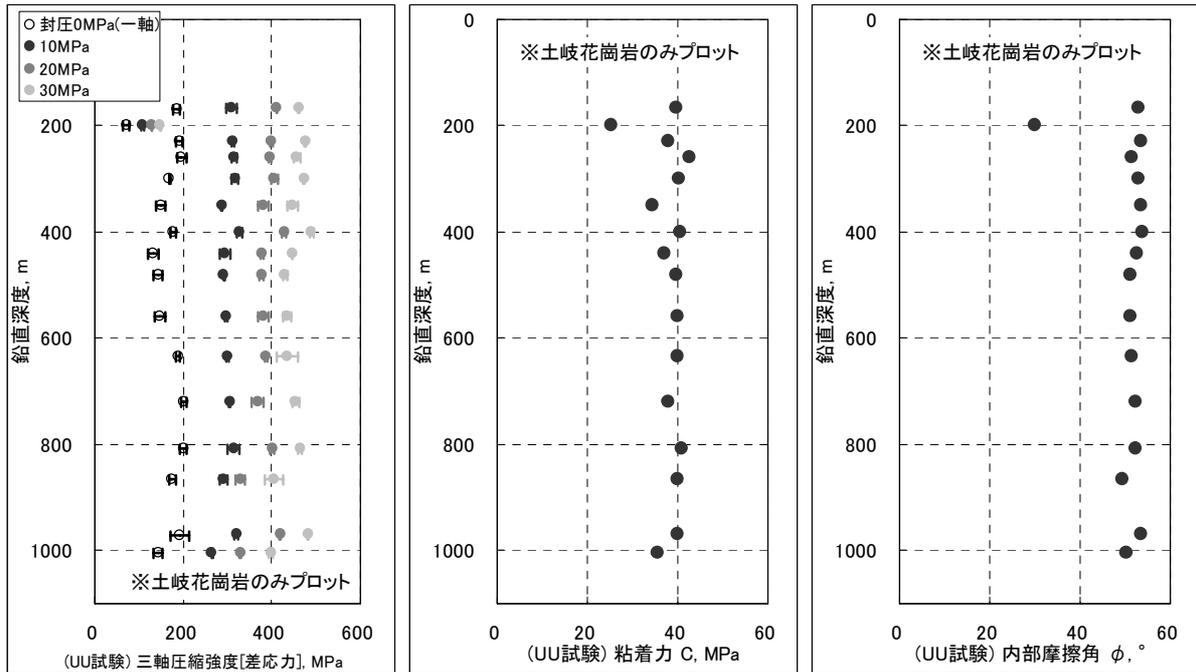
※エラーバーは測定値の上限と下限を示す

図 3.2.1(1) 室内力学試験の結果（一軸圧縮試験）



※エラーバーは測定値の上限と下限を示す

図 3.2.1(2) 室内力学試験の結果（圧裂引張試験）



※三軸圧縮強度のエラーバーは測定値の上限と下限を示す
 図 3.2.1(3) 室内力学試験の結果（三軸圧縮試験）

表 3.2.2(a) 室内力学試験の結果（土岐花崗岩）

室内物理試験の項目	MIZ-1号孔（今回調査） 鉛直深度 167.5～1004.3m		正馬様用地の 土岐花崗岩 平均 ¹⁰⁾	国内における 花崗岩の平均 ¹⁰⁾
	測定値の 上限と下限	平均値		
一軸圧縮強度, MPa	63.7～212 (121～212)	166 (173)	168	136
50%強度接線静ヤング率, GPa	20.3～67.9 (41.6～67.9)	51.8 (53.9)	51	33
静ポアソン比	0.168～0.354 (0.168～0.354)	0.263 (0.265)	0.34	0.23
圧裂引張強度, MPa	2.12～12.5 (3.53～12.5)	6.24 (6.48)	7.6	8.0
(UU 試験) 粘着力 c, MPa	25.2～42.6 (34.4～42.6)	38.2 (39.1)	34	21
(UU 試験) 内部摩擦角 φ, °	30.1～53.8 (49.3～53.8)	50.8 (52.2)	55	52

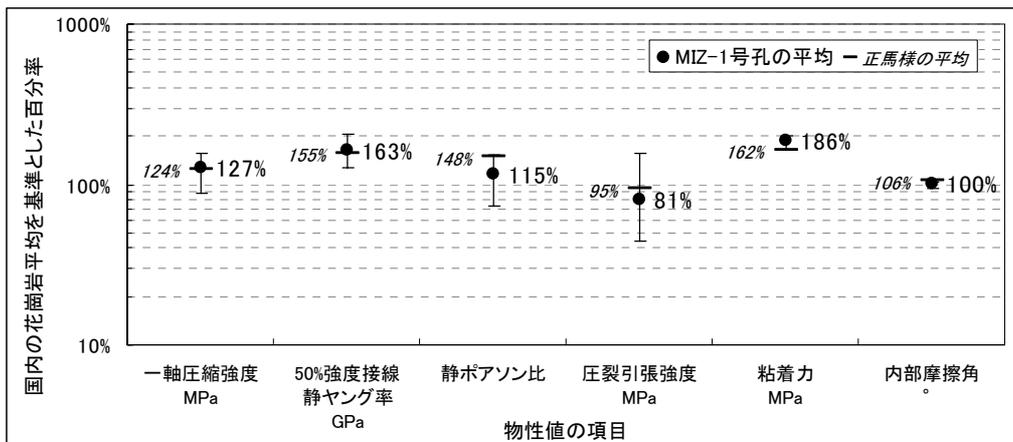
※括弧内は花崗岩のうち鉛直深度 199.5mの脆弱部データを除いて計算したもの

表 3.2.2(b) 室内力学試験の結果（土岐夾炭累層）

室内物理試験の項目	MIZ-1号孔（今回調査） 鉛直深度 81.5m	
	測定値の 上限と下限	平均値
一軸圧縮強度, MPa	12.0～12.8	12.3
50%強度接線静ヤング率, GPa	4.2～4.7	4.5
静ポアソン比	0.233～0.320	0.290
圧裂引張強度, MPa	0.97～1.04	1.00
(CU 試験) 粘着力 c, MPa	1点算定につき	3.30
(CU 試験) 内部摩擦角 φ, °	該当なし	24.3

図 3.2.1 (1)~(3)をみると、土岐花崗岩の鉛直深度 199.5mの脆弱部の物性は他の深度と比較して各種強度やヤング率が半分程度に小さいことから、何らかの作用により元の力学的構造が変質や破壊されているものと考えられ、コアの観察において断層に伴う変形作用を受けた地点と解釈したことを裏付けている。

次に、表 3.2.2(a)の値に基づき、MIZ-1 号孔と正馬様で得られた土岐花崗岩の物性を比較した(図 3.2.2)。ここで室内物理試験の時と同じく、脆弱部を除いた健岩部での比較とし、物性値は国内の花崗岩平均値を基準(100%)とした百分率で表した。図 3.2.2によると、静ポアソン比は、MIZ-1 号孔のばらつきの上限がほぼ正馬様の値となり、全体的に小さめの値を示した。しかし、その他の物性において MIZ-1 号孔は正馬様と概ね同程度であった。どちらの土岐花崗岩も国内の花崗岩平均値と比べて、一軸圧縮強度、50%強度接線静ヤング率、粘着力が大きい傾向にあり、土岐花崗岩の健岩部は変形しにくく、せん断抵抗の大きな岩石であるといえる。



※花崗岩のうち鉛直深度 199.5mの脆弱部データを除く

図 3.2.2 MIZ-1 号孔の力学試験結果の正馬様および国内平均との比較

4. 岩石試料を用いた初期応力測定

4.1 測定原理

4.1.1 AE 法

AE とは Acoustic Emission の略で、固体が破壊するときに、蓄積されていた弾性エネルギーが急激に解放されることにより発生する波動である¹¹⁾。岩石では、载荷により岩石試験体中でマイクロクラックが発生したとき、あるいは進展したときの微小破壊に伴って発生する弾性波を指しており、これは通常、試験体が発する音波として観測される。

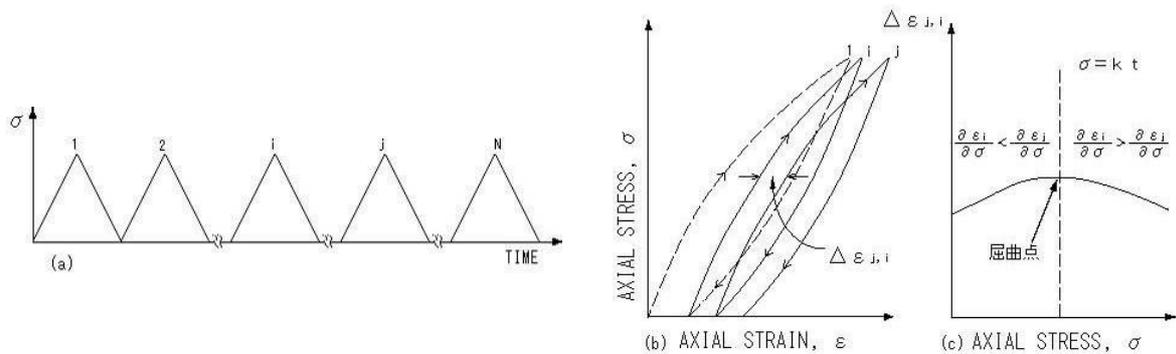
AE 法による初期応力測定¹²⁾は、岩石の载荷過程で発生する AE に認められるカイザー効果を測定原理としている。カイザー効果とは、マイクロクラックなど微小欠陥を有する岩石がある応力レベルにおかれると、その応力レベルで破壊規準を満足する微小欠陥が微小破壊を起こすが、ここで除荷して再度荷重を加えても先の応力レベルまでは新しい微小破壊をほとんど生じない効果のことを言う。このカイザー効果を応用すると、試験室でボーリングコアから作成した試験体に载荷した場合、そのコアが地中で経験していた応力レベル（初期応力）までは微小破壊（AE 発生頻度）は少ないが、それを超えると微小破壊（AE 発生頻度）は急増するので、これを観測して初期応力を判定するのが AE 法による初期応力測定である。

4.1.2 DRA 法

DRA (Deformation Rate Analysis) 法による初期応力測定^{13),14)}は、AE 法と同じく岩石のカイザー効果を測定原理としている。AE 法が AE 発生頻度の増加率増大点を観測するのにに対し、DRA 法は多数の微小破壊が蓄積した結果生じる全体の変形性の変化点を観測することが異なる。原理的に AE 発生頻度の増加率増大点＝変形性の変化点（微小破壊蓄積の増加率増大点）であるので、同一試験体に対して先述の AE 法と同時に実施し、双方の試験結果を相互検証することができる。

岩石を対象とする実際の試験では、変形性の変化は小さく、カイザー効果以外の機構による非弾性ひずみも重なって観測されることから、1 回の载荷試験だけでカイザー効果に基づく上記の変化点を抽出することは難しい。そこで DRA 法では、図 4.1.1 に示すように、試験体を繰返し一軸圧縮し、载荷サイクル間の差分変化を計算し、上記の変化点が強調されたデータを対象に分析を行う。具体的には、次式で定義されるひずみ差関数を求める。

$$\Delta \varepsilon_{ij}(\sigma) = \varepsilon_j(\sigma) - \varepsilon_i(\sigma) \quad (4.1)$$



(a) 繰返し一軸圧縮の载荷パターン (b) $\Delta \varepsilon_{ij}(\sigma)$ の定義 (c) ひずみ差関数の屈曲点

図 4.1.1 DRA 法におけるひずみ差関数¹⁵⁾

ここで $\varepsilon_i(\sigma)$ は*i*回目の載荷時の軸応力 σ に対する試験体の載荷方向のひずみを表し、 $\varepsilon_j(\sigma)$ も同様であるが、載荷サイクルは*i*が先行し、*j*が後発である(すなわち*j* > *i*)。次に $\varepsilon_i(\sigma)$ と $\varepsilon_j(\sigma)$ からひずみ差関数 $\Delta\varepsilon_{ij}(\sigma)$ を得て特性図 $\sigma - \Delta\varepsilon_{ij}(\sigma)$ を描く。ここで応力・ひずみで圧縮を正とすると、特性図は図 4.1.1 のような上に凸の曲線となる。この曲線の屈曲点における軸応力 σ_0 を屈曲点応力と呼び、 σ_0 が求めているカイザー効果に基づく変化点となる。また、載荷サイクルのピーク応力は σ_0 より大きく設定しなければならないため、ある程度初期応力を推測したうえで、かつ、試験体の巨視的破壊が起こる荷重以下の適切な値を設定する。

4.1.3 ASR 法

ASR (Anelastic Strain Recovery) 法による初期応力測定¹⁶⁾は、ボーリングで取り出され初期応力より解放された岩石が示す非弾性ひずみを測定し、初期応力を推定する手法である。岩石を初期応力から解放すると、瞬間的な弾性ひずみの解放と共に、それまで圧力で閉じていた割れ目が徐々に開き(応力解放による空隙の発生)、その結果生じる巨視的な非弾性ひずみが観測される。ここで、発生する空隙の大小が初期応力の大小と対応すると仮定できれば、非弾性ひずみは初期応力に対応した一定量で表れると考えられる。そこでこの現象の構成式を別の実験で求めておき、その式に非弾性ひずみの観測結果を与えれば初期応力が求まるというのが ASR 法の原理である。なお、本調査では、初期応力の算定にあたり、従来から行われてきた被り圧を既知とする方法でなく、松木らの研究^{17),18),19)}により改良された、試験体から得られる情報のみで三次元的な応力を決定できる方法を用いることにした。なお、非弾性ひずみは岩種にもよるが、概ね初期応力の解放から数日しか認められないため、計測もその間に行なう必要がある¹⁶⁾。

4.1.4 DSCA 法

DSCA (Differential Strain Curve Analysis) 法による初期応力測定²⁰⁾は、ASR 法と同じく応力解放による空隙の発生に依拠した手法である。ASR 法が巨視的な非弾性ひずみの発生を測定するのに対し、DSCA 法では空隙発生量(クラック密度)を測定することが異なる。DSCA 法の名称は微小な量のひずみを S/N 比を高めて観測するテクニックの DSA (差ひずみ解析: Differential Strain Analysis) に由来している。DSCA では応力解放による空隙を発生する岩石と、その発生が無いと考えられる熔融石英を同じ圧力容器の中に入れて等方圧を加える。このとき観測される両者の差ひずみを解析するとクラック密度の大きさを反映したテンソル量が得られ、その主値の方向および主値の大きさの比は応力解放前に受けていた初期応力の主値と等しいとするのが測定原理である。特長として 1 個の試験体で三次元的な初期応力を推定できる(ただし初期応力の絶対値を知るには初期応力の主値の一つが必要)。また、ASR と比較して、岩石試料を実験室に持ち帰り実施できる時間的余裕を有する利点がある。ただし応力解放による空隙をすべて閉塞できるような高い封圧(本調査では 100~150MPa 程度)が得られる試験装置が必要²¹⁾である。

4.2 試験方法

ボーリングコアを用いた初期応力測定では、測定地点の岩盤（地山）から切り離されたコアに対して評価される応力の方向と、そのコアが地山内にあったときの方向を結びつける必要から、ボーリング掘削は定方位コアの採取が重要である。本調査もこれに従い、ボーリングコアはすべて定方位で採取した。なお、方向検出に磁気コンパスを用いた関係から、記述における方向座標系の北は磁北であり、記号 N で表すべきところは mN と表記する。

4.2.1 AE 法および DRA 法

測定原理の項で述べたように、両手法の相違は、圧縮载荷した試験体のカイザー効果に基づく反応を観測するのに用いるものが、AE であるかひずみであるかという点であり、試験装置や試験体は共通化できる。そこで、試験の合理化を目的として、同一試験体に対する一体の試験を実施した。そこで以下では AE/DRA 法と呼称し、両手法による測定を同時に行った。

(1) 試験体

AE/DRA 法では、試験における载荷軸方向に関して試験体岩石が地下で履歴した応力レベルが測定されるので、初期応力を三次元で評価するためには独立な 6 方向の測定が必要である。そのため、定方位コアに対し、図 4.2.1(a)のような 6 方向の小さな円柱を切出して、6 本一組の円柱形状の試験体を作成した。ここで、調査対象である MIZ-1 号孔のボーリングコア径が 47~63mm のため、切出す円柱の径を 20mm に設定し、また、载荷は一軸圧縮を基本とするので、一軸圧縮における試験体の寸法効果（寸法で試験結果が左右される効果）を緩和する指針³⁾に従い、試験体の寸法における長さ(L)/直径(D)比を 2 とした。

上記のとおり、AE/DRA 法として一体で実施するため、試験体を AE 法と DRA 法とで区別せず、試験の対象深度は表 4.2.1(a)のとおりとした。試験に際し、試験体は自然乾燥状態であるとし、ボーリングコア採取から一週間を超えないものとした。また、ひずみ計測に用いる電気抵抗線ひずみゲージは、試験体側面の軸および円周方向に各 2 枚、90 度間隔、合計 4 枚をシアノアクリル系接着剤^(脚注)で貼付した。

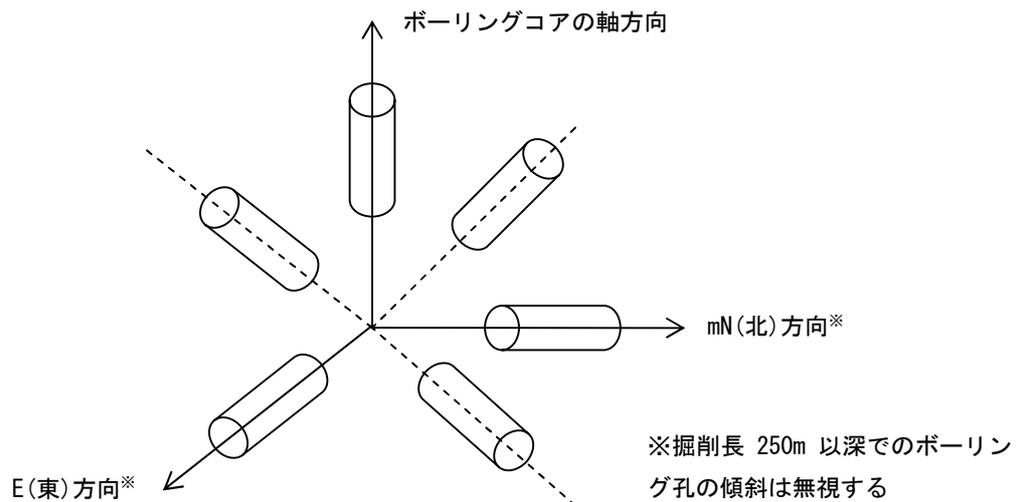


図 4.2.1(a) AE/DRA 法の円柱形試験体の軸のとり方

注) 使用した接着剤は市場で一般に入手可能であるが、接着剤の選定が試験の成否を左右することから具体的な製品名は実験作業を委託した業者のノウハウとして公開されていない。以下、接着剤の記述箇所商品名のないものは同様の理由による。

表 4.2.1(a) AE/DRA 法 試験対象深度

深度 No.	コア採取平均深度 掘削深度で表記 (GL.- m)	コア採取平均深度 鉛直深度で表記※ (GL.- m)	備考
1	291.0	291.0	試験体数は、一深度あたり 6 方向、一方向あたり 2 個の試験体を用意したので、合計で一深度あたり 12 個
2	455.0	453.8	
3	494.0	491.6	
4	763.0	753.4	
5	887.3	874.3	
6	997.2	981.2	

下の地質構造モデルは第 1 段階報告書²⁾、ステップ 3 モデルに加筆
Step3

● 物理力学試験 ■ AE/DRA ▲ ASR ⊗ DSCA ◆ 水圧破砕

※掘削深度と鉛直深度の関係に曲線補間して算定したため 0.3m 程度の計算誤差を含む

(2) 試験装置および試験方法

本試験では、測定のための载荷方法として一軸圧縮载荷を基本とし、一部に(3)で後述する理由により三軸圧縮試験（封圧試験）を併用した。一軸圧縮载荷時の試験装置の構成¹²⁾を図 4.2.1(b)に示す。また、三軸圧縮载荷時の装置は、封圧を加えるためのセルを有するほかは基本的に一軸载荷時と同じなので、ここでの説明を割愛する。

一軸圧縮载荷は、初めにサーボコントロールを用いた定速度応力制御（速度は約 5 MPa/min）で所定の上限値（後述の(3)を参照）まで荷重を加えて AE の測定を行い、次に、速度 25MPa/min で同じ上限値までの 5 回の繰り返し载荷を行ってひずみの測定を行った。この試験は小島ら¹³⁾および山本ら¹⁴⁾の方法を参考としている。試験中は、試験機の载荷板に取り付けたロードセルで得た荷重と試験体に貼付したひずみゲージの出力を、スイッチボックスを介してパーソナルコンピュータで記録することにした。なお、経験上ひずみ差関数で屈曲点を見出すためには 1/10 μ 程度の分解能が必要であるため、用いた電気抵抗線ひずみゲージに対し、ダミーゲージ（ひずみを受けないが同一温度環境におかれるゲージ）を用いた温度補正²²⁾を行うことにした。

また、図 4.2.1(c)のように、AE 測定時は、試験体側面のひずみゲージの干渉しない部位に共振周波数 1MHz の加速度計を特殊な蠟（商品名：エレクトロンワックス）で固定して AE を検出す

ることとした。トランスデューサで検出した AE は、プリアンプ増幅の後、AE 解析装置へ入力した。なお、電源ノイズ等は 60Hz のローカットフィルタで除去した。そのほか、载荷において発生する試験体とエンドピースの接触部の摩擦や微小突起に起因するノイズを緩和するため、試験体とエンドピースの間に厚紙を挿入した。AE として検出するしきい値は、オシロスコープによるバックグラウンドノイズレベルの観測結果を上回るよう設定した。AE の発生頻度が予測できないため、AE のカウント方法として、イベント法とリングダウン法²³⁾を併用し、発生頻度が高いときの数え漏れに対応した。

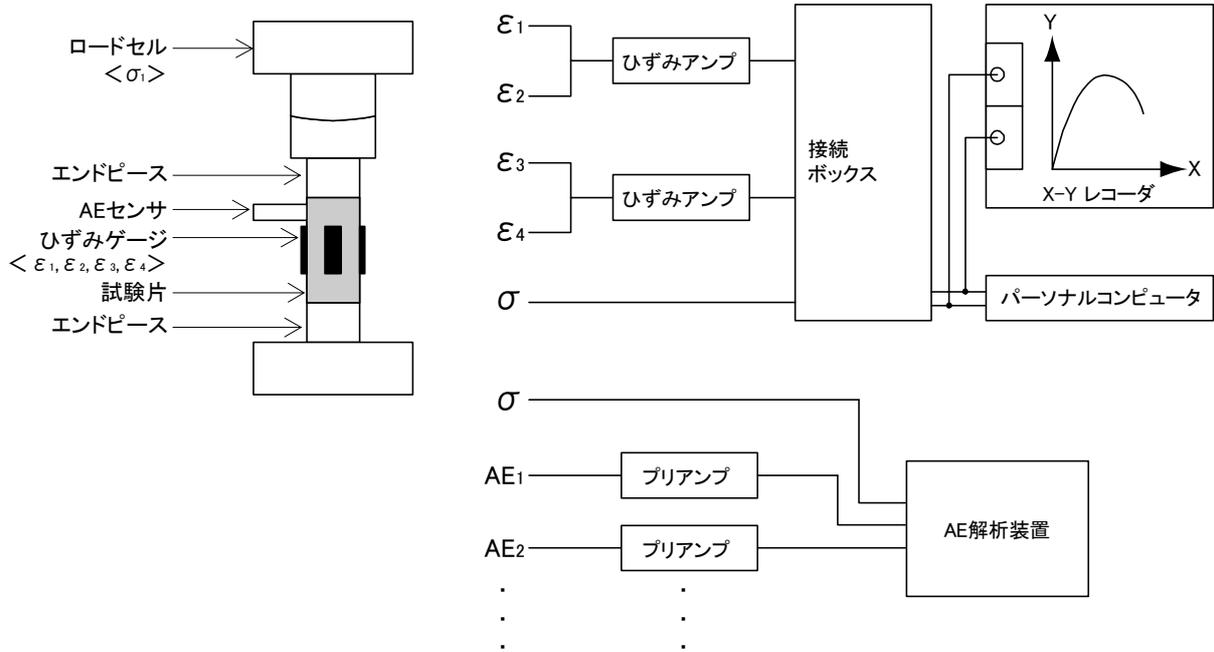


図 4.2.1(b) AE/DRA 法における試験装置（一軸圧縮载荷時）

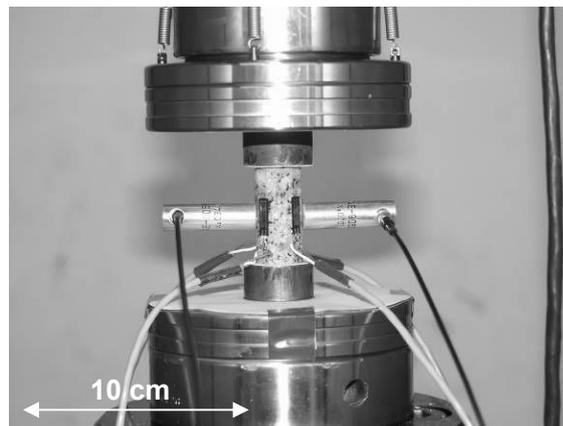


図 4.2.1(c) AE センサーおよびひずみゲージを同時に貼付した試験体

(3) 载荷におけるピーク応力設定および三軸圧縮载荷の併用について

4.1.2 項で述べた測定原理のとおり、試験片を巨視的に破壊しない程度に荷重を加え、その载荷範囲内でカイザー効果の発現する σ_{\max} を探するため、AE/DRA 法における载荷のピーク応力 σ_a は、最大初期応力 σ_{\max} （圧縮を正にとる場合）を超え、また、同時に試験により巨視的破壊が始まる応力 σ_f を超えてはならない ($\sigma_{\max} < \sigma_a \leq \sigma_f$ の関係)。これが満たされない場合、カイザー効果に基づく微小破壊蓄積の増加率増大点が観測できないか、繰返し载荷で徐々に試験体を破壊し

て誤った測定値を与えるものと考えられる。なお、 σ_{max} は、採取深度 h 、岩盤の平均密度 ρ 、重力加速度 g として ρgh で求まる被り圧と既往の初期応力測定結果²⁴⁾を参考に、被り圧の 1.5 倍程度と見積った。また、 σ_f は予備試験を行って巨視的破壊の表れと考えられるダイラタンシー開始点を得て、そのときの応力であるとした。

試験体の採取深度が深くなると σ_{max} が大きくなるので、封圧ゼロの一軸圧縮荷では σ_f が σ_{max} よりも十分に大きくなり、場合によっては σ_{max} よりも小さいことが起こり得る。この場合は一軸圧縮荷下での AE/DRA 法は適用困難と考えられる。そのような場合の対策として、 σ_{max} よりも σ_f が十分大きくなるまで試験体に封圧を加えた三軸圧縮荷下で AE/DRA 法を適用することが考案されている²⁵⁾。ただし、封圧の大きさは、カイザー効果に基づく反応を観測できるよう、最小初期応力 σ_{min} (圧縮を正にとる場合) 以下に設定しなければならない。

本試験では、予備試験を行った結果、一軸圧縮時の σ_{max} と σ_f の関係は表 4.2.1(b) のとおりであったので、深度 No.5~6 の試験体に対して三軸圧縮下での AE/DRA 試験が必要であると判断した。ここで封圧の決定に必要な σ_{min} は、 σ_{max} と時と同じ初期応力測定結果²⁴⁾を参考として 15MPa 程度と見積もり、封圧は 10MPa に設定した。最後に、試験が一軸圧縮によるもの、三軸圧縮によるものを問わず、ピーク応力 σ_a の設定は、許される最大の荷重スパンが得られる $\sigma_a = \sigma_f$ となるようにした。

表 4.2.1(b) AE/DRA 法の荷重におけるピーク応力の決定根拠

深度 No.	被り圧 (MPa)	σ_{max}^{*1} (MPa)	一軸圧縮時 σ_f (MPa)	一軸圧縮判定 $\sigma_{max} < \sigma_f$	三軸圧縮時 σ_f (MPa) 封圧 10MPa 時	三軸圧縮判定 $\sigma_{max} < \sigma_f$	ピーク応力設定 (MPa)
1	7.7	11.6	40	○	実施不要	/	40
2	11.8	17.7	8	×	必要であるが適用困難 ^{*2)}		15~25 ^{*2)}
3	12.8	19.2	7	×			
4	19.8	29.7	30	△	実施不要		30
5	23.0	34.5	30	×	60	○	60
6	25.8	38.7	20	×	110	○	110

※1) σ_{max} は被り圧の 1.5 倍程度とした

※2) σ_f が極端に小さく、封圧を加えても $\sigma_{max} < \sigma_f$ とすることが見込めないため、次善の策として試験によるある程度の破壊を許容して AE/DRA 法を実施した

4.2.2 ASR 法

(1) 試験体

試験の対象深度は表 4.2.2(a) のとおりとした。ボーリングコアはビットによる切削直後から非弾性ひずみが発生するので、試験体とする部位は取り出したコアのビット側 (切削より時間経過の少ない側) ほど望ましい。ただし、直前に地山とつながっていた部分は応力集中により初期状態が複雑と考えられるので、そこからコア径程度を離れた部分から試験体を作成した。試験体は、図 4.2.2(a) のように、ボーリングコアから互いに垂直な 3 面を、小型カッターを用いて切り出し、次に各面を研磨・アセトン洗浄した後、シアノアクリル系接着剤で電気抵抗線ひずみゲージを貼付した。ここでゲージは、作業効率の良いロゼットゲージは原因不明の剥離が頻発することが予備実験で判明していたため、そのようなトラブルの少なかった単軸ゲージを使用した。最後に、試験体の湿潤状態を測定中一定に保つために全体をシリコンで被覆した。非弾性ひずみはビットによる切削直後から最初は急激に発生し、その後、時間とともに一定値に収束する性質があり、試験開始が遅れるほど測定は困難になる。ゆえに、以上の準備はすべて現場において迅速に実施した。本試験のコア採取から試験開始までの所要時間は約 3 時間であった。

表 4.2.2(a) ASR 法 試験対象深度

深度 No.	コア採取平均深度 掘削深度で表記 (GL.- m)	コア採取平均深度 鉛直深度で表記※ (GL.- m)	備考
1	462.8	461.3	試験体数は、一深度あたり 2 個
2	502.6	500.0	
3	764.0	754.3	
4	888.4	875.4	
5	998.1	982.1	

下の地質構造モデルは第 1 段階報告書²⁾、ステップ 3 モデルに加筆

● 物理力学試験 ■ AE/DRA ▲ ASR ☒ DSCA ◆ 水圧破砕

※掘削深度と鉛直深度の関係に曲線補間して算定したため 0.3m 程度の計算誤差を含む

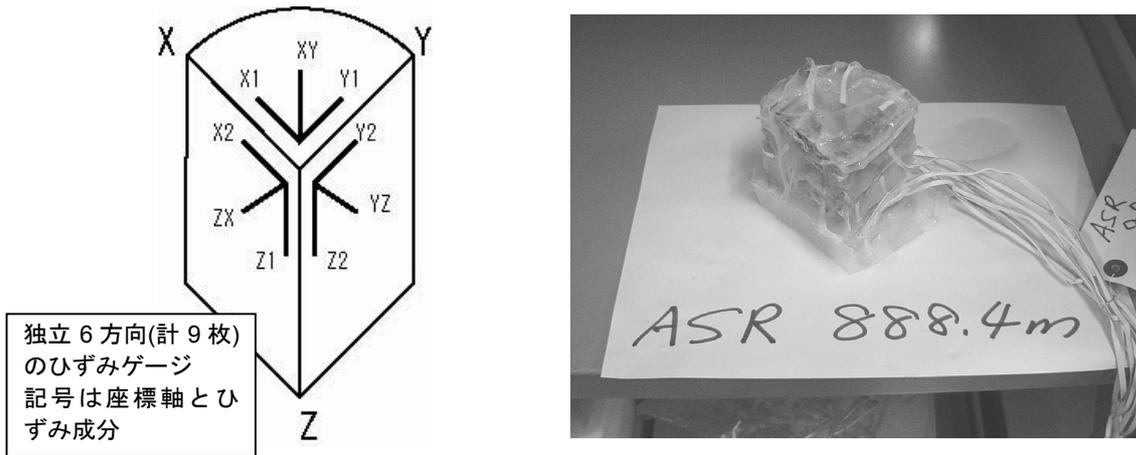


図 4.2.2(a) ASR 法における試験体(左) ASR 試験体作成状況(右)

(2) 試験装置および試験方法

ASR 法では、現場において非弾性ひずみを測定する段階①と、これとは別に実験室で、非弾性ひずみのコンプライアンスを測定する段階②がある。後者は現場で得た非弾性ひずみから初期応

力を計算する際に必要な構成式を得ることが目的である。以下、各段階について説明する。

① 現場における非弾性ひずみの測定

試験装置のブロック図を図 4.2.2(b)に示す。非弾性ひずみから温度変化による影響を除くため、ひずみ測定は試験体を恒温槽に入れて行なった。また、測定系に起因するドリフト変化を補正するため、ボーリング掘削後、十分な時間が経過して非弾性ひずみが収束したと考えられる同種の岩石コア（土岐花崗岩）よりダミー試験体を作成し、一緒に恒温槽に入れて同一測定系でそのひずみ変化を測定し、試験体とダミーに共通するひずみ変化分をドリフト成分と考えて差し引きキャンセルした。

非弾性ひずみの測定中は、幅 340×長さ 450×深さ 400 の恒温槽をサーモユニットで制御して、試験体とダミーの温度を一定(約 32°C)に保ち、温度変化は熱電対（クロメル-アルメル）でモニタリングした。ひずみや温度は、データロガーで収集し、パーソナルコンピュータの CRT に測定結果を表示しながら記録した。測定間隔は、開始から最初の 60 分を 1 分間隔とし、次に 2 分間隔で 120 分、3 分間隔で 180 分、4 分間隔で 240 分、以後は 5 分間隔のように、非弾性ひずみの経過時間に対する増加率の急減に見合った頻度とした。なお、非弾性ひずみは、図 4.2.2(a)に示すように、独立 6 方向に対して 9 枚の単軸ゲージで観測したので、最小二乗法で独立 6 方向のひずみ最確値を得たうえでひずみテンソル 6 成分を求めた。

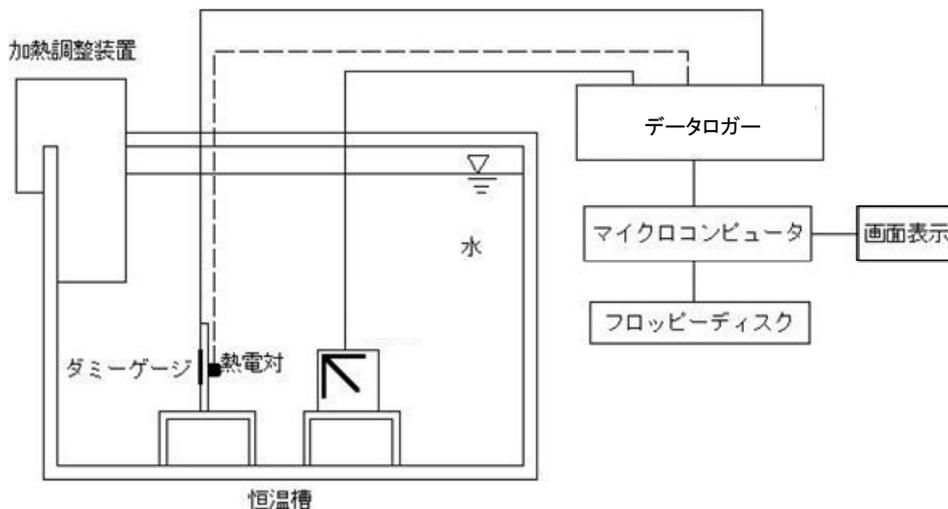


図 4.2.2(b) ASR 法における試験装置（現場測定）

② 非弾性ひずみコンプライアンスの測定

非弾性ひずみコンプライアンス（以下コンプライアンスと略す）は、それまで受けていた応力を瞬間的に解放したときの、単位応力当たり非弾性ひずみの時間変化と定義される。現場で得た非弾性ひずみと初期応力との関係を表す構成式にこのコンプライアンスが含まれるので、現場測定用とは別の試験体を用意し、室内試験を行ってコンプライアンスを求めた。

ボーリング掘削後、十分な時間が経過して非弾性ひずみが収束したと考えられる同種の岩石コア（土岐花崗岩）から、コア軸方向を軸とする円柱試験体を作成した（図 4.2.2(c)）。次に、原位での含水状態を室内で再現するため、約半日この試験体を減圧水中脱気して飽和含水状態にした。この飽和含水状態を一定に保つよう、また、後述する三軸圧縮载荷で封圧の圧力媒体が進入しないよう、試験体の表面はシリコン樹脂で被覆した。コンプライアンスは、事前に十分な時間、三軸圧縮载荷下においた試験体を除荷した際に測定されるが、その三軸圧縮の条件は求めたい初期応力状態に近い設定とするのが望ましい。理由はコンプライアンスが応力レベルに依存するためである。そこで本試験では、既往の初期応力測定結果²⁴⁾を参考として、試験体の採取深度別に

決めた軸圧（8～25MPa）および封圧（10～27MPa）とした。十分な時間については明確な指針が得られていないため、試験の効率を考慮して4日間とした。以上の設定の下で、三軸圧縮（排水条件）とし、除荷後3～4日間の非弾性ひずみを測定した。非弾性ひずみの測定は、①で述べた現場測定に準じた配慮で行うことにし、ダミー試験体の使用によるドリフト成分のキャンセル、試験中の温度一定調整を施した。なお、試験機を用いて三軸圧縮する都合上、恒温槽は水槽でなく断熱材で作成したチャンバーで気中状態とした点は異なっている（図4.2.2(d)）。

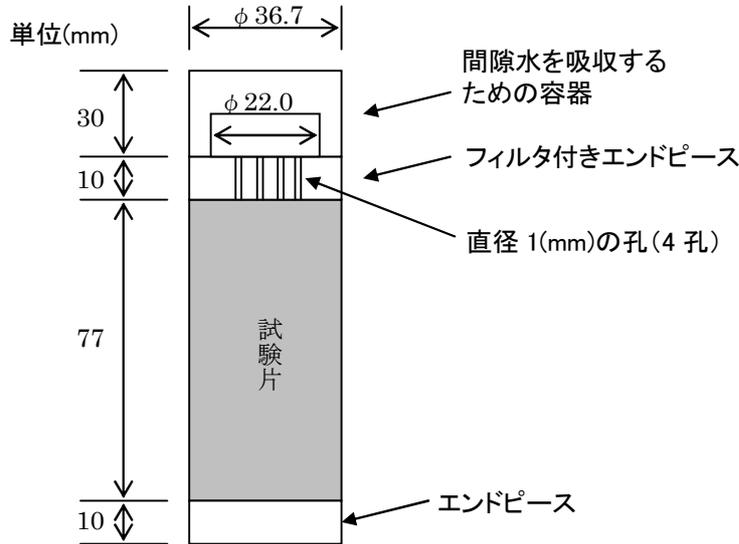


図 4.2.2(c) ASR 法適用のためのコンプライアンス取得試験における試験体

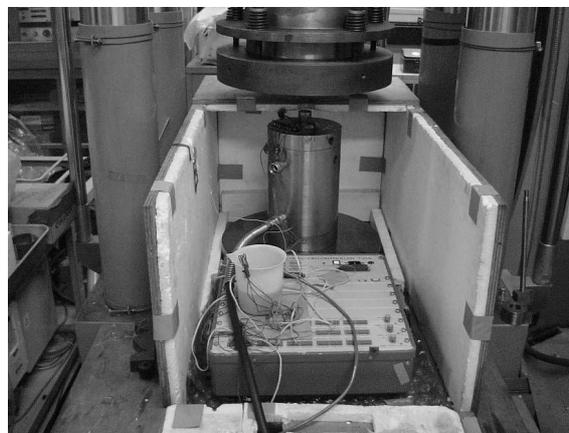


図 4.2.2(d) ASR 法適用のためのコンプライアンス取得試験における恒温槽（室内測定）

ここで、測定の目的であるコンプライアンス（体積変形モード J_{av} 、せん断変形モード J_{as} ）は、以上の測定により、三軸圧縮（軸圧 σ_1 、封圧 σ_3 ）の除荷に対応した非弾性ひずみ（軸ひずみ ε_{1a} 、横ひずみ ε_{3a} ）が測定されたとすると、次式¹⁷⁾¹⁸⁾を用いて計算される。なおこの式が成立するには、岩石が線形粘弾性体と近似できることが必要である。

$$J_{av}(t) = \frac{\varepsilon_{1a}(t) + 2 \cdot \varepsilon_{3a}(t)}{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}, \quad J_{as}(t) = \frac{\varepsilon_{1a}(t) - \varepsilon_{3a}(t)}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad (4.2.2-1)$$

また、これらコンプライアンスを現場測定の結果に適用して初期応力を得るには次式¹⁷⁾¹⁸⁾を用いる。この式も前として、岩石が線形粘弾性的かつ等方性であるとしている。

$$\sigma_i = \frac{\varepsilon_i(t)}{J_{as}(t)} + \frac{e_m(t) - \alpha \Delta T(t)}{J_{av}(t)} + p_0, \quad (i = 1, 2, 3) \quad (4.2.2-2)$$

なお、 σ_i は主応力、 ε_i と e_m は現場測定に基づくひずみテンソルから求めた 差主ひずみと平均垂直ひずみで時間の関数、 α は岩石の線 張率、 p_0 は岩石の間隙水圧である。

4.2.3 DSCA 法

(1) 試験体

試験の対象深度は表 4.2.3(a)のとおりとした。初めに、ボーリングコアより一辺が 35~40mm 程度の立方体形状の試験体を作成した。試験体の作成にあたり、新たな亀裂が試験体に生じないよう整形は 重に行なう必要がある。試験体は経験的に最適と考えられる温度 (40℃) の恒温槽で気中乾燥させ、試験体の質量に変化が認められなくなった時点でデシケータに して保 した。次に、図 4.2.3(a)に示すような合計 12 枚の電気抵抗線ひずみゲージを、粘性の比較的高い二合型ポリエステル系接着剤を用いて試験体に接着した。この接着剤の選定は、DSCA 法では亀裂の閉塞を精密に測定するため、一般によく用いられるシアノアクリル系接着剤では浸 性が高く表面から亀裂内部に浸 し、亀裂を めてしまう可能性を回避したものである。試験体の表面は後述する静水圧载荷において、圧力媒体が進入しないようシリコン樹脂で被覆した。

表 4.2.3(a) DSCA 法 試験対象深度

深度 No.	コア採取平均深度 掘削深度で表記 (GL.- m)	コア採取平均深度 鉛直深度で表記※ (GL.- m)	備考
1	298.9	298.8	試験体数は、一深度あたり 1 個
2	455.8	454.6	
3	494.1	491.7	
4	763.7	754.0	
5	888.0	875.0	
6	997.1	981.1	

下の地質構造モデルは第 1 段階報告書²⁾、ステップ 3 モデルに加筆 Step3

● 物理力学試験 ■ AE/DRA ▲ ASR ☒ DSCA ◆ 水圧破碎

※掘削深度と鉛直深度の関係に曲線補間して算定したため 0.3m 程度の計算誤差を含む

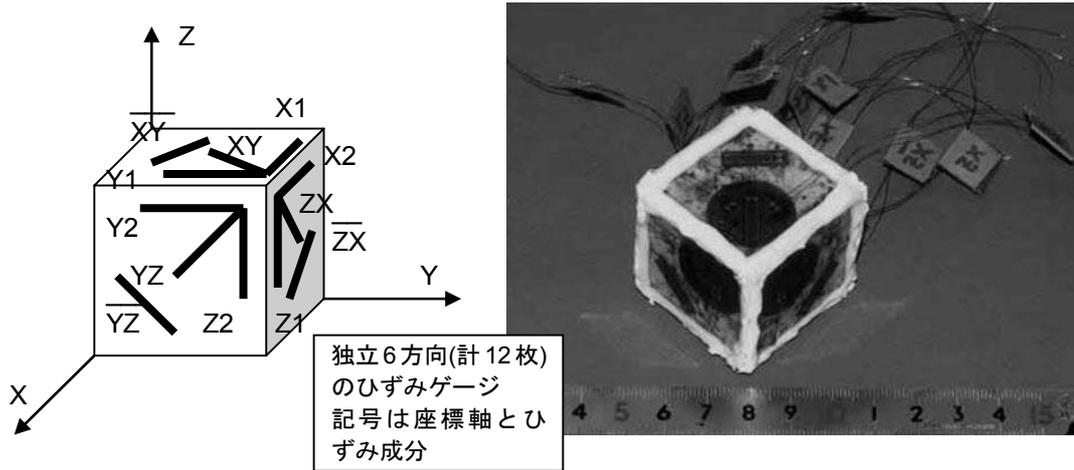


図 4.2.3(a) (左)DSCA 法における試験体 (右)DSCA 試験体作成状況

(2) 試験装置および試験方法

試験装置のブロック図を図 4.2.3(b)に示す。4.1.4 項で述べたとおり、試験では試験体と熔融石英の差ひずみを観測するので、試験体と試験体同様にひずみゲージを接着した熔融石英を一つの圧力容器に入れて、静水圧で加圧する。加圧初期の試験体のクラックが閉じていく領域で有効線圧縮率 $\beta_{eff,U}$ の圧力範囲を精度良く求めるため、静水圧 0~7MPa では約 0.1MPa のステップで圧力を高め、7MPa 以上では試験効率を上げるため約 0.5MPa のステップとした。この場合、30 分程度で 150MPa まで加圧することができる。各段階とも 2 ステップの上 に岩石試験片と熔融石英のひずみをデータロガーで測定・記録し、コンピュータで記録するようにした。以上の方法で、150MPa までの加圧を 1 サイクルとし、各試験片について サイクルの測定を行なった。なお、初期応力の評価に用いるデータは松木らの方法²⁶⁾に準拠し、 サイクル目のものを使用した。

クラックテンソルは、図 4.2.3(c)に模式的に示したような、試験で得られる差ひずみと静水圧の関係より求める。熔融石英と試験体の差ひずみは、双方に開いたクラックがない場合、加えた静水圧と双方の弾性率の差の積に比例するので、静水圧変化に対する差ひずみ変化率は一定 ($\hat{\beta}_U^l$) となる。しかし実際は、圧力 0 で試験体の方に開いたクラックが存 するため、静水圧を 0 から上 ていくと、最初は試験体の開いたクラックが閉じる分だけ上記よりも差ひずみ変化率は大きく ($\hat{\beta}_{eff,U}^l$)、静水圧が上 してクラック閉塞の 点 (圧力 p_0) に達するまで、徐々にその増加率は減少して $\hat{\beta}_U^l$ に収束する。ここで $\Delta\beta_U = \hat{\beta}_{eff,U}^l - \hat{\beta}_U^l$ 、あるいは図 4.2.3(c)中で定義される η_U や η_{0U} は、それぞれ静水圧で閉じたクラック量を反映したある量をテンソルで表したものと考えられるので、4.1.4 項で述べた原理に従い、これらの主値方向と主値比を求めると、初期応力のそれを求めたことになる。本試験では、クラックのアス クト比の分布に影響される η_U や η_{0U} ではなく、アス クト比の分布に無関係な $\Delta\beta_U$ の方を用いて初期応力を評価した。なお $\Delta\beta_U$ を用いる場合、 $\hat{\beta}_U^l$ の異方性の影響を受けるが、その 密な考慮は困難なので、松木らの補正法²⁷⁾にしたがって $\Delta\beta_U$ を β_U^l (既出の差ひずみ変化率 $\hat{\beta}_U^l$ に熔融石英のひずみ変化率を加えたもの) で除した値を用いることにした。これは $\Delta\beta_U$ が β_U^l に比例する性質を用いた補正であり、 β_U^l の異方性を除く効果があるが、ポアソン比の異方性までは補正されないので 密ではない。

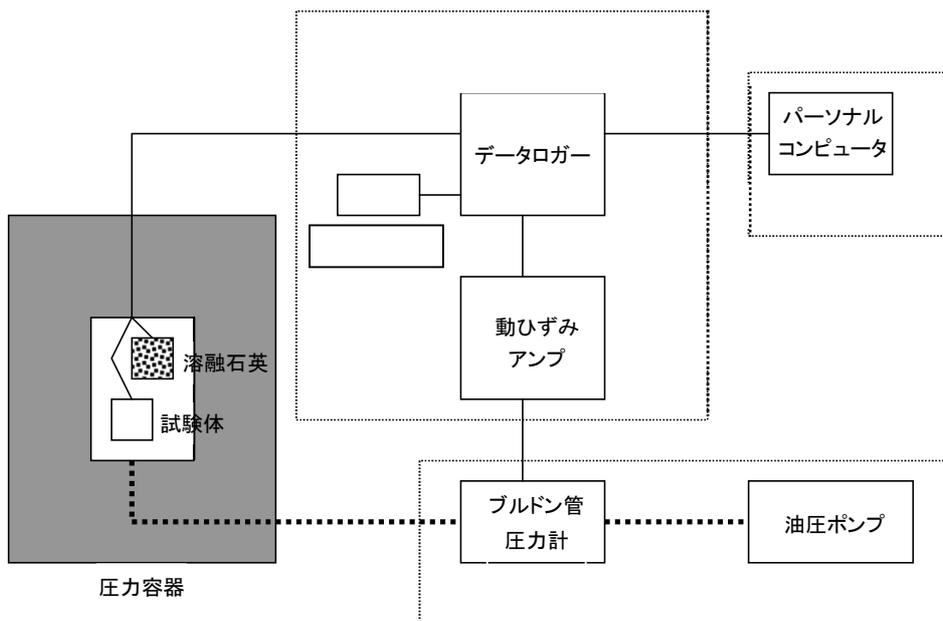


図 4.2.3(b) DSCA 法における試験装置

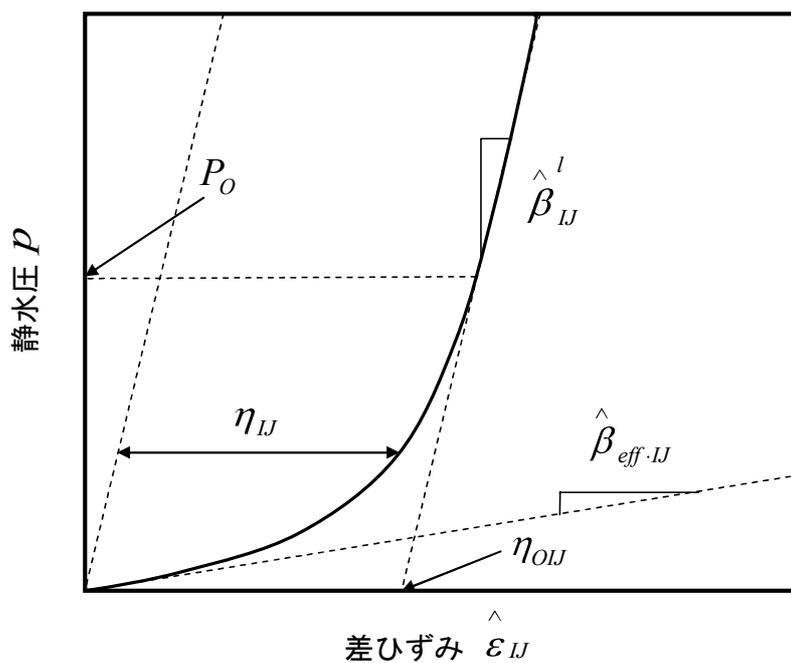


図 4.2.3(c) DSCA 法における差ひずみと静水圧の関係

4.3 試験結果

4.3.1 AE/DRA 法

(1) 検出応力

AE/DRA 法の試験で得られた、カイザー効果に基づくと考えられる AE 発生頻度の増加率増大点または変形性の変化点が認められた载荷応力（以下、検出応力と呼ぶ）を表 4.3.1(a)に示す。

表 4.3.1(a) AE/DRA 法で得た検出応力

深度 No.	試験体方向	検出応力 (MPa)								両手法の不一致性※(%)
		AE 法			DRA 法					
		カウント数		平均①	ひずみ差関数 $\Delta\varepsilon_{ij}(\sigma)$ のとり方 $j-i$				平均②	
		イベント	リングダウン		3-2	4-2	5-2	6-2		
1	Z-1	計測×	計測×	-	13.0	11.5	13.0	11.5	12.3	-
	Z-2	23.3	20.1	21.7	15.1	15.9	15.1	14.6	15.2	30.1
	ZmN-1	18.1	27.4	22.8	9.4	7.5	9.6	10.8	9.3	59.0
	ZmN-2	23.4	23.4	23.4	8.5	16.6	12.7	12.8	12.7	45.9
	ZE-1	13.7	17.1	15.4	14.8	15.2	15.2	11.5	14.2	8.0
	ZE-2	9.1	11.9	10.5	9.3	9.3	9.2	9.0	9.2	12.4
	mN-1	25.9	28.3	27.1	11.3	13.2	10.8	10.8	11.5	57.5
	mN-2	計測×	計測×	-	8.5	9.0	9.0	7.9	8.6	-
	mNE-1	26.9	22.1	24.5	9.0	9.9	8.7	8.7	9.1	63.0
	mNE-2	15.3	15.9	15.6	6.8	9.9	9.9	10.1	9.2	41.2
	E-1	21.1	21.1	21.1	8.0	7.9	7.7	8.5	8.0	62.0
E-2	33.7	33.7	33.7	12.5	11.8	5.9	7.2	9.4	72.3	
2	Z-1	計測×	計測×	-	8.0	7.5	7.0	5.4	7.0	-
	Z-2	5.3	5.6	5.5	4.4	4.1	4.2	3.9	4.2	23.9
	ZmN-1	6.9	8.0	7.5	5.5	5.5	5.6	4.4	5.3	29.5
	ZmN-2	計測×	計測×	-	12.1	8.5	8.5	7.5	9.2	-
	ZE-1	16.0	13.9	15.0	8.7	6.6	5.8	7.0	7.0	53.0
	ZE-2	10.4	8.0	9.2	4.4	6.3	4.5	5.1	5.1	44.8
	mN-1	16.0	10.9	13.5	10.4	12.5	11.8	10.6	11.3	15.8
	mN-2	12.5	9.1	10.8	6.8	6.3	6.9	6.3	6.6	39.1
	mNE-1	9.3	10.1	9.7	5.4	7.0	7.0	6.5	6.5	33.2
	mNE-2	16.0	14.4	15.2	12.8	7.0	12.7	7.4	10.0	34.4
	E-1	12.9	12.9	12.9	8.2	9.7	7.0	5.9	7.7	40.3
E-2	9.9	7.9	8.9	8.2	6.8	8.5	8.6	8.0	9.8	
3	Z-1	2.6	3.9	3.3	4.8	7.2	4.9	4.9	5.5	40.4
	Z-2	3.3	3.7	3.5	4.6	5.4	5.2	5.2	5.1	31.4
	ZmN-1	3.4	5.6	4.5	5.5	5.9	5.2	5.1	5.4	17.1
	ZmN-2	計測×	計測×	-	7.7	5.8	5.9	5.6	6.3	-
	ZE-1	5.9	6.9	6.4	6.0	7.2	7.3	6.9	6.9	6.6
	ZE-2	9.9	10.7	10.3	5.5	6.8	5.4	5.5	5.8	43.7
	mN-1	10.6	10.6	10.6	5.5	5.5	5.5	6.0	5.6	46.9
	mN-2	10.7	9.6	10.2	6.9	8.3	7.7	6.9	7.5	26.6
	mNE-1	7.6	8.0	7.8	5.5	5.4	5.5	5.2	5.4	30.8
	mNE-2	17.9	18.7	18.3	9.6	9.7	8.2	6.8	8.6	53.1
	E-1	計測×	12.9	12.9	9.7	9.4	9.4	10.7	9.8	24.0
E-2	計測×	計測×	-	4.5	4.5	4.6	4.8	4.6	-	

つづく

表 4.3.1(a)つづき AE/DRA 法で得た検出応力

4	Z-1	3.9	4.0	4.0	7.4	7.9	8.1	8.3	7.9	33.5
	Z-2	2.3	3.1	2.7	10.1	9.9	10.1	10.6	10.2	58.1
	ZmN-1	3.0	5.6	4.3	18.7	20.3	10.1	13.4	15.6	56.8
	ZmN-2	4.2	5.6	4.9	8.0	11.8	8.0	14.3	10.5	36.5
	ZE-1	2.3	2.2	2.3	11.5	11.3	12.9	9.2	11.2	66.6
	ZE-2	1.1	2.4	1.8	10.5	7.9	8.6	8.3	8.8	66.9
	mN-1	2.9	3.2	3.1	11.5	11.6	11.8	11.6	11.6	58.4
	mN-2	4.0	4.2	4.1	8.5	16.3	11.3	8.3	11.1	46.1
	mNE-1	4.6	6.4	5.5	9.7	9.2	9.5	7.3	8.9	23.7
	mNE-2	1.6	1.8	1.7	8.0	8.1	6.2	6.8	7.3	62.1
	E-1	8.6	8.6	8.6	15.4	18.1	13.2	18.5	16.3	30.9
	E-2	3.9	8.8	6.4	7.8	7.8	8.6	7.8	8.0	11.5
5	Z-1	10.8	10.8	10.8	38.2	39.4	38.5	39.2	38.8	56.5
	Z-2	13.0	13.0	13.0	34.3	32.5	33.3	33.0	33.3	43.8
	ZmN-1	11.5	11.5	11.5	21.2	19.7	18.7	24.2	21.0	29.1
	ZmN-2	12.0	12.0	12.0	27.1	28.8	26.1	29.1	27.8	39.7
	ZE-1	10.8	11.5	11.2	26.4	26.6	27.1	27.1	26.8	41.2
	ZE-2	13.5	13.8	13.7	28.6	29.8	29.3	29.6	29.3	36.5
	mN-1	16.5	16.8	16.7	21.0	19.5	18.7	23.9	20.8	11.0
	mN-2	16.0	16.0	16.0	28.6	30.1	34.3	32.3	31.3	32.4
	mNE-1	11.0	11.3	11.2	21.9	23.2	24.4	24.2	23.4	35.5
	mNE-2	11.8	12.0	11.9	23.7	22.2	22.7	24.9	23.4	32.5
	E-1	計測×	計測×	-	31.1	31.5	31.3	30.6	31.1	-
	E-2	12.8	13.0	12.9	26.4	30.3	30.6	29.3	29.2	38.6
6	Z-1	12.4	12.9	12.7	35.5	36.3	37.2	38.0	36.8	48.8
	Z-2	109.5	109.5	109.5	50.7	53.2	53.2	51.5	52.2	35.5
	ZmN-1	16.2	16.2	16.2	36.3	34.6	36.3	35.9	35.8	37.7
	ZmN-2	計測×	計測×	-	41.4	38.9	35.6	41.8	39.4	-
	ZE-1	53.4	53.4	53.4	39.7	40.1	33.4	41.4	38.7	16.0
	ZE-2	18.6	18.6	18.6	34.6	46.9	49.4	46.5	44.4	40.9
	mN-1	13.5	13.5	13.5	28.3	27.9	28.3	27.0	27.9	34.7
	mN-2	74.9	74.9	74.9	40.6	42.7	40.6	39.7	40.9	29.4
	mNE-1	15	79.4	47.2	41.8	36.3	41.4	41.8	40.3	7.9
	mNE-2	計測×	計測×	-	45.2	46.4	45.6	45.2	45.6	-
	E-1	90.4	90.4	90.4	35.9	38.0	34.2	38.5	36.7	42.3
	E-2	21.9	29.2	25.6	23.7	22.0	21.5	23.2	22.6	6.1

※ ①-②の絶対値を①か②の大きい方に対する割合で示したもの

計測× : AE発生頻度の増加率増大点が不明瞭で特定できず検出応力の得られなかった測定例

- : データ不足で計算できず

次に、表 4.3.1(a)に示した検出応力の抽出過程について説明する。AE 法における AE 発生頻度の代表例を図 4.3.1(a)に示す。図中、試験体方向 Z-1 は AE 発生頻度の増加率増大点が不明瞭で特定できない試験体、Z-2 はそれが明瞭で特定できる試験体の例である。なお、ともに深度 No.1 の試験体である。Z-2 は、AE 発生頻度の増加率増大点と考えられた部分を で示した。一方、Z-1 のように増加率増大点が不明瞭であると検出応力は得られず、すなわち AE 法では初期応力は測定できないものと考えられる。

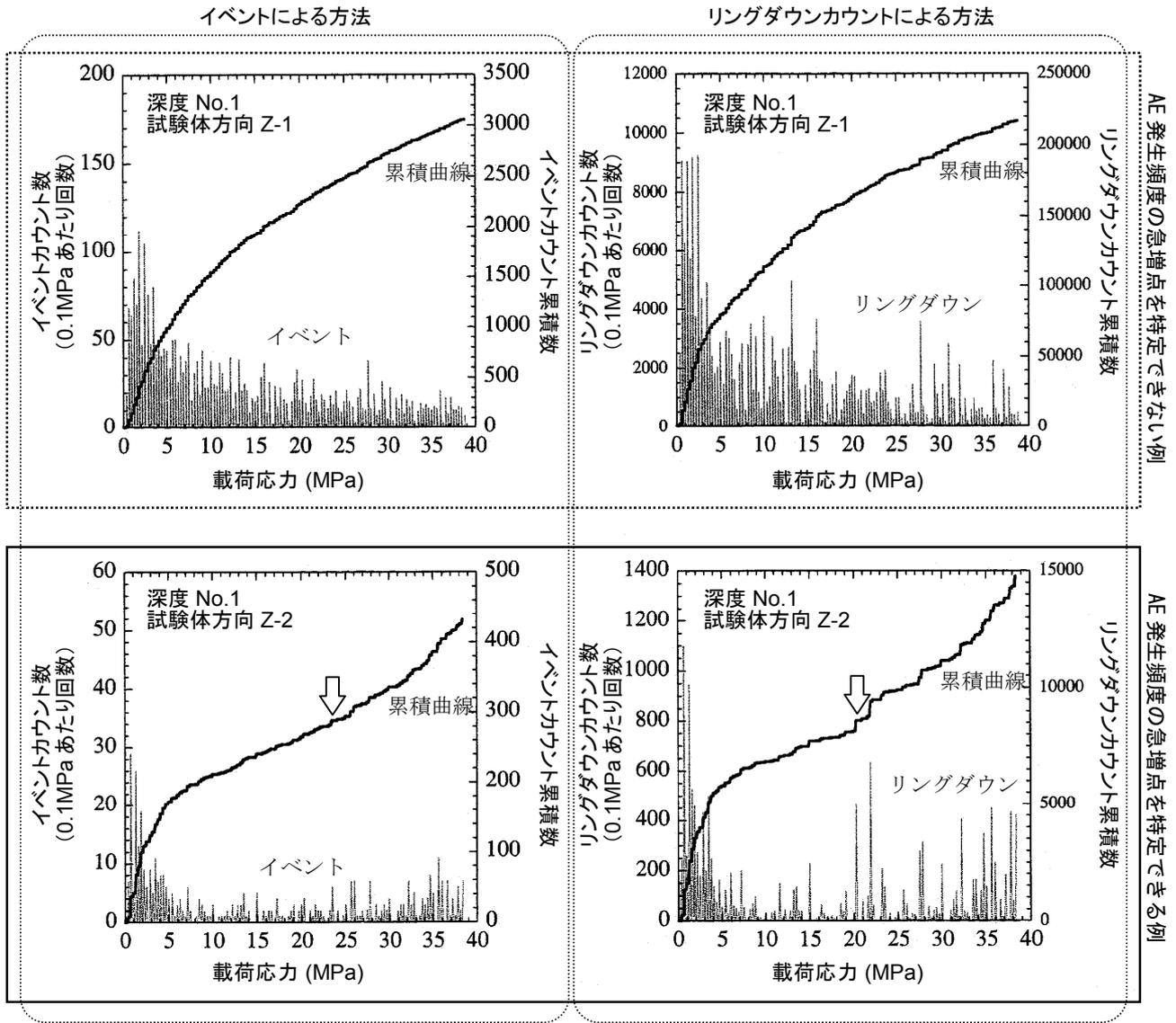


図 4.3.1(a) AE 法での検出応力の特定

その他、三軸圧縮下での試験とした深度 No.5~6 の試験体では、AE の発生頻度の絶対数が極端に少なく、特に深度 No.5 の試験体方向 E-1 と No.6 の ZmN-2、mNE-2 では AE 発生が全く観測されなかった。これより、花崗岩の試験体に封圧を作用させた条件では、花崗岩内の一部クラックが閉塞するため、AE 法の適用が困難であると考えられる。

続いて、DRA 法におけるひずみ差関数の代表例を図 4.3.1.(b)に示す。ここで、変形性の変化点と考えられる部分を で示した。DRA 法で AE 法のような変化点が特定できない事例は、本試験では発生しなかった。

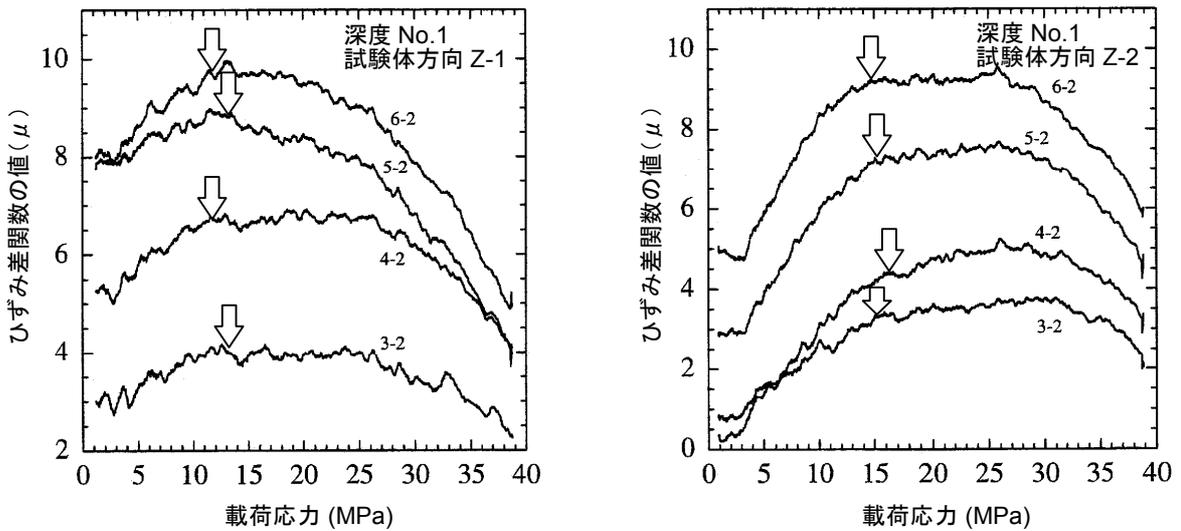


図 4.3.1(b) DRA 法での検出応力の特定

ここで、ひずみ差関数を示す線に併記した 3-2 などの数は、ひずみ差関数 $\Delta\varepsilon_{ij}(\sigma)$ の成分 i, j を $j-i$ と表したものである。一体で行った AE/DRA 法の AE 法を行う 1 回目の载荷の後、DRA 法として 2 回目から 6 回目までの計 5 回の繰返し载荷をおこなっている。ひずみ差関数の変化量は数 μ から数十 μ と小さく、土岐花崗岩への DRA 法の適用では、少なくとも 0.1μ 程度の高精度なひずみ観測が必要なが示されている。また、ひずみ差関数より変形性の変化点(図 4.3.1(b)中の)を客観的に抽出することが重要と考えられるが、本試験では山本¹⁴⁾の示した、変化点の持つ次のような性質を抽出の判断基準とした。すなわち、①変化点応力を越えた载荷応力の範囲ではひずみ差関数の応力に関する 2 階微分は である、②その 2 階微分の絶対値を変化点応力の前後で比較して変化点応力を越えた载荷応力の範囲の方が大きい、③ $j-i$ が違っていても同一試験体で求まる変化点応力はほぼ等しいなどである。

(2) AE/DRA 法で得られた初期応力状態

AE/DRA 法で得られた初期応力状態を表 4.3.1(b)に示す。本試験では、独立 6 方向の初期応力成分に対して最大 12 個の検出応力が得られるので、最小二乗法を用いて最確値を得たうえ、初期応力成分の主値(主応力)を計算した。

4.1 で述べた、AE 法と DRA 法は、同一の測定原理に基づいているにもかかわらず、検出応力の値は前述の表 4.3.1(a)に示したように 5 割以上異なるものが多く、その理由の一つに、本試験で用いた土岐花崗岩の AE 発生頻度の増加率増大点や変形性の変化点が全般に不明瞭であり、そのみ取り誤差の影響があると考えられる。また、主応力 σ_1 と σ_2 の深度に対する値の変化は、AE 法も DRA 法も値が最大となるのは最深位置の No.6 であるが、次いで大きな値は最も浅い深度の No.1 で得られており、深度と値の間に明瞭な関係は認められなかった。また、表 4.3.1(b)の付図に示すとおり、三つの主応力の方向は AE 法、DRA 法で一致せず、それぞれ分析可能な分布は認められなかった。

表 4.3.1(b) AE/DRA 法で得た MIZ-1 号孔の初期応力状態 (圧縮を正)

深度 No.	AE 法から評価した主応力値 MPa (北から時計回り方向°/水平面と成す傾斜°)		
	最大主応力 σ_1	中間主応力 σ_2	最小主応力 σ_3
1	38.7 ± 4.4 (119° / 29°)	26.8 ± 4.6 (9° / 31°)	10.7 ± 4.6 (242° / 45°)
2	13.0 ± 2.3 (249° / 23°)	12.4 ± 2.2 (347° / 17°)	3.2 ± 2.5 (111° / 60°)
3	13.6 ± 3.0 (63° / 5°)	10.5 ± 2.9 (331° / 17°)	2.6 ± 2.5 (169° / 72°)
4	10.2 ± 9.2 (64° / 28°)	2.8 ± 7.7 (330° / 8°)	1.5 ± 8.6 (225° / 61°)
5	18.8 ± 7.6 (32° / 17°)	12.3 ± 8.4 (140° / 44°)	10.0 ± 8.5 (287° / 41°)
6	97.3 ± 39.0 (324° / 50°)	57.5 ± 37.4 (226° / 6°)	8.5 ± 41.1 (131° / 39°)

方向・傾斜 ウルフ網 等角下半球 投影 添字は 深度 No.			
---	--	--	--

深度 No.	DRA 法から評価した主応力値 MPa (北から時計回り方向°/水平面と成す傾斜°)		
	最大主応力 σ_1	中間主応力 σ_2	最小主応力 σ_3
1	14.0 ± 1.1 (337° / 76°)	9.9 ± 1.1 (175° / 14°)	8.6 ± 1.1 (84° / 4°)
2	9.0 ± 1.1 (172° / 1°)	8.0 ± 1.2 (81° / 16°)	5.4 ± 1.2 (266° / 74°)
3	7.2 ± 1.0 (260° / 3°)	6.5 ± 1.0 (350° / 4°)	5.3 ± 0.9 (139° / 85°)
4	16.2 ± 2.1 (89° / 19°)	9.8 ± 2.1 (197° / 43°)	6.5 ± 2.1 (341° / 41°)
5	40.1 ± 2.5 (103° / 64°)	33.2 ± 2.7 (6° / 3°)	18.9 ± 2.9 (274° / 26°)
6	50.3 ± 14.0 (63° / 24°)	40.9 ± 11.2 (257° / 66°)	7.2 ± 13.3 (155° / 5°)

方向・傾斜 ウルフ網 等角下半球 投影 添字は 深度 No.			
---	--	--	--

4.3.2 ASR 法

(1) ASR 法で得られた初期応力状態

4.2.2 項で述べたとおり、ASR 法を用いた初期応力の計算は、非弾性ひずみの現場測定と非弾性ひずみコンプライアンスの室内測定の両方でデータが取得されないと行えない。しかし、本試験では、前述したとおり恒温槽やダミー試験体の使用など観測精度向上のための配慮をしたにもかかわらず、現場、室内ともに一部を除いて明瞭な結果が得られず、両方でデータが取得できた試験ケースは1例も得られなかった(表 4.3.2(a))。

この原因を理解するため、今回採取された実験結果を用いて松木が示した ASR 法適用性の判定手²⁸⁾で検討したところ、土岐花崗岩に予想される非弾性ひずみは 10μ 程度であり、これは本試験の方法や装置では観測精度に余裕がないことが示された。具体的には、一定して土岐花崗岩に ASR 法を適用するには、本試験で用いたよりも一以上の精度が得られる実験装置が必要と考えられる。しかしコア採取直後の現場測定で実現可能な精度を案すると現実的ではない。

表 4.3.2(a) ASR 法による初期応力計算の可否

深度 No.	非弾性ひずみ	非弾性ひずみ コンプライアンス	初期応力計算
1	最終的な非弾性ひずみが 10μ 程度と小さいものが	J_{av}, J_{as} とも約 $2\mu/MPa$	×
2・3・5	多く、ひずみの現れ方が不明瞭	試験における非弾性ひずみの 再現性が不明瞭なためコン プライアンスを計算でき ない	×
4	最終的な非弾性ひずみが $20\sim 70\mu$ 程度あって、ひず みの現れ方が明瞭		×

深度 No.4 は、本試験では一、現場において非弾性ひずみが明瞭に現れた例であり、この場合、室内試験で非弾性ひずみコンプライアンスが得られずとも、初期応力の方向だけは検討することができる。初期応力の主値方向(主応力方向)は、初期応力を差主応力で表した場合の主値方向と理論上変わらない²⁹⁾ためである。得られた初期応力の主値方向を表 4.3.2(b)に示す。

表 4.3.2(b) 深度 No.4 の ASR 法で得た MIZ-1 号孔の初期応力方向(圧縮を正)

深度 No.4 試験体	初期応力の主値方向 北から時計回り方位°/水平面と成す傾斜°		
	最大主応力 σ_1	中間主応力 σ_2	最小主応力 σ_3
①	17°/3°	286°/34°	103°/53°
②	32°/1°	138°/37°	269°/27°
方位・傾斜 ウルフ網 等角下半球 投影 添字は 深度 No.			

次に、表 4.3.2(a)で示した、非弾性ひずみと非弾性ひずみコンプライアンスの現れ方 (=収束までの時間変化) が明瞭なものと同明瞭なものとの代表例を図 4.3.2(a)に示す。

不明瞭な例として示した深度 No.3 の試験体①では、非弾性ひずみは最初急激に発生して時間とともに収束する特性が予想されるのにそれと異なるひずみ成分が多く、初期応力の計算に必要な情報を抽出できない。一方、明瞭な例とした深度 No.4 の試験体①では、非弾性ひずみの上記特性が認められ、最終的な非弾性ひずみの絶対値も不明瞭な例に比べて二倍以上大きいことがわかる。次に、室内測定で非弾性ひずみコンプライアンスが不明瞭な例として示した深度 No.3 では、試験機で圧縮後に除荷した時のひずみがさらに圧縮となる原因不明な動きをしており、非弾性ひずみの発生を前としたコンプライアンスが計算できない。一方、明瞭な例である深度 No.1 では、現場測定の明瞭な例と同じく、非弾性ひずみの上記特性が認められる。

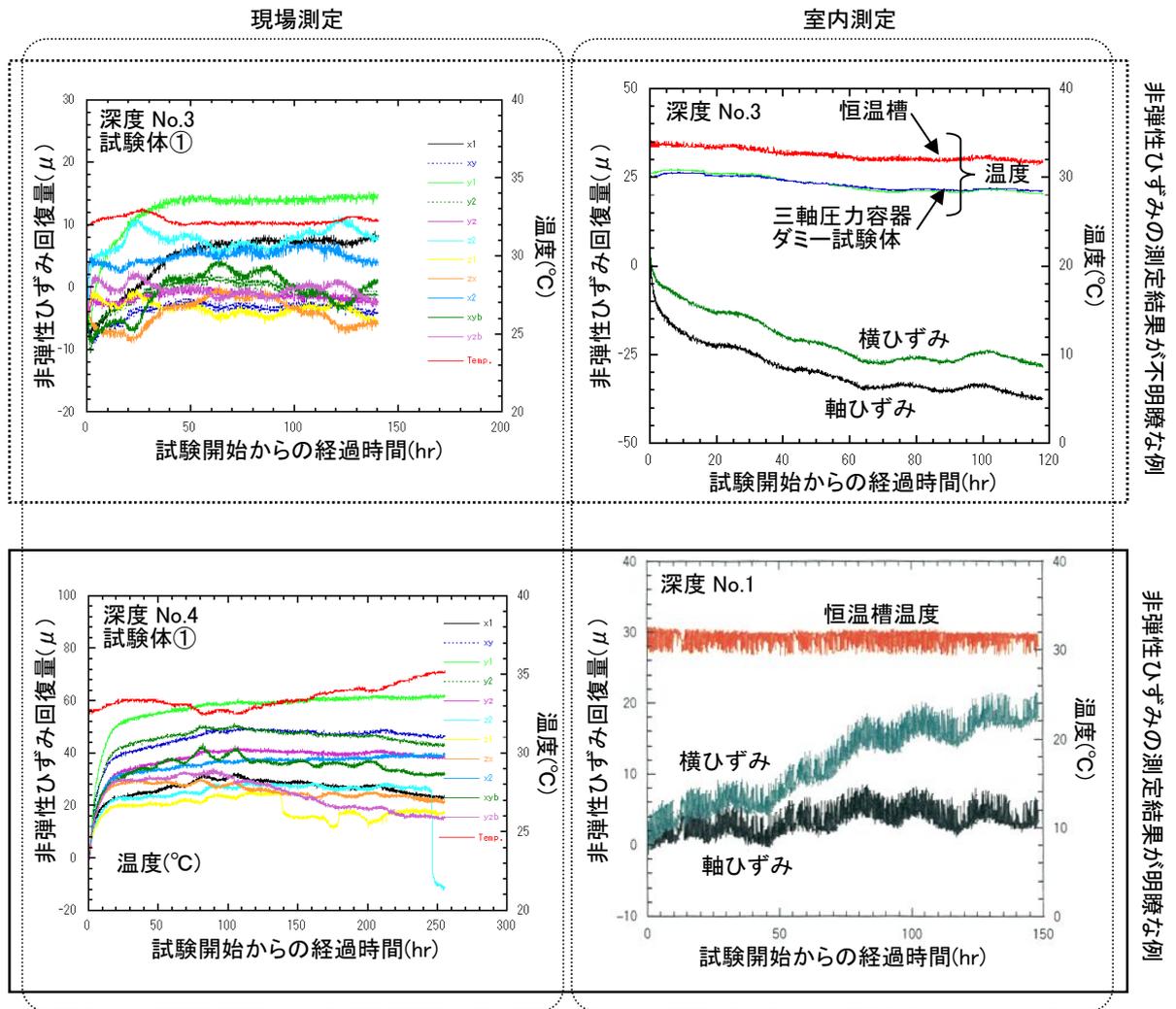


図 4.3.2(a) ASR 法での非弾性ひずみ現象の特定

4.3.3 DSCA 法

(1)DSCA 法で得られた初期応力状態

DSCA 法で得られた初期応力の主値方向を表 4.3.3(a)に示す。4.2.4 項で述べたとおり、DSCA 法では初期応力の主値の絶対値は得られず、得られるものはその比である。そこで、主値のうち鉛直方向に最も近いものが土被り圧とした場合の値を計算すると、表 4.3.3(b)のとおりである。ただし岩の比重は表 3.1.2(a)の結果を参考に 2.6 であるとして計算した。

表 4.3.3(a) DSCA 法で得た MIZ-1 号孔の初期応力方向（圧縮を正）

深度 No.	初期応力の主値方向 北から時計回り方位°/水平面と成す傾斜°		
	最大主応力 σ_1	中間主応力 σ_2	最小主応力 σ_3
1	335° / 3°	77° / 77°	245° / 13°
2	162° / 3°	64° / 66°	253° / 24°
3	290° / 23°	186° / 31°	50° / 50°
4	計測 ×	計測 ×	計測 ×
5	334° / 11°	65° / 7°	189° / 77°
6	194° / 12°	94° / 38°	299° / 50°

方位・傾斜 ウルフ網 等角下半球 投影 添字は 深度 No.			
	計測 × : 差ひずみ - 静水圧関係のクラック閉塞による変化が不明瞭で初期応力を計算できない測定例		

計測 × : 差ひずみ - 静水圧関係のクラック閉塞による変化が不明瞭で初期応力を計算できない測定例

表 4.3.3(b) 鉛直主応力が土被り圧とした場合の DSCA 法で得た初期応力値（圧縮を正）

深度 No.	初期応力の主値 ◎印が最も鉛直に近い方向なのでこれが土被り圧であると考え		
	最大主応力 σ_1	中間主応力 σ_2	最小主応力 σ_3
1	11.5	◎7.61	4.32
2	14.1	◎11.6	5.85
3	19.1	15.2	◎12.5
4	計測 ×	計測 ×	計測 ×
5	65.4	29.9	◎22.3
6	106	73.8	◎25.0

計測 × : 差ひずみ - 静水圧関係のクラック閉塞による変化が不明瞭で初期応力を計算できない測定例

◎ : 土被り圧(MPa)=鉛直深度(m)×岩の比重 2.6×重力加速度 9.8(m/s²)÷1000

次に、表 4.3.3(a)、(b)に示した初期応力の抽出過程について説明する。差ひずみ - 静水圧関係の代表例を図 4.3.3(a)に示す。DSCA 法は、コア採取時に初期応力が解放されて開いたクラックが、測定時の静水圧の加圧初期で閉塞することを仮定した測定であり、この閉塞による差ひずみ - 静水圧関係の変化が明瞭でないと初期応力を計算できない。図 4.3.3(a)で、変化が不明瞭である例として示した深度 No.4 の試験体では、静水圧の加圧初期の曲がり小さく、静水圧とほぼ比例した関係となっており、4.2.4 項で示した $\Delta\beta_{ij}$ 等のクラックテンソルが抽出できず、その結果、初期応力を計算することができない。一方、明瞭な例である深度 No.5 では、その曲がり明瞭に

現れておりクラックテンソルや初期応力が得られる。なお、代表例で、図 4.2.3(c)の模式図と異なり、差ひずみ - 静水圧関係の静水圧が高い部分の傾きが であるのは、土岐花崗岩の固有線圧縮率より溶融石英のそれが大きいためである。

本試験において差ひずみ - 静水圧関係の変化が不明瞭な例は深度 No.4 に限られているが、3章で前述した室内物理・力学試験の結果では当該深度付近にその他と大きく異なる力学的な特徴は認められていない。そのため、他と異なる No.4 の 動は、ごく局所的な岩のばらつきか、測定上の不具合によるものと考えられるが、原因の特定には ならなかった。

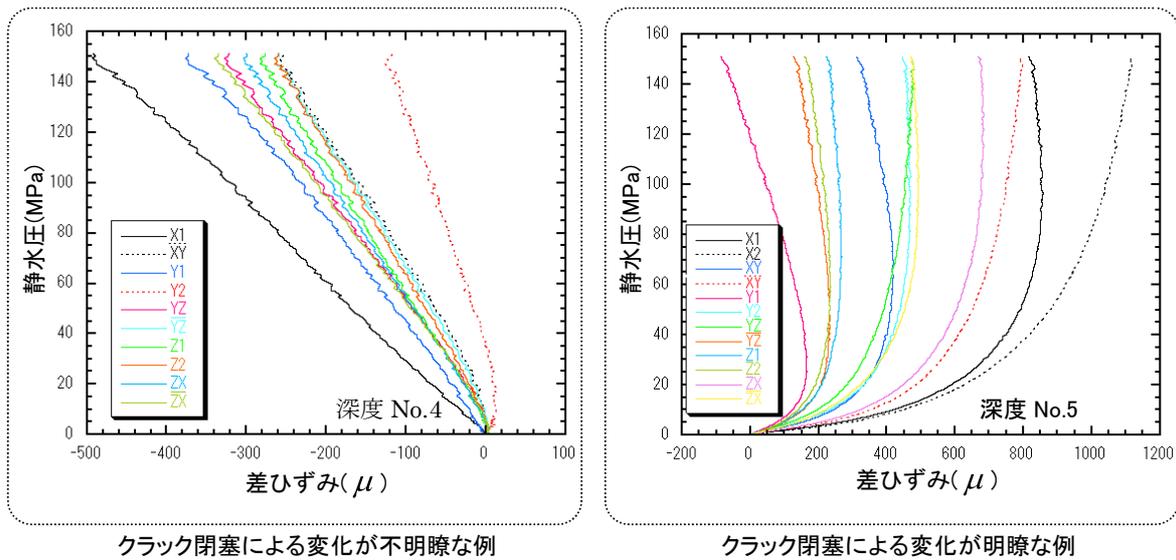


図 4.3.3(a) DSCA 法での差ひずみ - 静水圧関係

(2)クラックテンソルの値

本試験で得られたクラックテンソルの値を表 4.3.3(c)に示す。本試験において DSCA 法の適用で初期応力状態を得るものとしているが、DSCA 法から直接的に得られるものはクラックテンソルである。クラックテンソルは、コアの初期応力からの応力解放によって開いた、試験体中のマイクロクラック量の各方向における比を示すものである。

表 4.3.3(c) クラックテンソル

深度 No.	主値の大きさ	固有線圧縮率 [*]	線圧縮率増分 [*]	補正線圧縮率増分 [*]	ひずみ増分 [*]
		β_i^l (観測値)	$\Delta\beta_i$ (観測値)	$(\Delta\beta / \beta^l)_i$	η_{oi} (観測値)
		・これら主値の差がマイクロクラック以外の実質部の弾性的異方性を示す	・マイクロクラックにより付加された線圧縮率の増分を示す ・クラックアスペクト比の影響なし	・固有線圧縮率の異方性を補正した線圧縮率増分 ・これら主値の比は初期応力の主値の比と等しい	・マイクロクラックにより付加された最大のひずみ量を示す ・クラックアスペクト比の影響あり
		単位 μ /MPa	単位 μ /MPa	無次元	単位 μ
1	最大	8.93	9.94	1.22	237
	中間	8.46	6.00	0.81	166
	最小	6.73	3.75	0.46	117
2	最大	8.90	9.96	1.30	242
	中間	7.92	9.22	1.07	210
	最小	7.30	4.40	0.54	121

つづく

表 4.3.3(c) クラックテンソル(つづき)

3	最大	9.02	10.31	1.31	173
	中間	8.03	8.36	1.04	157
	最小	7.10	7.11	0.86	111
5	最大	10.51	61.98	6.34	929
	中間	9.05	23.46	2.90	412
	最小	7.31	18.13	2.16	275
6	最大	8.85	14.15	1.74	254
	中間	8.15	8.69	1.21	212
	最小	6.88	3.90	0.41	85

※：ここに示した値はいずれも応力解放による亀裂開口の無い溶融石英（等方性体）との差である

表 4.3.3(c)によると、本試験、すなわち土岐花崗岩の固有線圧縮率で見た異方性は、深度によって若干変化するものの、20～35%程度の大きさがある。これは初期応力の評価において無視できない量であり、これが線圧縮率増分から初期応力比を評価する際に補正を行う理由である。

4.4 岩石試料を用いた初期応力測定のみとめ

AE 法を土岐花崗岩に適用した結果、初期応力に対応する AE カウント累積曲線における増加率増大点が明瞭でない試験例が多く、その点が抽出できない例もあった。また、深度の大きな地点（深度 No.5,6）から採取した試験体において、測定に必要なピーク応力で試験体が破壊しないよう三軸圧縮载荷とする工夫をしたところ、観測される AE イベント数が極端に少なく、評価のばらつきが拡大することが判明した（図 4.4(a)左）。後者は、花崗岩に対し、AE 法による初期応力測定を適用する際の課題と考えられる。

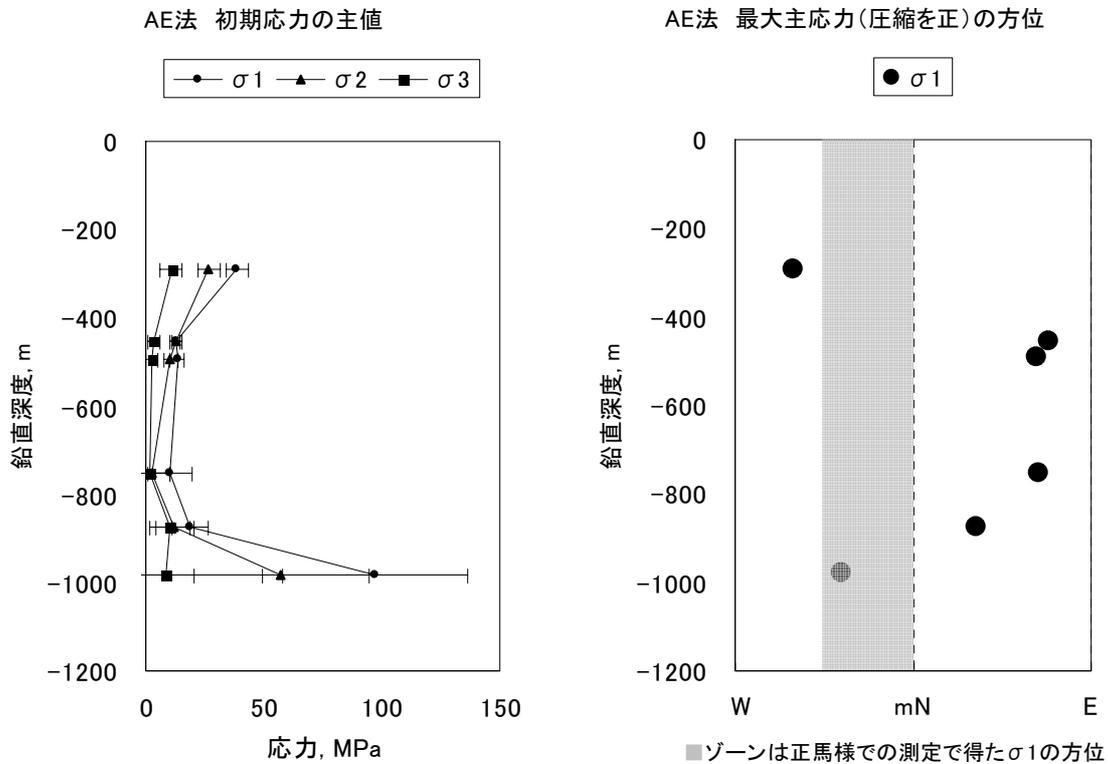


図 4.4(a) AE 法による初期応力の深度分布（圧縮を正）

DRA 法を土岐花崗岩に適用すると、全般的にひずみ差関数の変化量が小さく 0.1μ 程度の高精度なひずみ観測が必要であった。また、ひずみ差関数の非線形性が強いいため変形性の変化点を客観的に決めることは難しく、これは AE 法同様に精度を低下させる要因と考えられる。しかし、図 4.4(b)左に示すように、評価のばらつきは AE 法よりも小さく、全ての試験体で測定が可能であり、データの取得性は AE 法よりも高いと考えられた。

また、得られた初期応力の主値の方向は、AE 法は図 4.4(a)右、DRA 法は図 4.4(b)右にそれぞれ示すように分析可能な分布は認められなかった。主値の方向は、AE 法と DRA 法が同一原理の手法でありながら、相互にも一致していない。広域応力状態は同一であると予想される MIZ-1 号孔と 1.5km 離れた正馬様^{30),31)}での最大主応力の方向（水圧破碎法で測定）を同図中の網掛けゾーンで示したが、これとの関連も明瞭なものとは認められない。

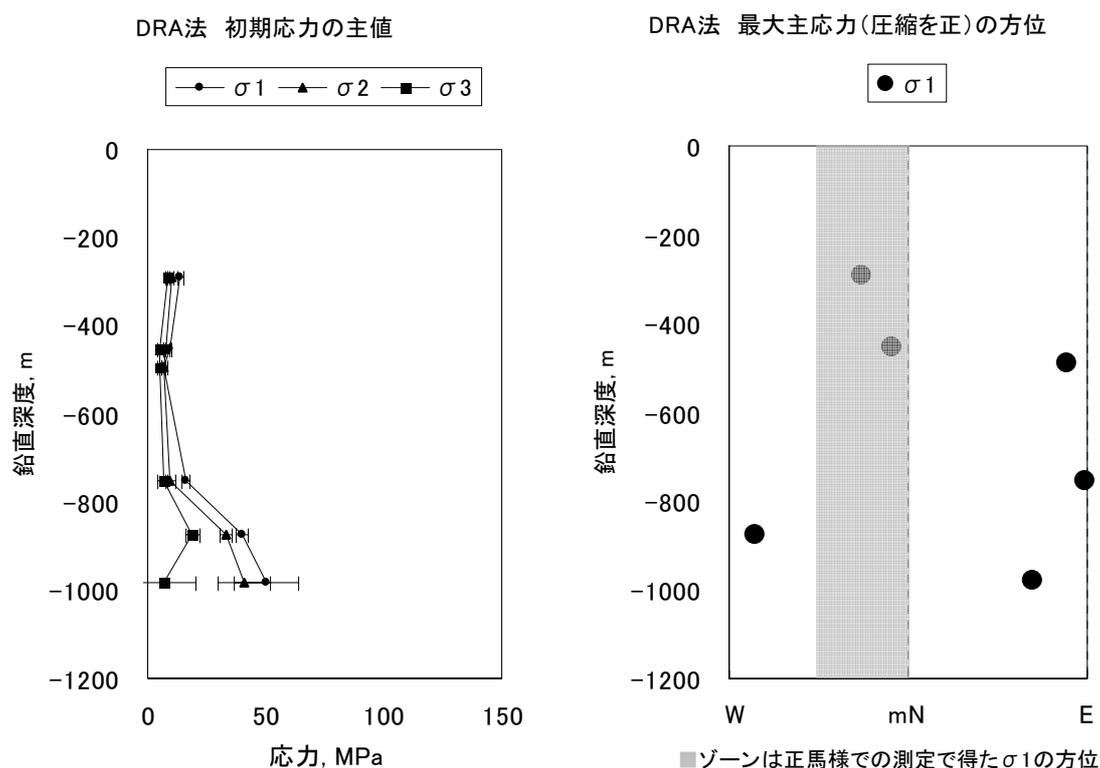


図 4.4(b) DRA 法による初期応力の深度分布（圧縮を正）

ASR 法を土岐花崗岩に適用すると、非弾性ひずみが小さく測定限界に近かった。そのため、初期応力の計算で共に必要な、非弾性ひずみの現場測定と非弾性ひずみコンプライアンスの室内測定の方で、分析可能なデータが得られた例は一例もなかった。

DSCA 法を土岐花崗岩に適用すると、最大主応力の方向で、AE 法と DRA 法では分析可能な分布が認められなかったのに対し、DSCA 法では深度による変化が少なく、比較している三種類の中で最も正馬様での最大主応力の方向^{30),31)}と類似していることが認められる(図 4.4(c)右)。次に、DSCA 法で得た応力分布を図 4.4(c)左に示す。なお、前述のとおり DSCA 法は主応力の大きさを比で求めるため、近似で計算した表 4.3.3(b)の値を用いている。この図を見ると、測定原理の異なる AE、DRA 法のそれと、値と変化の傾向が類似しており、三つの手法が何らかの共通した岩盤特性に関係する値を得ていることを示唆している。ただし、主応力の絶対値は、既往の初期応力測定²⁴⁾や後述する水圧破碎法の結果と比べて過大であり、共通する岩盤特性が得られていても、それが初期応力とどのように関係しているかは不明である。そのほか、DSCA 法を適用すると、

岩石の実質部分（クラック以外の部分）の固有線圧縮率の異方性が認められた。土岐花崗岩でのその異方性の大きさは 20~35%程度あり、少なくとも DSCA 法の適用では固有線圧縮率の異方性の考慮が必要であることが示された。

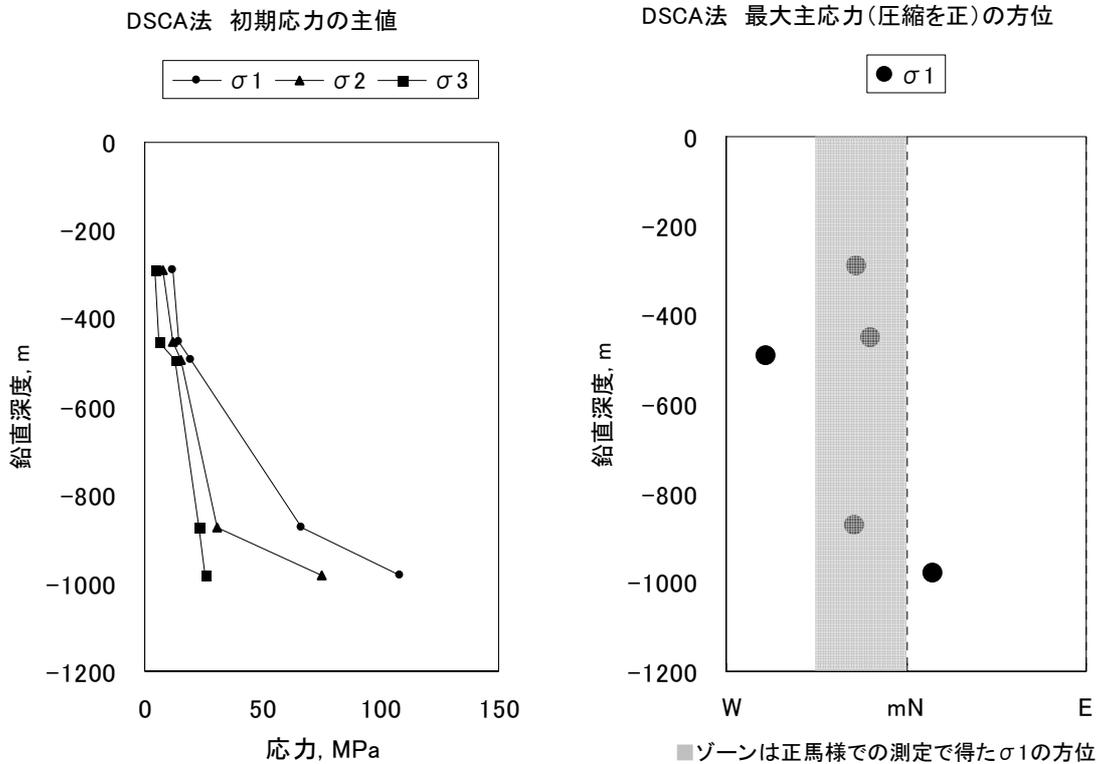


図 4.4(c) DSCA 法による初期応力の深度分布（圧縮を正）

以上の、岩石試料を用いた初期応力測定全体を概観すると、MIZ-1 号孔で得た土岐花崗岩を対象とした場合、各手法とも表 4.4 に示した長所短所を持っており、決定的な方法は無いといえる。その背景として、初期応力の解放で発生するひずみ量が測定限界に近いほど小さく、各手法の測定原理における基本特性(AE/DRA 法でのカイザー効果による変化点、ASR 法での非弾性ひずみは最初急激に発生して時間とともに収束する特性、DSCA 法での線圧縮率増分)が十分な精度で観測されていないものと考えられた。しかし、同じ土岐花崗岩でも、正馬様用地内の測定例^{5),6),7)}では、AE/DRA 法の示す鉛直初期応力が土被り圧にほぼ等しく初期応力がある程度正しく測定されたと結論されており、双方で結果が異なる。正場様の解析では鉛直方向を軸とする円柱形試験体だけを用いて土被り圧に相当する応力履歴を評価しており、そこでの未知数は応力値 1 個である。これに対して MIZ-1 では三次元で主応力方向とその値を未知数として評価しており、水平応力の履歴など結果に及ぼす要因がはるかに多いため、このような結論の相違が発生したものと考えられる。そのほか、DSCA 法で示された固有線圧縮率の異方性を踏まえると、何れの岩石試料を用いた応力測定法も岩盤の応力 - ひずみ関係に依拠しているため、初期応力結果にこの異方性の影響が及んでいると予想されるが、一方で、AE/DRA 法は異方性との関係が未解明、ASR は等方性仮定に立脚、さらに DSCA 法は固有線圧縮率のみ補正（ポアソン比は等方性仮定）としているのが現状で、岩石試料を用いた応力測定における異方性の検討は今後の課題である。

表 4.4 MIZ-1 号孔に岩石試料を用いた初期応力測定を適用したときの結果

初期応力	AE 法	DRA 法	ASR 法	DSCA 法
値は得られたか	△(測定不能な試験体あり)	○	×(測定不能)	△(原理的に比のみ得られる)
方向は得られたか	○	○	△(深度 2 点のみ)	○
方向に系統性、正馬様との類似性は認められるか	×	×	×	△
評価	測定原理が同一の AE 法と DRA 法とで測定結果に明瞭な相関が認められず結果に疑問が残る		適用不可	値が得られないことを除けば今回のうちで最良

5. 水圧破砕法による初期応力測定

5.1 測定原理

5.1.1 概要

水圧破砕法^{32),33)}とは、岩盤内に荷重を加えてき裂を生成し、そのき裂を一閉じた後に再開口するのに必要な荷重、あるいは、そのき裂を開口したまま定常状態とするのに必要な荷重をそれぞれ測定して、これら荷重と岩盤との応力状態の関係式を用いて初期応力を得る手法である。一般に、測定のためにボーリング孔が用いられ、パッカーで閉塞したボーリング孔内の一定区間に水を圧入して岩盤に荷重を加えている。特長として壊のないボーリング孔が得られる範囲で大深度への適用が可能である。また、4章で述べた岩石試料を用いた応力測定法が小さな試験体を用いることから数 cm 程度の小さな領域の初期応力が評価されるのに対し、水圧破砕法ではメートルオーダーの比較的大きな領域の初期応力が平均的に得られる。一方で原理的な制約があり、ボーリング軸に直交する面内の主応力を対象とした測定法であるため、一方向のボーリング孔を用いた測定のみでは三次元の初期応力は得られない。ただし、ボーリング孔が鉛直で、初期応力の主値の一つが鉛直な土被り圧であると近似できる場合は、後の二つの主値（圧縮を正として、最大水平主応力 S_H 、最小水平主応力 S_h に対応する）はボーリング軸に直交する面内にあるので三次元初期応力測定が可能となる。本測定では、MIZ-1 号孔が図 3.1.1 のとおり鉛直方向より 14 度傾斜しているが、これを鉛直と近似して水圧破砕法を適用することにした。

5.1.2 低コンプライアンス加圧システムの要求

近年、水圧破砕法においては、その測定精度を損なう要因について検討が行われている³⁴⁾。初期の測定原理では、流体をボーリング孔に圧入し、き裂を生成したときの圧力 P_b と、そのき裂が開口後に流体圧入を始めて定常状態になったときの圧力 P_s を用いて主応力 S_H と S_h を得ていた。この方法によると、岩盤引張強度 S_t を知る必要があるが、一般に S_t を評価することは困難である。そこで P_b の代わりに、き裂が一閉じた後に再開口するときの圧力 P_r を用いることで、 S_t を知る必要のない方法が考案された。この方法は利なため広く用いられるものとなった。その後、適用事例が増えるにつれて後者の方法で測定された主応力比 (S_H / S_h) が一定となる傾向が認められた。しかし、様々な事例に共通して一定となる必然性がなく、手法の成立について再検討が必要と考えられた。これに対し Cornet³⁵⁾ や Zoback ら³²⁾ は、水圧破砕で生成したき裂は応力を S_t としてもみ合わせが不全なため開口幅を持っており水性を与えることを実験で示した。そこで伊藤³⁶⁾ は、問題の式は、再開口前からき裂内部にボーリング孔内の流体圧力が加わることを考慮していない点が誤りであると考えて、これを正せば真の P_r が求まることを数値解析で示した。また、真の P_r を得るには測定に用いる加圧システム自身の体積変化が無視できる（すなわち加圧システムが低コンプライアンスである）ことが必要と述べている。以上をふまえて、本測定では、伊藤らの考えに基づく測定法を適用した。

5.2 試験方法

5.2.1 試験位置

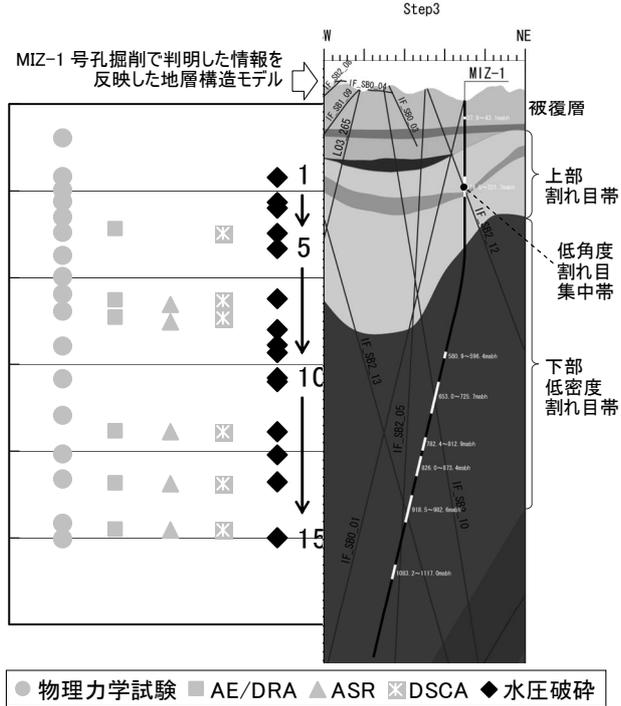
試験位置は、初期応力の深度に対する変化を検討できる位置とするほか、試験装置がボーリング孔にされるれの少ない、孔が定常な亀裂の認められない位置となるよう選定した。なお、な亀裂がないことは均質な等方弾性体を仮定した測定原理上からも必要である。表 5.2.1 に試験位置を示す。水圧破砕法ではボーリング軸に直交する面内の主応力が測定されるので、ボーリング孔が傾斜した深度 250m 以下では、密に言うと水平面内の主応力を測定した

ことにならない。しかし、本測定では初期応力の主値の一つが鉛直な土被り圧であると考えること、また、ボーリング孔の傾斜が14度程度とそれ程大きくないことから、ボーリング孔は鉛直と近似して初期応力を求めることにした。ただし、ボーリング孔が傾斜していることで発生する鉛直深度と掘削深度の相違は補正する。

表 5.2.1 水圧破碎法 試験対象深度

深度 No.	測定区間の平均掘削深度で表記 (GL.- m)	測定区間の平均鉛直深度で表記※ (GL.- m)	備考
1	168	168	一深度あたり一測点 測定および結果解釈においてボーリング孔の傾斜は無視
2	228	228	
3	238	238	
4	298	298	
5	335	335	
6	450	449	
7	523	520	
8	560	556	
9	578	573	
10	638	632	
11	645	639	
12	765	755	
13	818	807	
14	886	873	
15	1017	1001	

下の地質構造モデルは第1段階報告書²⁾、ステップ3モデルに加筆



※掘削深度と鉛直深度の関係に曲線補間して算定したため0.3m程度の計算誤差を含む

5.2.2 試験装置および試験方法

試験装置の概要を図 5.2.2 に示す。5.1.2 項で述べたとおり、低コンプライアンス測定への対応を行っており、 $7 \times 10^{-3} \text{m}^3$ 程度のパッカーを用いてその変形の影響を抑制し、また、加圧区間の体積は約 $7 \times 10^{-3} \text{m}^3$ と小さいものとなっている。試験手続は、ボーリング孔の孔径確認などの準備の後、①水

圧破碎前の孔 型取り、②水圧破碎試験、③水圧破碎後の孔 型取りの で行う。ここで試験の前後二回実施する型取りは、流体圧入で生成した人工き裂と既存き裂を区別し、人工き裂の方向などを検討するために行っている。以下に、各手 の詳細を示す。

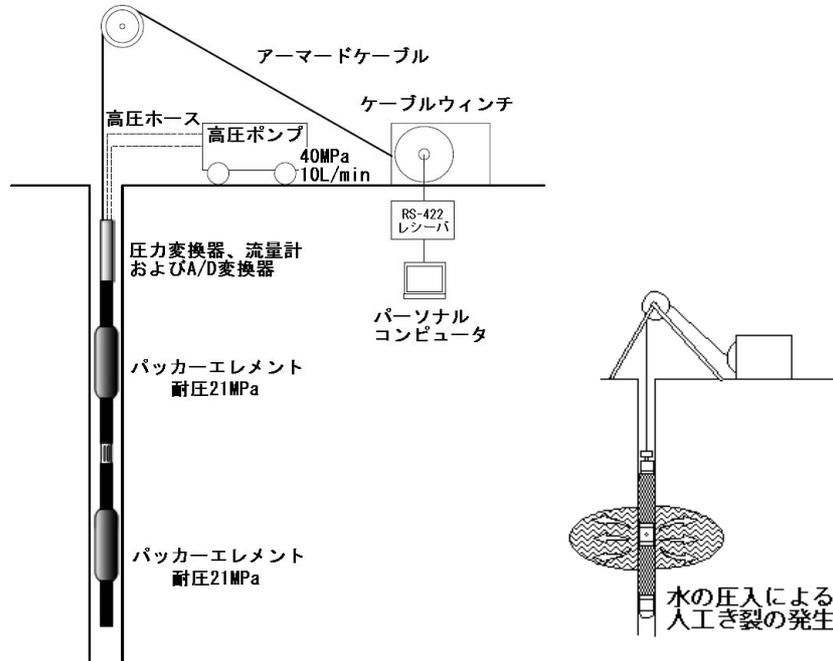


図 5.2.2 水圧破碎法における試験装置（現場測定）

① 水圧破碎前の孔壁型取り

測定に用いるボーリング孔のコア観察およびキャリパー検層の結果を参考として、既存き裂が少なく孔 が 定している位置を選定する。次いで選定した位置に可 性チューブで作った型取りパッカーを挿入して孔 面の 凸を し取り、その観察結果から既存き裂が調査に 与えるものでないか検討する。

② 水圧破碎試験

図 5.2.2 に示したように、測定に際し、測定位置に降下させた二つのパッカーエレメントを張させてボーリング孔を閉塞し、二つのパッカーの間に加圧区間を用意する。そして、高圧ポンプでその区間に一定流量 ($2 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$) で加圧区間の圧力上 が起こらなくなるまで水を圧入し、次いで圧入を して加圧区間を 断し、その後圧力を解放するという一連の作を繰り返し行なう。このとき全工程における圧入流量と圧力、経過時間の関係を記録する。

一般的には、最初の水の圧入において上 した加圧区間の圧力が急減する点(P_b)が観測され、そのとき人工き裂が生成されている。その後、加圧区間を 断すると、圧力は徐々に下降してき裂閉口圧(P_s)に収束する³⁷⁾。また、一 、加圧区間の圧力を解放してから水の圧入を再度行なうと、今度は先の人工き裂が再開する圧力(P_r)が観測される³⁸⁾。

③ 水圧破碎後の孔壁型取り

再び①で用いたものと同じ型取りパッカーを用いて、水圧破碎後の孔 面の 凸を し取り、水圧破碎前のものと比較することで新たに発生したき裂（人工き裂）を特定する。なお、型取りパッカーには方位傾斜計がついており、人工き裂の有無だけでなく方向も み取ることができる。

既出の測定結果(P_b, P_s, P_r)と初期応力(S_H, S_h)の間には以下の関係がある³⁷⁾。

$$P_b = 3S_h - S_H + S_t \tag{5.2.2-1}$$

$$P_s = S_h$$

この式を用いて P_b と P_s から初期応力 (S_H, S_h) の値を計算するのが初期の方法であるが、前述したように正確な値を得ることが困難な S_i を必要としている。次いで、 P_b に代えて P_r を用いる方法では関係式は以下のとおりで³⁹⁾、 S_i は必要ない。しかし、前述のとおり必然性のない結果を与えるため再検討が必要と考えられた式である。

$$P_r = 3S_h - S_H \tag{5.2.2-2}$$

$$P_s = S_h$$

この式の成立には、人工き裂の再開口圧 P_r とは S_i がゼロの岩盤に人工き裂を生成することに等価と仮定できることが必要である。すなわち、再開口前の人工き裂の内部にボーリング孔に圧入した流体が入せず、その圧力は加わらないと考えることに等しい。これに対し、伊藤らの再検討³⁶⁾では、再開口前からき裂内部に圧入した流体が進入し、ボーリング孔の加圧力がき裂内部に加わると考えるのが妥当であると結論している。そこで、 P_r が用いられた式は次のとおりである。

$$P_r = \frac{3S_h - S_H}{2} \tag{5.2.2-3}$$

$$P_s = S_h$$

本試験では最後の(5.2.2-3)式に拠って初期応力の値を得ることとした。

なお、初期応力の方向は計算によってではなく、型取りパッカーに記録された人工き裂の観察から得られる。測定位置をボーリング軸に直交する面で切断したときの、面内に示される人工き裂の方向が、その面内の最大主応力 S_H の方向であり、 S_h はこれと直交する方向にある。

5.3 水圧破砕法で得られた初期応力状態

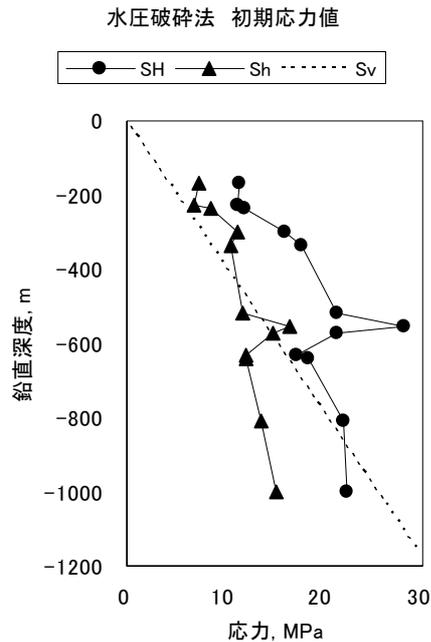
水圧破砕法で得られた初期応力を表 5.3(a) および 5.3(b) に示す。試験で得られる結果は S_H と S_h の値およびその方向であるが、三次元応力状態の参考として各試験位置(鉛直深度)で推定された土被り圧 S_v を併記した。

表 5.3(a) 水圧破砕法で求めた MIZ-1 号孔の初期応力の方向



表 5.3(b) 水圧破砕法で求めた MIZ-1 号孔の初期応力値 (圧縮を正)

深度 No.	試験で得られた初期応力値		土被り圧
	S_H MPa	S_h MPa	S_v MPa
1	11.5	7.4	4.3
2	11.3	6.9	5.8
3	11.9	8.5	6.1
4	16.1	11.3	7.6
5	17.7	10.6	8.5
6	計測×	計測×	11.4
7	21.3	11.7	13.2
8	28.1	16.6	14.2
9	21.3	14.9	14.6
10	17.2	12.1	16.1
11	18.4	12.1	16.3
12	計測×	計測×	19.2
13	22.0	13.7	20.6
14	計測×	計測×	22.2
15	22.4	15.1	25.5



計測× : 水の圧入で人工き裂が生成されず天然き裂が開いたため初期応力が得られない測定例
 土被り圧(MPa)=鉛直深度(m)×岩の比重 2.6×重力加速度 9.8(m/s²)÷1000

水圧破砕法の試験結果は以下のような特徴を有した。初めに S_H 方向についてみると表 5.3(a) に示すとおりであり、深度 No.1 と 10 を除けば S_H は概ね mNW - SE 方向に集中した。例外の二つの深度のうち、深度 No.1 は低角度割れ目帯に隣接し、規模の大きな断層帯の中にある。また、3 章で述べた室内物理・力学試験結果では強度やヤング率が他の半分程度となる脆弱部と示されている。一般にこのような岩盤は等方弾性体とは異なる 動を示すことから、等方弾性体を仮定した水圧破砕法が成立していないものと考えられる。一方、深度 No.10 は鉛直深度 650~700m 付近で MIZ-1 号孔と交差する規模の大きな断層帯より 15m 程度上方に位置し、室内物理・力学試験結果では平均的な値を示すことから断層による変形作用はそれ程受けていないが、断層による応力の 受けているものと考えられる。以上を踏まえると、深度 No.1 と 10 を除いたものが MIZ-1 号孔の置かれた大局的な応力場と考えられる。この方向は、当該地域の発震機構解析⁴⁰⁾ で示された応力の方向、および、広域的な測地結果から かれる地殻変形の方向と調和し⁴¹⁾、正馬様用地内における水圧破砕法の示した方向との類似も認められるため、ほぼローカルスケールでの広域応力場が測定されているものと考えられる。

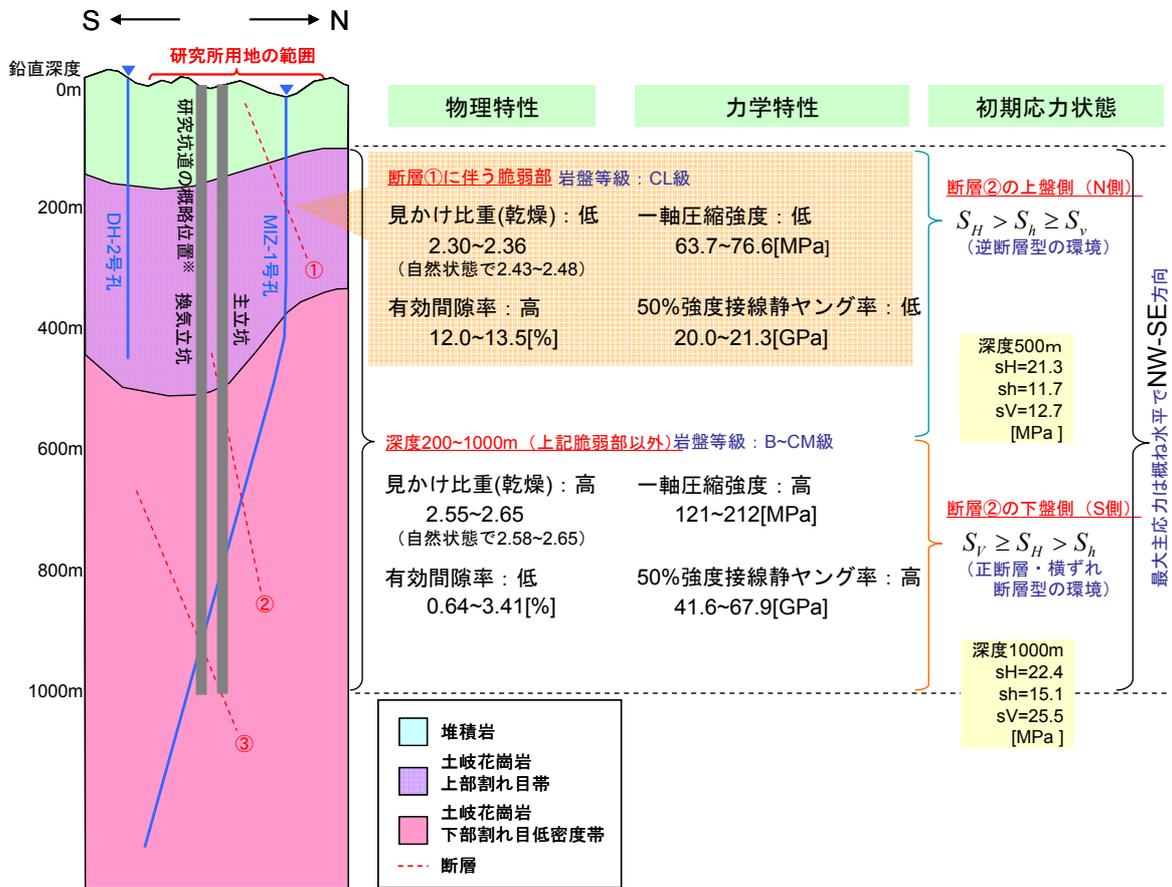
次に S_H と S_h の値についてみると、表 5.3(b) に示すとおり、概ね深度 400m よりも浅いところでは、鉛直応力(S_v)と水平面内の主応力(S_h, S_H)について $S_H > S_h \geq S_v$ の関係であり、岩盤内は水平方向に最大圧縮力がある逆断層型の環境となっている。一方、概ね深度 600m より深いところでは、これと異なり $S_v \geq S_H > S_h$ の関係であり、岩盤内は鉛直方向に最大圧縮力がある正断層・横ずれ断層型の環境に変化する。先に述べたとおり鉛直深度 650~700m 付近で MIZ-1 号孔と交差する規模の大きな断層帯があり、これを境として断層の上盤と下盤で応力状態が不連続になっているものと考えられる。ただし、細かくみると断層の上盤と下盤の境界よりも、応力状態が逆断層型から正断層型に変化する境界のほうが 100m 程度、上盤側にシフトしているように見える。また、その境界付近では、その他の深度で S_H と S_h が深度と比例的な関係であるのに対し、これから大きく外れた値となることが認められる。なお、断層の影響により三次元応力場が変動

し、初期応力の主値が、測定に用いるボーリング孔の孔軸やこれと直交する面内から大きく外れて水圧破碎法の前 が成り立たないことが考えられる。しかし今回の測定例では水圧破碎で生成した亀裂がいずれも測定理論で予測される縦亀裂であったので、断層前後の位置においても水圧破碎法は成立していると判断した。

6. 岩盤力学モデル

前章までの調査結果から、MIZ-1号孔周辺における基盤岩（土岐花崗岩）の物理・力学特性と初期応力状態が明らかとなった。そこで、当該調査以前に既得情報や広域地下水流動研究で掘削したボーリング（主にDH-2号孔）から得られた情報で構築した旧岩盤力学モデルを踏まえ、今回の新しい情報を反映させたサイトスケールの岩盤力学モデルを新たに構築した。新たに構築した岩盤力学モデルを図6に示す。

このモデルに示した断層や地層・岩相区分は、第1段階の調査・解析結果⁴²⁾から構築されたステップ3の地質構造モデル²⁾を用いた。その概略は、MIZ-1号孔位置で鉛直深度110m程度まで堆積岩が分布し、その下に基盤岩となる土岐花崗岩が分布するものである。さらに、土岐花崗岩は鉛直深度310m程度までの上部割れ目帯（UHFDと略称）と下部割れ目低密度帯（LSFDと略書）に分かれ、規模の大きな断層は3箇所（図6の①～③）に認められている。



※上は概念図であり、実際の坑道はN-S断面上で本図のようには並ばない

図6 岩盤力学モデル（物理・力学特性および初期応力状態）

次に、この地質構造モデルを今回判明した物理・力学的特性と対比してみると、健岩部であればUHFDとLSFDの平均的な物理・力学的特性の差は少ないことが確認された。また断層①に隣接する地点で採取したコアの物理・力学的特性が健岩部と明らかに異なる脆弱性を示す値であったことから、断層①と交差する深度200m前後は脆弱な岩盤であると考えられる。そこで、岩盤力学モデルでは健岩部のUHFDとLSFDを区別せず一様とし、一方で、断層①の前後のみ、他と比べて特異な物理・力学的特性を持つ脆弱部であると考えた。以上の区分に基づく岩盤力学モデルを示す代表的な特性値を図6に示す。

さらに、地質構造モデルと初期応力状態を対比してみると、本調査の中で比較的信頼性が高いと考えられた手法である DSCA 法および水圧破碎法による評価から、断層②の影響を受けたと考えられる 1 点を除けば、圧縮を正とした最大主応力は概ね水平で NW - SE 方向を示し、この深度方向での大局的な変化は少ないことが確認された。また、水圧破碎法による評価から、水平面内の S_H と S_h の値は、断層②の上盤と下盤とで土被り圧との大小関係が逆 することが確認され、断層の上盤では水平方向に最大圧縮力がある逆断層型の環境、下盤では鉛直方向に最大圧縮力がある正断層・横ずれ断層型の環境であると考えられた。以上の区分に基づいて、岩盤力学モデルの初期応力状態は、図 6 に示すような断層②を境界とする二つの領域であると定めた。なお、物理・力学的特性において深度 200m 前後の脆弱化を伴う断層①の初期応力との関連は特に認められなかった。

7. まとめ

本調査では、超深地層研究所計画における第1段階の課題として位置づけられた、研究用地内における深層ボーリング孔（MIZ-1号孔）の掘削による研究用地の深部地質環境の把握と、それに基づく地質環境モデルの構築について、岩石の物理・力学的特性と初期応力状態の面から検討を行なった。調査で得られた結果は以下のとおりである。

研究用地に分布する基盤岩（土岐花崗岩）の物理・力学的特性を示す値として、ボーリングコアを用いた室内試験により以下の値が得られた。断層に伴う変形作用を受けていると考えられる脆弱部を除いた健岩部では、静ポアソン比が全体的に小さめである他は、概ね正馬様の土岐花崗岩と同程度であった。また、日本の平均的花崗岩との比較で認められた傾向として、研究用地の土岐花崗岩は、物理物性では有効間隙率が小さく弾性波速度が速い岩石であり、力学物性では静ヤング率と粘着力が大きな岩石であることが示された。

表 7(a) 研究用地の深部にある土岐花崗岩の特性（健岩部での平均）

見かけ比重（乾燥）	2.62	一軸圧縮強度	173MPa
有効間隙率	1.12%	50%強度接線静ヤング率	53.9GPa
		静ポアソン比	0.265

表 7(b) 同、脆弱部も含めた試験全体での平均

見かけ比重（乾燥）	2.61	一軸圧縮強度	166MPa
有効間隙率	1.84%	50%強度接線静ヤング率	51.8GPa
		静ポアソン比	0.263

研究用地深部での初期応力をボーリングコアから測定（AE、DRA、ASR、DSCAの四手法を適用）したところ、変形性の小さな土岐花崗岩に観測される解放ひずみ（コア取り出しの際に初期応力解放によって生じるひずみで、測定原理の成立に重要な特性）が測定限界に近いほど小さく、DSCA以外の手法では信頼できる結果は得られなかった。

DSCAと、原位置岩盤において直接的に初期応力を測定する水圧破砕法により初期応力を評価すると、圧縮を正とした最大主応力は概ね水平でNW-SE方向を示し、これの深度方向での大局的な変化は少ないことが確認された。また、水平面内の二つの主応力と鉛直応力（土被り圧）との大小関係の評価すると、概ね深度400mより浅いところでは逆断層型、概ね深度600mより深いところでは正断層・横ずれ断層型となる環境であると考えられた。

最後に、MIZ-1号孔で別途実施された地質調査により作成された地質構造モデルを基本として、以上の調査結果を解釈した岩盤力学モデルを構築した。モデルは深度200m付近の脆弱部を特記しつつも、全体的には岩盤の物理・力学的特性が深度によらず概ね一様であるとしている。また初期応力は深度650~700m付近でMIZ-1号孔と交差する断層の上盤では逆断層型、下盤では正断層・横ずれ断層型の環境にあるとしている。

今後、今回の調査結果や岩盤力学モデルは、研究坑道掘削にともなう掘削影響領域の検討や研究坑道の設計等に反映されるとともに、坑道内での調査が可能な第2段階以降の調査研究成果と対比され、各段階における再評価（いわゆるモデルの妥当性確認、具体的には理解度の整理、不確実性の検討など）が行なわれる。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構: “超深地層研究所 地層科学研究基本計画”, JNC TN7410 2001-018 (2002)
- 2) 日本原子力研究開発機構: “超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第1段階)研究成果報告書”, JAEA-Research 2007-043 (2007)
- 3) 社団法人地盤工学会: “岩の試験・調査方法の基準・解説書 平成14年度版”, 社団法人地盤工学会 (2003)
- 4) Brown, E.T.: “Rock Characterization Testing and Monitoring”, International Society for Rock Mechanics, Pergamon Press (1981)
- 5) 松井裕哉: “AN-1号孔及びMIU-1号孔における力学特性調査結果”, JNC TN7420 99-004 (1999)
- 6) 松井裕哉, 前田信行, 吉川和夫: “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 2000-001 (2000)
- 7) 松井裕哉, 前田信行, 吉川和夫: “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”, JNC TN7420 2001-001 (2000)
- 8) 核燃料サイクル開発機構: “超深地層研究所計画年度報告書(平成13年度)”, JNC TN7400 2002-004 (2002)
- 9) 佐藤稔紀, 谷口航, 藤田朝雄, 長谷川宏: “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)”, JNC TN7400 99-011 (1999)
- 10) 中間茂雄, 中島貴弘, 青木俊朗, 佐藤稔紀: “DH-2号孔の岩芯を用いた力学特性調査結果”, JNC TN7400 2003-003 (2003)
- 11) 社団法人土木学会: “初期地圧測定法の現状と課題”, 社団法人土木学会, pp.92-93 (1992)
- 12) 小島隆, 松木浩二: “低応力レベルにおける岩石のカイザー効果に関する基礎的研究”, 資源と素材, Vol.110, pp.435-440 (1994)
- 13) 小島隆, 西山琢雄, 松木浩二: “DRAによる三次元地圧計測法に関する基礎的研究”, 資源と素材, Vol.110, pp.143-148 (1994)
- 14) 山本清彦: “岩石試料による北上山地地域とその周辺の地殻応力の推定”, 平成7,8年度科学研究費補助金(基礎研究(C)(2))研究成果報告書 (1997)
- 15) Kiyohiko Yamamoto: “The Rock Property of In-Situ Stress Memory: Discussions on its Mechanism”, Int. W/S on rock stress, 8-th ISRM, Tokyo (1995)
- 16) Warapinski, N. R. and Teufel L. W.: “A viscoelastic constitutive model determining in-situ stress magnitudes from anelastic strain recovery of core”, SPE 15368 (1986)
- 17) 松木浩二: “岩石の非弾性ひずみ回復を用いた三次元地圧計測法の理論的検討”, 資源と素材, Vol.108, pp.41-45 (1992)
- 18) Matsuki, K. and Takeuchi, K.: “Three-dimensional in-situ stress determination by anelastic strain recovery of a rock core”, International Journal of Rock Mechanics and Mining Societies, Vol.30, No.7, pp.1019-1022 (1993)
- 19) 松木浩二: “ASR法の標準法”, 資源・素材 2000(秋田), 企画発表・一般発表(A)講演資料, pp.63-66 (2000)
- 20) Strickland, F.G. and Ren.N-K.: “Use of Differential Strain Curve Analysis in Predicting In-situ Stress State for Deep Wells”, Proc. 21st U.S. Symposium On Rock Mechanics, pp.523-532 (1980)
- 21) 松木浩二, 志水俊仁, 奥村清彦: “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 (1995)

- 22) 共和電業: “ひずみゲージセンサ計測機器総合カタログ”, (2006)
- 23) 石田毅: “岩盤は破壊音の科学”, 近未来社 (1999)
- 24) 加藤春實, 佐藤稔紀, 前田信行, 松井裕哉: “水圧破砕法から推定される初期応力分布と弾性波速度異方性の関係”, 西日本岩盤工学シンポジウム (2000)
- 25) 相馬宣和, 瀬戸政宏, 松井裕哉, 前田信行: “封圧環境下における AE 法による原位置初期地圧測定法の開発”, 資源と素材, Vol.118, pp.546-552 (2002)
- 26) 松木浩二, 志水俊仁, 奥村清彦: “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 (1995)
- 27) 松木浩二: “地圧下のボーリングに伴う岩石コアの引張損傷と DSCA”, 資源と素材, Vol.116, pp.972-978 (2000)
- 28) 松木浩二: “ASR 法の標準法”, 資源・素材 2000(秋田), 企画発表・一般発表(A)講演資料 pp.63-66 (2000)
- 29) Jaeger, J.C. and Cook, N.G.W. : “Fundamentals of Rock Mechanics”, John Wiley & Sons, Inc., pp.32-33 (1976)
- 30) 加藤春實: “AN-1 孔における水圧破砕法による初期応力測定”, JNC TJ7420 99-013 (1998)
- 31) 加藤春實: “MIU-2 孔における水圧破砕法による初期応力測定”, JNC TJ7400 99-014 (1999)
- 32) Zoback, M.D., Rummel, R., Jung, R. and Raleigh, C.B.: “Laboratory Hydraulic Fracturing Experiments in Intact and Pre - fractured Rock”, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 14, pp.49-58 (1977)
- 33) Hayashi, K., Ito T. and Abe, H.: “In Situ Stress Determination by Hydraulic Fracturing - A Method Employing an Artificial Notch”, Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 26, pp.197-202 (1989)
- 34) 佐野修, 伊藤久男, 水田義明: “地殻応力測定法の信頼性を損なう要因について”, 月刊地球, Vol.26, No.1 (2004)
- 35) Cornet, F.H.: “Analysis of Injection Tests for In Situ Stress Determination”, Proc. Wkshp Hydr. Fract. Stress Measur., Menlo Park, pp.414-443 (1982)
- 36) 伊藤高敏: “水圧破砕地殻応力評価法の問題点とき裂開口圧の物理的意味”, 月刊地球, Vol.26, No.1 (2004)
- 37) Kehle, R.O.: “The Determination of Tectonic Stresses through Analysis of Hydraulic Well Fracturing”, J. Geophys. Res., 69, pp.259-273 (1964)
- 38) Hardy, M.P. and Asgian, M.I.: “Fracture Reopening During Hydraulic Fracturing Stress Determinations”, International Journal of Rock Mechanics and Mining Societies & Geomechanics Abstr., 26, pp.489-497 (1989)
- 39) Zoback, M.D., et al.: “ Preliminary Stress Measurements in Central California Using the Hydraulic Fracturing Technique”, Pure Appl. Geophys., 115, pp.135-152 (1977)
- 40) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: “日本の地震活動—被害地震から見た地域別の特徴—”, 財団法人 地震予知総合研究振興会, (1997)
- 41) 国土地理院: “日本の地殻水平ひずみ (1883 年～1985 年)”, 日本国土地理院 (1990)
- 42) 太田久二雄, 佐藤稔紀, 竹内真司, 岩月輝希, 天野健治, 三枝博光, 松岡稔幸, 尾上博則; “東濃地域における地上からの地質環境の調査・評価技術”, JNC TN7400 2005-023 (2005)

付録（室内物理・力学試験における個々の試験体での結果）

1. 全試験体の物理試験結果（比重等測定）

No.	試験工種	掘削深度 m	鉛直深度 m	岩種	分類	単位体積重量	みかけ比重	みかけ比重	みかけ比重	含水比	有効間隙率
						γt kN/m ³	自然	湿潤	乾燥	W _e %	n _e %
i	一軸	82.19	82.19	泥質細粒砂岩	堆積岩	19.50					
ii	一軸	82.33	82.33	泥質細粒砂岩	堆積岩	19.60					
iii	一軸	82.57	82.57	泥質細粒砂岩	堆積岩	19.50					
iv	三軸(CU)	80.67	80.67	泥質細粒砂岩	堆積岩	19.30					
v	三軸(CU)	80.81	80.81	泥質細粒砂岩	堆積岩	18.90					
vi	三軸(CU)	81.07	81.07	泥質細粒砂岩	堆積岩	18.00					
vii	三軸(CU)	81.58	81.58	泥質細粒砂岩	堆積岩	18.50					
viii	三軸(CU)	81.78	81.78	泥質細粒砂岩	堆積岩	18.90					
ix	三軸(CU)	81.92	81.92	泥質細粒砂岩	堆積岩	19.10					
x	圧裂	80.91	80.91	泥質細粒砂岩	堆積岩	18.80					
xi	圧裂	80.98	80.98	泥質細粒砂岩	堆積岩	18.70					
xii	圧裂	82.03	82.03	泥質細粒砂岩	堆積岩	18.30					
1	物理(三軸)	80.75	82.12	泥質細粒砂岩	堆積岩		1.961	1.962	1.550	26.5	41.2
2	物理(三軸)	80.87	82.25	泥質細粒砂岩	堆積岩		1.831	1.832	1.351	35.6	48.1
3	物理(圧裂)	80.94	82.63	泥質細粒砂岩	堆積岩		1.858	1.858	1.388	33.9	47.1
4	物理(圧裂)	81.01	80.75	泥質細粒砂岩	堆積岩		1.814	1.814	1.310	38.5	50.4
5	物理(三軸)	81.16	80.87	泥質細粒砂岩	堆積岩		1.826	1.826	1.337	36.5	48.8
6	物理(三軸)	81.64	81.16	泥質細粒砂岩	堆積岩		1.905	1.905	1.463	30.2	44.2
7	物理(三軸)	81.84	81.64	泥質細粒砂岩	堆積岩		1.894	1.894	1.445	31.1	44.9
8	物理(三軸)	81.98	81.84	泥質細粒砂岩	堆積岩		1.892	1.892	1.448	30.7	44.4
9	物理(圧裂)	82.07	81.98	泥質細粒砂岩	堆積岩		1.918	1.918	1.487	29.0	43.1
10	物理(一軸)	82.12	80.94	泥質細粒砂岩	堆積岩		2.036	2.036	1.659	22.7	37.7
11	物理(一軸)	82.25	81.01	泥質細粒砂岩	堆積岩		1.982	1.982	1.577	25.7	40.6
12	物理(一軸)	82.63	82.07	泥質細粒砂岩	堆積岩		1.980	1.980	1.570	26.1	41.0
13	三軸(UU)	167.05	167.05	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.639	2.640	2.628	0.4	1.2
14	三軸(UU)	167.14	167.14	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.633	2.633	2.622	0.4	1.2
15	三軸(UU)	167.23	167.23	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.646	2.647	2.635	0.4	1.2
16	三軸(UU)	167.32	167.32	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.634	2.635	2.624	0.4	1.1
17	三軸(UU)	167.41	167.41	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.637	2.638	2.627	0.4	1.1
18	三軸(UU)	167.50	167.50	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.645	2.645	2.634	0.4	1.1
19	一軸	167.59	167.59	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.642	2.643	2.631	0.4	1.1
20	一軸	167.68	167.68	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.637	2.638	2.626	0.4	1.1
21	一軸	167.77	167.77	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.644	2.645	2.633	0.4	1.2
22	圧裂	167.84	167.84	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.640	2.640	2.629	0.4	1.2
23	圧裂	167.88	167.88	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.624	2.624	2.613	0.4	1.1
24	圧裂	167.93	167.93	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.629	2.630	2.618	0.4	1.2
25	一軸	198.60	198.59	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	23.9	2.457	2.460	2.333	5.4	12.7
26	一軸	198.67	198.66	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	24.1	2.467	2.470	2.343	5.3	12.7
27	一軸	198.95	198.94	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	23.9	2.461	2.469	2.343	5.1	12.6
28	三軸(UU)	199.40	199.39	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	24.1	2.470	2.471	2.344	5.4	12.7
29	三軸(UU)	199.48	199.47	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	24.1	2.473	2.474	2.349	5.3	12.5
30	三軸(UU)	199.59	199.58	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	24.2	2.481	2.483	2.362	5.0	12.0
31	三軸(UU)	199.68	199.67	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	24.1	2.472	2.475	2.348	5.3	12.7
32	三軸(UU)	199.79	199.78	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	24.0	2.470	2.472	2.349	5.2	12.3
33	三軸(UU)	199.86	199.85	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	23.9	2.453	2.455	2.326	5.5	12.9
34	圧裂	199.93	199.92	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	24.0	2.466	2.468	2.348	5.0	12.0
35	圧裂	200.09	200.07	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	23.6	2.432	2.434	2.299	5.8	13.5
36	圧裂	200.25	200.23	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	23.7	2.444	2.446	2.314	5.6	13.2
37	三軸(UU)	228.05	228.03	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.642	2.643	2.631	0.4	1.2
38	三軸(UU)	228.16	228.14	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.9	2.650	2.650	2.640	0.4	1.1
39	三軸(UU)	228.25	228.23	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.637	2.638	2.627	0.4	1.1
40	三軸(UU)	228.34	228.32	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.633	2.633	2.623	0.4	1.1
41	三軸(UU)	228.43	228.41	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.631	2.631	2.621	0.4	1.1
42	三軸(UU)	228.52	228.50	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.630	2.631	2.620	0.4	1.1
43	一軸	228.61	228.59	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.634	2.635	2.624	0.4	1.1
44	一軸	228.70	228.68	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.635	2.636	2.625	0.4	1.1
45	一軸	228.79	228.77	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.628	2.628	2.617	0.4	1.1
46	圧裂	228.86	228.84	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.634	2.634	2.622	0.4	1.2
47	圧裂	228.92	228.90	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.636	2.637	2.625	0.4	1.2
48	圧裂	228.95	228.93	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.635	2.635	2.623	0.4	1.2
49	一軸	259.94	259.92	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.639	2.639	2.629	0.4	1.0
50	一軸	260.15	260.13	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.629	2.629	2.618	0.4	1.1
51	一軸	260.24	260.22	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.635	2.635	2.624	0.4	1.0
52	三軸(UU)	260.31	260.29	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.632	2.632	2.622	0.4	1.1
53	三軸(UU)	260.40	260.38	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.638	2.638	2.627	0.4	1.0
54	三軸(UU)	260.49	260.47	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.640	2.640	2.630	0.4	1.0
55	三軸(UU)	260.60	260.58	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.647	2.647	2.637	0.4	1.1
56	三軸(UU)	260.67	260.65	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.641	2.641	2.631	0.4	1.0
57	三軸(UU)	260.78	260.76	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.644	2.644	2.634	0.4	1.1
58	圧裂	260.83	260.81	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.632	2.632	2.621	0.4	1.1
59	圧裂	260.87	260.85	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.639	2.640	2.629	0.4	1.2
60	圧裂	260.97	260.95	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.5	2.621	2.621	2.610	0.4	1.1
61	三軸(UU)	299.05	299.03	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.641	2.641	2.631	0.3	1.0
62	三軸(UU)	299.14	299.12	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.631	2.632	2.622	0.3	1.0
63	三軸(UU)	299.23	299.21	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.645	2.646	2.636	0.3	1.0
64	三軸(UU)	299.32	299.30	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.641	2.642	2.632	0.3	1.0
65	三軸(UU)	299.41	299.39	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.642	2.642	2.633	0.3	0.9
66	三軸(UU)	299.50	299.48	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.653	2.654	2.645	0.3	0.9
67	一軸	299.59	299.57	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.638	2.639	2.629	0.3	0.9
68	一軸	299.68	299.66	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.640	2.641	2.631	0.3	1.0
69	圧裂	299.75	299.73	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.642	2.643	2.633	0.3	1.0
70	一軸	299.86	299.84	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.638	2.639	2.629	0.4	1.0
71	圧裂	299.93	299.91	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.640	2.641	2.631	0.4	1.0
72	圧裂	299.97	299.95	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.634	2.635	2.624	0.4	1.1

No.	試験工種	掘削深度 m	鉛直深度 m	岩種	分類	単位体積重量	みかけ比重	みかけ比重	みかけ比重	含水比	有効間隙率
						yt kN/m3	自然 —	湿潤 —	乾燥 —	W _e %	n _e %
73	三軸(UU)	349.07	349.04	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.640	2.641	2.630	0.4	1.1
74	三軸(UU)	349.16	349.13	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.633	2.634	2.622	0.4	1.2
75	三軸(UU)	349.25	349.22	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.625	2.626	2.613	0.5	1.3
76	三軸(UU)	349.34	349.31	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.634	2.635	2.624	0.4	1.2
77	三軸(UU)	349.43	349.40	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.629	2.630	2.619	0.4	1.1
78	三軸(UU)	349.52	349.49	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.640	2.640	2.629	0.4	1.1
79	一軸	349.61	349.58	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.646	2.647	2.636	0.4	1.1
80	一軸	349.70	349.67	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.643	2.644	2.633	0.4	1.1
81	一軸	349.79	349.76	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.641	2.642	2.631	0.4	1.1
82	圧裂	349.86	349.83	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.633	2.635	2.622	0.4	1.2
83	圧裂	349.91	349.88	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.633	2.634	2.623	0.4	1.2
84	圧裂	350.04	350.01	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.634	2.636	2.624	0.4	1.2
85	三軸(UU)	400.05	399.80	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.624	2.625	2.613	0.4	1.2
86	三軸(UU)	400.14	399.89	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.616	2.617	2.605	0.4	1.2
87	三軸(UU)	400.23	399.98	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.627	2.628	2.617	0.4	1.2
88	三軸(UU)	400.32	400.07	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.628	2.629	2.618	0.4	1.1
89	三軸(UU)	400.41	400.16	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.628	2.629	2.618	0.4	1.1
90	三軸(UU)	400.50	400.25	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.612	2.613	2.602	0.4	1.1
91	一軸	400.59	400.34	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.624	2.625	2.613	0.4	1.1
92	一軸	400.68	400.43	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.627	2.628	2.617	0.4	1.1
93	一軸	400.77	400.52	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.636	2.637	2.626	0.4	1.1
94	圧裂	401.03	400.77	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.613	2.614	2.602	0.5	1.3
95	圧裂	401.06	400.80	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.619	2.620	2.607	0.5	1.3
96	圧裂	401.12	400.86	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.626	2.626	2.615	0.4	1.1
97	三軸(UU)	441.04	440.20	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.628	2.629	2.618	0.4	1.1
98	三軸(UU)	441.13	440.29	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.626	2.627	2.616	0.4	1.1
99	三軸(UU)	441.22	440.38	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.634	2.635	2.625	0.3	1.1
100	三軸(UU)	441.31	440.47	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.631	2.633	2.622	0.4	1.1
101	三軸(UU)	441.40	440.55	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.632	2.634	2.622	0.4	1.2
102	三軸(UU)	441.49	440.64	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.631	2.633	2.621	0.4	1.2
103	一軸	441.58	440.73	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.638	2.639	2.629	0.3	1.0
104	一軸	441.67	440.82	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.628	2.629	2.619	0.4	1.1
105	一軸	441.76	440.91	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.640	2.641	2.631	0.4	1.0
106	圧裂	441.83	440.97	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.639	2.641	2.630	0.3	1.1
107	圧裂	441.93	441.07	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.5	2.631	2.632	2.621	0.4	1.1
108	圧裂	442.02	441.16	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.630	2.631	2.620	0.4	1.1
109	三軸(UU)	482.04	479.99	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.633	2.634	2.623	0.4	1.1
110	三軸(UU)	482.13	480.07	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.632	2.633	2.622	0.4	1.1
111	三軸(UU)	482.22	480.16	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.631	2.632	2.621	0.4	1.1
112	三軸(UU)	482.31	480.25	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.627	2.628	2.617	0.4	1.1
113	三軸(UU)	482.40	480.34	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.642	2.643	2.632	0.4	1.1
114	三軸(UU)	482.49	480.42	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.638	2.639	2.628	0.4	1.1
115	一軸	482.58	480.51	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.642	2.643	2.633	0.4	1.1
116	一軸	482.67	480.60	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.636	2.637	2.626	0.4	1.1
117	一軸	482.76	480.69	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.635	2.636	2.625	0.4	1.1
118	圧裂	482.83	480.76	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.637	2.639	2.628	0.4	1.1
119	圧裂	483.02	480.94	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.640	2.641	2.630	0.4	1.1
120	圧裂	483.07	480.99	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.631	2.632	2.621	0.4	1.2
121	三軸(UU)	562.05	557.84	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.620	2.620	2.609	0.4	1.1
122	三軸(UU)	562.14	557.92	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.620	2.621	2.610	0.4	1.1
123	三軸(UU)	562.23	558.01	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.617	2.618	2.607	0.4	1.1
124	三軸(UU)	562.50	558.27	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.637	2.638	2.627	0.4	1.1
125	三軸(UU)	562.59	558.36	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.634	2.634	2.624	0.4	1.1
126	三軸(UU)	562.69	558.46	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.634	2.634	2.623	0.4	1.1
127	一軸	562.79	558.56	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.630	2.630	2.619	0.4	1.1
128	一軸	562.89	558.65	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.629	2.629	2.619	0.4	1.1
129	一軸	563.06	558.82	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.640	2.640	2.629	0.4	1.1
130	圧裂	563.14	558.90	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.629	2.630	2.618	0.4	1.2
131	圧裂	563.18	558.94	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.631	2.632	2.621	0.4	1.1
132	圧裂	563.24	558.99	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.630	2.630	2.618	0.4	1.2
133	三軸(UU)	640.96	634.62	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.9	2.653	2.654	2.644	0.4	1.0
134	三軸(UU)	641.06	634.71	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.646	2.646	2.636	0.4	1.0
135	三軸(UU)	641.16	634.81	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.641	2.641	2.632	0.4	1.0
136	三軸(UU)	641.26	634.91	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.640	2.640	2.631	0.4	0.9
137	三軸(UU)	641.36	635.01	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.641	2.641	2.632	0.4	0.9
138	三軸(UU)	641.46	635.10	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.645	2.645	2.636	0.4	1.0
139	一軸	641.56	635.20	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.644	2.644	2.635	0.4	0.9
140	一軸	641.66	635.30	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.638	2.638	2.629	0.3	0.9
141	一軸	641.76	635.39	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.630	2.630	2.622	0.3	0.8
142	圧裂	641.84	635.47	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.641	2.641	2.632	0.3	0.9
143	圧裂	641.88	635.51	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.642	2.642	2.633	0.4	0.9
144	圧裂	641.94	635.57	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.642	2.642	2.632	0.4	0.9
145	三軸(UU)	727.05	718.38	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.639	2.639	2.632	0.3	0.8
146	三軸(UU)	727.14	718.47	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.641	2.641	2.633	0.3	0.8
147	三軸(UU)	727.23	718.56	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.9	2.646	2.646	2.638	0.3	0.8
148	三軸(UU)	727.32	718.64	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.645	2.645	2.637	0.3	0.8
149	圧裂	727.41	718.73	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.642	2.642	2.634	0.3	0.8
150	圧裂	727.45	718.77	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.635	2.636	2.626	0.4	1.1
151	圧裂	727.52	718.84	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.641	2.641	2.632	0.3	0.9
152	三軸(UU)	727.60	718.92	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.9	2.642	2.642	2.634	0.3	0.8
153	三軸(UU)	727.69	719.00	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.641	2.641	2.633	0.3	0.8
154	一軸	727.78	719.09	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.637	2.638	2.629	0.3	0.8
155	一軸	727.87	719.18	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.639	2.639	2.630	0.3	0.9
156	一軸	727.96	719.27	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.641	2.641	2.632	0.3	0.9
157	三軸(UU)	818.05	806.92	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.636	2.636	2.629	0.3	0.7
158	三軸(UU)	818.14	807.01	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.638	2.638	2.632	0.2	0.7

No.	試験工種	掘削深度 m	鉛直深度 m	岩種	分類	単位体積重量	みかけ比重	みかけ比重	みかけ比重	含水比	有効間隙率
						yt kN/m ³	自然	湿潤	乾燥	We %	ne %
159	三軸(UU)	818.23	807.10	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.637	2.637	2.630	0.3	0.7
160	三軸(UU)	818.32	807.19	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.636	2.636	2.629	0.3	0.7
161	三軸(UU)	818.41	807.27	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.641	2.642	2.635	0.2	0.7
162	三軸(UU)	818.50	807.36	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.639	2.639	2.632	0.2	0.6
163	一軸	818.59	807.45	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.638	2.639	2.632	0.2	0.6
164	一軸	818.96	807.81	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.636	2.636	2.630	0.2	0.6
165	一軸	819.37	808.21	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.641	2.641	2.634	0.3	0.7
166	圧裂	819.44	808.28	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.640	2.640	2.633	0.3	0.8
167	圧裂	819.94	808.76	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.638	2.639	2.630	0.3	0.8
168	圧裂	819.98	808.80	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.638	2.638	2.630	0.3	0.8
169	三軸(UU)	878.40	865.65	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.4	2.604	2.604	2.578	1.0	2.7
170	三軸(UU)	878.58	865.82	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.4	2.604	2.604	2.578	1.0	2.7
171	三軸(UU)	878.67	865.91	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.623	2.623	2.595	1.1	2.8
172	三軸(UU)	878.76	866.00	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.4	2.603	2.603	2.573	1.2	3.0
173	三軸(UU)	878.85	866.08	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.2	2.580	2.583	2.549	1.2	3.4
174	三軸(UU)	879.20	866.42	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.617	2.617	2.595	0.9	2.2
175	圧裂	879.27	866.75	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.5	2.620	2.620	2.602	0.7	1.8
176	圧裂	879.43	866.84	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.627	2.627	2.609	0.7	1.9
177	圧裂	879.47	866.93	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.5	2.617	2.618	2.595	0.8	2.3
178	一軸	879.54	866.49	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.5	2.611	2.612	2.588	0.9	2.3
179	一軸	879.63	866.65	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.5	2.615	2.616	2.595	0.8	2.1
180	一軸	879.72	866.69	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.4	2.600	2.600	2.579	0.8	2.1
181	三軸(UU)	985.04	969.41	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.623	2.623	2.613	0.4	1.0
182	三軸(UU)	985.13	969.49	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.622	2.622	2.611	0.4	1.1
183	三軸(UU)	985.22	969.58	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.620	2.620	2.607	0.5	1.3
184	三軸(UU)	985.31	969.67	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.621	2.621	2.610	0.4	1.1
185	三軸(UU)	985.40	969.76	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.624	2.624	2.614	0.4	1.0
186	三軸(UU)	985.49	969.84	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.624	2.624	2.614	0.4	1.0
187	圧裂	985.56	969.91	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.623	2.623	2.613	0.4	1.1
188	圧裂	985.63	969.98	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.621	2.621	2.610	0.4	1.1
189	圧裂	985.68	970.03	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.619	2.619	2.606	0.5	1.3
190	一軸	987.39	971.69	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.622	2.622	2.611	0.4	1.1
191	一軸	987.46	971.76	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.628	2.628	2.617	0.4	1.0
192	一軸	987.55	971.85	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.6	2.627	2.627	2.618	0.4	1.0
193	三軸(UU)	1020.04	1003.46	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.9	2.649	2.650	2.640	0.4	1.0
194	三軸(UU)	1020.55	1003.96	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.643	2.643	2.634	0.3	0.9
195	三軸(UU)	1020.64	1004.04	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.642	2.642	2.632	0.4	1.0
196	三軸(UU)	1020.71	1004.11	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.643	2.643	2.634	0.4	1.0
197	三軸(UU)	1020.82	1004.22	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.637	2.637	2.628	0.3	0.9
198	三軸(UU)	1020.89	1004.29	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.640	2.640	2.630	0.4	0.9
199	一軸	1021.04	1004.43	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.644	2.644	2.635	0.3	0.9
200	一軸	1021.13	1004.52	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.636	2.636	2.627	0.3	0.9
201	一軸	1021.24	1004.63	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.646	2.647	2.637	0.3	0.9
202	圧裂	1021.31	1004.70	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.8	2.646	2.646	2.637	0.3	0.9
203	圧裂	1021.34	1004.73	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.645	2.645	2.636	0.3	0.9
204	圧裂	1021.39	1004.77	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	25.7	2.642	2.642	2.632	0.3	0.9

2. 全試験体の物理試験結果（弾性波速度等測定）

No.	試験工種	掘削深度 m	鉛直深度 m	岩種	分類	P波速度		S波速度		動弾性係数	動せん断弾性係数	動ポアソン比
						V _p	V _s	E _d	G _d	vd		
						km/sec	km/sec	GPa	GPa	-		
1	三軸(CU)	82.19	82.19	泥質細粒砂岩	堆積岩	2.38	1.09	6.4	2.3	0.367		
2	三軸(CU)	82.33	82.33	泥質細粒砂岩	堆積岩	2.32	1.08	6.1	2.3	0.362		
3	三軸(CU)	82.57	82.57	泥質細粒砂岩	堆積岩	2.21	1.02	5.2	1.9	0.365		
4	三軸(CU)	80.67	80.67	泥質細粒砂岩	堆積岩	2.31	1.05	5.7	2.1	0.370		
5	三軸(CU)	80.81	80.81	泥質細粒砂岩	堆積岩	2.36	1.07	6.0	2.2	0.371		
6	三軸(CU)	81.07	81.07	泥質細粒砂岩	堆積岩	2.41	1.11	6.6	2.4	0.365		
7	一軸	81.58	81.58	泥質細粒砂岩	堆積岩	2.49	1.11	6.7	2.5	0.376		
8	一軸	81.78	81.78	泥質細粒砂岩	堆積岩	2.57	1.12	6.9	2.5	0.383		
9	一軸	81.92	81.92	泥質細粒砂岩	堆積岩	2.49	1.12	6.8	2.5	0.373		
10	三軸(UU)	167.05	167.05	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.18	2.86	54.8	21.4	0.281		
11	三軸(UU)	167.14	167.14	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.23	2.84	54.7	21.2	0.291		
12	三軸(UU)	167.23	167.23	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.21	2.90	56.4	22.1	0.276		
13	三軸(UU)	167.32	167.32	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.22	2.93	57.2	22.5	0.270		
14	三軸(UU)	167.41	167.41	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.16	2.85	54.8	21.4	0.281		
15	三軸(UU)	167.50	167.50	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.15	2.86	54.9	21.5	0.277		
16	一軸	167.59	167.59	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.25	2.91	57.0	22.3	0.278		
17	一軸	167.68	167.68	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.17	2.95	57.7	22.9	0.259		
18	一軸	167.77	167.77	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.26	2.94	57.8	22.7	0.273		
19	一軸	198.60	198.59	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	3.74	1.58	17.0	6.1	0.391		
20	一軸	198.67	198.66	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	3.80	1.68	19.1	6.9	0.379		
21	一軸	198.95	198.94	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	3.85	1.66	18.7	6.7	0.386		
22	三軸(UU)	199.40	199.39	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	3.90	1.67	19.0	6.9	0.388		
23	三軸(UU)	199.48	199.47	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	3.99	1.79	21.6	7.9	0.374		
24	三軸(UU)	199.59	199.58	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	4.16	1.77	21.5	7.7	0.389		
25	三軸(UU)	199.68	199.67	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	3.97	1.72	20.1	7.3	0.384		
26	三軸(UU)	199.79	199.78	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	4.06	1.76	21.0	7.6	0.384		
27	三軸(UU)	199.86	199.85	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	3.85	1.59	17.2	6.2	0.397		
28	三軸(UU)	228.05	228.03	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.31	3.05	61.4	24.5	0.254		
29	三軸(UU)	228.16	228.14	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.28	2.96	58.7	23.1	0.271		
30	三軸(UU)	228.25	228.23	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.34	2.99	59.5	23.4	0.272		
31	三軸(UU)	228.34	228.32	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.36	3.04	61.1	24.2	0.263		
32	三軸(UU)	228.43	228.41	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.34	3.10	62.8	25.2	0.246		
33	三軸(UU)	228.52	228.50	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.31	3.08	62.1	24.9	0.246		
34	一軸	228.61	228.59	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.33	3.08	62.2	24.9	0.249		
35	一軸	228.70	228.68	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.30	3.08	62.0	24.9	0.245		
36	一軸	228.79	228.77	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.38	3.09	62.7	25.0	0.254		
37	一軸	259.94	259.92	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.61	2.98	60.7	23.3	0.303		
38	一軸	260.15	260.13	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.66	3.09	64.4	25.0	0.288		
39	一軸	260.24	260.22	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.66	3.03	62.6	24.1	0.299		
40	三軸(UU)	260.31	260.29	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.64	3.08	64.1	24.9	0.288		
41	三軸(UU)	260.40	260.38	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.67	3.11	65.3	25.4	0.285		
42	三軸(UU)	260.49	260.47	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.63	3.12	65.4	25.6	0.278		
43	三軸(UU)	260.60	260.58	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.70	3.10	65.3	25.3	0.290		
44	三軸(UU)	260.67	260.65	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.66	3.13	66.0	25.8	0.280		
45	三軸(UU)	260.78	260.76	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.69	3.11	65.4	25.4	0.287		
46	三軸(UU)	299.05	299.03	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.15	2.84	54.4	21.2	0.282		
47	三軸(UU)	299.14	299.12	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.06	2.85	54.0	21.3	0.268		
48	三軸(UU)	299.23	299.21	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.16	2.83	54.2	21.1	0.285		
49	三軸(UU)	299.32	299.30	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.18	2.84	54.7	21.3	0.285		
50	三軸(UU)	299.41	299.39	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.10	2.85	54.5	21.4	0.273		
51	三軸(UU)	299.50	299.48	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.12	2.90	55.9	22.1	0.264		
52	一軸	299.59	299.57	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.07	2.84	53.9	21.2	0.271		
53	一軸	299.68	299.66	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.03	2.83	53.3	21.0	0.268		
54	一軸	299.86	299.84	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.02	2.85	54.0	21.4	0.262		
55	三軸(UU)	349.07	349.04	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.93	2.38	40.2	14.9	0.348		
56	三軸(UU)	349.16	349.13	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.83	2.38	39.7	14.8	0.340		
57	三軸(UU)	349.25	349.22	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.07	2.55	45.3	17.0	0.331		
58	三軸(UU)	349.34	349.31	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.17	2.58	46.4	17.4	0.334		
59	三軸(UU)	349.43	349.40	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.30	2.54	45.4	16.8	0.351		
60	三軸(UU)	349.52	349.49	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.26	2.54	45.6	16.9	0.348		
61	一軸	349.61	349.58	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.14	2.53	45.0	16.8	0.340		
62	一軸	349.70	349.67	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.13	2.53	45.0	16.8	0.339		
63	一軸	349.79	349.76	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.03	2.54	44.9	16.9	0.329		
64	三軸(UU)	400.05	399.80	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.60	2.37	38.5	14.6	0.319		
65	三軸(UU)	400.14	399.89	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.53	2.34	37.7	14.3	0.318		
66	三軸(UU)	400.23	399.98	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.58	2.44	40.6	15.6	0.302		
67	三軸(UU)	400.32	400.07	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.59	2.49	41.8	16.2	0.291		
68	三軸(UU)	400.41	400.16	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.60	2.46	41.1	15.8	0.300		
69	三軸(UU)	400.50	400.25	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.60	2.37	38.8	14.7	0.319		
70	一軸	400.59	400.34	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.60	2.49	41.9	16.2	0.293		
71	一軸	400.68	400.43	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.54	2.51	42.2	16.5	0.280		
72	一軸	400.77	400.52	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.64	2.51	42.7	16.5	0.293		
73	三軸(UU)	441.04	440.20	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.19	2.49	43.7	16.2	0.350		
74	三軸(UU)	441.13	440.29	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.18	2.60	47.2	17.7	0.332		
75	三軸(UU)	441.22	440.38	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.12	2.47	43.1	16.0	0.348		
76	三軸(UU)	441.31	440.47	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.21	2.49	43.8	16.2	0.352		

No.	試験工種	掘削深度 m	鉛直深度 m	岩種	分類	P波速度		S波速度		動弾性係数		動ポアソン比 vd
						V p	V s	E d	G d			
						km/sec	km/sec	GPa	GPa			
77	三軸(UU)	441.40	440.55	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.22	2.52	44.8	16.6	0.348		
78	三軸(UU)	441.49	440.64	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.17	2.41	41.4	15.2	0.361		
79	一軸	441.58	440.73	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.25	2.51	44.6	16.5	0.352		
80	一軸	441.67	440.82	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.19	2.54	45.1	16.8	0.343		
81	一軸	441.76	440.91	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.26	2.59	47.2	17.6	0.340		
82	三軸(UU)	482.04	479.99	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.13	2.36	39.6	14.5	0.366		
83	三軸(UU)	482.13	480.07	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.27	2.49	43.9	16.2	0.356		
84	三軸(UU)	482.22	480.16	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.26	2.57	46.5	17.3	0.343		
85	三軸(UU)	482.31	480.25	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.30	2.45	42.8	15.7	0.364		
86	三軸(UU)	482.40	480.34	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.25	2.49	44.2	16.3	0.355		
87	三軸(UU)	482.49	480.42	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.16	2.54	45.3	16.9	0.340		
88	一軸	482.58	480.51	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.00	2.42	41.5	15.4	0.347		
89	一軸	482.67	480.60	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.23	2.46	42.9	15.8	0.358		
90	一軸	482.76	480.69	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.12	2.53	45.0	16.8	0.338		
91	三軸(UU)	562.05	557.84	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.47	2.87	56.3	21.5	0.310		
92	三軸(UU)	562.14	557.92	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.55	2.90	57.7	22.0	0.312		
93	三軸(UU)	562.23	558.01	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.69	2.83	55.8	20.9	0.336		
94	三軸(UU)	562.50	558.27	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.56	2.79	54.6	20.5	0.332		
95	三軸(UU)	562.59	558.36	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.47	2.69	51.0	19.0	0.341		
96	三軸(UU)	562.69	558.46	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.43	2.62	48.5	18.0	0.348		
97	一軸	562.79	558.56	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.51	2.81	54.5	20.6	0.324		
98	一軸	562.89	558.65	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.37	2.72	51.5	19.4	0.327		
99	一軸	563.06	558.82	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.34	2.74	52.3	19.8	0.321		
100	三軸(UU)	640.96	634.62	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.90	3.19	69.6	26.9	0.293		
101	三軸(UU)	641.06	634.71	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.94	3.21	70.1	27.1	0.294		
102	三軸(UU)	641.16	634.81	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.98	3.18	69.3	26.6	0.303		
103	三軸(UU)	641.26	634.91	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.04	3.23	71.2	27.4	0.300		
104	三軸(UU)	641.36	635.01	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.96	3.19	69.6	26.8	0.299		
105	三軸(UU)	641.46	635.10	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.97	3.18	69.3	26.6	0.302		
106	一軸	641.56	635.20	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.03	3.20	70.4	27.0	0.304		
107	一軸	641.66	635.30	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.10	3.23	71.5	27.4	0.305		
108	一軸	641.76	635.39	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.16	3.33	75.1	29.0	0.294		
109	三軸(UU)	727.05	718.38	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.03	3.32	74.4	29.0	0.282		
110	三軸(UU)	727.14	718.47	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.02	3.35	75.5	29.6	0.276		
111	三軸(UU)	727.23	718.56	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.04	3.37	76.2	29.9	0.274		
112	三軸(UU)	727.32	718.64	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.03	3.32	74.4	29.0	0.282		
113	三軸(UU)	727.60	718.92	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.98	3.36	75.6	29.8	0.269		
114	三軸(UU)	727.69	719.00	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.04	3.30	73.9	28.7	0.287		
115	一軸	727.78	719.09	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.05	3.36	75.9	29.7	0.277		
116	一軸	727.87	719.18	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.98	3.32	74.1	29.0	0.277		
117	一軸	727.96	719.27	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.03	3.30	73.8	28.7	0.286		
118	三軸(UU)	818.05	806.92	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.90	3.24	70.9	27.6	0.284		
119	三軸(UU)	818.14	807.01	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.98	3.25	71.7	27.8	0.290		
120	三軸(UU)	818.23	807.10	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.95	3.25	71.3	27.7	0.287		
121	三軸(UU)	818.32	807.19	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.99	3.26	72.0	27.9	0.290		
122	三軸(UU)	818.41	807.27	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.00	3.27	72.4	28.1	0.289		
123	三軸(UU)	818.50	807.36	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.98	3.27	72.1	28.0	0.287		
124	一軸	818.59	807.45	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.93	3.26	71.6	27.9	0.283		
125	一軸	818.96	807.81	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.99	3.29	72.9	28.4	0.284		
126	一軸	819.37	808.21	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.96	3.27	72.2	28.1	0.285		
127	三軸(UU)	878.40	865.65	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.26	2.85	54.3	21.0	0.292		
128	三軸(UU)	878.58	865.82	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.33	2.84	54.4	20.9	0.302		
129	三軸(UU)	878.67	865.91	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.24	2.66	49.1	18.5	0.326		
130	三軸(UU)	878.76	866.00	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.24	2.71	50.0	19.0	0.317		
131	三軸(UU)	878.85	866.08	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.05	2.51	43.3	16.2	0.336		
132	三軸(UU)	879.20	866.42	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.53	2.70	51.6	19.2	0.344		
133	一軸	879.54	866.75	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.22	2.69	49.6	18.8	0.319		
134	一軸	879.63	866.84	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.29	2.76	52.0	19.8	0.313		
135	一軸	879.72	866.93	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.35	2.80	53.2	20.3	0.311		
136	三軸(UU)	985.04	969.41	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.79	3.15	66.8	25.9	0.290		
137	三軸(UU)	985.13	969.49	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.91	3.16	67.9	26.1	0.300		
138	三軸(UU)	985.22	969.58	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.88	3.38	74.7	29.8	0.253		
139	三軸(UU)	985.31	969.67	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.95	3.28	72.0	28.1	0.282		
140	三軸(UU)	985.40	969.76	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.84	3.28	71.4	28.1	0.270		
141	三軸(UU)	985.49	969.84	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.89	3.35	74.1	29.4	0.261		
142	一軸	987.39	971.69	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.84	3.35	73.5	29.3	0.255		
143	一軸	987.46	971.76	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.84	3.35	73.5	29.3	0.255		
144	一軸	987.55	971.85	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.73	3.27	70.3	27.9	0.259		
145	三軸(UU)	1020.04	1003.46	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.80	3.23	70.1	27.5	0.275		
146	三軸(UU)	1020.55	1003.96	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.70	3.31	71.8	28.8	0.246		
147	三軸(UU)	1020.64	1004.04	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.79	3.23	70.1	27.5	0.274		
148	三軸(UU)	1020.71	1004.11	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.75	3.35	73.6	29.6	0.243		
149	三軸(UU)	1020.82	1004.22	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.75	3.22	69.2	27.2	0.272		
150	三軸(UU)	1020.89	1004.29	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.83	3.15	67.5	26.1	0.294		
151	一軸	1021.04	1004.43	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.92	3.16	68.4	26.3	0.301		
152	一軸	1021.13	1004.52	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.89	3.21	69.9	27.1	0.289		
153	一軸	1021.24	1004.63	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.91	3.25	71.3	27.8	0.283		

3. 全試験体の力学試験結果（一軸圧縮試験）

No.	試験工程	掘削深度	鉛直深度	岩種	分類	一軸圧縮強さ	接線弾性係数	静ポアソン比	破壊ひずみ
		m	m			q _u	E _{t,50}	v _u	(変位計)
						MPa	GPa	-	%
1	一軸	82.19	82.19	泥質細粒砂岩	堆積岩	12.2	4.6	0.233	0.3200
2	一軸	82.33	82.33	泥質細粒砂岩	堆積岩	12.0	4.2	0.320	0.3400
3	一軸	82.57	82.57	泥質細粒砂岩	堆積岩	12.8	4.7	0.317	0.3300
4	一軸	167.59	167.59	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	178.0	53.3	0.278	0.4900
5	一軸	167.68	167.68	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	186.0	58.3	0.271	0.4400
6	一軸	167.77	167.77	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	191.0	52.1	0.253	0.4700
7	一軸	198.60	198.59	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	75.2	20.3	0.264	0.4100
8	一軸	198.67	198.66	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	76.6	21.0	0.222	0.4500
9	一軸	198.95	198.94	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	63.7	21.3	0.242	0.3800
10	一軸	228.61	228.59	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	197.0	51.7	0.271	0.4900
11	一軸	228.70	228.68	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	195.0	53.6	0.253	0.4900
12	一軸	228.79	228.77	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	182.0	54.2	0.240	0.4400
13	一軸	259.94	259.92	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	187.0	54.4	0.235	0.4400
14	一軸	260.15	260.13	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	195.0	60.1	0.250	0.4500
15	一軸	260.24	260.22	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	207.0	58.9	0.284	0.4600
16	一軸	299.59	299.57	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	170.0	53.0	0.354	0.4100
17	一軸	299.68	299.66	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	168.0	53.4	0.340	0.4200
18	一軸	299.86	299.84	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	168.0	53.5	0.331	0.4000
19	一軸	349.61	349.58	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	159.0	47.1	0.306	0.4200
20	一軸	349.70	349.67	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	138.0	48.8	0.332	0.3900
21	一軸	349.79	349.76	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	157.0	44.8	0.327	0.4300
22	一軸	400.59	400.34	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	172.0	50.9	0.285	0.4400
23	一軸	400.68	400.43	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	172.0	50.1	0.265	0.4500
24	一軸	400.77	400.52	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	183.0	52.2	0.304	0.4700
25	一軸	441.58	440.73	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	121.0	41.6	0.256	0.3700
26	一軸	441.67	440.82	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	128.0	46.7	0.237	0.3300
27	一軸	441.76	440.91	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	145.0	46.4	0.272	0.3700
28	一軸	482.58	480.51	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	153.0	49.6	0.212	0.4100
29	一軸	482.67	480.60	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	144.0	54.1	0.352	0.4000
30	一軸	482.76	480.69	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	132.0	48.2	0.312	0.3500
31	一軸	562.79	558.56	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	160.0	57.0	0.255	0.4100
32	一軸	562.89	558.65	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	136.0	45.6	0.267	0.3700
33	一軸	563.06	558.82	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	143.0	49.6	0.272	0.3700
34	一軸	641.56	635.20	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	193.0	62.0	0.207	0.4400
35	一軸	641.66	635.30	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	183.0	61.1	0.255	0.4100
36	一軸	641.76	635.39	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	187.0	67.9	0.274	0.4200
37	一軸	727.78	719.09	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	206.0	57.3	0.269	0.4700
38	一軸	727.87	719.18	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	194.0	59.2	0.279	0.4300
39	一軸	727.96	719.27	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	205.0	57.6	0.273	0.4900
40	一軸	818.59	807.45	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	208.0	62.8	0.264	0.4500
41	一軸	818.96	807.81	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	191.0	63.3	0.215	0.4100
42	一軸	819.37	808.21	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	202.0	60.4	0.264	0.4400
43	一軸	879.54	866.75	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	169.0	51.3	0.194	0.4300
44	一軸	879.63	866.84	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	172.0	56.4	0.185	0.4000
45	一軸	879.72	866.93	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	183.0	53.5	0.168	0.4300
46	一軸	987.39	971.69	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	212.0	55.2	0.233	0.4700
47	一軸	987.46	971.76	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	189.0	63.0	0.205	0.4200
48	一軸	987.55	971.85	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	172.0	59.6	0.248	0.4100
49	一軸	1021.04	1004.43	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	133.0	49.8	0.292	0.4000
50	一軸	1021.13	1004.52	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	152.0	46.0	0.262	0.4000
51	一軸	1021.24	1004.63	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	145.0	48.1	0.209	0.3700

4. 全試験体の力学試験結果（圧裂引張試験）

No.	試験工種	掘削深度	鉛直深度	岩種	分類	圧裂引張強さ				
		m	m			σ_t MPa				
1	圧裂	80.91	80.91	泥質細粒砂岩	堆積岩	1.00				
2	圧裂	80.98	80.98	泥質細粒砂岩	堆積岩	0.971				
3	圧裂	82.03	82.03	泥質細粒砂岩	堆積岩	1.04				
4	圧裂	167.84	167.84	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.22				
5	圧裂	167.88	167.88	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.18				
6	圧裂	167.93	167.93	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.08				
7	圧裂	199.93	199.92	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	2.74				
8	圧裂	200.09	200.07	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	2.12				
9	圧裂	200.25	200.23	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	2.80				
10	圧裂	228.86	228.84	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.50				
11	圧裂	228.92	228.90	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.62				
12	圧裂	228.95	228.93	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.67				
13	圧裂	260.83	260.81	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	7.56				
14	圧裂	260.87	260.85	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	7.97				
15	圧裂	260.97	260.95	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	7.01				
16	圧裂	299.75	299.73	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.33				
17	圧裂	299.93	299.91	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.79				
18	圧裂	299.97	299.95	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.62				
19	圧裂	349.86	349.83	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.04				
20	圧裂	349.91	349.88	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.76				
21	圧裂	350.04	350.01	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.58				
22	圧裂	401.03	400.77	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.56				
23	圧裂	401.06	400.80	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.60				
24	圧裂	401.12	400.86	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.53				
25	圧裂	441.83	440.97	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.31				
26	圧裂	441.93	441.07	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.25				
27	圧裂	442.02	441.16	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.83				
28	圧裂	482.83	480.76	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	3.53				
29	圧裂	483.02	480.94	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	3.85				
30	圧裂	483.07	480.99	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.57				
31	圧裂	563.14	558.90	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	7.51				
32	圧裂	563.18	558.94	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.11				
33	圧裂	563.24	558.99	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.18				
34	圧裂	641.84	635.47	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	7.12				
35	圧裂	641.88	635.51	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	7.96				
36	圧裂	641.94	635.57	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	4.79				
37	圧裂	727.41	718.73	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	9.24				
38	圧裂	727.45	718.77	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.45				
39	圧裂	727.52	718.84	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	12.5				
40	圧裂	819.44	808.28	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	9.17				
41	圧裂	819.94	808.76	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	7.86				
42	圧裂	819.98	808.80	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	7.76				
43	圧裂	879.27	866.49	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	5.85				
44	圧裂	879.43	866.65	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	8.74				
45	圧裂	879.47	866.69	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.63				
46	圧裂	985.56	969.91	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10.5				
47	圧裂	985.63	969.98	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	7.28				
48	圧裂	985.68	970.03	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.49				
49	圧裂	1021.31	1004.70	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	8.20				
50	圧裂	1021.34	1004.73	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	6.66				
51	圧裂	1021.39	1004.77	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	8.75				

5. 全試験体の力学試験結果（三軸圧縮試験）

堆積岩に対する三軸(CU) 試験									
No.	試験工種	掘削深度 m	鉛直深度 m	岩種	分類	圧密圧力	CU圧縮強さ	接線弾性係数	静ポアソン比
						MPa	($\sigma_a - \sigma_r$)max MPa	Et,50 GPa	vt
1	三軸(CU)	80.67	80.67	泥質細粒砂岩	堆積岩	1.0	12.4	3.52	0.286
2	三軸(CU)	80.81	80.81	泥質細粒砂岩	堆積岩	1.0	11.2	4.51	0.377
3	三軸(CU)	81.07	81.07	泥質細粒砂岩	堆積岩	2.0	12.5	4.45	0.330
4	三軸(CU)	81.58	81.58	泥質細粒砂岩	堆積岩	2.0	13.2	4.53	0.330
5	三軸(CU)	81.78	81.78	泥質細粒砂岩	堆積岩	4.0	15.4	4.51	0.365
6	三軸(CU)	81.92	81.92	泥質細粒砂岩	堆積岩	4.0	16.2	5.13	0.320
結晶質岩に対する三軸(UU) 試験									
No.	試験工種	掘削深度 m	鉛直深度 m	岩種	分類	側方向応力	UU圧縮強さ	接線弾性係数	静ポアソン比
						MPa	($\sigma_a - \sigma_r$)max MPa	Et,50 GPa	vt
7	三軸(UU)	167.05	167.05	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	297	56.5	0.229
8	三軸(UU)	167.14	167.14	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	322	54.4	0.274
9	三軸(UU)	199.40	199.39	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	10	110	21.2	0.252
10	三軸(UU)	199.48	199.47	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	10	105	20.3	0.242
11	三軸(UU)	228.05	228.03	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	308	56.8	0.220
12	三軸(UU)	228.16	228.14	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	316	54.7	0.321
13	三軸(UU)	260.31	260.29	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	308	58.1	0.234
14	三軸(UU)	260.40	260.38	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	321	56.8	0.297
15	三軸(UU)	299.05	299.03	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	310	59.0	0.306
16	三軸(UU)	299.14	299.12	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	324	60.4	0.293
17	三軸(UU)	349.07	349.04	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	289	55.2	0.335
18	三軸(UU)	349.16	349.13	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	286	51.6	0.242
19	三軸(UU)	400.05	399.80	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	320	53.0	0.234
20	三軸(UU)	400.14	399.89	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	332	54.7	0.261
21	三軸(UU)	441.04	440.20	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	282	53.2	0.355
22	三軸(UU)	441.13	440.29	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	306	57.1	0.398
23	三軸(UU)	482.04	479.99	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	293	54.3	0.399
24	三軸(UU)	482.13	480.07	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	290	54.2	0.373
25	三軸(UU)	562.05	557.84	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	301	55.8	0.330
26	三軸(UU)	562.14	557.92	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	294	56.9	0.273
27	三軸(UU)	640.96	634.62	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	298	64.3	0.275
28	三軸(UU)	641.06	634.71	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	302	64.5	0.271
29	三軸(UU)	727.05	718.38	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	304	57.0	0.306
30	三軸(UU)	727.14	718.47	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	305	57.9	0.306
31	三軸(UU)	818.05	806.92	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	301	62.7	0.280
32	三軸(UU)	818.14	807.01	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	328	65.0	0.250
33	三軸(UU)	878.40	865.65	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	281	51.1	0.285
34	三軸(UU)	878.58	865.82	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	299	58.8	0.237
35	三軸(UU)	985.04	969.41	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	324	60.6	0.237
36	三軸(UU)	985.13	969.49	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	316	56.1	0.268
37	三軸(UU)	1020.04	1003.46	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	263	51.2	0.343
38	三軸(UU)	1020.55	1003.96	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	10	266	55.1	0.311
39	三軸(UU)	167.23	167.23	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	412	57.1	0.331
40	三軸(UU)	167.32	167.32	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	411	57.0	0.350
41	三軸(UU)	199.59	199.58	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	20	129	20.7	0.272
42	三軸(UU)	199.68	199.67	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	20	128	21.2	0.277
43	三軸(UU)	228.25	228.23	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	402	56.6	0.294
44	三軸(UU)	228.34	228.32	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	395	55.7	0.296
45	三軸(UU)	260.49	260.47	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	400	58.4	0.283
46	三軸(UU)	260.60	260.58	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	393	59.7	0.284
47	三軸(UU)	299.23	299.21	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	398	60.0	0.292
48	三軸(UU)	299.32	299.30	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	413	59.2	0.284
49	三軸(UU)	349.25	349.22	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	394	55.9	0.312
50	三軸(UU)	349.34	349.31	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	370	54.5	0.350
51	三軸(UU)	400.23	399.98	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	424	59.5	0.308
52	三軸(UU)	400.32	400.07	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	432	62.1	0.317
53	三軸(UU)	441.22	440.38	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	374	54.0	0.320
54	三軸(UU)	441.31	440.47	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	380	51.1	0.372
55	三軸(UU)	482.22	480.16	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	373	60.4	0.366
56	三軸(UU)	482.31	480.25	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	380	55.1	0.329
57	三軸(UU)	562.23	558.01	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	393	58.4	0.312
58	三軸(UU)	562.50	558.27	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	368	57.4	0.295
59	三軸(UU)	641.16	634.81	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	389	58.2	0.264
60	三軸(UU)	641.26	634.91	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	384	60.4	0.251
61	三軸(UU)	727.23	718.56	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	381	57.2	0.303
62	三軸(UU)	727.32	718.64	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	354	59.1	0.273
63	三軸(UU)	818.23	807.10	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	397	57.6	0.250
64	三軸(UU)	818.32	807.19	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	406	61.4	0.252
65	三軸(UU)	878.67	865.91	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	318	55.4	0.251
66	三軸(UU)	878.76	866.00	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	340	45.9	0.291
67	三軸(UU)	985.22	969.58	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	421	57.9	0.301
68	三軸(UU)	985.31	969.67	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	417	61.4	0.322
69	三軸(UU)	1020.64	1004.04	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	331	54.4	0.262
70	三軸(UU)	1020.71	1004.11	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	20	327	49.1	0.251

結晶質岩に対する三軸(UU) 試験									
No.	試験工種	掘削深度 m	鉛直深度 m	岩 種	分 類	側方向応力	UU圧縮強さ	接線静弾性係数	静ポアソン比
						MPa	($\sigma_a - \sigma_r$)max MPa	Et,50 GPa	vt
									-
71	三軸(UU)	167.41	167.41	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	460	54.2	0.318
72	三軸(UU)	167.50	167.50	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	462	57.2	0.298
73	三軸(UU)	199.79	199.78	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	30	149	22.1	0.269
74	三軸(UU)	199.86	199.85	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩(軟質)	30	146	23.5	0.339
75	三軸(UU)	228.43	228.41	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	475	58.2	0.312
76	三軸(UU)	228.52	228.50	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	478	58.1	0.303
77	三軸(UU)	260.67	260.65	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	465	54.5	0.287
78	三軸(UU)	260.78	260.76	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	449	58.0	0.312
79	三軸(UU)	299.41	299.39	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	475	61.0	0.328
80	三軸(UU)	299.50	299.48	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	470	61.9	0.317
81	三軸(UU)	349.43	349.40	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	459	54.0	0.316
82	三軸(UU)	349.52	349.49	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	435	57.7	0.203
83	三軸(UU)	400.41	400.16	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	494	58.6	0.318
84	三軸(UU)	400.50	400.25	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	485	54.4	0.313
85	三軸(UU)	441.40	440.55	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	446	57.3	0.290
86	三軸(UU)	441.49	440.64	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	446	53.3	0.369
87	三軸(UU)	482.40	480.34	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	426	57.7	0.326
88	三軸(UU)	482.49	480.42	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	434	57.6	0.265
89	三軸(UU)	562.59	558.36	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	426	55.2	0.314
90	三軸(UU)	562.69	558.46	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	445	53.4	0.300
91	三軸(UU)	641.36	635.01	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	459	64.7	0.290
92	三軸(UU)	641.46	635.10	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	412	58.9	0.261
93	三軸(UU)	727.60	718.92	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	461	56.0	0.285
94	三軸(UU)	727.69	719.00	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	447	57.8	0.265
95	三軸(UU)	818.41	807.27	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	460	58.9	0.278
96	三軸(UU)	818.50	807.36	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	467	62.6	0.225
97	三軸(UU)	878.85	866.08	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	384	52.1	0.225
98	三軸(UU)	879.20	866.42	粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	425	60.1	0.229
99	三軸(UU)	985.40	969.76	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	484	58.5	0.307
100	三軸(UU)	985.49	969.84	中粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	481	58.9	0.282
101	三軸(UU)	1020.82	1004.22	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	403	58.3	0.353
102	三軸(UU)	1020.89	1004.29	中～粗粒黒雲母花崗岩	花崗岩	30	392	54.6	0.293

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	s ⁻¹	s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光照度	ルーメン	lm	cd sr ^(f)	cd
放射線量	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射線量の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	s ⁻¹	s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー当量, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat	s ⁻¹ mol	s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についての、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみに使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で「radioactivity」と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² = s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
表面電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ = m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ = kg s ⁻³
	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ³ s ⁻¹ mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ⁻¹² cm ²)/2=10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベベル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁻⁴ cd m ⁻²
フォトル	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² m s ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ⁻² =10 ⁻³ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≙ (10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「≙」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 f=フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ) 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

