JAEA-Research
2013-044

超深地層研究所計画（岩盤力学に関する調査研究）深度300mおよび深度400mにおける岩盤力学調査

Mizunami Underground Research Laboratory Project - Rock Mechanical Investigations In Situ Stress Measurements and Laboratory Tests using Core on the GL.-300m and GL.-400m Level of Research Gallery

丹野 剛男　佐藤 稔紀　真田 祐幸　引間 亮一
Takeo TANNO, Toshinori SATO, Hiroyuki SANADA and Ryoichi HIKIMA

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

February 2014
Japan Atomic Energy Agency
日本原子力研究開発機構

JAEA-Research

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, 2014

JAEA-Research 2013-044

超深地層研究所計画（岩盤力学に関する調査研究）
深度 300m および深度 400m 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
丹野　剛男*[1]、佐藤　稔紀、真田　祐幸、引間　亮一*[2]

(2013 年 10 月 31 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建設中の瑞浪超深地層研究所で実施している結晶質岩を対象とした研究プロジェクトである。本研究プロジェクトは、研究坑道の建設工程やこれに伴う調査研究の課題、対象、空間スケールの違いを考慮して、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 段階に区分して調査研究を進めている。現在は第 2 段階および第 3 段階の調査研究を進めている。

岩盤力学に関する調査研究では、「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」に関して、安全評価の観点から、「掘削影響領域の地質環境特性の把握」を個別目標に設定しており、設定された目標に対して、(ⅰ)掘削影響領域の範囲の把握、(ⅱ)掘削影響領域の物理・力学特性分布の把握、(ⅲ)掘削影響領域の応力状態の把握を課題に掲げている。また、地下空洞の設計・施工の観点から、「地下空洞の力学安定性の把握」を個別目標に設定しており、設定された目標に対して、(ⅳ)応力場の把握、(ⅴ)岩盤の物理・力学特性の把握、(ⅵ)不連続構造などの有無の把握を課題に掲げている 。

本報告は、(ⅳ)応力場の把握および(ⅴ)岩盤の物理・力学特性の把握を目的として、深度 300m および深度 400m で実施した以下に示す岩盤力学に関する調査研究の成果をまとめたものである。

①深度 300m および深度 400m を対象とした室内物理・力学試験
②深度 300m における円錐孔底ひずみ法による初期応力測定
③深度 300m および深度 400m におけるボーリングコアを用いた初期応力測定

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
＊1 株式会社３D 地科学研究所
＊2 西松建設株式会社

Mizunami Underground Research Laboratory Project – Rock Mechanical Investigations In Situ Stress Measurements and Laboratory Tests using Core on the GL.-300m and GL.-400m Level of Research Gallery

Takeo TANNO＊1, Toshinori SATO, Hiroyuki SANADA and Ryoichi HIKIMA＊2

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

(Received October 31, 2013)

In order to establish the scientific and technological basis for geological disposal of high-level radioactive waste, Japan Atomic Energy Agency (JAEA) is pursuing the geoscientific research project namely the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU project) in crystalline rock environment at the Tono Geoscience Center (TGC). In the MIU Project, geoscientific research has being carried out in three overlapping phases; Surface-based Investigation Phase (Phase I: FY1996 - 2004), Construction Phase (Phase II: FY2004- in progress) and Operation Phase (Phase III: FY2010- in progress).

In rock mechanical investigations, the research aims at "Characterization of geological environment in the Excavation Disturbed Zone (EDZ)" from the viewpoint of safety assessment. The research topics are as follows: (i) size and structures, (ii) petrophysical/geomechanical properties, and (iii) stress state of the EDZ. The research also aims at "Characterization of geomechanical stability around tunnels " from the viewpoint of design and construction of underground facilities. For the research, the specific data: (iv) local stress regime, (v) spatial variability of petrophysical/geomechanical properties of rocks, and (vi) distribution of discontinuities intersecting tunnels are required.

This report presents the results of following rock mechanical investigations conducted at the GL.-300m and GL.-400m Level of Research Gallery.

1) Laboratory tests using cores and block samples obtained at the GL.-300m and GL.-400m Gallery,
2) In-situ stress measurement using Compact Conical-ended Boerhole Overcoring (CCBO) method at the GL.-300m Stage,
3) In-situ stress measurements using core-based methods at the GL.-300m and GL.-400m Gallery.

Keywords: Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) Project, Laboratory Tests, Compact Conical-ended Borehole Overcoring (CCBO), In-Situ Stress Measurements using Core-based Method

---

＊1 3D Geoscience, Inc.
＊2 Nishimatsu Construction Co., Ltd.

目　次

1. はじめに 1
2. 研究所の概要 2
3. 実施内容 4
4. 室内物理・力学試験 6
5. 円錐孔底ひずみ法による初期応力測定 10
5.1 目的および実施内容 10
5.2 測定手法の特色 10
5.3 円錐孔底ひずみ法の特徴 10
5.4 円錐孔底ひずみ法による初期応力測定の概要 11
5.4.1 作業手順 11
5.4.2 測定機材 14
5.4.3 オーバーコアリング測定 15
5.4.4 一軸繰返し試験 16
5.5 測定結果 17
5.5.1 測定位置の概要 17
5.5.2 コア観察結果 19
5.5.3 BTV 観察結果 21
5.5.4 測定深度 25
5.5.5 解放ひずみの測定結果 28
5.5.6 一軸繰返し試験 30
5.6 解析結果 34
5.6.1 解放ひずみデータの棄却検定 34
5.6.2 応力解析 40
5.6.3 深度 300m における初期応力状態 44
5.7 深度 300m における地質状況のまとめ 49
5.8 深度 300m における初期応力状態のまとめ 50
5.9 第 1 段階調査結果の妥当性の検討 51
5.10 二軸ひずみ感度に基づいた初期応力解析 52
5.10.1 二軸ひずみ感度試験の方法 53
5.10.2 解放ひずみの補正方法 54
5.10.3 試験結果 56
5.10.4 応力解析の結果 63
5.10.5 二軸ひずみ感度試験結果に基づく応力解析のまとめ 65
6. ボーリングコアを用いた初期応力測定 66
6.1 目的および実施内容 66
6.2 DSCA 法による初期応力測定 66
6.2.1 DSCA 法の概要 66
6.2.2 試験の概要 67
6.2.3 供試体 68
6.2.4 試験結果 69
6.2.5 解析結果 70

6.3　多面体供試体を用いた 3 次元弾性波速度測定 73
6.3.1　3 次元弾性波速度測定の概要 73
6.3.2　供試体 73
6.3.3　試験の概要 74
6.3.4　測定結果および考察 74
6.4　DSCA 法による初期応力測定の適用性の検討 75
7.　まとめ 77
参考文献 78
付録 80

CONTENTS

1. Introduction ... 1
2. Overview of Mizunami Undergound Research Laboratory ... 2
3. Specifications of rock mechanical investigations ... 4
4. Determining rock physical and mechanical properties ... 6
5. In-situ rock stress measurement by Compact Conical-ended Borehole Overcoring Technique ... 10
5.1 Purpose and substance of study ... 10
5.2 Overview of in-situ stress measurements ... 10
5.3 Characteristics of Compact Conical-ended Borehole Overcoring Technique ... 10
5.4 Overview of Compact Conical-ended Borehole Overcoring Technique ... 11
5.4.1 Operation procedure ... 11
5.4.2 Instrument of Compact Conical-ended Borehole Overcoring Technique ... 14
5.4.3 Overcoring ... 15
5.4.4 Uniaxial compression test ... 16
5.5 Results of measurement ... 17
5.5.1 Overview of measurement location ... 17
5.5.2 Results of core observation ... 19
5.5.3 Results of borehole television observation ... 21
5.5.4 Measurement location ... 25
5.5.5 Measurement results of release strain ... 28
5.5.6 Results of uniaxial compression tests ... 30
5.6 Results of analysis ... 34
5.6.1 Examination of release strain data ... 34
5.6.2 In-situ stress analysis ... 40
5.6.3 In-situ stress field at GL.-300m ... 44
5.7 Geological condition at GL.-300m ... 49
5.8 In-situ stress field at GL.-300m ... 50
5.9 Verification of surface-based investigations ... 51
5.10 In-situ stress analysis based on biaxial sensitivity ... 52
5.10.1 Method of biaxial sensitivity test ... 53
5.10.2 Correction method of release strain ... 54
5.10.3 Results of biaxial sensitivity test ... 56
5.10.4 Results of in-situ analysis ... 63
5.10.5 Conclusion of in-situ stress analysis based on biaxial sensitivity test ... 65
6. In-situ stress measurements using core-based methods ... 66
6.1 Purpose and substance of study ... 66
6.2 In-situ stress measurements by Differential Strain Curve Analysis ... 66
6.2.1 Overview of differential strain curve analysis ... 66
6.2.2 Overview of differential strain curve analysis test ... 67
6.2.3 Specimens ... 68
6.2.4 Test results ... 69
6.2.5 Analysis results ... 70

6.3 Three-dimensional distribution of longitudinal wave velocity by using 98-faced polyhedral specimens 73
6.3.1 Overview of three-dimensional distribution of longitudinal wave velocity 73
6.3.2 Specimens 73
6.3.3 Overview of tests 74
6.3.4 Measurement result and consideration 74
6.4 Study on applicability of in-situ stress measurements of differential strain curve analysis 75
7. Conclusion 77
References 78
Appendices 80

図リスト

図 2.1 東濃地区の地質分布及び調査位置図 2
図 2.2 研究所用地における立坑および観測孔の位置 3
図 2.3 研究坑道のレイアウト 3
図 3.1 深度 300m および深度 400m における岩盤力学調査位置 5
図 4.1 深度 300m および深度 400m における岩盤力学調査結果 9
図 5.3.1 ストレインセル（24 成分） 11
図 5.4.1 円錐孔底ひずみ法の作業フロー 12
図 5.4.2 オーバーコアリングの測定手順 13
図 5.4.3 ボーリング作業機材の概要 14
図 5.4.4 円錐孔底ひずみ法で使用する機材 14
図 5.4.5 オーバーコアリング時のひずみ変化の測定例 15
図 5.4.6 一軸繰返し試験用の供試体の採取 16
図 5.4.7 一軸繰返し試験の例 16
図 5.5.1 深度 300m における初期応力測定場所付近の坑道平面図および割れ目の分布 18
図 5.5.2 割れ目密度および岩盤分類（12MI28 号孔） 19
図 5.5.3 割れ目密度および岩盤分類（12MI29 号孔） 20
図 5.5.4 割れ目の走向・傾斜（ステレオネット：12MI28 号孔） 21
図 5.5.5 割れ目の開口量および本数の深度方向の変化（12MI28 号孔） 22
図 5.5.6 割れ目の走向・傾斜（ステレオネット：12MI29 号孔） 23
図 5.5.7 割れ目の開口量および本数の深度方向の変化（12MI29 号孔） 24
図 5.5.8 オーバーコアリング測定位置と孔底写真および回収コアの写真（12MI28 号孔） 26
図 5.5.9 オーバーコアリング測定位置と孔底写真および回収コアの写真（12MI29 号孔） 27
図 5.5.10 オーバーコアリング測定中のひずみ挙動の例 29
図 5.5.11 載荷パターン 30
図 5.5.12 一軸繰返し試験の応力－ひずみ曲線の例 31
図 5.6.1 オーバーコアリングに伴うひずみ変化の例 34
図 5.6.2 理論ひずみ曲線に基づく統計的な手法による棄却の例 35
図 5.6.3 主応力の方向と大きさ（12OC1-1～6） 42
図 5.6.4 主応力の方向と大きさ（12OC2-1～6） 43
図 5.6.5 ボーリング孔ごとの初期応力（3 次元主応力） 45
図 5.6.6 深度 300m における初期応力（3 次元主応力） 46
図 5.6.7 深度 300m における初期応力 48
図 5.8.1 国内の既存の初期応力測定結果と今回の測定結果(1) 50
図 5.8.2 国内の既存の初期応力測定結果と今回の測定結果(2) 51
図 5.9.1 MIU 計画の第 1 段階と第 2 段階における調査結果の比較 52
図 5.10.1 二軸ひずみ感度試験器 53
図 5.10.2 二軸ひずみ感度試験 54
図 5.10.3 FEM 数値解析モデル 55
図 5.10.4 二軸ひずみ感度試験で使用した供試体 56
図 5.10.5(1) 二軸ひずみ感度試験結果（12OC1-1） 57
図 5.10.5(2) 二軸ひずみ感度試験結果（12OC1-5） 58

図 5.10.5(3) 二軸ひずみ感度試験結果（12OC2-1） 59
図 5.10.6 二軸感度補正法と従来法の解析結果の比較 64
図 6.2.1 岩石の圧力—差ひずみ曲線の模式図 67
図 6.2.2 DSCA 法の試験装置の模式図 67
図 6.2.3 供試体の座標軸の設定 69
図 6.2.4 ひずみゲージの貼付位置および方向 69
図 6.2.5 シリコンで被覆した供試体 69
図 6.2.6 DSCA 法による試験結果の例（供試体名：4-D01） 70
図 6.3.1 供試体写真 73
図 6.3.2 3 次元弾性波速度測定の装置の模式図 74
図 6.3.3 3 次元 P 波速度分布 75
図 6.3.4 3 次元弾性波速度測定と DSCA 法による主値の比較 75
図 6.4.1 MIU 計画の第 1 段階と第 2 段階における結果の比較 76

表リスト

表 3.1 深度 300m および深度 400m における岩盤力学調査 4
表 4.1 深度 300m および深度 400m における岩盤力学調査結果 7
表 5.5.1 測定用ボーリング孔の仕様および測定点数 17
表 5.5.2 岩芯観察における岩級区分 19
表 5.5.3 初期応力の測定深度（12MI28 号孔） 25
表 5.5.4 初期応力の測定深度（12MI29 号孔） 25
表 5.5.5 各測定点における解放ひずみ 28
表 5.5.6 一軸繰返し試験結果 (12MI28 号孔) 32
表 5.5.7 一軸繰返し試験結果 (12MI29 号孔) 33
表 5.6.1(1) 解放ひずみと棄却検定結果（12OC1-1, 2, 3） 36
表 5.6.1(2) 解放ひずみと棄却検定結果（12OC1-4, 5, 6） 37
表 5.6.2(1) 解放ひずみと棄却検定結果（12OC2-1, 2, 3） 38
表 5.6.2(2) 解放ひずみと棄却検定結果（12OC2-4, 5, 6） 39
表 5.6.3 12MI28 号孔の各測定点における解析結果 40
表 5.6.4 12MI29 号孔の各測定点における解析結果 41
表 5.6.5 ボーリング孔ごとの初期応力（6 応力成分） 45
表 5.6.6 深度 300m における初期応力（6 応力成分） 46
表 5.6.7 2 孔の全ての解放ひずみの最小二乗の結果 47
表 5.7.1 深度 300m ボーリング横坑における地質および岩盤状況 49
表 5.10.1(1) 解放ひずみの補正結果一覧（12OC1-1） 60
表 5.10.1(2) 解放ひずみの補正結果一覧（12OC1-5） 61
表 5.10.1(3) 解放ひずみの補正結果一覧（12OC2-1） 62
表 5.10.2 二軸感度補正法による応力解析結果 63
表 5.10.3 従来法による応力解析結果 63
表 6.2.1 供試体の採取深度および地質概要 68
表 6.2.2(1) DSCA 法による初期応力解析結果（深度 300m：08MI13 号孔） 70
表 6.2.2(2) DSCA 法による初期応力解析結果（深度 300m：09MI20 号孔） 71
表 6.2.2(3) DSCA 法による初期応力解析結果（深度 300m：09MI21 号孔） 71
表 6.2.3(1) DSCA 法による初期応力解析結果（深度 400m：10MI26 号孔） 72
表 6.2.3(2) DSCA 法による初期応力解析結果（深度 400m：10MI26 号孔） 72
表 6.3.1 供試体の採取深度および地質概要 73
表 6.3.2 算出された P 波速度成分 74

This is a blank page.

1. はじめに

超深地層研究所計画（以下、MIU 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（以下、原子力機構）が岐阜県瑞浪市に建設中の瑞浪超深地層研究所（以下、研究所）で実施している結晶質岩を対象とした研究プロジェクトである。本研究プロジェクトは、研究坑道の建設工程やこれに伴う調査研究の課題、対象、空間スケールの違いを考慮して、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 段階に区分して調査研究を進め、全体で 20 年程度を予定している [1)]。MIU 計画は、1996 年度より岐阜県瑞浪市明世町の正馬様洞にある原子力機構用地において開始され、その後、2001 年 1 月に研究所建設地を瑞浪市明世町の市有地に変更し、第 1 段階の調査研究が 2002 年 1 月から 2005 年 3 月までの約 3 年間で実施された [2)]。2003 年 7 月には立坑の基礎部の掘削工事に着手、2004 年度には本格的な掘削が開始され、それに伴い第 2 段階の調査研究が開始された。さらに、2010 年度からは、深度 300m の水平坑道において第 3 段階の研究が開始された。

現在実施されている第 2 段階の調査研究においては、「研究坑道の掘削を伴う調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の把握」が段階目標の一つとして設定されており [1)]、第 1 段階の地質環境モデルの妥当性評価と更新を行い、調査や解析・評価の進展に伴い、把握される地質環境の不確実性がどのように低減されるかを評価することとしている。

岩盤力学に関する調査研究では、「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」に関して、安全評価の観点から、「掘削影響領域の地質環境特性の把握」を個別目標に設定しており、設定された目標に対して、(ⅰ)掘削影響領域の範囲の把握、(ⅱ)掘削影響領域の物理・力学特性分布の把握、(ⅲ)掘削影響領域の応力状態の把握を課題に掲げている。また、地下空洞の設計・施工の観点から、「地下空洞の力学安定性の把握」を個別目標に設定しており、設定された目標に対して、(ⅳ)応力場の把握、(ⅴ)岩盤の物理・力学特性の把握、(ⅵ)不連続構造などの有無の把握を課題に掲げている 。

本報告は、(ⅳ)応力場の把握および(ⅴ)岩盤の物理・力学特性の把握を目的として、深度 300m および深度 400m で実施した以下に示す岩盤力学に関する調査研究の成果をまとめたものである。深度 300m では、円錐孔底ひずみ法 [3)]および DSCA（Differencial Strain Curve Analysis）法 [4),5)]による初期応力測定を実施するとともに、コアを用いた室内物理・力学試験を実施し、第 1 段階で構築した岩盤力学モデルの妥当性を検討した。さらに深度 400m では、DSCA 法による初期応力測定ならびにコアを用いた室内物理・力学試験を実施した。

2. 研究所の概要

研究所周辺の地質分布は、基盤をなす後期白亜紀の花崗岩（土岐花崗岩）を新第三紀中新世の堆積岩（瑞浪層群）が不整合に覆い、さらにそれを固結度の低い新第三紀中新世〜第四紀更新世の砂礫層（瀬戸層群）が不整合に覆っている[6), 7)]。また、研究所用地の北方には月吉断層とよばれる、ほぼ東西走向の高傾斜を有する断層が存在する（図 2.1 参照）。立坑の位置においては、花崗岩と堆積岩の不整合面の深度は約 170m である。

研究所は 2 本の立坑（主立坑、換気立坑）および深度 100m ごとの水平坑道で構成され、全体として 1000m まで掘削する予定の地下研究施設である。2013 年 3 月現在、立坑は深度 500m に到達し、深度 500m ステージの研究坑道を建設中である（図 2.2、図 2.3 参照）。

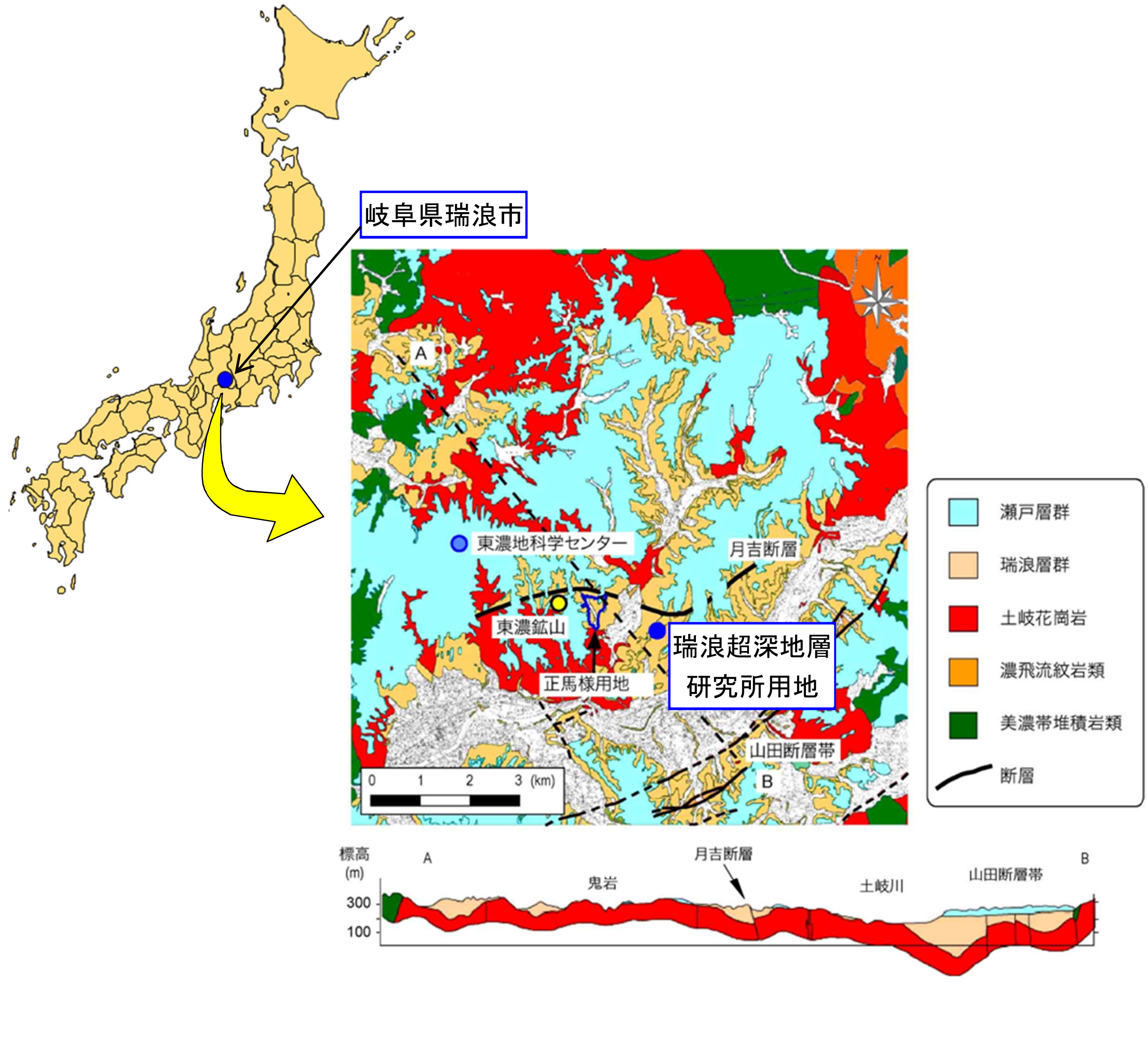


図 2.1 東濃地区の地質分布及び調査位置図

（地質分布は糸魚川[6)] を一部修正）

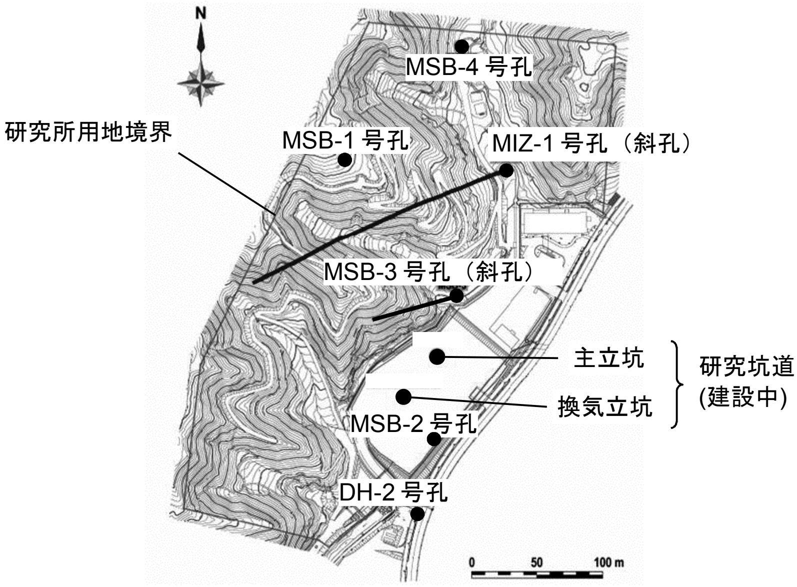


図 2.2 研究所用地における立坑および観測孔の位置

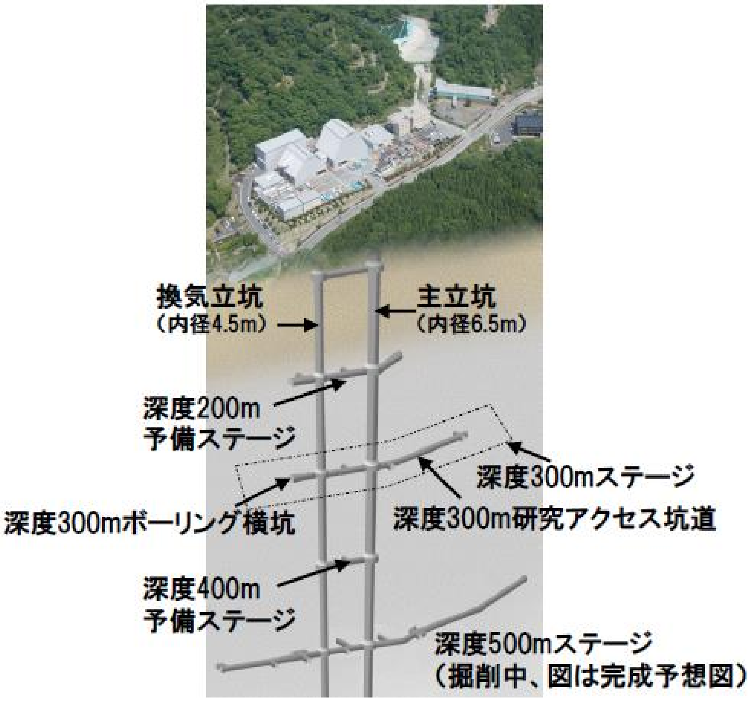


図 2.3 研究坑道のレイアウト

3. 実施内容

表3.1および図3.1に深度300mおよび深度400mで実施した岩盤力学調査の調査内容を示す。表および図には参考のために、第1段階における岩盤力学モデル構築のために実施した調査内容も記す。

表 3.1 深度 300m および深度 400m における岩盤力学調査

調査段階	調査内容	調査項目・方法	ボーリング孔
第2段階（深度 300m）	物理特性	比重	08MI13 号孔 09MI20 号孔
		吸水率	
		含水率	
		有効間隙率	
		P 波、S 波速度測定	
	力学特性	一軸圧縮試験	08MI13 号孔 09MI20 号孔
		三軸圧縮試験	
		圧裂引張試験	
	初期応力測定（コア法）	DSCA 法	08MI13 号孔 09MI20 号孔 09MI21 号孔
	マイクロクラック分布特性	多面体 P 波速度測定	08MI13 号孔 09MI20 号孔
	初期応力測定（応力解放法）	円錐孔底ひずみ法	12MI28 号孔 12MI29 号孔
第2段階（深度 400m）	物理特性	比重	10MI26 号孔
		吸水率	
		含水率	
		有効間隙率	
		P 波、S 波速度測定	
	力学特性	一軸圧縮試験	10MI26 号孔
		三軸圧縮試験	
		圧裂引張試験	
	初期応力測定（コア法）	DSCA 法	10MI26 号孔
第1段階（地表からの調査）	物理特性	比重	MIZ-1 号孔
		吸水率	
		含水率	
		有効間隙率	
		P 波、S 波速度測定	
	力学特性	一軸圧縮試験	MIZ-1 号孔
		三軸圧縮試験	
		圧裂引張試験	
	初期応力測定（水圧法）	水圧破砕法	MIZ-1 号孔

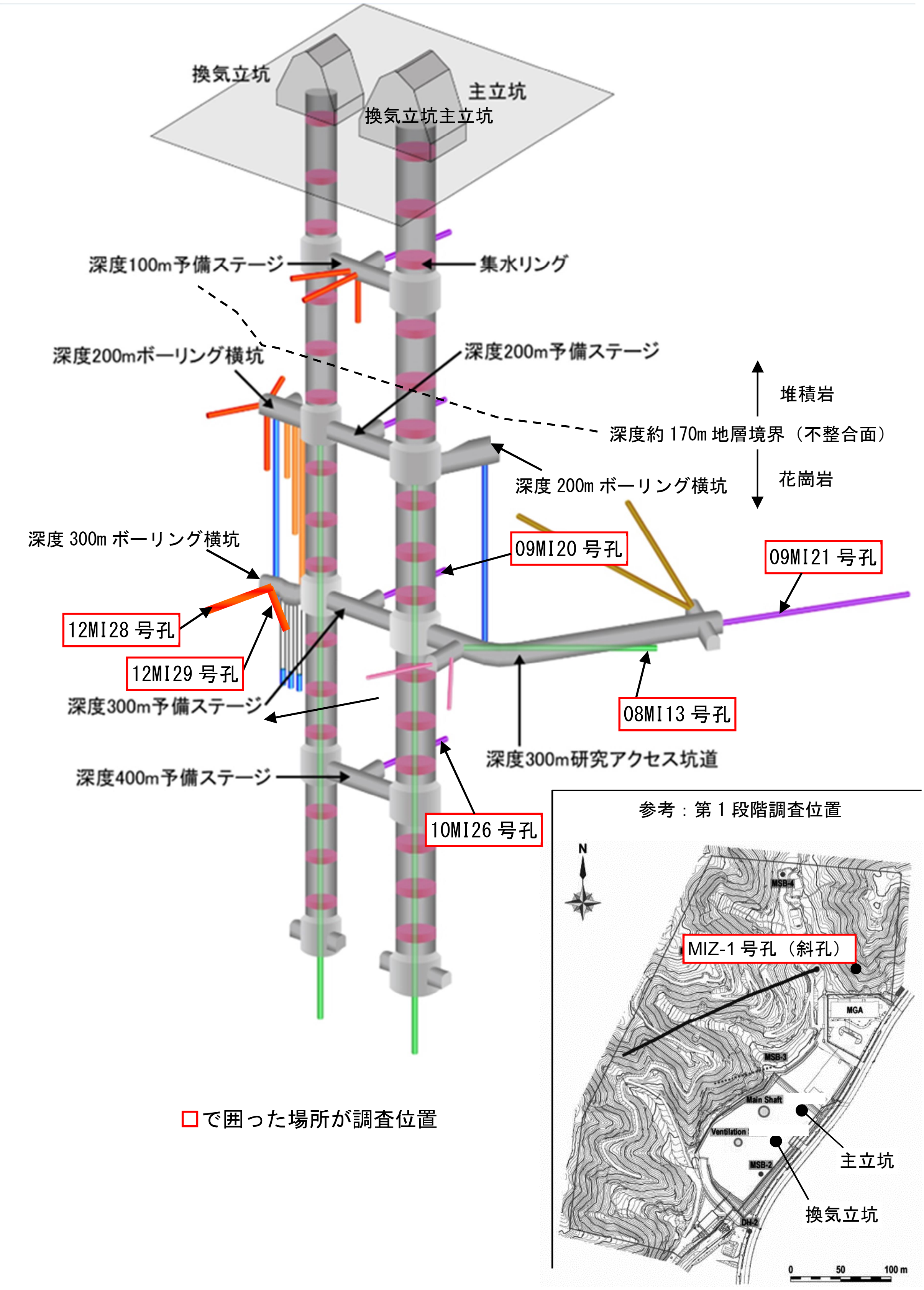


図 3.1 深度 300m および深度 400m における岩盤力学調査位置

4. 室内物理・力学試験

深度 300m および深度 400m で実施した物理・力学試験の結果の平均値と分布範囲を第 1 段階で実施した MIZ-1 号孔の結果 [8)] とともに表 4.1(1)、(2)に示す。また、深度方向の各物性値の分布傾向を図 4.1 に示す。これらの結果には先行して行われている掘削ずりを用いた試験結果も含まれている。

表 4.1(1)より、深度 300m で掘削された 08MI13 号孔（岩盤等級 B～CH 級）と 09MI20 号孔（岩盤等級 B～CM 級）の結果は MIZ-1 号孔健岩部（岩盤等級 A～CM 級）の平均値と概ね一致する結果が得られた。同じく表 4.1(2)より、深度 400～500m の範囲にある 10MI26 号孔（岩盤等級 B～CM 級）や換気立坑掘削ずり（岩盤等級 B～CH 級）の結果は、P 波速度や一軸圧縮強さが MIZ-1 号孔健岩部の平均に比べて若干小さい。図 4.1 によると深度 400m 前後から MIZ-1 号孔での調査結果（図 4.1 中の●）と換気立坑掘削ずりの調査結果（図 4.1 中の■）も一軸圧縮強さが小さくなっており、深度方向の各物性値の分布傾向は MIZ-1 号孔の深度 200m 付近（岩盤等級 CL 級）と主立坑掘削ずり（岩盤等級 CH～CL 級）、主立坑パイロットボーリング（岩盤等級 CH～D 級）の結果を除くと概ね一致した。換気立坑掘削ずりの P 波速度は、MIZ-1 号孔や換気立坑パイロットボーリングの P 波速度より若干小さい傾向が認められる。これは掘削による発破衝撃により損傷を受け、弾性波速度が低下した可能性が考えられる。また、換気立坑掘削ずりは、深度 470m 以深で P 波速度と同様に一軸圧縮強さも小さくなっている。この深度は上部割れ目帯（Upper Highly Fractured Domain : 以下、UHFD と略す）から下部割れ目低密度帯（Lower Sparsely Fractured Domain : 以下、LSFD と略す）の換気立坑中心での境界深度 [9)] とほぼ対応しており、UHFD と LSFD の物理・力学的特性の違いを捉えている可能性も考えられるが、それについての検証は今後の課題である。なお、主立坑掘削ずり、主立坑パイロットボーリングの試験結果は、主立坑が断層に沿って掘削されているため、岩盤等級も悪く深度方向にばらつきがある結果となっている。

以上から、深度 400m までの健岩部においては、各物性値とも試料の採取地点による大きな相違は認められず、岩石の物性は深度方向に概ね一様であり、立坑に分布する土岐花崗岩体が力学的には概ね一様であることを示している。また、換気立坑掘削ずりを用いた室内試験は、P 波速度が若干低下することから、掘削時の損傷が試験結果に含まれる可能性はあるが、試験体の採取が容易で深度方向に対して密に採取することができるため、調査位置の深度方向の物性分布を詳細に調査するのに適しているという利点を確認することができた。

表 4.1(1) 深度 300m および深度 400m における岩盤力学調査結果

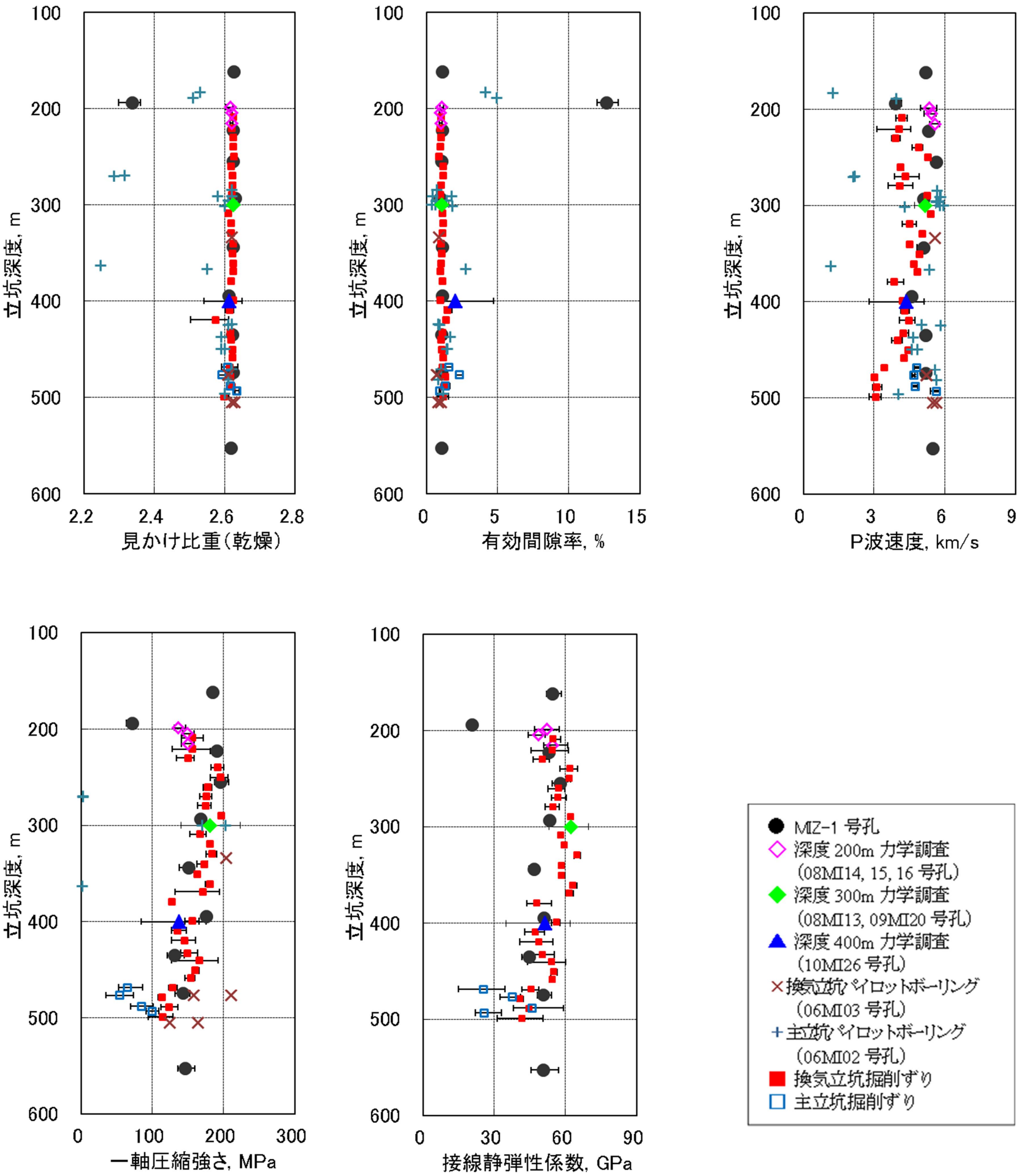
調査段階	第 1 段階 地表からの調査予測研究段階		第 2 段階 研究坑道の掘削を伴う研究段階	
調査地点	MIZ-1 号孔		08MI13 号孔	09MI20 号孔
調査深度（GL-）	167～1004m		300m	300m
地質	土岐花崗岩	土岐花崗岩[注1]	土岐花崗岩	土岐花崗岩
岩盤等級	A～CM 級	CL 級	B～CH 級	B～CM 級
見かけ比重(乾燥)	2.62±0.01 2.55～2.65	2.34±0.02 2.30～2.36	2.63±0.00 2.62～2.63	2.62±0.01 2.61～2.63
含水比 （%）	0.41±0.15 0.24～1.22	5.31±0.23 5.03～5.76	0.23±0.04 0.19～0.27	0.24±0.03 0.21～0.30
有効間隙率 （%）	1.12±0.40 0.64～3.41	12.65±0.44 12.0～13.5	0.94±0.06 0.86～1.04	1.16±0.19 0.99～1.58
P 波弾性波速度 （km/s）	5.45±0.41 4.53～6.16	3.92±0.13 3.74～4.16	5.17±0.31 4.77～5.62	5.15±0.15 4.72～5.41
S 波弾性波速度 （km/s）	2.91±0.32 2.34～3.38	1.69±0.08 1.58～1.79	2.98±0.21 2.65～3.34	2.99±0.23 2.41～3.29
一軸圧縮強さ （MPa）	172.5±24.6 121.0～212.0	71.8±7.1 63.7～76.6	162.6±20.2 140.2～188.0	194.1±20.5 166.9～224.1
50%接線ヤング率 （GPa）	53.9±5.8 41.6～67.9	20.9±0.51 20.3～21.3	57.3±3.8 53.2～63.3	65.8±2.5 62.5～69.8
静ポアソン比	0.265±0.04 0.17～0.35	0.243±0.02 0.22～0.26	0.307±0.05 0.22～0.37	0.303±0.03 0.26～0.35
圧裂引張強さ （MPa）	6.48±1.86 3.53～12.50	2.55±0.38 2.12～2.80	8.55±0.59 7.87～9.43	8.74±1.22 6.56～10.01
粘着力 c （MPa）	39.1±2.2 34.4～42.6 側圧 0-30MPa 時	25.2 [注2] 側圧 0-30MPa 時	18.6±0.4 18.3～18.8 （側圧 0-30MPa 時）	22.9±3.6 18.8～25.0 （側圧 0-30MPa 時）
内部摩擦角 Φ （°）	52.2±1.3 49.3～53.8 側圧 0-30MPa 時	30.1 [注2] 側圧 0-30MPa 時	62.5±2.1 61.0～64.0 （側圧 0-30MPa 時）	62.7±0.6 62.0～63.0 （側圧 0-30MPa 時）

表中の値　上段：平均値±1σ、下段：最小値～最大値
注 1：風化・変質が激しい供試体
注 2：測定値がひとつのため σ の計算なし

表 4.1(2) 深度 300m および深度 400m における岩盤力学調査結果

調査段階	第 2 段階 研究坑道の掘削を伴う研究段階		
調査地点	10MI26 号孔	換気立坑 掘削ずり試験	主立坑 掘削ずり試験
調査深度（GL-）	400m	410～500m	470～500m
地質	土岐花崗岩	土岐花崗岩	土岐花崗岩
岩盤等級	B～CM 級	B～CH 級	CH～CL 級
見かけ比重(乾燥)	2.61±0.04 2.54～2.65	2.61±0.02 2.50～2.63	2.61±0.02 2.58～2.64
含水比 （%）	0.35±0.22 0.19～0.67	0.26±0.09 0.13～0.51	0.29±0.05 0.22～0.36
有効間隙率 （%）	2.05±1.57 0.96～4.73	1.21±0.20 0.75～1.78	1.56±0.57 0.89～2.60
P 波弾性波速度 （km/s）	4.37±0.49 2.80～5.14	3.84±0.61 2.79～4.74	4.97±0.44 4.61～5.81
S 波弾性波速度 （km/s）	2.60±0.32 1.63～3.03	2.38±0.34 1.79～2.84	2.41±0.21 2.10～2.70
一軸圧縮強さ （MPa）	137.8±29.5 84.7～175.9	139.1±22.1 94.1～192.0	76.3±22.9 35.1～109.0
50%接線ヤング率 （GPa）	51.4±8.6 35.1～62.1	48.4±6.7 31.3～60.1	33.8±11.5 14.9～59.3
静ポアソン比	0.310±0.05 0.23～0.38	0.271±0.03 0.20～0.34	0.282±0.03 0.22～0.35
圧裂引張強さ （MPa）	5.27±2.07 1.66～8.50	5.80±1.45 3.09～8.29	4.62±1.70 2.84～7.75
粘着力 c （MPa）	15.0±1.7 13.3～16.7 （側圧 0-30MPa 時）	－	10.7±6.4 6.2～15.2 （側圧 2-16MPa 時）
内部摩擦角 Φ （°）	61.7±1.5 60.0～63.0 （側圧 0-30MPa 時）	－	47.7±21.3 32.6～62.7 （側圧 2-16MPa 時）

表中の値　上段：平均値±1σ、下段：最小値～最大値



※図は土岐花崗岩のみプロットしている。
※MIZ-1 号孔力学調査，深度 200～400m 力学調査，換気立坑・主立坑掘削ずりは深度毎の平均値を示す。
　プロットに表示しているバーは測定値の上限と下限を示す。
※換気立坑パイロットボーリング，主立坑パイロットボーリングは全データを表示している。

図 4.1 深度 300m および深度 400m における岩盤力学調査結果

5. 円錐孔底ひずみ法による初期応力測定

5.1 目的および実施内容

研究坑道周辺の岩盤応力状態を把握するとともに、第1段階調査で実施した水圧破砕法[10)]による初期応力測定結果の妥当性の確認のために、研究坑道から円錐孔底ひずみ法による初期応力測定を行い、測定結果を比較した。

5.2 測定手法の特色

水圧破砕法[10)]はISRM(International Society for Rock Mechanics)で大深度を対象とした初期応力測定として推奨されている方法であるが、ボーリング孔に対して直交する平面、すなわち地表からの調査ではボーリング孔はほぼ鉛直方向に掘削されることから水平面内の2次元応力状態しか推定できない。しかし、我が国のようなプレートの沈み込み帯において地殻内ではプレートテクトニクスによる造構運動により最大主応力は水平に近い場合が多く、また鉛直応力の深度分布は平均的にはその深度の上載荷重による土被り圧で表現されることから、水平面内の応力状態の把握のみでも大きな問題はないと考えられる[11)]。

応力解放法の一手法である円錐孔底ひずみ法[3)]は、1回の測定で3次元岩盤応力状態が推定可能な方法である。本手法は地盤工学会で基準化されており[12)]、測定方法および測定原理とも確立されており適用実績も多数ある。しかし、掘削長で数百メートル程度の地点の測定では計器の設置方法の問題により適用が困難である。一般に応力解放法で地下数百メートル地点の岩盤応力を測定する場合には、調査坑道を掘削し坑道内から測定を行うことが多い。

5.3 円錐孔底ひずみ法の特徴

円錐孔底ひずみ法は原理的には応力解放法に分類される方法で、CCBO（Compact Conical-ended Borehole Overcoring Technique)と称され、通常NQボーリング孔（φ76mm）を利用し、短時間（1日1回程度）で測定することが可能であり、現在最も簡便で測定精度の高い方法の一つと考えられており、地盤工学会で基準化されている[12)]。また、測定対象が割れ目間隔数十cm程度の比較的割れ目の多い岩盤にも適用可能であるとともに、すべての掘削作業を同一の孔径で実施することが可能である。一方、この方法の短所としては、標準的な方法では下向きのボーリング孔での適用が困難であり、水平から上向きのボーリング孔のみに測定が限られる。また、ボーリング孔底から水の滲み出しや湧水がある場合には、複数のロゼットゲージを1体に組み合わせたストレインセル（図5.3.1）の接着が困難になり、この方法の適用は困難である。

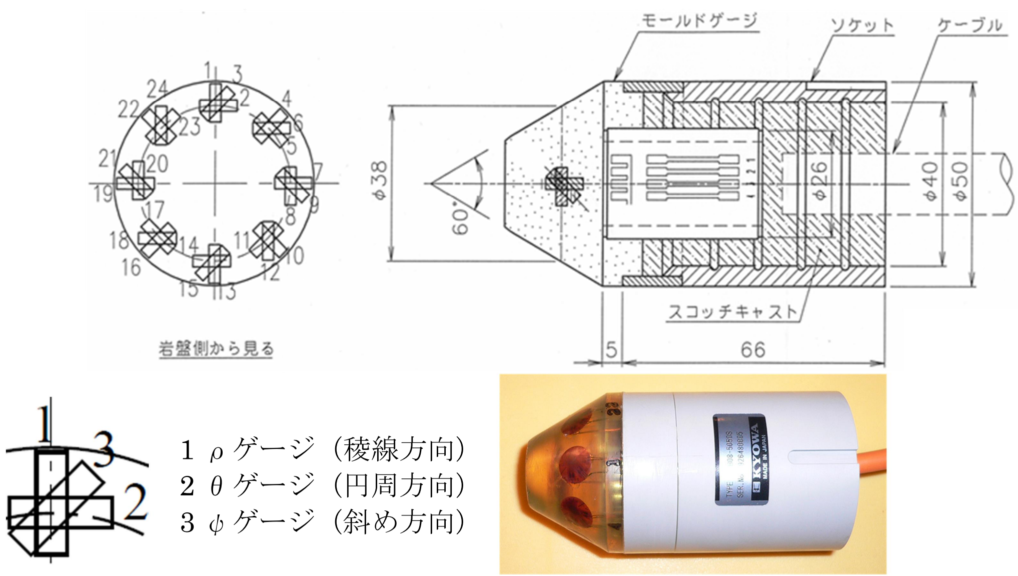


図 5.3.1 ストレインセル（24 成分）

5.4 円錐孔底ひずみ法による初期応力測定の概要

5.4.1 作業手順

円錐孔底ひずみ法による測定の全体の作業フローを図 5.4.1、パイロットボーリングからオーバーコアリング測定までの作業手順を図 5.4.2 に示す。

まず事前の準備として、測定位置周辺の地質状況を十分把握する。オーバーコアリングにより初期応力を測定する範囲には、明瞭な割れ目等の不連続面が存在しない岩盤を選定する必要がある。そのため壁面観察結果や調査位置付近のボーリング調査結果より、割れ目の少ない領域を選択することが望ましい。また測定を坑道内で行う場合、坑道掘削による応力再配分の影響が少なく、応力の擾乱が小さい位置を選択する必要がある。

オーバーコアリング測定は以下の手順で行う（図 5.4.2）。

(1) 測定深度までパイロットボーリングを行い、コアを観察し、孔底付近に明瞭な割れ目が認められないことを確認して、ストレインセル設置深度を決定する（図 5.4.2 a)）。
(2) 粗削り用の円錐ビットにより孔底の円錐加工を行う。円錐加工が終了した後は孔底に清水を送り続け、孔底面から削孔屑を除去する（同図 b)）。
(3) ボアホールボトムスコープカメラを用いて円錐孔底面を観察し、円錐孔底面に割れ目や湧水が認められないことを確認する（同図 c)）。
(4) 仕上げ用の円錐ビットで孔底面を研磨する。その後孔底に清水を送り続け孔底面から削孔屑を除去する（同図 d)）。
(5) 孔底面清掃用器具を用いて、乾燥した柔らかい布で孔底面の水分を拭き取り、さらにアセトンを含ませた柔らかい布で孔底面を拭く（同図 e)）。
(6) ストレインセル貼付装置を用いて、貼付面に接着剤を塗付したストレインセルを円錐孔底面に貼付する。その際、貼付したストレインセルの回転角を記録する。接着剤が硬化するまでは貼付圧を保持する（同図 f)）。
(7) オーバーコアリングを実施し、掘進長およびひずみの挙動を測定する（同図 g)）。
(8) オーバーコアリング終了後、コアチューブを抜管し、コア回収治具を用いてコアを回収する（同図 h)）。

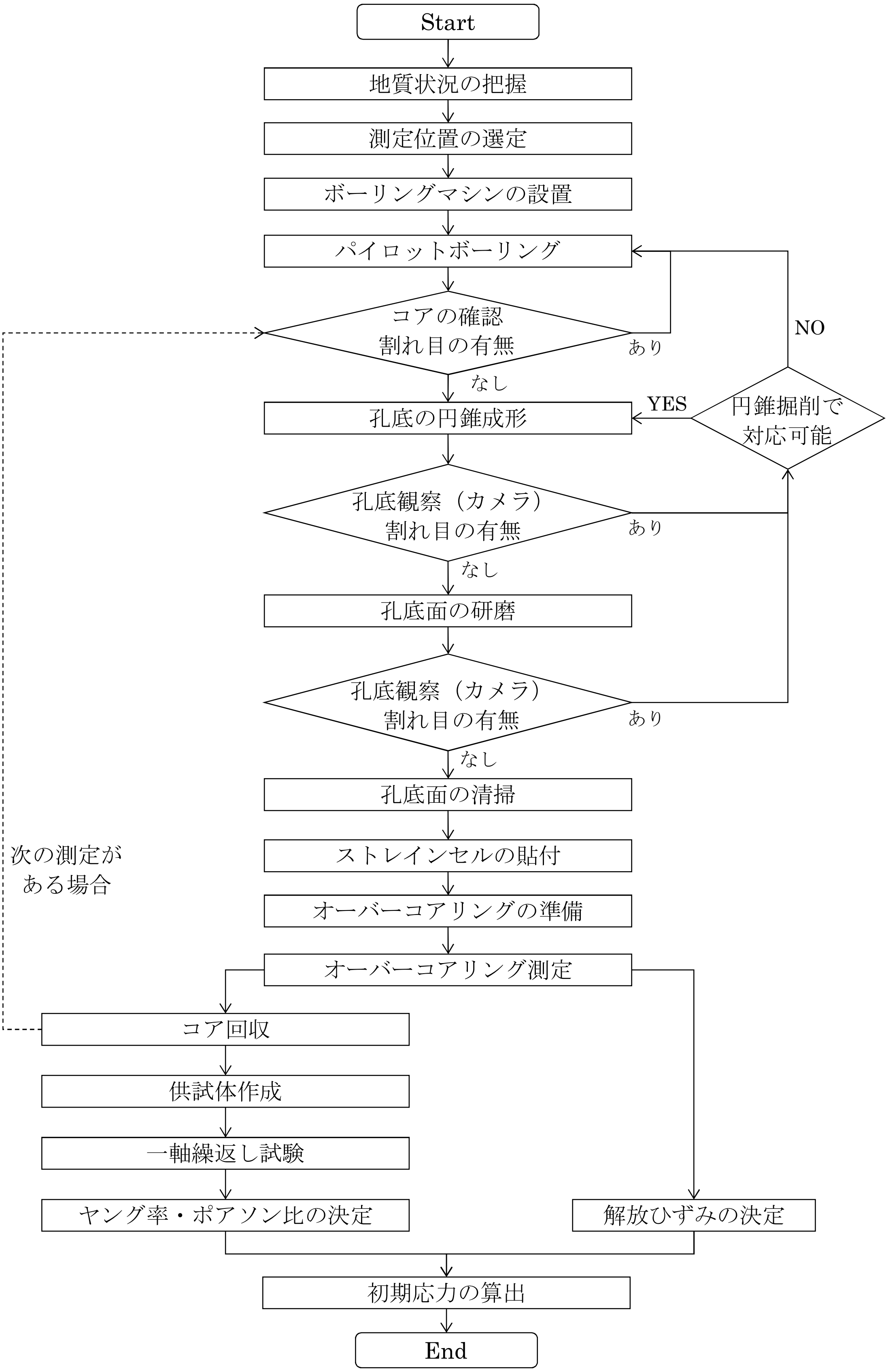


図 5.4.1 円錐孔底ひずみ法の作業フロー

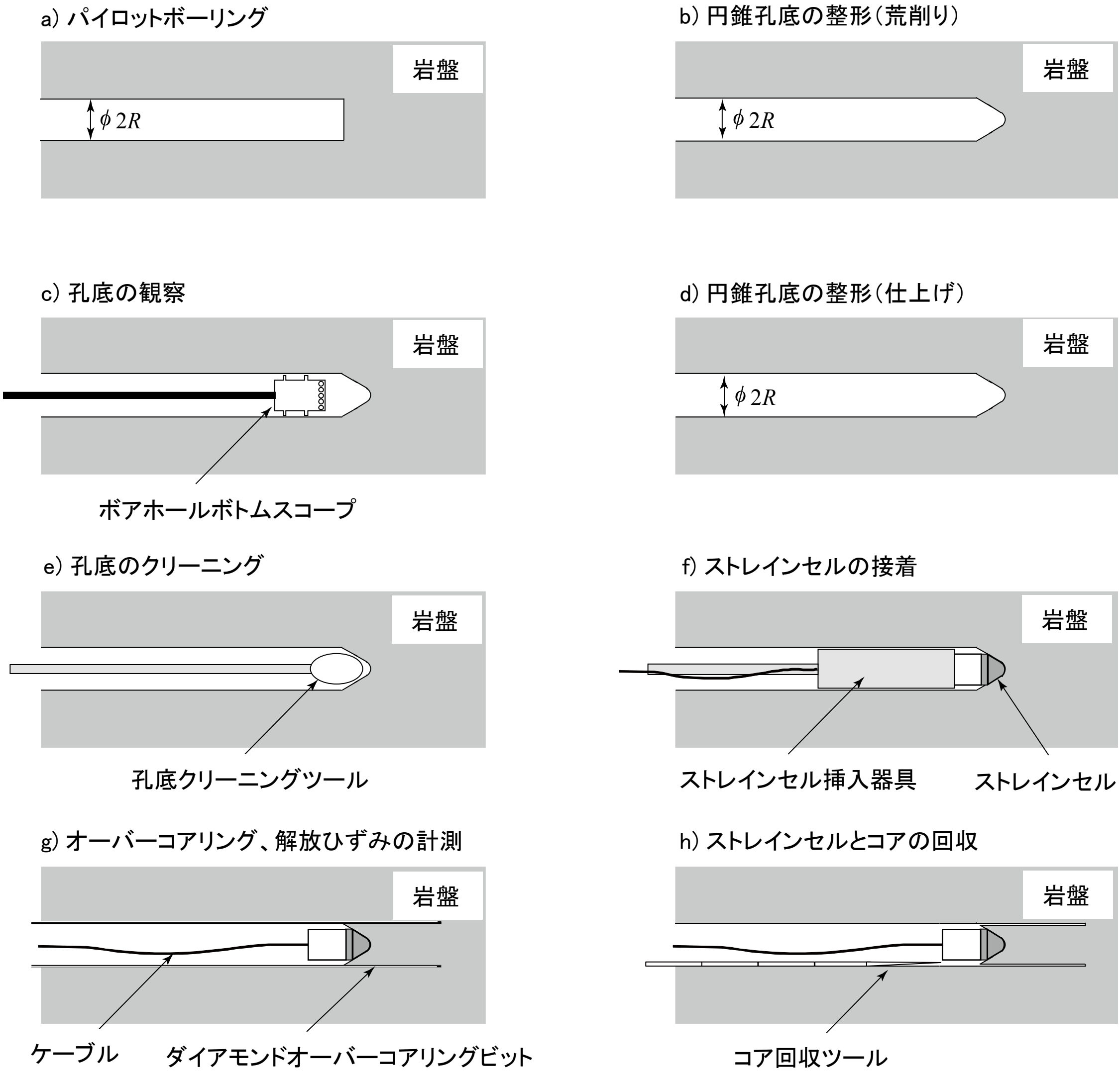


図 5.4.2 オーバーコアリングの測定手順

5.4.2　　測定機材

円錐孔底ひずみ法ではパイロットボーリング、孔底の加工、オーバーコアリングを行うため、図 5.4.3 に示すようなボーリング機材が必要である。今回使用した測定機材の写真を図 5.4.4 に示す。

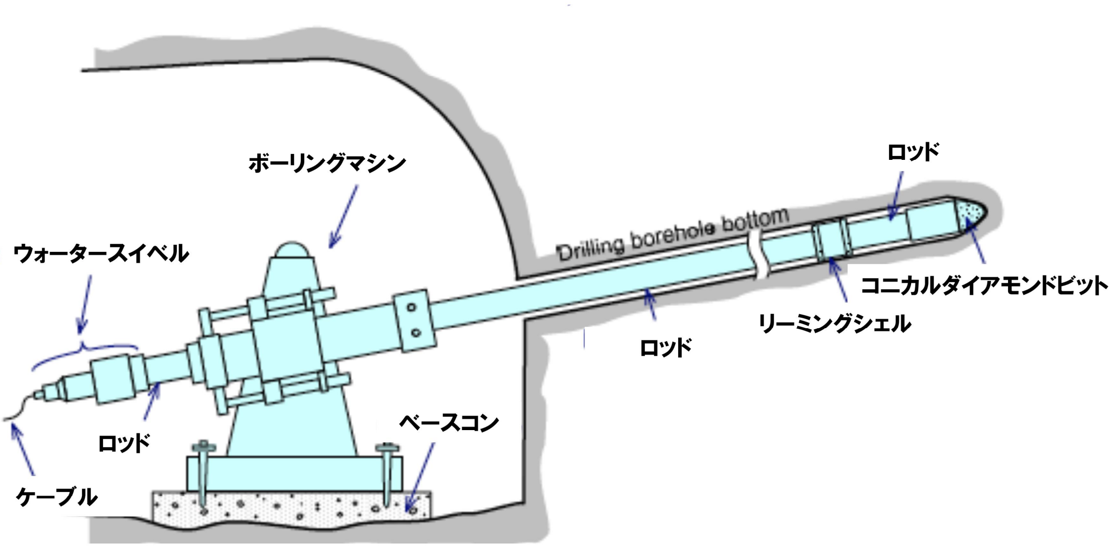


図 5.4.3 ボーリング作業機材の概要

円錐ダイアモンドビッド

孔底クリーニングツール

ストレインセル挿入器具

ボアホールボトムスコープ

図 5.4.4 円錐孔底ひずみ法で使用する機材

5.4.3 オーバーコアリング測定

オーバーコアリング測定では、掘進長とひずみの挙動を測定する。円錐孔底ひずみ法におけるオーバーコアリングによる測定ひずみの挙動は定性的にはゲージの方向（ρゲージ、θゲージ、ϕゲージ）によりひずみの挙動の傾向が決まっている。典型的なオーバーコアリングによるひずみの挙動の例を図 5.4.5 に示す。ρゲージは一旦引張側にピークを持った後、圧縮側に転じて安定する。θゲージは大きく引張側に変化した後、少し圧縮側に戻り安定する。ϕゲージはρゲージとθゲージの中間的な挙動を示し、周辺の応力状態によっては引張側にピークを持つことがあるが、単調増加してそのまま安定することもある。実際の初期応力の計算ではこのような事実に基づいて解放ひずみのデータの良・不良を判定する。

オーバーコアリングで得られた削孔深度とひずみ変化との関係よりひずみが安定した値を読み取り解放ひずみとする。また、オーバーコアリングにより回収された岩石コアを用いてヤング率とポアソン比を測定する。初期応力解析では、弾性論に基づいて導入された円錐孔底ひずみ法の観測方程式を用いる。測定された 24 個の解放ひずみは、設定された座標系において、初期応力の状態、岩盤の物性（ヤング率、ポアソン比）、ひずみを測定する方向により決定されるものである。このうち、24 個の測定ひずみのそれぞれの方向と解放量、ヤング率、ポアソン比は測定により既知であるので逆解析により初期応力を算出する。すなわち未知数である 3 次元初期応力｛σ_x、σ_y、σ_z、τ_{xy}、τ_{yz}、τ_{zx}｝に対し、測定方程式の数は 24 となる。この 24 の測定方程式から最小二乗法により 6 個の未知数（3 次元初期応力）を算出する。

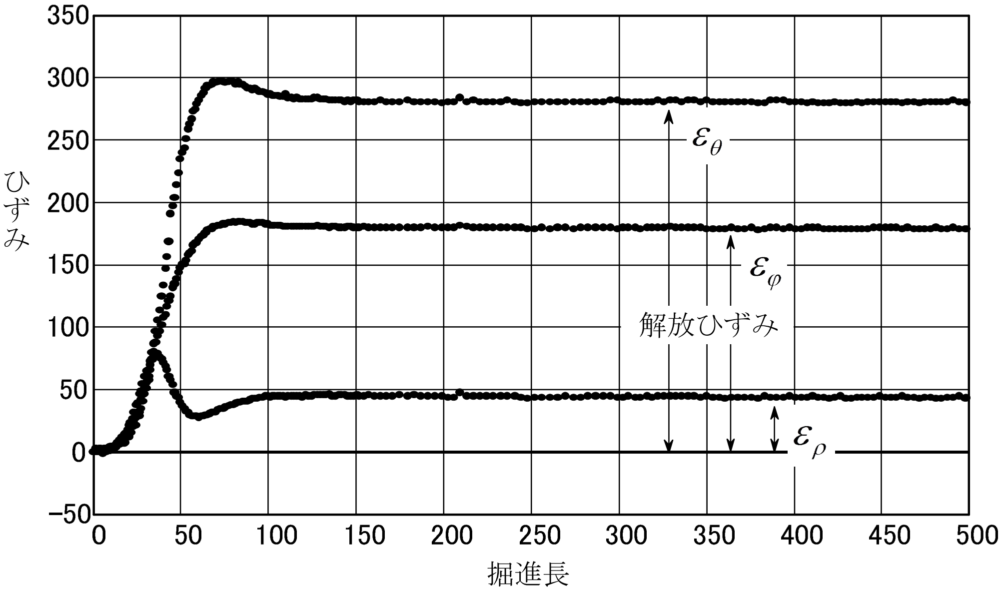


図 5.4.5 オーバーコアリング時のひずみ変化の測定例

5.4.4　　一軸繰返し試験

円錐孔底ひずみ法による応力測定では、応力解析に用いるヤング率とポアソン比を一軸繰返し試験により求める。この試験では、載荷および除荷サイクルに対する岩石の弾性的応答をチェックし、原位置で予測される地圧の範囲で岩石を線形弾性体として扱うことができるかどうかを確認する。試験はオーバーコアリングごとに回収コアから供試体を作製して行うのが望ましいが、オーバーコアの採取状況や岩石の均質性によっては、前後のパイロットボーリングコアを用いたり、測定箇所とは別の場所から採取された供試体を用いたりすることもある。図 5.4.6 に円錐孔底ひずみ法で通常採取される供試体および試験結果の例を図 5.4.7 に示す。

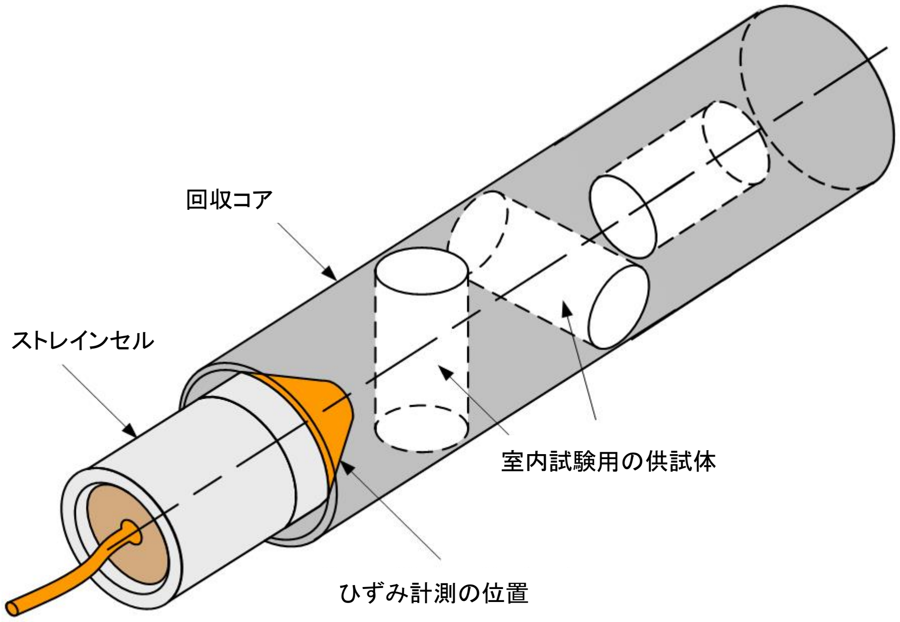
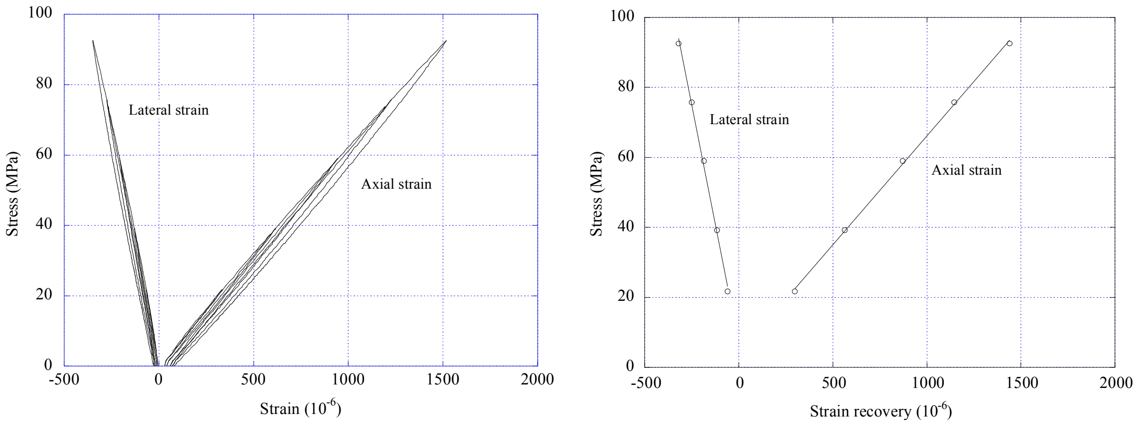


図 5.4.6 一軸繰返し試験用の供試体の採取



(a) 一軸繰返し試験で得られる応力ひずみ曲線

(b) 除荷時における応力とひずみの関係

図 5.4.7 一軸繰返し試験の例

5.5 測定結果

5.5.1 測定位置の概要

深度 300m における円錐孔底ひずみ法による初期応力測定は研究所の深度 300m ボーリング横坑（換気立坑側）（図 3.1 参照）で行った。表 5.5.1 にボーリング孔の概要を示す。初期応力測定は図 5.5.1 に示すように坑道掘削による応力再配分の影響を避けるため 2D（換気立坑 D=4.5m、ボーリング横坑　D=4.0m）以上離れた場所で実施した。

表 5.5.1 測定用ボーリング孔の仕様および測定点数

実施場所		換気立坑側　深度 300m ボーリング横坑	
ボーリング孔名		12MI28	12MI29
掘削方向（方位／傾斜*）		N164.8°E／+5°	N69.8°E／+5°
孔口座標	X（世界測地系）	-69,051,761 m	-69,049,481 m
	Y（世界測地系）	6,421,898 m	6,422,950 m
	E.L.	-100.000 m	-100.000 m
掘削径（口元）		150 mm	150 mm
掘削径（コア採取）		76 mm もしくは 86 mm	76 mm もしくは 86 mm
掘削長		20 m	24 m
初期応力測定（円錐孔底ひずみ法）		6 点	6 点

*+：水平上向き

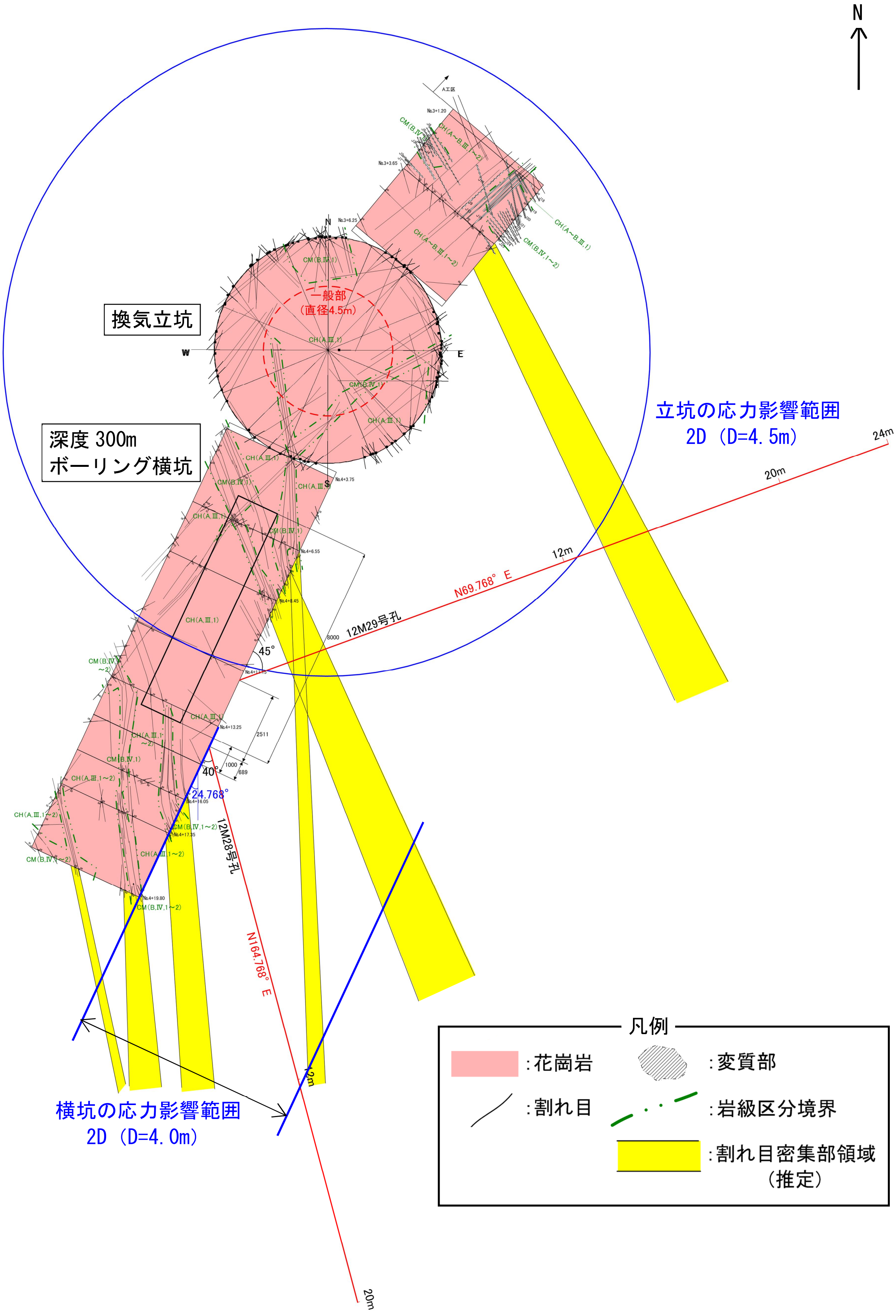


図 5.5.1 深度 300m における初期応力測定場所付近の坑道平面図および割れ目の分布

5.5.2 コア観察結果

コアを対象に割れ目の計数および岩盤分類を行った。なお研究所における岩盤分類評価は、「岩石の強さ」および「不連続面の間隔」の組合せからなり、電研式[13)]の指標を用いた地盤工学会(2004)[14)]の評価手法を参照し、表 5.5.2 の通り設定している[15)]。

表 5.5.2 岩芯観察における岩級区分

岩芯での岩級判定			岩石の強さ					
				金属音	少し濁った音	鈍い音	ピックで割れる	
			A	B	C	D	E	F
不連続面の間隔 (cm)	I	>200	A	B	CH	CM		
	II	200～60	B	CH	CH	CM	CL	
	III	60～20	CH	CH	CM	CM	CL	D
	IV	20～6	CH	CM	CM	CL	CL	D
	V	6～2		CM	CL	CL	D	D
	VI	2 以下			CL	D	D	D

(1) 12MI28 号孔

図 5.5.2 に割れ目密度、岩盤分類について整理した図を示す。

岩　相　：全体的に粗粒な黒雲母花崗岩で構成され他形粒状組織を示す。

割れ目密度：深度 0m～10m までは約 3 本/m 程度であったのに対し、深度 10m 以深では約 8 本/m と深度 10m を境界に割れ目が多くなる傾向が確認された。

岩盤分類：CH 級が主体であり、一部 B 級および CM 級が確認された。岩盤分類の分布比率は CM 級 18.2%、CH 級 70.3%、B 級 11.5%であった。

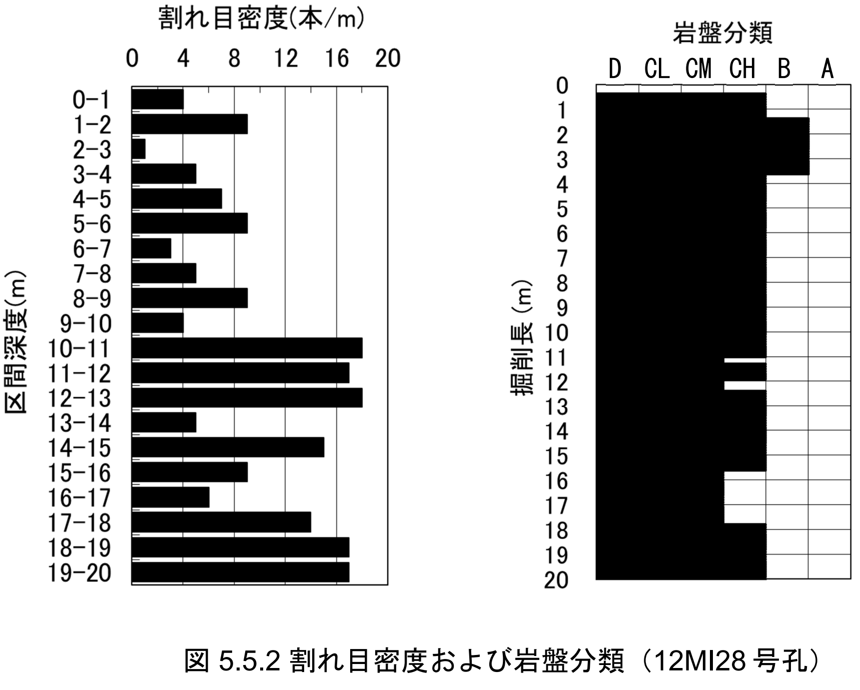


図 5.5.2 割れ目密度および岩盤分類（12MI28 号孔）

(2)　12MI29 号孔

図 5.5.3 に割れ目密度および岩盤分類について整理した図を示す。

岩　相　：全体的に粗粒な黒雲母花崗岩で構成され他形粒状組織を示す。

割れ目密度：深度 0m～13m までは約 3 本/m 程度であったのに対し、深度 10m 以深では約 7 本/m と深度 13m を境界に割れ目が多くなる傾向が確認された。

岩盤分類：CH 級が主体であり、一部 B 級および CM 級が確認された。岩盤分類の分布比率は CM 級 9.6%、CH 級 81.4%、B 級 9.0%であった。

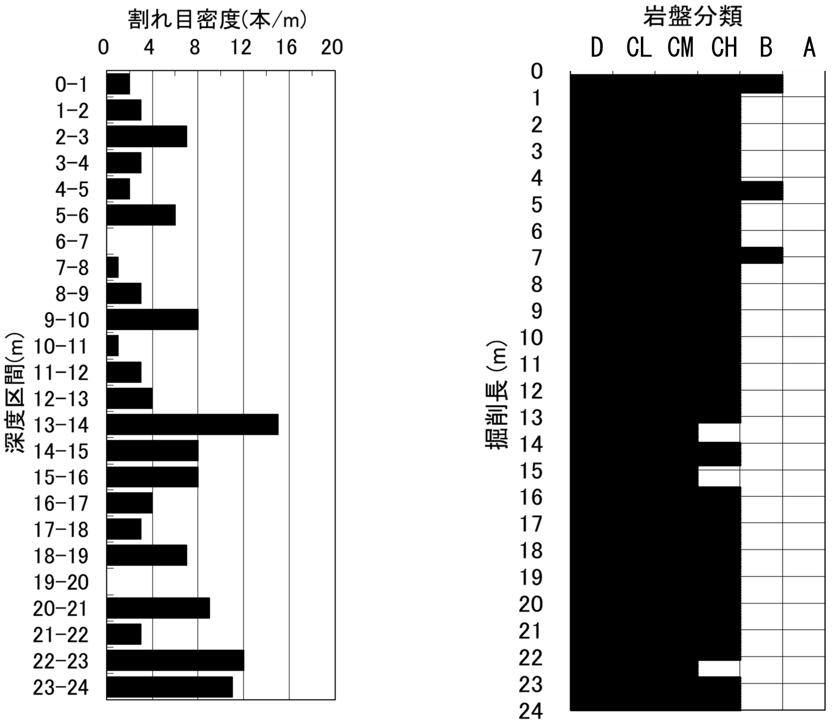


図 5.5.3 割れ目密度および岩盤分類（12MI29 号孔）

5.5.3　BTV 観察結果

(1)　12MI28 号孔

図 5.5.4 に 12MI28 号孔の BTV で観察された割れ目の分布図とコンター図を示す。12MI28 号孔では全部で 84 本の割れ目が確認され、割れ目の卓越方向は N52°E84°SE であった。

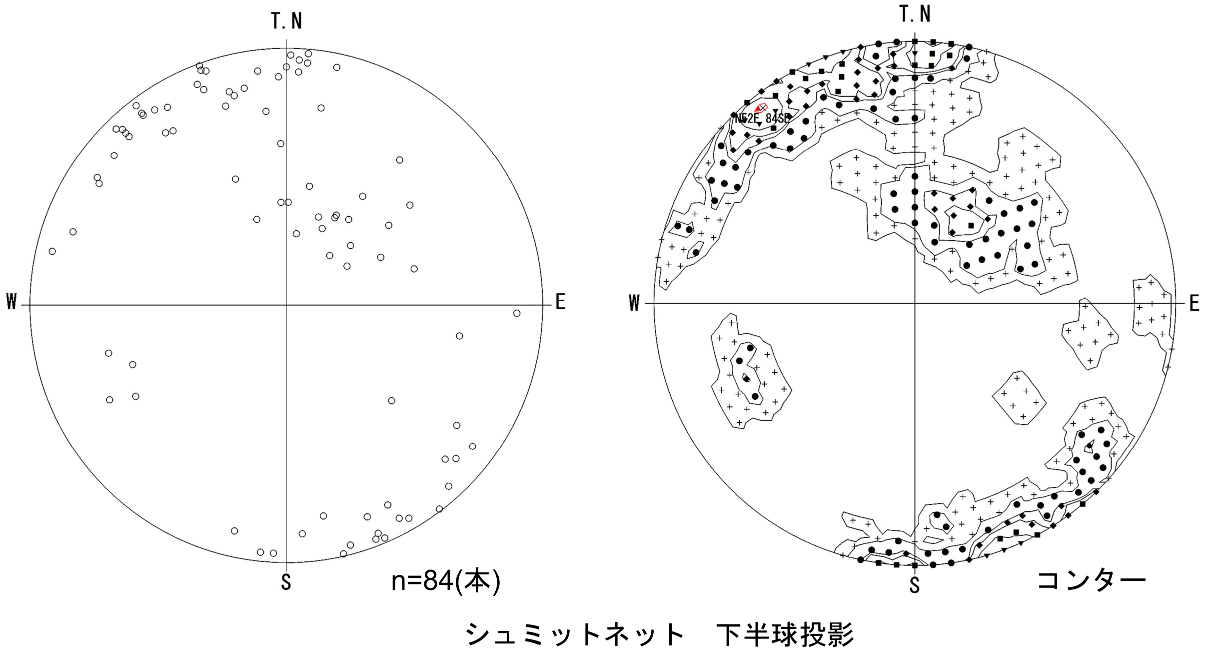


図 5.5.4 割れ目の走向・傾斜（ステレオネット：12MI28 号孔）

12MI28 号孔の割れ目の開口量および本数の深度方向の変化を図 5.5.5 に示す。割れ目の開口幅は、深度 5～6m および深度 10～12m では 1m 区間の累積の開口幅が 4～5mm と大きく、開口割れ目が発達する傾向が認められた。割れ目の本数は、深度 10m 以深から増加する傾向が確認された。

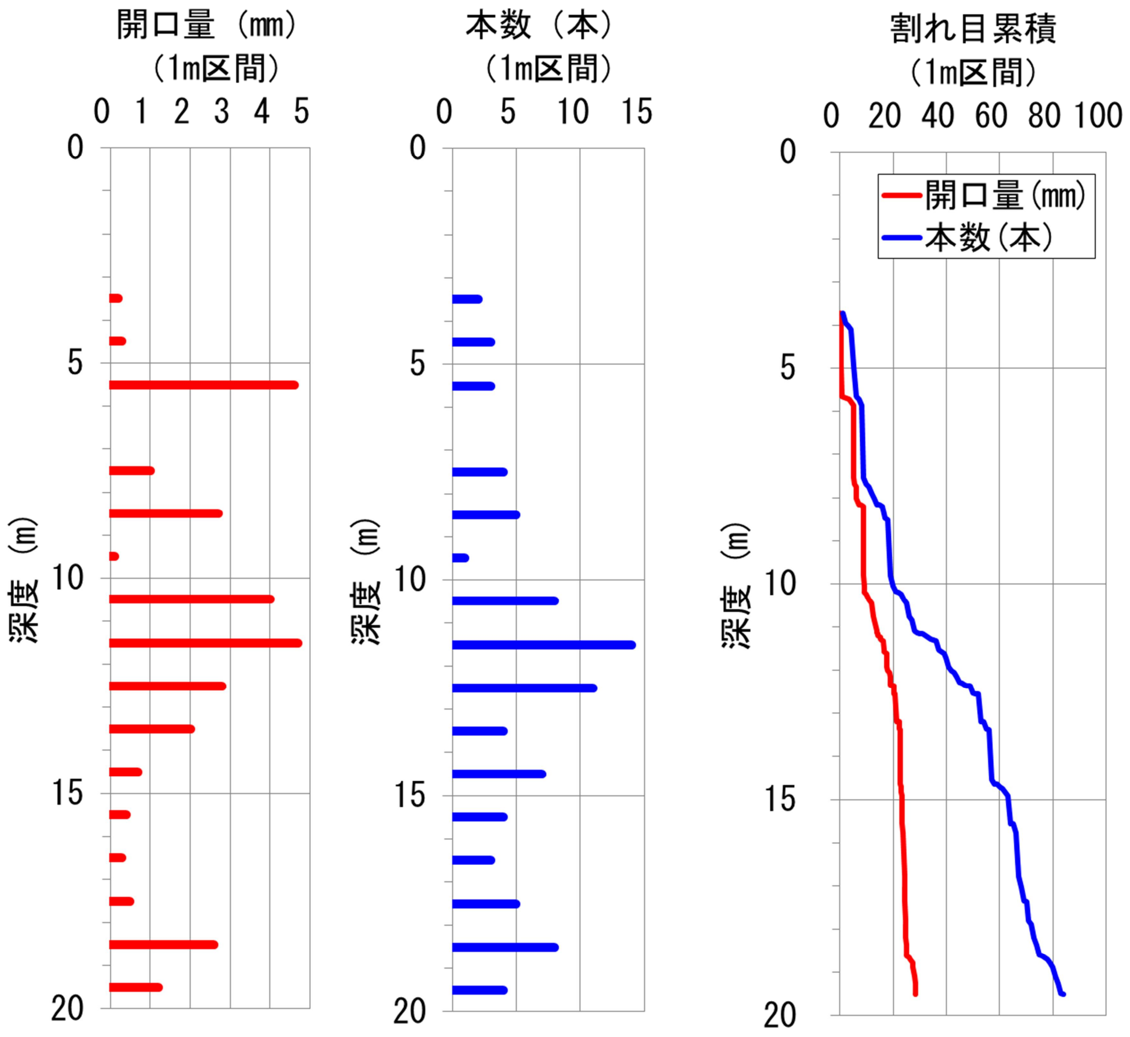


図 5.5.5 割れ目の開口量および本数の深度方向の変化（12MI28 号孔）

(2) 12MI29 号孔

図 5.5.6 に、12MI29 号孔の BTV で観察された割れ目の分布図とコンター図を示す。12MI29 号孔では全部で 142 本の割れ目が確認され、割れ目の卓越方向は N21ºW81ºW であった。

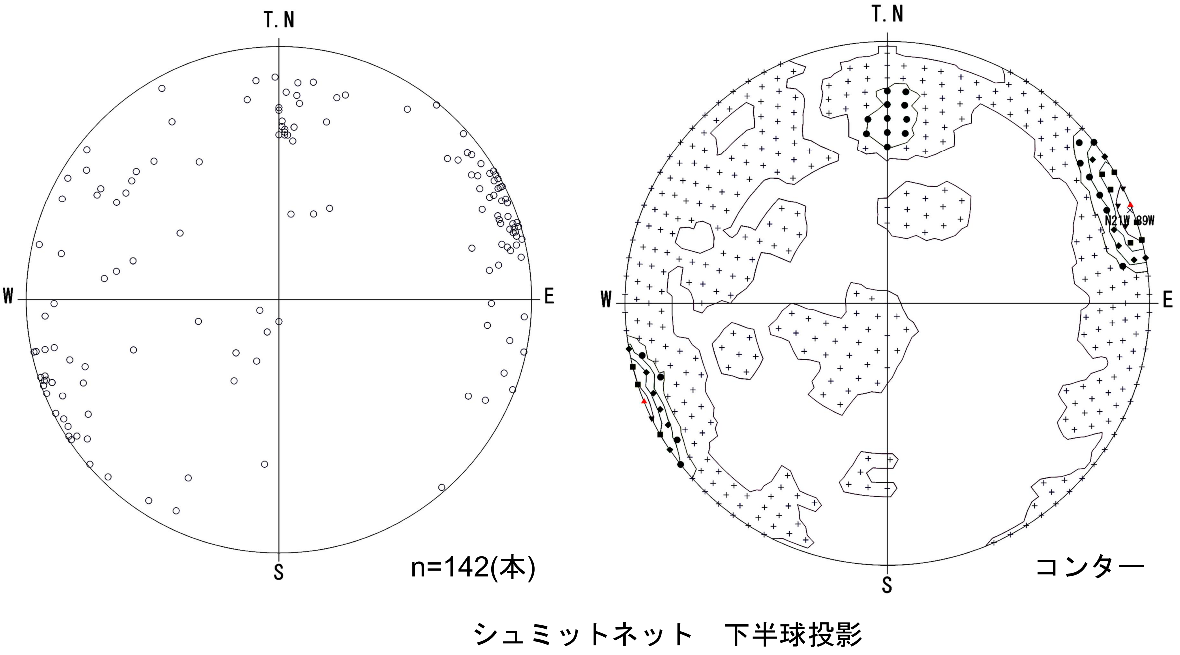


図 5.5.6 割れ目の走向・傾斜（ステレオネット：12MI29 号孔）

12MI29 号孔の割れ目の開口量および本数の深度方向の変化を図 5.5.7 に示す。割れ目の開口幅は、深度 3～4m、深度 5～6m および深度 22～23m では 1m 区間の累積の開口幅が 4～5mm と大きく、開口割れ目が発達する傾向が認められた。割れ目の本数は、深度 11m 以深から増加する傾向が確認された。

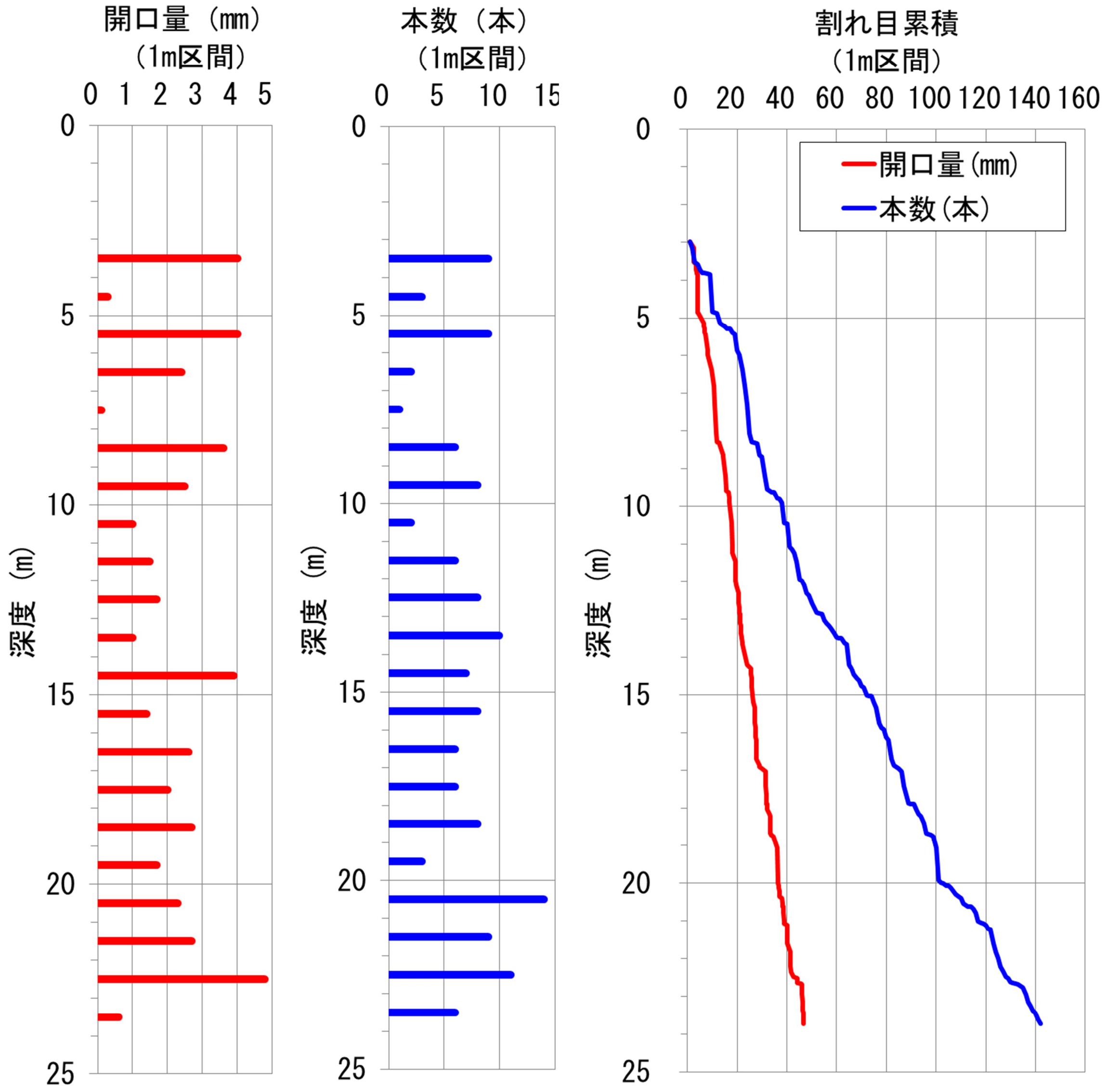


図 5.5.7 割れ目の開口量および本数の深度方向の変化（12MI29 号孔）

5.5.4 測定深度

表 5.5.3 および表 5.5.4 に測定深度（ゲージ中心深度）を示す。また**エラー! 参照元が見つかりません。**および**エラー! 参照元が見つかりません。**に、それぞれの測定位置とストレインセルを貼付した孔底面の写真およびオーバーコアリン測定後に回収したコアの写真を示す。各測定点における孔底面の写真では割れ目は確認されなかった。12OC1-1 の孔底面の写真で見られる鉱物脈は、それ自身が破断面とならない限り測定には影響はないと考えられる。後述する図 5.5.9 に示すように、12OC1-1 の応力解放に伴うひずみの挙動は、円錐孔底ひずみ法で一般的に見られるひずみ挙動と同様なものであった。各測定では孔底面以深に存在する割れ目の影響を受けていると思われるひずみの挙動も見られたが、掘進が進むとひずみは安定する傾向を示し、すべての測定点において未知数（6 個）以上の解放ひずみを得ることができた。

表 5.5.3 初期応力の測定深度（12MI28 号孔）

測定点名	測定（ゲージ中心）深度(m)	測定区間深度(m)			円錐先端深度(m)	ストレインセル貼付角度(°)右回転：正	ストレインセル Ser. No.	測定日
		開始	～	終了				
12OC1-1	12.79	12.75	～	13.06	12.81	+1.1	246120005	2012/6/26
12OC1-2	13.18	13.14	～	13.29	13.20	+0.7	246120006	2012/6/27
12OC1-3	13.39	13.35	～	13.64	13.41	+0.1	246120007	2012/6/28
12OC1-4	13.71	13.67	～	14.07	13.73	+1.7	246120008	2012/6/29
12OC1-5	15.50	15.46	～	15.61	15.52	+1.3	246120009	2012/7/2
12OC1-6	18.46	18.42	～	18.58	18.48	-5.2	246120010	2012/7/6

表 5.5.4 初期応力の測定深度（12MI29 号孔）

測定点名	測定（ゲージ中心）深度(m)	測定区間深度(m)			円錐先端深度(m)	ストレインセル貼付角度(°)右回転：正	ストレインセル Ser. No.	測定日
		開始	～	終了				
12OC2-1	16.29	16.25	～	16.65	16.31	-0.1	257140004	2012/7/27
12OC2-2	17.49	17.45	～	17.85	17.51	-0.2	246120011	2012/7/28
12OC2-3	19.40	19.36	～	19.76	19.42	-1.3	246120012	2012/8/1
12OC2-4	21.75	21.71	～	21.84	21.77	+1.3	246120013	2012/8/5
12OC2-5	22.12	22.08	～	22.19	22.14	+0.4	246120014	2012/8/6
12OC2-6	22.96	22.92	～	23.12	22.98	-0.3	257140001	2012/8/7

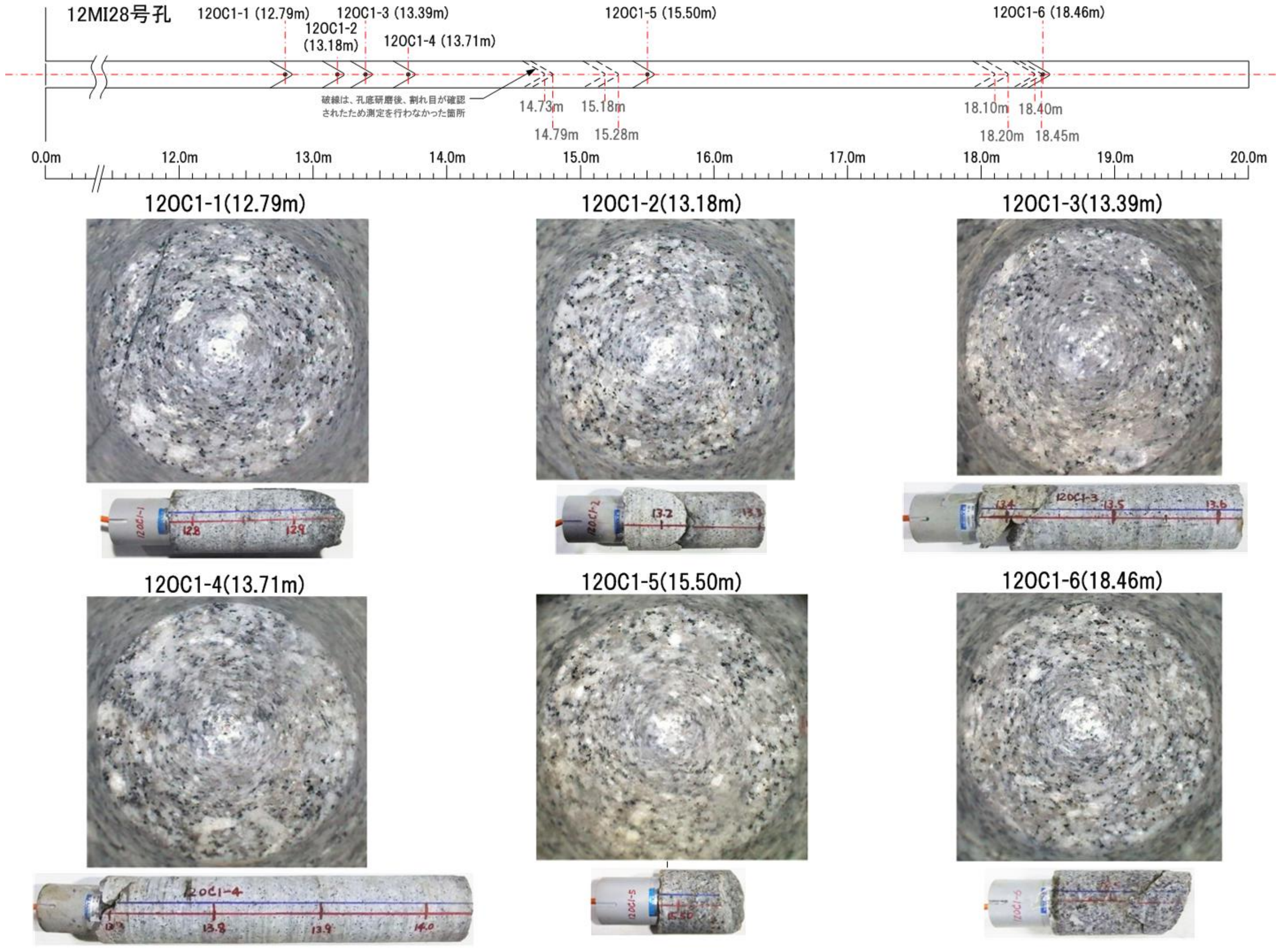


図 5.5.8 オーバーコアリング測定位置と孔底写真および回収コアの写真（12MI28 号孔）

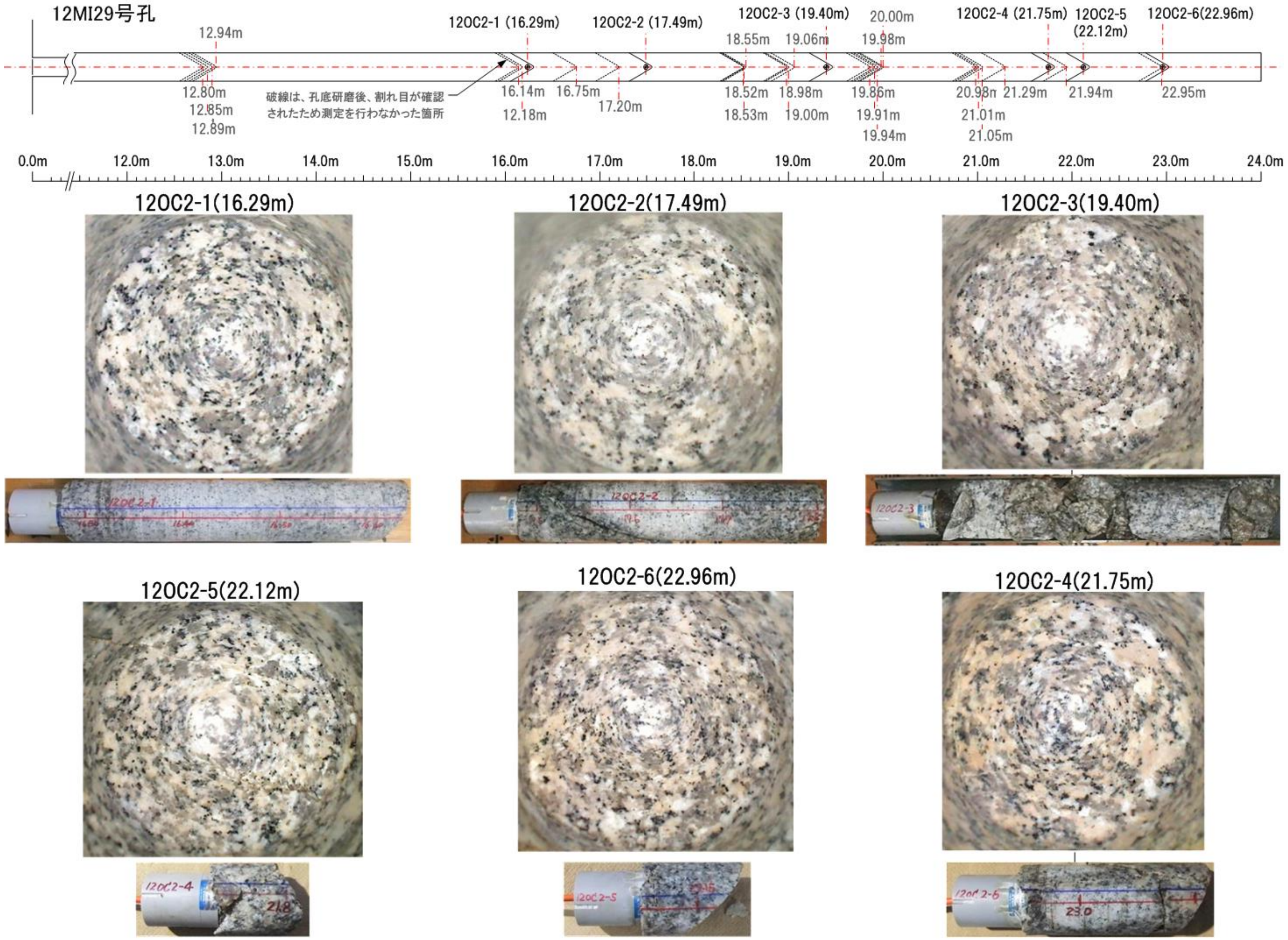


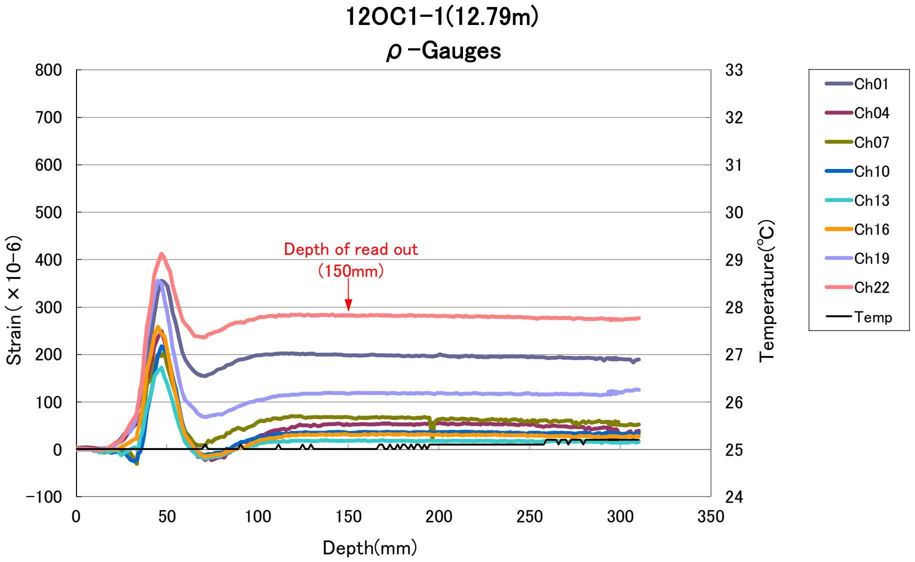
図 5.5.9 オーバーコアリング測定位置と孔底写真および回収コアの写真（12MI29 号孔）

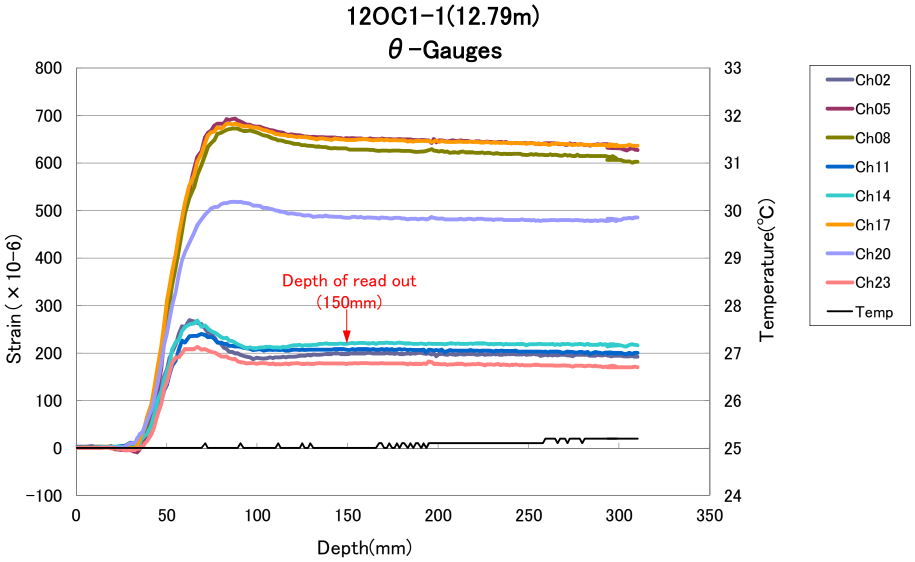
5.5.5 解放ひずみの測定結果

オーバーコアリング測定で得られたひずみ挙動より決定した解放ひずみを表 5.5.5 に示す。また、オーバーコアリング測定で得られたひずみ挙動の例を図 5.5.9 に示す。解放ひずみの変化曲線は、3 方向のひずみ成分に分けて整理し、図の上から稜線方法（ρ）、接線方向（θ）、斜め方向（ϕ）のひずみ変化曲線とした。各ひずみ変化曲線を示す番号の ch01、ch02、ch03 がひとつのひずみゲージに対応しており、以降順に 3 つずつで一組のロゼットゲージで構成される。この一組のロゼットゲージは図 5.3.1 に示したように、3 つの方向の各ひずみゲージの中心位置が一致した位置に貼付されている。一般に掘進に伴う解放ひずみは、掘進開始後、掘進長が数十 mm から急な変化が現れるが徐々に変化は小さくなり 100mm 程度になると収束の傾向が見られるようになる。さらに掘進が進むと掘削長 150mm 程度ではひずみはほぼ安定する。ひずみの読み取りは掘進長が 80mm～300mm の間で最も安定していると認められる点を中心に前後 2 点ずつ、計 5 回のひずみの平均値を解放ひずみの値とした。決定した解放ひずみについて、後述する 5.6.1 項の棄却検定に基づき、解放ひずみデータの重み付け（初期応力算出に使用するデータ：重み 1、使用しないデータ：重み 0）を行い、初期応力を算出した。

表 5.5.5 各測定点における解放ひずみ

ひずみ	12OC1						12OC2					
Ch No.	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	198	323	-486	77	25	101	107	65	-112	190	108	19
2	198	39	360	517	331	-35	417	186	2127	130	133	196
3	64	112	-416	182	109	-3	395	236	1872	55	158	129
4	52	-268	-17	91	329	34	155	105	207	77	48	36
5	651	330	6	319	327	181	78	23	366	213	2265	43
6	122	156	2	152	141	-47	58	108	190	165	1427	50
7	67	-241	19	69	228	-6	58	54	190	23	-197	28
8	629	161	-25	126	197	113	446	122	493	256	1324	18
9	294	-76	-6	67	164	65	32	13	324	80	1025	14
10	35	-169	81	10	313	8	-156	12	106	69	188	-12
11	207	132	681	242	255	57	812	407	837	251	310	120
12	157	-144	384	116	346	106	362	199	246	68	82	10
13	18	-104	66	121	194	-112	61	25	151	156	155	-16
14	220	-149	367	470	308	81	366	241	1663	210	903	180
15	95	-141	426	401	394	137	320	197	1160	182	472	94
16	31	-293	308	188	140	116	76	64	100	54	-13	45
17	648	1306	290	354	638	196	209	-4	202	46	5	24
18	363	405	614	481	634	127	269	34	161	156	-5	67
19	118	650	373	320	396	60	143	7	53	65	8	27
20	485	-53	-29	95	184	315	377	190	280	44	59	27
21	454	253	116	323	299	205	201	37	105	108	102	-4
22	282	535	-293	172	127	151	40	-31	69	117	574	29
23	178	55	358	271	110	84	770	367	503	192	176	117
24	366	875	-47	-38	49	266	469	224	249	125	250	66





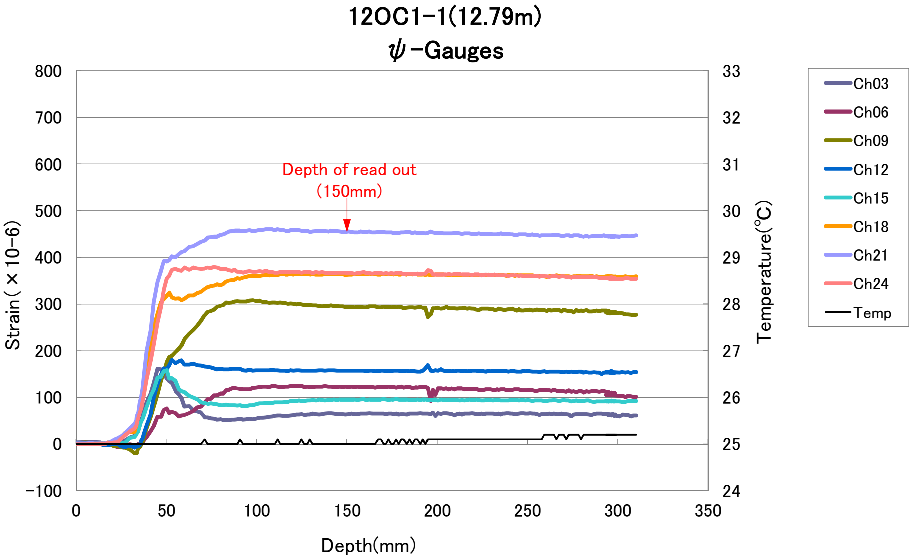


図 5.5.9 オーバーコアリング測定中のひずみ挙動の例

5.5.6　一軸繰返し試験

オーバーコアリングのコアから図 5.4.6 に示すように供試体を採取し、一軸繰返し試験を行った。図 5.5.10 に一軸繰返し試験の載荷パターンを示す。ただし、回収されたコアの長さが不十分なため供試体が採取できない場合においては、測定区間の前後のボーリングコアから供試体を採取した。

一軸繰返し試験で得られた応力ーひずみ曲線の例を図 5.5.11 に示す。また、試験より得られたヤング率およびポアソン比の一覧を表 5.5.6、表 5.5.7 に示す。初期応力の解析には、同表に示した測定箇所での X 方向、Y 方向、Z 方向の平均値を用いた。12MI28 号孔での平均的な密度は 2.61、ヤング率は 51,900 MPa、ポアソン比は 0.21 であった。12MI29 号孔での平均的な密度は 2.63、ヤング率は 54,000 MPa、ポアソン比は 0.21 であった。

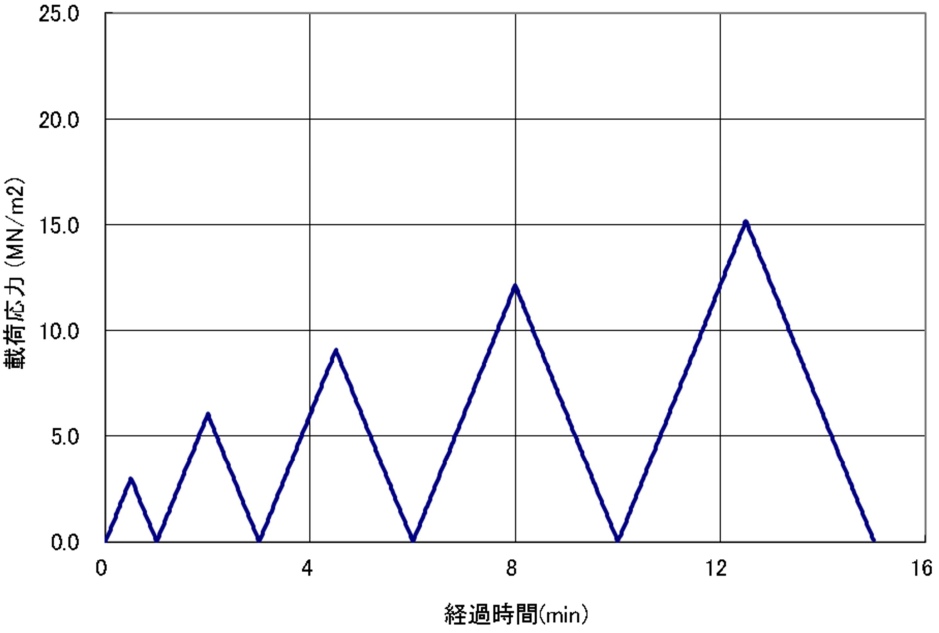
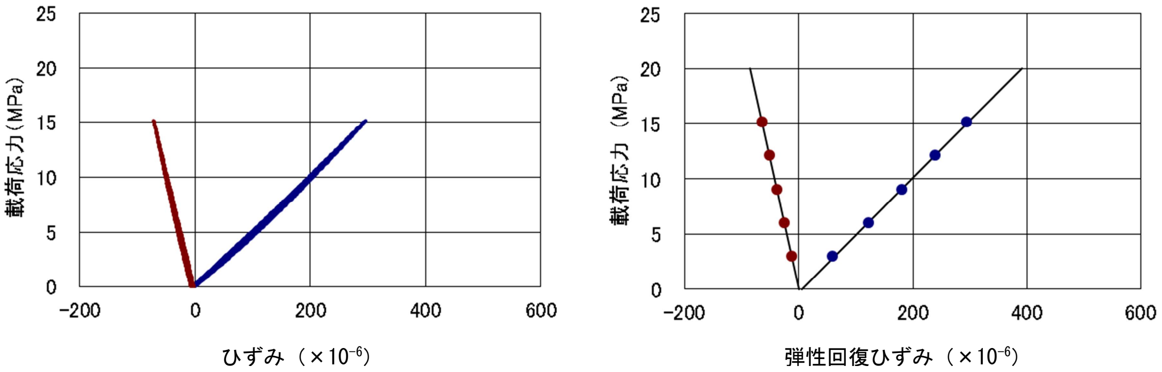
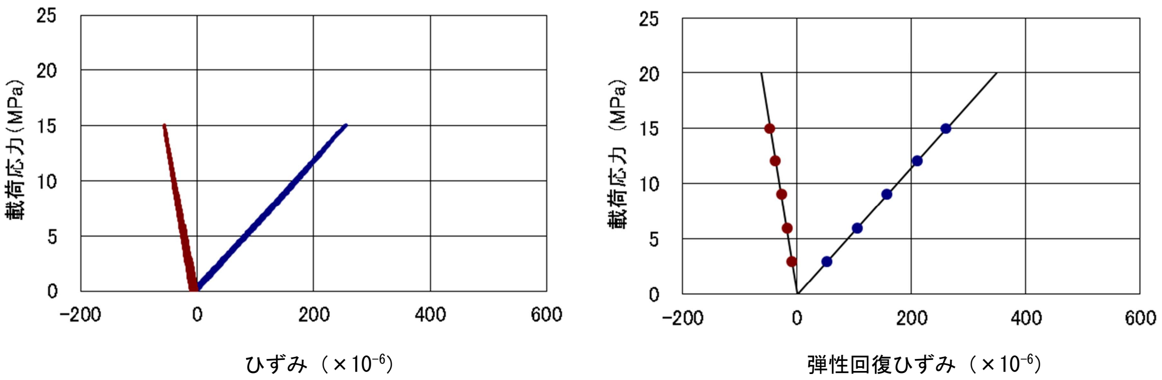


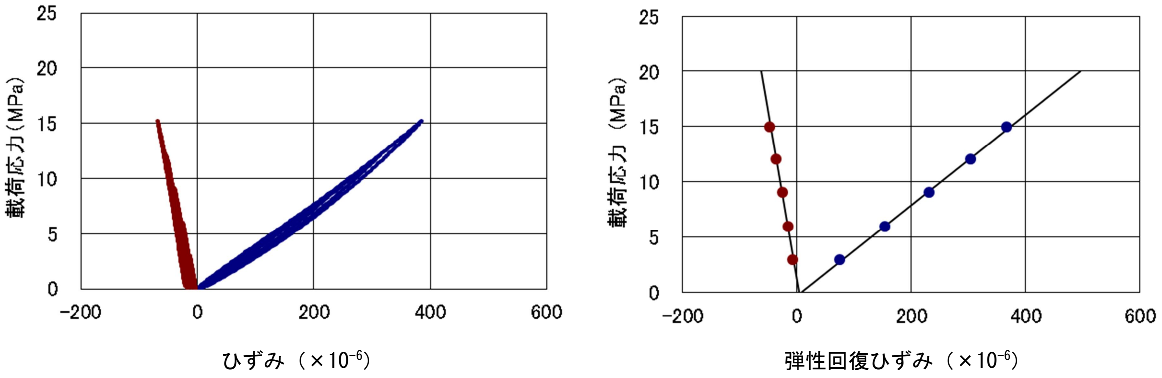
図 5.5.10 載荷パターン



12OC1-1 X 方向



12OC1-1 Y 方向



12OC1-1 Z 方向

図 5.5.11 一軸繰返し試験の応力ーひずみ曲線の例

表 5.5.6 一軸繰返し試験結果 (12MI28 号孔)

供試体番号	採取深度(m)	供試体高さ (cm)	供試体直径 (cm)	重量 (g)	湿潤密度 ρ (g/cm^3)	ヤング率 E (MPa)	ポアソン比 ν
12OC1-1-X	13.00～13.05	5.025	2.430	61.27	2.629	51800	0.22
12OC1-1-Y	12.95	5.055	2.430	61.33	2.616	57800	0.18
12OC1-1-Z	12.85	5.035	2.430	61.06	2.615	41000	0.14
12OC1-1 平均					2.620	50200	0.18
12OC1-2-X	13.23～13.28	5.050	2.442	61.71	2.609	48300	0.20
12OC1-2 平均					2.609	48300	0.20
12OC1-3-X	13.50～13.55	5.025	2.430	61.64	2.645	58300	0.19
12OC1-3-Y	13.45	5.020	2.437	61.30	2.618	55500	0.21
12OC1-3-Z	13.40	5.045	2.432	61.35	2.618	55700	0.20
12OC1-3 平均					2.627	56500	0.20
12OC1-4-X	13.83～13.88	5.023	2.434	61.14	2.616	55600	0.20
12OC1-4-Y	13.80	5.070	2.433	61.69	2.617	(31800)	(0.21)
12OC1-4-Z	13.75	5.063	2.432	61.81	2.628	(29000)	(0.18)
12OC1-4 平均					2.620	55600	0.20
12OC1-5-X	15.62～15.67	5.047	2.440	61.62	2.611	(15700)	(0.13)
12OC1-5-Y	15.70	5.030	2.442	61.11	2.594	58900	0.23
12OC1-5-Z	15.60	5.060	2.440	61.56	2.602	(26800)	(0.26)
12OC1-5 平均					2.602	58900	0.23
12OC1-6-X	18.82～18.87	4.420	2.438	53.54	2.595	(21400)	(0.23)
12OC1-6-Y	18.82	5.027	2.433	60.81	2.602	(25100)	(0.25)
12OC1-6-Z	18.76	5.053	2.435	61.32	2.606	35800	0.33
12OC1-6 平均					2.601	35800	0.33
全平均					**2.614**	**51900**	**0.21**

表中（　）は参考値として扱った値を示す

表 5.5.7 一軸繰返し試験結果 (12MI29 号孔)

供試体番号	採取 深度 (m)	供試体 高さ (cm)	供試体 直径 (cm)	重量 (g)	湿潤密度 ρ (g/cm^3)	ヤング率 E (MPa)	ポアソン比 ν
12OC2-1-X	16.38～16.43	5.038	2.437	61.83	2.631	68100	0.21
12OC2-1-Y	16.47	5.037	2.438	61.72	2.625	59300	0.17
12OC2-1-Z	16.34	5.040	2.435	61.89	2.637	58000	0.23
12OC2-1 平均					2.631	61800	0.20
12OC2-2-X	17.67～17.72	5.025	2.432	61.39	2.630	51400	0.23
12OC2-2-Y	17.65	5.040	2.432	62.56	2.672	53300	0.15
12OC2-2-Z	17.75	5.000	2.430	60.85	2.624	43800	0.25
12OC2-2 平均					2.642	49500	0.21
12OC2-3-X	19.95～20.00	4.000	2.440	48.59	2.598	52200	0.22
12OC2-3-Y	18.82	5.020	2.433	61.08	2.617	33400	0.21
12OC2-3-Z	18.75	5.025	2.435	61.40	2.624	61800	0.25
12OC2-3 平均					2.613	49100	0.23
12OC2-4-X	21.45～21.50	4.982	2.430	60.86	2.634	66500	0.18
12OC2-4-Z	21.36	4.950	2.430	60.26	2.625	52200	0.14
12OC2-4 平均					2.630	59400	0.16
12OC2-5-X	21.93～21.98	5.010	2.434	60.70	2.604	36900	0.25
12OC2-5 平均					2.604	36900	0.25
12OC2-6-X	23.25～23.30	5.010	2.429	60.99	2.627	66000	0.21
12OC2-6-Y	23.15	5.012	2.422	61.01	2.642	53100	0.20
OC2-6 平均					2.635	59600	0.21
全平均					**2.628**	**54000**	**0.21**

5.6 解析結果

5.6.1 解放ひずみデータの棄却検定

円錐孔底ひずみ法では、オーバーコアリング測定中に新たな割れ目やマイクロクラックが発生し、非弾性的で特異なひずみ挙動を示すデータが得られる場合がある。弾性体を仮定した応力解析ではこのような非弾性的なデータを取り扱うことができないため、非弾性的な挙動を含んでいると考えられるデータは棄却する必要がある。ここでは、(1)オーバーコアリングに伴うひずみ挙動、(2) 統計的手法の二つの観点からデータの棄却検定を行った。

(1) オーバーコアリングに伴うひずみ挙動に基づく棄却

円錐孔底面のひずみは、オーバーコアリングに伴う応力解放により周囲から受ける応力状態が変化することにより生じる。一般に、オーバーコアリングの削孔開始から約 33mm でひずみゲージの位置に達し、均質で弾性体に近い岩盤では削孔開始から約 100mm でひずみ挙動は一定となり、ほぼ安定する。図 5.6.1 はこのような均質で弾性体に近い岩盤で得られたひずみ解放曲線の例である。しかし、ひずみゲージ近傍にある割れ目や不均質部分の影響によりオーバーコアリング中のひずみが非弾性的な挙動を示す場合があり、このようなひずみデータは異常値として棄却する。具体的には、ひずみが大きく＋側や－側に交互に変化するデータ、ある時点で急激に大きく変化するデータ、掘進長が十分に大きくてもひずみが安定しないデータである。棄却結果を表 5.6.1(1)、(2)および表 5.6.2 (1)、(2)に示した。同表では、「棄却基準」のうち「OC 挙動」の欄で採用（○）と棄却（×）に分けて示した。

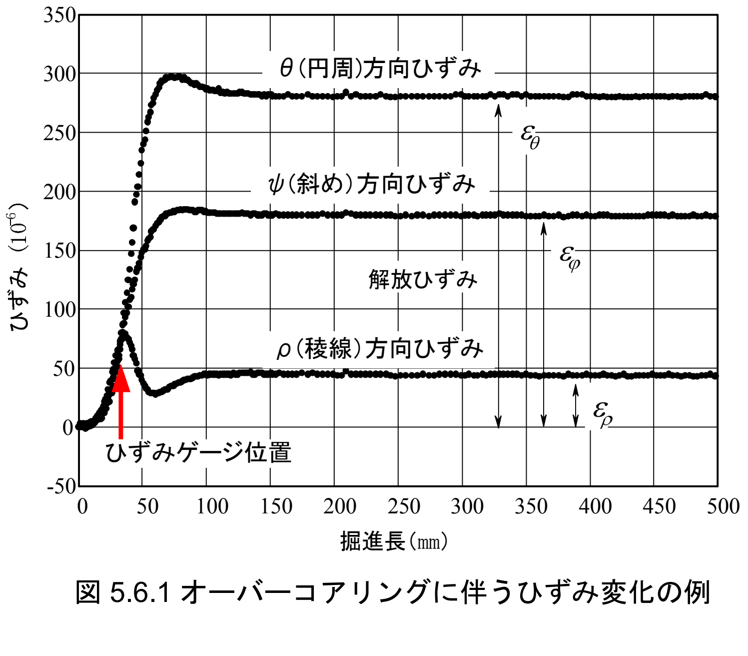


図 5.6.1 オーバーコアリングに伴うひずみ変化の例

(2) 統計的手法に基づく棄却

前述の棄却検定で採用された解放ひずみの値と岩石試験で得られたヤング率およびポアソン比の値を用いて初期応力（6 応力成分）を計算する。次に計算された初期応力と上記のヤング率およびポアソン比を用いるとひずみの理論解を得ることができる。各ひずみゲージの方向（ρ、θ、ϕ）別に理論ひずみを計算し、測定によって得られた解放ひずみと比較する。このとき理論ひずみから大きく乖離している解放ひずみは棄却する。この棄却の判断基準にトンプソンの棄却検定を利用し、信頼区間 95%の範囲に入らないデータは棄却する。図 5.6.2 に理論ひずみ曲線に基づ

く統計的な手法による棄却の例を示す。この棄却検定の結果を表 5.6.1 (1)、(2)および表 5.6.2(1)、(2)に示した。同表では、「棄却基準」のうち「統計処理」の欄で採用（○）と棄却（×）に分けて示した。

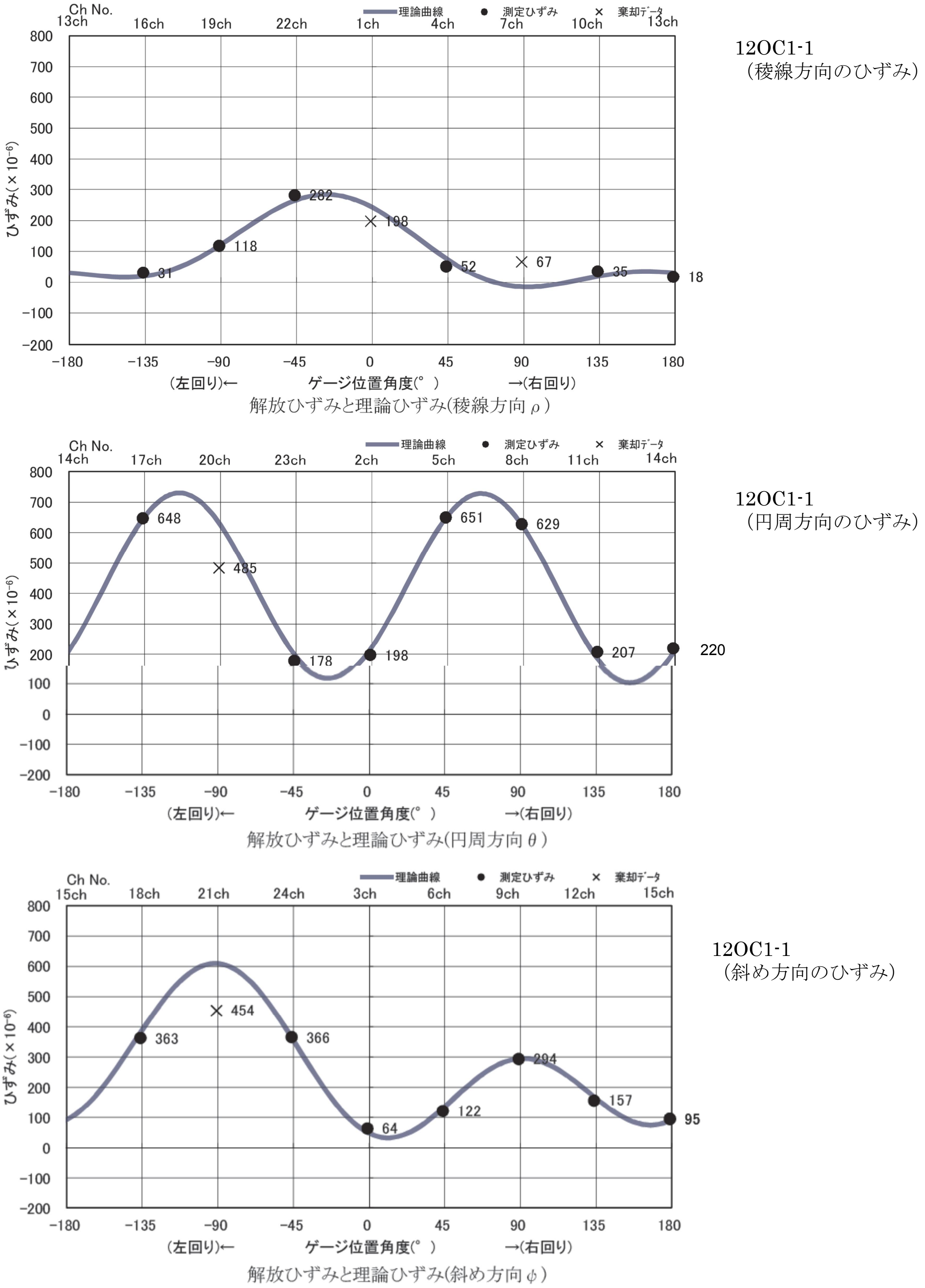


図 5.6.2 理論ひずみ曲線に基づく統計的な手法による棄却の例

表 5.6.1(1) 解放ひずみと棄却検定結果（12OC1-1, 2, 3）

12OC1-1		棄却基準		12OC1-2		棄却基準		12OC1-3		棄却基準	
Ch No.	解放ひずみ	OC挙動	統計処理	Ch No.	解放ひずみ	OC挙動	統計処理	Ch No.	解放ひずみ	OC挙動	統計処理
1	198	○	○	1	323	○	○	1	-486	×	－
2	198	○	○	2	39	○	○	2	360	×	－
3	64	○	○	3	112	○	○	3	-416	×	－
4	52	○	○	4	-268	×	－	4	-17	×	－
5	651	○	○	5	330	×	－	5	6	×	－
6	122	○	○	6	156	×	－	6	2	×	－
7	67	○	×	7	-241	×	－	7	19	×	－
8	629	○	○	8	161	×	－	8	-25	×	－
9	294	○	○	9	-76	×	－	9	-6	×	－
10	35	○	○	10	-169	×	－	10	81	○	○
11	207	○	○	11	132	×	－	11	681	○	○
12	157	○	○	12	-144	×	－	12	384	○	○
13	18	○	○	13	-104	×	－	13	66	○	○
14	220	○	○	14	-149	×	－	14	367	○	○
15	95	○	○	15	-141	×	－	15	426	×	－
16	31	○	○	16	-293	×	－	16	308	○	○
17	648	○	○	17	1306	×	－	17	290	○	○
18	363	○	○	18	405	×	－	18	614	○	○
19	118	○	○	19	650	○	○	19	373	○	○
20	485	○	×	20	-53	○	○	20	-29	○	×
21	454	○	×	21	253	○	○	21	116	○	×
22	282	○	○	22	535	○	×	22	-293	×	－
23	178	○	○	23	55	○	○	23	358	×	－
24	366	○	○	24	875	○	×	24	-47	○	○

薄墨文字：棄却したデータ

（ひずみの単位：$\times 10^{-6}$）

表 5.6.1(2) 解放ひずみと棄却検定結果（12OC1-4, 5, 6）

12OC1-4		棄却基準		12OC1-5		棄却基準		12OC1-6		棄却基準	
Ch No.	解放ひずみ	OC挙動	統計処理	Ch No.	解放ひずみ	OC挙動	統計処理	Ch No.	解放ひずみ	OC挙動	統計処理
1	77	○	○	1	25	○	○	1	101	○	○
2	517	○	○	2	331	○	○	2	-35	×	―
3	182	○	○	3	109	○	○	3	-3	×	―
4	91	○	○	4	329	○	○	4	34	○	○
5	319	○	○	5	327	○	○	5	181	○	○
6	152	○	○	6	141	○	○	6	-47	○	○
7	69	○	○	7	228	○	○	7	-6	○	○
8	126	○	○	8	197	○	○	8	113	○	○
9	67	○	○	9	164	○	○	9	65	○	○
10	10	○	○	10	313	○	○	10	8	○	○
11	242	○	○	11	255	○	○	11	57	○	○
12	116	○	○	12	346	○	○	12	106	○	○
13	121	○	×	13	194	○	○	13	-112	×	―
14	470	○	○	14	308	○	○	14	81	×	―
15	401	○	○	15	394	○	○	15	137	×	―
16	188	○	○	16	140	×	―	16	116	○	○
17	354	○	○	17	638	×	―	17	196	×	―
18	481	○	○	18	634	×	―	18	127	×	―
19	320	○	○	19	396	○	○	19	60	○	○
20	95	○	○	20	184	○	○	20	315	○	○
21	323	○	×	21	299	○	○	21	205	○	○
22	172	○	×	22	127	×	―	22	151	○	○
23	271	○	○	23	110	×	―	23	84	○	○
24	-38	×	―	24	49	×	―	24	266	○	×

薄墨文字：棄却したデータ

（ひずみの単位：$\times 10^{-6}$）

表 5.6.2(1) 解放ひずみと棄却検定結果（12OC2-1, 2, 3）

12OC2-1		棄却基準		12OC2-2		棄却基準		12OC2-3		棄却基準	
Ch No.	解放ひずみ	OC挙動	統計処理	Ch No.	解放ひずみ	OC挙動	統計処理	Ch No.	解放ひずみ	OC挙動	統計処理
1	107	○	○	1	65	○	○	1	-112	×	―
2	417	○	○	2	186	○	○	2	2127	×	―
3	395	○	○	3	236	○	○	3	1872	×	―
4	155	○	○	4	105	○	○	4	207	○	○
5	78	○	○	5	23	○	○	5	366	○	○
6	58	○	○	6	108	○	○	6	190	○	○
7	58	○	○	7	54	○	○	7	190	○	○
8	446	○	○	8	122	○	×	8	493	○	○
9	32	○	○	9	13	○	○	9	324	○	○
10	-156	×	―	10	12	○	○	10	106	○	○
11	812	○	○	11	407	○	○	11	837	○	×
12	362	○	○	12	199	○	○	12	246	○	○
13	61	○	○	13	25	○	○	13	151	○	○
14	366	○	○	14	241	○	○	14	1663	○	×
15	320	○	○	15	197	○	○	15	1160	○	×
16	76	○	○	16	64	○	○	16	100	○	○
17	209	○	○	17	-4	○	○	17	202	○	○
18	269	○	○	18	34	○	○	18	161	○	○
19	143	○	○	19	7	○	○	19	53	○	○
20	377	○	○	20	190	○	○	20	280	○	○
21	201	○	○	21	37	○	○	21	105	○	○
22	40	○	○	22	-31	○	○	22	69	○	○
23	770	○	○	23	367	○	○	23	503	○	○
24	469	○	○	24	224	○	○	24	249	○	○

薄墨文字：棄却したデータ

（ひずみの単位：$\times 10^{-6}$）

表 5.6.2(2) 解放ひずみと棄却検定結果（12OC2-4, 5, 6）

12OC2-4		棄却基準		12OC2-5		棄却基準		12OC2-6		棄却基準	
Ch No.	解放ひずみ	OC挙動	統計処理	Ch No.	解放ひずみ	OC挙動	統計処理	Ch No.	解放ひずみ	OC挙動	統計処理
1	190	○	○	1	108	○	○	1	19	○	○
2	130	×	―	2	133	×	―	2	196	○	○
3	55	×	―	3	158	×	―	3	129	○	○
4	77	○	○	4	48	○	×	4	36	○	○
5	213	○	○	5	2265	×	―	5	43	○	○
6	165	○	○	6	1427	×	―	6	50	○	○
7	23	○	○	7	-197	×	―	7	28	○	○
8	256	○	○	8	1324	×	―	8	18	○	○
9	80	○	○	9	1025	×	―	9	14	○	○
10	69	○	○	10	188	○	○	10	-12	○	○
11	251	○	○	11	310	○	○	11	120	○	○
12	68	○	○	12	82	○	○	12	10	○	○
13	156	○	×	13	155	×	―	13	-16	○	○
14	210	×	―	14	903	×	―	14	180	○	○
15	182	○	○	15	472	×	―	15	94	○	○
16	54	○	○	16	-13	×	―	16	45	○	○
17	46	○	○	17	5	×	―	17	24	○	○
18	156	○	○	18	-5	×	―	18	67	○	○
19	65	○	○	19	8	×	―	19	27	○	○
20	44	×	―	20	59	○	○	20	27	○	○
21	108	×	―	21	102	○	○	21	-4	○	○
22	117	×	―	22	574	×	―	22	29	○	○
23	192	×	―	23	176	×	―	23	117	○	○
24	125	×	―	24	250	○	○	24	66	○	○

薄墨文字：棄却したデータ

（ひずみの単位：×10^{-6}）

5.6.2 応力解析

今回測定された全 12 点の解放ひずみデータについて、いずれの測定点においても個別で 3 次元応力が算出可能な解放ひずみのデータ数（6 以上）が得られているため、各測定点個別での応力解析を行った。12MI28 号孔での 6 回と 12MI29 号孔での 6 回、計 12 回の測定結果について個別解析結果を表 5.6.3 および表 5.6.4 に示す。なお座標の設定は x 軸が東、y 軸が北、z 軸が鉛直上向きである。また、図 5.6.3 および図 5.6.4 に個別解析結果の主応力の方向と大きさを示す。

これらの測定結果から得られた個別の応力解析結果では、主応力の大きさにばらつきがみられるものの、図 5.6.3 および図 5.6.4 に示したように最大主応力については概ね NW-SE 方向を示しており、当測定箇所における初期応力の特徴をとらえているものと思われる。

表 5.6.3 12MI28 号孔の各測定点における解析結果

応力			12OC1-1	12OC1-2	12OC1-3	12OC1-4	12OC1-5	12OC1-6
6応力成分		σ_x	9.48	9.56	18.00	15.04	15.58	2.17
		σ_y	5.56	32.12	5.80	10.20	25.47	3.63
		σ_z	13.49	4.22	7.31	6.66	10.91	4.51
		τ_{xy}	-1.66	-11.58	-5.38	-3.47	-7.10	-1.70
		τ_{yz}	2.99	-2.86	-1.60	1.05	-1.10	0.73
		τ_{zx}	-4.08	2.05	3.82	-0.33	0.39	-0.28
主応力		σ_1	17.05	37.36	21.27	16.91	29.25	5.40
		方位/傾斜	150/55	-67/6	-21/17	152/4	-63/4	122/41
		σ_2	6.95	5.14	6.09	8.68	11.90	3.87
		方位/傾斜	4/31	27/31	171/73	60/21	207/9	-53/49
		σ_3	4.53	3.40	3.75	6.31	10.81	1.04
		方位/傾斜	265/16	193/58	70/3	254/69	50/81	214/3
面内応力	(xy 平面)	$\sigma_{1'}$	10.09	37.00	20.04	16.85	29.18	4.75
		$\sigma_{2'}$	4.95	4.67	3.76	8.39	11.88	1.05
		θ	-20	113	-21	-28	118	123
	(yz 平面)	$\sigma_{1'}$	14.49	32.41	8.32	10.49	25.56	4.92
		$\sigma_{2'}$	4.56	3.93	4.79	6.37	10.82	3.22
		θ	71	-6	122	15	-4	61
	(zx 平面)	$\sigma_{1'}$	16.03	10.25	19.23	15.06	15.61	4.54
		$\sigma_{2'}$	6.94	3.52	6.09	6.65	10.87	2.14
		θ	-32	71	72	92	85	-7

単位

・6 応力成分：σ、τ (MPa)

・主応力：σ (MPa)、方位(°)：水平面内で x 軸から反時計回りを正とする角度、傾斜(°)：水平面から上向きの角度

・面内応力：σ (MPa)、θ (°)：x 軸から y 軸、y 軸から z 軸、z 軸から x 軸を正とする $\sigma_{1'}$ の角度

表 5.6.4 12MI29 号孔の各測定点における解析結果

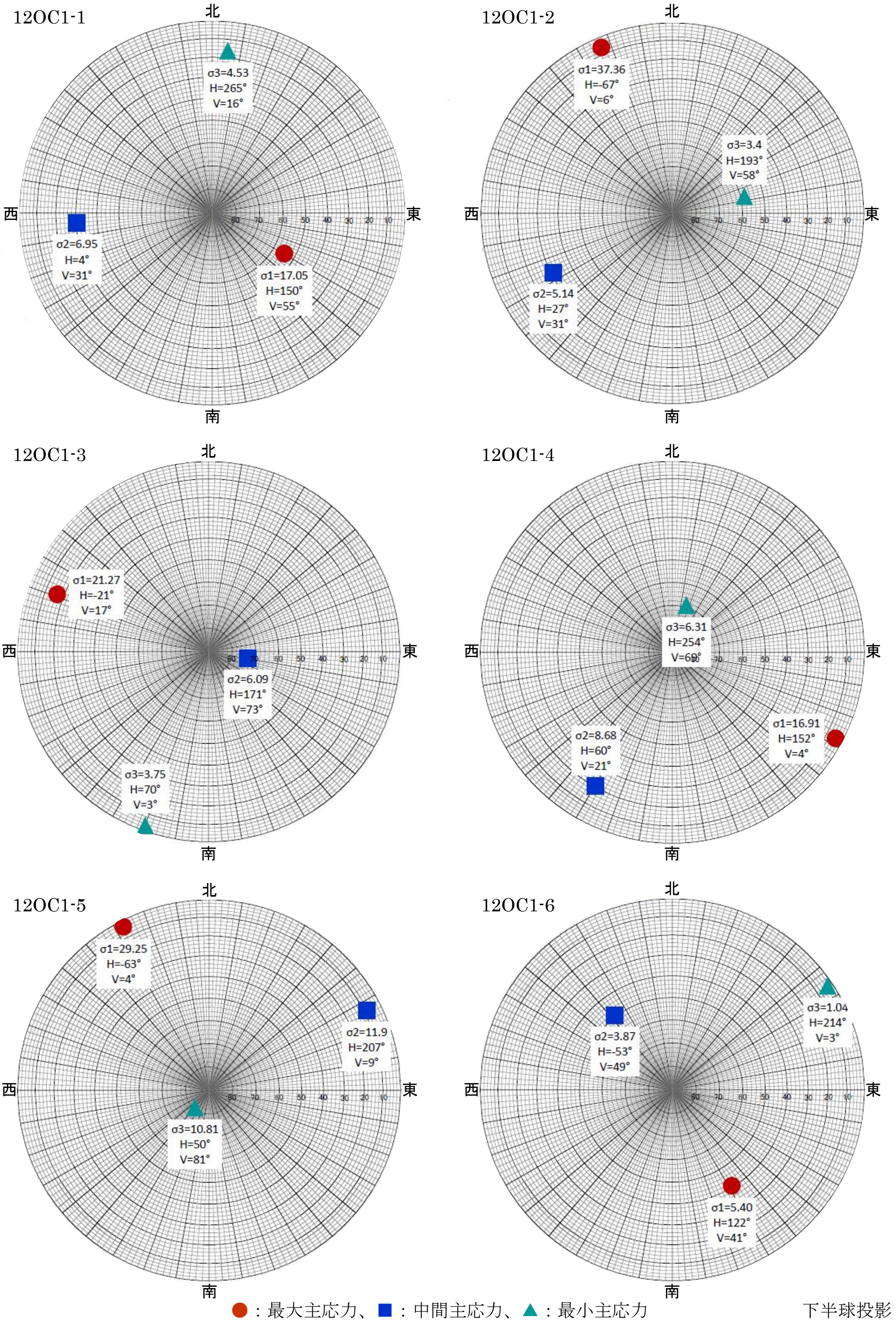
応力		12OC2-1	12OC2-2	12OC2-3	12OC2-4	12OC2-5	12OC2-6
6 応力成分	σ_x	7.23	3.92	10.04	6.22	10.39	2.09
	σ_y	13.63	4.70	9.22	7.68	6.71	3.85
	σ_z	14.07	5.24	10.66	7.41	4.28	1.48
	τ_{xy}	-1.91	-1.56	-1.72	-0.41	-1.39	-0.93
	τ_{yz}	4.21	2.32	1.36	-0.50	0.33	0.57
	τ_{zx}	-4.67	-1.31	0.01	-2.17	-0.37	-0.69
主応力	σ_1	19.87	8.24	12.04	9.08	10.89	4.47
	方位/傾斜	121/46	124/41	131/37	191/53	161/4	116/15
	σ_2	10.21	3.12	10.41	7.79	6.26	1.92
	方位/傾斜	250/31	-8/37	-12/47	-77/2	71/6	214/29
	σ_3	4.85	2.49	7.48	4.44	4.23	1.03
	方位/傾斜	-2/28	240/26	236/20	14/37	-73/83	1/57
面内応力（xy 平面）	$\sigma_{1'}$	14.15	5.92	11.40	7.79	10.86	4.25
	$\sigma_{2'}$	6.70	2.70	7.87	6.11	6.24	1.69
	θ	105	128	-38	105	-19	113
面内応力（yz 平面）	$\sigma_{1'}$	18.07	7.30	11.48	8.06	6.76	3.98
	$\sigma_{2'}$	9.63	2.64	8.41	7.03	4.23	1.34
	θ	47	48	59	-37	8	13
面内応力（zx 平面）	$\sigma_{1'}$	16.44	6.05	10.66	9.06	10.41	2.53
	$\sigma_{2'}$	4.86	3.11	10.04	4.57	4.26	1.03
	θ	-27	-32	1	-37	93	123

単位

・6 応力成分：σ、τ (MPa)

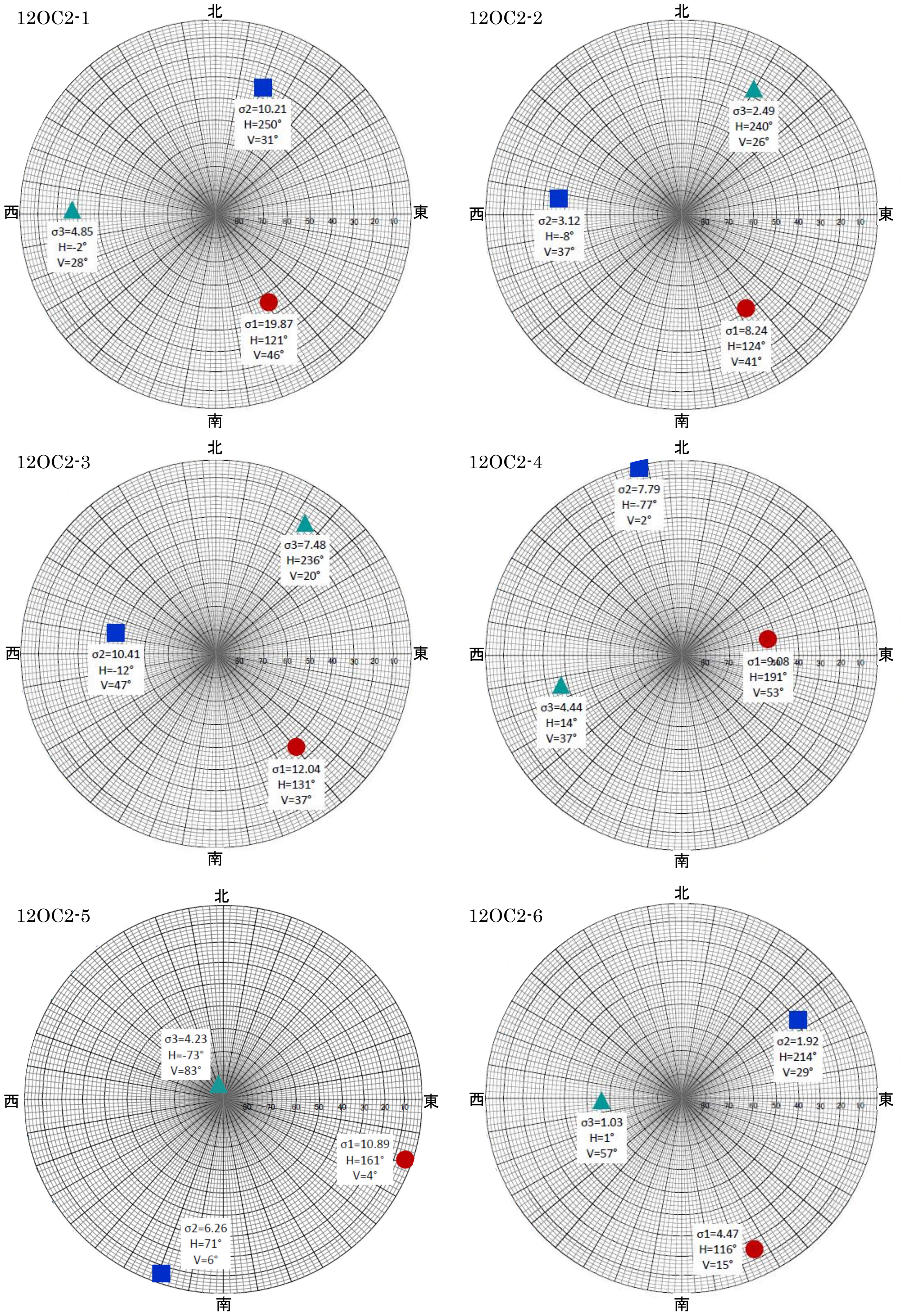
・主応力：σ (MPa)、方位(°)：水平面内で x 軸から反時計回りを正とする角度、傾斜(°)：水平面から上向きの角度

・面内応力：σ (MPa)、θ (°)：x 軸から y 軸、y 軸から z 軸、z 軸から x 軸を正とする $\sigma_{1'}$の角度



●：最大主応力、■：中間主応力、▲：最小主応力　　　　下半球投影

図 5.6.3 主応力の方向と大きさ（12OC1-1～6）



●：最大主応力、■：中間主応力、▲：最小主応力　　　　　　　下半球投影

図 5.6.4 主応力の方向と大きさ（12OC2-1～6）

5.6.3　深度 300m における初期応力状態

12MI28 号孔および 12MI29 号孔における円錐孔底ひずみ法による初期応力測定について、全 12 回の測定結果は個別に応力解析可能なことからそれぞれの測定データは有意なデータであったと考えられる。そこで、それぞれのボーリング孔ごとの代表値、あるいは両ボーリング孔の測定結果を総合的に解析し深度 300m における代表値を算出した。なお代表値の算出には以下の 2 通りの方法とした。

- 全ての測定結果の重みを同等と評価したとき、各応力解析結果の 6 応力成分の平均値を代表値と考える（6 応力成分の平均）。
- 各孔で得られた解放ひずみのうち有意と認められたひずみの値を用いて、全てのひずみデータから最小二乗法で計算された応力状態を代表値と考える。この場合は、各測定点での有意な解放ひずみの多寡が解析結果に重みとして反映される（全ひずみの最小二乗）。

表 5.6.5 に、12MI28 号孔と 12MI29 号孔のそれぞれのボーリング孔において 6 測定の個別の測定結果の 6 応力成分を平均した値（6 応力成分の平均）と、棄却検定で有意と判断された 6 測定の全解放ひずみデータを用いて、各孔での最小二乗法による応力解析で得られた値（全ひずみの最小二乗）を示す。また、これら解析結果の主応力方向をステレオネットにプロットして図 5.6.5 に示す。

6 応力成分の平均と全ひずみの最小二乗の結果の大きさを 6 応力成分で比較すると、両計算方法による応力値は近似していることがわかった。また、主応力の方向についても近似していることがわかった。図 5.6.5 で示した 12MI28 号孔での主応力の方位のうち、中間主応力 σ_2 と最小主応力 σ_3 の方位が個別の 6 応力成分と全ひずみの応力解析で入れ替わってみえるのは、中間主応力 σ_2 と最小主応力 σ_3 の大きさが近いためであり、応力状態としては近似していると評価できる。

一方、12MI28 号孔と 12MI29 号孔について 6 応力成分の大きさを比較すると、鉛直応力 σ_z の値は近似しているものの水平成分 σ_x、σ_y の値は、12MI28 号孔の方が 12MI29 号孔に比べ最大で 2 倍程度大きくなっている。今回の測定箇所は深度 300m であり、土被り圧は 6.5MPa 程度 ($(1.9\mathrm{g/cm^3}\times170\mathrm{m}\times9.80665\mathrm{m/s^2}\times10^{-3}+2.6\ \mathrm{g/cm^3}\times130\mathrm{m}\times9.80665\mathrm{m/s^2}\times10^{-3})$) である。表 5.6.5 に示した鉛直応力 σ_z は 12MI28 号孔では 7.85MPa もしくは 8.02MPa であり、12MI29 号孔では 7.19MPa もしくは 7.39MPa であり、どちらのボーリング孔でも土被り圧と近い値が得られている。ここで鉛直応力の深度分布は平均的には土被り圧で表現できることが知られている[10)]。よって一般に、測定された鉛直応力と測定箇所での土被り圧を比較してこれらの値が近い値である場合、応力測定結果の信頼性が大きいと判断される。今回得られた 12MI28 号孔と 12MI29 号孔の鉛直応力 σ_z の値はどちらも土被り圧とほぼ同程度の値であるため、どちらの測定結果も信頼性が大きく、また結果の重みに関して両者に有意な差異はないと評価する。両ボーリング孔における 3 次元最大主応力の方位は傾斜がやや異なるもののどちらも NW-SE である。よって今回の初期応力測定では、深度 300m の初期応力は広域的な応力場では NW-SE 方向から最大圧縮を受けているが、12MI28 号孔、12MI29 号孔のそれぞれに特有な地質状況のため応力値が異なっているものと考えられる。

表 5.6.5 ボーリング孔ごとの初期応力（6 応力成分）

6 応力成分	12MI28		12MI29	
	6 応力成分の平均(MPa)	全ひずみの最小二乗 (MPa)	6 応力成分の平均(MPa)	全ひずみの最小二乗(MPa)
σ_x	11.64	12.45	6.65	6.24
σ_y	13.80	11.94	7.63	7.57
σ_z	7.85	8.03	7.19	7.39
τ_{xy}	-5.15	-3.78	-1.32	-1.37
τ_{yz}	-0.13	-0.34	1.38	1.68
τ_{zx}	0.26	-0.58	-1.53	-1.50

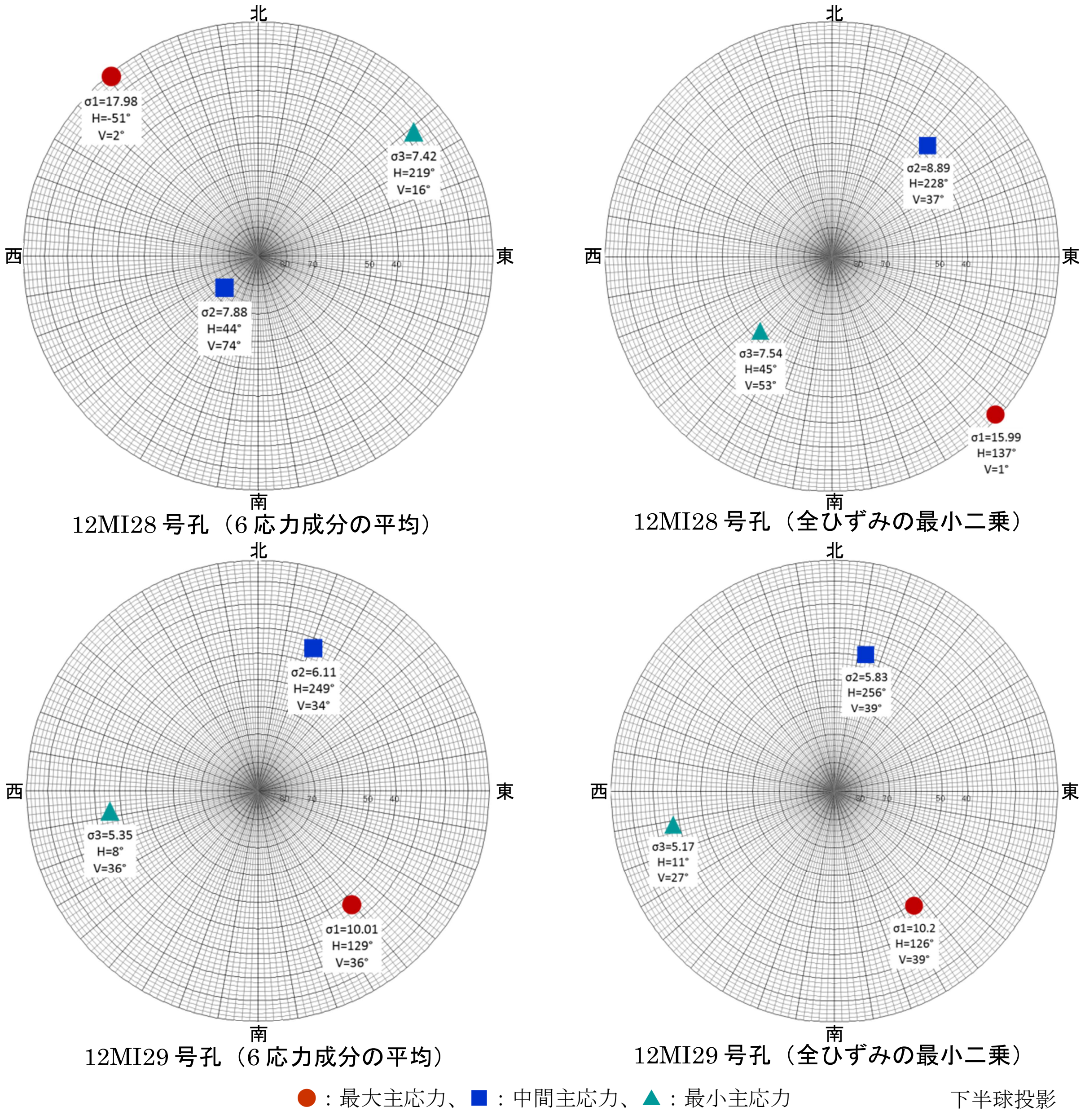


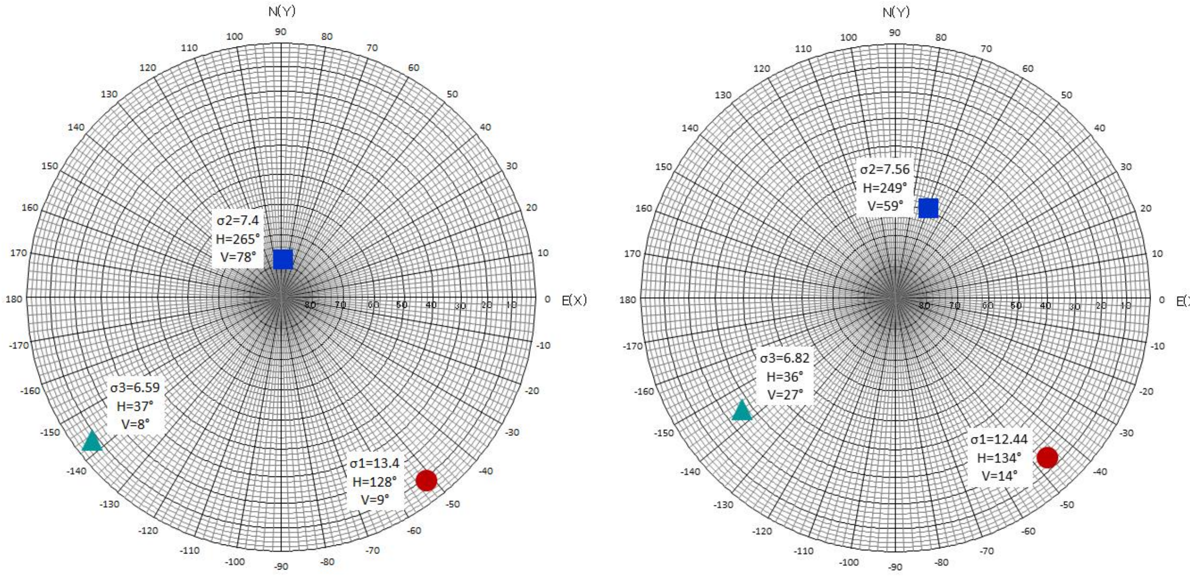
図 5.6.5 ボーリング孔ごとの初期応力（3 次元主応力）

表 5.6.6 に、12MI28 号孔と 12MI29 号孔の 2 孔全体で評価した深度 300m における初期応力状態を示す。同表には各孔の 6 応力成分を平均した結果と、2 孔の全ての解放ひずみを用いて最小二乗法による応力解析を実施した結果を合わせて示す。これら応力状態の主応力方向をステレオネットにプロットして図 5.6.6 に示す。このようにして得られた応力状態は、6 応力成分の平均値も全ひずみの応力解析の結果もほぼ同等の応力状態となった。換気立坑の深度 300m 付近における代表的な初期応力状態としては、個々の測定データの重みが考慮されていると考えられる全ひずみの最小二乗を採用する。

表 5.6.7 に、この代表値としての深度 300m における初期応力状態の 6 応力成分、3 次元主応力の大きさと方向および 2 次元主応力の大きさと方向の一覧表を示す。図 5.6.7 には 3 次元主応力および 2 次元主応力の状態を図示する。最大主応力は 12.4MPa で主応力比は σ_1:σ_2:σ_3＝1.8:1.1:1.0 となった。また最大側圧比は 1.57 (≒12.13MPa/7.71MPa)となった。水平面内の最大主応力の方向は NW-SE 方向であることが分かった。

表 5.6.6 深度 300m における初期応力（6 応力成分）

6 応力成分	6 応力成分の平均(MPa)	全ひずみの最小二乗(MPa)
σ_x	9.15	9.35
σ_y	10.72	9.76
σ_z	7.52	7.71
τ_{xy}	-3.24	-2.57
τ_{yz}	0.63	0.67
τ_{zx}	-0.64	-1.04



6 応力成分の平均　　　　全ひずみの最小二乗

●：最大主応力、■：中間主応力、▲：最小主応力　　　下半球投影

図 5.6.6 深度 300m における初期応力（3 次元主応力）

表 5.6.7 2 孔の全ての解放ひずみの最小二乗の結果※

6 応力成分

σ_x	9.35	MPa	τ_{xy}	-2.57	MPa
σ_y	9.76	MPa	τ_{yz}	0.67	MPa
σ_z	7.71	MPa	τ_{zx}	-1.04	MPa

※ただし、5.6.1 項の棄却検定をパスした解放ひずみのみ使用

3 次元主応力の大きさと方向

	主応力値		方向余弦			方位角	傾斜角
			l	m	n	H(°)	V(°)
σ_1	12.44	MPa	-0.668	0.702	0.246	134	14
σ_2	7.56	MPa	-0.182	-0.475	0.861	249	59
σ_3	6.82	MPa	0.722	0.530	0.446	36	27

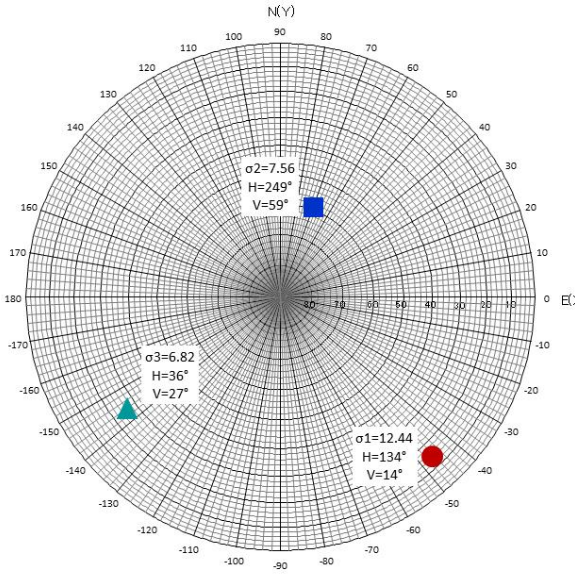
方位角：水平面内で x 軸から反時計回りを正とする角度

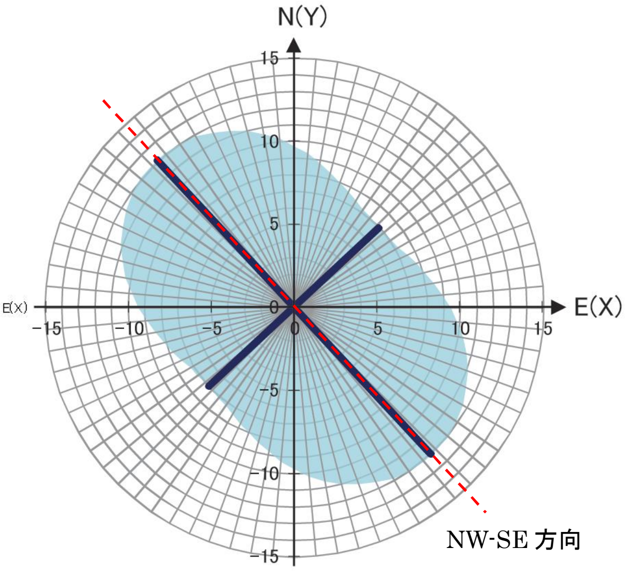
傾斜角：水平面から上向きの角度

2 次元主応力の大きさと方向

平面	σ_1'		σ_2'		θ (°)
xy 平面	12.13	MPa	6.98	MPa	133
yz 平面	9.96	MPa	7.51	MPa	17
zx 平面	9.85	MPa	7.21	MPa	116

θ ：x 軸から y 軸、y 軸から z 軸、z 軸から x 軸への回転を正とする σ_1'の角度

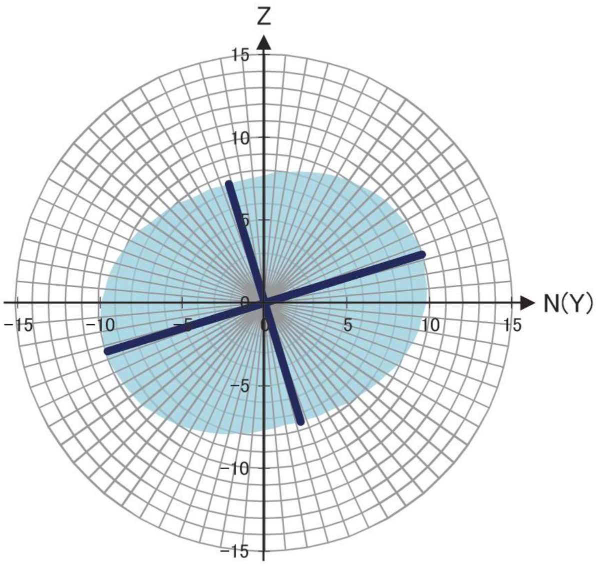


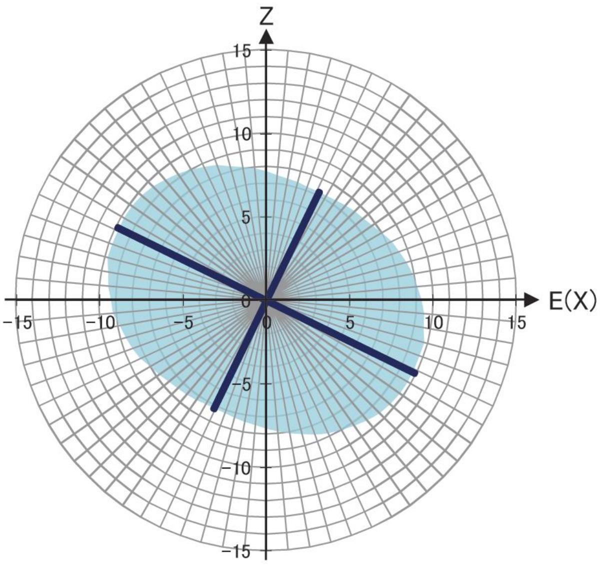


三次元主応力　　下半球投影

●：最大主応力、■：中間主応力、▲：最小主応力

二次元主応力
（xy 平面（**水平面**））





二次元主応力
（yz 平面）

二次元主応力
（zx 平面）

2 孔の全ての解放ひずみの最小二乗の結果
（ただし、5.6.1 項の棄却検定をパスした解放ひずみのみ）

図 5.6.7 深度 300m における初期応力

5.7 深度 300m における地質状況のまとめ

コア観察および BTV 観察の結果を以下にまとめる。またこれらの結果を整理して表 5.7.1 に示す。

・換気立坑内における他の調査で採取された既存コア（黒雲母花崗岩）と比較して有意な差異は認められなかった。

・12MI28 号孔および 12MI29 号孔ともに風化の痕跡は認められず、新鮮な岩石が連続していた。全般に岩石の強さ（硬さ）はA～B、割れ目間隔はⅢ～Ⅳ、岩盤分類は CH 級が主体であった。

・12MI28 号孔および 12MI29 号孔ともに高角度割れ目（傾斜角度 60º～90º）が発達していた。

・BTV 観察で確認された最も発達する割れ目の走向・傾斜は、12MI28 号孔では N52ºE84ºSE、12MI29 号孔では N21ºW89ºW であった。

・BTV 観察で確認された割れ目の発達方向は、12MI28 号孔では NE-SW～ENE-WSW 方向、12MI29 号孔では NNW-SSE～NW-SE 方向であった。

・割れ目の数は 12MI28 号孔では 84 本、12MI29 号孔は 142 本であり、12MI29 号孔の割れ目は 12MI28 号孔の約 1.7 倍であった。

・上記の割れ目の数の違いは掘削方向の違いによるものと考えられる。12MI28 号孔では発達する割れ目沿いに掘削したため見かけ上割れ目数が少なく、12MI29 号孔では発達する割れ目の走向に対し高角度に掘削したため、見かけ上割れ目数が多くなったものと考えられる。この割れ目の傾向は既存の壁面観察結果（図 5.5.1 参照）と整合的であった。

表 5.7.1 深度 300m ボーリング横坑における地質および岩盤状況

項目	12MI28 号孔	12MI29 号孔
地質	黒雲母花崗岩	黒雲母花崗岩
岩石の強さ（硬さ）	A～B	A～B
割れ目間隔	III～IV	III～IV
岩盤分類	CH 級が主体	CH 級が主体
割れ目の発達方向	NE-SW～ENE-WSW	NNW-SSE～NW-SE
発達する割れ目の傾斜角度	高角度 （傾斜角度 60 º～90º）	高角度 （傾斜角度 60 º～90º）
最も発達する割れ目の走向・傾斜	N52ºE84ºSE	N21ºW89ºW
割れ目の数	84 条	142 条

5.8 深度 300m における初期応力状態のまとめ

今回測定された深度 300m における初期応力状態について以下に整理する。

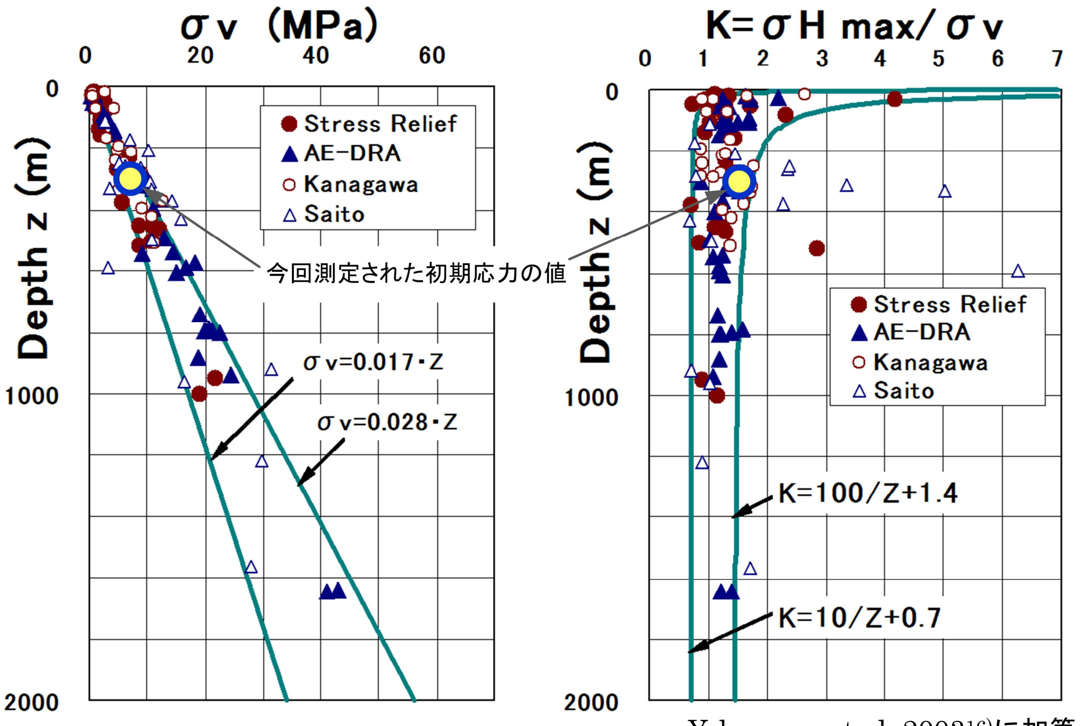
・主応力の方向については、最大主応力 σ_1 はほぼ水平面内で NW-SE 方向である。中間主応力 σ_2 と最小主応力 σ_3 は、最大主応力軸の直交面内でほぼ同等の値を有すため、全体の応力状態は二軸(中間主応力と最小主応力が同じ)応力状態に近い。

・主応力の大きさについては、σ_1 が 12.44 MPa、σ_2 が 7.56 MPa、σ_3 が 6.82 MPa で、鉛直応力 σ_z は 7.71 MPa である。被り深さ 300 m で予測される土被り圧は 6.5MPa（堆積岩の密度を 1.9 g/cm^3、花崗岩の密度を 2.6 g/cm^3、堆積岩と花崗岩の不整合面を深度 170m として計算）であるため、測定値は土被り圧と近い値であり、得られた初期応力の信頼性は高いものと考えられる。

・鉛直応力に対する水平成分の最大応力の比、すなわち最大側圧比 H_{max}/σ_z は 1.57（12.13 MPa / 7.71 MPa）となり比較的大きい。

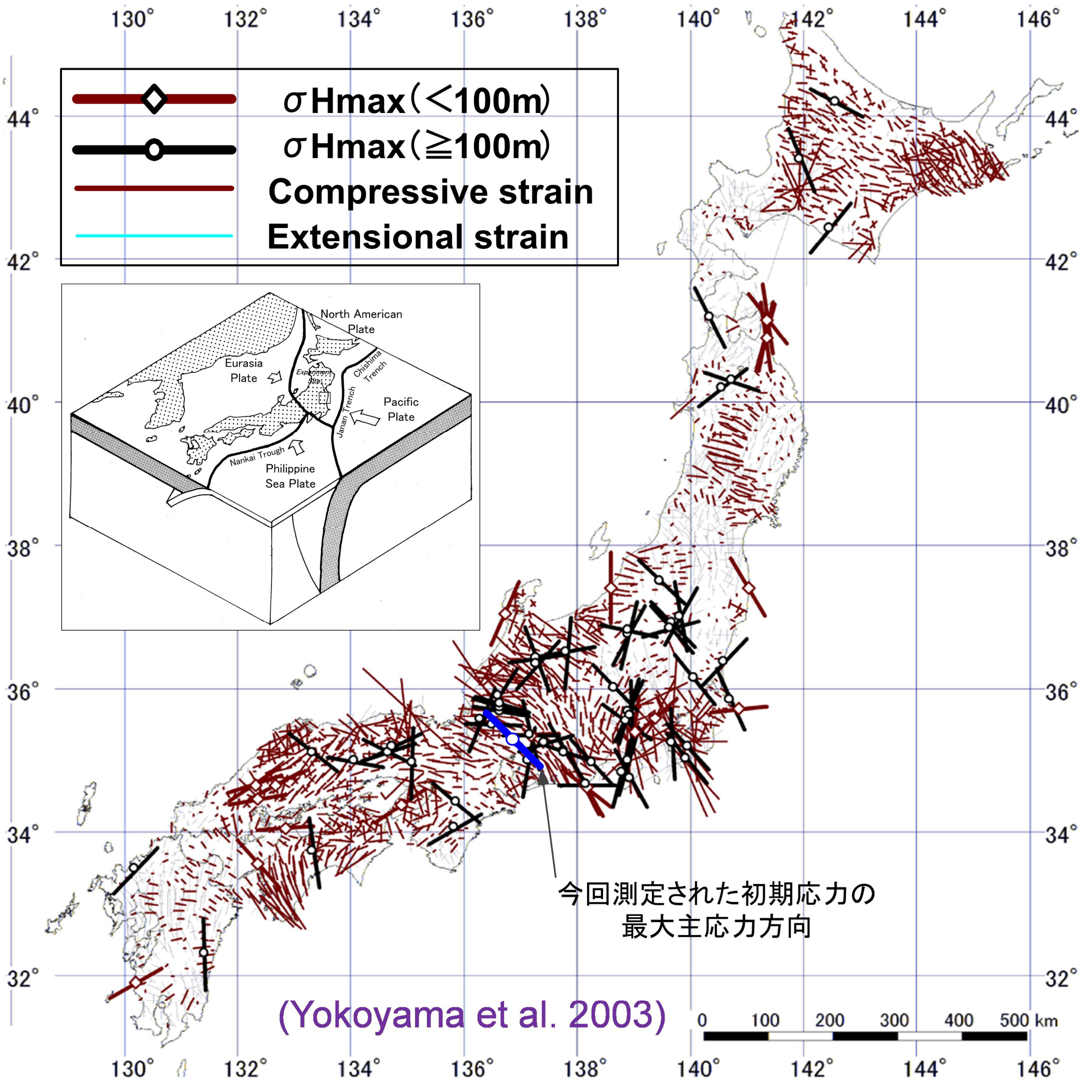
・これまでに国内で測定された主な初期応力測定結果の深度分布図 [16]に、今回の測定結果を加筆して図 5.8.1 に示す。今回の測定値は国内における過去の測定データの範囲内にプロットされる。

・これまでに国内で測定された主な初期応力測定結果の主応力分布と過去約 100 年間における地殻ひずみ分布図 [16]に、今回の測定結果を加筆して図 5.8.2 に示す。今回の測定値は、日本列島の地殻ひずみの分布と調和的である。



Yokoyama et al, 2003[16]に加筆

図 5.8.1 国内の既存の初期応力測定結果と今回の測定結果(1)



Yokoyama et al, 2003[16)]に加筆

図 5.8.2 国内の既存の初期応力測定結果と今回の測定結果(2)

5.9 第 1 段階調査結果の妥当性の検討

第 1 段階調査では地表より掘削されたボーリング孔（MIZ-1 号孔）を利用して水圧破砕法による初期応力測定を行った[8)]。第 1 段階で実施した水圧破砕法の結果と第 2 段階で実施した深度 100m[17)]、深度 200m[18)]および 2012 年度に実施した深度 300m における円錐孔底ひずみ法の結果の比較を図 5.9.1 に示す。水平面内における最大主応力について、深度 300m の円錐孔底ひずみ法の平均の結果は、水圧破砕法と比較してやや小さい値であった。個別の孔の結果で見ると 12MI28 号孔では水圧破砕法の結果と調和的であり研究所における岩盤の応力状態は測定する場所により図に示す 12MI28 号孔と 12MI29 号孔の差程度の応力値の変動はあるものと考えられる。

水平面内における最大主応力の方位について第 1 段階での調査結果と第 2 段階の調査結果は調和的であり、研究所における水平面内における最大主応力の方位は NW-SE であることが分かった。以上より、第 1 段階で水圧破砕法により推定した応力状態は妥当であることが確認された。

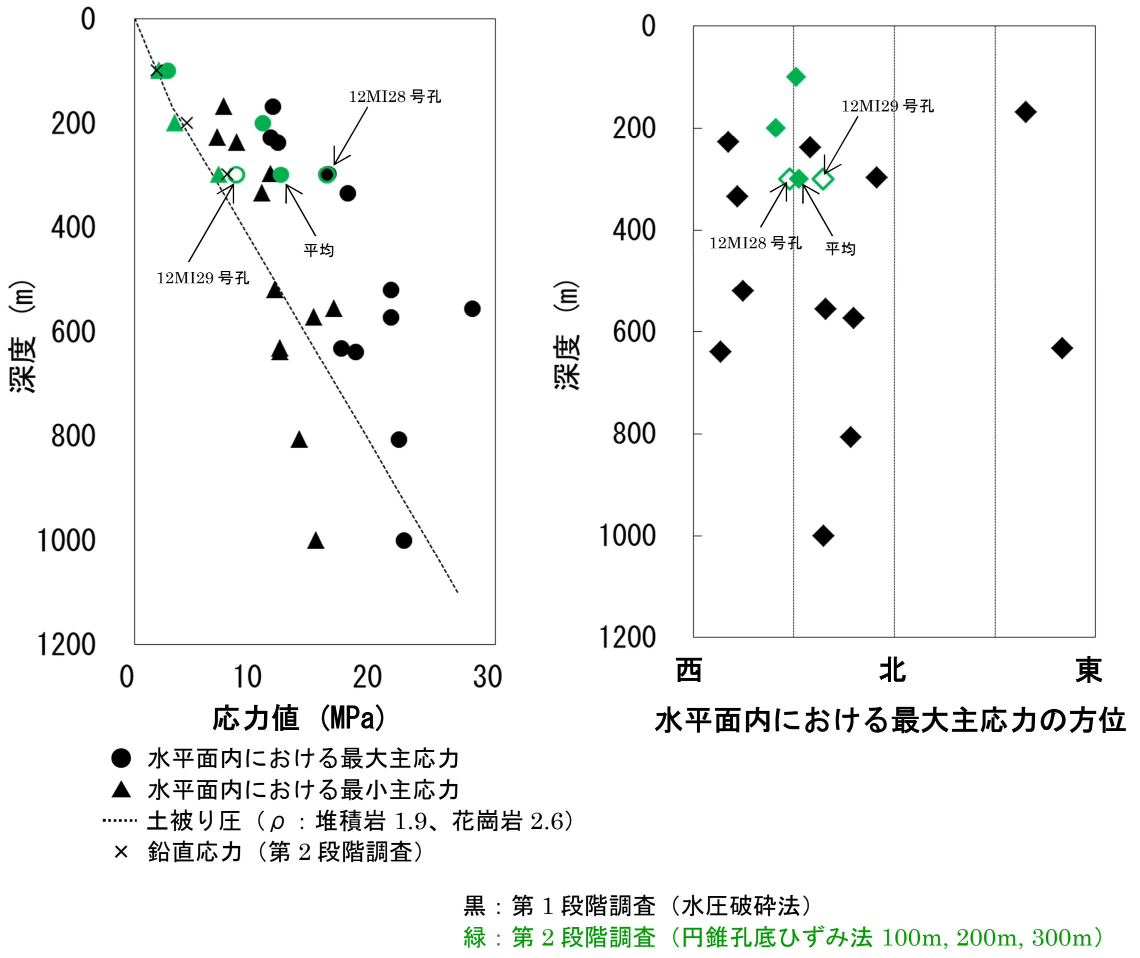


図 5.9.1 MIU 計画の第 1 段階と第 2 段階における調査結果の比較

5.10　二軸ひずみ感度に基づいた初期応力解析

円錐孔底ひずみ法では、オーバーコアリングで得られる解放ひずみと一軸繰返し試験で得られる岩石のヤング率およびポアソン比を用いて初期応力を計算する。円錐孔底ひずみ法の解析では弾性体を前提として解析しているため、応力はひずみとヤング率の積で表される。よって、ヤング率の大きさは、計算される初期応力の絶対値に大きく影響を与える。岩石のヤング率は、図 5.4.6 に示すようにオーバーコアリングで回収された岩石コアから供試体を採取して一軸繰返し試験を行い、ヤング率を取得する。均質な岩盤であれば、ストレインセル貼付位置のヤング率とそれ以深の一軸繰返し試験用の供試体を採取した箇所のヤング率の差異はほとんどないと考えられるので、算出される初期応力の値は原位置の初期応力と同等と評価される。しかし不均質な岩盤では、ストレインセル貼付位置のヤング率と一軸繰返し試験のヤング率が異なることがあり、この場合

には原位置の初期応力を正しく評価できないと考えられる。また、ストレインセルを貼付した円錐孔底面においても個々のロゼットゲージの貼付位置のヤング率が異なっている場合でも、ロゼットゲージごとにヤング率を設定しないと、正しく初期応力を評価できないと考えられる。このようなことから、オーバーコアリングで回収されたストレインセルを貼付した状態のコアに対して周圧載荷による二軸ひずみ感度試験を行い、測定したひずみの解放応力に対する応答（ひずみ感度）を正しく評価することを試みた。なお、この方法は横山ほか[19]で示された試験手順と解析方法に基づいている。

5.10.1　二軸ひずみ感度試験の方法

円錐孔底面にストレインセルが接着された状態の回収コアを利用し、このコアを感度試験の岩石供試体とする。この岩石供試体にゴムスリーブを被せ、油圧による周圧を作用させたときの周圧と円錐孔底のひずみとの関係を測定する。この二軸ひずみ感度試験器に岩石供試体をセットした時の断面図を図 5.10.1 に示す。

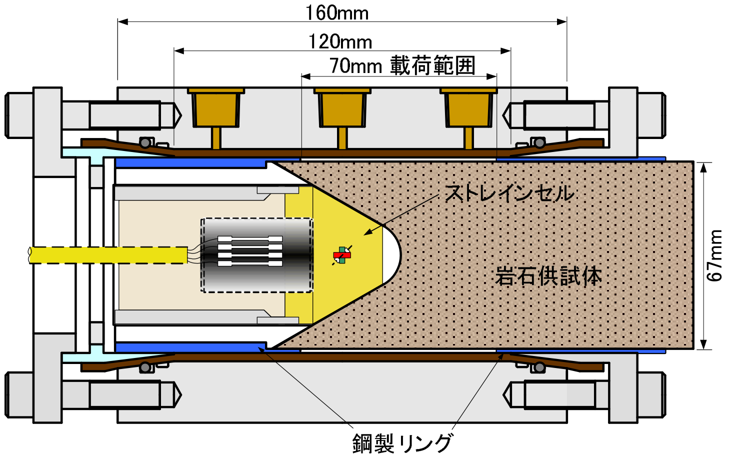


図 5.10.1 二軸ひずみ感度試験器

二軸感度試験の手順を以下に示す。

①オーバーコアリングで回収したコアを岩石供試体とし、その両端に鋼製リングを装着する。
　この鋼製リングで挟まれた範囲の岩石の表面に周圧が作用する。

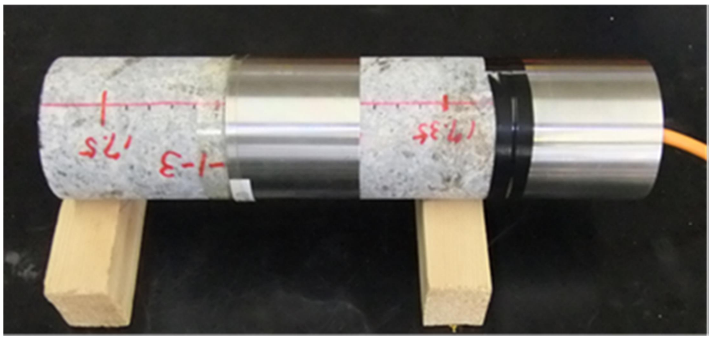
②岩石供試体を二軸ひずみ感度試験器に挿入する。

③油圧ポンプにより周圧を一定速度で載荷除荷し、これを 3 回繰り返す。

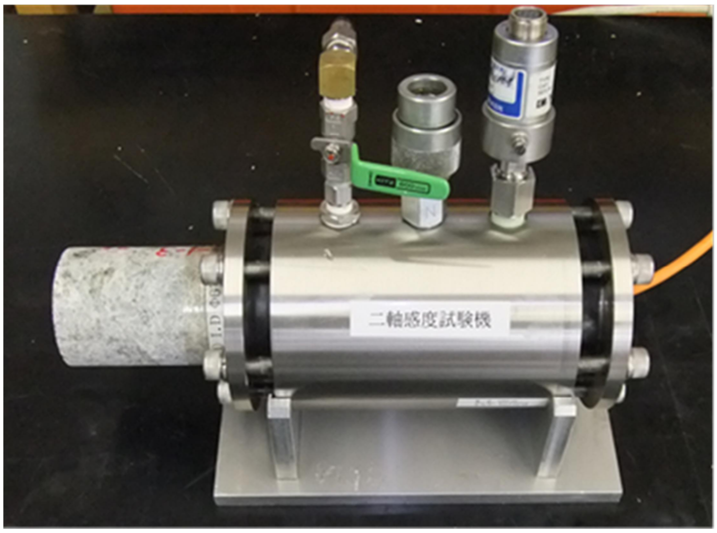
④油圧とひずみをデータロガーによりモニターし、データを収録する。

⑤得られたひずみと周圧データに基づき、周圧–ひずみ曲線を作成する。

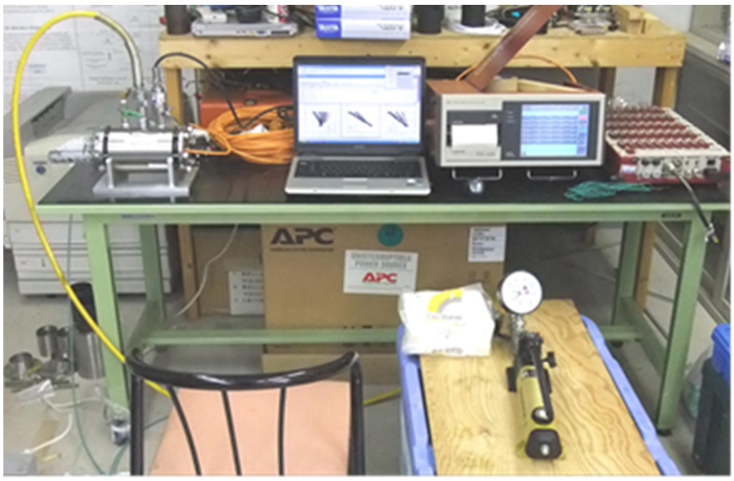
図 5.10.2 に二軸ひずみ感度試験実施時の状況写真を示す。



(a) 二軸ひずみ感度試験の供試体



(b) 載荷装置に供試体をセットした状況



(c) 二軸ひずみ感度試験実施時の全体の写真

図 5.10.2 二軸ひずみ感度試験

5.10.2 解放ひずみの補正方法

初期応力の算出方法を以下に示す。周圧を載荷したときの円錐孔底表面に生じるひずみは、この特殊な形状の境界条件で決まる。このため、ρ、θ、φ 各ゲージの感度係数は、図 5.10.3 に示すようなモデルによる数値解析によって得られる周圧とひずみの関係から、$E\rho$、$E\theta$、$E\varphi$ として求まる。このとき数値解析で与えた岩石のヤング率を E とし、次式で ρ、θ、φ 各ゲージの補正係数 Kn を定義する。

$$Kn = En／E,\ (n=\rho, \theta, \varphi) \qquad (2.1)$$

この補正係数は、円錐孔底の形状と周圧の載荷範囲が考慮された ρ、θ、φ 各ゲージの位置における感度補正係数である。次に、二軸感度試験で直接得られる応力-ひずみ関係から二軸感度係数 *Ei* を求め、各ゲージが接着された状態での感度を補正感度係数 *Eci* とし、次式で定義する。

$$Eci = Ei／Kn,\ (i=1〜8) \qquad (2.2)$$

Eci は、上記補正係数が考慮された ρ、θ、φ 各ゲージの位置における感度係数を表す。さらに、最終的な応力解析に使用するひずみとして、応力解放で得られた 24 成分の解放ひずみ ε_{pi} (i=1〜24)を次式で補正し、補正解放ひずみ ε_{ci} を得る。

$$\varepsilon_{ci} = \varepsilon_{pi} \times Eci／E_0 \qquad (2.3)$$

ここで用いる E_0 は応力解析の計算式で消去される値であるため、補正解放ひずみ ε_{ci} の値が桁落ちしない程度の補正感度係数 E_{ci} に近い値を用いる。この後は、補正解放ひずみ ε_{ci} を解放ひずみとみなし、通常と同様の応力解析を行う。

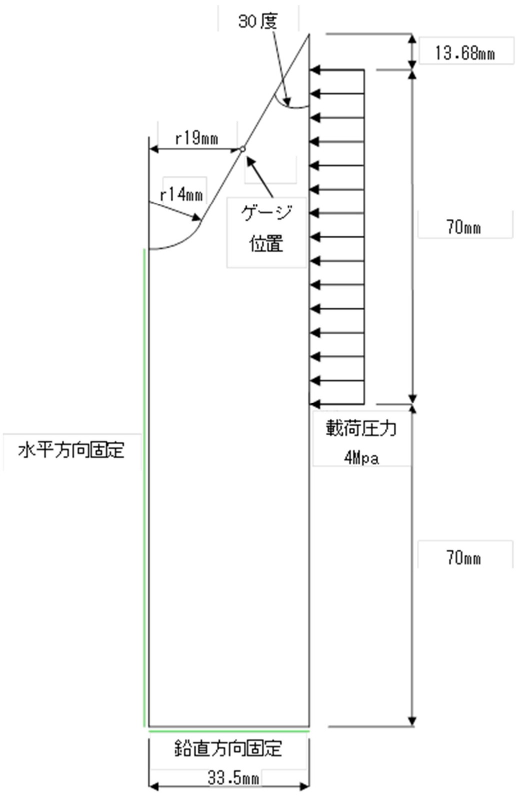


図 5.10.3 FEM 数値解析モデル

5.10.3　　試験結果

今回、二軸ひずみ感度試験で使用する供試体は二軸感度試験が可能な形状で回収された以下の3供試体とした。供試体の写真を図 5.10.4 に示す。

・12OC1-1：12.79m（オーバーコアリング区間：12.75m～13.06m）
・12OC1-5：15.50m（オーバーコアリング区間：15.46m～15.61m）
・12OC2-1：16.29m（オーバーコアリング区間：16.25m～16.65m）

図 5.10.4 二軸ひずみ感度試験で使用した供試体

二軸ひずみ感度試験で得られた応力－ひずみ曲線を図 5.10.5(1)～(3)に示す。周圧を載荷したときに生じる円錐孔底面上のひずみの大きさは、稜線方向 ρ、円周方向 θ、斜め方向 φ の各方向で異なる。また、ひずみの感度の大きさは円周方向 θ、斜め方向 φ、稜線方向 ρ の順に小さくなる。今回は 3 つの方向のうち最も感度の大きい円周方向 θ の感度を 1 組のロゼットゲージの代表的な感度としてひずみ感度を求めた。従って、一組のロゼットゲージ（円周方向 θ、斜め方向 φ、稜線方向 ρ）におけるひずみ感度（代表接着ヤング率）は同じ値を有し、全 8 組のロゼットゲージ毎に別々のひずみ感度を与えることになる。表 5.10.1(1)～(3)には、5.10.2 項で述べた補正方法に従い得られた補正解放ひずみの一覧表を示す。

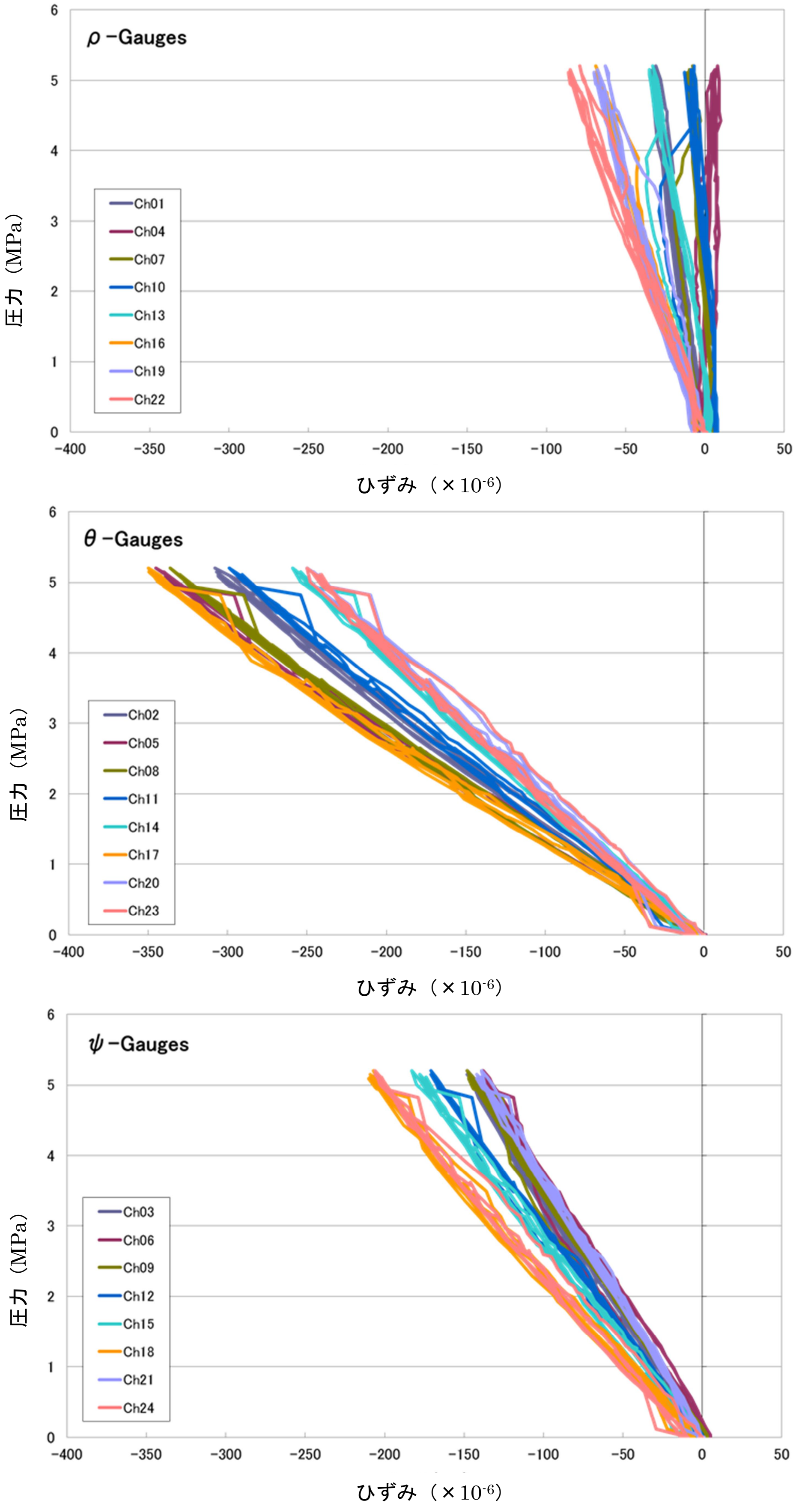


図 5.10.5(1) 二軸ひずみ感度試験結果（12OC1-1）

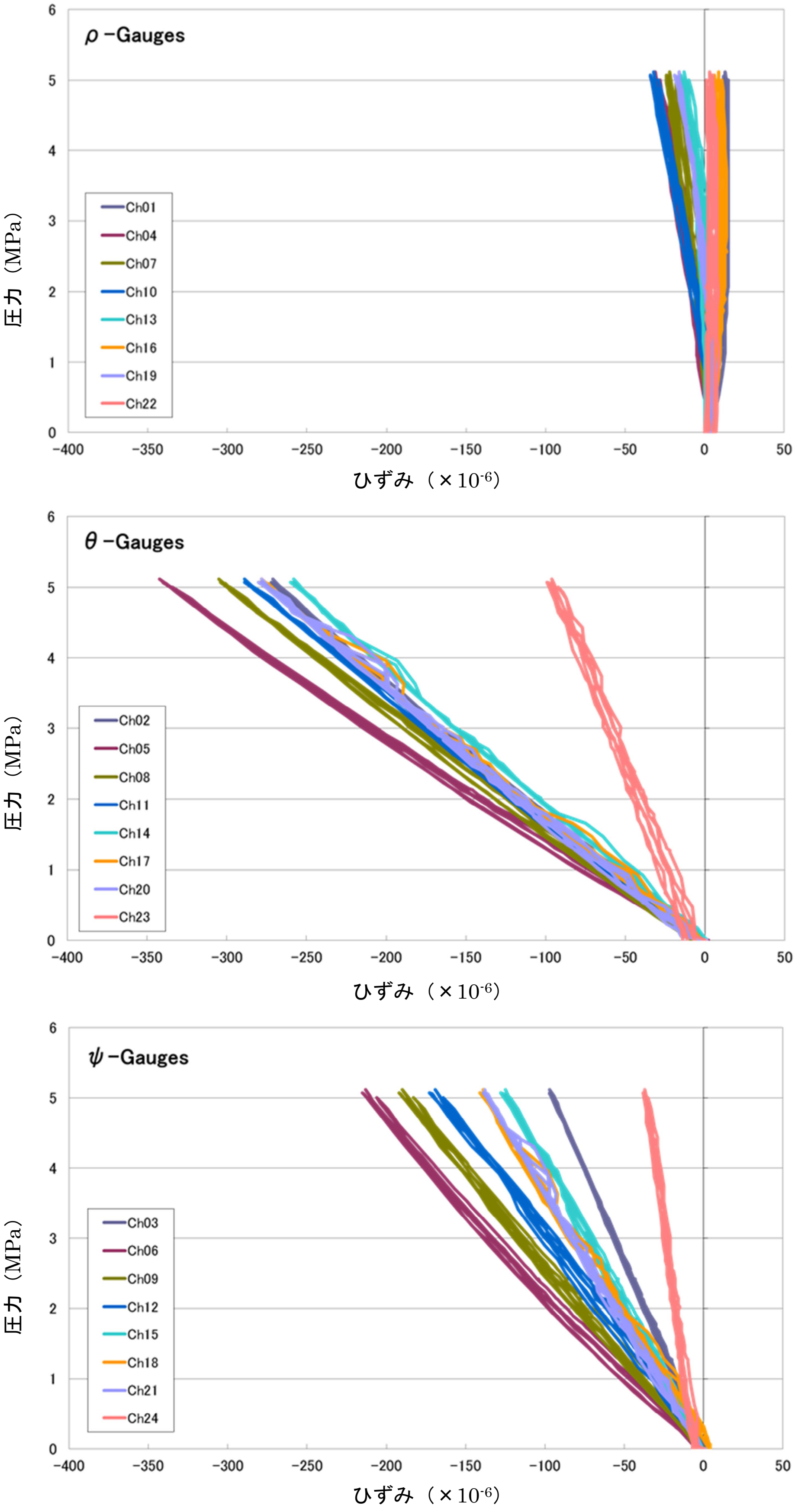


図 5.10.5(2) 二軸ひずみ感度試験結果（12OC1-5）

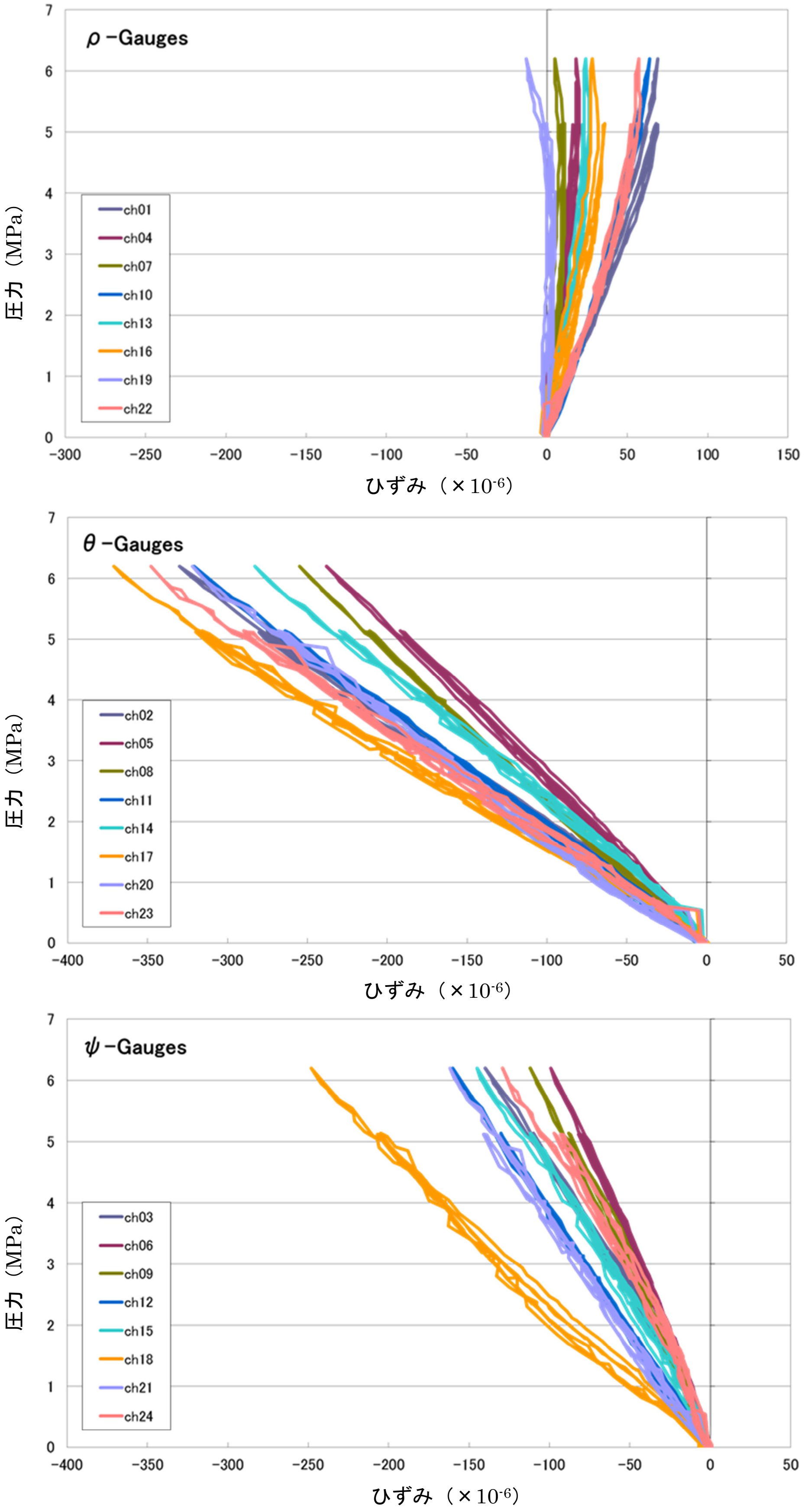


図 5.10.5(3) 二軸ひずみ感度試験結果（12OC2-1）

表 5.10.1(1) 解放ひずみの補正結果一覧（12OC1-1）

12OC1-1

解析用ヤング率 E_0=52,000MPa, ポアソン比 ν=0.21

方向	ゲージ No.	解放ひずみ ε pi (x10^{-6})	二軸感度 ETi (MPa)	封圧感度係数 E'cp	接着ヤング率 EAi	接着ヤング率の平均値 (MPa)	代表接着ヤング率 (MPa)	補正解放ひずみ ε i (x10^{-6})	重み
ρゲージ	1	198	-154,924	2.29682	-67,451	229,696	45,857	182	○
	4	55	5,173,066		2,252,273		43,702	48	○
	7	62	-254,314		-110,724		45,581	57	○
	10	36	-189,088		-82,326		50,958	37	○
	13	17	-129,733		-56,484		56,426	19	○
	16	30	-78,804		-34,310		44,029	26	○
	19	117	-85,155		-37,075		58,902	138	○
	22	281	-60,490		-26,337		62,278	350	○
θゲージ	2	197	-17,668	-0.38529	45,857	50,967	45,857	18	○
	5	647	-16,838		43,702		43,702	566	○
	8	625	-17,562		45,581		45,581	570	○
	11	205	-19,634		50,958		50,958	209	○
	14	219	-21,740		56,426		56,426	247	○
	17	645	-16,964		44,029		44,029	568	○
	20	483	-22,694		58,902		58,902	569	○
	23	177	-23,995		62,278		62,278	220	○
φゲージ	3	65	-36,265	-0.92589	39,168	36,181	45,857	60	○
	6	115	-38,768		41,871		43,702	101	○
	9	291	-34,688		37,465		45,581	265	○
	12	158	-31,371		33,882		50,958	161	○
	15	94	-33,104		35,753		56,426	106	○
	18	363	-26,938		29,094		44,029	320	○
	21	452	-38,661		41,755		58,902	532	○
	24	363	-28,205		30,463		62,278	452	○

注：代表接線ヤング率はθ方向ゲージの接着ヤング率とした。

重み“○”は解析に採用したデータ、“×”は棄却したデータを示す。

表 5.10.1 (2) 解放ひずみの補正結果一覧（12OC1-5）

12OC1-5

解析用ヤング率 E_0=52,000MPa, ポアソン比 ν=0.21

方向	ゲージ No.	解放ひずみ ε pi (x10⁻⁶)	二軸感度 ETi (MPa)	封圧感度係数 E'cp	接着ヤング率 EAi	接着ヤング率の平均値 (MPa)	代表接着ヤング率 (MPa)	補正解放ひずみ ε i (x10⁻⁶)	重み
ρゲージ	1	25	-791,703	2.29682	-344,695	-130,247	54,300	27	×
	4	329	-87,045		-37,898		42,457	279	○
	7	228	-153,005		-66,616		44,212	202	○
	10	313	-107,733		-46,905		46,073	288	○
	13	194	-110,558		-48,135		52,736	205	○
	16	140	-230,971		-100,561		49,341	138	×
	19	396	-120,516		-52,471		49,682	393	○
	22	127	-791,703		-344,695		152,690	388	×
θゲージ	2	331	-20,921	-0.38529	54,300	61,436	54,300	359	○
	5	327	-16,358		42,457		42,457	278	○
	8	197	-17,034		44,212		44,212	174	○
	11	255	-17,752		46,073		46,073	235	○
	14	308	-20,319		52,736		52,736	325	○
	17	638	-19,011		49,341		49,341	630	×
	20	184	-19,142		49,682		49,682	183	○
	23	110	-58,830		152,690		152,690	336	×
φゲージ	3	109	-50,330	-0.92589	54,359	54,155	54,300	118	○
	6	141	-25,991		28,072		42,457	120	○
	9	164	-27,509		29,711		44,212	145	○
	12	346	-26,477		28,596		46,073	319	○
	15	394	-36,361		39,271		52,736	416	○
	18	634	-36,789		39,734		49,341	626	×
	21	299	-36,789		39,734		49,682	297	○
	24	49	-160,882		173,759		152,690	150	×

注：代表接線ヤング率はθ方向ゲージの接着ヤング率とした。

重み“○”は解析に採用したデータ、“×”は棄却したデータを示す。

表 5.10.1(3) 解放ひずみの補正結果一覧（12OC2-1）

12OC2-1

解析用ヤング率 E_0=52,000MPa, ポアソン比 ν=0.21

方向	ゲージ No.	解放ひずみ ε pi ($x10^{-6}$)	二軸感度 ETi (MPa)	封圧感度係数 E'cp	接着ヤング率 EAi	接着ヤング率の平均値 (MPa)	代表接着ヤング率 (MPa)	補正解放ひずみ ε i ($x10^{-6}$)	重み
ρゲージ	1	107	110,369	2.29682	48,053	19,800	47,101	101	○
	4	155	465,664		202,743		64,590	200	○
	7	58	-803,497		-349,830		60,995	71	○
	10	-156	111,864		48,699		48,977	-153	×
	13	61	289,308		125,960		49,215	60	○
	16	76	284,009		123,653		40,484	62	○
	19	143	-218,302		-95,045		49,798	142	○
	22	40	124,419		54,170		41,614	33	○
θゲージ	2	417	-18,148	-0.38529	47,101	50,347	47,101	393	○
	5	78	-24,886		64,590		64,590	101	○
	8	446	-23,501		60,995		60,995	544	○
	11	812	-18,870		48,977		48,977	795	○
	14	366	-18,962		49,215		49,215	360	○
	17	209	-15,598		40,484		40,484	169	○
	20	377	-19,187		49,798		49,798	375	○
	23	770	-16,034		41,614		41,614	641	○
φゲージ	3	395	-36,944	-0.92589	39,901	42,538	47,101	372	○
	6	58	-54,968		59,367		64,590	75	○
	9	32	-49,457		53,415		60,995	39	○
	12	362	-35,470		38,309		48,977	355	○
	15	320	-38,395		41,468		49,215	315	○
	18	269	-24,317		26,264		40,484	218	○
	21	201	-37,634		40,647		49,798	200	○
	24	469	-37,898		40,931		41,614	390	○

注：代表接線ヤング率はθ方向ゲージの接着ヤング率とした。
　　重み“○”は解析に採用したデータ、“×”は棄却したデータを示す。

5.10.4 応力解析の結果

12OC1-1、12OC1-5、12OC2-1 の 3 つの測点について二軸ひずみ感度試験結果を考慮した初期応力解析を行った。各応力解析結果の詳しいデータシートは巻末に掲載した。ここでは、今回新たに行った二軸ひずみ感度試験に基づく解析法を「二軸感度補正法」と呼び、一軸繰返し試験を用いる解析法を「従来法」と呼ぶ。各測定点において、二軸感度補正法により求められた 6 応力成分を表 5.10.2 に、従来法により求められた 6 応力成分を表 5.10.3 に示す。なおそれぞれの表には 5.6.3 項で得られた深度 300m における代表値も示してある。

二軸感度補正法による結果は、従来法と比較してより代表値に近い値となっている。また、鉛直応力に着目すると、深度 300m における土被り圧（6.5MPa 程度）により近い値となっている。偏差応力に着目すると、いずれの測点のいずれの応力成分でも二軸感度補正法では従来法より偏差応力が小さくなっており、解析精度の向上が認められる。

今回新たに導入した二軸感度補正法は、応力解析結果における絶対値の信頼性向上を目標にしており、測定例はまだ少ないものの今回得られた結果からは良好な結果が得られたものと考えられる。ただし主応力の方向については、図 5.10.6 に示したように二軸感度補正法と従来法の結果に大きな差異は認められない。

表 5.10.2 二軸感度補正法による応力解析結果

6応力成分	12OC1-1		12OC1-5		12C2-1		深度 300m における代表値
	応力 (MPa)	偏差応力 (MPa)	応力 (MPa)	偏差応力 (MPa)	応力 (MPa)	偏差応力 (MPa)	(MPa)
σ_x	9.24	0.18	13.19	0.20	2.65	0.38	9.35
σ_y	5.00	0.25	15.52	0.30	5.01	0.39	9.76
σ_z	12.94	0.11	8.09	0.11	5.93	0.42	7.71
τ_{xy}	-1.36	0.13	-5.75	0.14	-1.41	0.26	-2.57
τ_{yz}	2.65	0.10	-0.72	0.12	2.04	0.25	0.67
τ_{zx}	-3.35	0.09	0.34	0.10	-2.22	0.17	-1.04

表 5.10.3 従来法による応力解析結果

6応力成分	12OC1-1		12OC1-5		12C2-1		深度 300m における代表値
	応力 (MPa)	偏差応力 (MPa)	応力 (MPa)	偏差応力 (MPa)	応力 (MPa)	偏差応力 (MPa)	(MPa)
σ_x	9.48	0.27	15.58	1.37	7.23	1.09	9.35
σ_y	5.56	0.34	25.47	1.84	13.63	1.13	9.76
σ_z	13.49	0.24	10.91	1.04	14.07	0.75	7.71
τ_{xy}	-1.66	0.21	-7.10	1.06	-1.91	0.76	-2.57
τ_{yz}	2.99	0.17	-1.10	0.82	4.21	0.65	0.67
τ_{zx}	-4.08	0.17	0.39	0.91	-4.67	0.52	-1.04

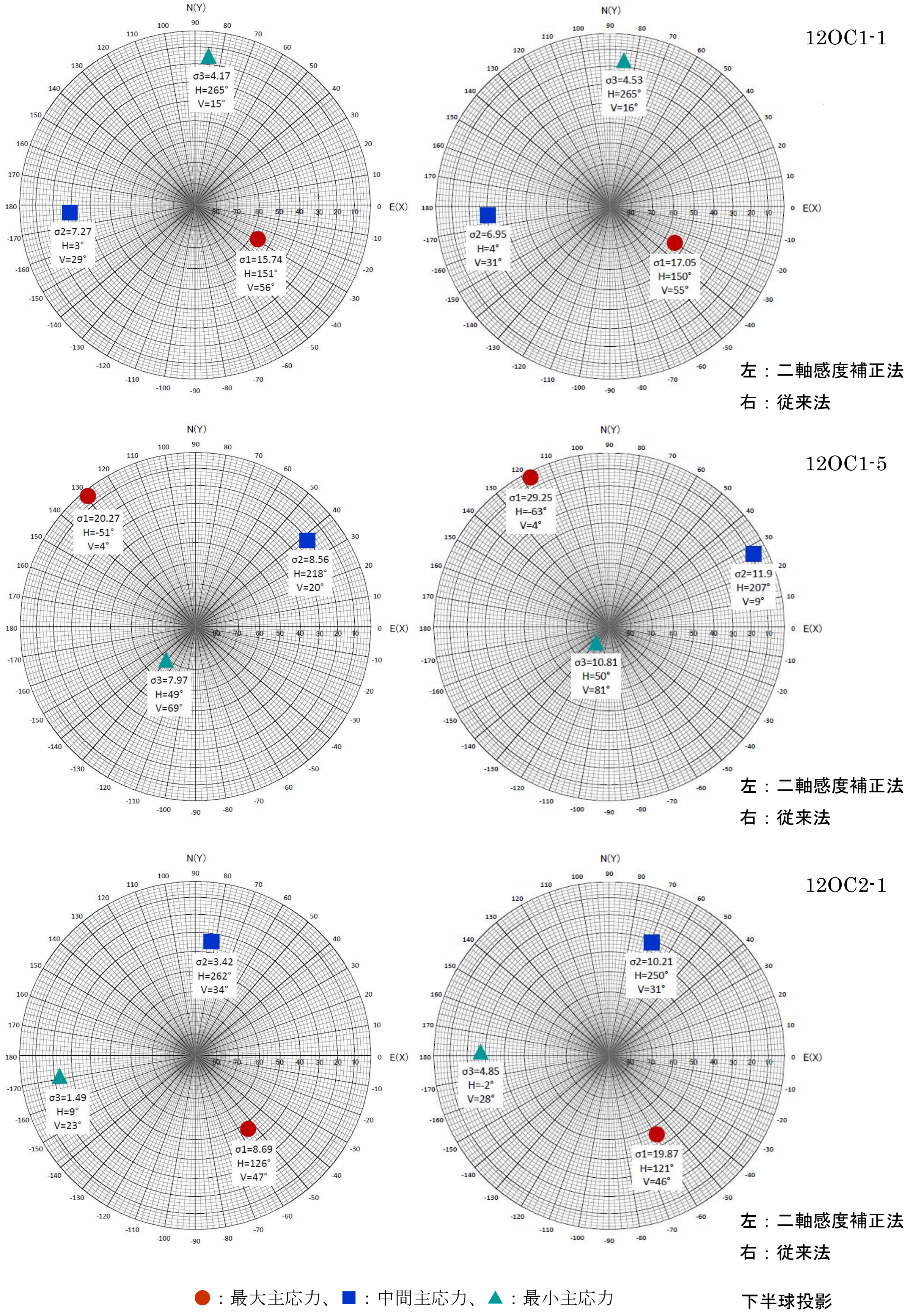


図 5.10.6 二軸感度補正法と従来法の解析結果の比較

5.10.5　二軸ひずみ感度試験結果に基づく応力解析のまとめ

円錐孔底ひずみ法による応力解析理論のなかで、解析結果の初期応力の大きさに直接影響するヤング率の与え方について、提案されている新たな方法[19]を適用した。この結果、この手法の長所、短所および今後の課題が明らかとなったので、以下に整理する。

＜二軸感度補正法の長所＞

・応力解析で得られる初期応力の絶対値の信頼性がより高くなる。円錐孔底ひずみ法における初期応力解析では、得られる初期応力の大きさが測定される解放ひずみの大きさおよび岩石のヤング率の大きさと比例関係にある。従来法では、一軸繰返し試験によって得られるヤング率は解放ひずみの計測位置とは異なる箇所で計測された値である。このため、測定対象としている岩盤の不均質性が無視できないときには、応力解析で得られる初期応力の大きさに誤差が含まれることになる。二軸感度補正法では、解放ひずみとヤング率（ひずみ感度）を計測する箇所が同一であるため、理論的に上記のような誤差が含まれない。

・応力解析で得られる初期応力の主応力の方向性の信頼性がより高くなる可能性がある。従来の円錐孔底ひずみ法の観測方程式では、ヤング率は一様の等方弾性体と仮定された材料の応力解析が基礎になっている。二軸感度補正法も基本的には等方弾性体を仮定した同じ観測方程式を用いているが、測定された解放ひずみの値をそれぞれのロゼットゲージごとのひずみ感度で補正している。このため、解析される初期応力は岩石の不均質性が考慮された値、すなわち主応力の方向り実際の応力状態に近くなる可能性がある。

＜二軸感度補正法の短所＞

・二軸感度補正法では、従来法にはない室内での二軸感度試験を原位置でのオーバーコアリングとは別に行う必要がある。この試験を実施する作業とオーバーコアリング後のコアの回収作業時に、ひずみゲージのケーブルを切断できない煩雑さが、円錐孔底ひずみ法の簡便さを阻害している。

・二軸感度試験に供する供試体は、オーバーコアリングで回収したコアを利用するため、回収コアが 10cm 以下の場合や回収時にコアが破砕した場合には、この試験の適用ができない。

＜今後の課題＞

・オーバーコアリングで回収されるコアの形状が、二軸感度試験で得られるデータの品質に大きく影響する。特に、回収コアのマウス部分（円錐状の孔底面の鋭角な縁の部分）は形状的に肉薄で欠けやすい。コアに欠けや破断がある場合には、二軸載荷時においてコアの円錐面に理想的な荷重分布が生成されず、得られるひずみ感度に誤差が生じる原因となる。このため、オーバーコアリング時のよりスムーズな掘削技術やコアに損傷を与えずに回収するためにコアの回収方法の改善が必要である。

・二軸ひずみ感度試験の煩雑さを回避するため、オーバーコアリング終了後にボーリング孔内で二軸ひずみ感度試験ができる装置を開発することが考えられる。オーバーコアリング作業は､その掘進深度が 10cm を超えた時点で必要な応力解放はすでに終了している｡実際には、掘進を 20cm 程度で一旦休止し、孔内でコアがまだ切断されていない状態であれば、この状態のコアを対象にした二軸ひずみ感度試験がより理想的である。

・二軸感度補正法を実際の測定現場で適用していくためには、多くの適用実績を蓄積し、この方法の有効性を確認していく必要がある。

6. ボーリングコアを用いた初期応力測定

6.1 目的および実施内容

地下数百 m における岩盤の初期応力測定について、コアを用いた初期応力測定法（コア法）の一手法である DSCA 法[4), 5)]の適用性の検討、ならびに、原位置初期応力測定の結果を補足する情報の取得を目的として、研究所の深度 300m および深度 400m で採取されたコアを用いて DSCA 法による初期応力測定を行った[20), 21)]。また深度 400m において、DSCA 法と同じく岩石供試体内部のマイクロクラックの配向性を対象とした測定である多面体供試体を用いた 3 次元弾性波速度測定[22),23),24)]を行い両者の結果を比較した。また第 1 段階での初期応力測定結果[8)]と比較し DSCA 法による初期応力測定手法の有効性を検討した。

6.2 DSCA 法による初期応力測定

6.2.1 DSCA 法の概要

DSCA 法は、Strickland and Ren[4)]などによって開発されてきた初期応力測定に関する手法の一つである。DSCA 法は、ボーリング掘削により採取した岩石コアの微小亀裂分布を計測し、その微小亀裂分布と初期応力とを幾つかの仮定の基で関連付けて応力を推定する。その仮定を以下に示す[4), 5)]。

①ボーリングなどによって地圧が解放されると岩石が膨張し、それに伴って初期主応力方向に垂直に微小クラックが発生する。

②発生する微小クラックの量は初期主応力の大きさに比例する。

③応力解放以前に存在していた微小亀裂は無視できる。

以上のような仮定を基に、岩石供試体に静水圧載荷を行い、その際の載荷圧力に対するひずみの挙動を測定する。なお DSCA 法では、供試体のひずみ挙動において温度の影響をキャンセルするために供試体と同様の条件下で溶融石英のひずみ挙動を測定し、供試体のひずみと溶融石英のひずみの差である差ひずみを用いて解析を行う。図 6.2.1 に岩石を静水圧載荷させた際の岩石の圧力—差ひずみ曲線の模式図を示す。図 6.2.1 に示すように、岩石を静水圧載荷すると岩石に含まれる微小亀裂が徐々に閉鎖することにより、圧力—差ひずみ線図の接線勾配の低下が見られる。その後、岩石内部の微小亀裂が完全に閉鎖することにより、接線勾配が一定になる。DSCA 法では、この図に示した圧力－差ひずみ線図の微小亀裂が閉鎖する前の初期の接線勾配β^{0}_{ij}、微小亀裂が完全に閉鎖し、ひずみ変化率が一定になった際の接線勾配β^{l}_{ij} から有効線圧縮率$\Delta\beta_{ij}$ ($=\beta^{0}_{ij}-\beta^{l}_{ij}$)を算出し、①～③の仮定を基に初期応力の算定を行う。なお、下付き添え字 ij はテンソル成分であることを示す。$\Delta\beta_{ij}$ ($=\beta^{0}_{ij}-\beta^{l}_{ij}$)は岩石内部の応力解放により生じた亀裂の情報を抽出したものであり、クラックパラメータと呼ばれる。さらに松木ら[5)]は岩石が持つ異方性の影響を小さくするために有効線圧縮率$\Delta\beta_{ij}$ ($=\beta^{0}_{ij}-\beta^{l}_{ij}$)を固有線圧縮率$\beta^{l}_{ij}$で除した値$(\Delta\beta / \beta^{l})_{ij}$を用い、これをクラックパラメータとしている。なお$(\Delta\beta / \beta^{l})_{ij}$は、クラック密度に関する無次元量である。ここで①～③の仮定に基づくとパラメータ$(\Delta\beta / \beta^{l})_{ij}$の主値$(\Delta\beta / \beta^{l})_{I}$は初期主応力の比と方向を表す。したがって DSCA 法は、ボーリングによる応力解放によりボーリングコア内部に生じる微小亀裂の密度の配向性から初期応力を推定する方法である言える[5)]。

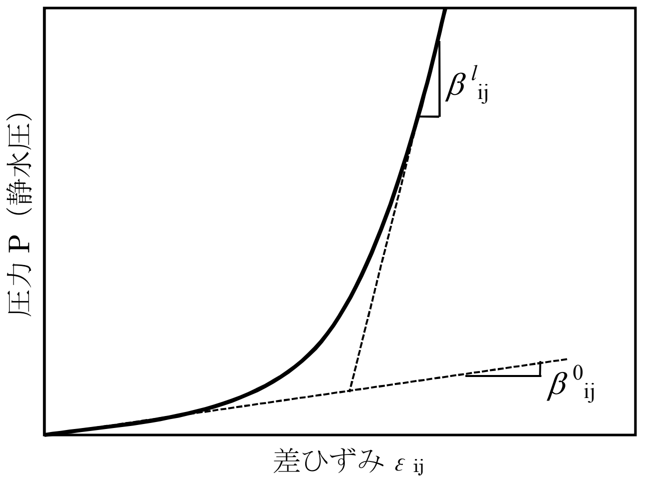


図 6.2.1 岩石の圧力—差ひずみ曲線の模式図

6.2.2　　試験の概要

DSCA 法の試験装置の模式図を図 6.2.2 に示す。作成した供試体を圧力容器にセットし静水圧載荷を行い、静水圧載荷に伴うひずみの挙動を測定する。試験装置は圧力容器（図中 a)、静水圧を加えるための高圧ポンプと圧力変換器（図中 b)、データ取得および記録のためのデータアクイジッションコントローラ（図中 c)、パーソナルコンピュータ（図中 d）の 4 部分により構成されている。ダミーゲージは 2 ゲージ法による測定においてリード線の温度補償のために使用した。溶融石英についても、供試体との差ひずみを求めるために供試体と同様に静水圧載荷に伴うひずみの挙動を測定した。溶融石英は内部に亀裂がほとんどないため力学物性において等方的な性質を示し、かつひずみは載荷圧力に対して直線的な挙動を示す。

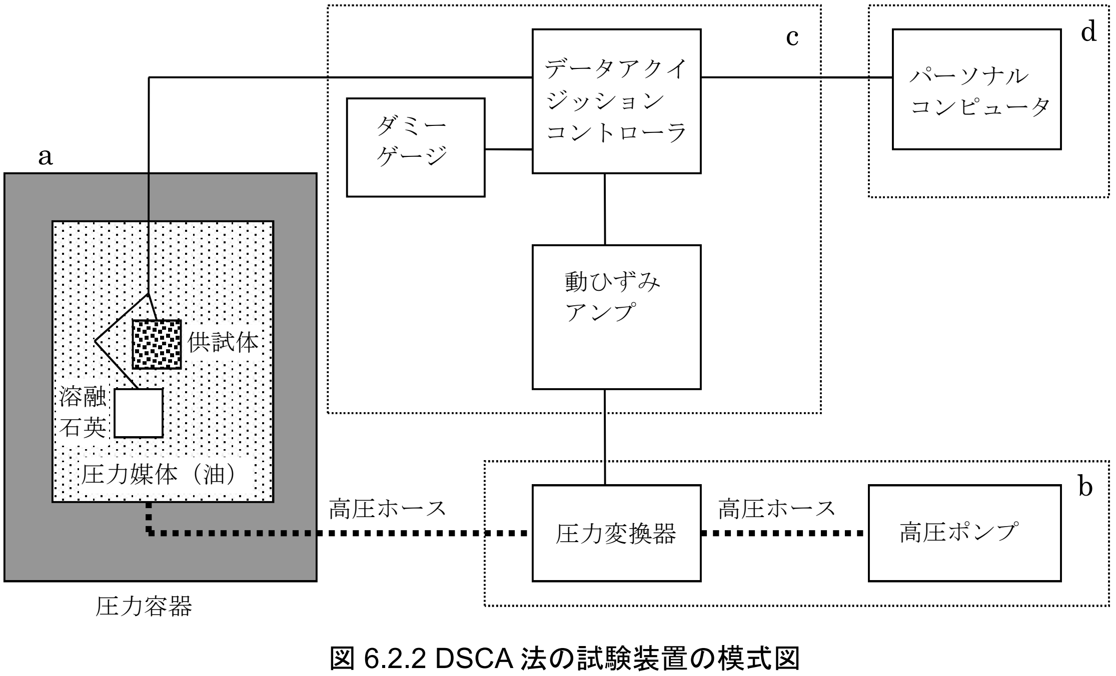


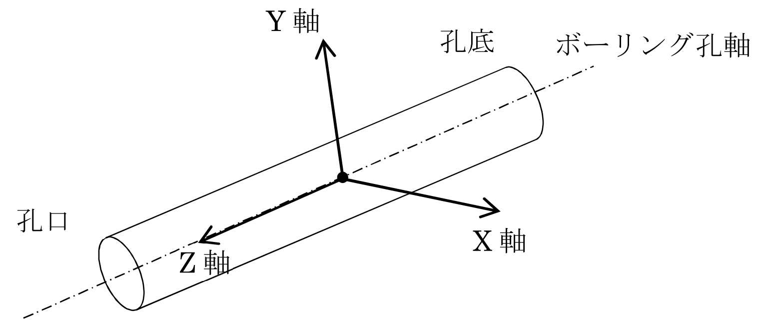
図 6.2.2 DSCA 法の試験装置の模式図

6.2.3 供試体

表 6.2.1 に供試体を採取した立坑深度、ボーリング孔名とボーリング孔における採取深度、供試体名および地質概要を示す。また、図 6.2.3 にボーリング孔を基準とし設定した座標軸を示す。設定した座標軸について、Z 軸はボーリング孔軸（孔底から孔口の方向が＋）と一致し、X 軸と Y 軸はボーリング孔軸と直交する平面内にあり、孔口から孔底を見て X 軸は 3 時の方向（水平）を＋、Y 軸は 12 時の方向を＋する。測定で使用した岩石試料はすべて黒雲母花崗岩で肉眼観察で風化変質の認められないものを選定した。供試体は設定した座標軸に従い、立方体に成形し、図 6.2.4 に示すように互いに直交する 3 面に計 12 方向のひずみゲージを貼付する。また、圧力媒体が供試体の内部に浸透するのを防ぐために図 6.2.5 に示すように、供試体の全面をシリコン樹脂で被覆する。

表 6.2.1 供試体の採取深度および地質概要

立坑深度	ボーリング孔名（方位／傾斜）	採取深度 (mabh)	供試体名	岩　種	岩盤等級
300m	08MI13 号孔（N19.6°E／-1°）	28.70	3-D01	黒雲母花崗岩	B
		36.50	3-D02		CH
		46.20	3-D03		B
		54.60	3-D04		CH
		58.50	3-D05		B
	09MI20 号孔（N303°E／-3°）	27.50	3-D06	黒雲母花崗岩	CH
		57.30	3-D07		
		73.60	3-D08		
		73.64	3-D09		
		90.80	3-D10		
	09MI21 号孔（N358.5°E／-2.5°）	29.60	3-D11	黒雲母花崗岩	CH
		49.80	3-D12		
		99.40	3-D13		
400m	10MI26 号孔（N60°W／-3°）	26.25	4-D01	黒雲母花崗岩	CH
		26.30	4-D02		
		26.35	4-D03		
		52.75	4-D04		B
		52.80	4-D05		
		52.85	4-D06		
		68.25	4-D07		B
		68.30	4-D08		
		68.35	4-D09		



X 軸 : 孔口から孔底を見て 3 時の方向（水平）
Y 軸 ： 孔口から孔底を見て 12 時の方向
Z 軸 ： ボーリング孔軸（孔底から孔軸方向）

図 6.2.3 供試体の座標軸の設定

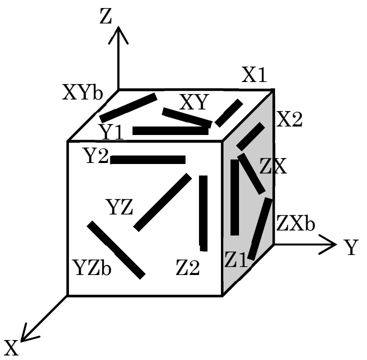


図 6.2.4 ひずみゲージの貼付位置および方向

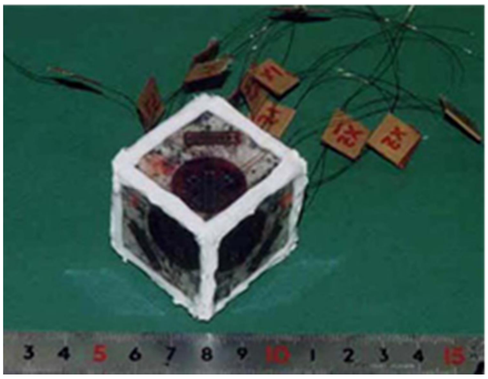


図 6.2.5 シリコンで被覆した供試体

6.2.4　　試験結果

図 6.2.6 に試験中の静水圧載荷による圧力－差ひずみ線図の実測データの例を示す [20),21)]。図のひずみ挙動は、前述のとおり試験中の供試体に関する温度の影響をキャンセルするため、各方向のひずみから溶融石英のひずみを引いている。同図に示す圧力－差ひずみ曲線の傾きを基に 6 成分のクラックパラメータ$\{(\Delta\beta/\beta^{l})_{E}, (\Delta\beta/\beta^{l})_{N}, (\Delta\beta/\beta^{l})_{V}, (\Delta\beta/\beta^{l})_{EN}, (\Delta\beta/\beta^{l})_{NV}, (\Delta\beta/\beta^{l})_{VX}\}$を算出し、算出した 6 成分のクラックパラメータについて主成分解析を行い、その主値の比を 3 次元主応力の比、主値の方向を 3 次元主応力の方向とする。

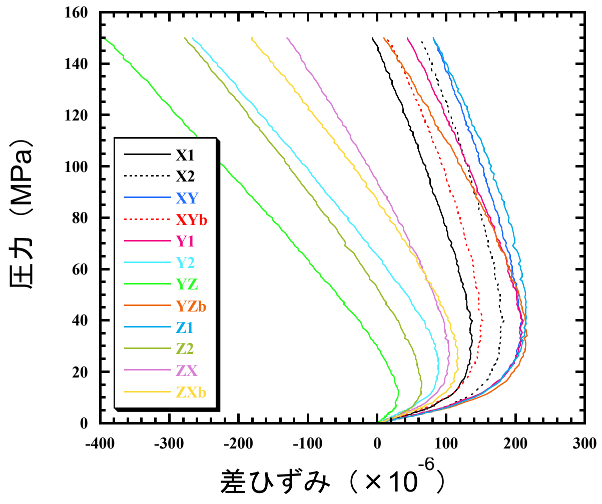


図 6.2.6 DSCA 法による試験結果の例（供試体名：4-D01）

6.2.5　解析結果

表 6.2.2(1)、(2)および表 6.2.3(1)、(2)に、深度 300m および深度 400m における 6 成分のクラックパラメータの算出結果と、6.2.1 項の仮定を基に推定される応力状態を示す。3 次元主応力比（σ_1: σ_2: σ_3）は、深度 300m で 1.9:1.5:1.0、深度 400m で 1.9:1.3:1.0 となりほぼ同じような結果となった。また、最大主応力の方位は、いずれの深度においてもほぼ北-西（±0°～-90°）の範囲にあることが分かった。

表 6.2.2(1) DSCA 法による初期応力解析結果（深度 300m：08MI13 号孔）

深度			300m				
ボーリング孔（方位/傾斜）			08MI13 号孔（N19.6°E／-1°）				
試料			3-D01	3-D02	3-D03	3-D04	3-D05
クラック パラメータ	$(\Delta\beta/\beta^{t})_E$		0.7500	0.4545	0.9796	1.170	0.9610
	$(\Delta\beta/\beta^{t})_N$		0.6450	0.9394	1.079	1.024	2.193
	$(\Delta\beta/\beta^{t})_V$		0.7642	0.7380	0.8595	1.135	1.270
	$(\Delta\beta/\beta^{t})_{EN}$		-0.01409	-0.09872	-0.1901	-0.1225	-0.08546
	$(\Delta\beta/\beta^{t})_{NV}$		0.0004860	-0.09572	0.07589	0.2226	-0.3283
	$(\Delta\beta/\beta^{t})_{VE}$		-0.03088	0.01773	0.1371	0.1188	0.07967
クラック パラメータの 主値	$(\Delta\beta/\beta^{t})_I$	I=1	0.789	0.996	1.227	1.313	2.307
		I=2	0.727	0.701	1.000	1.240	1.177
		I=3	0.643	0.435	0.690	0.777	0.942
推定される 主応力比	σ_1/σ_3		1.2	2.3	1.8	1.7	2.4
	σ_2/σ_3		1.1	1.6	1.4	1.6	1.2
	σ_3/σ_3		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
推定される 水平面応力比と 方位	σ_H/σ_h		1.2	2.2	1.5	1.3	2.3
	σ_h/σ_h		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	θ (°)*		-82.5	-11.1	-37.7	-60.4	-3.9

*σ_Hの方位（西(-90°)～北(±0°)～東(90°)）

表 6.2.2(2) DSCA 法による初期応力解析結果（深度 300m：09MI20 号孔）

深度			300m				
ボーリング孔（方位/傾斜）			09MI20 号孔（N303°E／-3°）				
試料			3-D06	3-D07	3-D08	3-D09	3-D10
クラック パラメータ	$(\Delta\beta/\beta^t)_E$		0.7776	0.7602	0.5114	0.5240	0.7107
	$(\Delta\beta/\beta^t)_N$		0.6769	1.136	0.5017	0.3567	1.052
	$(\Delta\beta/\beta^t)_V$		0.6021	1.215	0.5089	0.4430	0.8464
	$(\Delta\beta/\beta^t)_{EN}$		-0.1761	-0.02554	0.04280	-0.004050	0.05604
	$(\Delta\beta/\beta^t)_{NV}$		0.005234	0.1302	-0.1652	0.03755	-0.01233
	$(\Delta\beta/\beta^t)_{VE}$		0.07548	0.1795	0.07710	0.06635	0.1571
クラック パラメータの 主値	$(\Delta\beta/\beta^t)_I$	I=1	0.921	1.343	0.675	0.562	1.062
		I=2	0.622	1.081	0.542	0.423	0.946
		I=3	0.513	0.687	0.305	0.338	0.601
推定される 主応力比	σ_1/σ_3		1.8	2.0	2.2	1.7	1.8
	σ_2/σ_3		1.2	1.6	1.8	1.3	1.6
	σ_3/σ_3		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
推定される 水平面応力比と 方位	σ_H/σ_h		1.7	1.5	1.2	1.5	1.5
	σ_h/σ_h		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	θ (°)*		-53.0	-3.9	48.2	-88.6	9.1

* σ_Hの方位（西(-90°)～北(±0°)～東(90°)）

表 6.2.2(3) DSCA 法による初期応力解析結果（深度 300m：09MI21 号孔）

深度			300m		
ボーリング孔（方位/傾斜）			09MI21 号孔（N358.5°E／-2.5°）		
試料			3-D11	3-D12	3-D13
クラック パラメータ	$(\Delta\beta/\beta^t)_E$		0.5790	1.035	1.002
	$(\Delta\beta/\beta^t)_N$		1.029	1.107	0.8548
	$(\Delta\beta/\beta^t)_V$		1.079	1.201	1.575
	$(\Delta\beta/\beta^t)_{EN}$		0.06070	-0.1822	-0.2080
	$(\Delta\beta/\beta^t)_{NV}$		0.1125	0.02562	-0.05810
	$(\Delta\beta/\beta^t)_{VE}$		-0.03062	0.03789	0.1232
クラック パラメータの 主値	$(\Delta\beta/\beta^t)_I$	I=1	1.170	1.257	1.614
		I=2	0.951	1.207	1.110
		I=3	0.567	0.879	0.707
推定される 主応力比	σ_1/σ_3		2.1	1.4	2.3
	σ_2/σ_3		1.7	1.4	1.6
	σ_3/σ_3		1.0	1.0	1.0
推定される 水平面応力比と 方位	σ_H/σ_h		1.8	1.4	1.6
	σ_h/σ_h		1.0	1.0	1.0
	θ (°)*		7.5	-39.4	-54.8

* σ_Hの方位（西(-90°)～北(±0°)～東(90°)）

表 6.2.3(1) DSCA 法による初期応力解析結果（深度 400m：10MI26 号孔）

深度			400m				
ボーリング孔（方位/傾斜）			10MI26 号孔（N60°W／-3°）				
試料			4-D01	4-D02	4-D03	4-D04	4-D05
クラック パラメータ	$(\Delta\beta/\beta^t)_E$		1.845	1.436	1.278	1.414	2.626
	$(\Delta\beta/\beta^t)_N$		2.194	2.439	1.802	2.616	3.171
	$(\Delta\beta/\beta^t)_V$		1.927	1.625	1.584	1.585	1.716
	$(\Delta\beta/\beta^t)_{EN}$		-0.2234	-0.4089	-0.52035	-0.3606	-0.4276
	$(\Delta\beta/\beta^t)_{NV}$		0.5413	0.3318	0.2428	0.3785	0.09116
	$(\Delta\beta/\beta^t)_{VE}$		-0.4848	-0.2326	-0.1490	-0.1266	-0.3696
クラック パラメータの 主値	$(\Delta\beta/\beta^t)_I$	I=1	2.852	2.724	2.246	2.843	3.446
		I=2	1.785	1.529	1.461	1.462	2.485
		I=3	1.329	1.247	0.958	1.311	1.583
推定される 主応力比	σ_1/σ_3		2.1	2.2	2.3	2.2	2.2
	σ_2/σ_3		1.3	1.2	1.5	1.1	1.6
	σ_3/σ_3		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
推定される 水平面応力比と 方位	σ_H/σ_h		1.3	2.0	2.2	2.1	1.4
	σ_h/σ_h		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	θ (°)*		-26.0	-19.6	-31.6	-15.5	-28.7

*σ_Hの方位（西(-90°)～北(±0°)～東(90°)）

表 6.2.3(2) DSCA 法による初期応力解析結果（深度 400m：10MI26 号孔）

深度			400m			
ボーリング孔（方位/傾斜）			10MI26 号孔（N60°W／-3°）			
試料			4-D06	4-D07	4-D08	4-D09
クラック パラメータ	$(\Delta\beta/\beta^t)_E$		1.694	1.946	1.719	2.230
	$(\Delta\beta/\beta^t)_N$		2.039	1.660	2.163	1.469
	$(\Delta\beta/\beta^t)_V$		1.886	1.923	1.378	1.345
	$(\Delta\beta/\beta^t)_{EN}$		-0.1627	-0.1212	-0.3534	0.1654
	$(\Delta\beta/\beta^t)_{NV}$		-0.086164	0.1241	0.4435	0.02474
	$(\Delta\beta/\beta^t)_{VE}$		-0.10812	0.09246	-0.07090	-0.03910
クラック パラメータの 主値	$(\Delta\beta/\beta^t)_I$	I=1	2.112	2.028	2.518	2.266
		I=2	1.934	1.946	1.578	1.445
		I=3	1.573	1.555	1.164	1.334
推定される 主応力比	σ_1/σ_3		1.3	1.3	2.2	1.7
	σ_2/σ_3		1.2	1.3	1.4	1.1
	σ_3/σ_3		1.0	1.0	1.0	1.0
推定される 水平面応力比と 方位	σ_H/σ_h		1.3	1.2	1.5	1.6
	σ_h/σ_h		1.0	1.0	1.0	1.0
	θ (°)*		-21.6	-69.8	-28.9	78.3

*σ_Hの方位（西(-90°)～北(±0°)～東(90°)）

6.3 多面体供試体を用いた 3 次元弾性波速度測定

6.3.1 3 次元弾性波速度測定の概要

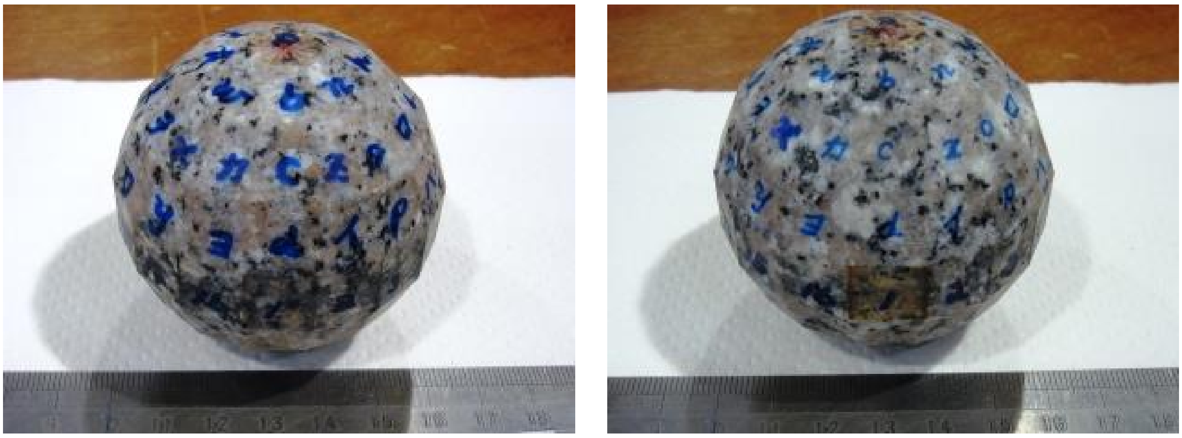
岩石の P 波速度は、岩石内部の亀裂に影響される。P 波速度は亀裂密度に反比例することから、P 波速度の 3 次元的な分布から亀裂の配向性を求めることができる [22), 23), 24)]。亀裂の配向性について、DSCA 法では周圧載荷によるひずみの挙動により明らかにし、多面体供試体による 3 次元弾性波速度測定では P 波速度分布により明らかにしようとするものである。つまり岩石内部の亀裂の配向性を別々の現象（ひずみの挙動と P 波速度）から捉えようとするものであり、両者を比較することによって互いの測定結果のクロスチェックが可能と考えられる。

6.3.2 供試体

表 6.3.1 に供試体の採取深度および地質概要、図 6.3.1 に供試体写真を示す。測定で使用した岩石試料は 2 試料で、肉眼観察で風化変質の認められないものを選定し、図 6.3.1 のように 98 面体に成形した。なお、設定した座標軸は DSCA 法と同様である（図 6.2.3 参照）。

表 6.3.1 供試体の採取深度および地質概要

深度	ボーリング孔名（孔軸方向）	供試体名	採取深度(m)	岩　種	岩盤等級
400m	10MI26 号孔（N60°W／-3°）	A	26.19	土岐花崗岩	CH
		B	68.14	土岐花崗岩	B



供試体 A　　供試体 B

（供試体 A, B の形状：98 面体）

図 6.3.1 供試体写真

6.3.3 試験の概要

3 次元弾性波速度測定の測定装置の模式図を図 6.3.2 に示す。供試体を振動子(発振、受振)で挟み供試体を透過する P 波速度を測定した。P 波速度は行き帰りを測定し、その平均を求めた。以上を 49 方向について行い、P 波速度分布を明らかにした。

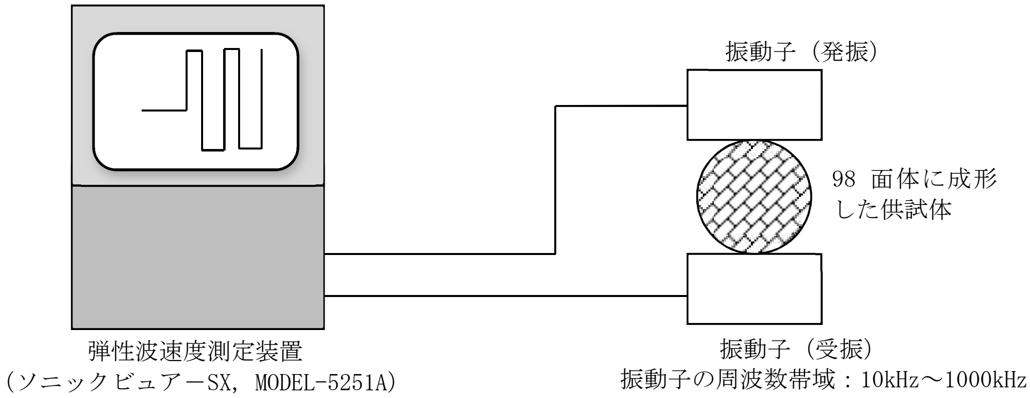


図 6.3.2 3 次元弾性波速度測定の装置の模式図

6.3.4 測定結果および考察

49 方向の P 波速度測定結果から 6 個の未知数{ V_E, V_N, V_V, V_{EN}, V_{NV}, V_{VE} }を最小二乗法により算出し、主成分分析により算出した主値の結果を表 6.3.2 に示す。また、3 次元 P 波速度分布を図 6.3.3 に示す。

表 6.3.2 算出された P 波速度成分

供試体名		A	B
ボーリング孔名(方位／傾斜)		10MI26 号孔(N60°W／-3°)	
採取深度(m)		26.19	68.14
速度成分※ (m/s)	V_E	4902	4962
	V_N	4794	4686
	V_V	4790	4931
	V_{EN}	277	136
	V_{NV}	-111	-172
	V_{VE}	17	-45
平面主値	V_H	5130	5017
	V_h	4566	4630
	θ *	39.5	22.3
主値	V_1	5140	5104
	V_2	4817	4904
	V_3	4529	4570

※： 速度成分のマイナスは設定方向と逆向であることを示す。
＊ ： E から N 方向に向かって測った V_H までの角度(°)

供試体中の微小亀裂は岩盤中で受けていた応力の解放により発生すると仮定すると、亀裂密度は応力の解放量が大きいほど、つまり岩盤中で受けていた応力が大きいほど大きくなる。よって P 波速度の最小方向が、岩盤中の亀裂密度が最大になる方向に直交する方向に相当すると考えられる。図 6.3.3 より P 波速度の最小主値の方位は NW 方向であった。図 6.3.4 に 3 次元弾性波速度測定における主値と同一深度の DSCA 法における主値の平均値を示す。同図より、クラックパ

ラメータの最大主値の方向とP波速度の最小主値の方向はほぼ一致した結果となった。亀裂の配向性について、DSCA法では周圧載荷によるひずみの挙動から推定し、3次元弾性波速度測定では、P波速度から推定する。つまり亀裂の配向性について、それぞれ異なる現象からアプローチしており、異なる手法で一致した結果が得られたということは、測定結果について信頼性が高いと言える。

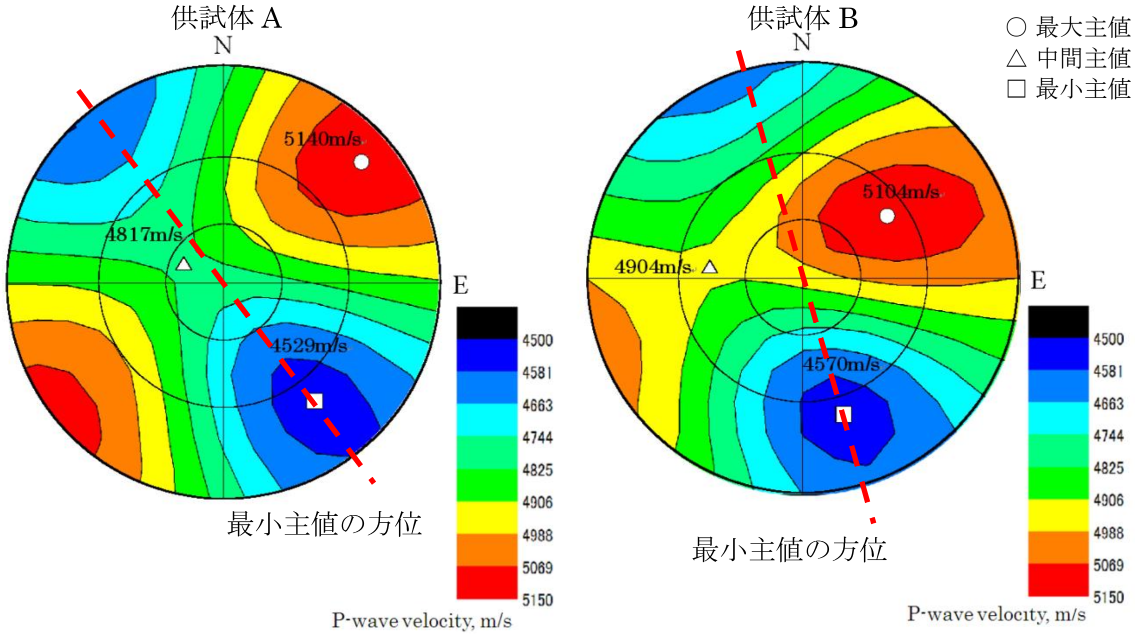


図 6.3.3 3次元P波速度分布

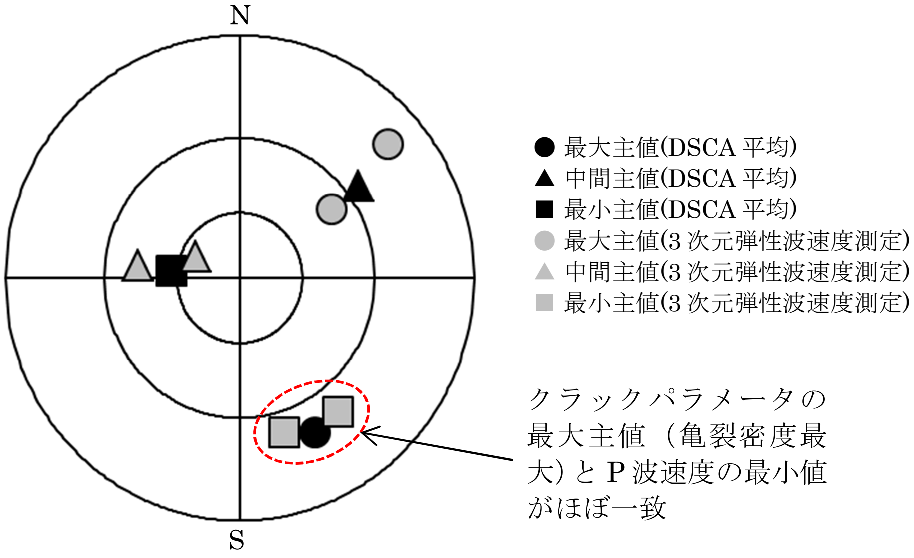


図 6.3.4 3次元弾性波速度測定とDSCA法による主値の比較

6.4 DSCA法による初期応力測定の適用性の検討

DSCA法による初期応力測定の深部岩盤における適用性を検討するために、水圧破砕法による初期応力の算出結果[8]、深度100m、200m、300mで行った円錐孔底ひずみ法による初期応力の算出結果、および、深度200m[18]、300m[20]、400m[21]で実施したDSCA法による初期応力の算出結果を比較した。地殻部分の応力状態はプレートテクトニクスの影響により最大主応力の方向が

水平に近い場合が多い。特に日本のように複数のプレートが接するプレートの沈み込み帯ではその傾向が顕著であり、水平面内の応力状態を把握することは重要であることから[11]、両手法による水平面内の最大主応力を比較した。

水圧破砕法はISRMで報告されているように、また円錐孔底ひずみ法は地盤工学会で基準化されているように理論的背景がほぼ確立しているが、原位置における測定であり、大がかりな装置が必要である。なお、水圧破砕法は手法の性質上、水平面内の主応力が算出され、大深度岩盤への適用実績もある。円錐孔底ひずみ法は1回の測定で3次元応力状態を推定することができるが、鉛直孔、大深度岩盤への適用が困難である。一方、DSCA法の理論はいくつかの仮定に基づいて構築されているが、ボーリングコアさえ入手できれば室内で比較的簡便に実施できるという利点がある。DSCA法では1回の測定で主応力の比と方向が算出される。図6.4.1に、3つの手法による初期応力の算出結果の比較を示す。なおDSCA法の値は深度ごとに平均した結果を示している。これは、初期応力測定における測定結果のバラツキは、広域的な応力場が不連続構造や岩体の不均質性等の測点に特有の地質状況によって擾乱された結果であり、換言すれば、個別の測定結果を平均することで周辺の広域的な応力場が把握できる[26]との考えに基づくものである。

MIZ-1号孔での水圧破砕法による水平面の最大主応力の方向は、深度168mでの結果は低角度割れ目集中帯の近傍であり、深度632mの結果は深度600m～750m付近で確認されている断層の近傍であるため、この影響を受けているものと評価される[8]が、概ねNWの範囲にあり、円錐孔底ひずみ法の結果はほぼNW方向である。また、DSCA法の結果も概ねNWの範囲にあり、これらの結果は調和的である。以上より、DSCA法による初期応力測定法の深部岩盤のにおける適用可能性を示すことができた。水圧破砕法はその手法の性質上、測定に数m程度の無亀裂区間が必要であるが、DSCA法では数十cm程度の無亀裂区間があれば、供試体を採取し試験が可能である。よって、地表からの調査における岩盤の初期応力測定において水圧破砕法が実施できないような区間では、DSCA法で岩盤応力状態の補足的な情報を取得できると考えられる。

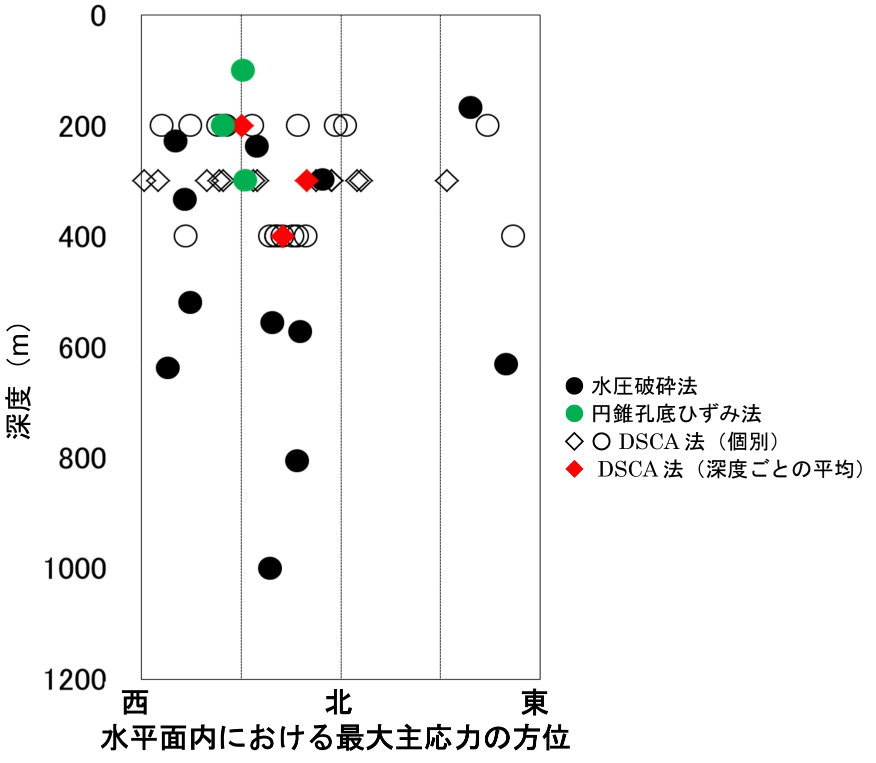


図6.4.1 MIU計画の第1段階と第2段階における結果の比較

7. まとめ

本研究では研究所の深度 300m および 400m を対象に初期応力測定、室内物理・力学試験を実施した。その結果以下のことが明らかとなった。

① 室内物理・力学試験

- 深度 500m までの健岩部においては、物性値は深度方向に概ね一様である。
- 掘削ずりを用いた P 波速度はボーリング孔を用いた P 波速度より小さい傾向がある。これは発破衝撃により損傷を受けためであると考えられる。
- 掘削ずりを用いた物性試験は掘削時の損傷が試験結果に含まれる可能性があるが、試験体の採取が容易で深度方向に対して密に採取することができるため、調査位置の深度方向の物性分布を詳細に調査するのに適しているという利点を確認することができた。

② 円錐孔底ひずみ法による初期応力測定

- 3 次元主応力の絶対値は、σ_1=12.44MPa、σ_2=7.56MPa、σ_3=6.82MPa となった。また鉛直応力は 7.71MPa であり、この値は密度と深度で計算される深度 300m の土被り圧（6.5MPa）と同程度の値であり、深度 300m における円錐孔底ひずみ法による初期応力測定の結果は信頼性が高いものであると言える。
- 深度 300m における円錐孔底ひずみ法による初期応力測定結果から算出される水平面内の最大主応力の方位と、第 1 段階における水圧破砕法による初期応力測定結果から算出される水平面内の最大主応力の方位はどちらも NW-SE であり調和的であった。
- 二軸ひずみ感度試験より得られたひずみ感度係数を用いて計算された初期応力測定結果は、オーバーコアより採取した試験片の一軸載荷試験より得られるヤング率を用いて計算される従来法の初期応力測定結果よりも、偏差応力が小さくなっており、結果の精度の向上が認められる。ただし、実績が少ないので多くの実績を蓄積することが重要である。

③ ボーリングコアを用いた初期応力測定

- DSCA 法により算出された深度 300m および深度 400m における初期応力測定について、水平面の最大主応力の方位は第 1 段階の水圧破砕法の結果と調和的であった。
- DSCA 法による初期応力測定について、個別の結果を平均することで初期応力を推定することが可能であることが分かった。よって地表調査の段階で深部の初期応力状態を推定する方法として DSCA 法が有効であることを示すことができた。
- 岩石内部における亀裂密度と岩石の P 波速度は反比例すると考えられる。DSCA 法におけるクラックパラメータの最大主値の方向と、3 次元弾性波速度測定における P 波速度の最小主値の方向がほぼ一致した結果となった。亀裂の配向性について、DSCA 法では周圧載荷によるひずみの挙動から推定し、3 次元弾性波速度測定では、P 波速度から推定する。つまり亀裂の配向性について、それぞれ異なる現象からアプローチしており、異なる手法で一致した結果が得られたことから、測定結果について信頼性が高いことが分かった。

参考文献

1) 日本原子力研究開発機構：“超深地層研究所 地層科学研究基本計画”，JAEA-Review 2010-016（2010）．

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) Sugawara K, Obara Y.: “Draft ISRM Suggested Method for in situ stress measurement using the compact conical-ended borehole overcoring (CCBO) technique”, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 36 pp.307-322, (1999).

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

5) 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）．

6) 糸魚川淳二：“瑞浪地域の地質”，瑞浪市化石博物館専報，No.1，pp.1-50（1980）．

7) 陶土団体研究グループ： “断層境界を伴う多数の基盤ブロックからなる内陸盆地−岐阜県多治見市周辺の東海層群堆積盆地の例−”，地球科学，53，pp.291-306（1999）．

8) 平野 享，中間茂雄，山田淳夫，瀬野康弘，佐藤稔紀：“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”，JAEA-Research 2009-031（2009）．

9) 石橋正祐紀，栗原 新，松岡稔幸，笹尾英嗣 ：“超深地層研究所計画におけるサイトスケール地質構造モデルの構築−第2段階におけるShaft180からStage300地質構造モデルへの更新”，JAEA- Research 2012-018（2012）．

10) Haimson, B.C., Cornet, F.H.: ”ISRM Suggested Methods for rock stress estimation—Part 3:hydraulic fracturing (HF) and/or hydraulic testing of pre-existing fractures (HTPF)”, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 40, pp.1011-1020 (2003)

11) ベルナール・アマデイ，オーブ・ステファンソン，（監修）石田毅，（翻訳代表）船戸明雄：“岩盤応力とその測定”，京都大学学術出版会（2012）．

12) 地盤工学会：“円錐孔底ひずみ法による初期地圧の測定方法”，地盤工学会学会基準，JGS3751-2012（2012）．

13) 吉中龍之進，桜井春輔，菊池宏吉：“岩盤分類とその適用”，土木工学社（1989）．

14) 社団法人地盤工学会：“新規制定地盤工学会基準・同解説 岩盤の工学的分類法“，JGS 3811-2004，pp.54-56（2004）．

15) 鶴田忠彦，松岡稔幸，程塚保行，田上雅彦，石田英明，早野 明，栗原 新，湯口貴史：“超深地層研究所計画; 地質・地質構造に関する調査研究（2008年度）報告書”，JAEA-Research 2010-039（2011）．

16) T.Yokoyama, K.Ogawa, T.Kanagawa, M.Tanaka, T.Ishida : “Regional in-situ stress states in Japan based on measurements”， International Symposium on Rock Stress RS kumamoto`03, (2003)

17) 平野 享，中間茂雄，山田淳夫，瀬野康弘，佐藤稔紀：“ 超深地層研究所計画（岩盤力学に関する調査研究）深度100mにおける岩盤力学ボーリング調査”，JAEA-Research 2010-002（2010）．

18) 平野享，瀬野康弘，松井裕哉：“ 超深地層研究所計画（岩盤力学に関する調査研究）深度200mにおける岩盤力学ボーリング調査”，JAEA-Research 2010-013（2010）．

19) 横山幸也，坂口清敏，板本昌治：“円錐孔底ひずみ法での感度補正の試み”，資源・素材学会春季大会，資源・素材学会講演集, pp.327-330（2012）.

20) 真田祐幸，引間亮一，丹野剛男，松井裕哉，佐藤稔紀，加藤春實：“超深地層研究所計画（岩盤力学に関する調査研究）深度300mステージでのコア法による初期応力測定”，JAEA-Research 2011-038（2012）.

21) 引間亮一，丹野剛男，真田祐幸，松井裕哉，佐藤稔紀：“超深地層研究所計画における岩盤力学に関する調査研究 年度報告書（2011年度）”，JAEA-Review 2013-017（2013）.

22) 奈良禎太，加藤春實，金子勝比古：“微視き裂分布評価を目的とした多面体試験片を利用した花崗岩の主軸方向決定法”，Journal of MMIJ，Vol.124，pp.725-732（2008）.

23) 加藤春實，奈良禎太，金子勝比古，松木浩二，佐藤隆司：“多面体試験片を用いた3次元弾性波速度測定による初期地圧評価”，資源・素材2009（札幌）企画発表・一般発表（A）（S）講演資料 地球・資源，pp.283-286（2009）.

24) Nara, Y., Kato, H., Yoneda, T. And Kaneko, K.: ”Determination of three-dimensional microcrack distribution and principal axes for granite using a polyhedral specimen”, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 48, pp.316-335 (2010).

25) 坂口清敏，松木浩二，奥村清彦，徳本 毅：“円錐孔底ひずみ法との比較に基づくコアを用いた地圧測定法の石灰岩への適用性評価”，資源と素材，Vol.115，pp.517-524（1999）.

26) 菅原勝彦，張 鉉國，黄 醒春：”等方性球殻理論による初期応力測定値の分析と考察”，資源と素材，Vol.111，No.13，pp.913-918（1995）.

付 録

資料 1　コア写真
資料 2　柱状図
資料 3　ボアホールテレビ観察結果
資料 4　解放ひずみ挙動曲線（オーバーコアリング測定）
資料 5　一軸繰返し試験（供試体）
資料 6　一軸繰返し試験（ひずみ挙動）
資料 7　初期応力解析結果（測定点別）（6 応力成分の平均、全ひずみの最小二乗）
資料 8　初期応力解析結果（孔別）（6 応力成分の平均、全ひずみの最小二乗）
資料 9　初期応力解析結果（12MI28 号孔、29 号孔全体）（6 応力成分の平均、全ひずみの最小二乗）
資料 10　湧水割れ目

資料1 コア写真

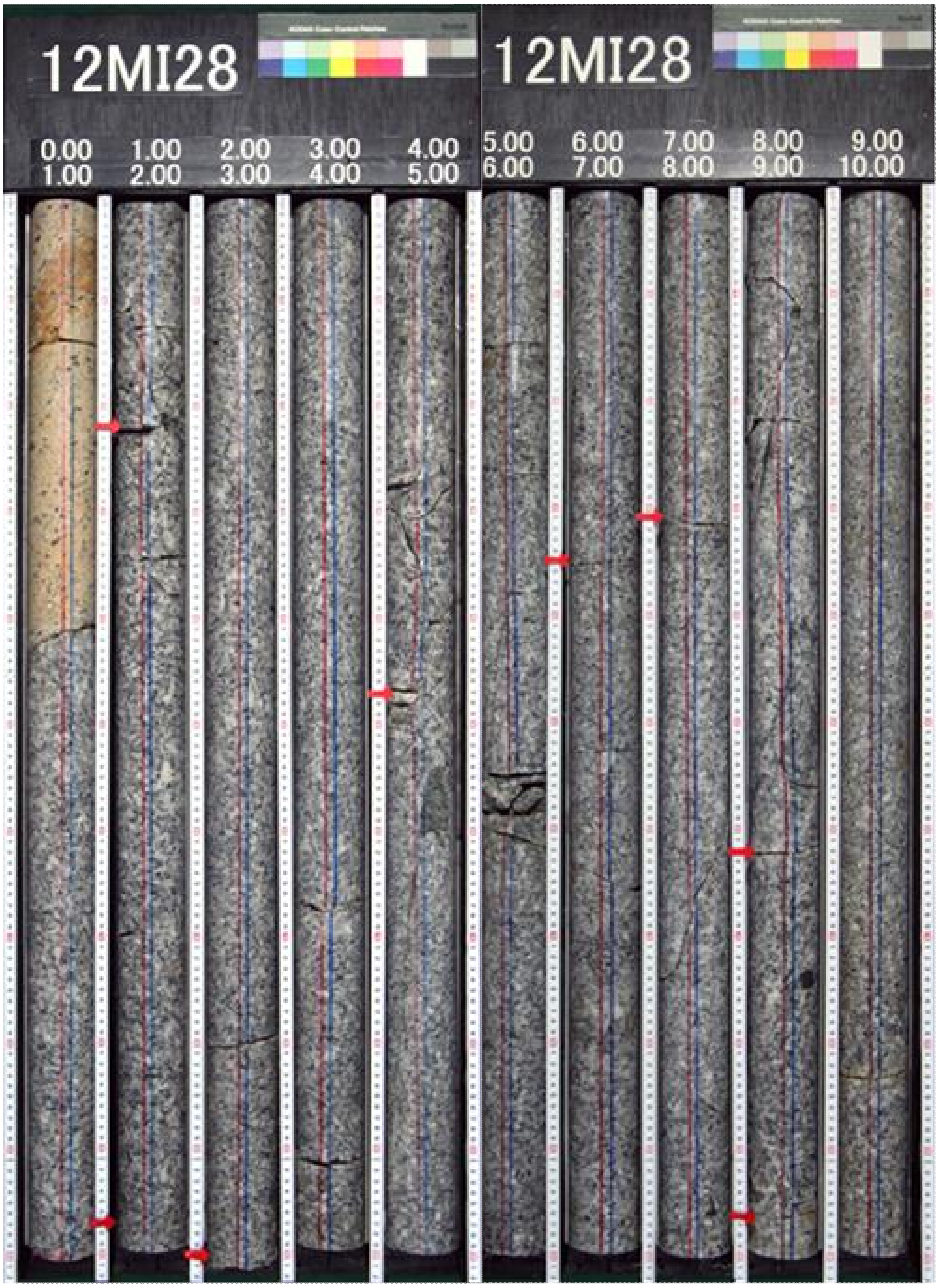


図 1-1 コア写真（12MI28 号孔、0m～10m）

図 1-2 コア写真（12MI28 号孔、10m～20m）

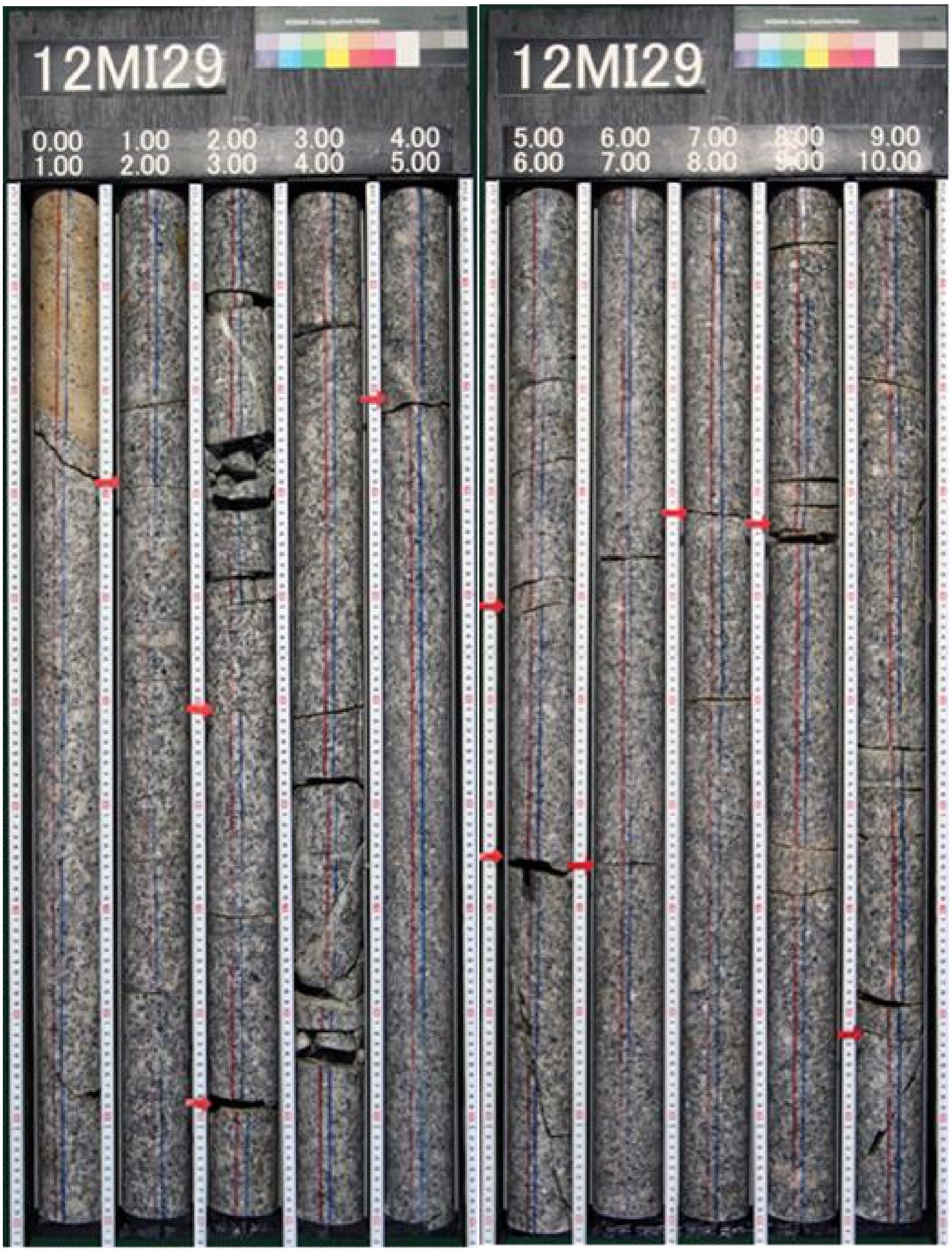


図 1-3 コア写真（12MI29 号孔、0m～10m）

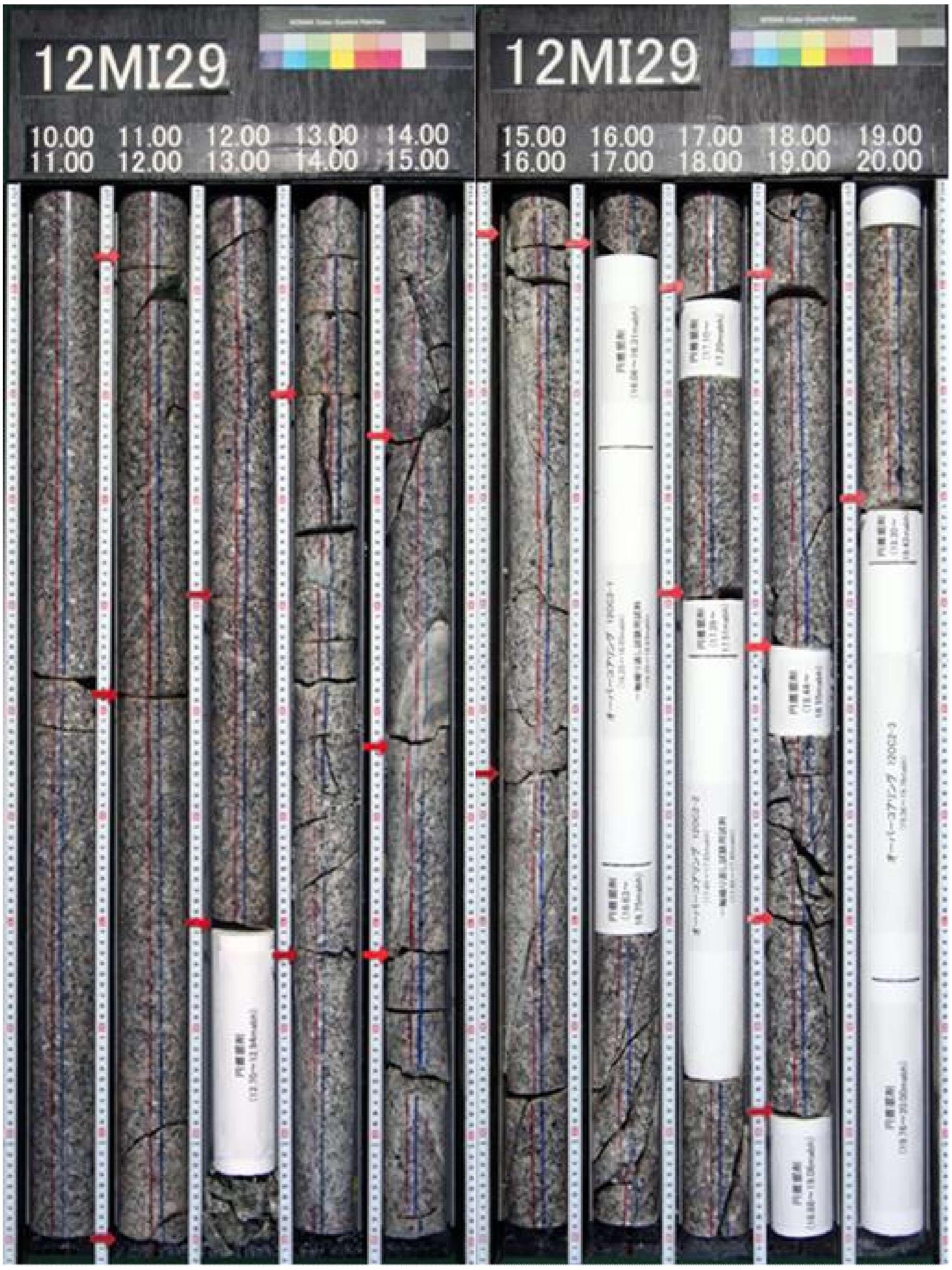


図 1-4 コア写真（12MI29 号孔、10m～20m）

図 1-5 コア写真（12MI29 号孔、20m～24m）

資料 2 柱状図

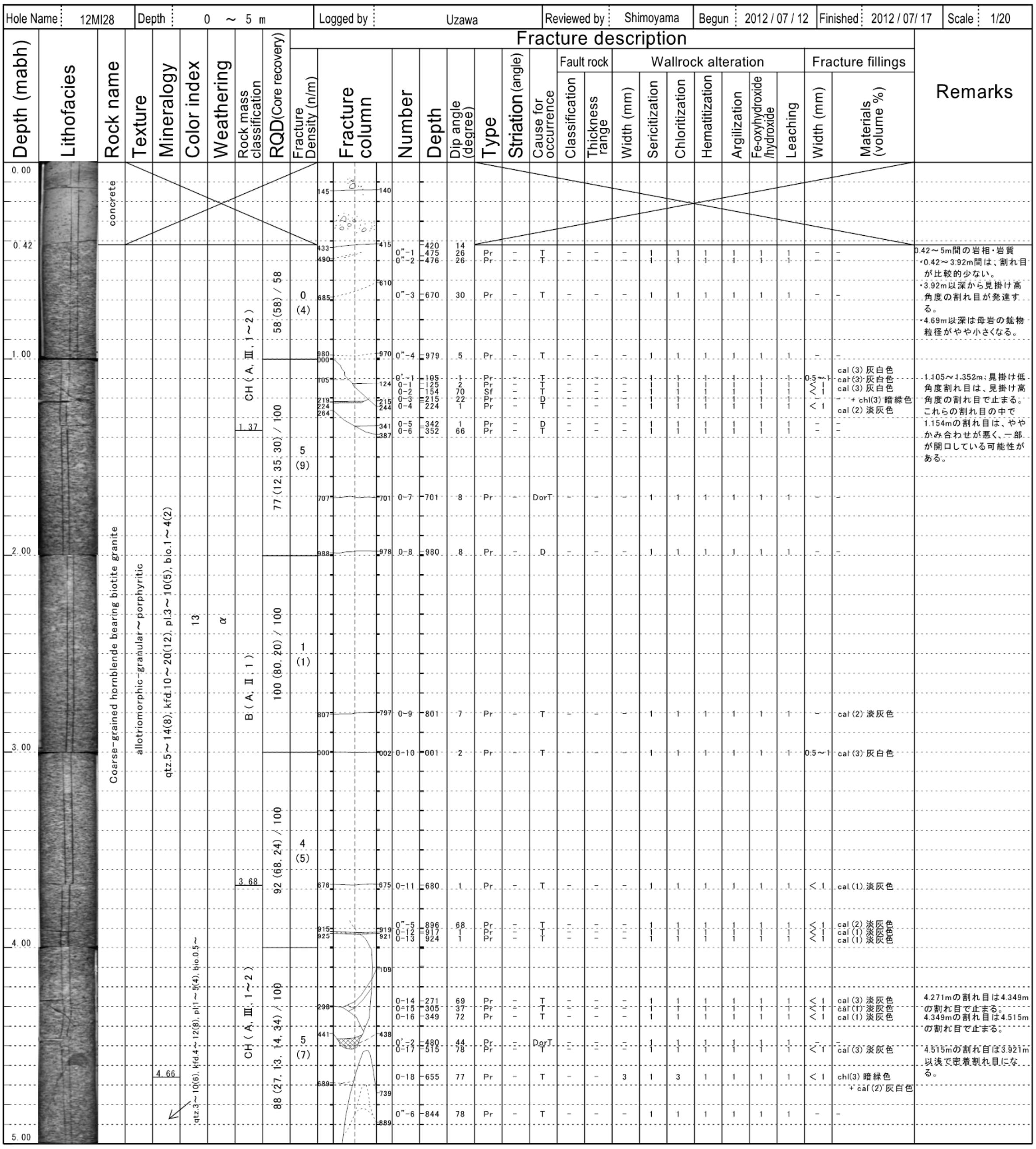
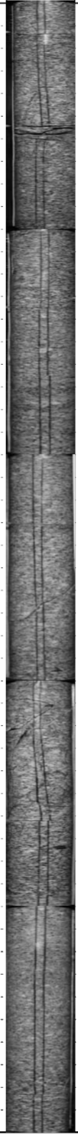


図 2-1 柱状図（12MI28 号孔、0m～5m）

Hole Name	12MI28	Depth	5 ～ 10 m	Logged by	Uzawa	Reviewed by	Shimoyama	Begun	2012 / 07 / 12	Finished	2012 / 07/ 17	Scale	1/20

Depth (mabh): 5.00, 6.00, 7.00, 8.00, 9.00, 10.00

Lithofacies:



Rock name: Coarse-grained hornblende bearing biotite granite

Texture: allotriomorphic-granular～porphyritic

Mineralogy:
- 5.00～7.65: qtz.3～10(6), kfd.4～12(8), pl.1～5(4), bio.0.5～2(1)
- 7.65～10.00: qtz.5～14(8), kfd.10～20(12), pl.3～10(5), bio.1～4(2)

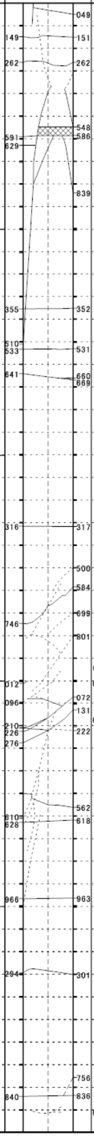
Color index: 13 (5.00～9.16); 10 (9.16～10.00)

Weathering: α

Rock mass classification: CH (A, Ⅲ, 1～2)

Interval (m)	RQD (Core recovery)	Fracture Density (n/m)
5.00～6.00	91 (10, 11, 29, 41) / 100	3 (9)
6.00～7.00	100 (53, 12, 35) / 100	2 (3)
7.00～8.00	100 (69, 31) / 100	1 (5)
8.00～9.00	88 (17, 33, 38) / 100	5 (9)
9.00～10.00	100 (29, 55, 16) / 100	3 (4)

Fracture column:



Fracture description

Number	Depth	Dip angle (degree)	Type	Striation (angle)	Cause for occurrence	Fault rock: Classification	Fault rock: Thickness range	Wallrock alteration: Width (mm)	Sericitization	Chloritization	Hematitization	Argilization	Fe-oxyhydroxide /hydroxide	Leaching	Fracture fillings: Width (mm)	Materials (volume %)
0-19	035	20	Pr	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (1) 灰白色
0-20	150	2	Pr	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
0-21	265	1	Pr	–	DorT	–	–	–	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (1) 灰白色
0"-7	350	82	Pf	–	T	–	–	2	1	3	1	1	1	1	≦ 1	chl (3) 暗緑色
0-22	385	72	Pf	–	T	–	–	5	1	3	1	1	1	1	< 1 ～ 1	chl (2) 暗緑色 + cal (3)灰白色
0-23	550	3	Pr	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
0-24	590	2	Pr	–	DorT	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
0-25	629	4	Pr	–	DorT	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
0-26	646	70	Pr	–	T	–	–	2	1	3	1	1	1	1	< 1	chl (2) 暗緑色 + cal (2)灰白色
0-27	353	6	Pr	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
0-28	532	2	Pr	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (1) 淡灰色
0-29	650	26	Pr	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
0-30	317	1	Pr	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
0"-8	600	74	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (3) 淡灰色
0-31	650	70	Sf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (3) 淡灰色
0"-9	821	58	Pr	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
0"-10	939	73	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (3) 淡灰色
0"-11	008	68	Pr	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (3) 淡灰色
0-32	092	50	Pr	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (2) 灰色
0-33	170	61	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
0"-12	205	80	Pf	–	T	–	–	5	1	3	1	1	1	1	0.5～2	chl (4) 暗緑色
0-34	218	8	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	≦ 1	cal (2) 淡灰色
0-35	219	58	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (3) 淡灰色
0-36	553	36	Pr	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (2) 淡灰色
0-37	622	8	Pr	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
0-38	965	3	Pr	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
0-39	293	24	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
0'-3	800	78	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	≦ 1	cal (1) 灰白色 + py (1)黄色
0-40	840	5	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (1) 灰白色 + 淡黄色
0"-13	907	31	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–

Remarks

5～10m間の岩相・岩質
- 見掛け中～高角度割れ目が比較的多く認められる。
- 見掛け高角度の割れ目は緑泥石(chl)にシーリングされ、密着しているものが多い。
- 7.65mの高角度割れ目が発達する深度以深から母岩の鉱物流径がやや大きくなる。

5.350mの密着割れ目は0-18と0-22をつなぐ。

5.385mの割れ目はかみ合わせがやや悪く、一部でカルサイト(cal)の充填がなく、開口している。特に6.10～6.20m間は、開口量が0.5～1mmと大きく、掘進時に孔内からの湧水を確認している。また、カルサイト(cal)は、一部で軟質化する。

0"-8から0"-10の間の割れ目は雁行する。

8.170mと8.219mの割れ目は緑泥石(chl)を挟む密着割れ目と斜交する。

8.218mの割れ目とその付近の見掛け低角度割れ目はかみ合わせがやや悪く、8m付近の掘進時に湧水した(開口した)割れ目の可能性がある。

8.40～9.00m：緑泥石(chl)を挟む密着割れ目の分岐が著しく、掘進方向に分岐する傾向がある。

8.70m：φ14mmの閃緑岩質の暗色含有物(dark inclusion)が認められる。

9.840mの割れ目はかみ合わせが悪く、隙間が所々にできる。また、この割れ目とつながる見掛け高角度割れ目は、かみ合わせは良いが一部で隙間ができる。8.960m以深、掘進時の送水量に比べ、帰水量が1ℓ多い。

図 2-2 柱状図（12MI28 号孔、5m～10m）

Hole Name	12MI28	Depth	10 ～ 15 m	Logged by	Uzawa	Reviewed by	Shimoyama	Begun	2012 / 07 / 12	Finished	2012 / 07 / 17	Scale	1/20

Depth (mabh): 10.00 – 15.00 (gridlines at 11.00, 12.00, 13.00, 14.00)

Lithofacies:

- Rock name: Coarse-grained hornblende bearing biotite granite
- Texture: allotriomorphic-granular～porphyritic
- Mineralogy: qtz.5～14(8), kfd.10～20(12), pl.3～10(5), bio.1～4(2)
- Color index: 10
- Weathering: α
- Rock mass classification: CH (A, Ⅲ, 1～2) (10.00–10.09); 10.09; CH (A, Ⅳ, 1～2); 11.11; CM (B, Ⅳ, 1～2); 11.33; CH (A, Ⅳ, 1～2); 12.00; CM (B, Ⅳ, 1～2); 12.37; CH (A, Ⅳ, 1～2)
- RQD (Core recovery): 57 (12, 11, 19, 13, (2)) / 100; 64 (11, 22, 15, 16) / 100; 60 (10, 18, 17, 15) / 71; オーバーコアリング他のため、RQDなし; 55 (25, 14, 10, (6)) / 88
- Fracture Density (n/m): 14 (18); 14 (17); 11+ (18+); 1+ (5+); 5+ (15+)

Fracture description

Number	Depth	Dip angle (degree)	Type	Striation (angle)	Cause for occurrence	Fault rock: Classification	Fault rock: Thickness range	Wallrock alteration: Width (mm)	Sericitization	Chloritization	Hematitization	Argilization	Fe-oxyhydroxide /hydroxide	Leaching	Fracture fillings: Width (mm)	Materials (volume %)
1-1	092	6	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	
1-2	096	7	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	
1-3	132	7	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (1) 灰白色
1-4	142	10	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	
1-5	224	8	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	
1-6	229	12	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	
1"-1	246	12	Pr	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-7	279	12	Pr	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (3) 灰白色 (粘土状)
1-8	337	8	Pr	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-9	398	20	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (3) 淡灰色 (粘土状)
1-10	494	8	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	
1"-2	515	6	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1"-3	562	57	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-11	600	23	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-12	792	38	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (3) 淡灰色 (粘土状)
1-13	805	17	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	
1-14	854	61	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (1) 淡灰色
1-15	979	31	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (1) 灰白色
1-16	106	26	Pf	–	TorS	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (3) 淡灰色 (粘土状)
1-17	143	30	Pf	–	TorS	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	
1-18	152	2	Pf	–	TorS	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	
1-19	181	13	Pr	–	S	Cat	15~32	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-20	192	12	Pf	–	TorS	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (3) 淡灰色 (粘土状)
1-21	240	11	Pf	–	TorS	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	
1-22	251	14	Sf	–	TorS	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	
1-23	280	14	Pf	–	TorS	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	
1-24	330	24	Pf	–	TorS	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	
1-25	544	36	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (3) 淡灰色
1-26	586	40	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (3) 淡灰色
1"-4	621	60	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-27	622	0	Pr	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (2) 淡灰色 + py (1) 黄金色
1"-5	759	58	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-28	775	4	Wr	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1"-6	835	58	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-29	934	35	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (2) 淡灰色
1-30	000	0	Pr	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (4) 淡灰色
1-31	020	0	Pr	–	TorS	Cat-b	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (1) 淡灰色
1"-7	035	30	Pr	–	TorS	Cat-b	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (4) 淡灰色
1"-8	060	54	Pr	–	TorS	Cat-b	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (4) 淡灰色
1-32	075	30	Pr	–	TorS	Cat-b	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (4) 淡灰色
1-33	171	33	Pf	–	S	P-Cat	12~19	–	1	1	1	1	1	1	1	cal (4) 淡灰色
1"-9	298	65	Pr	–	TorS	Cat-b	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (3) 淡灰色
1-34	352	64	Pf	–	TorS	Cat-b	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-35	366	66	Pf	–	TorS	Cat-b	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-36	367	30	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (3) 淡灰色
1"-10	427	68	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1"-11	429	68	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	chl (4) 暗緑色
1-37	509	12	Pr	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-38	535	0	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-39	556	32	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (1) 灰白色
1-40	709	0	Pf	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-41	945	45	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-42	980	28	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	chl (4) 暗緑色
1-43	223	60	Pf	–	T	–	–	–	1	2	1	1	1	1	<1	chl (2) 淡緑色 + cal (2)淡緑灰色
1-44	405	40	Pf	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-45	420	50	Pf	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1'-1	690	10	Pf	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-46	690	50	Pf	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-47	049	0	Pf	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-48	200	0	Sr	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-49	246	34	Pr	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (3) 淡灰色
1-50	280	1	Sr	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1"-12	300	38	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1"-13	336	48	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1"-14	366	72	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-51	470	1	Sr	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-52	507	28	Pf	–	T	–	–	2	1	2	1	1	1	1	<1	chl(3) 暗灰色 + cal (3) 淡緑灰色
1"-15	600	10	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (4) 灰白色
1-53	604	9	Pf	–	TorD	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-54	757	0	Pf	–	D	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-55	831	1	Pr	SL86L	S	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–
1-56	890	14	Pf	SL42L	S	–	–	–	1	1	1	1	1	1	<1	cal (2) 淡緑灰色
1-57	936	20	Pf	–	T	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–

Remarks

10～15m間の岩相・岩質
- 見掛け低角度割れ目が発達し、11.11～11.33m間および12.00～12.37m間に特に集中する。
- 見掛け高角度の割れ目は緑泥石(chl)にシーリングされ、密着している。
- 14.35m以深は長石類の白濁化が見られるようになる。

10.092～10.096m：割れ目がかみ合わない。
10.132～10.142m：割れ目がかみ合わない。
10.600m：割れ目のかみ合わせがやや悪い。
10.805m：割れ目のかみ合わせがやや悪い。
10.854m：かみ合わせは良いが、割れ目の一部が岩片状で隙間がある。
11.181m：カタクレーサイト内の鉱物の組織から見掛け右横ずれの可能性がある。
12.020mと12.075mの割れ目の間、cataclastic brecciaからなる。
12.171mと12.366mの割れ目の間、cataclastic brecciaからなる。
12.70～12.81m：円錐掘削のためコアなし。
12.75～13.09m：オーバーコアリング区間(1回目)。試料として採取する。
13.09～13.20m：円錐掘削のためコアなし。
13.14～13.30m：オーバーコアリング区間(2回目)。試料として採取する。
13.30～13.41m：円錐掘削のためコアなし。
13.35～13.64m：オーバーコアリング区間(3回目)。試料として採取する。
13.64～13.73m：円錐掘削のためコアなし。
13.67～14.07m：オーバーコアリング区間(4回目)。試料として採取する。
14.61～14.79m：円錐掘削のためコアなし。
14.831mと14.890mの条線(SL)はほぼ同じ走向(基準線から右に8°と右に6°)。前者の方がSLが深く明瞭で後者は黒雲母(bio)が引き伸ばされている。

図 2-3 柱状図（12MI28 号孔、10m～15m）

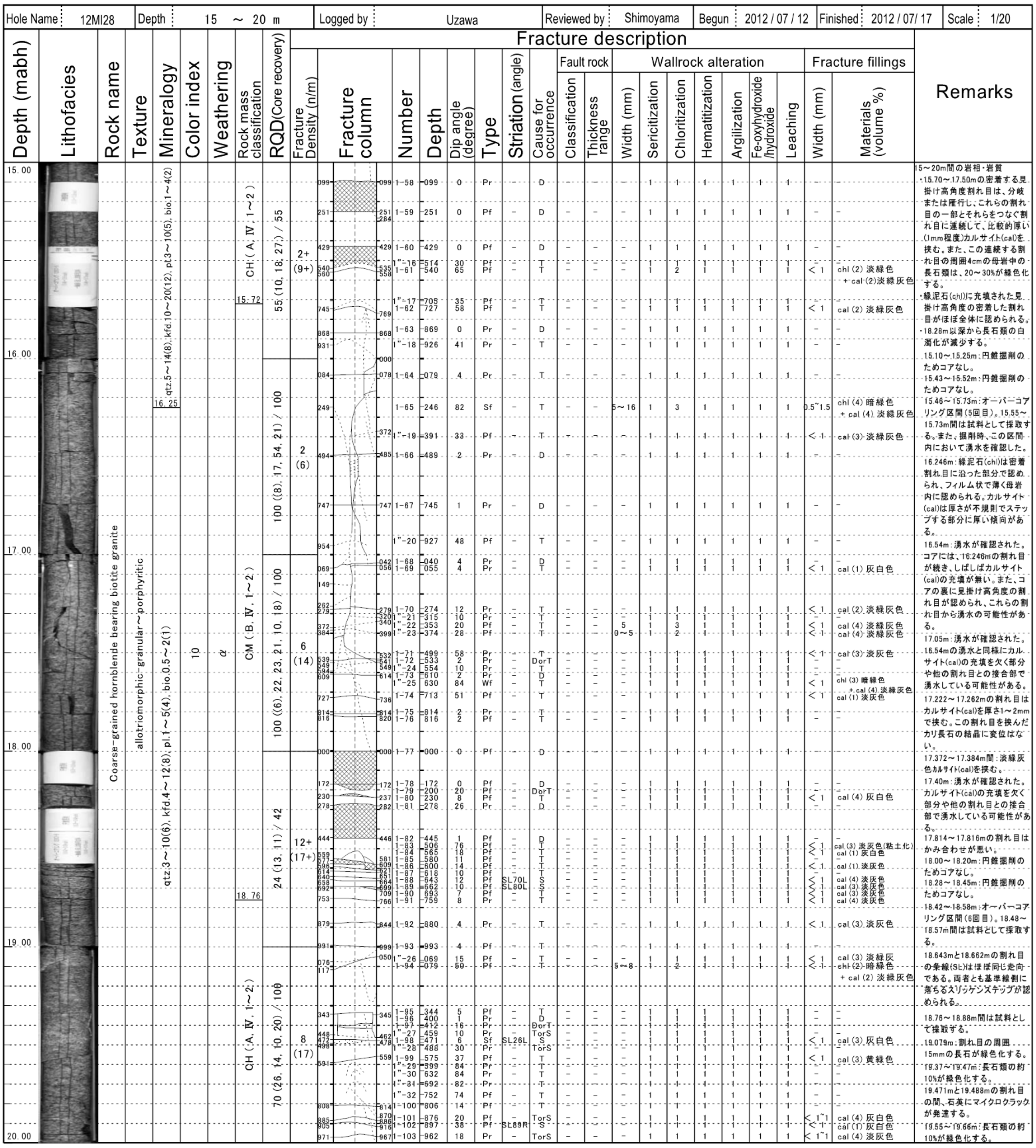


図 2-4 柱状図（12MI28 号孔、15m～20m）

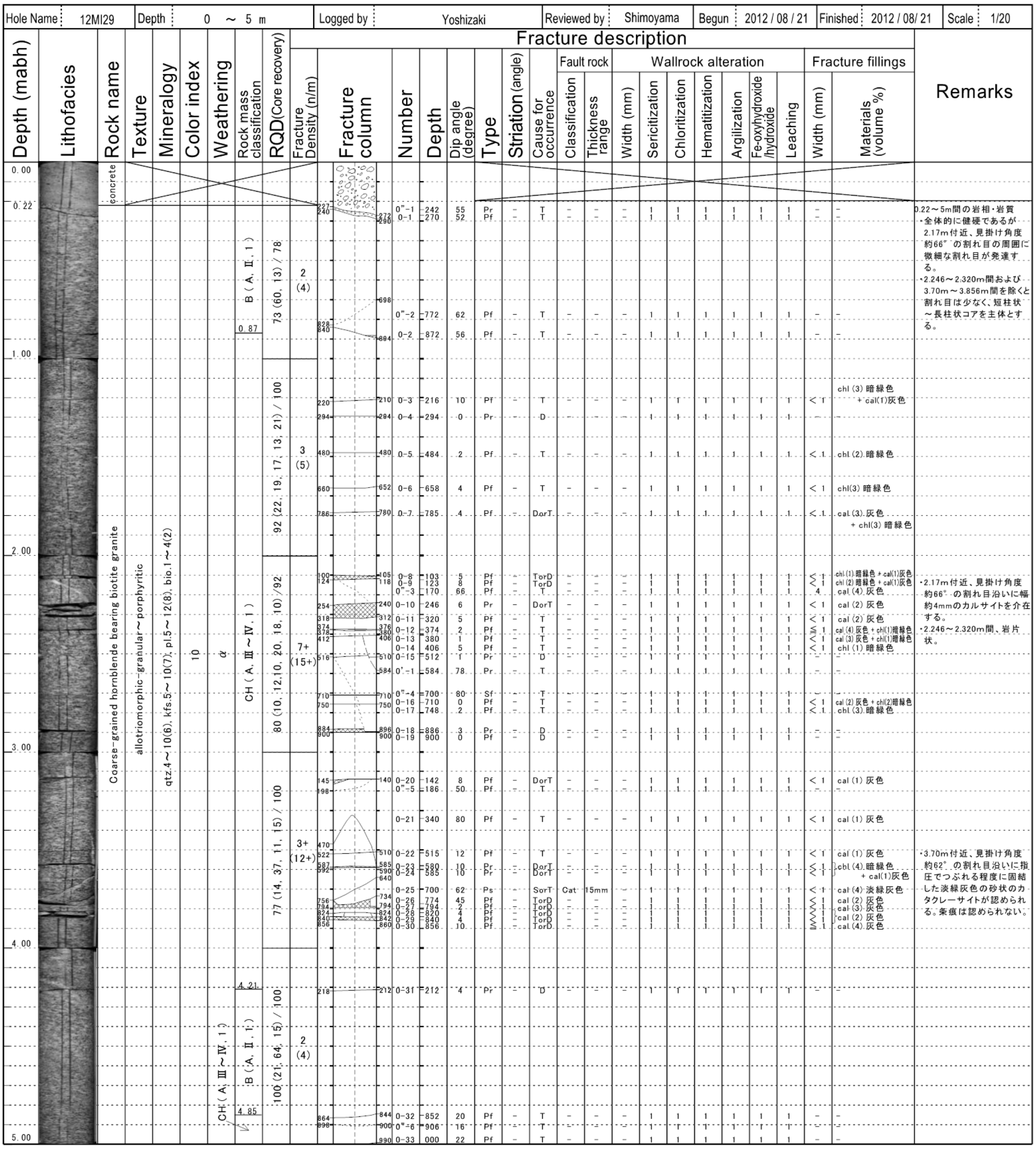


図 2-5 柱状図（12MI29 号孔、0m～5m）

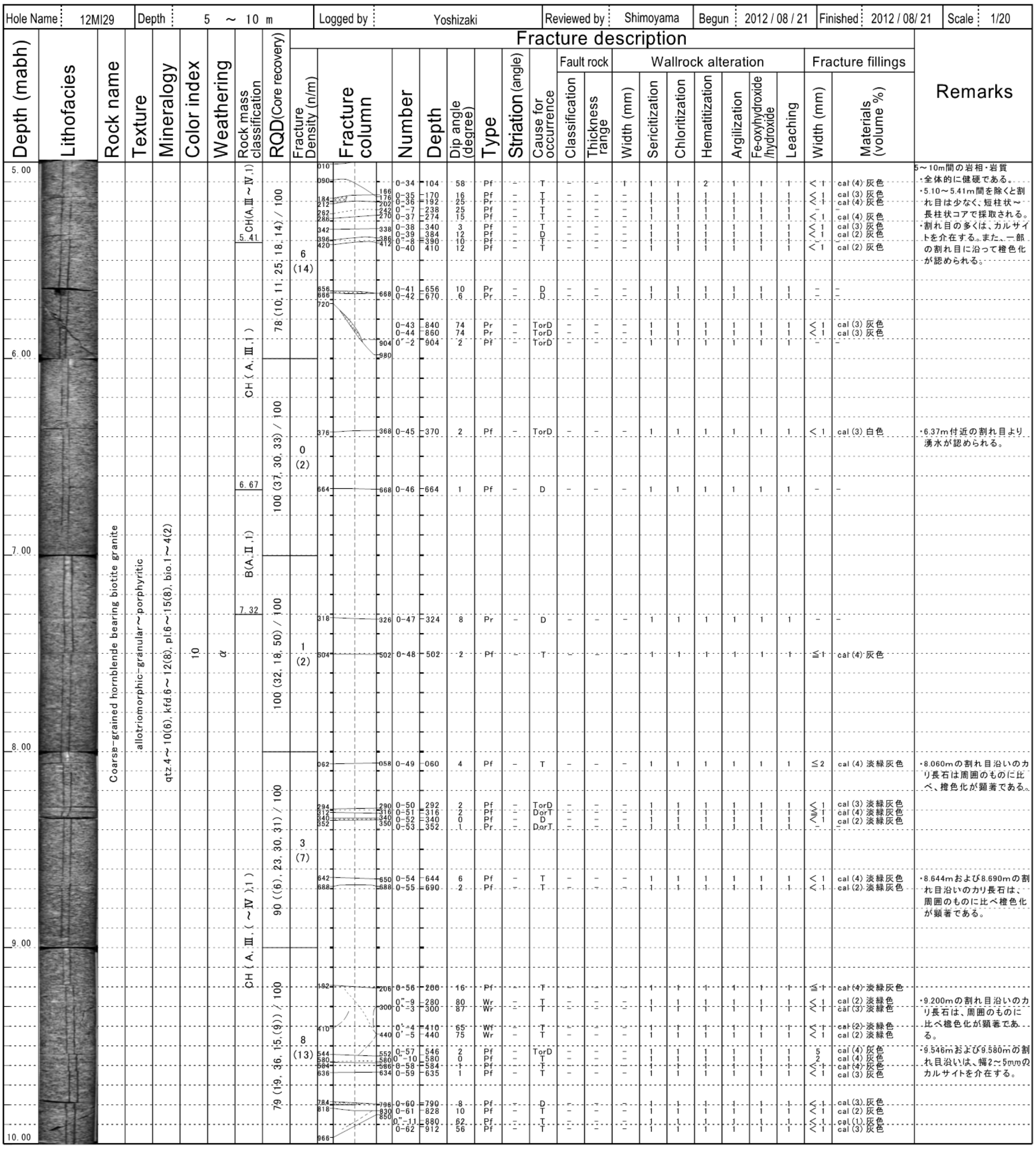


図 2-6 柱状図（12MI29 号孔、5m～10m）

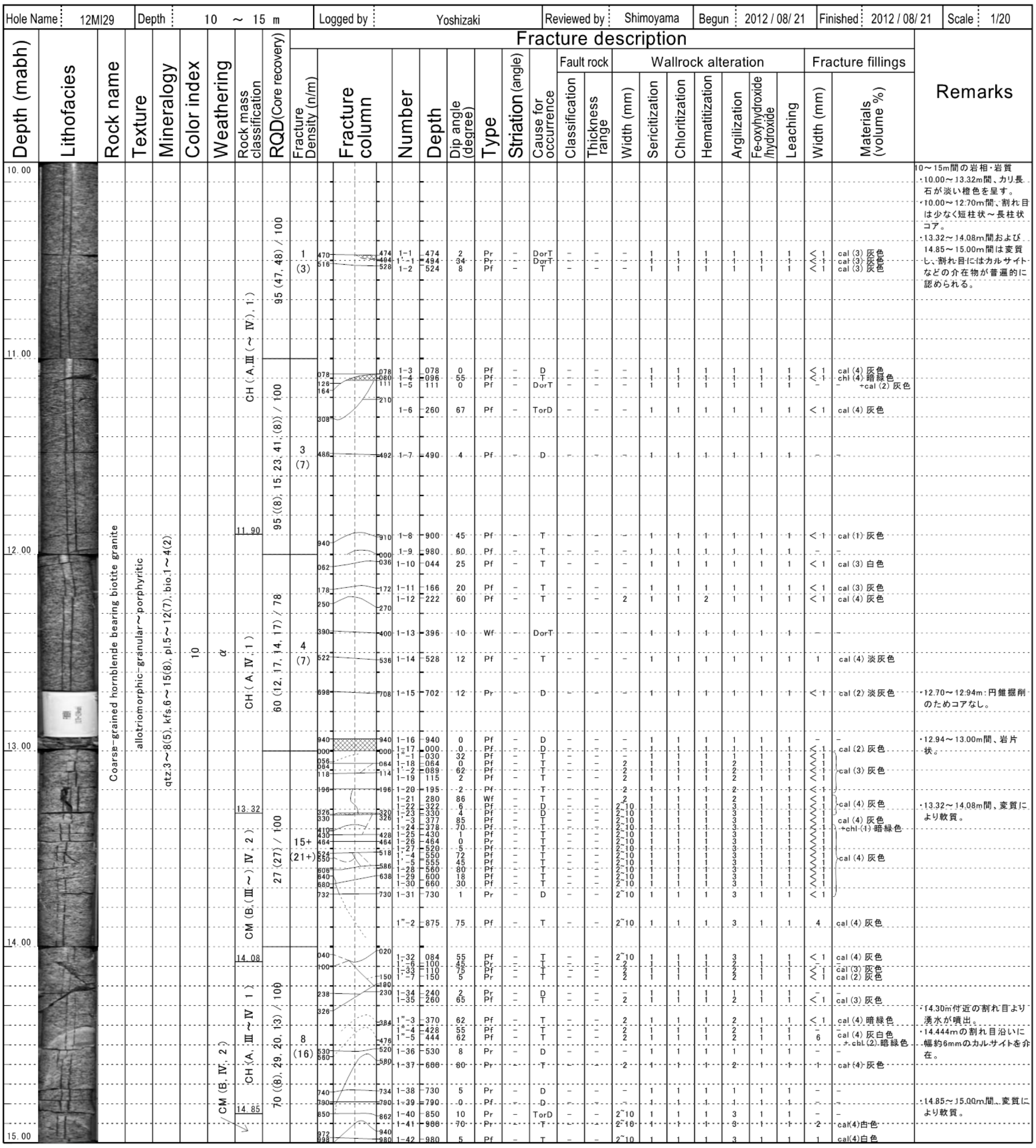


図 2-7 柱状図（12MI29 号孔、10m～15m）

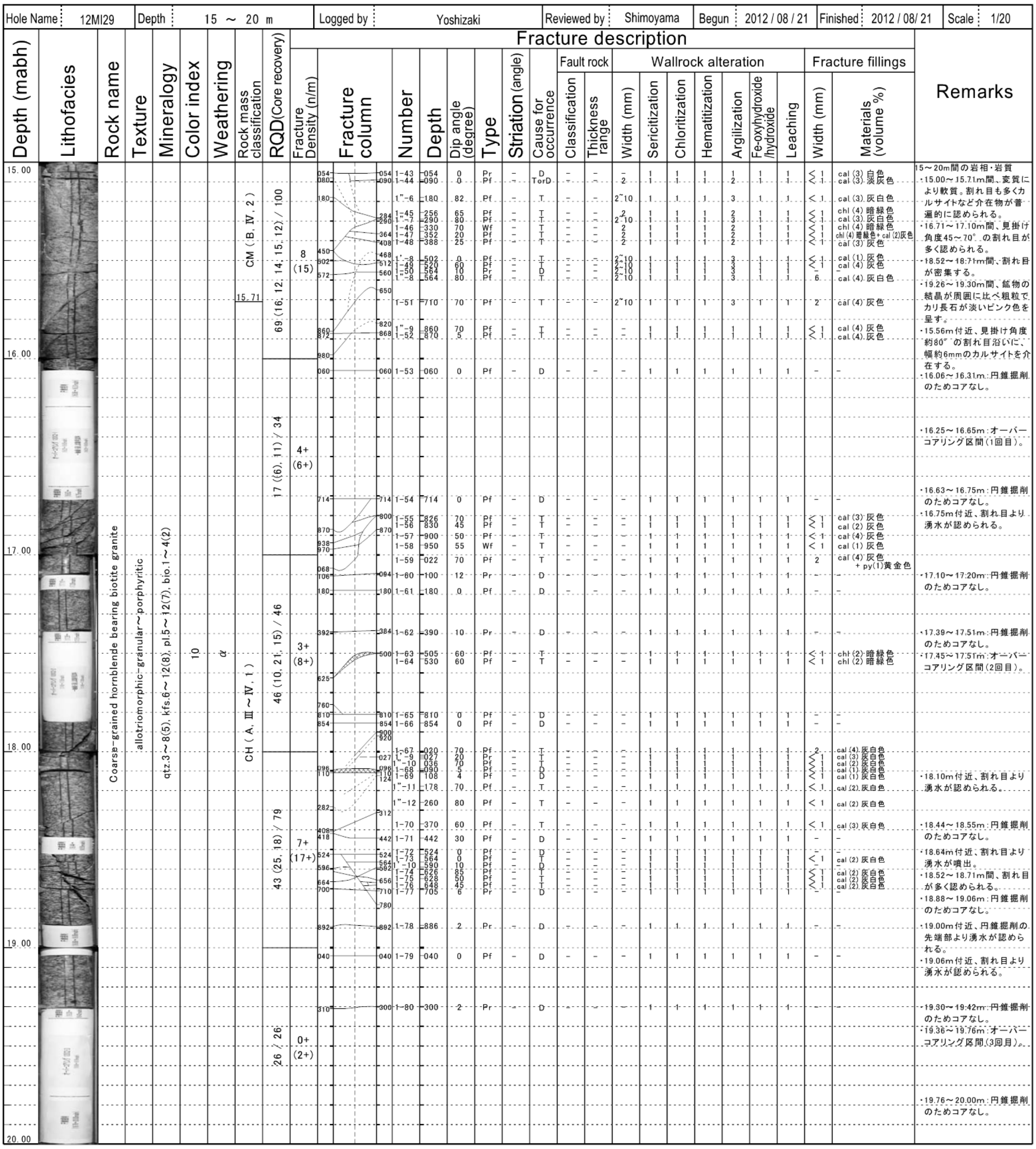


図 2-8 柱状図（12MI29 号孔、15m～20m）

Hole Name	12MI29	Depth	20 ～ 24 m	Logged by	Yoshizaki	Reviewed by	Shimoyama	Begun	2012 / 08 / 21	Finished	2012 / 08/ 21	Scale	1/20

Depth (mabh): 20.00 – 21.00 – 22.00 – 23.00 – 24.00

Lithofacies:

Depth (mabh)	Rock name	Texture	Mineralogy	Color index	Weathering	Rock mass classification	RQD(Core recovery)	Fracture Density (n/m)
20.00–21.00	Coarse-grained hornblende bearing biotite granite	allotriomorphic-granular～porphyritic	qtz.3～8(5), kfs.6～12(8), pl.5～12(7), bio.1～4(2)	10	α	CH (A, Ⅲ～Ⅳ, 1)	27 (12, 15) / 90	9+ (19+)
21.00–22.00							38 (18, 20) / 61	3+ (10+)
22.00–22.15							0 / 70	12+ (19+)
22.15–22.43						CM (B, Ⅴ, 2)		
22.43–22.83			qtz.4～10(6), kfs.8～20(12), pl.6～10(7), bio.2～5(3)					
22.83–23.00						CH (A, Ⅲ～Ⅳ, 1)		
23.00–24.00							66 (10, 10, 24, 11, 11) / 90	11+ (14+)

Fracture description

Fracture column	Number	Depth	Dip angle (degree)	Type	Striation (angle)	Cause for occurrence	Fault rock: Classification	Fault rock: Thickness range	Wallrock alteration: Width (mm)	Sericitization	Chloritization	Hematitization	Argilization	Fe-oxyhydroxide /hydroxide	Leaching	Fracture fillings: Width (mm)	Materials (volume %)
000 / 000	2-1	000	0	Pf	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (4) 灰色
059 / 062	2-2	060	2	Pf	-	TorD	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (1) 灰色
076 / 074	2-3	076	1	Pf	-	TorD	-	-	1	1	1	2	1	1	1	< 1	cal (1) 暗緑色
142 / 148	2'-1	157	1	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (2) 灰色
156 / 158	2-4	172	55	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (4) 淡灰色
184 / 182	2-5	182	1	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (2) 灰色
232 / 236	2-6	232	2	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (2) 灰色
292 / 284	2-7	285	5	Pf	-	DorT	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (2) 灰色
300 / 296	2-8	286	20	Pf	-	DorT	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (1) 灰色
330 / 366	2-9	384	52	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	chl(3)暗緑色 + cal (2) 灰色
440 / 460	2-10	440	25	Pr	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (1) 灰色
490 / 490	2-11	480	15	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (4) 灰色
526 / 526	2-12	524	2	Pf	-	TorD	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (1) 灰色
554 / 550	2-13	552	2	Pf	-	TorD	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (1) 灰色
578 / 574	2-14	576	2	Pf	-	TorD	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (2) 灰色
588 / 598	2-15	600	4	Pf	-	DorT	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (3) 灰色
600 / 666	2-16	630	50	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (4) 淡灰色
750 / 748	2-17	750	2	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
900 / 902	2-18	900	1	Pr	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
050 / 050	2-19	050	0	Pr	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (3) 淡緑灰色
100 / 080	2-20	096	4	Pr	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (3) 淡灰色
156	2-21	110	55	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (2) 白色
200 / 168	2-22	172	52	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (4) 白色
200	2-23	200	0	Pr	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
260 / 264	2-24	280	20	Pr	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
460 / 450	2-25	450	8	Pr	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
644 / 654	2-26	655	16	Pr	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
900 / 900	2-27	900	0	Pf	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
966	2-28	922	40	Pr	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	3	cal (4) 淡灰色
036 / 030	2-29	022	20	Pr	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
136 / 180	2-30	154	35	Pf	-	DorT	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (1) 灰色
198	2-31	200	2	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (3) 白色
236 / 250	2-32	260	35	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (1) 灰色
276	2-33	288	75	Pf	-	T	-	-	1	1	1	2	1	1	1	< 1	cal (4) 灰色
	2-34	334	2	Pr	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
332 / 340	2-35	360	50	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (1) 灰色
384	2-36	410	65	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (1) 灰色
404 / 458	2-37	430	45	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (2) 淡灰色
482 / 460	2-38	468	22	Pf	-	TorD	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (4) 淡灰色
484	2-39	486	2	Pr	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (4) 淡灰色
550	2-40	496	60	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (4) 淡灰色
562	2-41	554	20	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (4) 淡灰色
604 / 604	2-42	602	2	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (4) 灰色
624 / 656	2-43	640	25	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (3) 淡黄灰色
684 / 682	2-44	672	15	Pr	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
700	2-45	710	80	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
750	2-46	728	40	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (2) 淡灰色
840 / 822	2-47	825	10	Pf	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
945 / 945																	
017	2'-2	000	80	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
060	2'-3	030	60	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
070 / 075	2-48	075	10	Pf	-	TorD	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
092 / 118	2-49	100	25	Pf	-	D	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (3) 灰色
192 / 236	2-50	216	35	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (3) 灰色
300 / 330	2-51	334	8	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	-
	2-52	380	65	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	2	cal (4) 淡灰色
414	2'-4	410	4	Pr	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	
460 / 462	2-53	430	82	Pr	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	2	cal (4) 淡灰色
	2-54	586	70	Pr	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	6	cal (4) 淡灰色
670 / 660, 666	2-55	666	2	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (2) 淡灰色
762 / 760, 790	2-56	776	20	Pr	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (2) 淡灰色
882 / 892	2-57	886	4	Pr	-	DorT	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (2) 淡灰色
904 / 898	2-58	902	4	Pf	-	T	-	-	-	1	1	1	1	1	1	< 1	cal (2) 淡灰色

Remarks

20～24m間の岩相・岩質
- ・20.06～20.60m間、見掛け角度25° 以下の低角度割れ目が多く認められる。
- ・22.43m以深、カリ長石の結晶が粗粒となり、淡い橙色を呈す。
- ・20.526～20.576m間、割れ目が密集し、一部岩片状。
- ・20.90～21.05m：円錐掘削のためコアなし。
- ・21.05～21.10m間、割れ目が密集し、岩片状。
- ・21.20～21.29m：円錐掘削のためコアなし。
- ・21.29m付近の割れ目より湧水が噴出。
- ・21.65～21.77m：円錐掘削のためコアなし。
- ・21.71～21.84m：オーバーコアリング区間(4回目)。
- ・21.84～21.94m：円錐掘削のためコアなし。
- ・22.02～22.14m：円錐掘削のためコアなし。
- ・22.08～22.19m：オーバーコアリング区間(5回目)。
- ・22.83～22.98m：円錐掘削のためコアなし。
- ・22.92～23.12m：オーバーコアリング区間(6回目)。
- ・23.380m、23.430m、23.586mは見掛け角度65～82°の割れ目沿いに厚さ2～6mmのカルサイトが介在する。

図 2-9 柱状図（12MI29 号孔、20m～24m）

資料 3 ボアホールテレビ観察結果

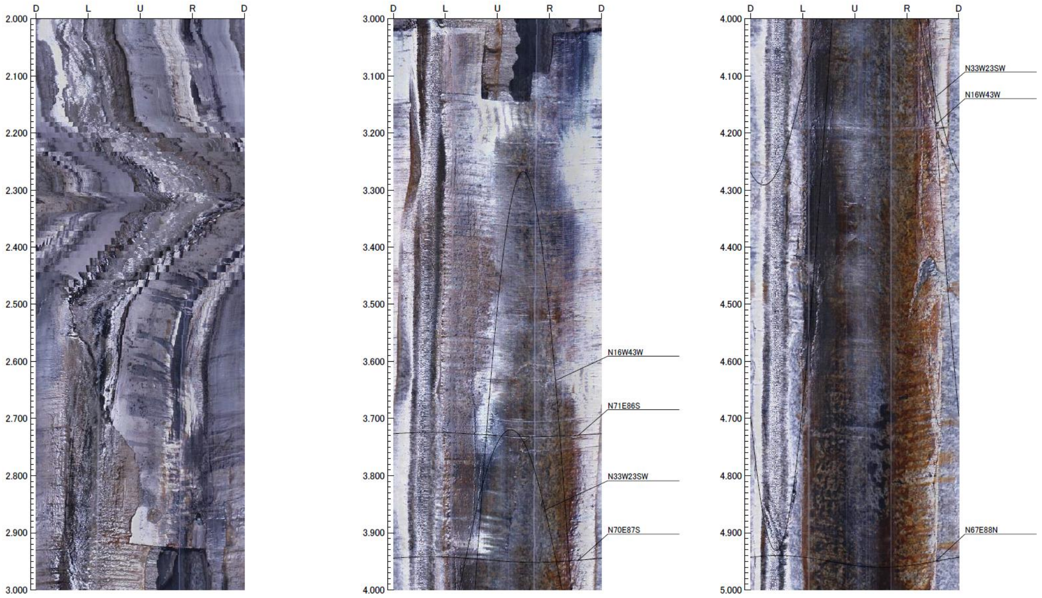


図 3-1 BTV 画像（12MI28 号孔、2m～5m）

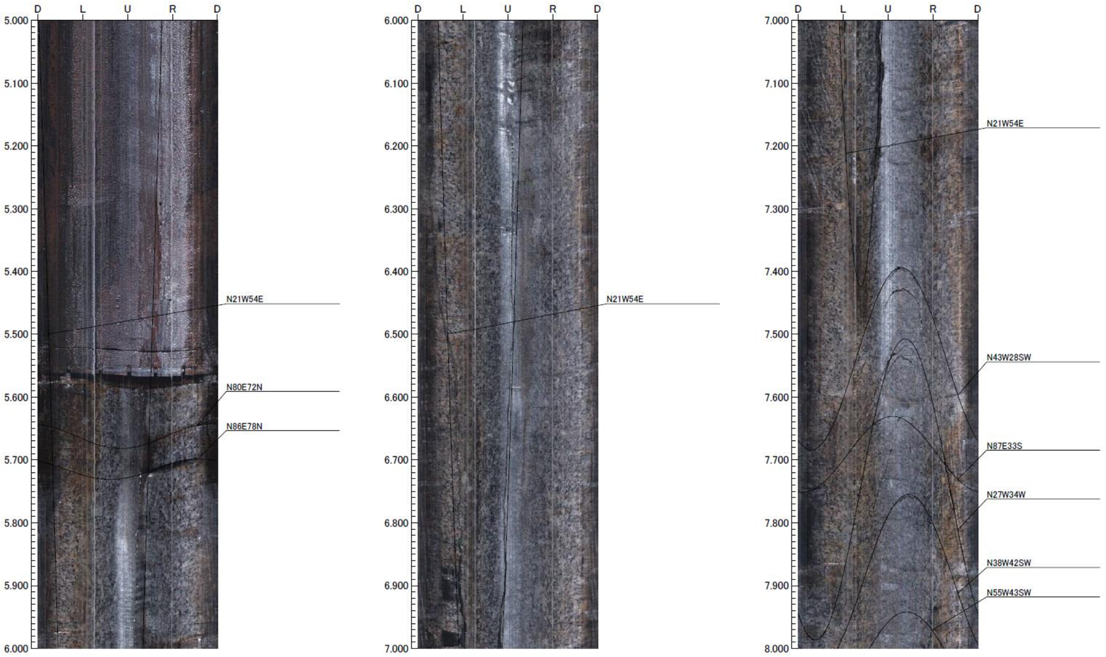


図 3-2 BTV 画像（12MI28 号孔、5m～8m）

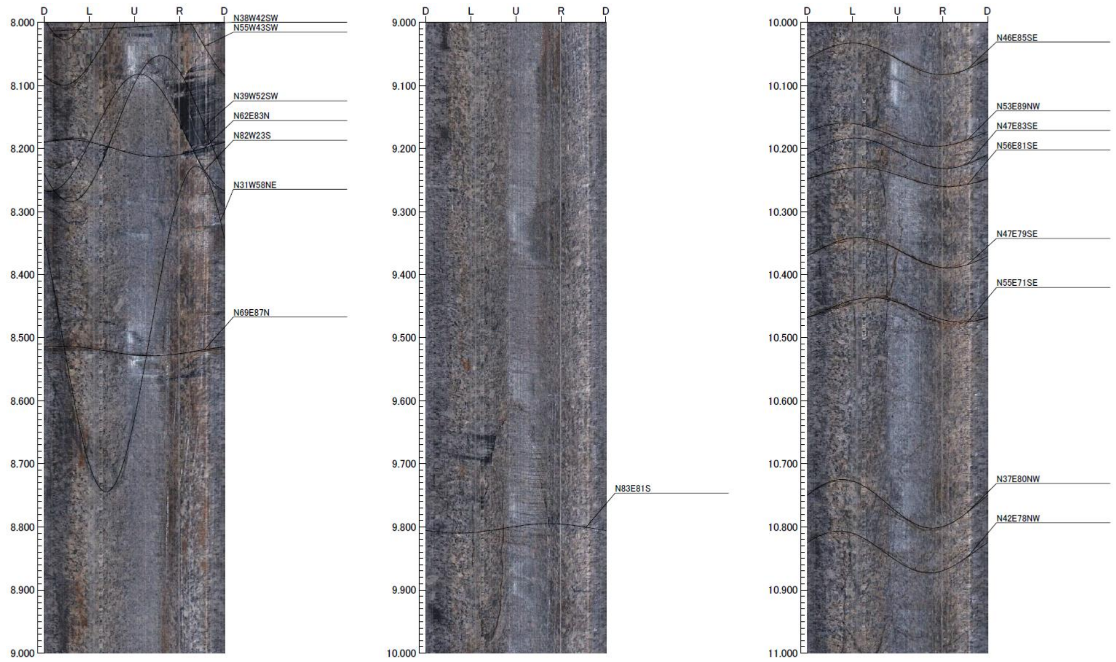


図 3-3 BTV 画像（12MI28 号孔、8m～11m）

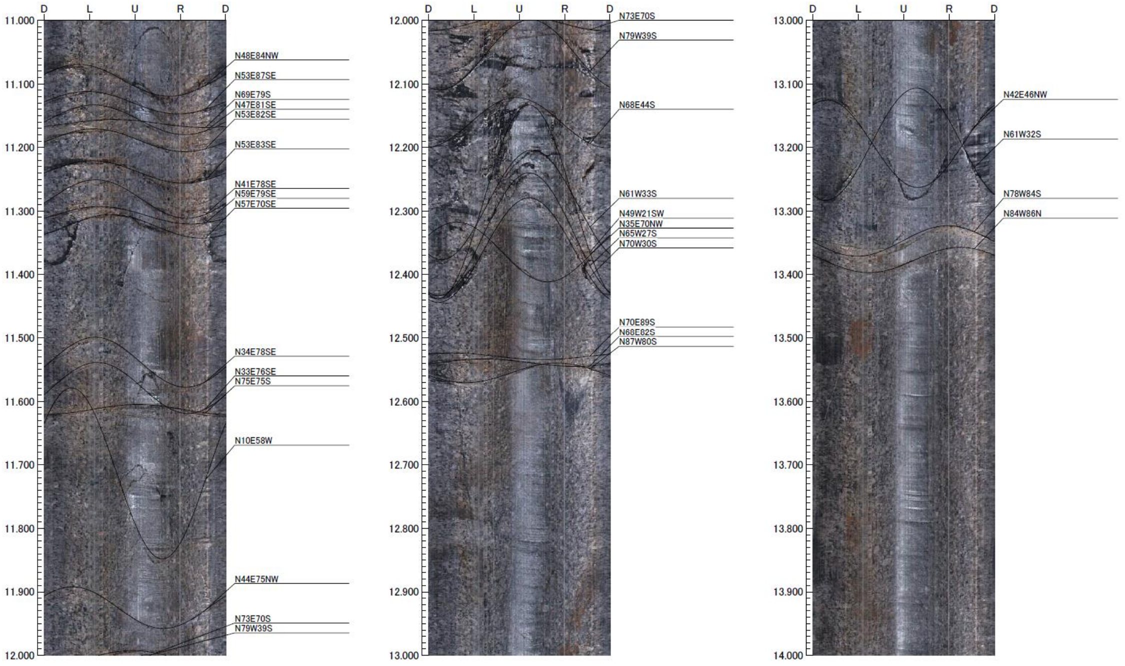


図 3-4 BTV 画像（12MI28 号孔、11m～14m）

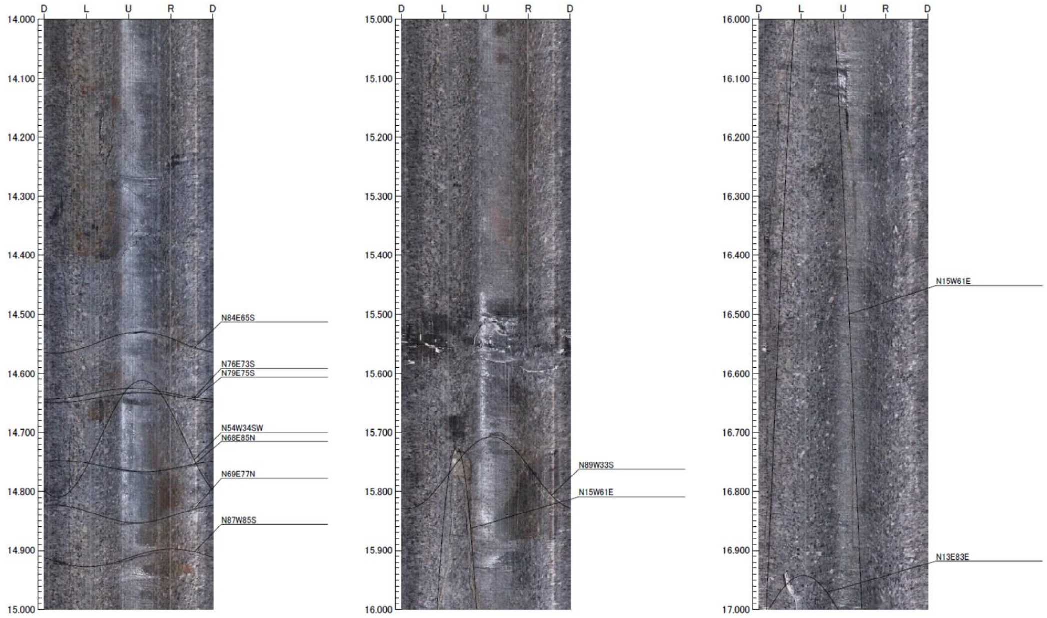


図 3-5 BTV 画像（12MI28 号孔、14m～17m）

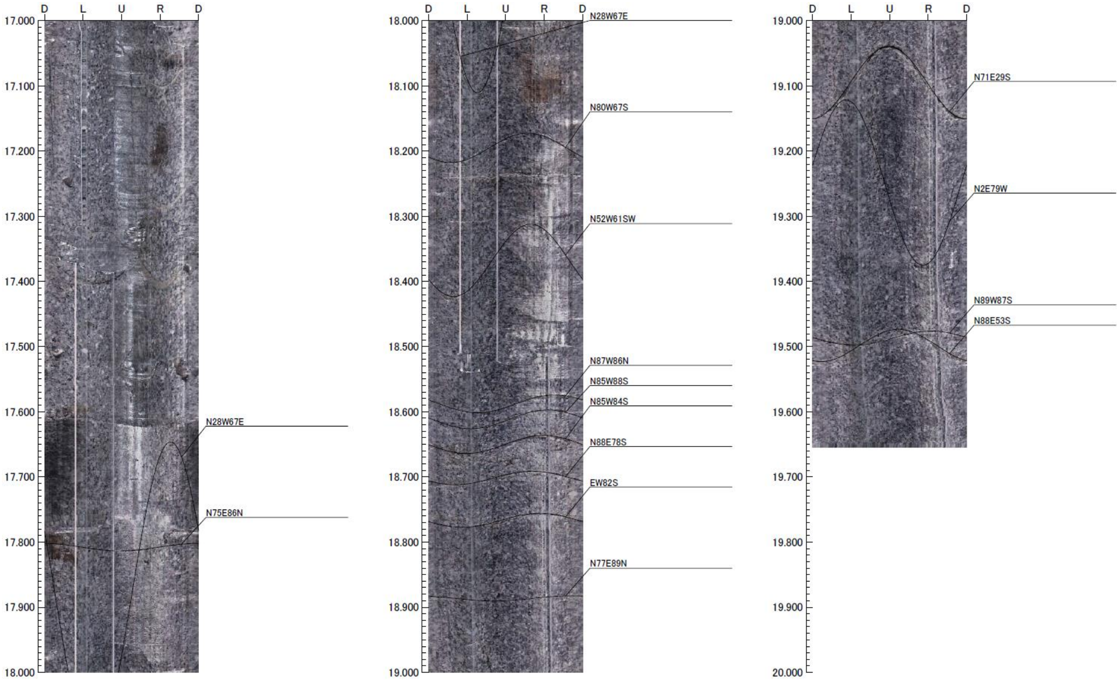


図 3-6 BTV 画像（12MI28 号孔、17m～19.65m）

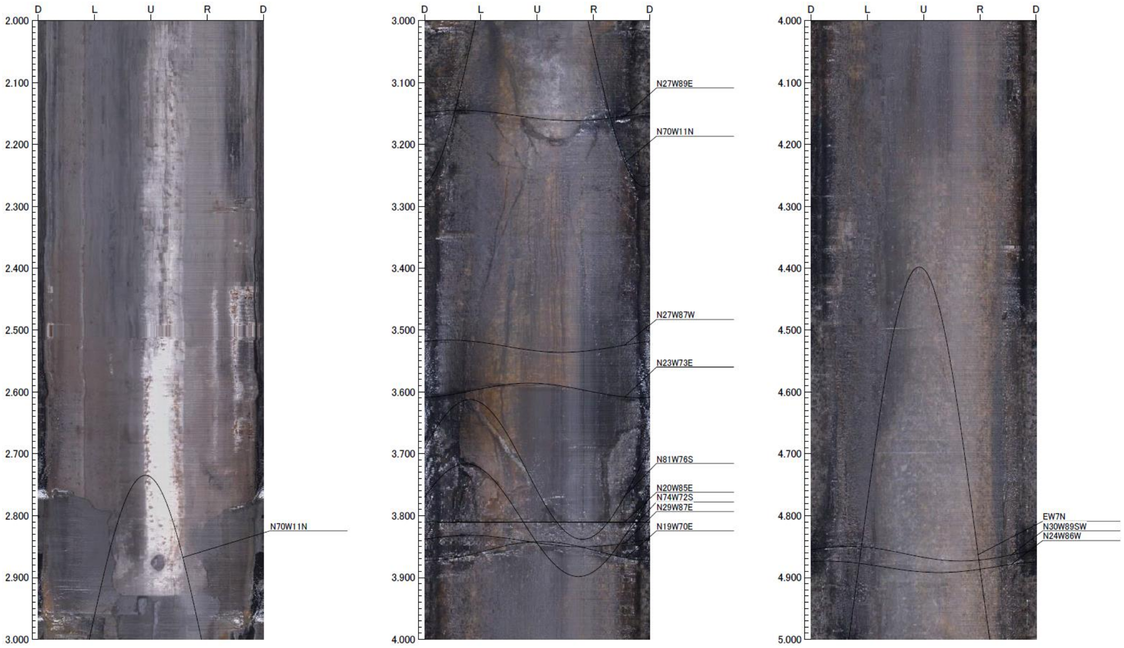


図 3-7 BTV 画像（12MI29 号孔、2m～5m）

図 3-8 BTV 画像（12MI29 号孔、5m～8m）

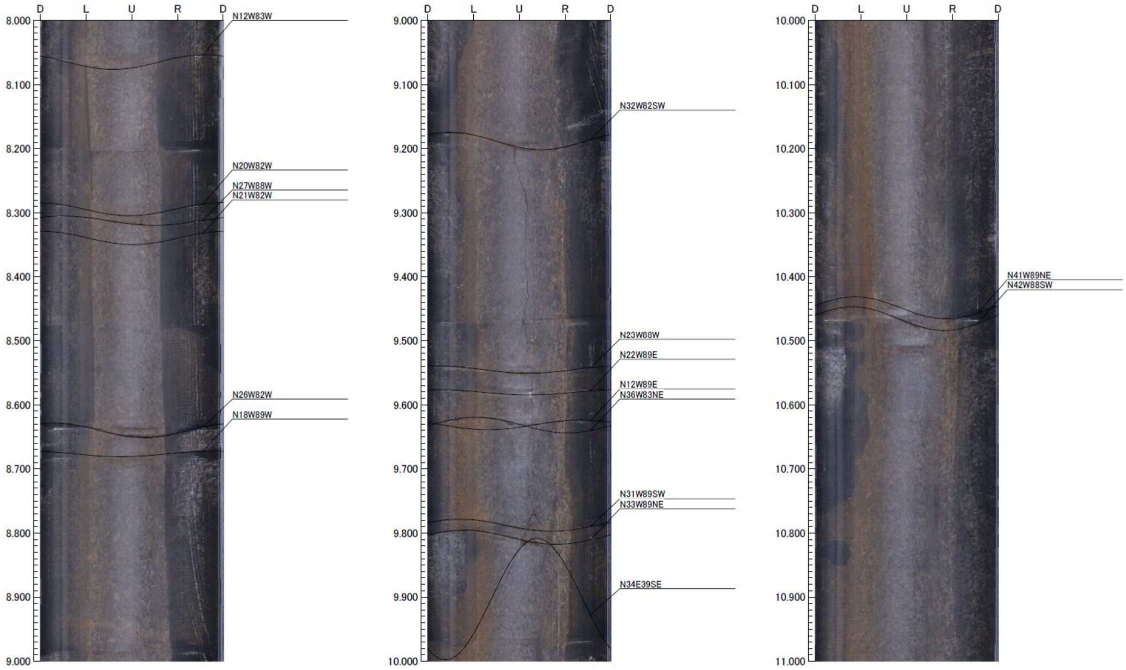


図 3-9 BTV 画像（12MI29 号孔、8m～11m）

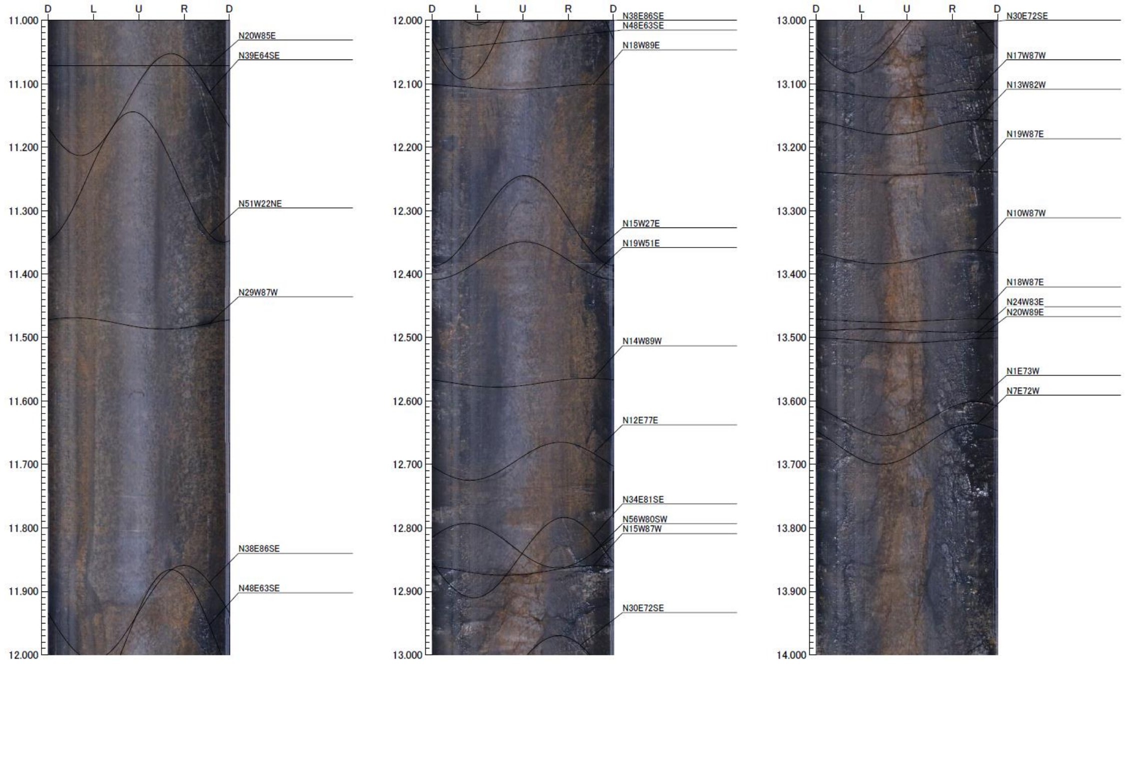


図 3-10 BTV 画像（12MI29 号孔、11m～14m）

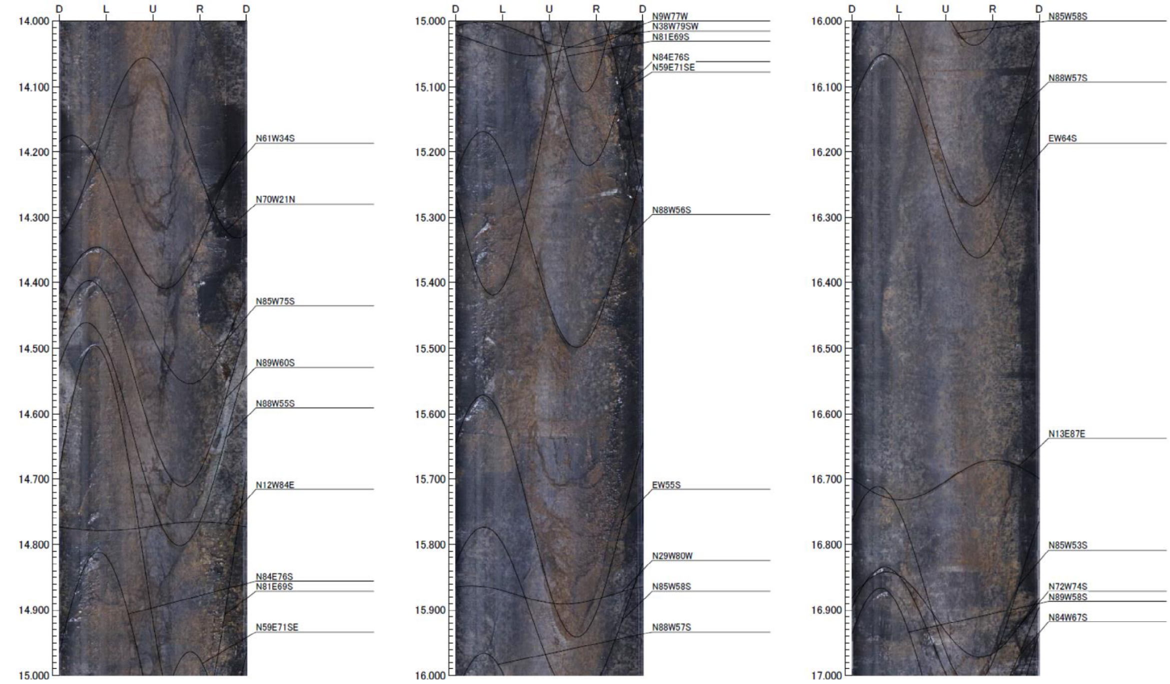


図 3-11 BTV 画像（12MI29 号孔、14m～17m）

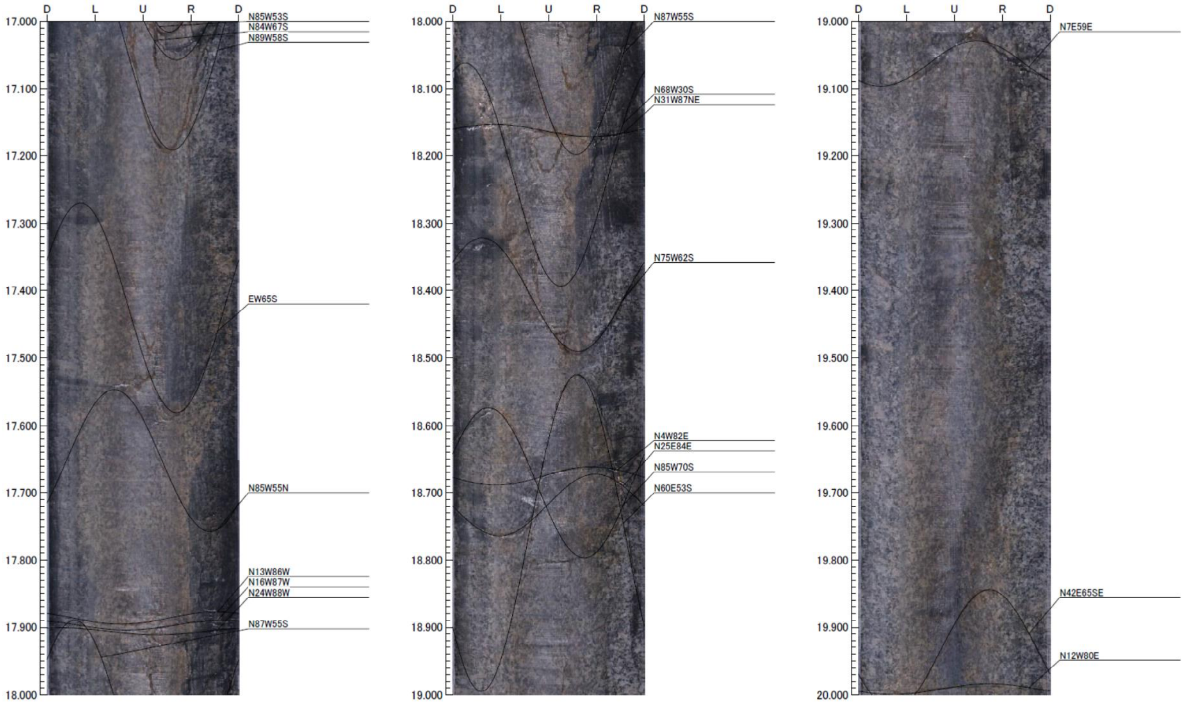


図 3-12 BTV 画像（12MI29 号孔、17m～20m）

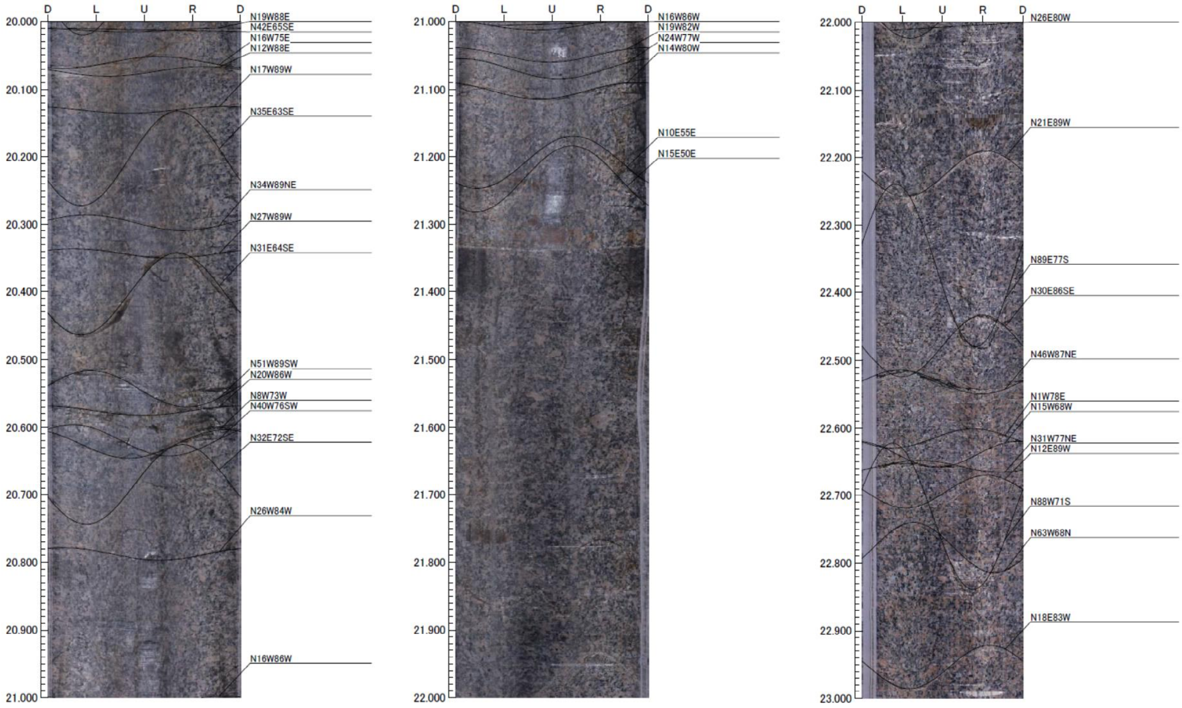


図 3-13 BTV 画像（12MI29 号孔、20m～23m）

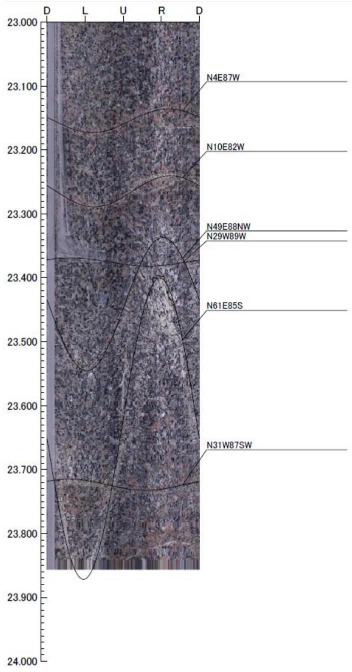
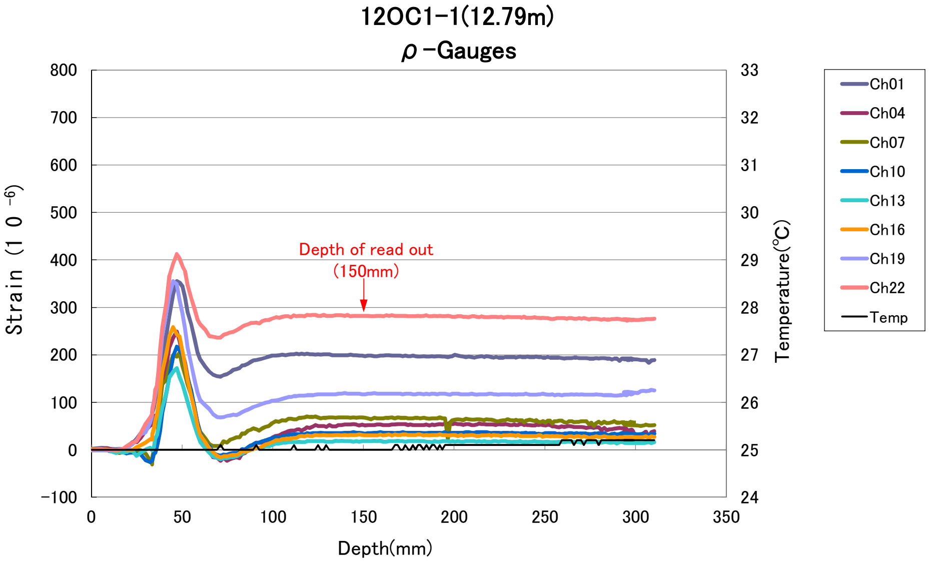
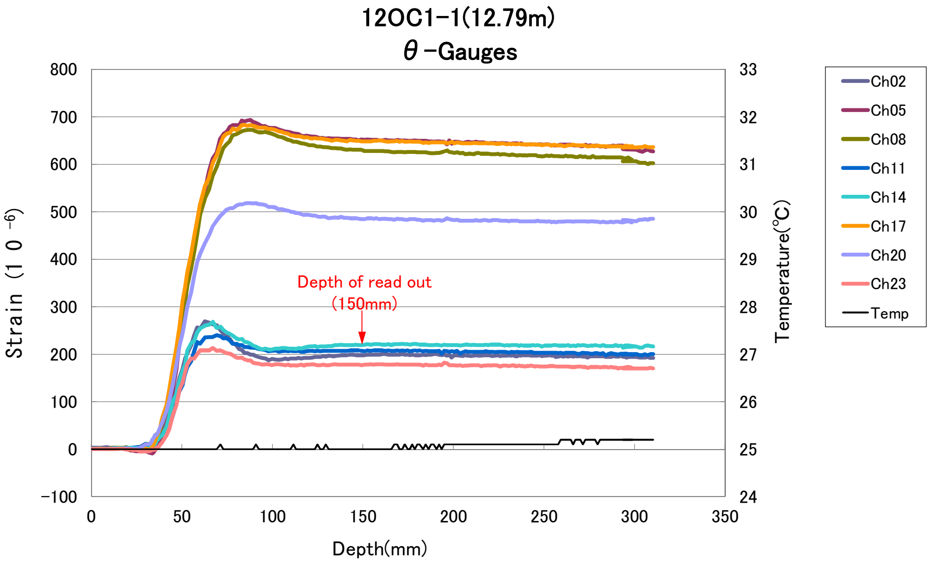


図 3-14 BTV 画像（12MI29 号孔、23m～23.85m）

資料 4 解放ひずみ挙動曲線（オーバーコアリング測定）





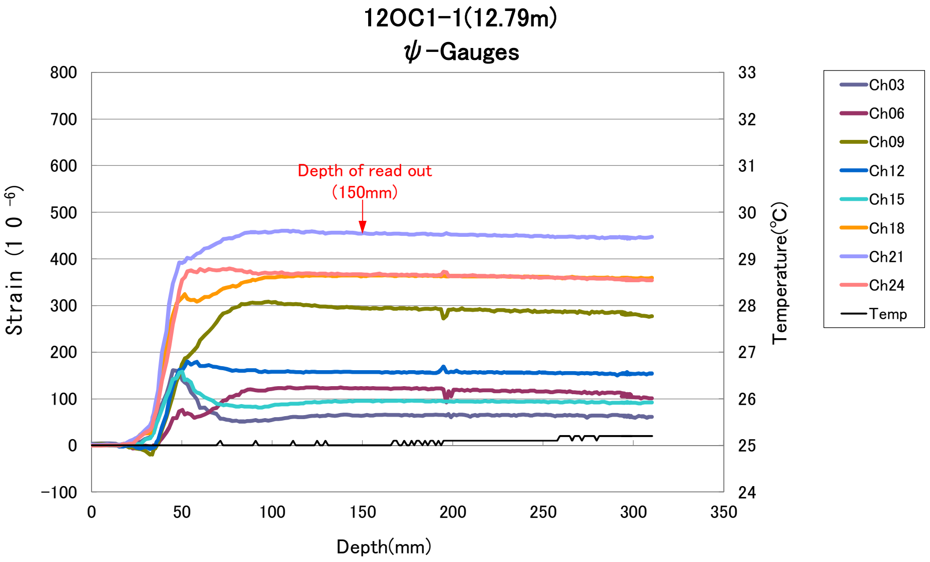
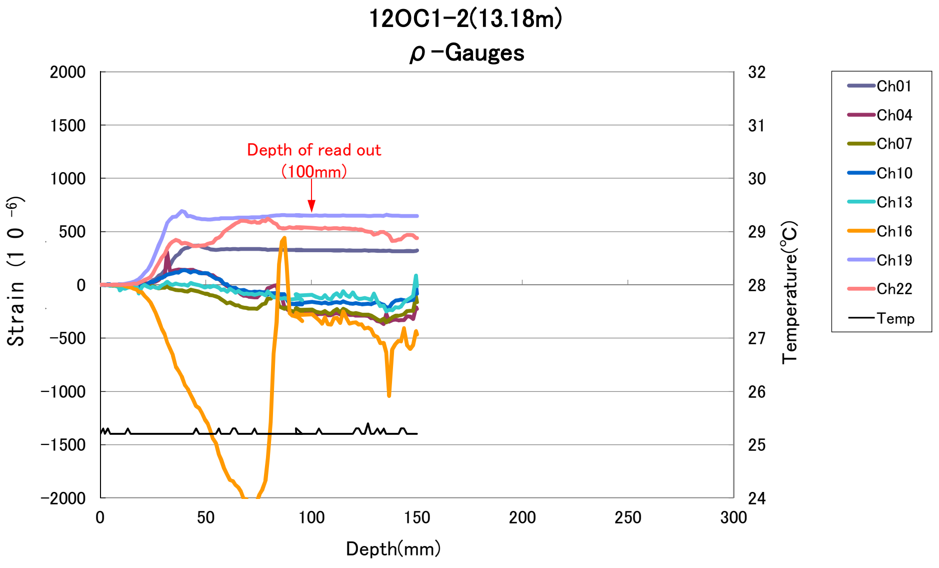
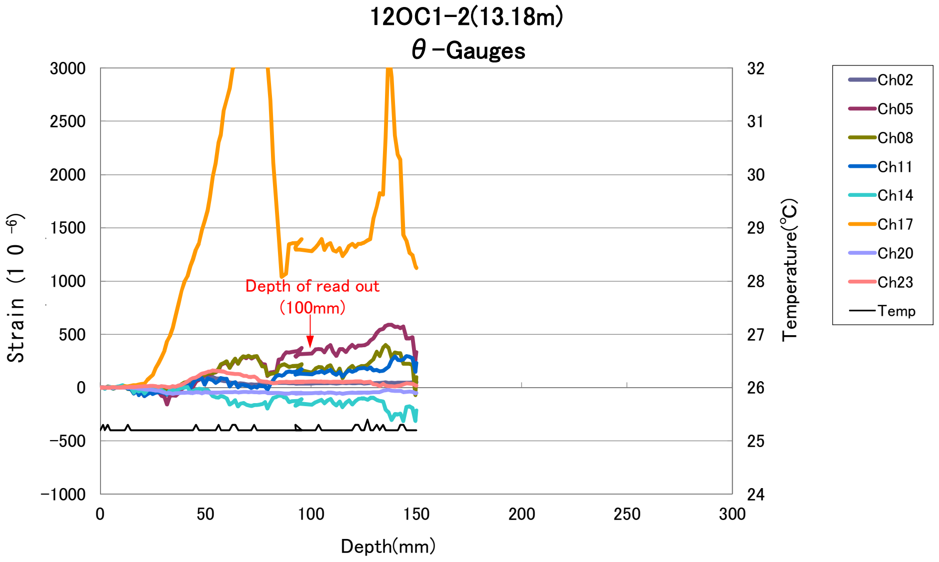


図 4-1 解放ひずみの測定結果（12OC1-1）





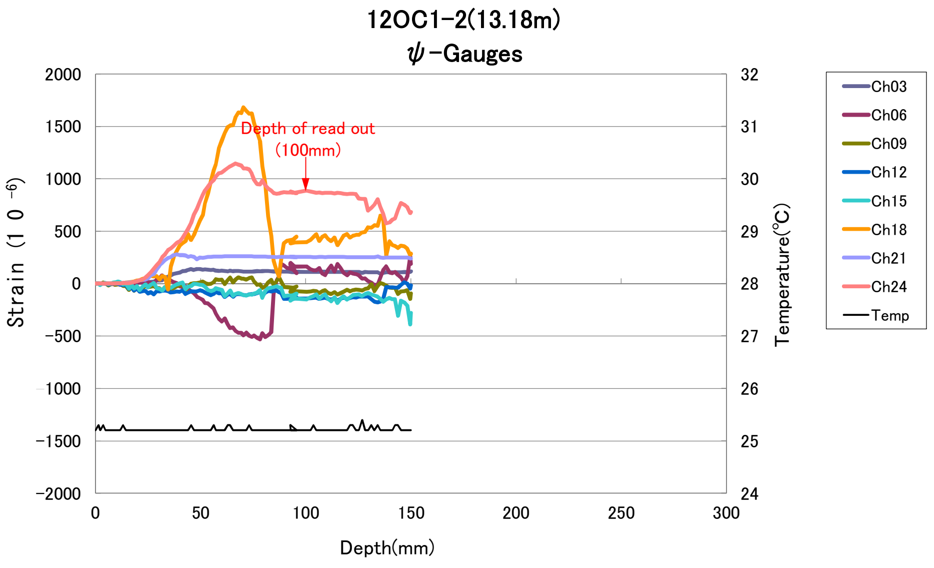
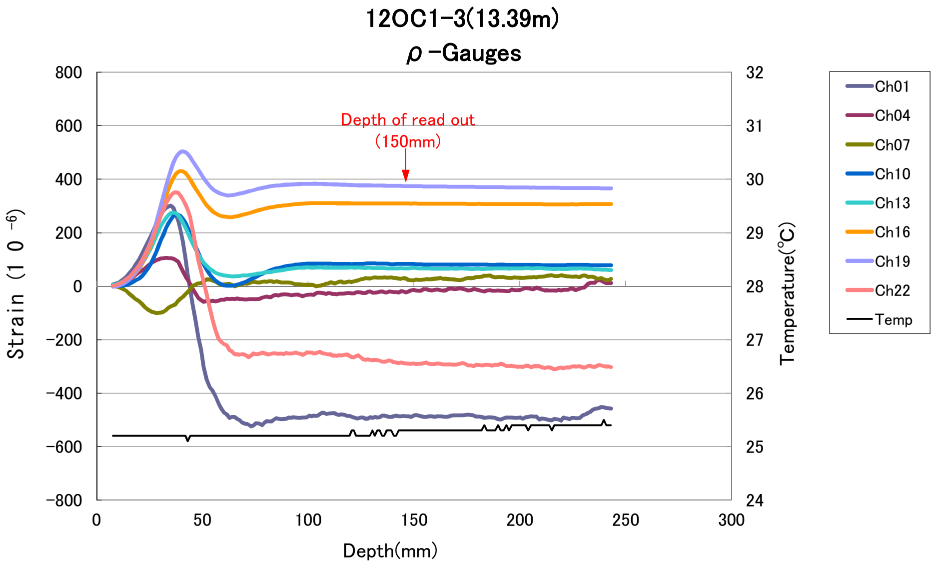
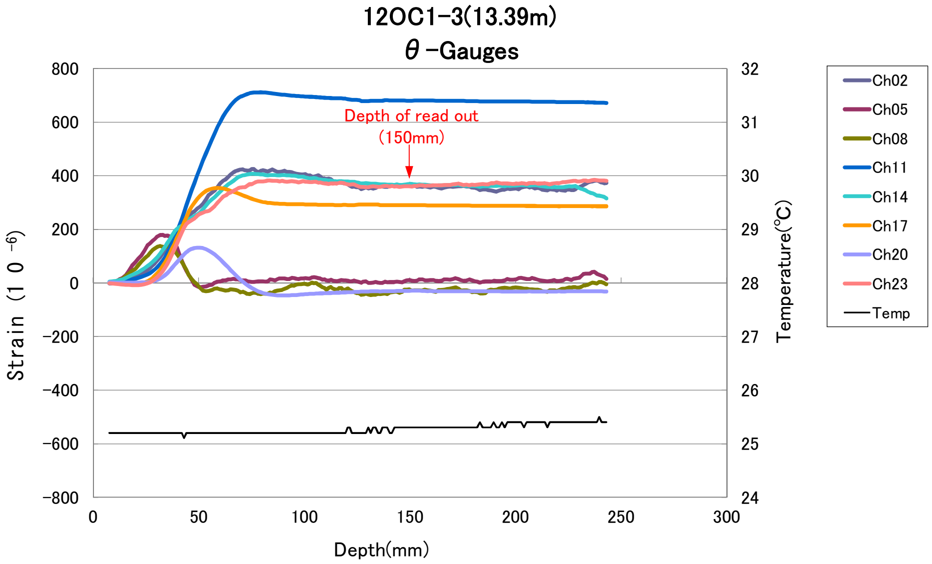


図 4-2 解放ひずみの測定結果（12OC1-2）





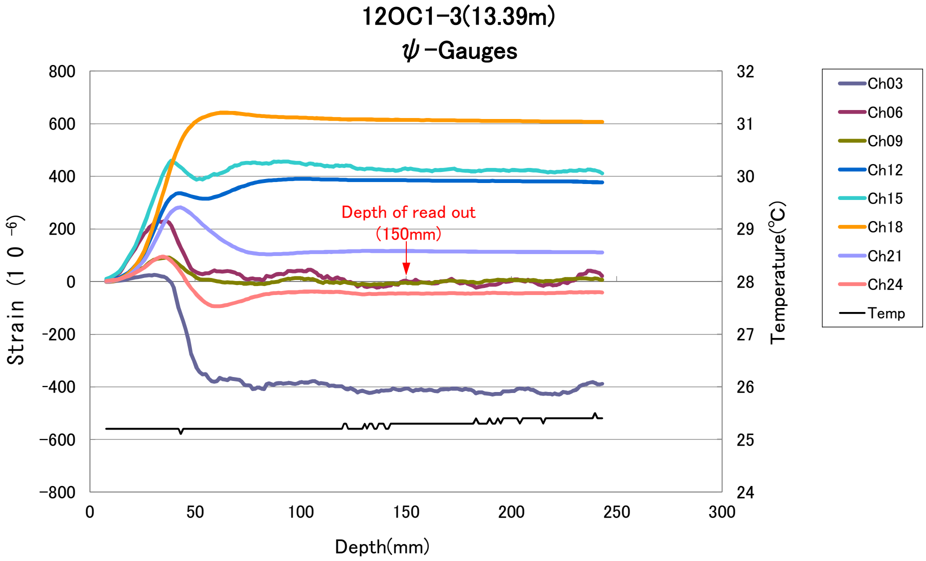


図 4-3 解放ひずみの測定結果（12OC1-3）

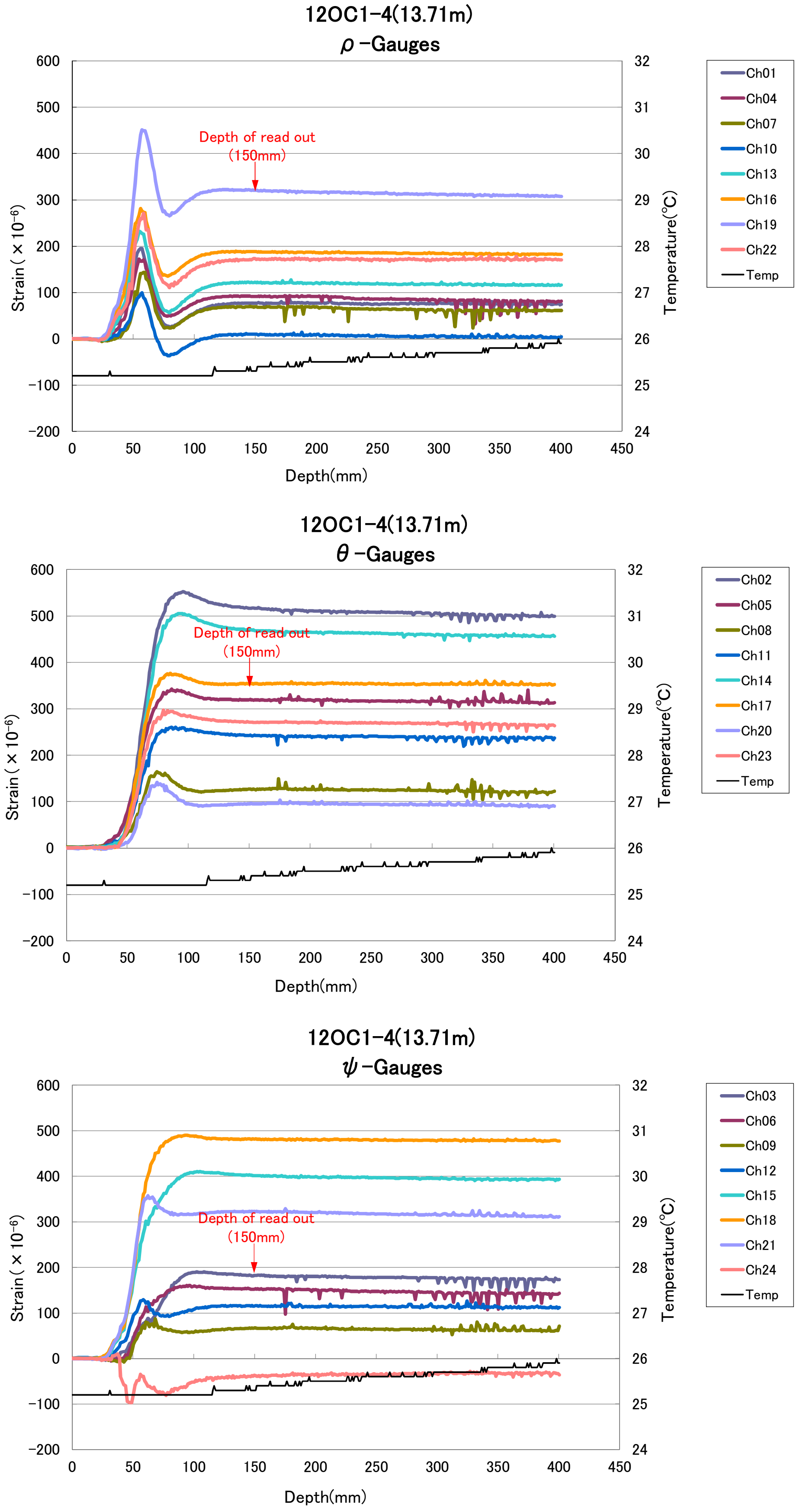
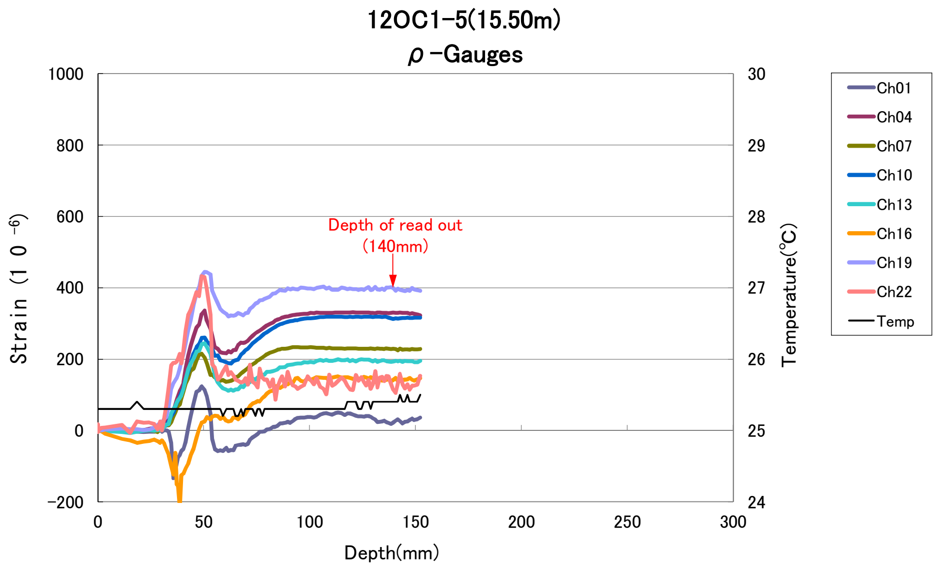
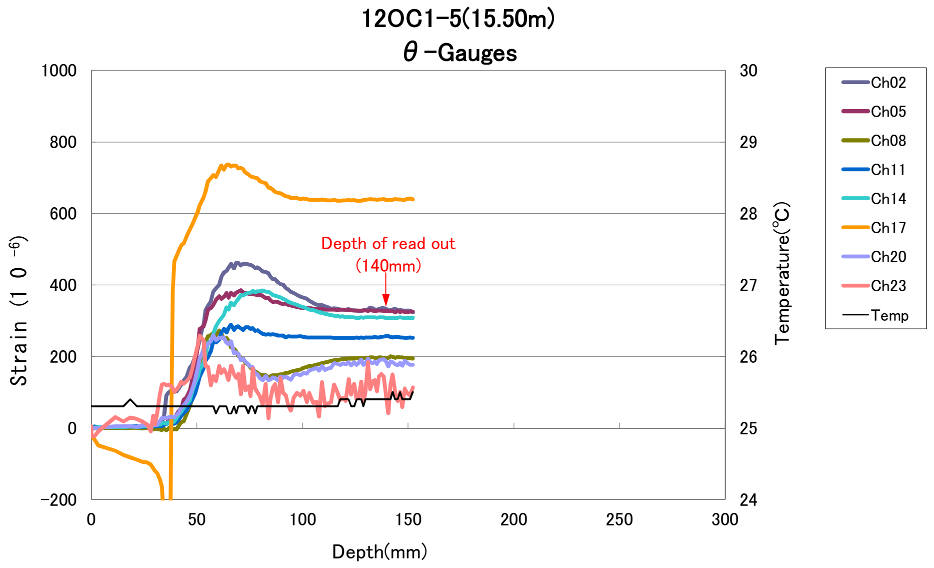


図 4-4 解放ひずみの測定結果（12OC1-4）





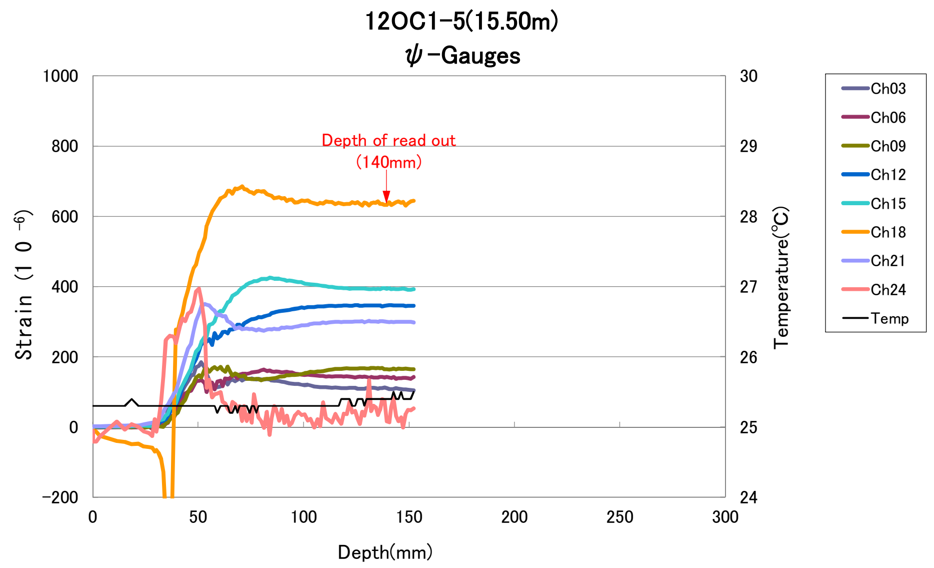
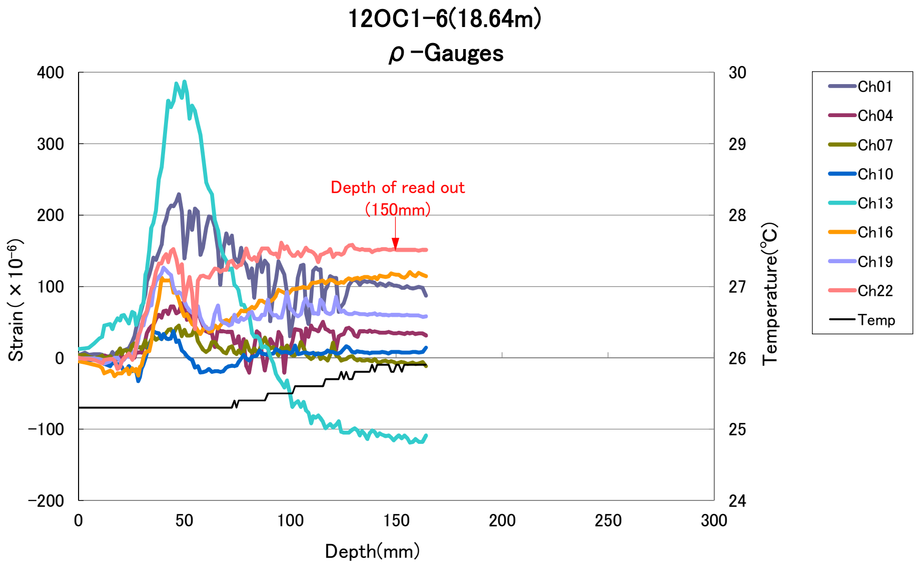
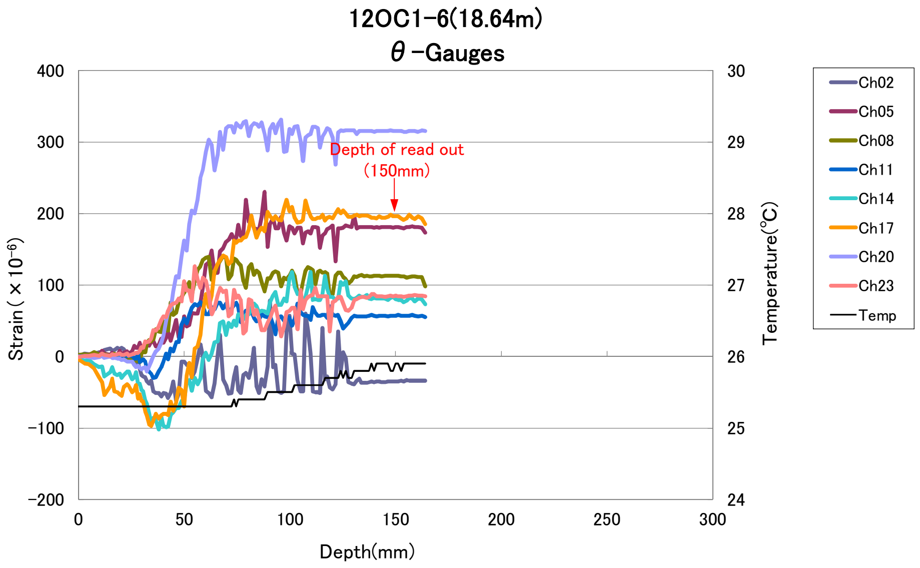


図 4-5 解放ひずみの測定結果（12OC1-5）





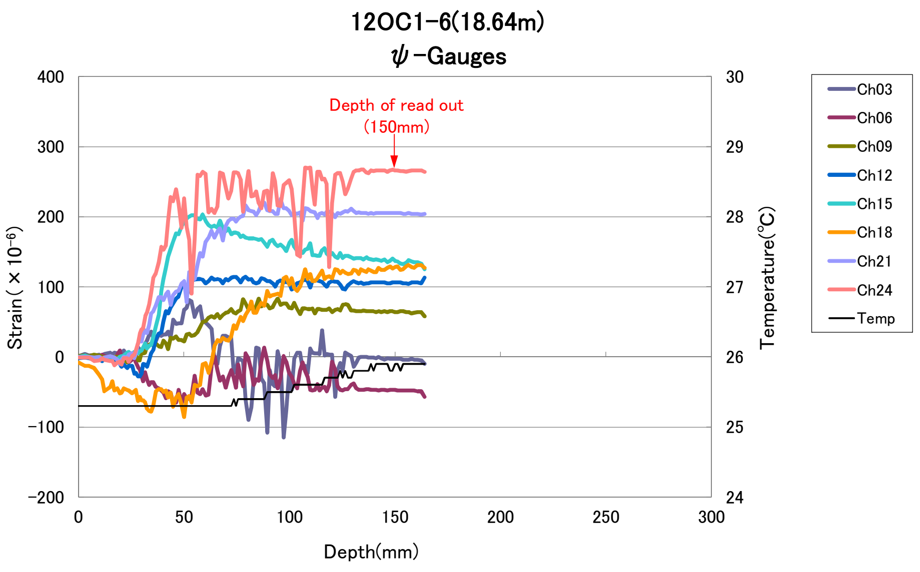


図 4-6 解放ひずみの測定結果（12OC1-6）

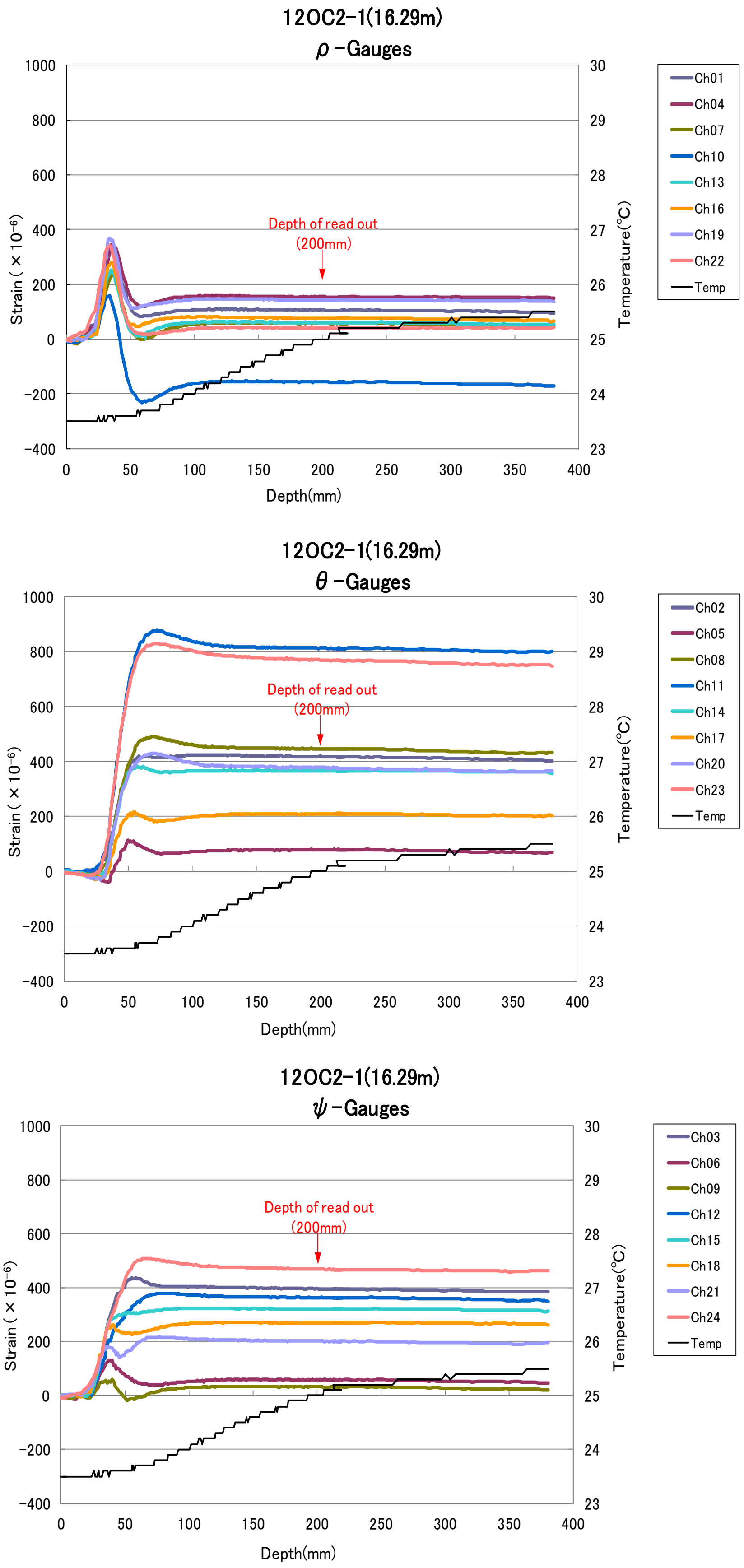
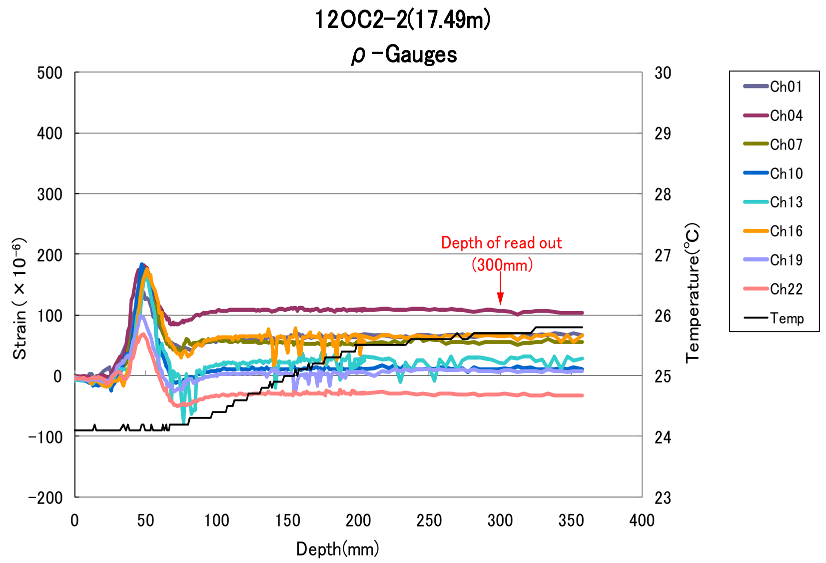
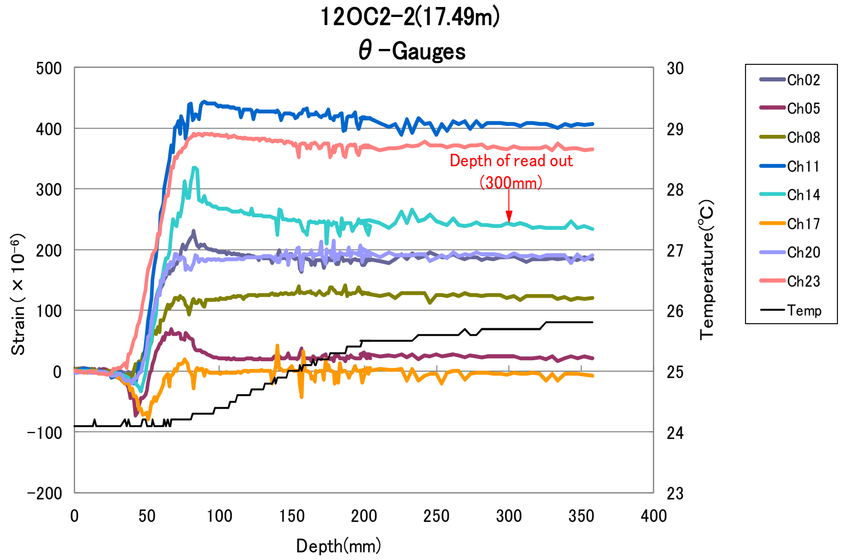


図 4-7 解放ひずみの測定結果（12OC2-1）





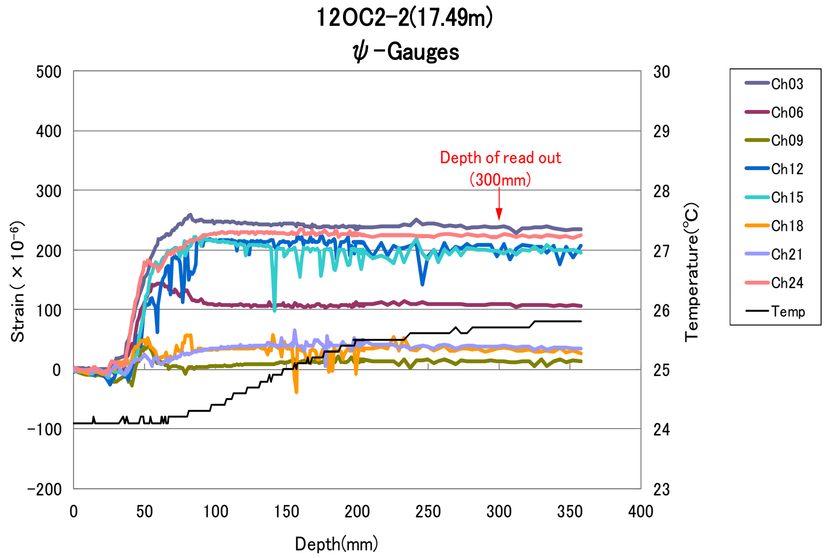


図 4-8 解放ひずみの測定結果（12OC2-2）

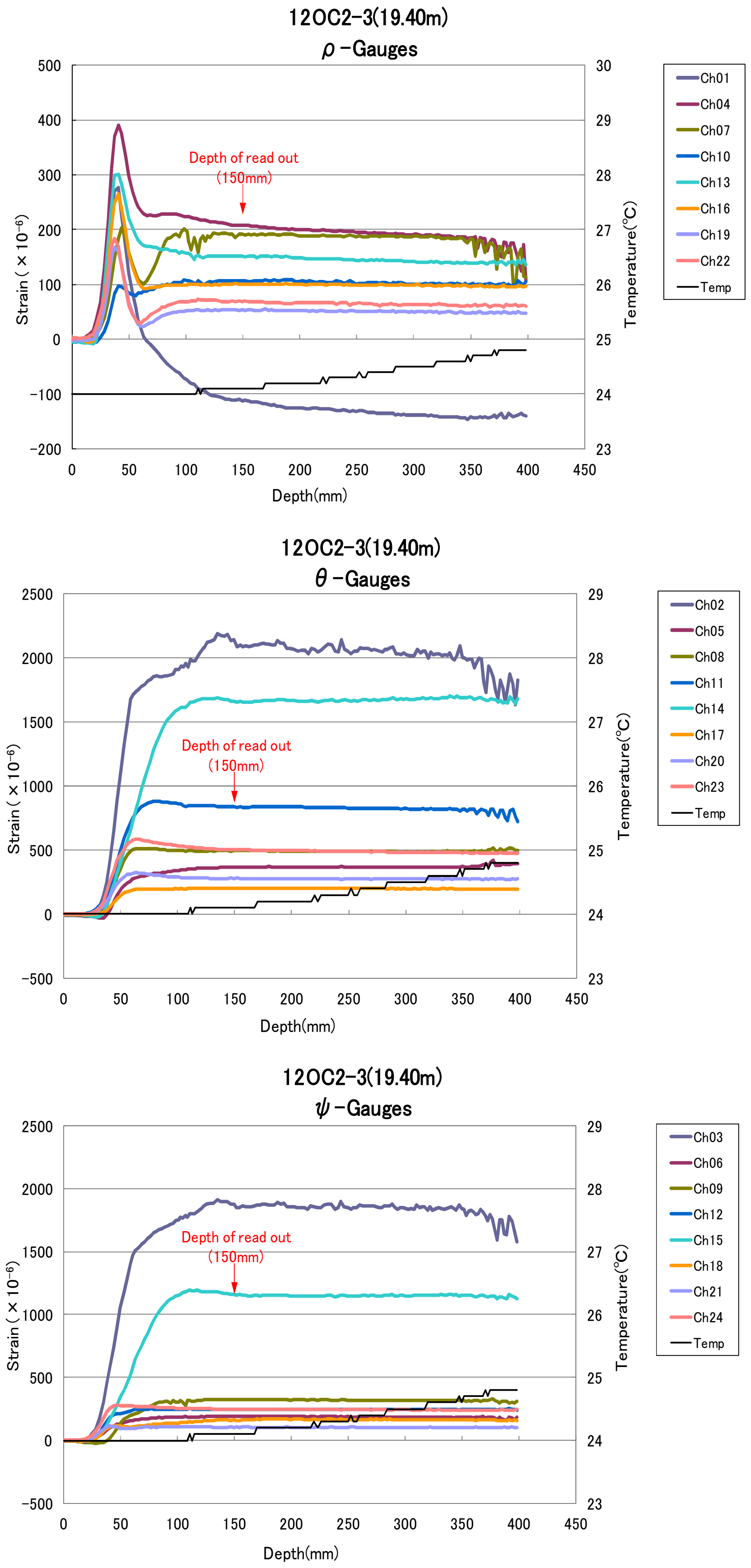


図 4-9 解放ひずみの測定結果（12OC2-3）

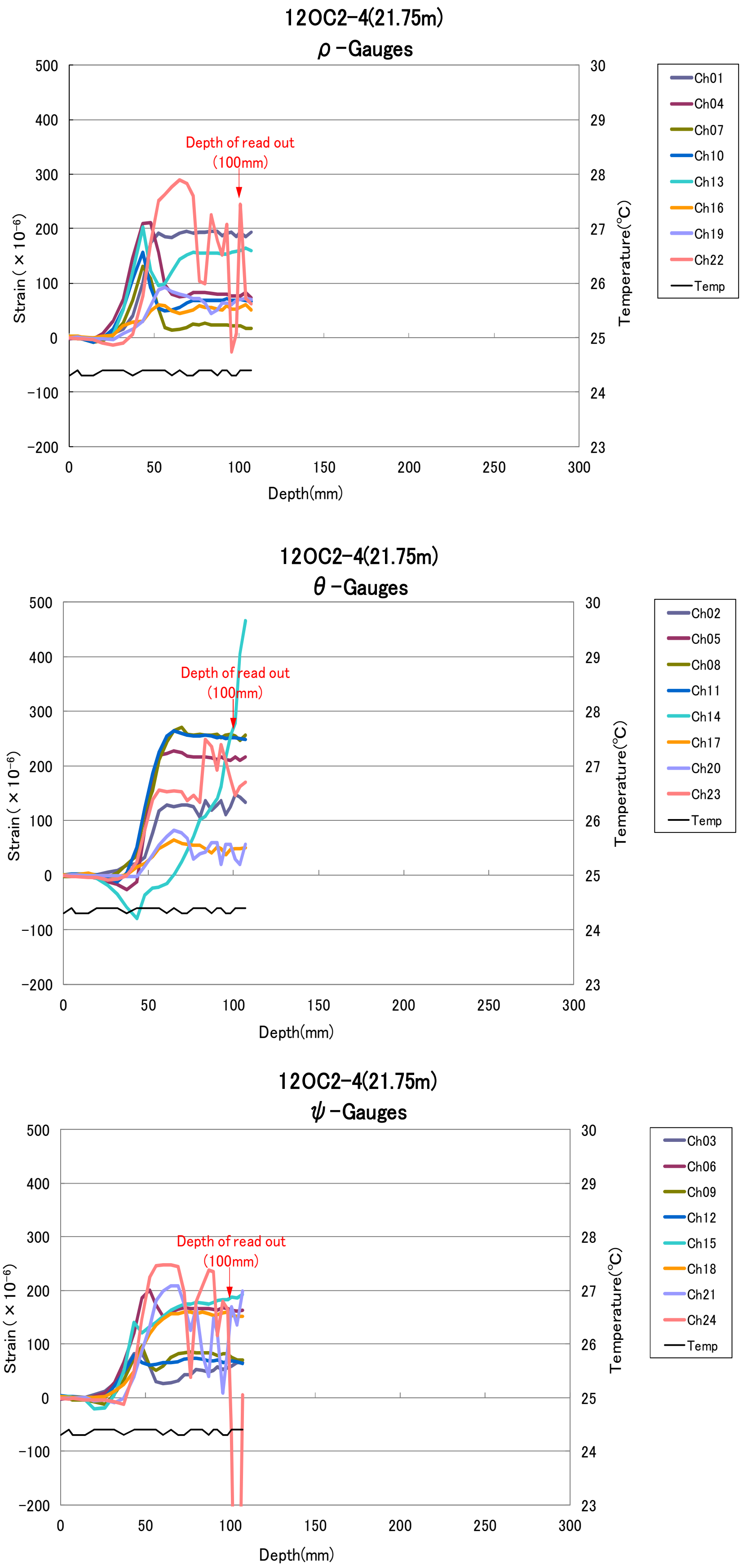
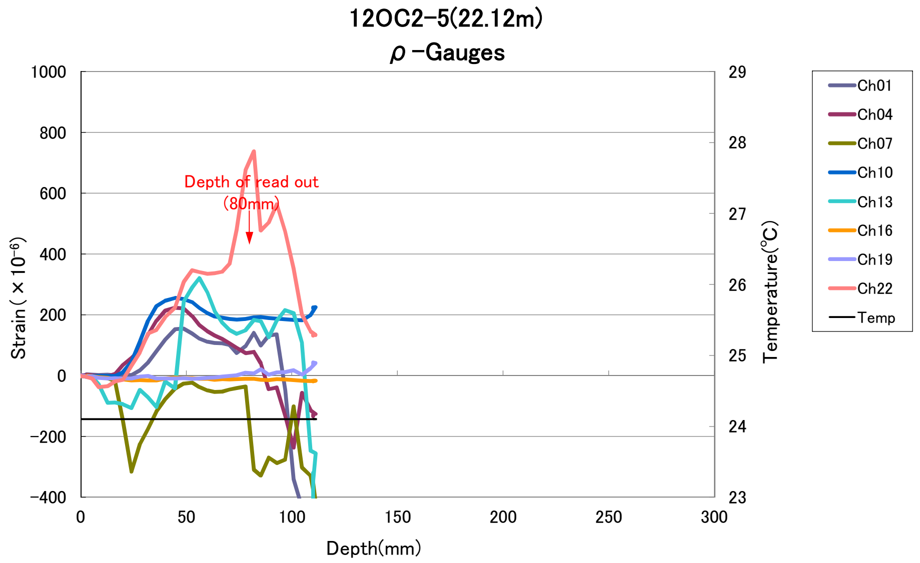
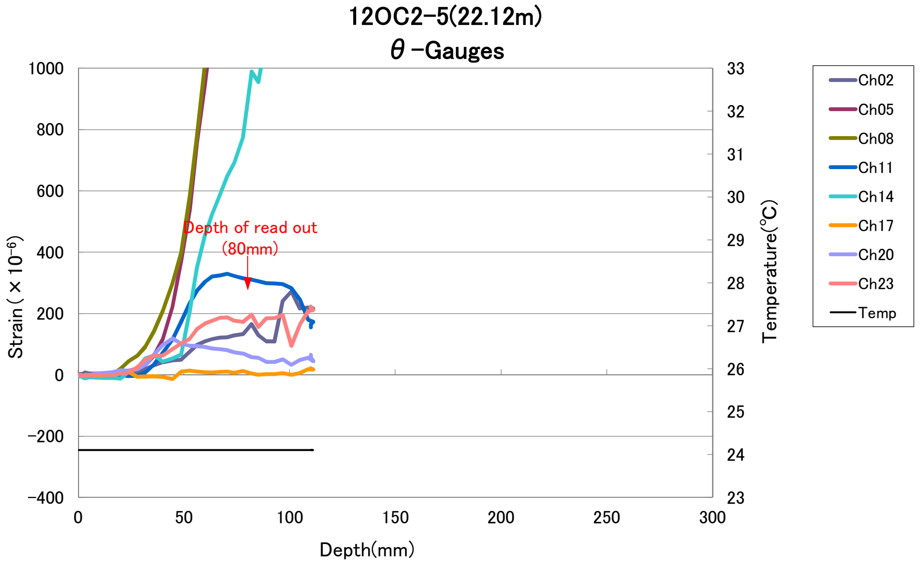


図 4-10 解放ひずみの測定結果（12OC2-4）





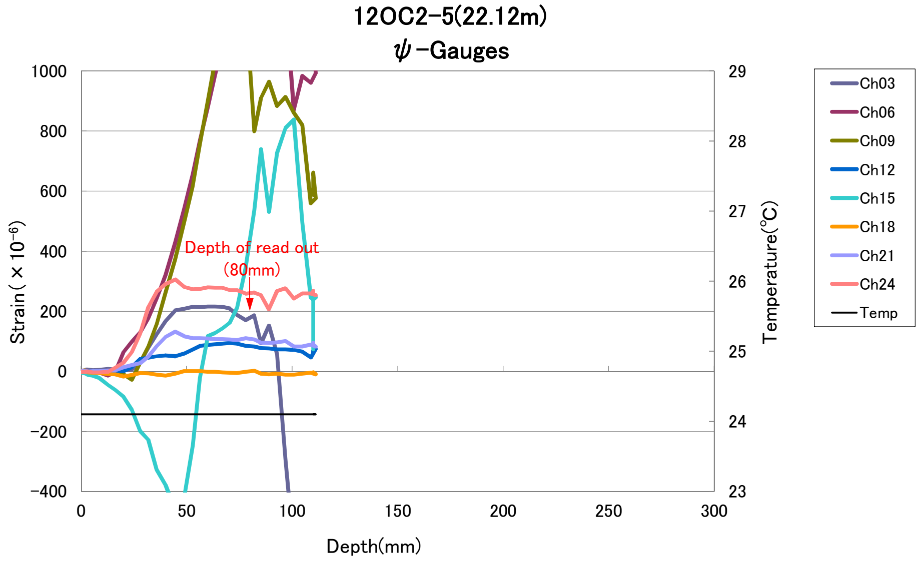
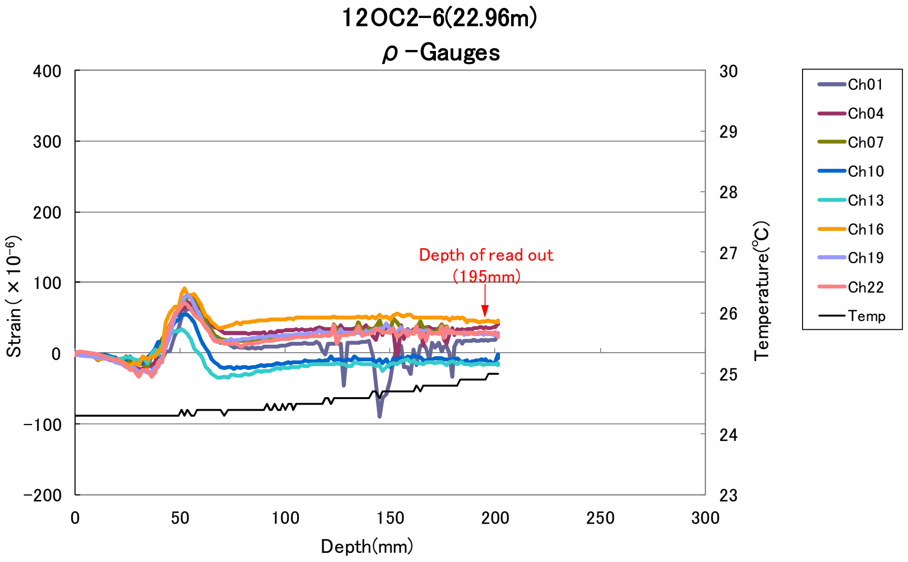
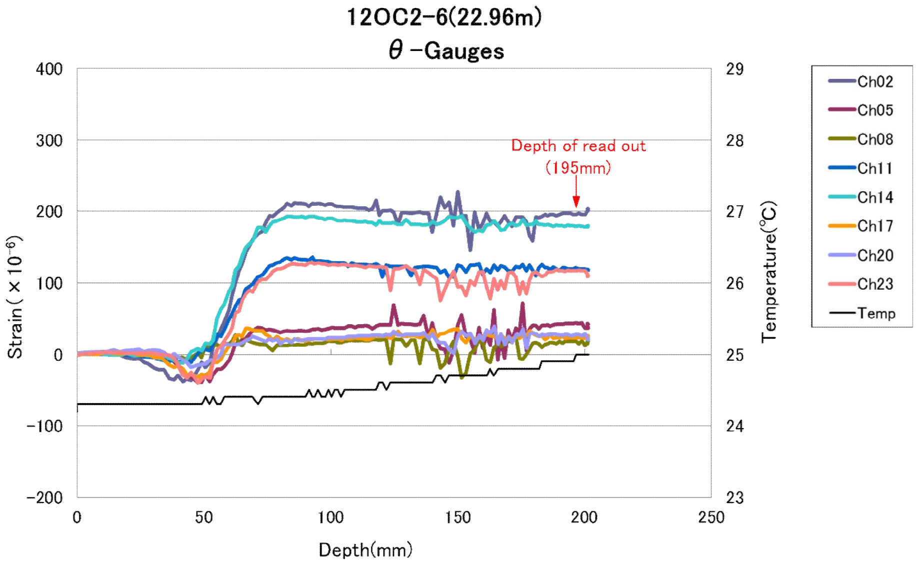


図 4-11 解放ひずみの測定結果（12OC2-5）





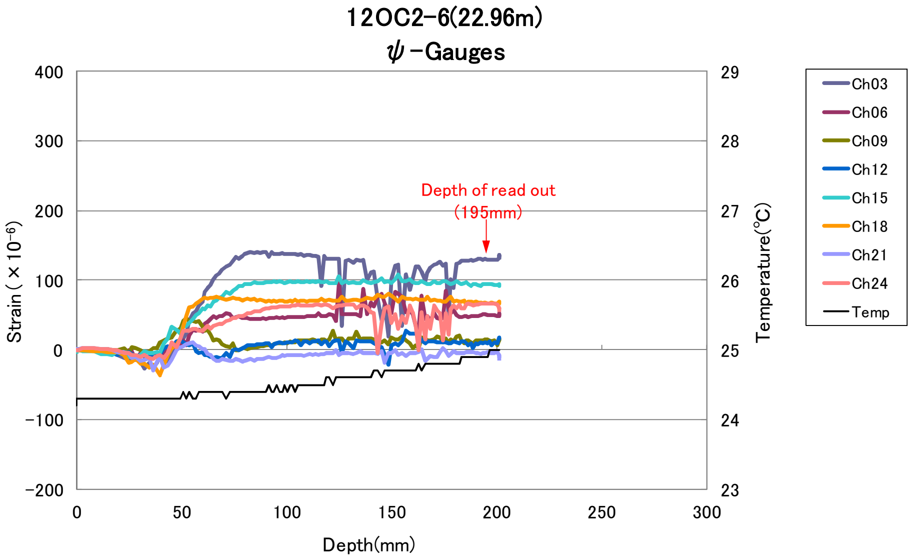


図 4-12 解放ひずみの測定結果（12OC2-6）

資料 5 一軸繰返し試験（供試体）

X 方向

Y 方向

Z 方向

X 方向

採取不能

Y 方向

採取不能

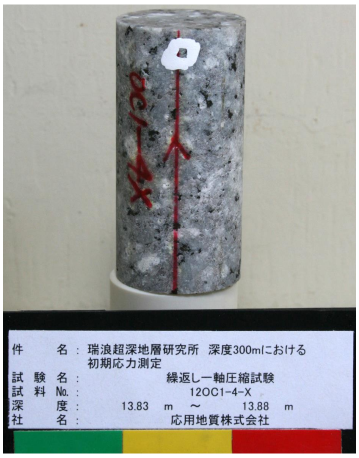
Z 方向

X 方向

Y 方向

Z 方向

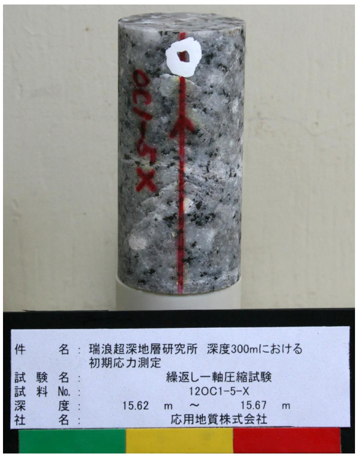
図 5-1 供試体写真（12OC1-1, 2, 3）



X 方向

Y 方向

Z 方向



X 方向

Y 方向

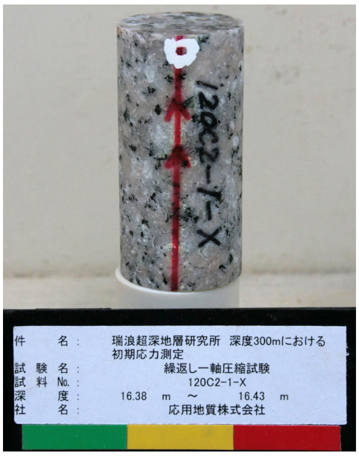
Z 方向

X 方向

Y 方向

Z 方向

図 5-2 供試体写真（12OC1-4, 5, 6）



X 方向

Y 方向

Z 方向

X 方向

Y 方向

Z 方向

X 方向

Y 方向

Z 方向

図 5-3 供試体写真（12OC2-1, 2, 3）

X 方向

採取不能

Y 方向

Z 方向

X 方向

採取不能

Y 方向

採取不能

Z 方向

X 方向

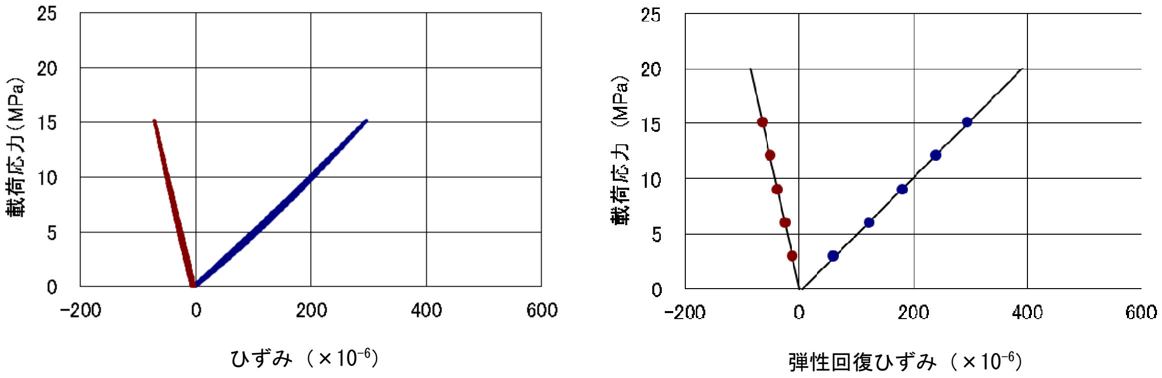
Y 方向

採取不能

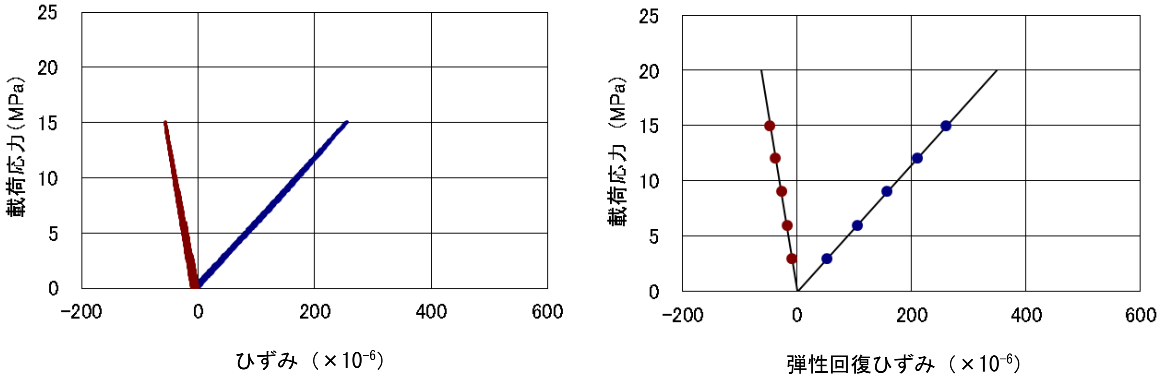
Z 方向

図 5-4 供試体写真（12OC2-4, 5, 6）

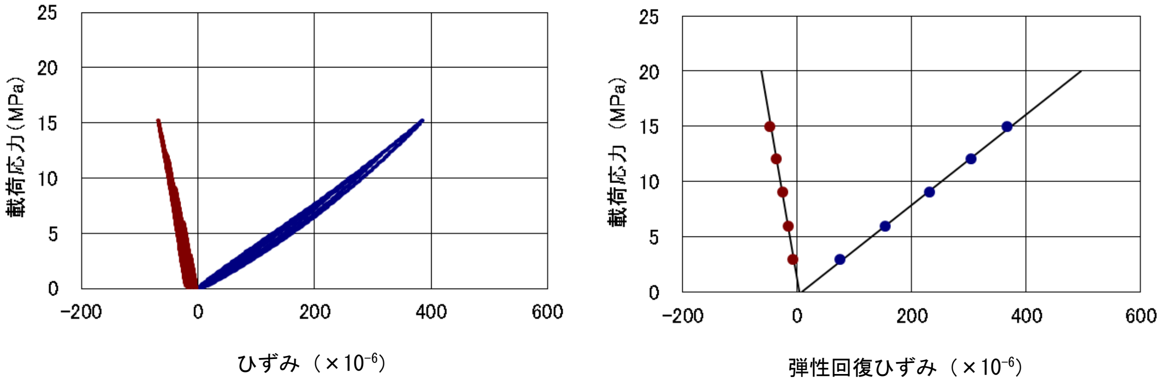
資料 6 一軸繰返し試験（ひずみ挙動）



X 方向

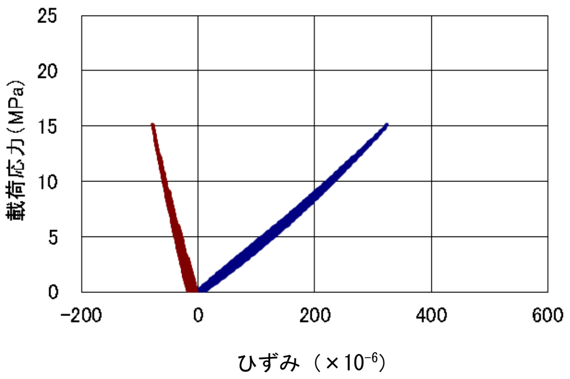


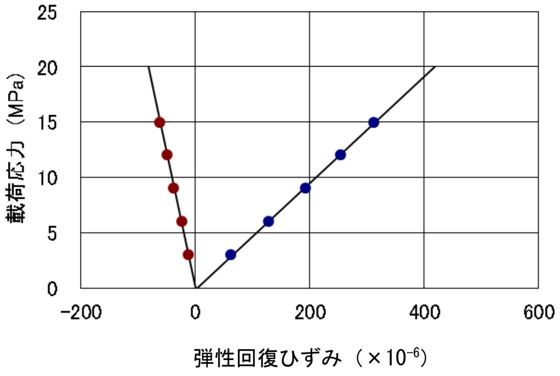
Y 方向



Z 方向

図 6-1 一軸繰返し試験結果（12OC1-1）





X 方向

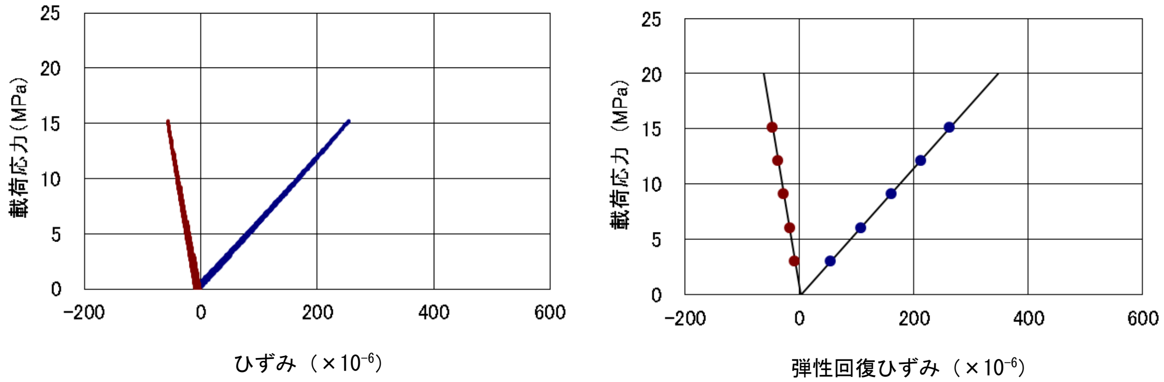
供試体
採取不能
のため
試験データなし

Y 方向

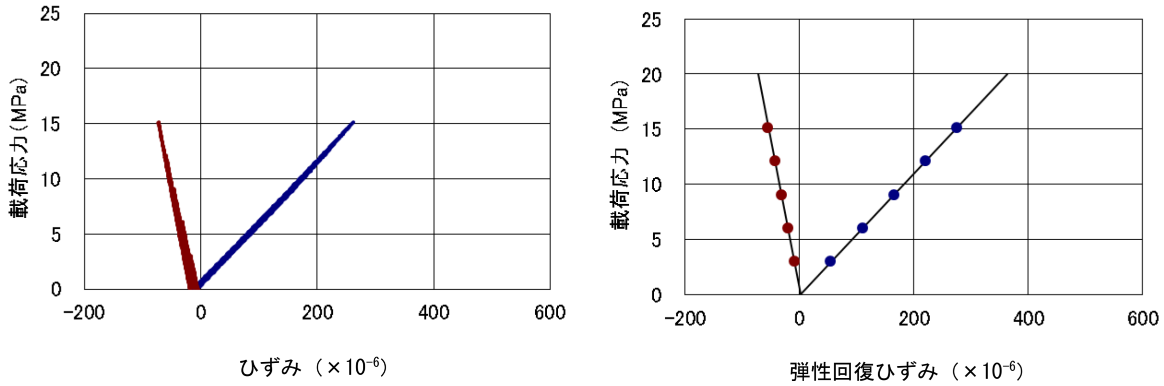
供試体
採取不能
のため
試験データなし

Z 方向

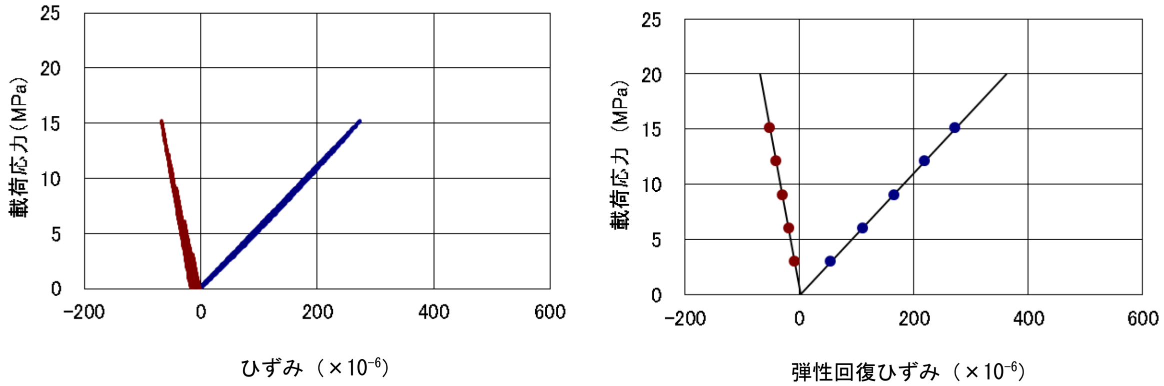
図 6-2 一軸繰返し試験結果（12OC1-2）



X 方向

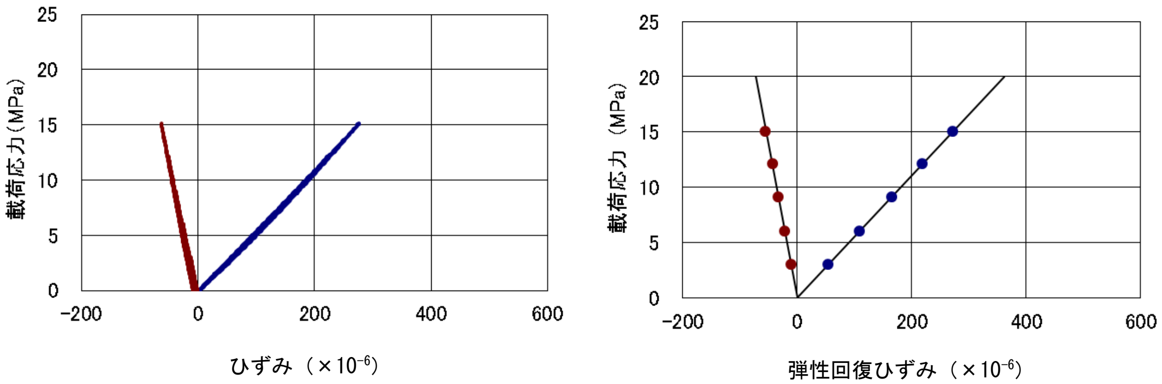


Y 方向

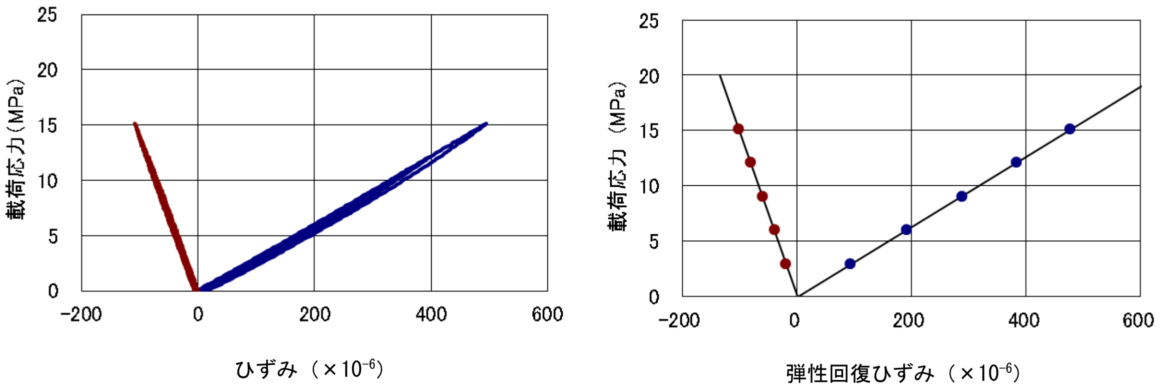


Z 方向

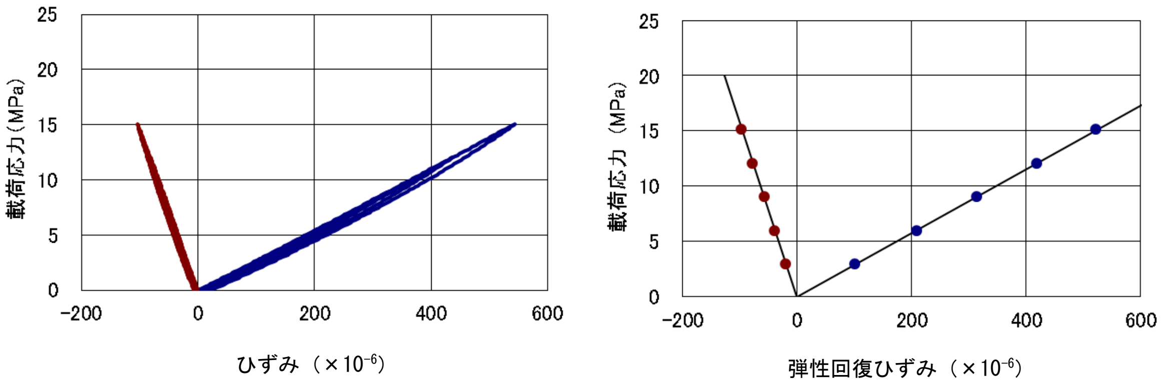
図 6-3 一軸繰返し試験結果（12OC1-3）



X 方向

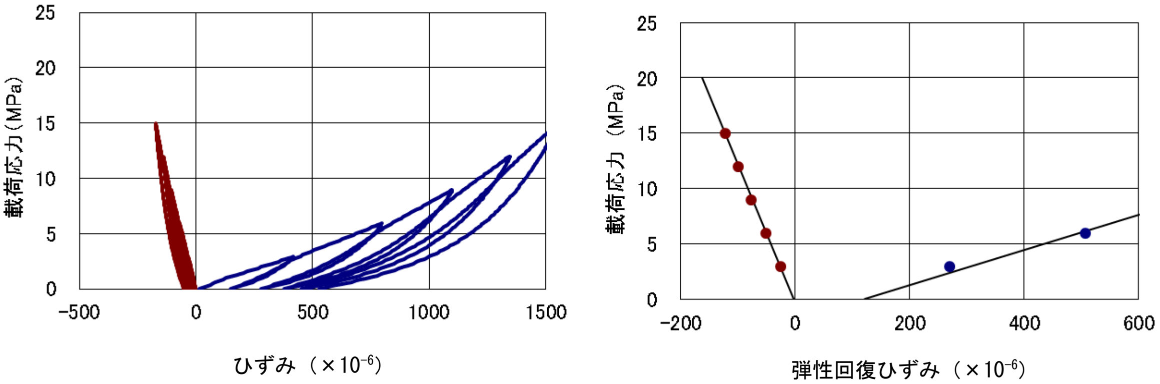


Y 方向

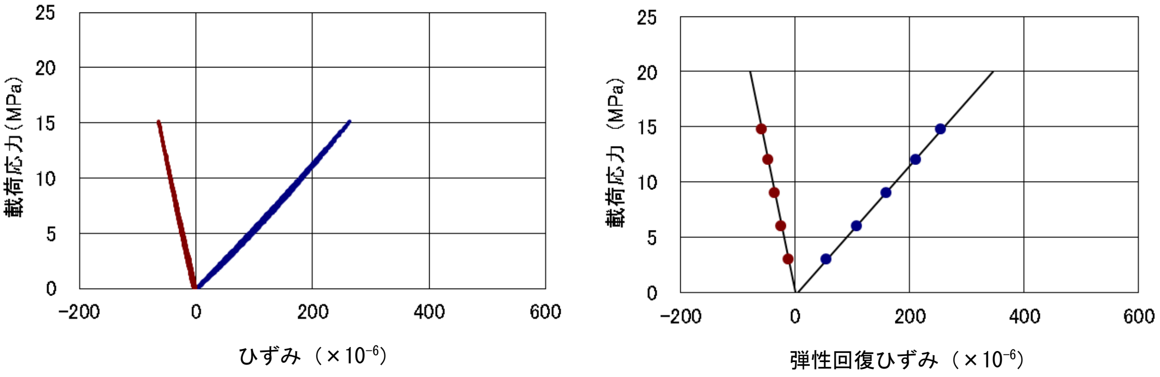


Z 方向

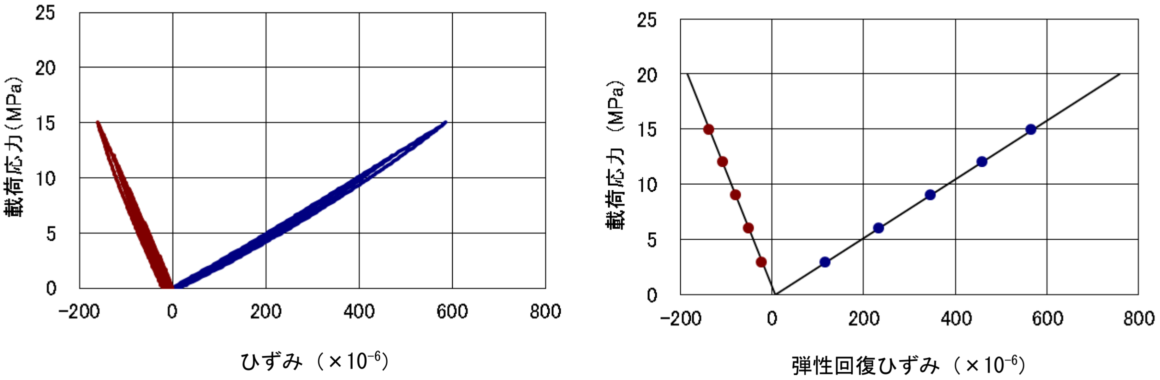
図 6-4 一軸繰返し試験結果（12OC1-4）



X 方向

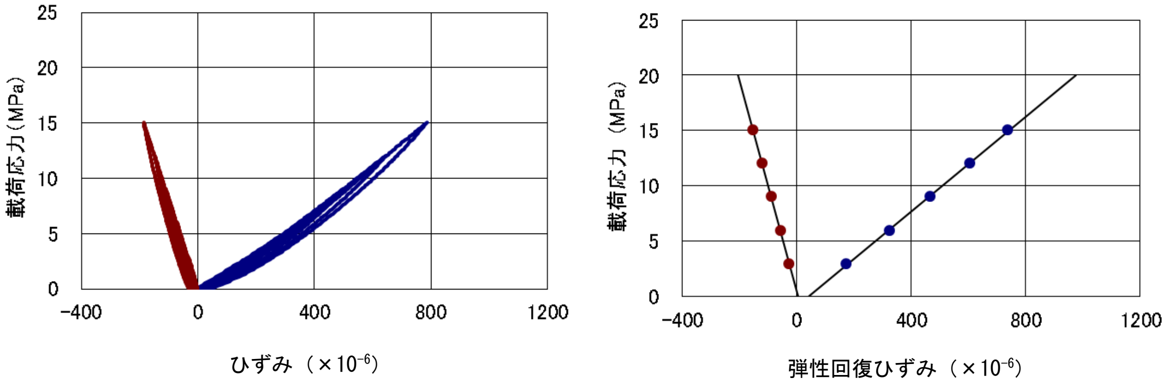


Y 方向

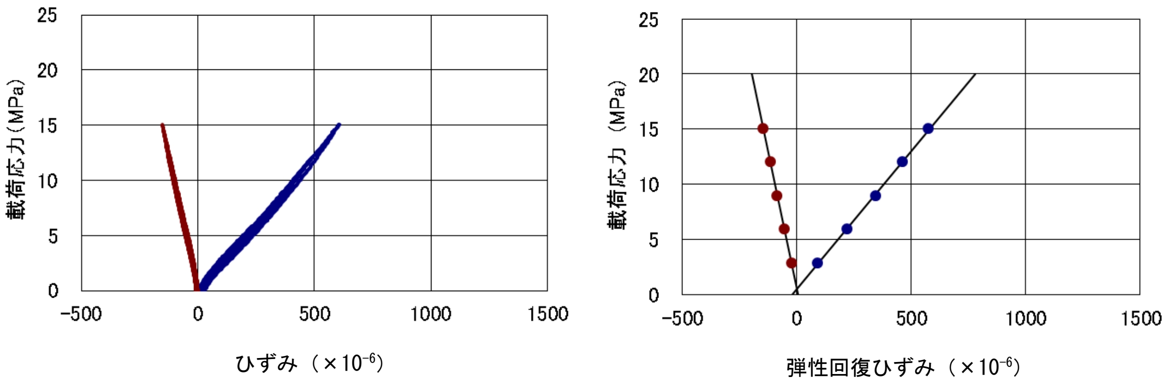


Z 方向

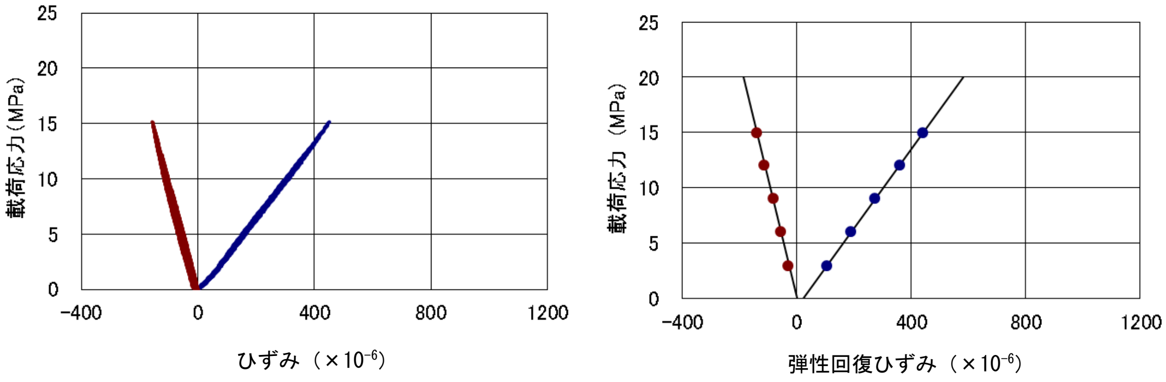
図 6-5 一軸繰返し試験結果（12OC1-5）



X 方向

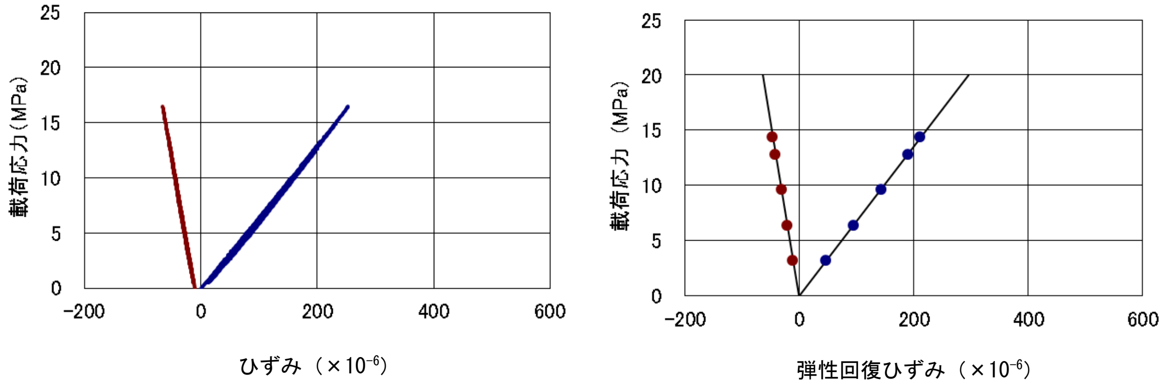


Y 方向

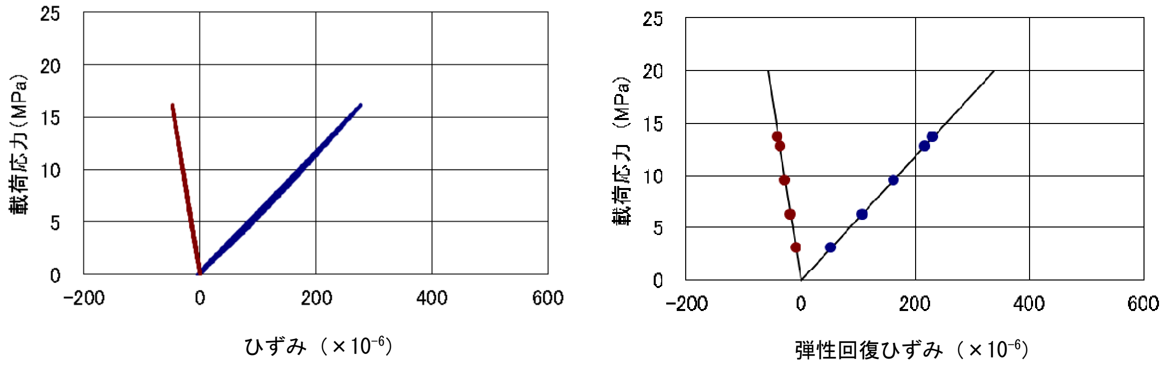


Z 方向

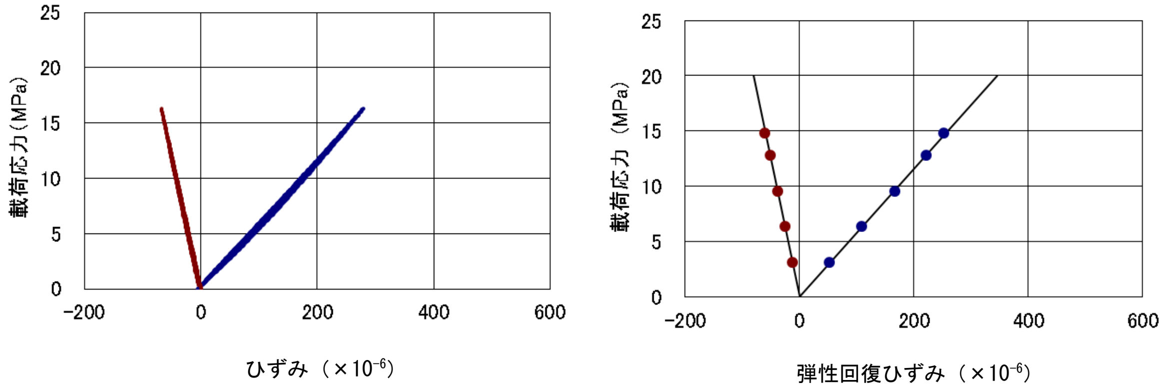
図 6-6 一軸繰返し試験結果（12OC1-6）



X 方向

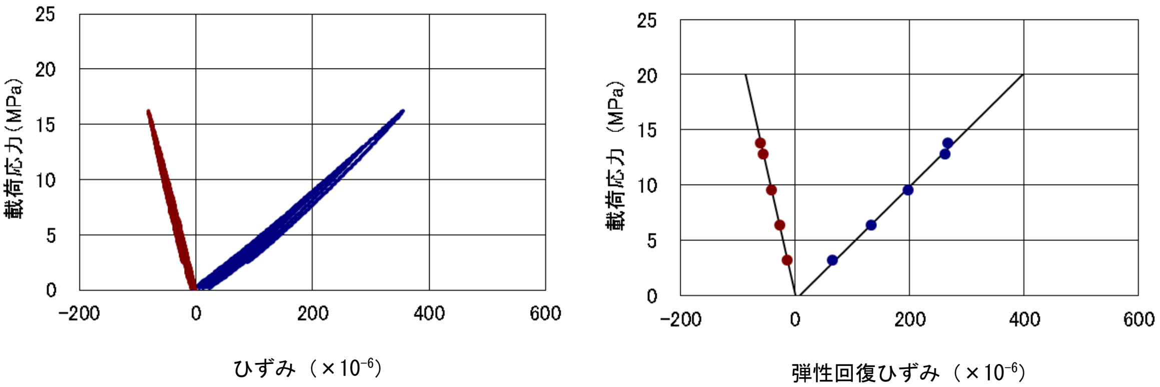


Y 方向

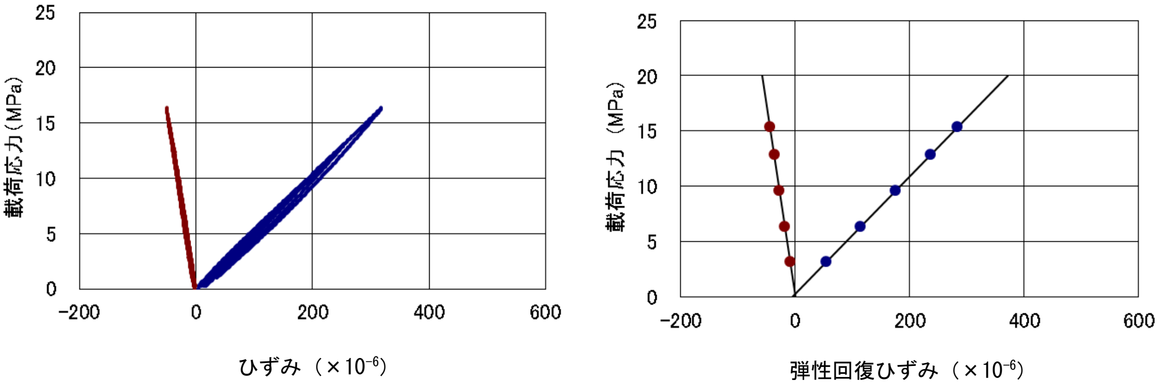


Z 方向

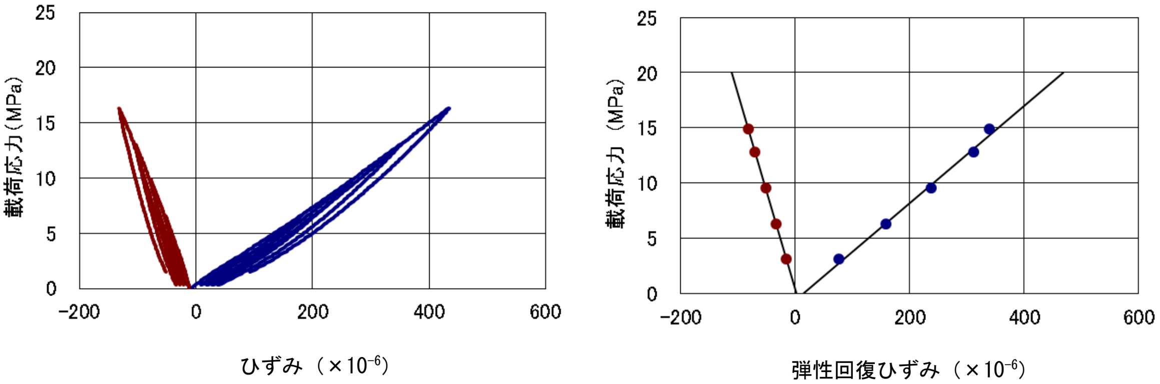
図 6-7 一軸繰返し試験結果（12OC2-1）



X 方向

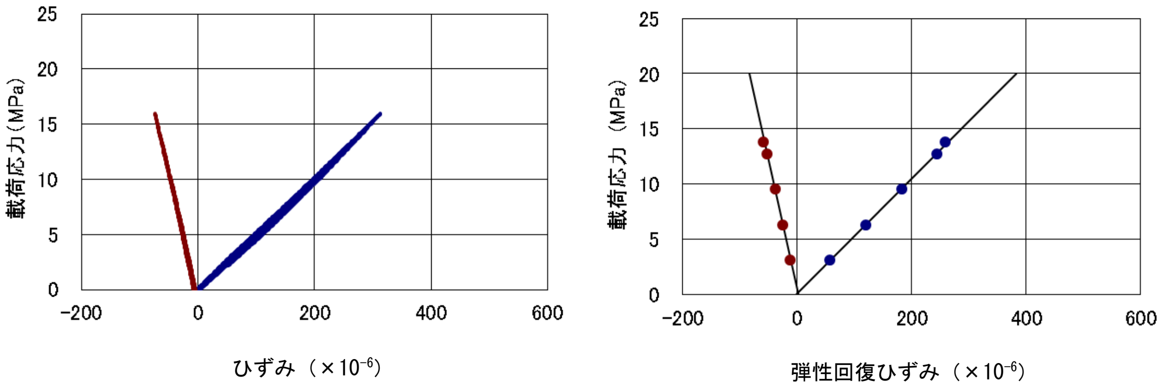


Y 方向

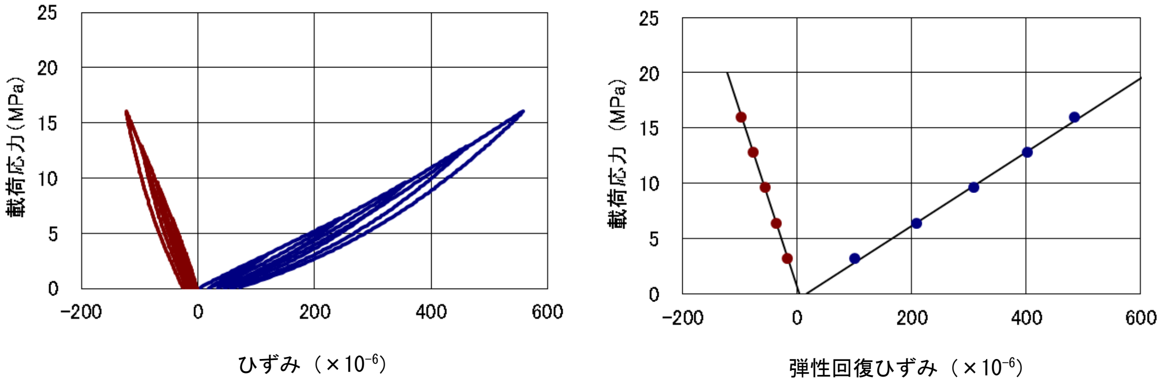


Z 方向

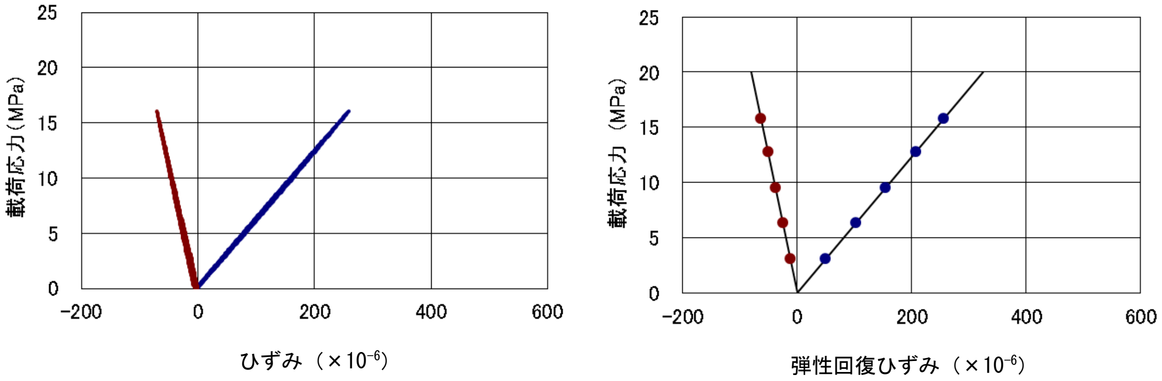
図 6-8 一軸繰返し試験結果（12OC2-2）



X 方向

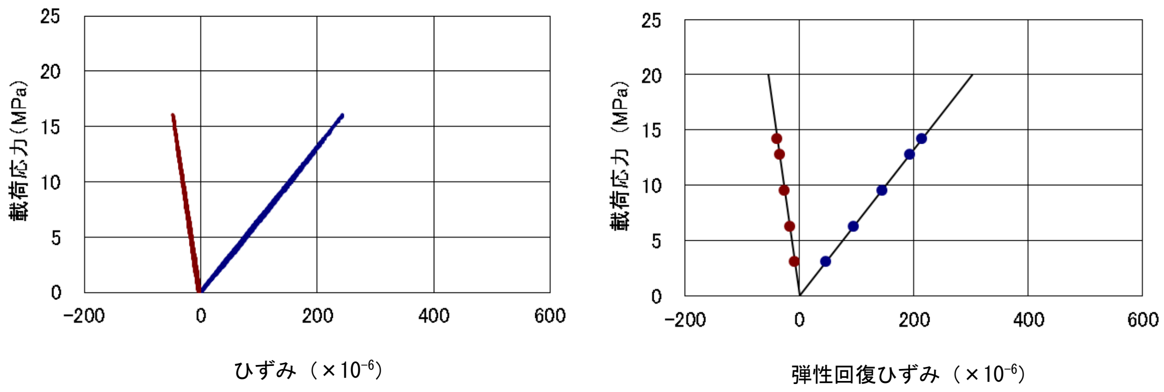


Y 方向



Z 方向

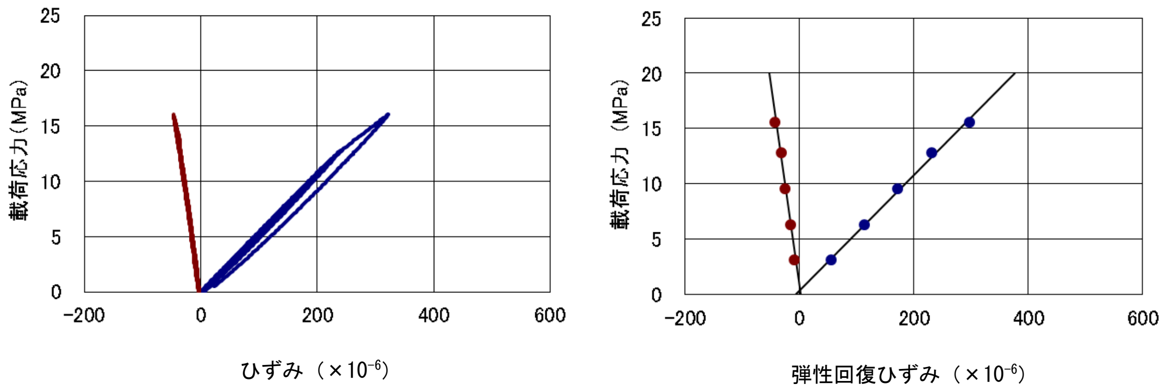
図 6-9 一軸繰返し試験結果（12OC2-3）



X 方向

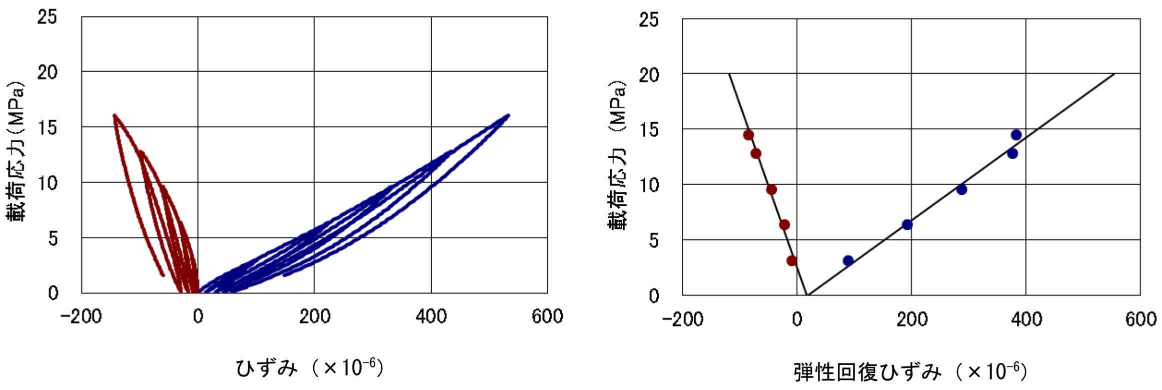
供試体
採取不能
のため
試験データなし

Y 方向



Z 方向

図 6-10 一軸繰返し試験結果（12OC2-4）



X 方向

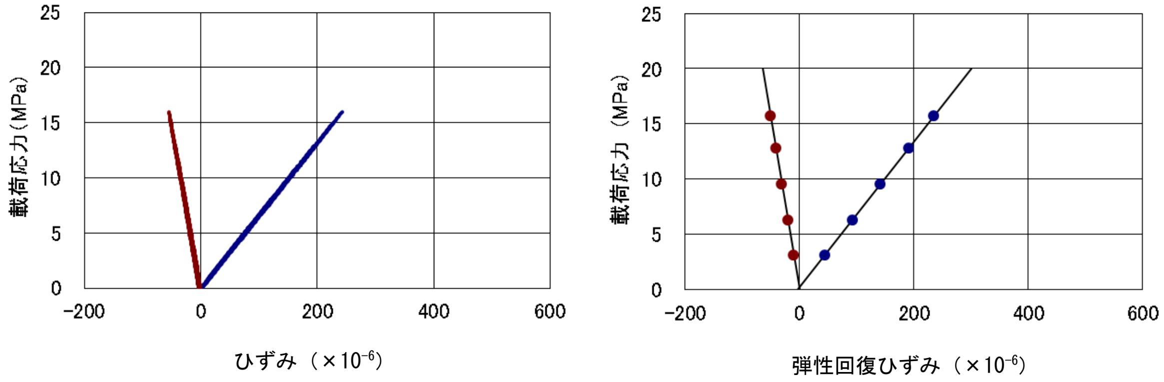
供試体
採取不能
のため
試験データなし

Y 方向

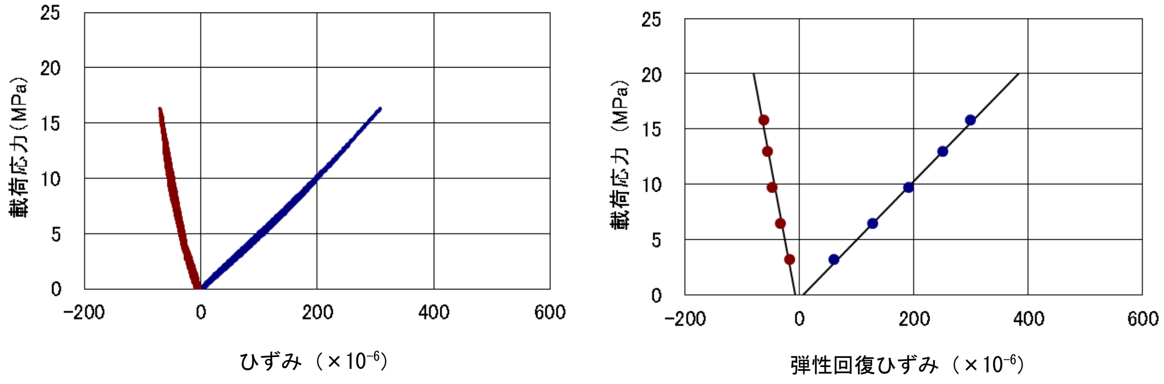
供試体
採取不能
のため
試験データなし

Z 方向

図 6-11 一軸繰返し試験結果（12OC2-5）



X 方向



Y 方向

供試体
採取不能
のため
試験データなし

Z 方向

図 6-12 一軸繰返し試験結果（12OC2-6）

資料７ 初期応力解析結果（測定点別）（６応力成分の平均、全ひずみの最小二乗）

12OC1-1

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

方位座標系

プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI28
測定№	12OC1-1
測定日	2012年6月26日
測定深度	12.790 m
岩石のヤング率	50,200 MPa
岩石のポアソン比	0.18
ゲージ回転角	179°
削孔角度	上向き 5°
孔口方向とNの角度	15.2°（N軸から左回りを正とする）

解放ひずみ一覧

ρゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	θゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	φゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み
1	198×10^{-6} (---)	0	2	198×10^{-6} (-17)	1	3	64×10^{-6} (13)	1
4	52×10^{-6} (-25)	1	5	651×10^{-6} (3)	1	6	122×10^{-6} (-8)	1
7	67×10^{-6} (---)	0	8	629×10^{-6} (3)	1	9	294×10^{-6} (0)	1
10	35×10^{-6} (16)	1	11	207×10^{-6} (21)	1	12	157×10^{-6} (-11)	1
13	18×10^{-6} (-13)	1	14	220×10^{-6} (17)	1	15	95×10^{-6} (6)	1
16	31×10^{-6} (12)	1	17	648×10^{-6} (3)	1	18	363×10^{-6} (-17)	1
19	118×10^{-6} (0)	1	20	485×10^{-6} (---)	0	21	454×10^{-6} (---)	0
22	282×10^{-6} (18)	1	23	178×10^{-6} (-22)	1	24	366×10^{-6} (2)	1
ρ方向 標準偏差	$\pm20.6\times10^{-6}$		θ方向 標準偏差	$\pm18.9\times10^{-6}$		φ方向 標準偏差	$\pm13.8\times10^{-6}$	
全方向の標準偏差				$\pm14.1\times10^{-6}$				

※青色はOCデータによる黄色はトンプソン検定による棄却データ

図 7-1(1) 初期応力解析結果（12OC1-1）

6応力成分

σx :	9.48	(±0.27)	MPa	τxy :	-1.66	(±0.21)	MPa
σy :	5.56	(±0.34)	MPa	τyz :	2.99	(±0.17)	MPa
σz :	13.49	(±0.24)	MPa	τzx :	-4.08	(±0.17)	MPa

圧縮応力を正とする ※括弧内は標準偏差
:軸（＋）を E　　y軸（＋）を N　　z軸（＋）を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力		方向余弦		方位角	傾斜角
	l	*m*	*n*	H(°)	V(°)
σ_1 : 17.05 MPa	-0.503	0.285	0.816	150	55
σ_2 : 6.95 MPa	0.860	0.064	0.507	4	31
σ_3 : 4.53 MPa	-0.092	-0.956	0.278	265	16

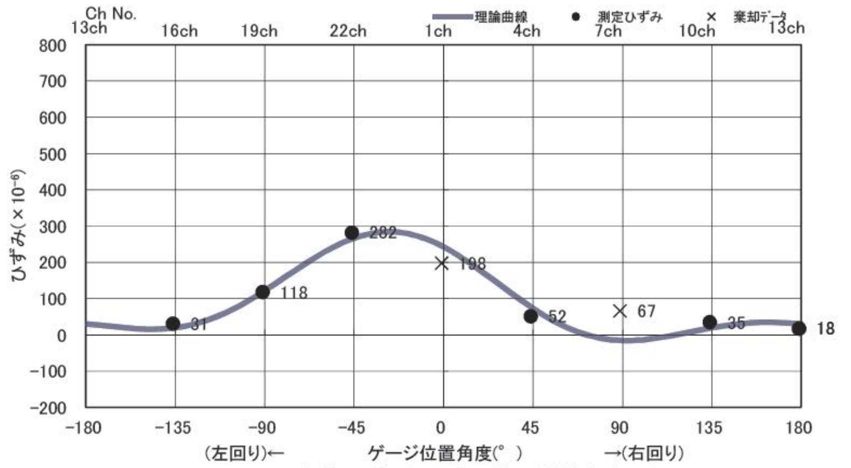
方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

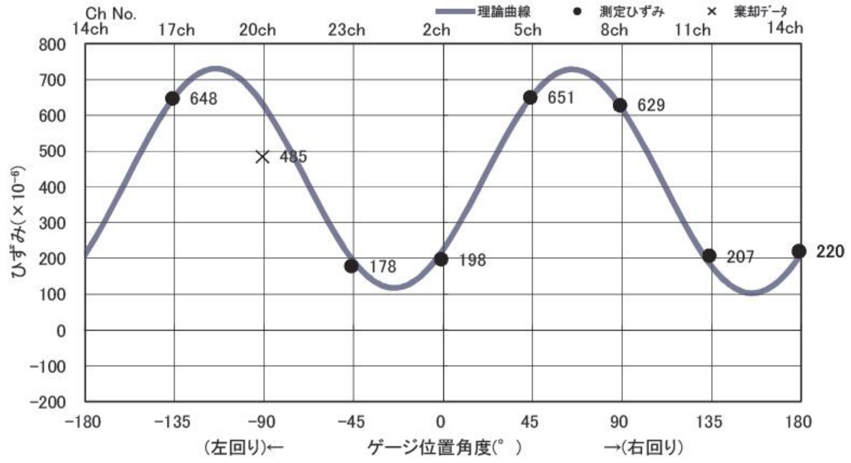
平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	10.09 MPa	4.95 MPa	-20
y-z面	14.49 MPa	4.56 MPa	71
z-x面	16.03 MPa	6.94 MPa	-32

θ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とするσ_1'の角度

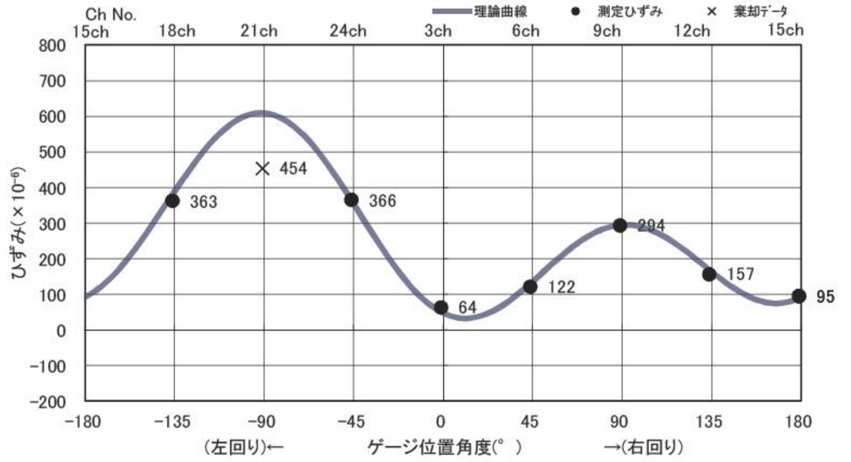
図 7-1(2) 初期応力解析結果（12OC1-1）



解放ひずみと理論ひずみ(稜線方向 ρ)



解放ひずみと理論ひずみ(円周方向 θ)



解放ひずみと理論ひずみ(斜め方向 φ)

図 7-1(3) 初期応力解析結果（12OC1-1）

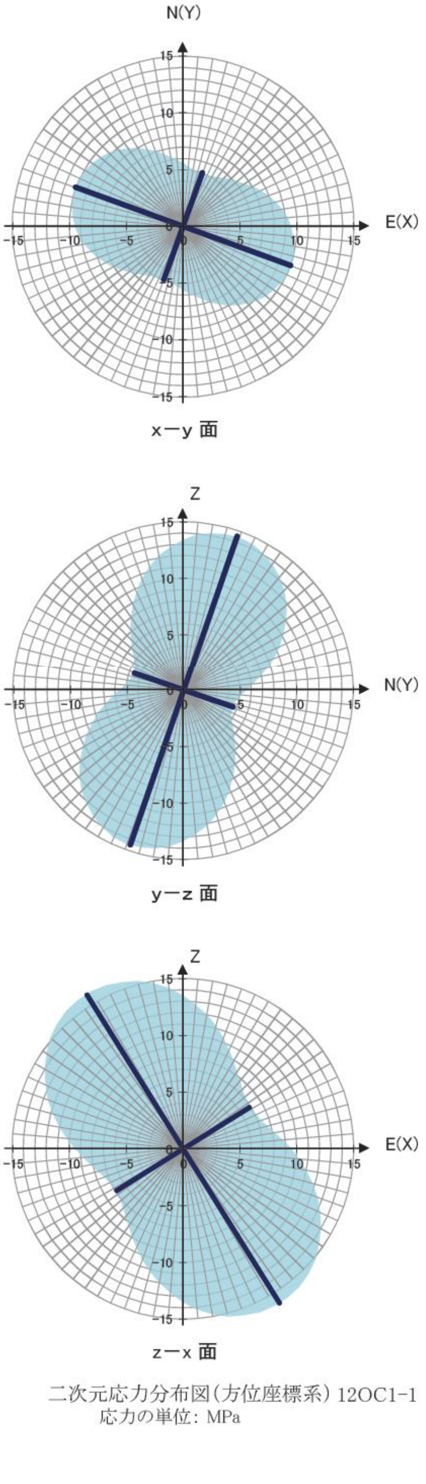
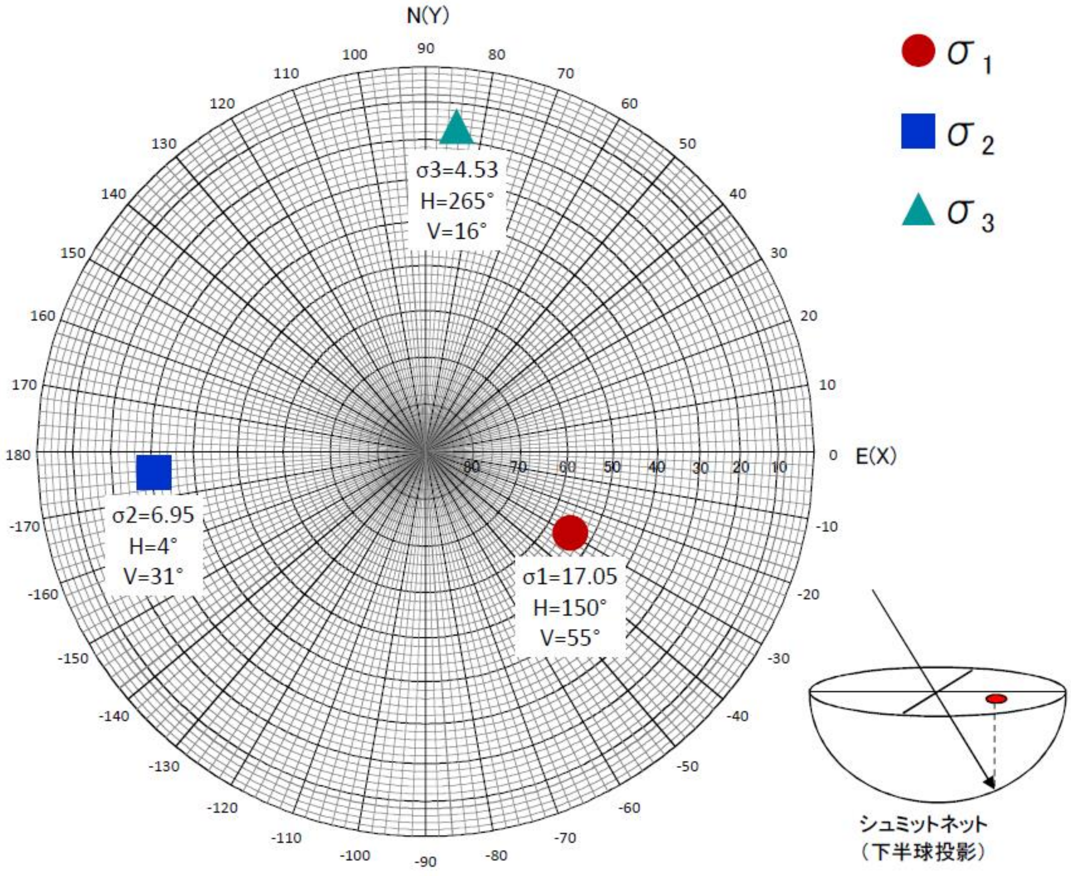


図 7-1(4) 初期応力解析結果（12OC1-1）



方位座標系　　応力の単位：MPa

三次元主応力のシュミットネット投影図　　12OC1-1

図 7-1(5) 初期応力解析結果（12OC1-1）

12OC1-2

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

方位座標系

プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI28
測定№	12OC1-2
測定日	2012年6月27日
測定深度	13.180 m
岩石のヤング率	48,300 MPa
岩石のポアソン比	0.20
ゲージ回転角	179°
削孔角度	上向き 5°
孔口方向とNの角度	15.2°（N軸から左回りを正とする）

解放ひずみ一覧

ρゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	θゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	φゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み
1	323 ×10^{-6} (---)	0	2	39 ×10^{-6} (0)	1	3	112 ×10^{-6} (0)	1
4	-268 ×10^{-6} (---)	0	5	330 ×10^{-6} (---)	0	6	156 ×10^{-6} (---)	0
7	-241 ×10^{-6} (---)	0	8	161 ×10^{-6} (---)	0	9	-76 ×10^{-6} (---)	0
10	-169 ×10^{-6} (---)	0	11	132 ×10^{-6} (---)	0	12	-144 ×10^{-6} (---)	0
13	-104 ×10^{-6} (---)	0	14	-149 ×10^{-6} (---)	0	15	-141 ×10^{-6} (---)	0
16	-293 ×10^{-6} (---)	0	17	1306 ×10^{-6} (---)	0	18	405 ×10^{-6} (---)	0
19	650 ×10^{-6} (0)	1	20	-53 ×10^{-6} (0)	1	21	253 ×10^{-6} (0)	1
22	535 ×10^{-6} (---)	0	23	55 ×10^{-6} (0)	1	24	875 ×10^{-6} (---)	0
ρ方向 標準偏差	#DIV/0! ×10^{-6}		θ方向 標準偏差	±0.0 ×10^{-6}		φ方向 標準偏差	±0.0 ×10^{-6}	
全方向の標準偏差				±0.0 ×10^{-6}				

※青色はOCデータによる黄色はトンプソン検定による棄却データ

図 7-2(1) 初期応力解析結果（12OC1-2）

6応力成分

σx ：	9.56	(±0.00)	MPa	τxy ：	-11.58	(±0.00)	MPa
σy ：	32.12	(±0.00)	MPa	τyz ：	-2.86	(±0.00)	MPa
σz ：	4.22	(±0.00)	MPa	τzx ：	2.05	(±0.00)	MPa

圧縮応力を正とする　※括弧内は標準偏差
:軸（＋）を E　　y軸（＋）を N　　z軸（＋）を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力	方向余弦 *l*	*m*	*n*	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 : 37.36 MPa	0.389	-0.915	0.103	-67	6
σ_2 : 5.14 MPa	0.767	0.384	0.515	27	31
σ_3 : 3.40 MPa	-0.511	-0.121	0.851	193	58

方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	37.00 MPa	4.67 MPa	113
y-z面	32.41 MPa	3.93 MPa	-6
z-x面	10.25 MPa	3.52 MPa	71

θ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とする σ_1'の角度

図 7-2(2) 初期応力解析結果（12OC1-2）

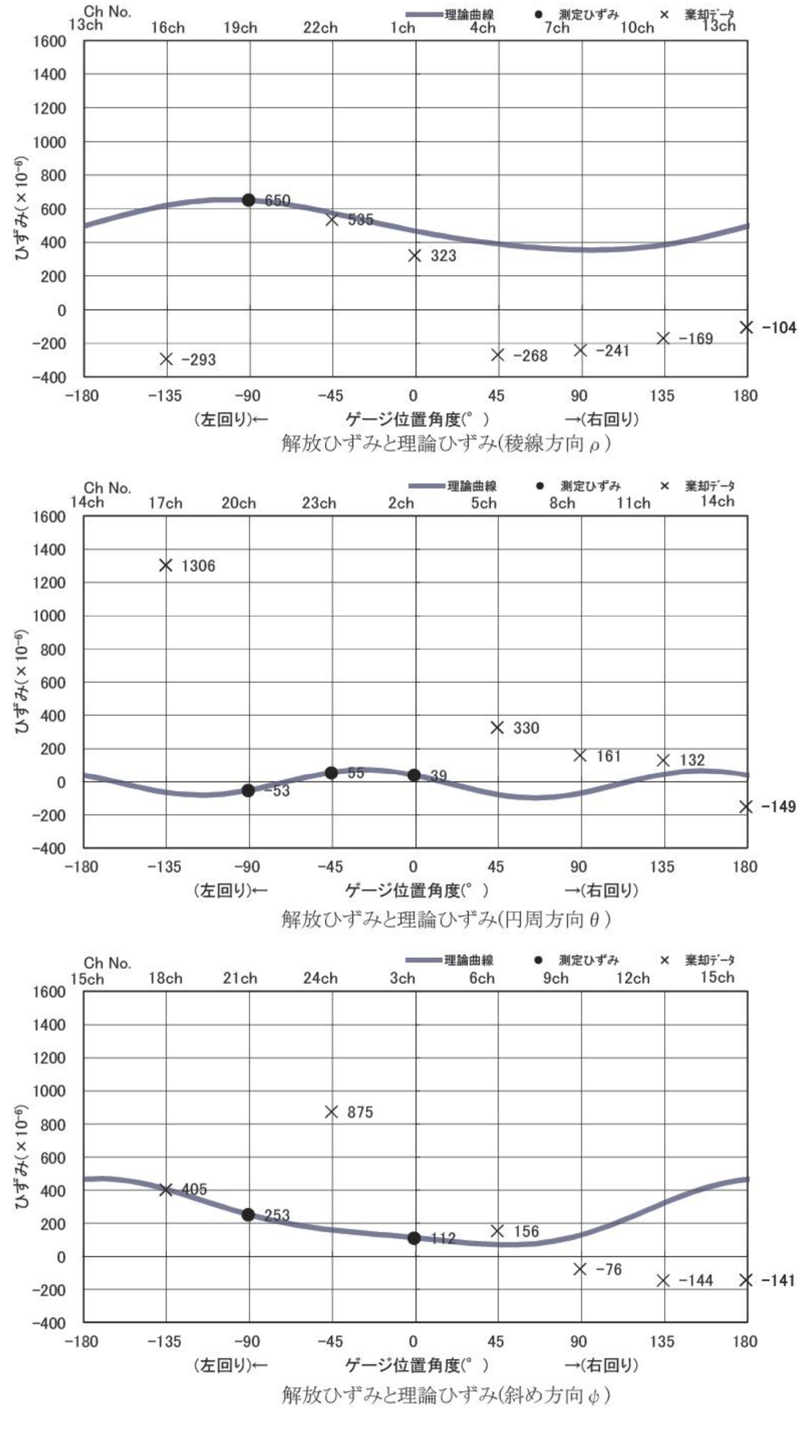
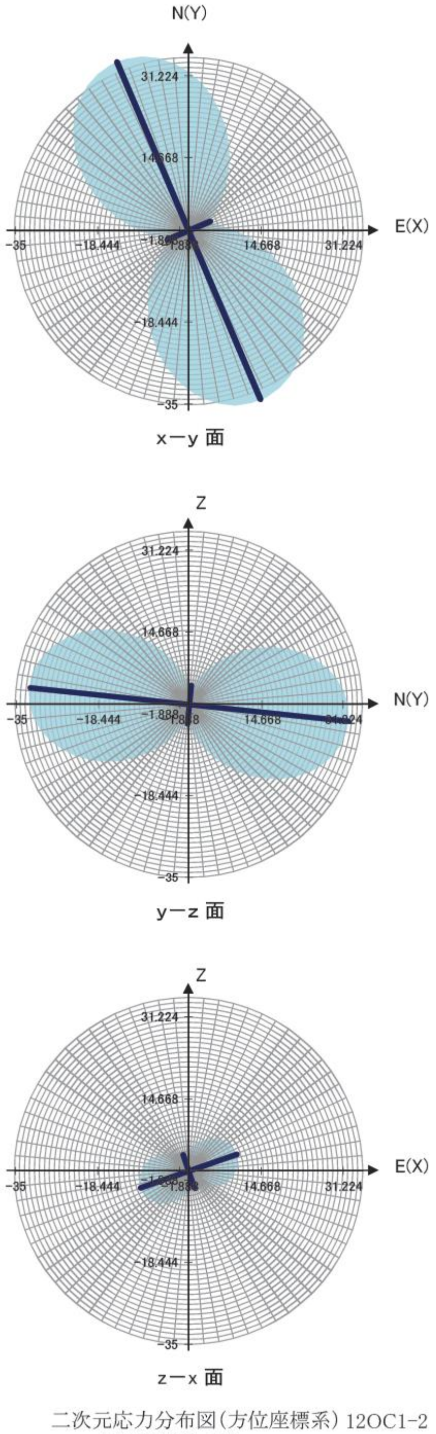


図 7-2(3) 初期応力解析結果（12OC1-2）



二次元応力分布図(方位座標系) 12OC1-2
応力の単位: MPa

図 7-2(4) 初期応力解析結果（12OC1-2）

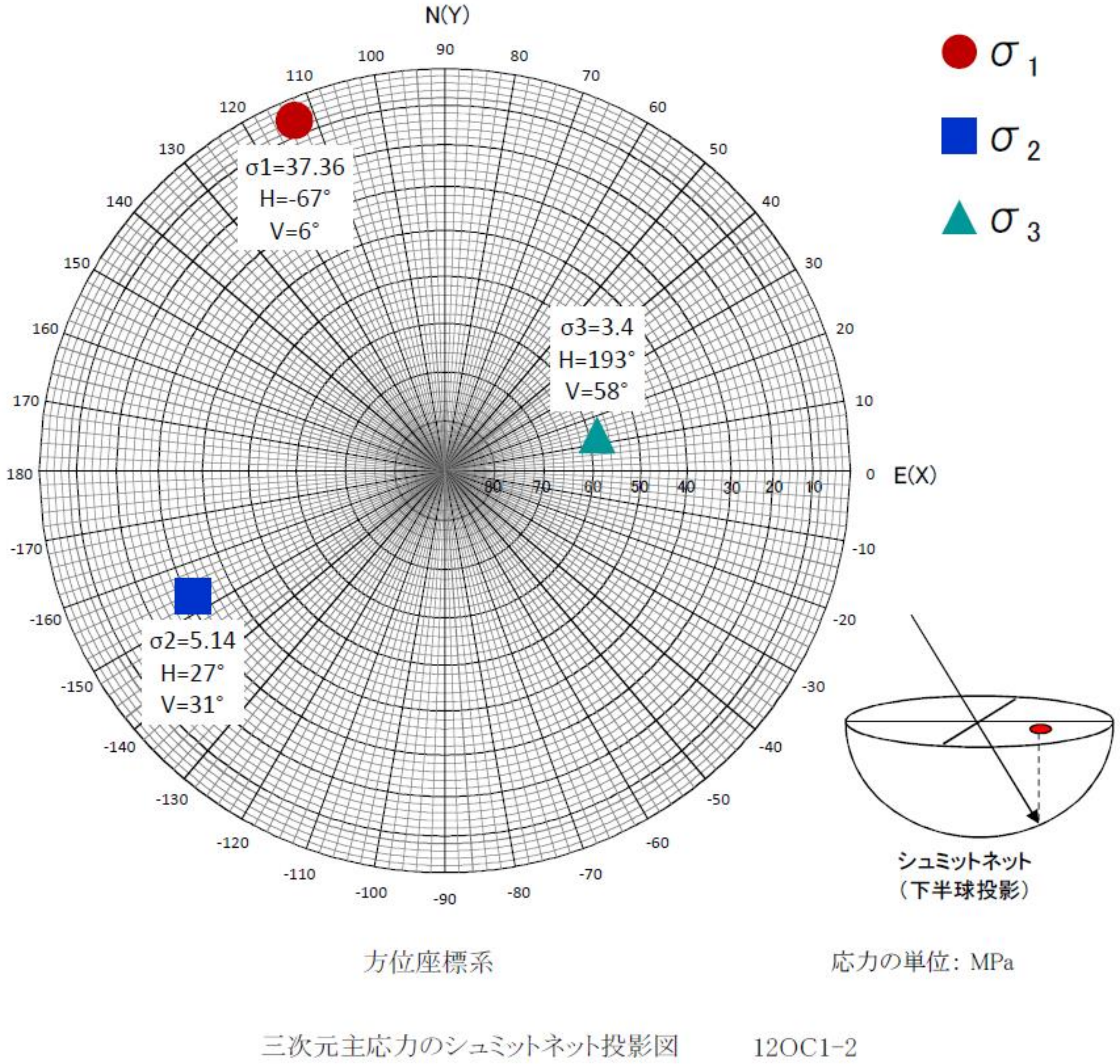


図 7-2(5) 初期応力解析結果（12OC1-2）

12OC1-3

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

方位座標系

プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI28
測定№	12OC1-3
測定日	2012年6月28日
測定深度	13.390 m
岩石のヤング率	56,500 MPa
岩石のポアソン比	0.20
ゲージ回転角	180 °
削孔角度	上向き 5 °
孔口方向とNの角度	15.2 ° (N軸から左回りを正とする)

解放ひずみ一覧

ρゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	θゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	φゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み
1	-486×10^{-6} (---)	0	2	360×10^{-6} (---)	0	3	-416×10^{-6} (---)	0
4	-17×10^{-6} (---)	0	5	6×10^{-6} (---)	0	6	2×10^{-6} (---)	0
7	19×10^{-6} (---)	0	8	-25×10^{-6} (---)	0	9	-6×10^{-6} (---)	0
10	81×10^{-6} (111)	1	11	681×10^{-6} (196)	1	12	384×10^{-6} (22)	1
13	66×10^{-6} (-71)	1	14	367×10^{-6} (-203)	1	15	426×10^{-6} (---)	0
16	308×10^{-6} (-54)	1	17	290×10^{-6} (105)	1	18	614×10^{-6} (98)	1
19	373×10^{-6} (-25)	1	20	-29×10^{-6} (-140)	1	21	116×10^{-6} (12)	1
22	-293×10^{-6} (---)	0	23	358×10^{-6} (---)	0	24	-47×10^{-6} (-51)	1
ρ方向 標準偏差	$\pm83.4\times10^{-6}$		θ方向 標準偏差	$\pm191.9\times10^{-6}$		φ方向 標準偏差	$\pm65.3\times10^{-6}$	
全方向の標準偏差				$\pm114.5\times10^{-6}$				

※青色はOCデータによる黄色はトンプソン検定による棄却データ

図 7-3(1) 初期応力解析結果（12OC1-3）

6応力成分

σx ：	18.00	(±4.61)	MPa	τxy ：	-5.38	(±3.56)	MPa
σy ：	5.80	(±5.10)	MPa	τyz ：	-1.60	(±2.17)	MPa
σz ：	7.31	(±2.81)	MPa	τzx ：	3.82	(±2.47)	MPa

圧縮応力を正とする ※括弧内は標準偏差
軸(＋)をE　y軸(＋)をN　z軸(＋)を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力	方向余弦 l	m	n	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 : 21.27 MPa	0.896	-0.341	0.285	-21	17
σ_2 : 6.09 MPa	-0.286	0.047	0.957	171	73
σ_3 : 3.75 MPa	0.340	0.939	0.056	70	3

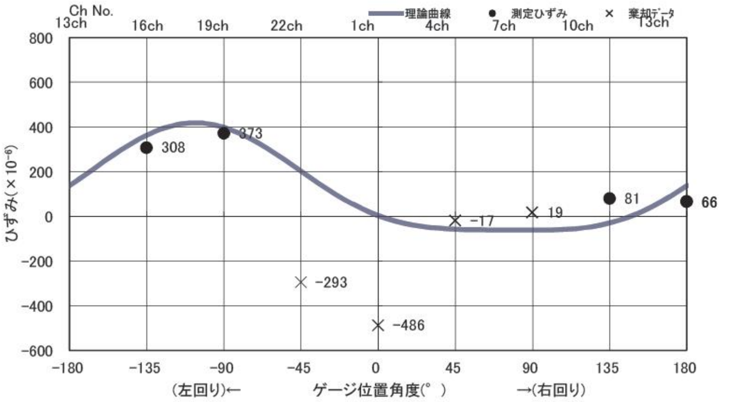
方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

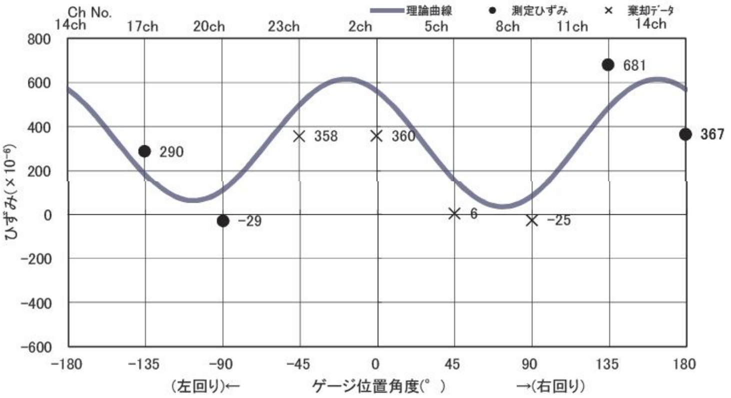
平面	σ_1'	σ_2'	θ(°)
x-y面	20.04 MPa	3.76 MPa	-21
y-z面	8.32 MPa	4.79 MPa	122
z-x面	19.23 MPa	6.09 MPa	72

θ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とするσ_1'の角度

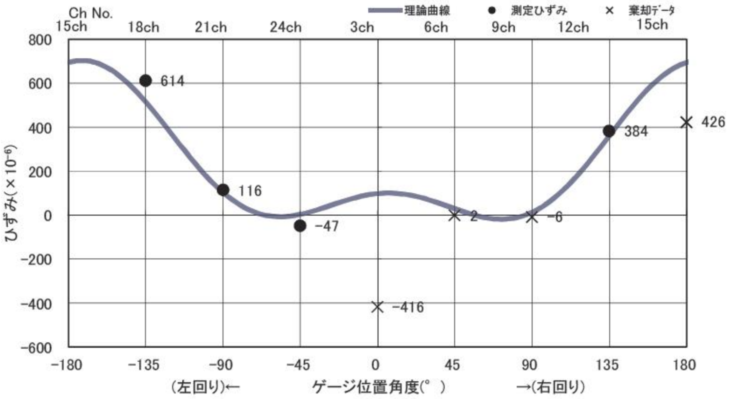
図 7-3(2) 初期応力解析結果（12OC1-3）



解放ひずみと理論ひずみ(稜線方向ρ)

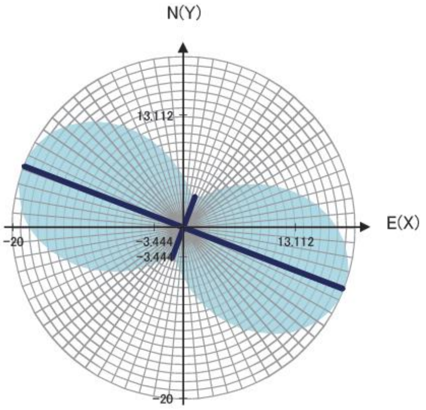


解放ひずみと理論ひずみ(円周方向θ)

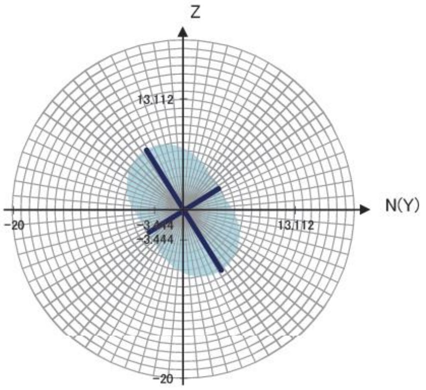


解放ひずみと理論ひずみ(斜め方向φ)

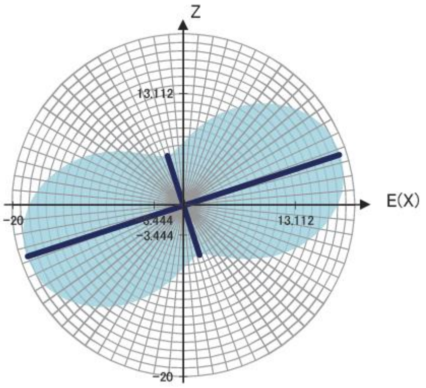
図 7-3(3) 初期応力解析結果（12OC1-3）



x－y 面



y－z 面



z－x 面

二次元応力分布図（方位座標系）12OC1-3
応力の単位：MPa

図 7-3(4) 初期応力解析結果（12OC1-3）

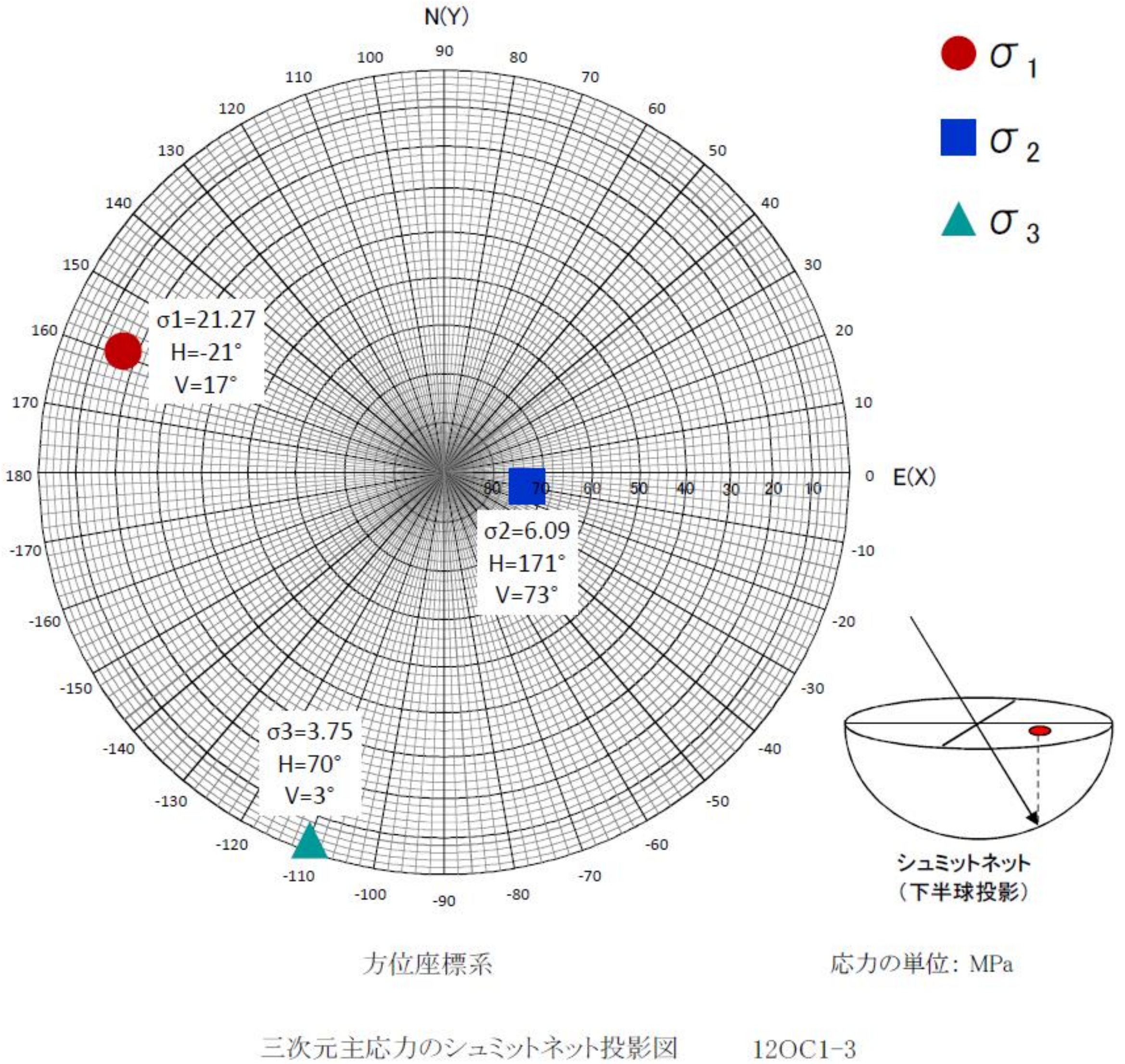


図 7-3(5) 初期応力解析結果（12OC1-3）

12OC1-4

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

方位座標系

プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI28
測定№	12OC1-4
測定日	2012年6月29日
測定深度	13.710 m
岩石のヤング率	55,600 MPa
岩石のポアソン比	0.20
ゲージ回転角	178°
削孔角度	上向き 5°
孔口方向とNの角度	15.2° (N軸から左回りを正とする)

解放ひずみ一覧

ρゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	θゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	φゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み
1	77 $\times10^{-6}$ (---)	0	2	517 $\times10^{-6}$ (25)	1	3	182 $\times10^{-6}$ (10)	1
4	91 $\times10^{-6}$ (3)	1	5	319 $\times10^{-6}$ (-15)	1	6	152 $\times10^{-6}$ (-11)	1
7	69 $\times10^{-6}$ (4)	1	8	126 $\times10^{-6}$ (22)	1	9	67 $\times10^{-6}$ (22)	1
10	10 $\times10^{-6}$ (-23)	1	11	242 $\times10^{-6}$ (-14)	1	12	116 $\times10^{-6}$ (0)	1
13	121 $\times10^{-6}$ (---)	0	14	470 $\times10^{-6}$ (-16)	1	15	401 $\times10^{-6}$ (4)	1
16	188 $\times10^{-6}$ (-2)	1	17	354 $\times10^{-6}$ (14)	1	18	481 $\times10^{-6}$ (-13)	1
19	320 $\times10^{-6}$ (12)	1	20	95 $\times10^{-6}$ (-23)	1	21	323 $\times10^{-6}$ (---)	0
22	172 $\times10^{-6}$ (---)	0	23	271 $\times10^{-6}$ (1)	1	24	-38 $\times10^{-6}$ (---)	0
ρ方向 標準偏差	±13.6 $\times10^{-6}$		θ方向 標準偏差	±24.0 $\times10^{-6}$		φ方向 標準偏差	±15.7 $\times10^{-6}$	
全方向の標準偏差				±15.2 $\times10^{-6}$				

※青色はOCデータによる黄色はトンプソン検定による棄却データ

図 7-4(1) 初期応力解析結果（12OC1-4）

6応力成分

σ x :	15.04	(±0.33)	MPa	τ xy :	-3.47	(±0.27)	MPa
σ y :	10.20	(±0.49)	MPa	τ yz :	1.05	(±0.28)	MPa
σ z :	6.66	(±0.29)	MPa	τ zx :	-0.33	(±0.22)	MPa

圧縮応力を正とする　※括弧内は標準偏差
軸(+)を E　　y軸(+)を N　　z軸(+)を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力	方向余弦 *l*	*m*	*n*	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 : 16.91 MPa	-0.881	0.467	0.077	152	4
σ_2 : 8.68 MPa	0.463	0.814	0.350	60	21
σ_3 : 6.31 MPa	-0.101	-0.344	0.933	254	69

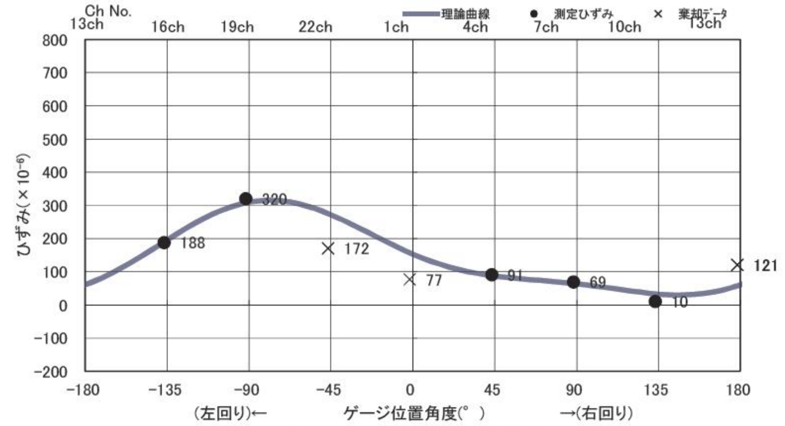
方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

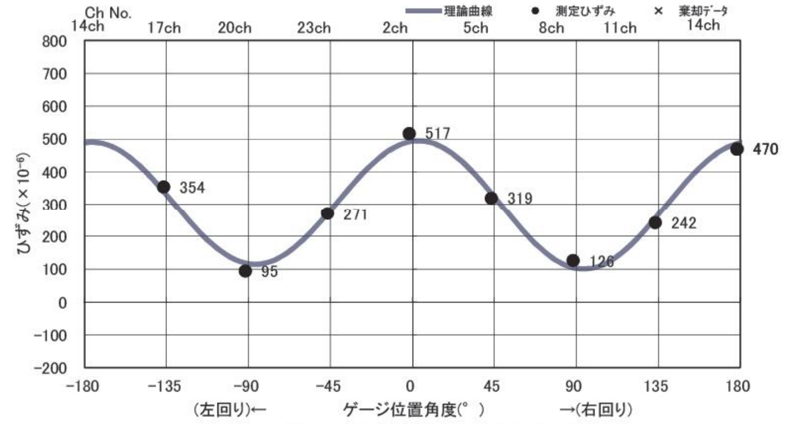
平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	16.85 MPa	8.39 MPa	-28
y-z面	10.49 MPa	6.37 MPa	15
z-x面	15.06 MPa	6.65 MPa	92

θ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とする σ_1'の角度

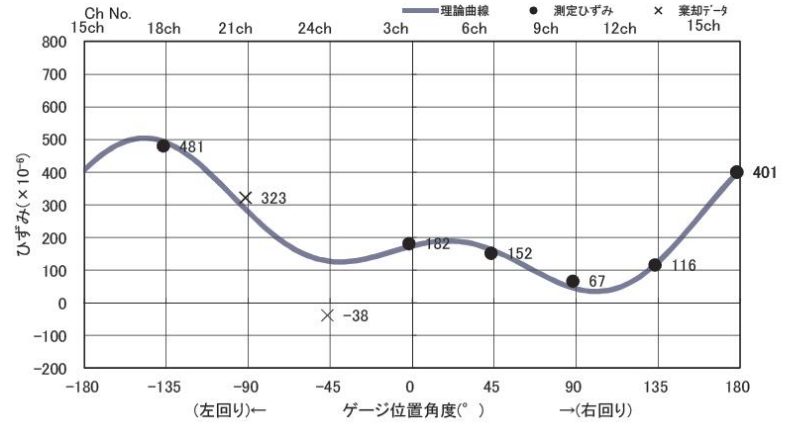
図 7-4(2) 初期応力解析結果（12OC1-4）



解放ひずみと理論ひずみ(稜線方向ρ)



解放ひずみと理論ひずみ(円周方向θ)



解放ひずみと理論ひずみ(斜め方向φ)

図 7-4(3) 初期応力解析結果（12OC1-4）

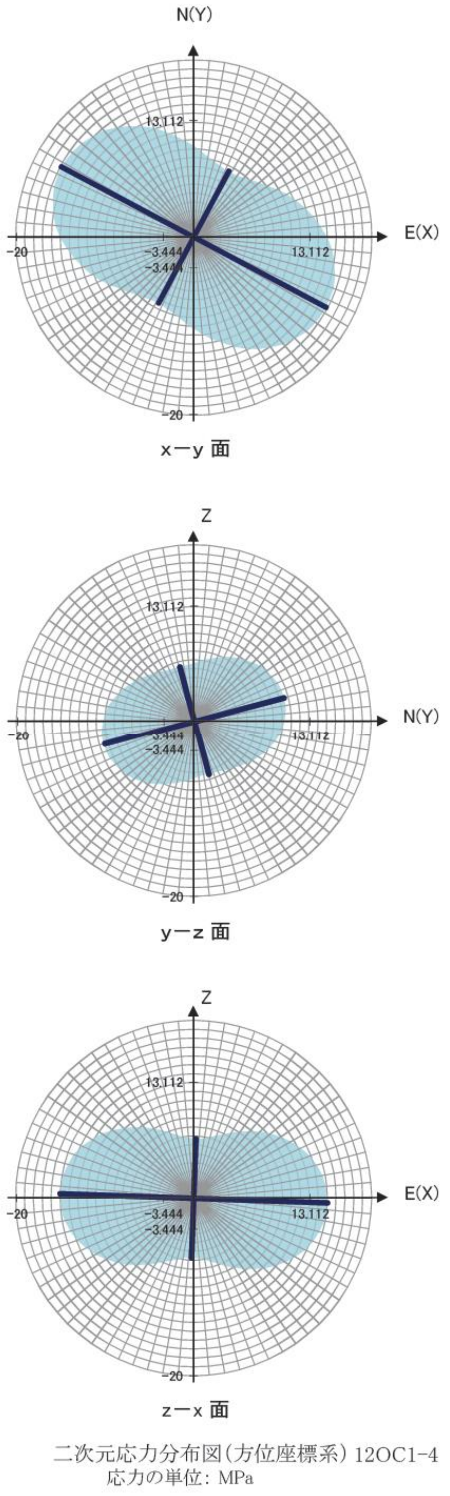


図 7-4(4) 初期応力解析結果（12OC1-4）

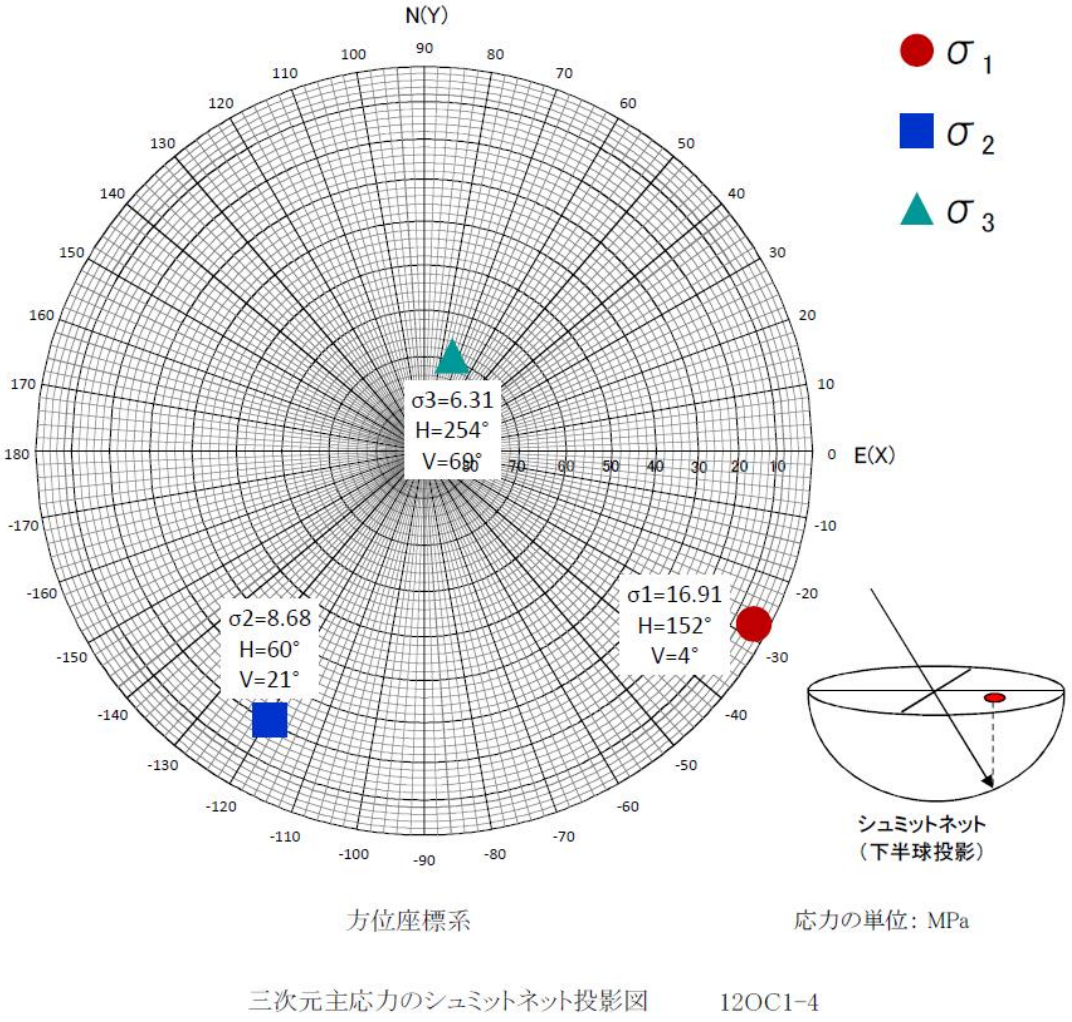


図 7-4(5) 初期応力解析結果（12OC1-4）

12OC1-5

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

方位座標系

プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI28
測定№	12OC1-5
測定日	2012年7月2日
測定深度	15.500 m
岩石のヤング率	58,900 MPa
岩石のポアソン比	0.23
ゲージ回転角	179°
削孔角度	上向き 5°
孔口方向とNの角度	15.2° (N軸から左回りを正とする)

解放ひずみ一覧

ρゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	θゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	φゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み
1	25 ×10^{-6} (---)	0	2	331 ×10^{-6} (20)	1	3	109 ×10^{-6} (-78)	1
4	329 ×10^{-6} (88)	1	5	327 ×10^{-6} (59)	1	6	141 ×10^{-6} (-47)	1
7	228 ×10^{-6} (11)	1	8	197 ×10^{-6} (0)	1	9	164 ×10^{-6} (-36)	1
10	313 ×10^{-6} (84)	1	11	255 ×10^{-6} (19)	1	12	346 ×10^{-6} (66)	1
13	194 ×10^{-6} (-88)	1	14	308 ×10^{-6} (-1)	1	15	394 ×10^{-6} (-12)	1
16	140 ×10^{-6} (---)	0	17	638 ×10^{-6} (---)	0	18	634 ×10^{-6} (---)	0
19	396 ×10^{-6} (-23)	1	20	184 ×10^{-6} (-25)	1	21	299 ×10^{-6} (-37)	1
22	127 ×10^{-6} (---)	0	23	110 ×10^{-6} (---)	0	24	49 ×10^{-6} (---)	0
ρ方向 標準偏差	±88.1 ×10^{-6}		θ方向 標準偏差	±42.7 ×10^{-6}		φ方向 標準偏差	±77.4 ×10^{-6}	
全方向の標準偏差				±52.2 ×10^{-6}				

※青色はOCデータによる黄色はトンプソン検定による棄却データ

図 7-5(1) 初期応力解析結果（12OC1-5）

6応力成分

σx	：	15.58	(±1.37) MPa		τxy	：	-7.10	(±1.06) MPa
σy	：	25.47	(±1.84) MPa		τyz	：	-1.10	(±0.82) MPa
σz	：	10.91	(±1.04) MPa		τzx	：	0.39	(±0.91) MPa

圧縮応力を正とする ※括弧内は標準偏差
軸(＋)を E　　y軸(＋)を N　　z軸(＋)を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力		方向余弦		方位角	傾斜角
	l	*m*	*n*	H(°)	V(°)
σ_1 : 29.25 MPa	0.461	-0.885	0.063	-63	4
σ_2 : 11.90 MPa	-0.881	-0.449	0.150	207	9
σ_3 : 10.81 MPa	0.105	0.124	0.987	50	81

方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	29.18 MPa	11.88 MPa	118
y-z面	25.56 MPa	10.82 MPa	-4
z-x面	15.61 MPa	10.87 MPa	85

θ ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とするσ_1'の角度

図 7-5(2) 初期応力解析結果（12OC1-5）

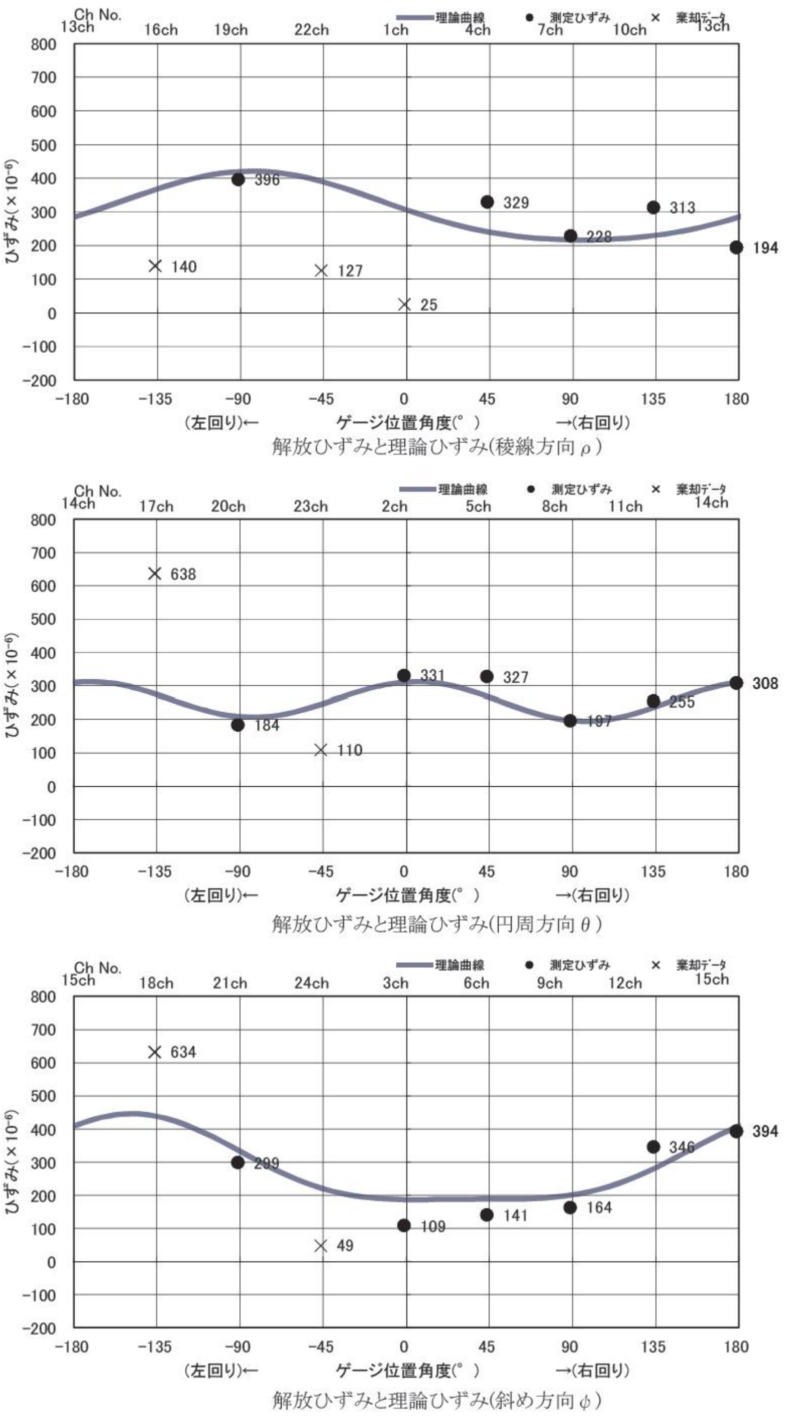


図 7-5(3) 初期応力解析結果（12OC1-5）

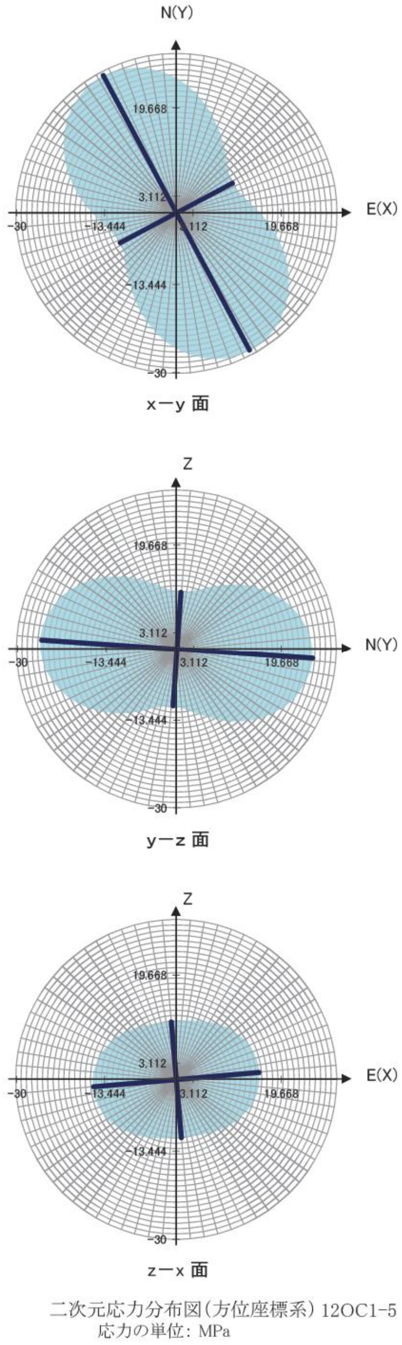
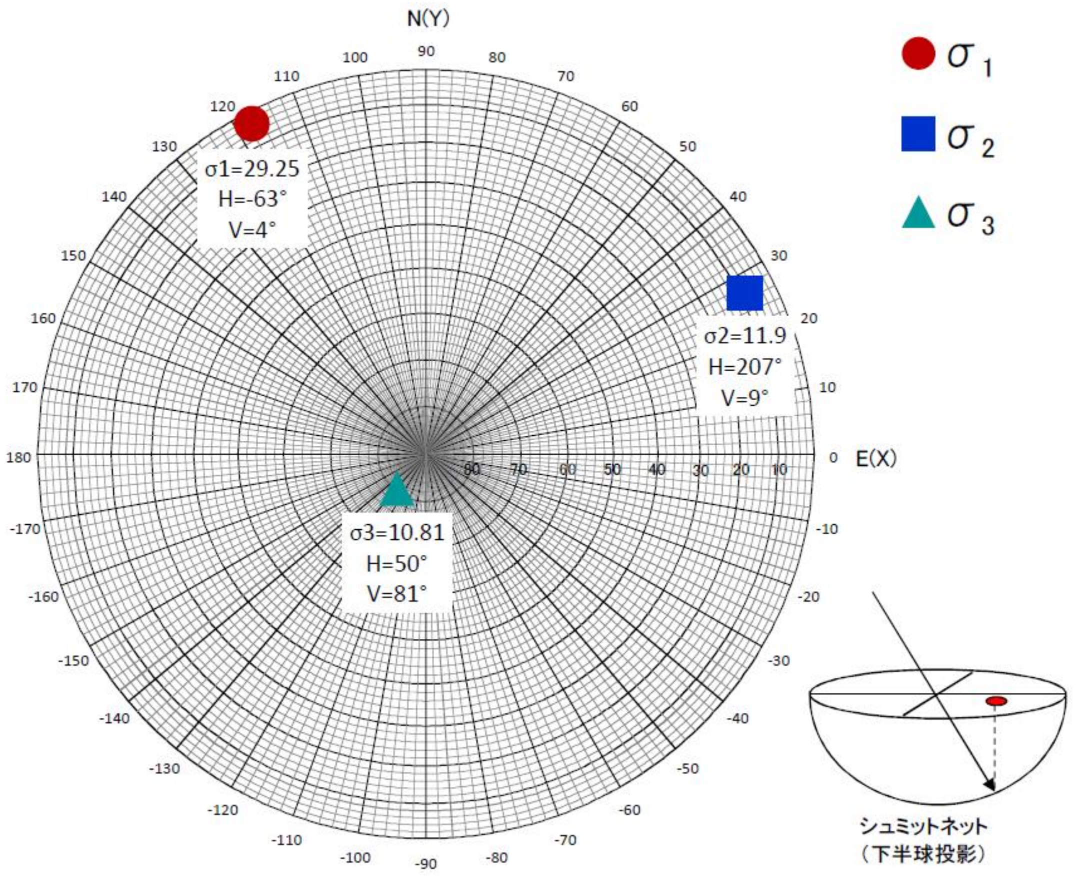


図 7-5(4) 初期応力解析結果（12OC1-5）



方位座標系　　　　　　　　応力の単位：MPa

三次元主応力のシュミットネット投影図　　12OC1-5

図 7-5(5) 初期応力解析結果（12OC1-5）

12OC1-6

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

方位座標系

プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI28
測定№	12OC1-6
測定日	2012年7月6日
測定深度	18.460 m
岩石のヤング率	35,800 MPa
岩石のポアソン比	0.33
ゲージ回転角	185 °
削孔角度	上向き 5 °
孔口方向とNの角度	15.2 ° (N軸から左回りを正とする)

解放ひずみ一覧

ρゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	θゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	φゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み
1	101 ×10^{-6} (-23)	1	2	-35 ×10^{-6} (---)	0	3	-3 ×10^{-6} (---)	0
4	34 ×10^{-6} (2)	1	5	181 ×10^{-6} (19)	1	6	-47 ×10^{-6} (-3)	1
7	-6 ×10^{-6} (24)	1	8	113 ×10^{-6} (---)	0	9	65 ×10^{-6} (-39)	1
10	8 ×10^{-6} (1)	1	11	57 ×10^{-6} (-16)	1	12	106 ×10^{-6} (-26)	1
13	-112 ×10^{-6} (---)	0	14	81 ×10^{-6} (---)	0	15	137 ×10^{-6} (---)	0
16	116 ×10^{-6} (49)	1	17	196 ×10^{-6} (---)	0	18	127 ×10^{-6} (---)	0
19	60 ×10^{-6} (-22)	1	20	315 ×10^{-6} (45)	1	21	205 ×10^{-6} (-31)	1
22	151 ×10^{-6} (20)	1	23	84 ×10^{-6} (3)	1	24	266 ×10^{-6} (---)	0
ρ方向 標準偏差	±30.2 ×10^{-6}		θ方向 標準偏差	±31.5 ×10^{-6}		φ方向 標準偏差	±32.6 ×10^{-6}	
全方向の標準偏差				±27.0 ×10^{-6}				

※青色はOCデータによる黄色はトンプソン検定による棄却データ

図 7-6(1) 初期応力解析結果（12OC1-6）

6応力成分

σx ：	2.17	(±0.70)	MPa	τxy ：	-1.70	(±0.28)	MPa
σy ：	3.63	(±0.52)	MPa	τyz ：	0.73	(±0.22)	MPa
σz ：	4.51	(±0.39)	MPa	τzx ：	-0.28	(±0.29)	MPa

圧縮応力を正とする　※括弧内は標準偏差
軸(＋)を E　　y軸(＋)を N　　z軸(＋)を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力		方向余弦 *l*	*m*	*n*	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 :	5.40 MPa	-0.397	0.647	0.651	122	41
σ_2 :	3.87 MPa	0.397	-0.519	0.757	-53	49
σ_3 :	1.04 MPa	-0.828	-0.559	0.051	214	3

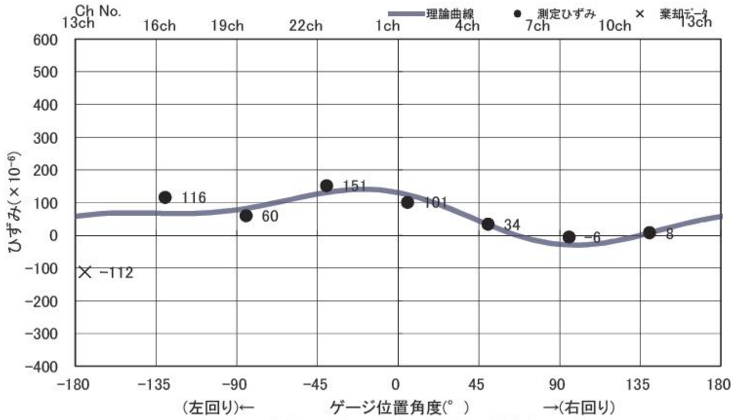
方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

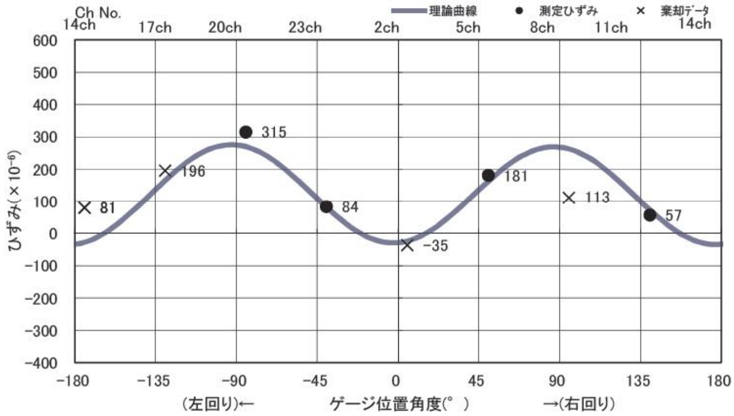
平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	4.75 MPa	1.05 MPa	123
y-z面	4.92 MPa	3.22 MPa	61
z-x面	4.54 MPa	2.14 MPa	-7

θ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とするσ_1'の角度

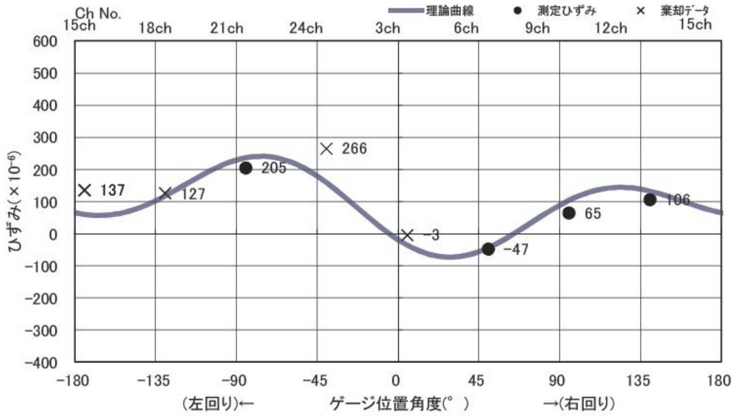
図 7-6(2) 初期応力解析結果（12OC1-6）



解放ひずみと理論ひずみ(稜線方向 ρ)



解放ひずみと理論ひずみ(円周方向 θ)



解放ひずみと理論ひずみ(斜め方向 φ)

図 7-6(3) 初期応力解析結果（12OC1-6）

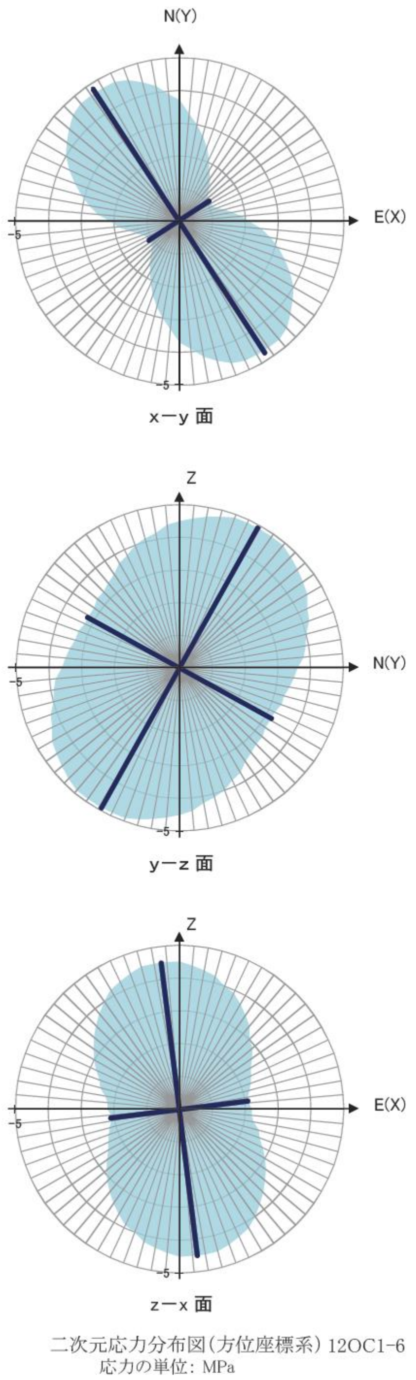


図 7-6(4) 初期応力解析結果（12OC1-6）

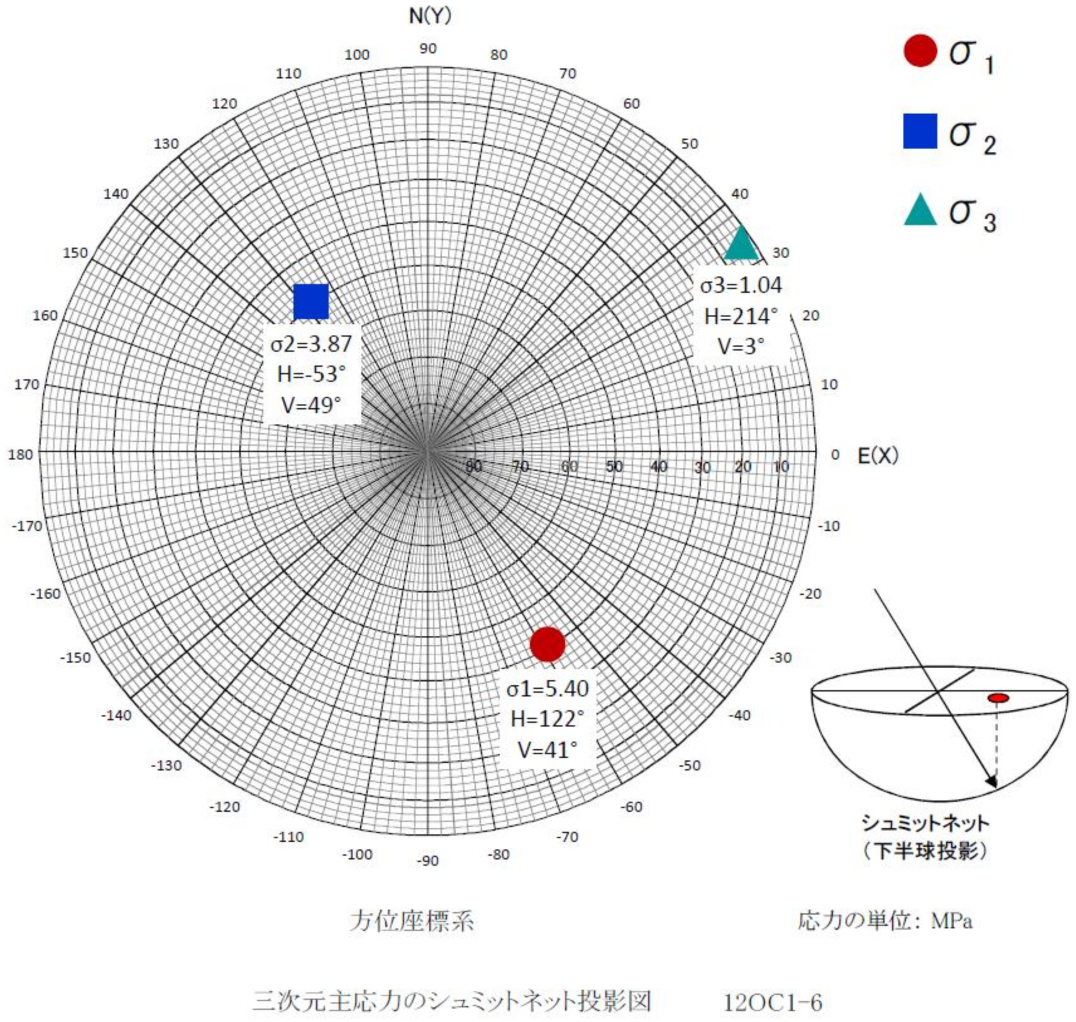


図 7-6(5) 初期応力解析結果（12OC1-6）

12OC2-1

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

方位座標系

プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）	
孔番	12MI29	
測定№	12OC2-1	
測定日	2012年7月27日	
測定深度	16.290	m
岩石のヤング率	61,800	MPa
岩石のポアソン比	0.20	
ゲージ回転角	180°	
削孔角度	上向き　5°	
孔口方向とNの角度	110.2°（N軸から左回りを正とする）	

解放ひずみ一覧

ρゲージNo.	解放ひずみ（残差）	重み	θゲージNo.	解放ひずみ（残差）	重み	φゲージNo.	解放ひずみ（残差）	重み
1	107×10^{-6} (-31)	1	2	417×10^{-6} (-10)	1	3	395×10^{-6} (-3)	1
4	155×10^{-6} (-7)	1	5	78×10^{-6} (-48)	1	6	58×10^{-6} (-10)	1
7	58×10^{-6} (14)	1	8	446×10^{-6} (-2)	1	9	32×10^{-6} (-4)	1
10	-156×10^{-6} (---)	0	11	812×10^{-6} (68)	1	12	362×10^{-6} (28)	1
13	61×10^{-6} (42)	1	14	366×10^{-6} (-54)	1	15	320×10^{-6} (-81)	1
16	76×10^{-6} (-43)	1	17	209×10^{-6} (85)	1	18	269×10^{-6} (81)	1
19	143×10^{-6} (41)	1	20	377×10^{-6} (-74)	1	21	201×10^{-6} (-1)	1
22	40×10^{-6} (-33)	1	23	770×10^{-6} (19)	1	24	469×10^{-6} (21)	1
ρ方向標準偏差	$\pm39.8\times10^{-6}$		θ方向標準偏差	$\pm60.4\times10^{-6}$		φ方向標準偏差	$\pm45.8\times10^{-6}$	
全方向の標準偏差				$\pm45.3\times10^{-6}$				

※青色はOCデータによる黄色はトンプソン検定による棄却データ

図 7-7(1) 初期応力解析結果（12OC2-1）

6応力成分

σx :	7.23	(±1.09)	MPa	τxy :	-1.91	(±0.76)	MPa
σy :	13.63	(±1.13)	MPa	τyz :	4.21	(±0.65)	MPa
σz :	14.07	(±0.75)	MPa	τzx :	-4.67	(±0.52)	MPa

圧縮応力を正とする ※括弧内は標準偏差
軸(+)をE　　y軸(+)をN　　z軸(+)を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力	方向余弦 *l*	*m*	*n*	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 : 19.87 MPa	-0.357	0.595	0.720	121	46
σ_2 : 10.21 MPa	-0.296	-0.803	0.517	250	31
σ_3 : 4.85 MPa	0.886	-0.029	0.463	-2	28

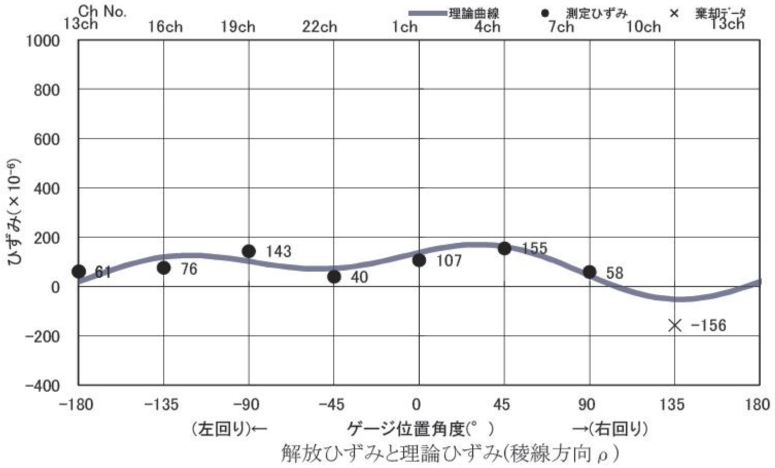
方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

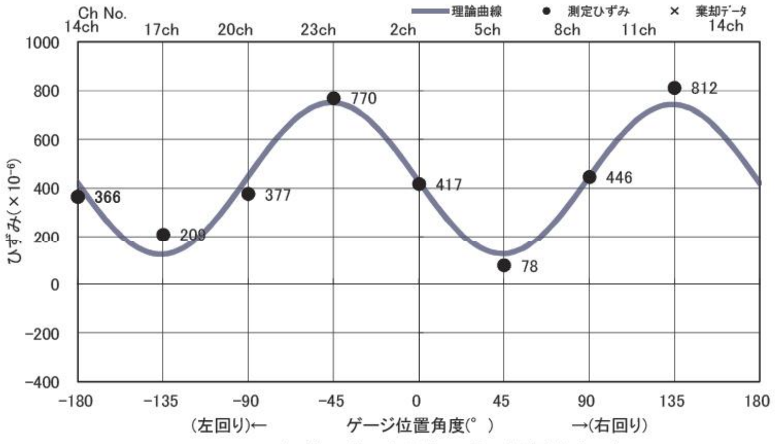
平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	14.15 MPa	6.70 MPa	105
y-z面	18.07 MPa	9.63 MPa	47
z-x面	16.44 MPa	4.86 MPa	-27

θ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とするσ_1'の角度

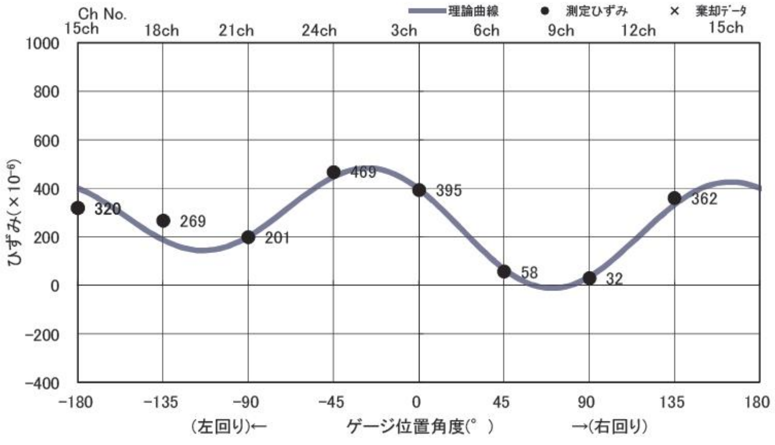
図 7-7(2) 初期応力解析結果（12OC2-1）



解放ひずみと理論ひずみ(稜線方向 ρ)

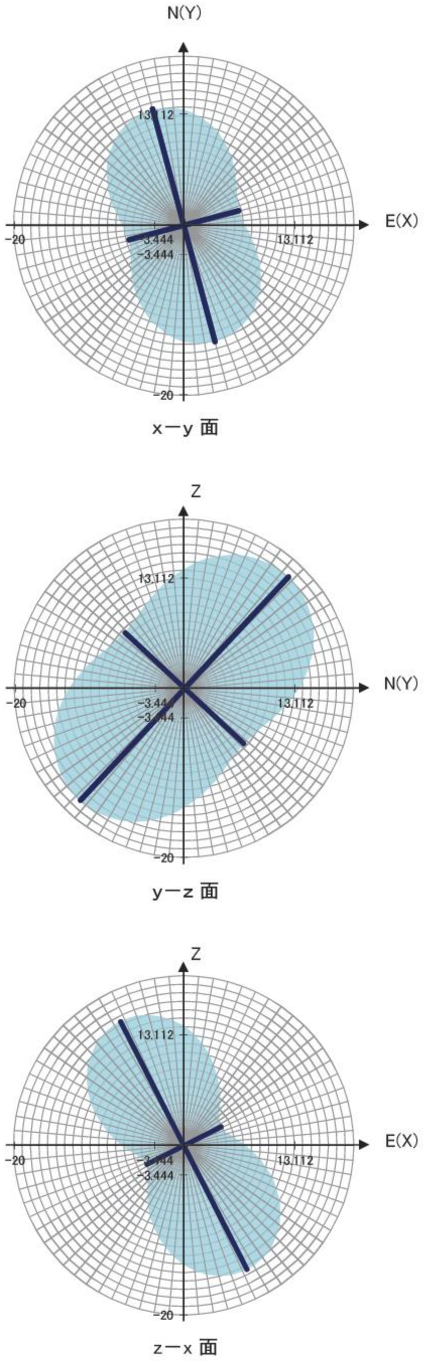


解放ひずみと理論ひずみ(円周方向 θ)



解放ひずみと理論ひずみ(斜め方向 ϕ)

図 7-7(3) 初期応力解析結果（12OC2-1）



二次元応力分布図(方位座標系) 12OC2-1
応力の単位: MPa

図 7-7(4) 初期応力解析結果（12OC2-1）

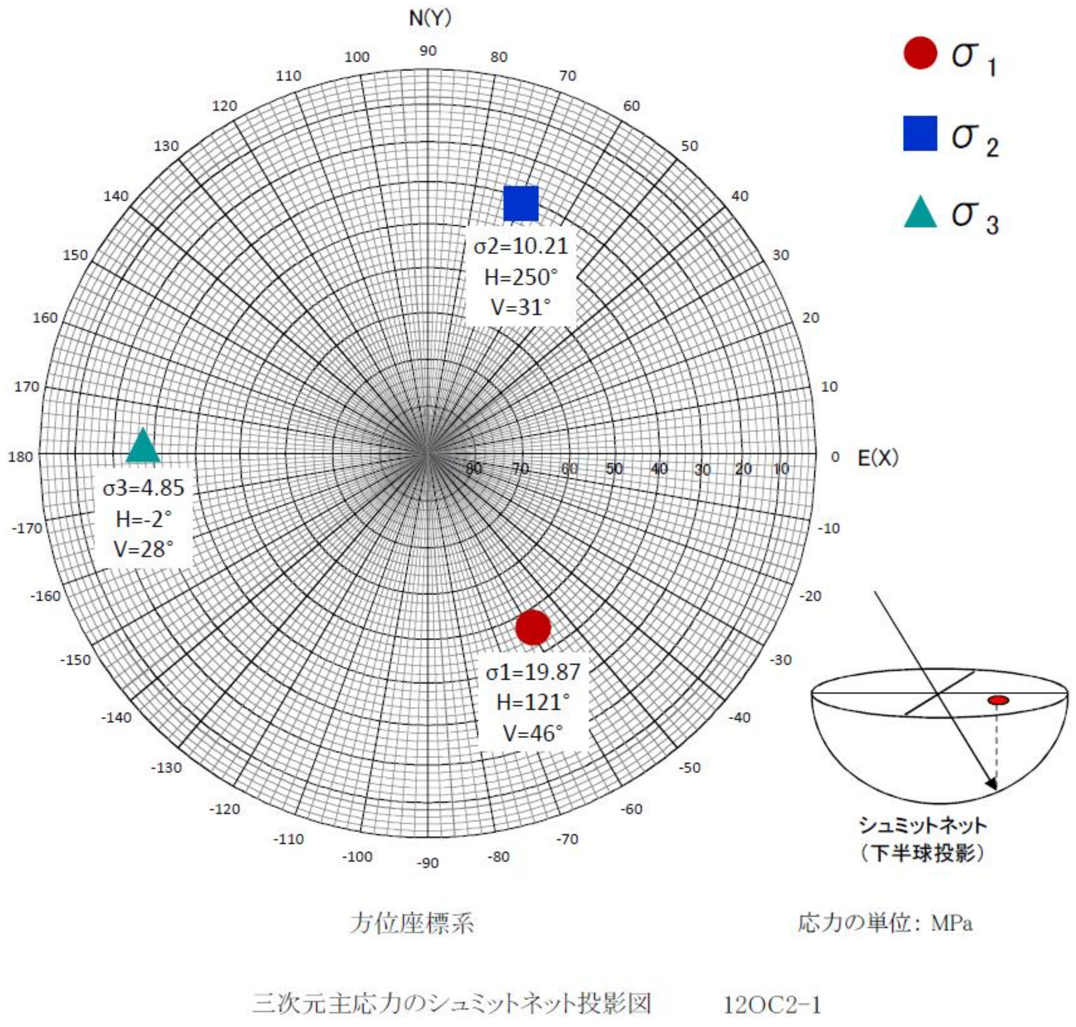


図 7-7(5) 初期応力解析結果（12OC2-1）

12OC2-2

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

方位座標系

プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI29
測定№	12OC2-2
測定日	2012年7月28日
測定深度	17.490 m
岩石のヤング率	49,500 MPa
岩石のポアソン比	0.21
ゲージ回転角	180 °
削孔角度	上向き 5 °
孔口方向とNの角度	110.2 ° (N軸から左回りを正とする)

解放ひずみ一覧

ρゲージNo.	解放ひずみ(残差)	重み	θゲージNo.	解放ひずみ(残差)	重み	φゲージNo.	解放ひずみ(残差)	重み
1	65×10^{-6} (18)	1	2	186×10^{-6} (-29)	1	3	236×10^{-6} (-12)	1
4	105×10^{-6} (2)	1	5	23×10^{-6} (8)	1	6	108×10^{-6} (32)	1
7	54×10^{-6} (-12)	1	8	122×10^{-6} (---)	0	9	13×10^{-6} (-21)	1
10	12×10^{-6} (0)	1	11	407×10^{-6} (11)	1	12	199×10^{-6} (22)	1
13	25×10^{-6} (-6)	1	14	241×10^{-6} (27)	1	15	197×10^{-6} (10)	1
16	64×10^{-6} (5)	1	17	-4×10^{-6} (-16)	1	18	34×10^{-6} (6)	1
19	7×10^{-6} (-13)	1	20	190×10^{-6} (-3)	1	21	37×10^{-6} (10)	1
22	-31×10^{-6} (-21)	1	23	367×10^{-6} (-27)	1	24	224×10^{-6} (9)	1
ρ方向標準偏差	$\pm16.3\times10^{-6}$		θ方向標準偏差	$\pm27.4\times10^{-6}$		φ方向標準偏差	$\pm23.0\times10^{-6}$	
全方向の標準偏差				$\pm17.0\times10^{-6}$				

※青色はOCデータによる黄色はトンプソン検定による棄却データ

図 7-8(1) 初期応力解析結果（12OC2-2）

6応力成分

σx	:	3.92	(±0.31)	MPa	τxy	:	-1.56	(±0.21)	MPa
σy	:	4.70	(±0.33)	MPa	τyz	:	2.32	(±0.19)	MPa
σz	:	5.24	(±0.25)	MPa	τzx	:	-1.31	(±0.14)	MPa

圧縮応力を正とする　※括弧内は標準偏差
軸(＋)を E　　y軸(＋)を N　　z軸(＋)を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力		方向余弦 *l*	*m*	*n*	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 :	8.24 MPa	-0.424	0.619	0.661	124	41
σ_2 :	3.12 MPa	0.790	-0.104	0.604	-8	37
σ_3 :	2.49 MPa	-0.443	-0.778	0.445	240	26

方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	5.92 MPa	2.70 MPa	128
y-z面	7.30 MPa	2.64 MPa	48
z-x面	6.05 MPa	3.11 MPa	-32

θ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とする σ_1' の角度

図 7-8(2) 初期応力解析結果（12OC2-2）

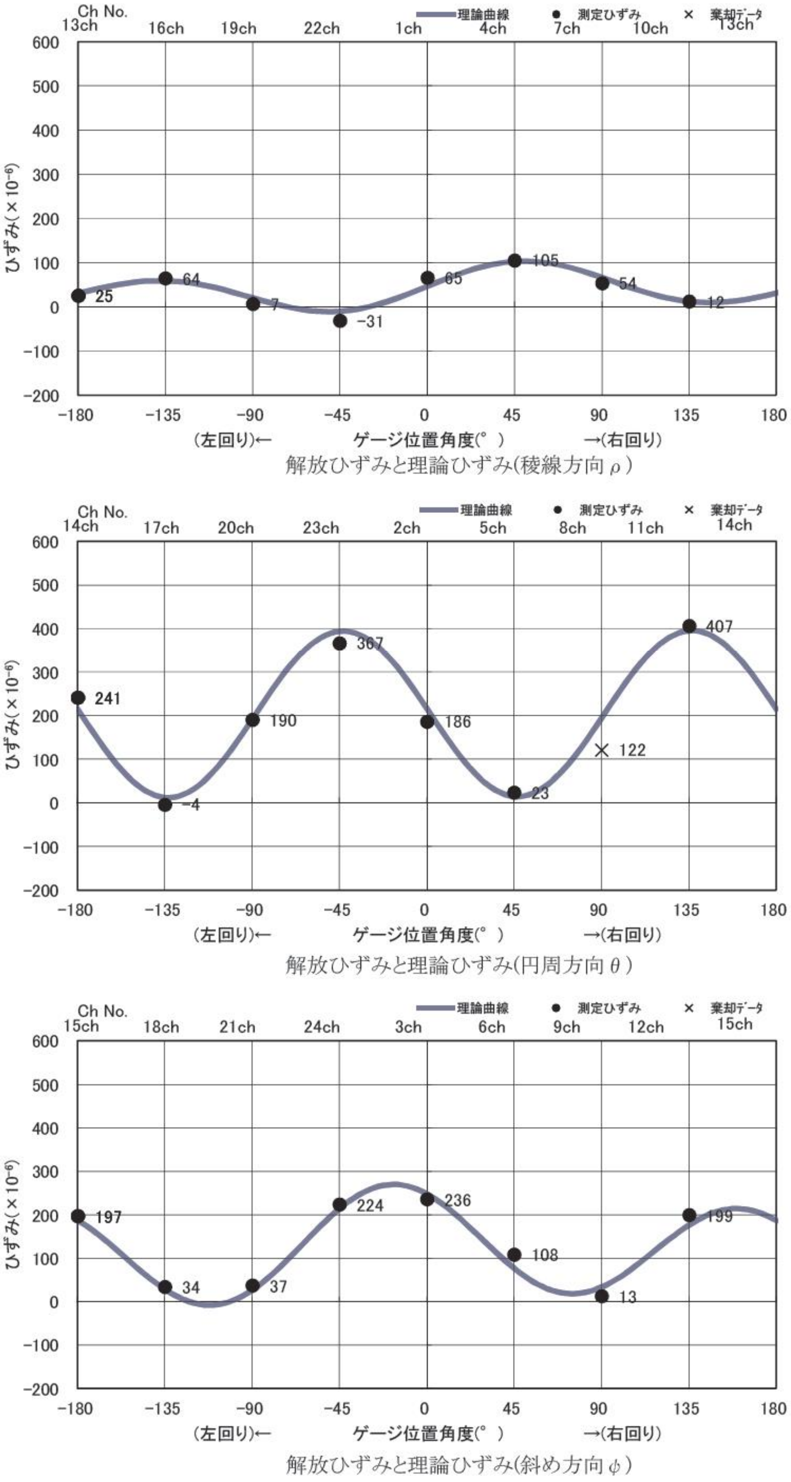


図 7-8(3) 初期応力解析結果（12OC2-2）

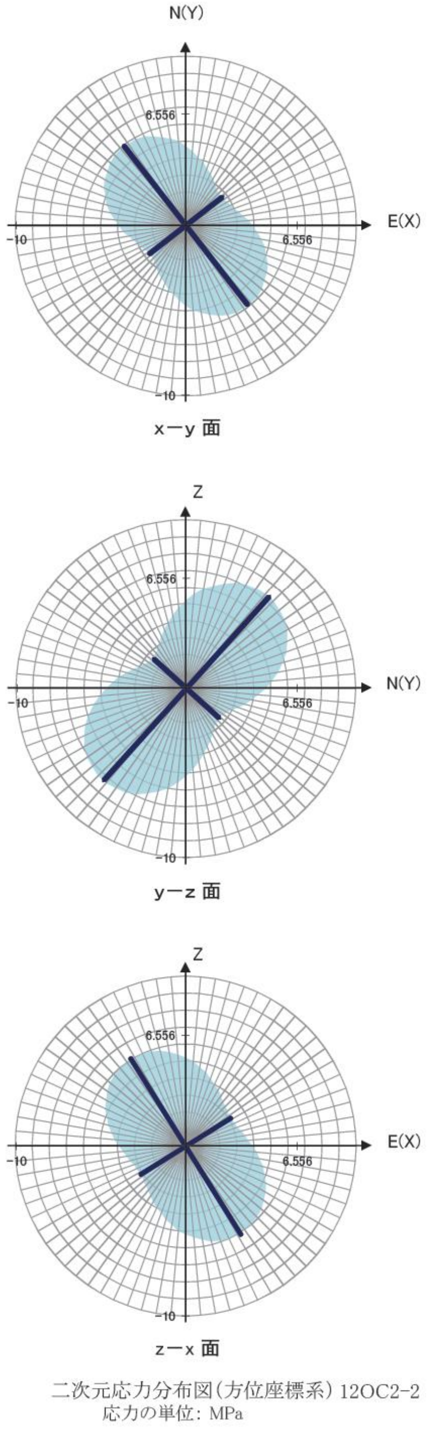


図 7-8(4) 初期応力解析結果（12OC2-2）

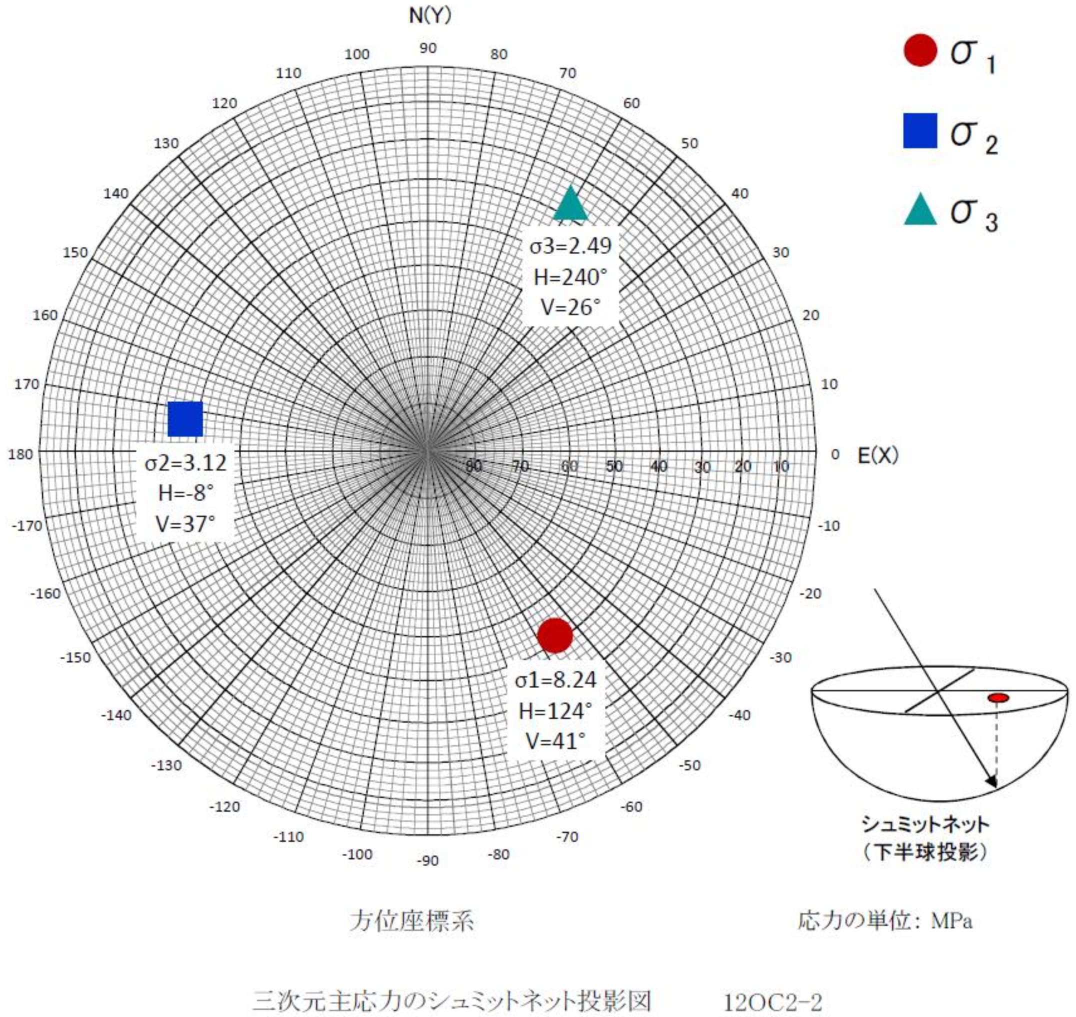


図 7-8(5) 初期応力解析結果（12OC2-2）

12OC2-3

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

方位座標系

プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI29
測定№	12OC2-3
測定日	2012年8月1日
測定深度	19.420 m
岩石のヤング率	49,100 MPa
岩石のポアソン比	0.23
ゲージ回転角	181°
削孔角度	上向き 5°
孔口方向とNの角度	110.2°（N軸から左回りを正とする）

解放ひずみ一覧

ρ ゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	θ ゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	ϕ ゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み
1	-112×10^{-6} (---)	0	2	2127×10^{-6} (---)	0	3	1872×10^{-6} (---)	0
4	207×10^{-6} (51)	1	5	366×10^{-6} (90)	1	6	190×10^{-6} (-80)	1
7	190×10^{-6} (28)	1	8	493×10^{-6} (107)	1	9	324×10^{-6} (72)	1
10	106×10^{-6} (-36)	1	11	837×10^{-6} (---)	0	12	246×10^{-6} (-47)	1
13	151×10^{-6} (15)	1	14	1663×10^{-6} (---)	0	15	1160×10^{-6} (---)	0
16	100×10^{-6} (-15)	1	17	202×10^{-6} (-71)	1	18	161×10^{-6} (26)	1
19	53×10^{-6} (-10)	1	20	280×10^{-6} (-100)	1	21	105×10^{-6} (-49)	1
22	69×10^{-6} (25)	1	23	503×10^{-6} (33)	1	24	249×10^{-6} (-39)	1
ρ 方向 標準偏差	$\pm37.5\times10^{-6}$		θ 方向 標準偏差	$\pm104.8\times10^{-6}$		ϕ 方向 標準偏差	$\pm70.2\times10^{-6}$	
全方向の標準偏差			$\pm59.4\times10^{-6}$					

※青色はOCデータによる黄色はトンプソン検定による棄却データ

図 7-9(1) 初期応力解析結果（12OC2-3）

6応力成分

σx :	10.04	(±1.28)	MPa	τxy :	-1.72	(±0.68)	MPa
σy :	9.22	(±1.88)	MPa	τyz :	1.36	(±0.83)	MPa
σz :	10.66	(±0.88)	MPa	τzx :	0.01	(±0.56)	MPa

圧縮応力を正とする ※括弧内は標準偏差
軸(+)を E　y軸(+)を N　z軸(+)を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力	方向余弦 *l*	*m*	*n*	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 : 12.04 MPa	-0.520	0.608	0.600	131	37
σ_2 : 10.41 MPa	0.672	-0.141	0.727	-12	47
σ_3 : 7.48 MPa	-0.526	-0.781	0.335	236	20

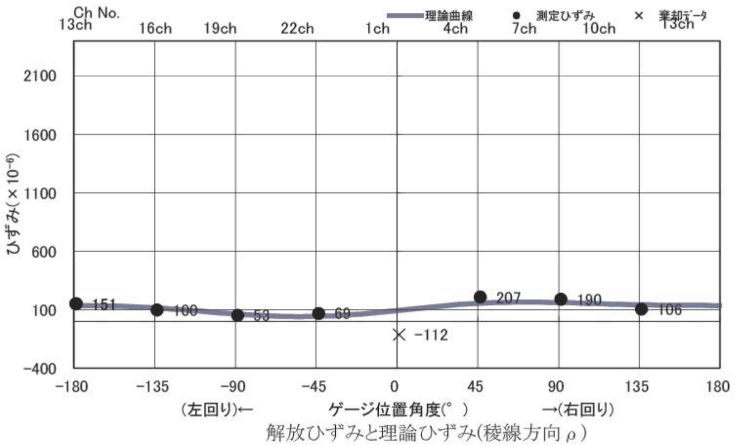
方位角:水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角:水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

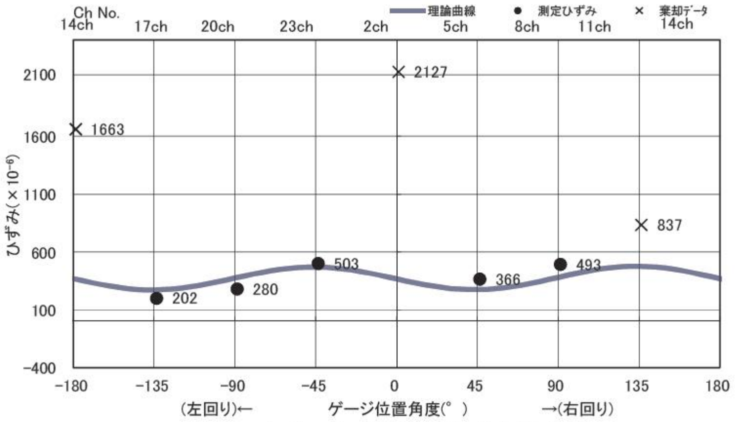
平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	11.40 MPa	7.87 MPa	-38
y-z面	11.48 MPa	8.41 MPa	59
z-x面	10.66 MPa	10.04 MPa	1

θ:xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とする σ_1'の角度

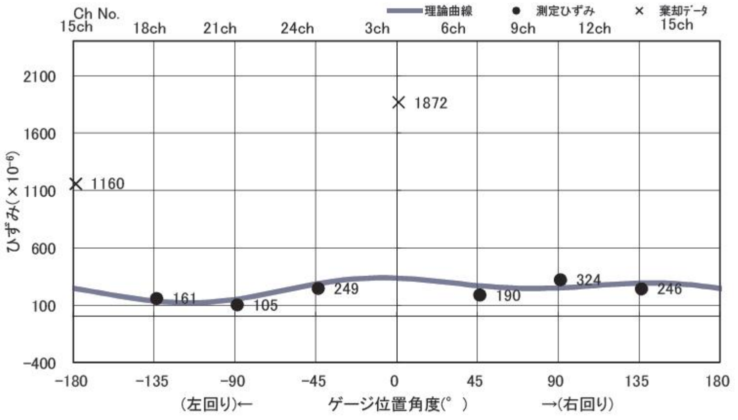
図 7-9(2) 初期応力解析結果（12OC2-3）



解放ひずみと理論ひずみ(稜線方向 ρ)



解放ひずみと理論ひずみ(円周方向 θ)



解放ひずみと理論ひずみ(斜め方向 φ)

図 7-9(3) 初期応力解析結果（12OC2-3）

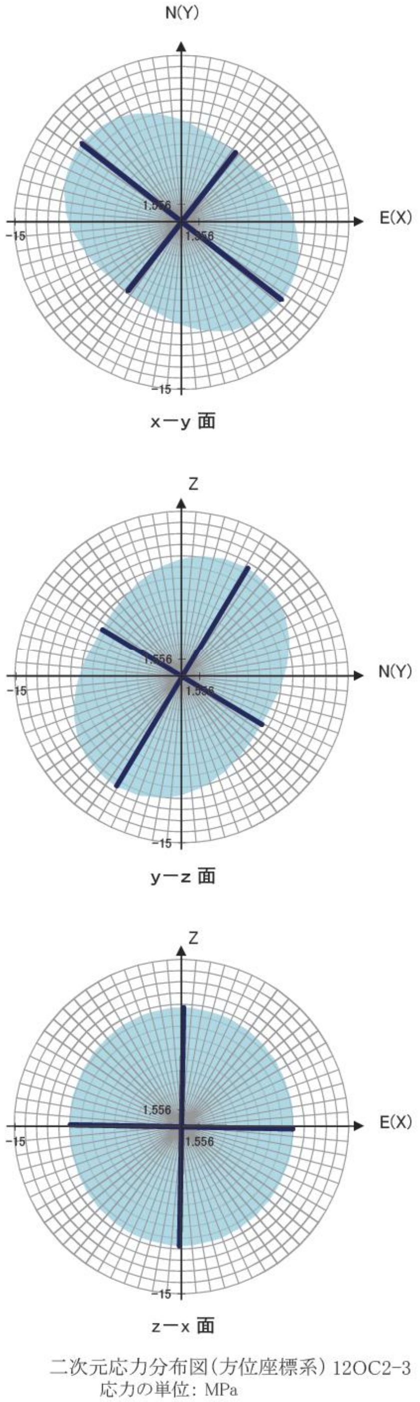
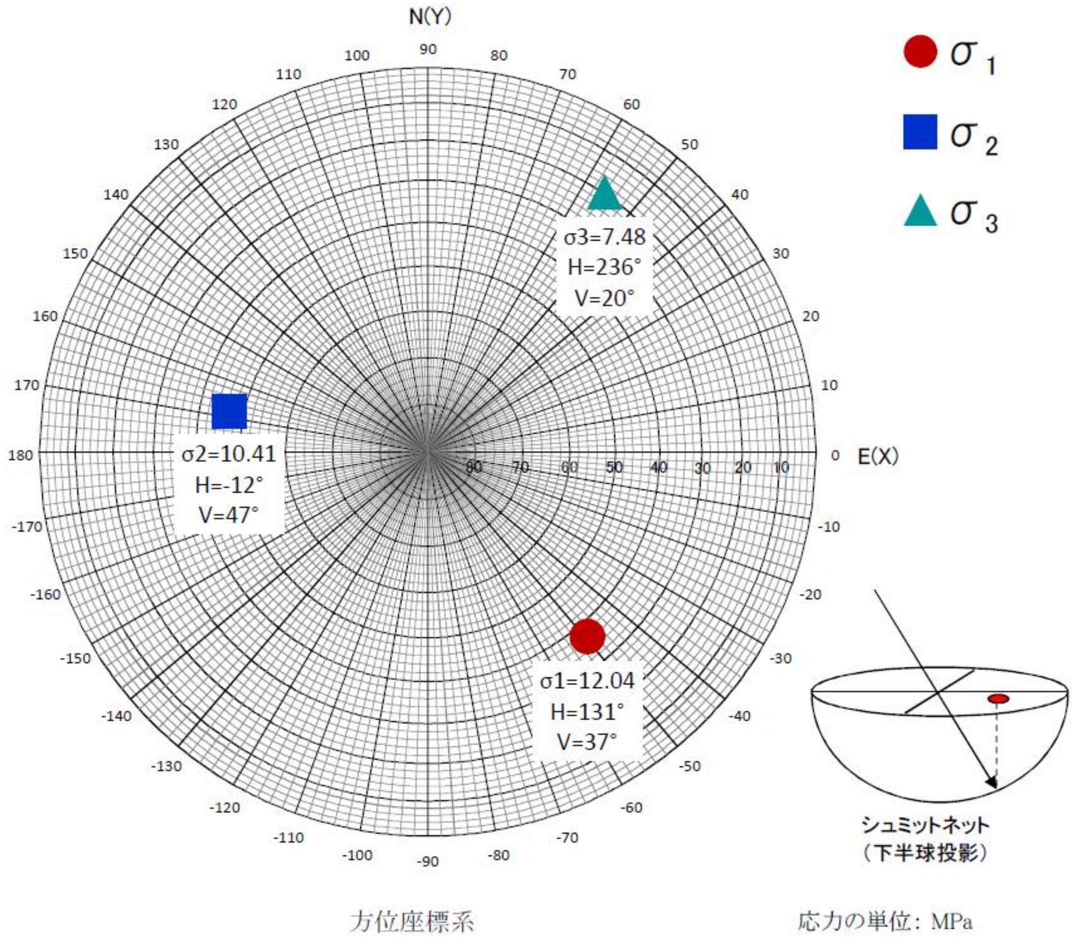


図 7-9(4) 初期応力解析結果（12OC2-3）



三次元主応力のシュミットネット投影図　　12OC2-3

図 7-9(5) 初期応力解析結果（12OC2-3）

12OC2-4

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

方位座標系

プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI29
測定№	12OC2-4
測定日	2012年8月5日
測定深度	21.750 m
岩石のヤング率	59,400 MPa
岩石のポアソン比	0.16
ゲージ回転角	179 °
削孔角度	上向き 5 °
孔口方向とNの角度	110.2 ° (N軸から左回りを正とする)

解放ひずみ一覧

ρゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	θゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	φゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み
1	190×10^{-6} (57)	1	2	130×10^{-6} (---)	0	3	55×10^{-6} (---)	0
4	77×10^{-6} (-40)	1	5	213×10^{-6} (-14)	1	6	165×10^{-6} (38)	1
7	23×10^{-6} (-51)	1	8	256×10^{-6} (16)	1	9	80×10^{-6} (-9)	1
10	69×10^{-6} (37)	1	11	251×10^{-6} (-3)	1	12	68×10^{-6} (-36)	1
13	156×10^{-6} (---)	0	14	210×10^{-6} (---)	0	15	182×10^{-6} (38)	1
16	54×10^{-6} (10)	1	17	46×10^{-6} (---)	0	18	156×10^{-6} (-27)	1
19	65×10^{-6} (-16)	1	20	44×10^{-6} (---)	0	21	108×10^{-6} (---)	0
22	117×10^{-6} (---)	0	23	192×10^{-6} (---)	0	24	125×10^{-6} (---)	0
ρ方向 標準偏差	$\pm59.0\times10^{-6}$		θ方向 標準偏差	$\pm18.2\times10^{-6}$		φ方向 標準偏差	$\pm40.2\times10^{-6}$	
全方向の標準偏差				$\pm33.6\times10^{-6}$				

※青色はOCデータによる黄色はトンプソン検定による棄却データ

図 7-10(1) 初期応力解析結果（12OC2-4）

6応力成分

σx :	6.22	(±1.01)	MPa	τxy :	-0.41	(±0.58)	MPa
σy :	7.68	(±1.35)	MPa	τyz :	-0.50	(±0.72)	MPa
σz :	7.41	(±0.87)	MPa	τzx :	-2.17	(±0.55)	MPa

圧縮応力を正とする ※括弧内は標準偏差
軸（+）を E　　y軸（+）を N　　z軸（+）を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力		方向余弦 *l*	*m*	*n*	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 :	9.08 MPa	-0.590	-0.111	0.799	191	53
σ_2 :	7.79 MPa	0.220	-0.975	0.027	-77	2
σ_3 :	4.44 MPa	0.777	0.192	0.600	14	37

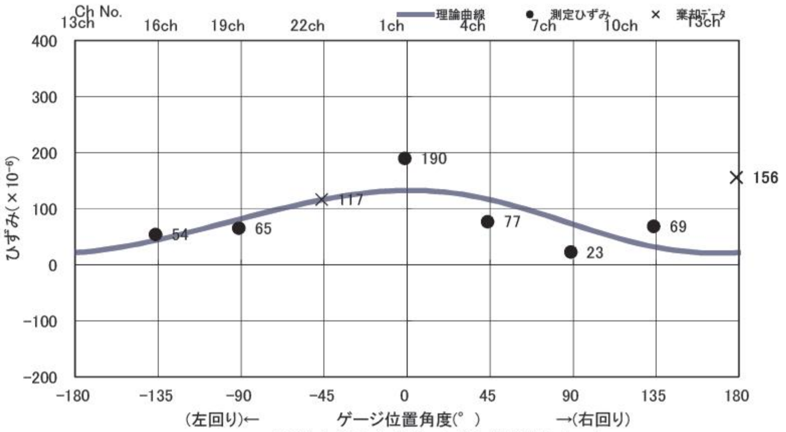
方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

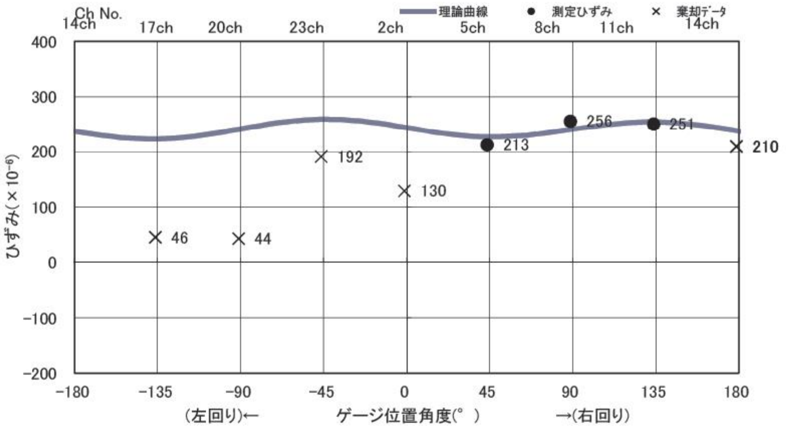
平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	7.79 MPa	6.11 MPa	105
y-z面	8.06 MPa	7.03 MPa	-37
z-x面	9.06 MPa	4.57 MPa	-37

θ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とする σ_1'の角度

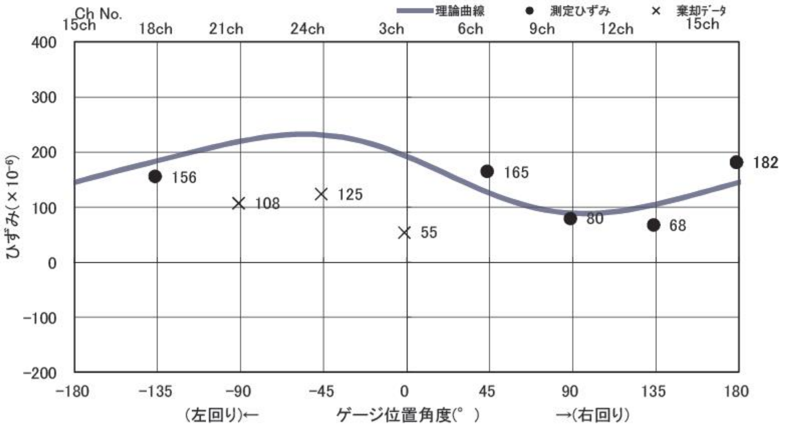
図 7-10(2) 初期応力解析結果（12OC2-4）



解放ひずみと理論ひずみ(稜線方向ρ)



解放ひずみと理論ひずみ(円周方向θ)



解放ひずみと理論ひずみ(斜め方向φ)

図 7-10(3) 初期応力解析結果（12OC2-4）

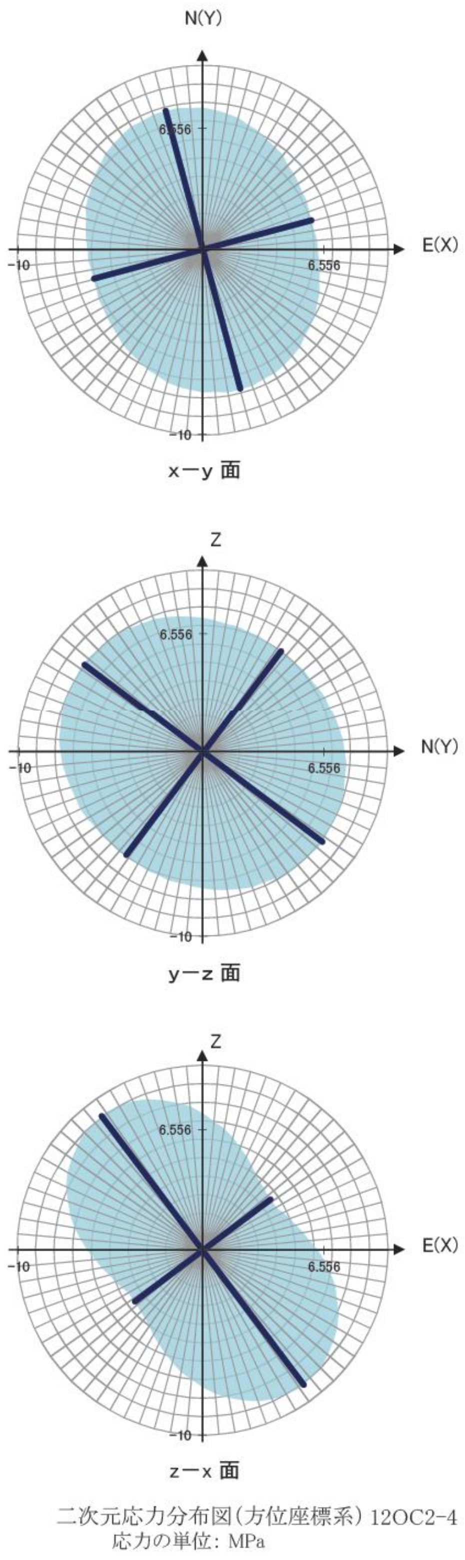


図 7-10(4) 初期応力解析結果（12OC2-4）

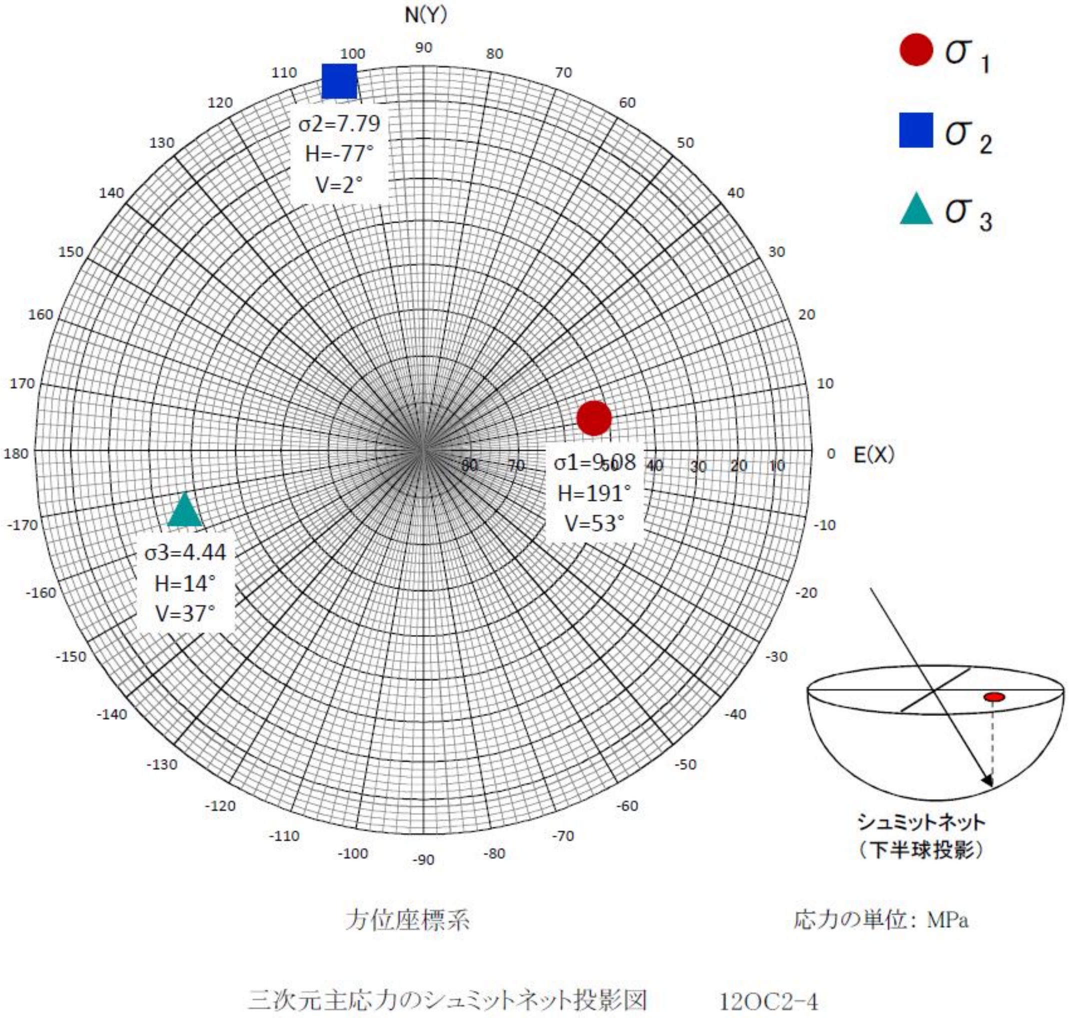


図 7-10(5) 初期応力解析結果（12OC2-4）

12OC2-5

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

方位座標系

プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI29
測定№	12OC2-5
測定日	2012年8月6日
測定深度	22.120 m
岩石のヤング率	36,900 MPa
岩石のポアソン比	0.25
ゲージ回転角	180 °
削孔角度	上向き 5 °
孔口方向とNの角度	110.2 ° (N軸から左回りを正とする)

解放ひずみ一覧

ρゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	θゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	φゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み
1	108×10^{-6} (-31)	1	2	133×10^{-6} (---)	0	3	158×10^{-6} (---)	0
4	48×10^{-6} (---)	0	5	2265×10^{-6} (---)	0	6	1427×10^{-6} (---)	0
7	-197×10^{-6} (---)	0	8	1324×10^{-6} (---)	0	9	1025×10^{-6} (---)	0
10	188×10^{-6} (2)	1	11	310×10^{-6} (-10)	1	12	82×10^{-6} (15)	1
13	155×10^{-6} (---)	0	14	903×10^{-6} (---)	0	15	472×10^{-6} (---)	0
16	-13×10^{-6} (---)	0	17	5×10^{-6} (---)	0	18	-5×10^{-6} (---)	0
19	8×10^{-6} (---)	0	20	59×10^{-6} (-19)	1	21	102×10^{-6} (15)	1
22	574×10^{-6} (---)	0	23	176×10^{-6} (---)	0	24	250×10^{-6} (27)	1
ρ方向 標準偏差	$\pm 52.9 \times 10^{-6}$		θ方向 標準偏差	$\pm 21.6 \times 10^{-6}$		φ方向 標準偏差	$\pm 24.4 \times 10^{-6}$	
全方向の標準偏差				$\pm 20.8 \times 10^{-6}$				

※青色はOCデータによる黄色はトンプソン検定による棄却データ

図 7-11(1) 初期応力解析結果（12OC2-5）

6応力成分

σx	:	10.39	(±1.39)	MPa	τxy	:	-1.39	(±0.77) MPa
σy	:	6.71	(±3.00)	MPa	τyz	:	0.33	(±0.95) MPa
σz	:	4.28	(±0.92)	MPa	τzx	:	-0.37	(±0.30) MPa

圧縮応力を正とする ※括弧内は標準偏差
軸(+)を E　　y軸(+)を N　　z軸(+)を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力	方向余弦 *l*	*m*	*n*	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 : 10.89 MPa	-0.945	0.321	0.070	161	4
σ_2 : 6.26 MPa	0.327	0.940	0.097	71	6
σ_3 : 4.23 MPa	0.034	-0.115	0.993	-73	83

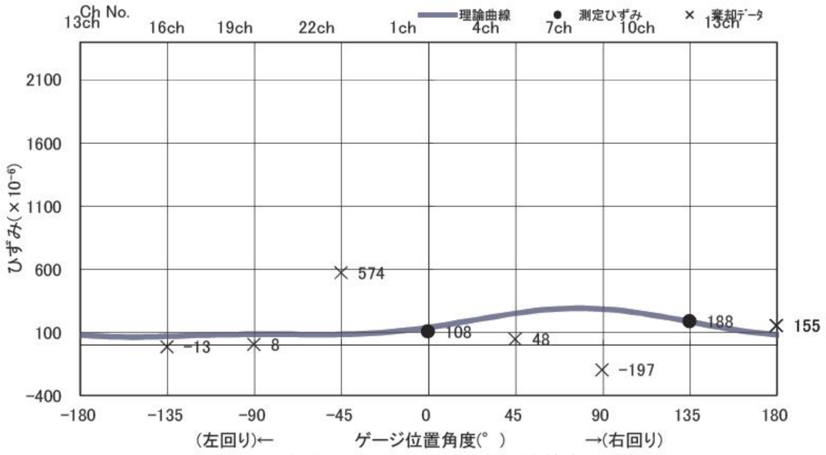
方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

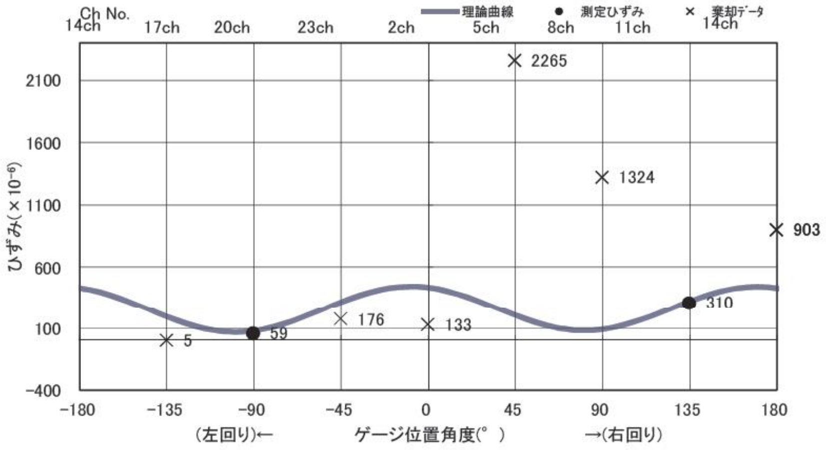
平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	10.86 MPa	6.24 MPa	-19
y-z面	6.76 MPa	4.23 MPa	8
z-x面	10.41 MPa	4.26 MPa	93

θ ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とする σ_1' の角度

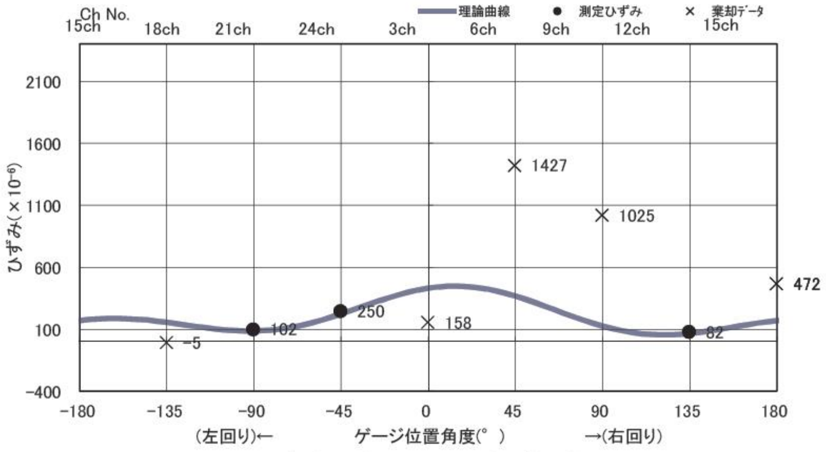
図 7-11(2) 初期応力解析結果（12OC2-5）



解放ひずみと理論ひずみ(稜線方向ρ)

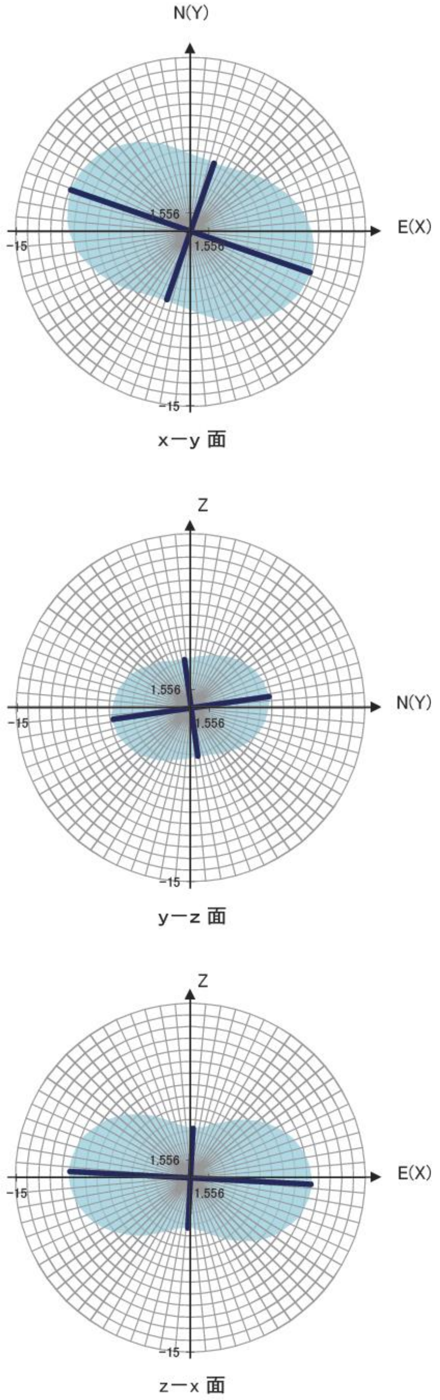


解放ひずみと理論ひずみ(円周方向θ)



解放ひずみと理論ひずみ(斜め方向φ)

図 7-11(3) 初期応力解析結果（12OC2-5）



二次元応力分布図（方位座標系）12OC2-5
応力の単位: MPa

図 7-11(4) 初期応力解析結果（12OC2-5）

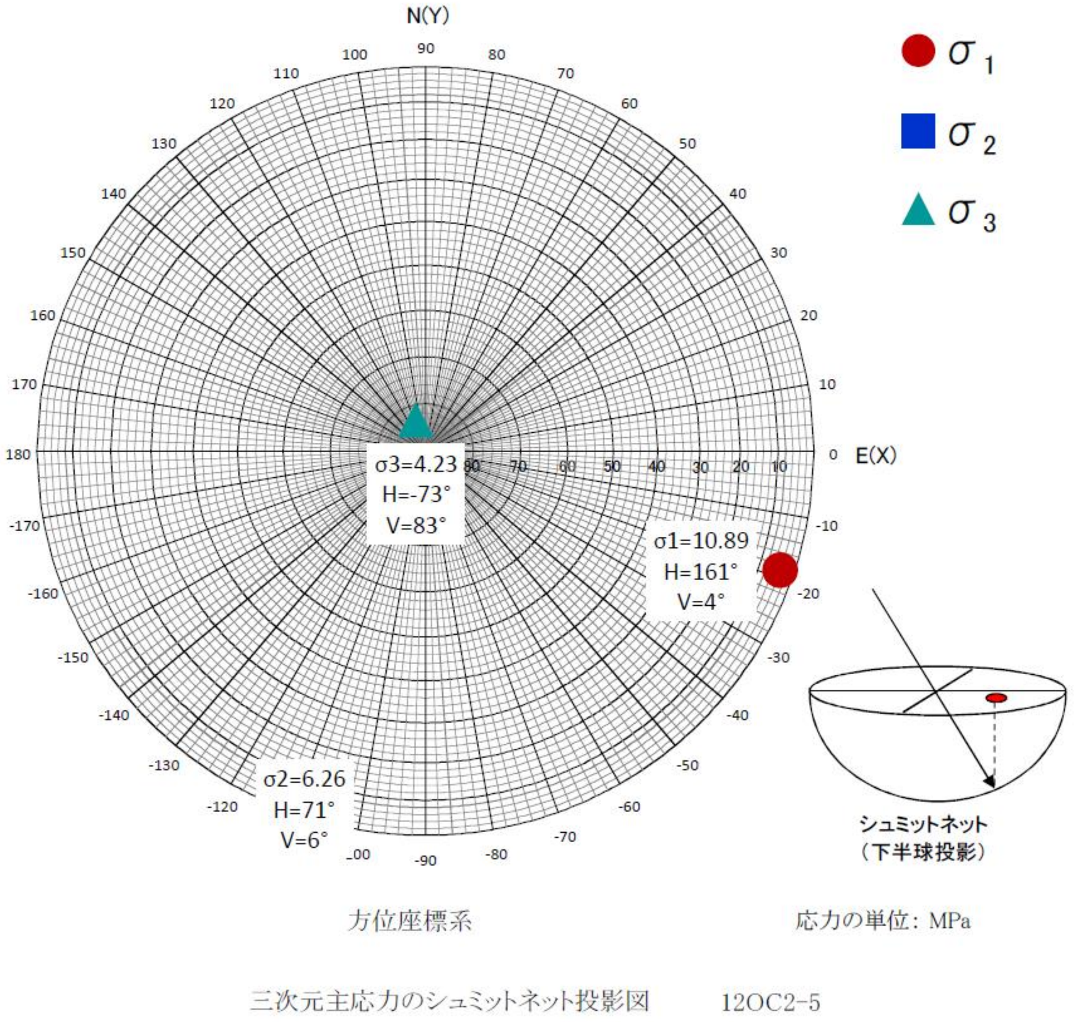


図 7-11(5) 初期応力解析結果（12OC2-5）

12OC2-6

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

方位座標系

プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI29
測定№	12OC2-6
測定日	2012年8月7日
測定深度	22.960 m
岩石のヤング率	59,600 MPa
岩石のポアソン比	0.21
ゲージ回転角	180 °
削孔角度	上向き 5 °
孔口方向とNの角度	110.2 ° (N軸から左回りを正とする)

解放ひずみ一覧

ρゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	θゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	φゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み
1	19×10^{-6} (4)	1	2	196×10^{-6} (27)	1	3	129×10^{-6} (12)	1
4	36×10^{-6} (-3)	1	5	43×10^{-6} (-1)	1	6	50×10^{-6} (-20)	1
7	28×10^{-6} (-9)	1	8	18×10^{-6} (6)	1	9	14×10^{-6} (26)	1
10	-12×10^{-6} (-13)	1	11	120×10^{-6} (-16)	1	12	10×10^{-6} (-11)	1
13	-16×10^{-6} (-6)	1	14	180×10^{-6} (13)	1	15	94×10^{-6} (-5)	1
16	45×10^{-6} (27)	1	17	24×10^{-6} (-18)	1	18	67×10^{-6} (-9)	1
19	27×10^{-6} (-6)	1	20	27×10^{-6} (16)	1	21	-4×10^{-6} (-19)	1
22	29×10^{-6} (13)	1	23	117×10^{-6} (-20)	1	24	66×10^{-6} (13)	1
ρ方向標準偏差	$\pm13.5\times10^{-6}$		θ方向標準偏差	$\pm22.8\times10^{-6}$		φ方向標準偏差	$\pm19.4\times10^{-6}$	
全方向の標準偏差				$\pm15.3\times10^{-6}$				

※青色はOCデータによる黄色はトンプソン検定による棄却データ

図 7-12(1) 初期応力解析結果（12OC2-6）

6応力成分

σx ：	2.09	(±0.33)	MPa	τxy ：	-0.93	(±0.23)	MPa
σy ：	3.85	(±0.36)	MPa	τyz ：	0.57	(±0.21)	MPa
σz ：	1.48	(±0.24)	MPa	τzx ：	-0.69	(±0.16)	MPa

圧縮応力を正とする ※括弧内は標準偏差
軸（＋）を E　　y軸（＋）を N　　z軸（＋）を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力		方向余弦 *l*	*m*	*n*	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 :	4.47 MPa	-0.417	0.870	0.262	116	15
σ_2 :	1.92 MPa	-0.722	-0.492	0.486	214	29
σ_3 :	1.03 MPa	0.552	0.013	0.834	1	57

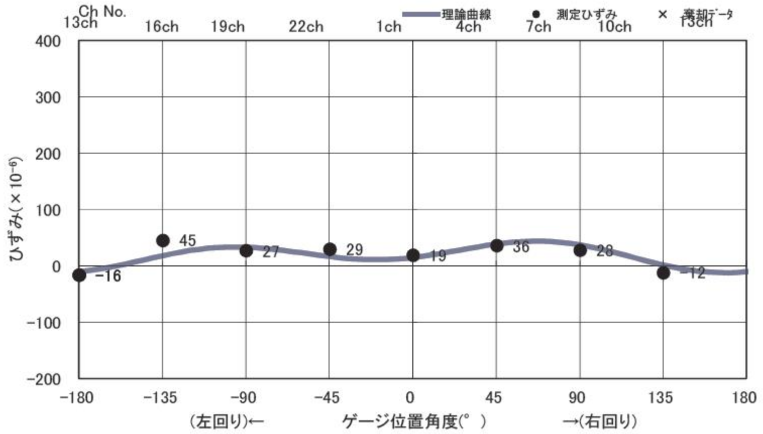
方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

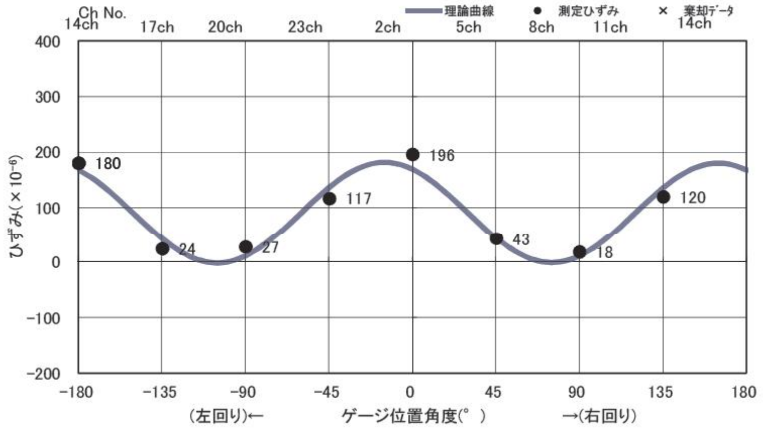
平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	4.25 MPa	1.69 MPa	113
y-z面	3.98 MPa	1.34 MPa	13
z-x面	2.53 MPa	1.03 MPa	123

θ ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とする σ_1' の角度

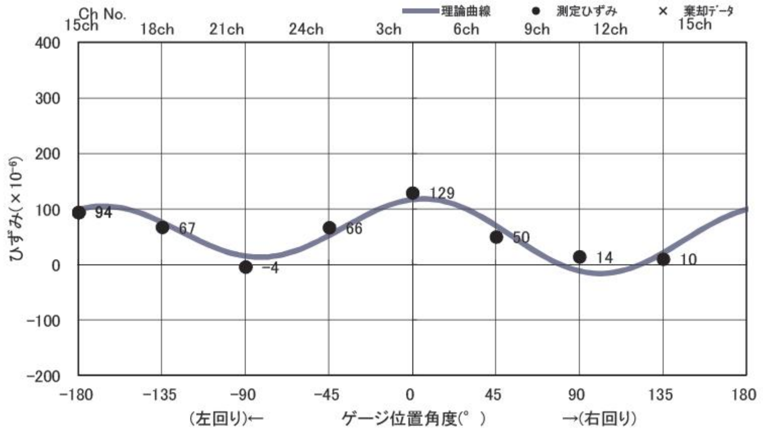
図 7-12(2) 初期応力解析結果（12OC2-6）



解放ひずみと理論ひずみ(稜線方向ρ)

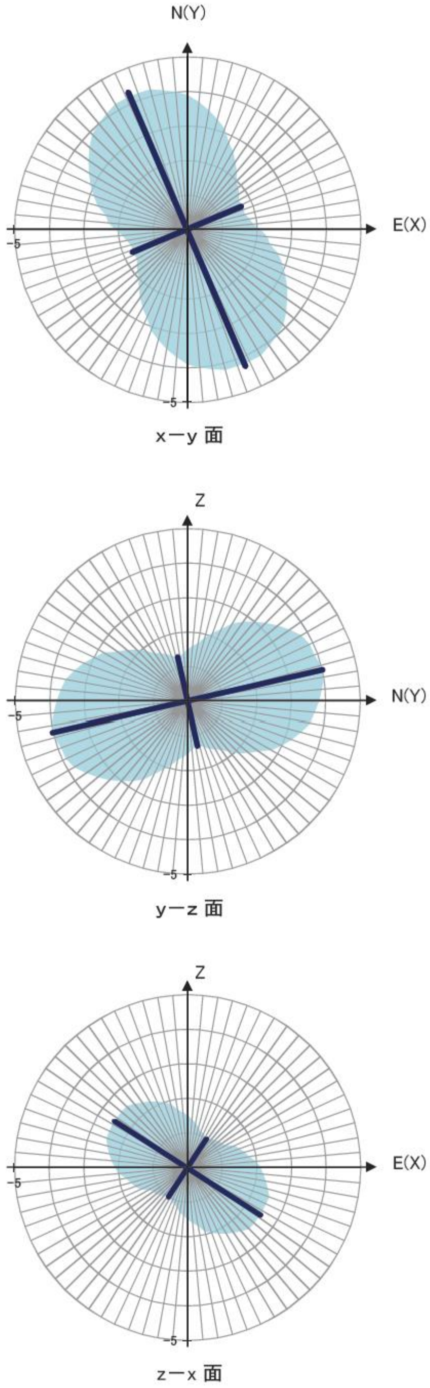


解放ひずみと理論ひずみ(円周方向θ)



解放ひずみと理論ひずみ(斜め方向φ)

図 7-12(3) 初期応力解析結果（12OC2-6）



二次元応力分布図（方位座標系）12OC2-6
応力の単位: MPa

図 7-12(4) 初期応力解析結果（12OC2-6）

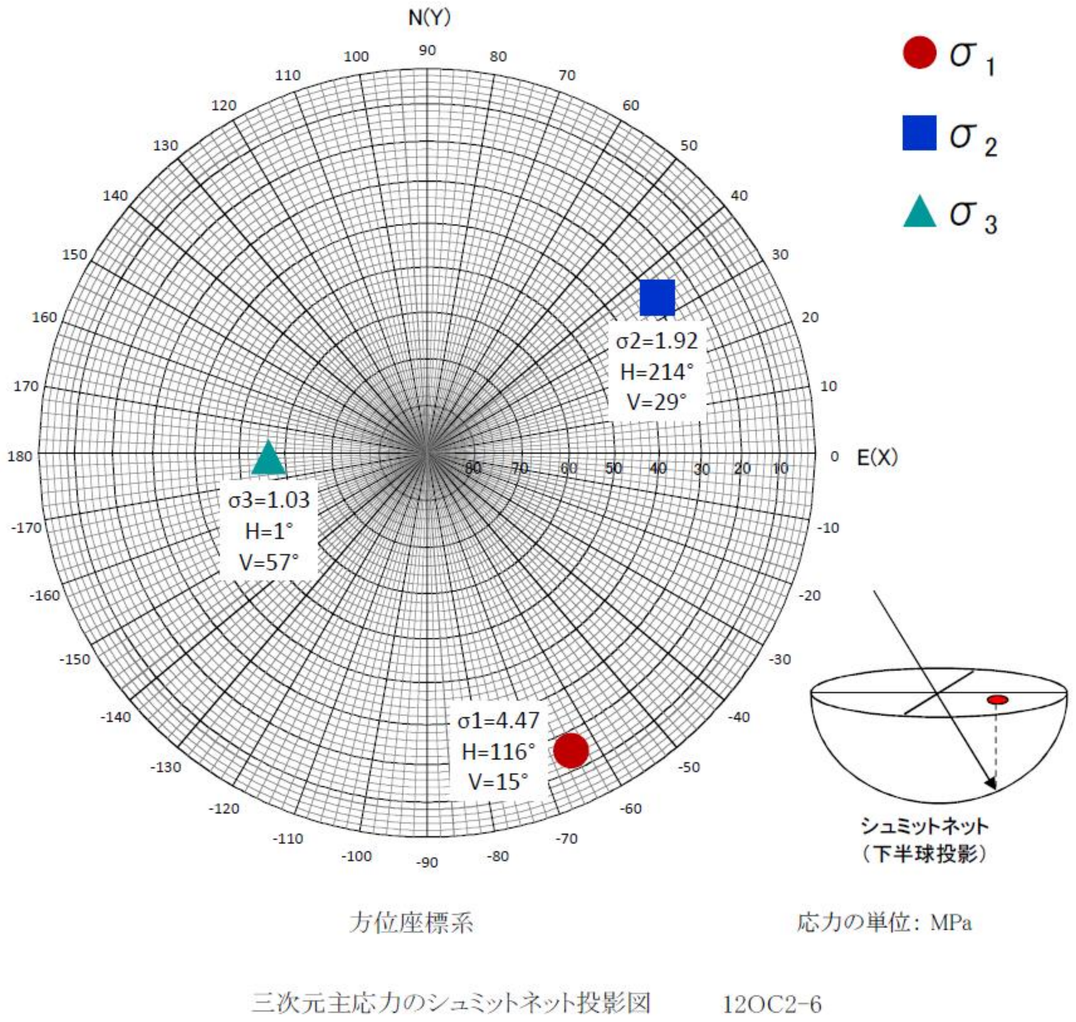


図 7-12(5) 初期応力解析結果（12OC2-6）

資料８　初期応力解析結果（孔別）
（６応力成分の平均、全ひずみの最小二乗）

120C1（6 応力成分の平均）

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

方位座標系

プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI28
測定№	12OC1 （6応力成分平均）
測定日	
測定深度	
岩石のヤング率	
岩石のポアソン比	
ゲージ回転角	
削孔角度	上向き 5°
孔口方向とNの角度	15.2° (N軸から左回りを正とする)

(計算済み)6応力成分

σx :	11.64	MPa	τxy :	-5.15	MPa
σy :	13.80	MPa	τyz :	-0.13	MPa
σz :	7.85	MPa	τzx :	0.26	MPa

圧縮応力を正とする

x軸(+)を E　　y軸(+)を N　　z軸(+)を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力	方向余弦 *l*	*m*	*n*	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 : 17.98 MPa	0.630	-0.776	0.026	-51	2
σ_2 : 7.88 MPa	0.198	0.193	0.961	44	74
σ_3 : 7.42 MPa	-0.751	-0.601	0.275	219	16

方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度

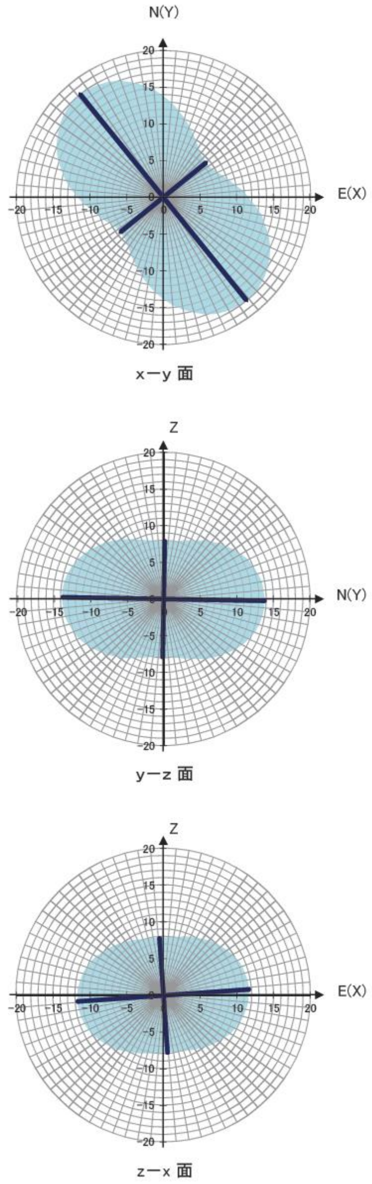
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	17.98 MPa	7.46 MPa	129
y-z面	13.80 MPa	7.85 MPa	-1
z-x面	11.66 MPa	7.83 MPa	86

θ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とするσ_1'の角度

図８-1(1) 初期応力解析結果（12OC1、６応力成分の平均）



二次元応力分布図（方位座標系）12OC1（6応力成分平均）
応力の単位：MPa

図 8-1(2) 初期応力解析結果（12OC1、6 応力成分の平均）

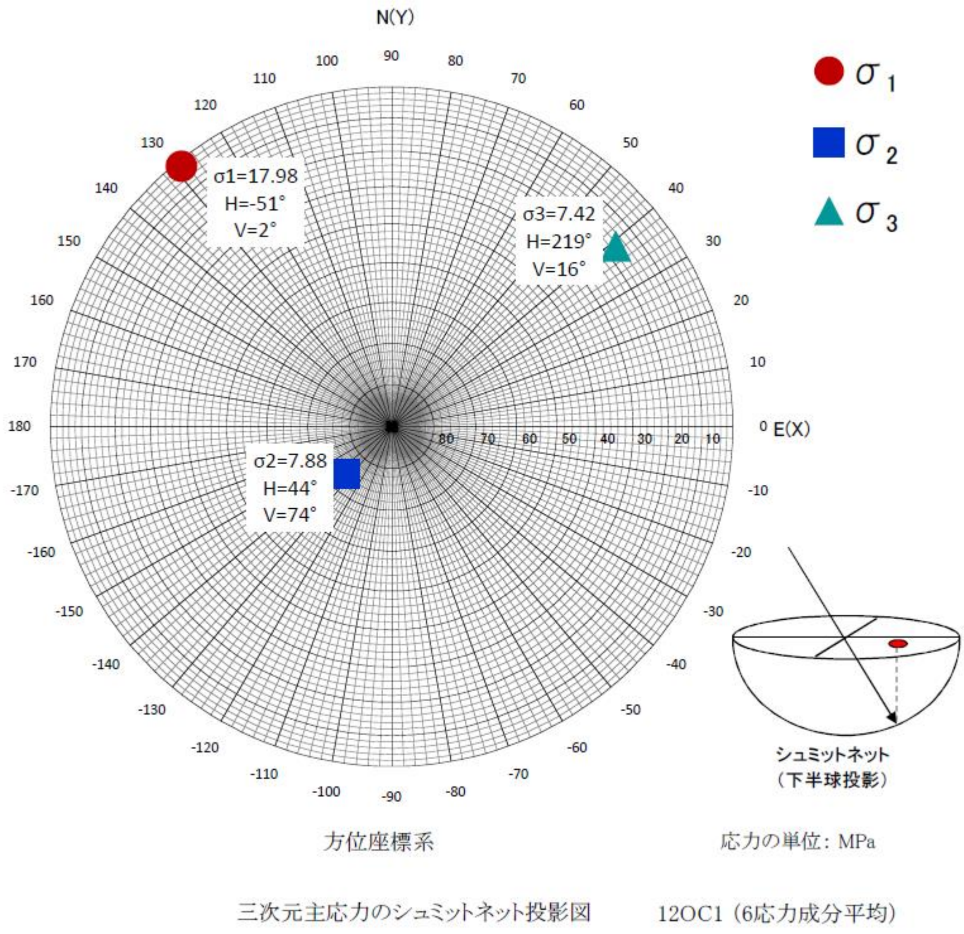


図８-1(３) 初期応力解析結果（12OC1、６応力成分の平均）

120C2（6 応力成分の平均）

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

	方位座標系
プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI29
測定№	12OC2 （6応力成分平均）
測定日	
測定深度	
岩石のヤング率	
岩石のポアソン比	
ゲージ回転角	
削孔角度	上向き 5°
孔口方向とNの角度	110.2° (N軸から左回りを正とする)

(計算済み)6応力成分

σx ：	6.65	MPa	τxy ：	-1.32	MPa
σy ：	7.63	MPa	τyz ：	1.38	MPa
σz ：	7.19	MPa	τzx ：	-1.53	MPa

圧縮応力を正とする
軸(+)を E　　y軸(+)を N　　z軸(+)を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力		方向余弦		方位角	傾斜角
	l	m	n	H(°)	V(°)
σ_1 : 10.01 MPa	-0.514	0.626	0.586	129	36
σ_2 : 6.11 MPa	-0.303	-0.772	0.559	249	34
σ_3 : 5.35 MPa	0.803	0.109	0.586	8	36

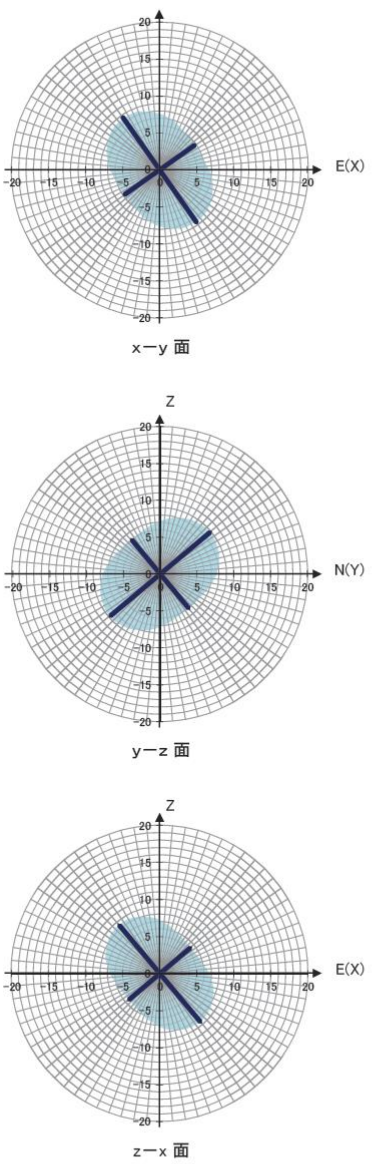
方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

平面	σ₁'	σ₂'	θ (°)
x-y面	8.55 MPa	5.73 MPa	125
y-z面	8.81 MPa	6.01 MPa	40
z-x面	8.48 MPa	5.36 MPa	-40

θ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とするσ_1'の角度

図 8-2(1) 初期応力解析結果（12OC2、６応力成分の平均）



二次元応力分布図(方位座標系) 12OC2 (6応力成分平均)
応力の単位: MPa

図 8-2(2) 初期応力解析結果（12OC2、6 応力成分の平均）

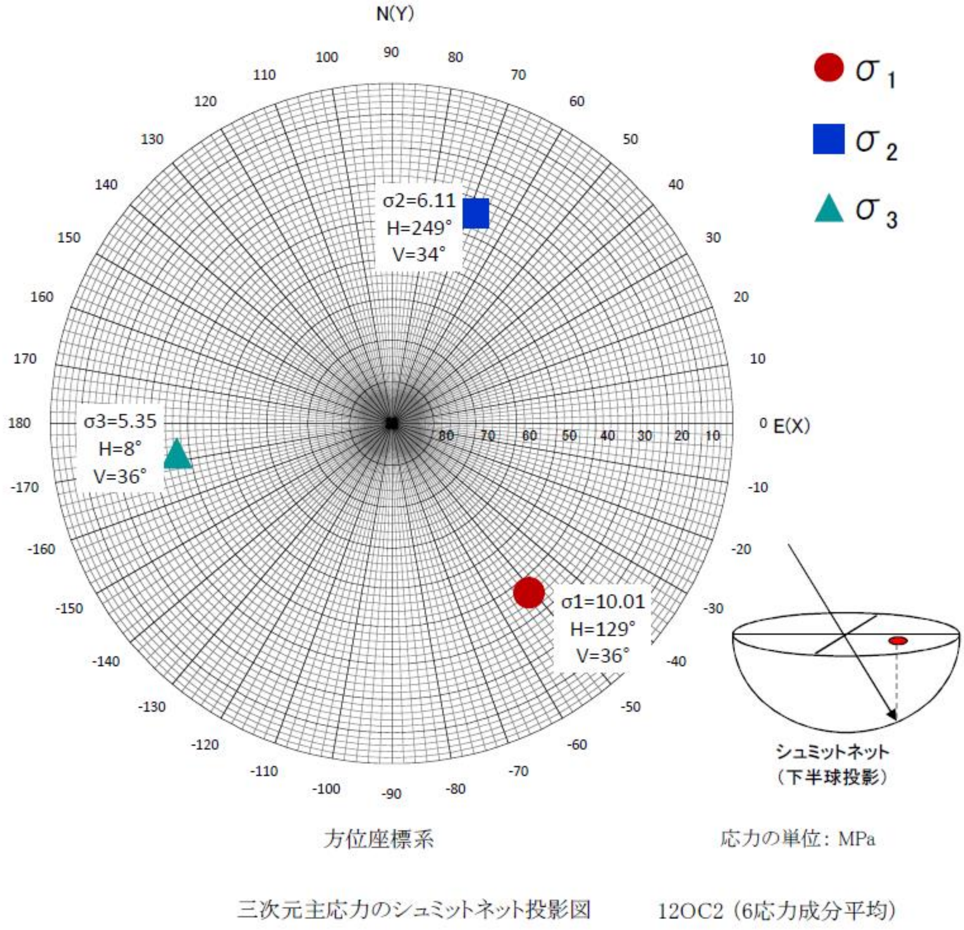


図 8-2(3) 初期応力解析結果（12OC2、６応力成分の平均）

120C1（全ひずみの最小二乗）

ひずみ合成三次元応力解析結果【24成分・SI単位】　方位基準座標

件　名	瑞浪初期応力測定（深度300m）ひずみ合成による平均			削孔方向		S15.2° E/上向き5°	
孔番	12MI28	測点No.	12OC1全平均	ヤング率E_0	51,900MPa	ポアソン比ν_0	(0.21)
備考：見掛け解放ひずみはE_0の等方弾性体に置き換えた時の見掛け上の解放ひずみν_0は計算に使用しない							

※青はOC挙動により，黄色は各測点でのトンプソン検定により棄却

12OC1-1 見掛け解放ひずみ　E1=50200GPa　ν1=0.18　ゲージ回転角178.9°

ρゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	θゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	ψゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み
1	192 μ (---)	0	2	192 μ (-175)	1	3	62 μ (-287)	1
4	50 μ (-179)	1	5	630 μ (278)	1	6	118 μ (-306)	1
7	65 μ (---)	0	8	608 μ (401)	1	9	284 μ (-11)	1
10	34 μ (-237)	1	11	200 μ (-25)	1	12	152 μ (18)	1
13	17 μ (-152)	1	14	213 μ (-155)	1	15	92 μ (-29)	1
16	30 μ (-66)	1	17	627 μ (283)	1	18	351 μ (184)	1
19	114 μ (25)	1	20	469 μ (---)	0	21	439 μ (---)	0
22	273 μ (165)	1	23	172 μ (-43)	1	24	354 μ (154)	1

12OC1-2 見掛け解放ひずみ　E2=48300GPa　ν2=0.2　ゲージ回転角179.3°

ρゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	θゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	ψゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み
1	301 μ (---)	0	2	36 μ (-330)	1	3	104 μ (-245)	1
4	-249 μ (---)	0	5	307 μ (---)	0	6	145 μ (---)	0
7	-224 μ (---)	0	8	150 μ (---)	0	9	-71 μ (---)	0
10	-157 μ (---)	0	11	123 μ (---)	0	12	-134 μ (---)	0
13	-97 μ (---)	0	14	-139 μ (---)	0	15	-131 μ (---)	0
16	-273 μ (---)	0	17	1215 μ (---)	0	18	377 μ (---)	0
19	605 μ (516)	1	20	-49 μ (-244)	1	21	235 μ (75)	1
22	498 μ (---)	0	23	51 μ (-164)	1	24	814 μ (---)	0

12OC1-3 見掛け解放ひずみ　E3=56500GPa　ν3=0.2　ゲージ回転角179.9°

ρゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	θゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	ψゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み
1	82 μ (---)	0	2	392 μ (---)	0	3	-453 μ (---)	0
4	-19 μ (---)	0	5	7 μ (---)	0	6	2 μ (---)	0
7	21 μ (---)	0	8	-27 μ (---)	0	9	-7 μ (---)	0
10	88 μ (-183)	1	11	741 μ (516)	1	12	418 μ (284)	1
13	72 μ (-97)	1	14	400 μ (32)	1	15	464 μ (---)	0
16	335 μ (239)	1	17	316 μ (-28)	1	18	668 μ (501)	1
19	406 μ (317)	1	20	-32 μ (-226)	1	21	126 μ (-34)	1
22	-319 μ (---)	0	23	390 μ (---)	0	24	-51 μ (-251)	1

12OC1-4 見掛け解放ひずみ　E4=55600GPa　ν4=0.2　ゲージ回転角178.3°

ρゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	θゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	ψゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み
1	82 μ (---)	0	2	554 μ (188)	1	3	195 μ (-154)	1
4	97 μ (-132)	1	5	342 μ (-10)	1	6	163 μ (-261)	1
7	74 μ (-224)	1	8	135 μ (-72)	1	9	72 μ (-224)	1
10	11 μ (-260)	1	11	259 μ (34)	1	12	124 μ (-10)	1
13	130 μ (---)	0	14	504 μ (136)	1	15	430 μ (309)	1
16	201 μ (105)	1	17	379 μ (36)	1	18	515 μ (348)	1
19	343 μ (254)	1	20	102 μ (-93)	1	21	346 μ (---)	0
22	184 μ (---)	0	23	290 μ (75)	1	24	-41 μ (---)	0

図 8-3(1) 初期応力解析結果（12OC1、全ひずみの最小二乗）

ひずみ合成三次元応力解析結果【24成分・SI単位】　　方位基準座標

件　名	瑞浪初期応力測定（深度300m）ひずみ合成による平均			削孔方向		S15.2° E/上向き5°	
孔番	12MI28	測点No.	12OC1全平均	ヤング率E₀	51,900MPa	ポアソン比ν	0.21

※青はOC挙動により、黄色は各測点でのトンプソン検定により棄却

12OC1-5 見掛け解放ひずみ　E5=58900GPa　ν5=0.23　ゲージ回転角178.7°

ρゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	θゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	ψゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み
1	28 μ (---)	0	2	376 μ (0)	1	3	124 μ (0)	1
4	373 μ (0)	1	5	371 μ (0)	1	6	160 μ (0)	1
7	259 μ (0)	1	8	224 μ (0)	1	9	186 μ (0)	1
10	355 μ (-183)	1	11	289 μ (516)	1	12	393 μ (284)	1
13	220 μ (-97)	1	14	350 μ (32)	1	15	447 μ (0)	1
16	159 μ (---)	0	17	724 μ (---)	0	18	720 μ (---)	0
19	449 μ (317)	1	20	209 μ (-226)	1	21	339 μ (-34)	1
22	144 μ (---)	0	23	125 μ (---)	0	24	56 μ (---)	0

12OC1-6 見掛け解放ひずみ　E6=35800GPa　ν6=0.33　ゲージ回転角185.2°

ρゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	θゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み	ψゲージ No.	解放ひずみ (残差)	重み
1	70 μ (0)	1	2	-24 μ (---)	0	3	-2 μ (---)	0
4	23 μ (-132)	1	5	125 μ (-10)	1	6	-32 μ (-261)	1
7	-4 μ (-224)	1	8	78 μ (---)	0	9	45 μ (-224)	1
10	6 μ (-260)	1	11	39 μ (34)	1	12	73 μ (-10)	1
13	-77 μ (---)	0	14	56 μ (---)	0	15	95 μ (---)	0
16	80 μ (105)	1	17	135 μ (---)	0	18	88 μ (---)	0
19	41 μ (254)	1	20	217 μ (-93)	1	21	141 μ (0)	1
22	104 μ (0)	1	23	58 μ (75)	1	24	183 μ (---)	0
ρ方向 標準偏差	±253.5 μ		θ方向 標準偏差	±281.3 μ		ψ方向 標準偏差	±282.2 μ	
全方向の測定ひずみ標準偏差				±225.3 μ				

図 8-3(2) 初期応力解析結果（12OC1、全ひずみの最小二乗）

6応力成分

σx :	12.45	(±1.59)	MPa	τxy :	-3.78	(±1.44)	MPa
σy :	11.94	(±2.41)	MPa	τyz :	-0.34	(±1.15)	MPa
σz :	8.03	(±1.51)	MPa	τzx :	-0.58	(±1.20)	MPa

圧縮応力を正とする

x軸（+）を E　　y軸（+）を N　　z軸（+）を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力		方向余弦 *l*	*m*	*n*	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 :	15.99 MPa	-0.731	0.682	0.024	137	1
σ_2 :	8.89 MPa	-0.535	-0.596	0.599	228	37
σ_3 :	7.54 MPa	0.422	0.425	0.801	45	53

方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度

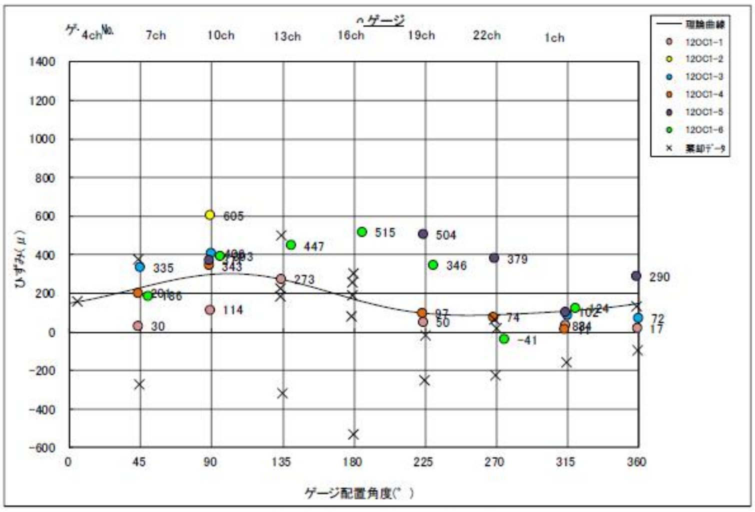
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

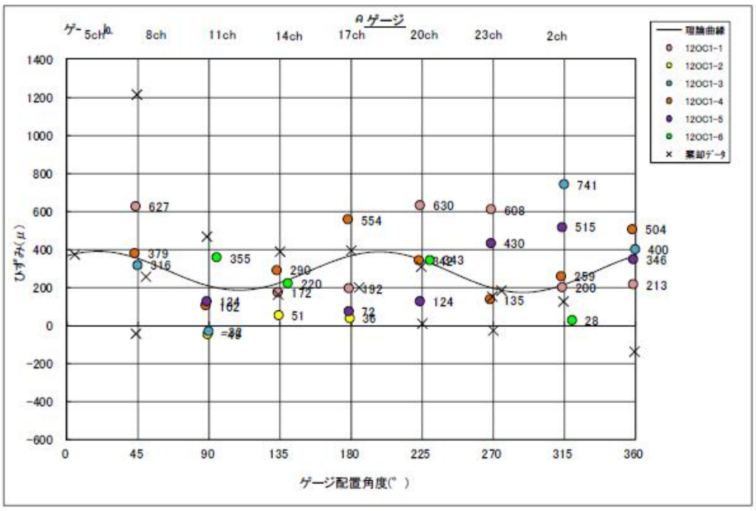
平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	15.99 MPa	8.40 MPa	-43
y-z面	11.97 MPa	8.00 MPa	-5
z-x面	12.52 MPa	7.95 MPa	97

θ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とする σ_1' の角度

図 8-3(3) 初期応力解析結果（12OC1、全ひずみの最小二乗）

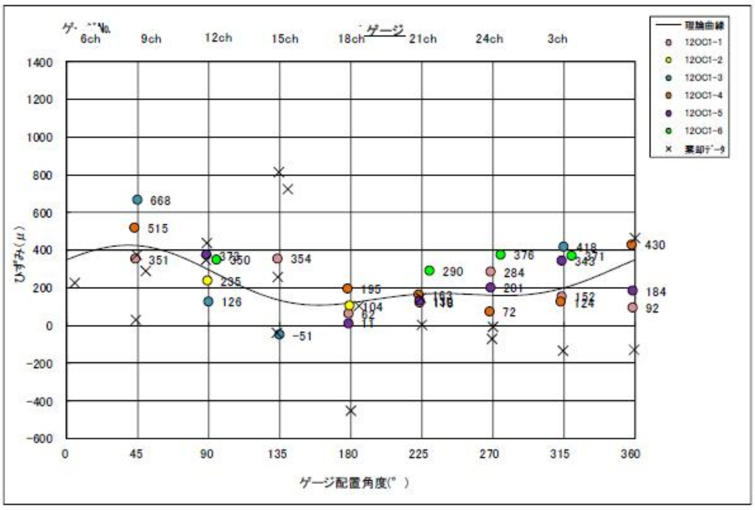


〔ρ 方 向 ひ ず み 分 布 図〕



〔θ 方 向 ひ ず み 分 布 図〕

図 8-3(4) 初期応力解析結果（12OC1、全ひずみの最小二乗）



〔ψ方向ひずみ分布図〕

図 8-3(5) 初期応力解析結果（12OC1、全ひずみの最小二乗）

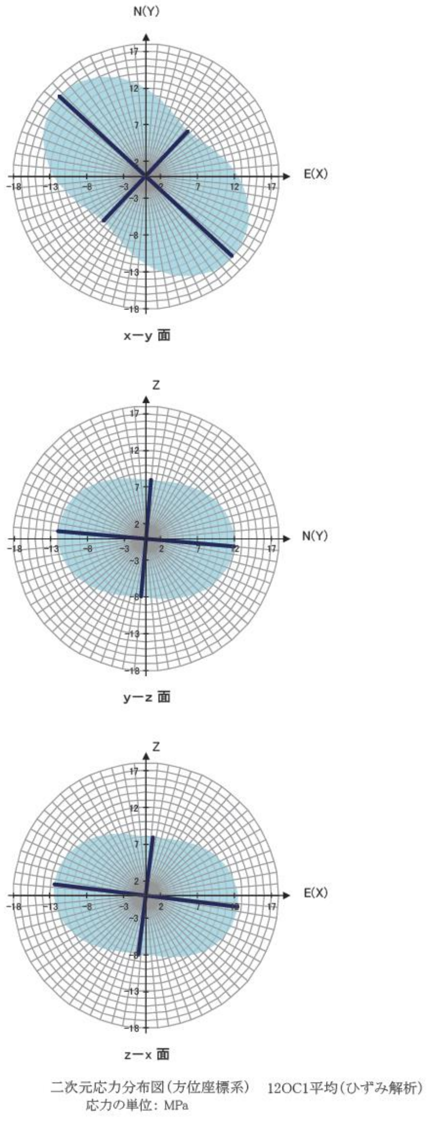


図 8-3(6) 初期応力解析結果（12OC1、全ひずみの最小二乗）

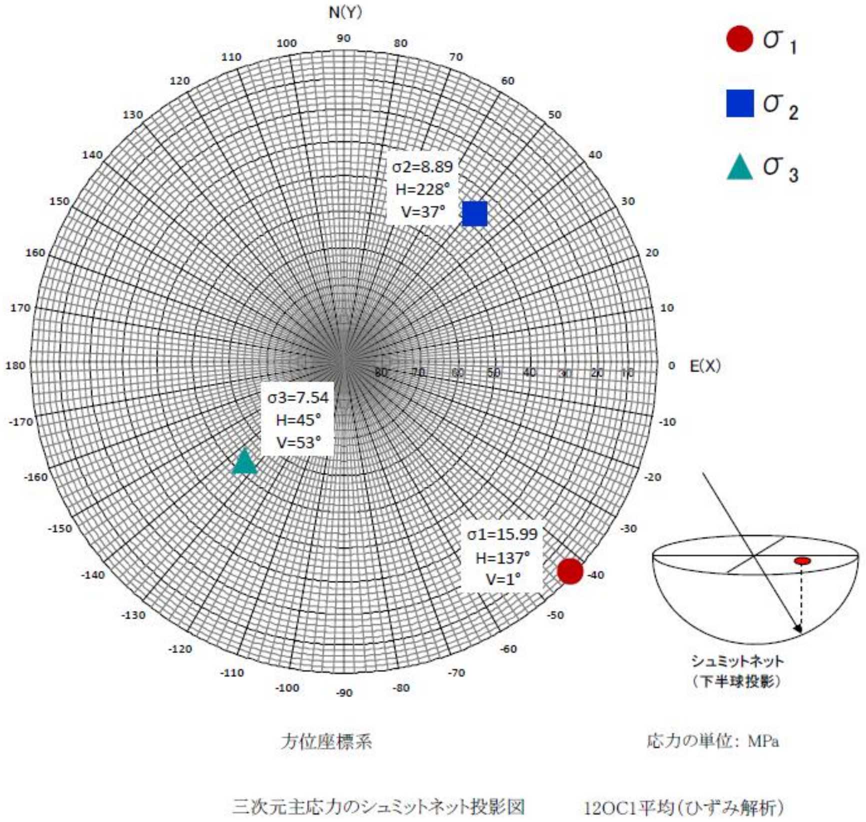


図 8-3(7) 初期応力解析結果（12OC1、全ひずみの最小二乗）

120C2（全ひずみの最小二乗）

ひずみ合成三次元応力解析結果【24成分・SI単位】

方位基準座標

件　名	瑞浪初期応力測定（深度300m）　ひずみ合成による平均			削孔方向	N69.8°　E/上向き5°	
孔番	12MI29	測点No.	12OC2全平均	ヤング率E_0	54,000MPa	ポアソン比ν_0 (0.21)
備考：見掛け解放ひずみはE_0の等方弾性体に置き換えた時の見掛け上の解放ひずみν_0は計算に使用しない						

※青はOC挙動により，黄色は各測点でのトンプソン検定により棄却

12OC2-1　見掛け解放ひずみ　E1=61800GPa　ν1=0.2　ゲージ回転角180.1°

ρゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	θゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	ψゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み
1	122 μ (80)	1	2	477 μ (188)	1	3	452 μ (234)	1
4	177 μ (104)	1	5	89 μ (-36)	1	6	66 μ (-52)	1
7	66 μ (6)	1	8	510 μ (271)	1	9	37 μ (-73)	1
10	-179 μ (---)	0	11	929 μ (525)	1	12	414 μ (173)	1
13	70 μ (-13)	1	14	419 μ (127)	1	15	366 μ (98)	1
16	87 μ (-33)	1	17	239 μ (111)	1	18	308 μ (177)	1
19	164 μ (78)	1	20	431 μ (190)	1	21	230 μ (153)	1
22	46 μ (12)	1	23	881 μ (477)	1	24	537 μ (354)	1

12OC2-2　見掛け解放ひずみ　E2=49500GPa　ν2=0.21　ゲージ回転角180.2°

ρゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	θゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	ψゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み
1	60 μ (17)	1	2	171 μ (-119)	1	3	216 μ (-2)	1
4	96 μ (22)	1	5	21 μ (-105)	1	6	99 μ (-19)	1
7	50 μ (-11)	1	8	112 μ (---)	0	9	12 μ (-97)	1
10	11 μ (-33)	1	11	373 μ (-31)	1	12	182 μ (-59)	1
13	23 μ (-60)	1	14	221 μ (-71)	1	15	181 μ (-88)	1
16	59 μ (-61)	1	17	-4 μ (-132)	1	18	31 μ (-100)	1
19	6 μ (-80)	1	20	174 μ (-67)	1	21	34 μ (-43)	1
22	-28 μ (-62)	1	23	336 μ (-67)	1	24	205 μ (22)	1

12OC2-3　見掛け解放ひずみ　E3=49100GPa　ν3=0.23　ゲージ回転角181.3°

ρゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	θゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	ψゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み
1	209 μ (---)	0	2	1934 μ (---)	0	3	1702 μ (---)	0
4	188 μ (114)	1	5	333 μ (207)	1	6	173 μ (55)	1
7	173 μ (112)	1	8	448 μ (209)	1	9	295 μ (185)	1
10	96 μ (52)	1	11	761 μ (---)	0	12	224 μ (-18)	1
13	137 μ (55)	1	14	1512 μ (---)	0	15	1055 μ (---)	0
16	91 μ (-29)	1	17	184 μ (55)	1	18	146 μ (15)	1
19	48 μ (-38)	1	20	255 μ (14)	1	21	95 μ (18)	1
22	63 μ (29)	1	23	457 μ (54)	1	24	226 μ (43)	1

12OC2-4　見掛け解放ひずみ　E4=59400GPa　ν4=0.16　ゲージ回転角178.7°

ρゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	θゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	ψゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み
1	209 μ (166)	1	2	143 μ (---)	0	3	61 μ (---)	0
4	85 μ (11)	1	5	234 μ (109)	1	6	182 μ (63)	1
7	25 μ (-35)	1	8	282 μ (42)	1	9	88 μ (-21)	1
10	76 μ (32)	1	11	276 μ (-128)	1	12	75 μ (-167)	1
13	172 μ (---)	0	14	231 μ (---)	0	15	200 μ (-68)	1
16	59 μ (-61)	1	17	51 μ (---)	0	18	172 μ (41)	1
19	72 μ (-15)	1	20	48 μ (---)	0	21	119 μ (---)	0
22	129 μ (---)	0	23	211 μ (---)	0	24	138 μ (---)	0

図 8-4(1) 初期応力解析結果（12OC2、全ひずみの最小二乗）

ひずみ合成三次元応力解析結果【24成分・SI単位】　方位基準座標

件　名	瑞浪初期応力測定（深度300m）　ひずみ合成による平均			削孔方向	N69.8° E/上向き5°	
孔番	12MI29	測点No.	12OC2全平均	ヤング率E_0 54,000MPa	ポアソン比ν	0.21

※青は0C挙動により，黄色は各測点でのトンプソン検定により棄却

12OC2-5 見掛け解放ひずみ　E5=36900GPa　ν5=0.25　ゲージ回転角179.6°

ρゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	θゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	ψゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み
1	74 μ (0)	1	2	91 μ (---)	0	3	108 μ (---)	0
4	33 μ (---)	0	5	1548 μ (---)	0	6	975 μ (---)	0
7	-135 μ (---)	0	8	905 μ (---)	0	9	700 μ (---)	0
10	128 μ (52)	1	11	212 μ (0)	1	12	56 μ (-18)	1
13	106 μ (---)	0	14	617 μ (---)	0	15	323 μ (---)	0
16	-9 μ (---)	0	17	3 μ (---)	0	18	-3 μ (---)	0
19	5 μ (---)	0	20	40 μ (14)	1	21	70 μ (18)	1
22	392 μ (---)	0	23	120 μ (---)	0	24	171 μ (43)	1

12OC2-6 見掛け解放ひずみ　E6=59600GPa　ν6=0.21　ゲージ回転角180.3°

ρゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	θゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み	ψゲージ No.	解放ひずみ（残差）	重み
1	21 μ (166)	1	2	216 μ (0)	1	3	142 μ (0)	1
4	40 μ (11)	1	5	47 μ (109)	1	6	55 μ (63)	1
7	31 μ (-35)	1	8	20 μ (42)	1	9	15 μ (-21)	1
10	-13 μ (32)	1	11	132 μ (-128)	1	12	11 μ (-167)	1
13	-18 μ (0)	1	14	199 μ (0)	1	15	104 μ (-68)	1
16	50 μ (-61)	1	17	26 μ (0)	1	18	74 μ (41)	1
19	30 μ (-15)	1	20	30 μ (0)	1	21	-4 μ (0)	1
22	32 μ (0)	1	23	129 μ (0)	1	24	73 μ (0)	1
ρ方向標準偏差	±11.0 μ		θ方向標準偏差	±217.6 μ		ψ方向標準偏差	±149.2 μ	
全方向の測定ひずみ標準偏差			±133.1 μ					

図 8-4(2) 初期応力解析結果（12OC2、全ひずみの最小二乗）

6応力成分

σx ：	6.24	(±1.10)	MPa	τxy ：	-1.37	(±0.74)	MPa
σy ：	7.57	(±1.27)	MPa	τyz ：	1.68	(±0.69)	MPa
σz ：	7.39	(±0.81)	MPa	τzx ：	-1.50	(±0.51)	MPa

圧縮応力を正とする
x軸(＋)を E　　y軸(＋)を N　　z軸(＋)を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力		方向余弦 *l*	*m*	*n*	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 :	10.20 MPa	-0.456	0.635	0.623	126	39
σ_2 :	5.83 MPa	-0.183	-0.752	0.633	256	39
σ_3 :	5.17 MPa	0.871	0.175	0.459	11	27

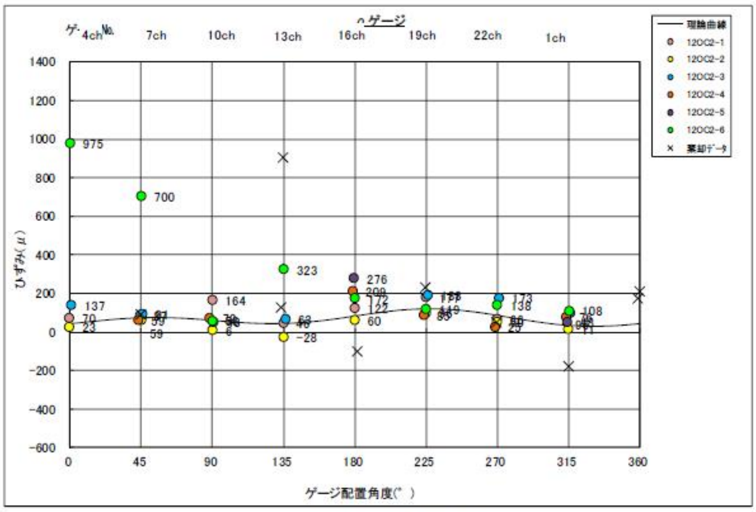
方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

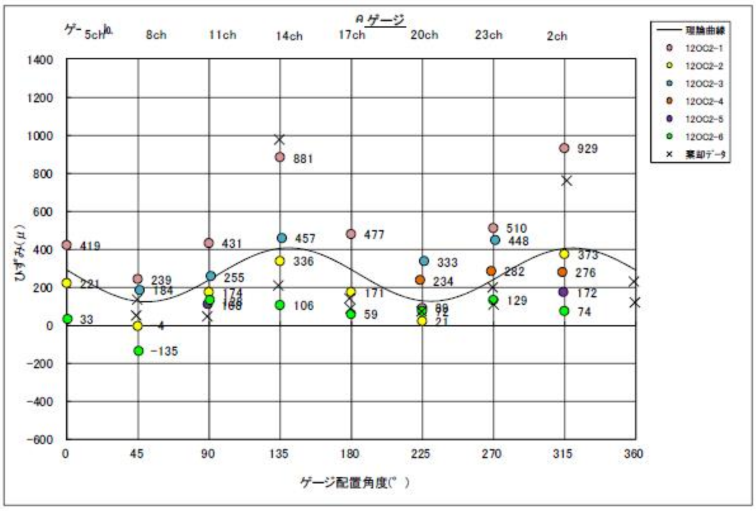
平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	8.43 MPa	5.39 MPa	122
y-z面	9.16 MPa	5.80 MPa	43
z-x面	8.42 MPa	5.21 MPa	-35

θ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とするσ_1'の角度

図 8-4(3) 初期応力解析結果（12OC2、全ひずみの最小二乗）

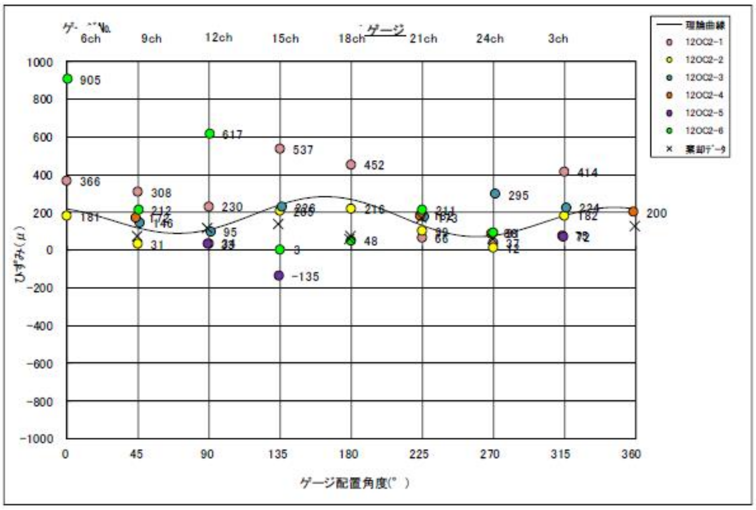


〔ρ 方 向 ひ ず み 分 布 図〕



〔θ 方 向 ひ ず み 分 布 図〕

図 8-4(4) 初期応力解析結果（12OC2、全ひずみの最小二乗）



〔ψ 方 向 ひ ず み 分 布 図〕

図 8-4(5) 初期応力解析結果（12OC2、全ひずみの最小二乗）

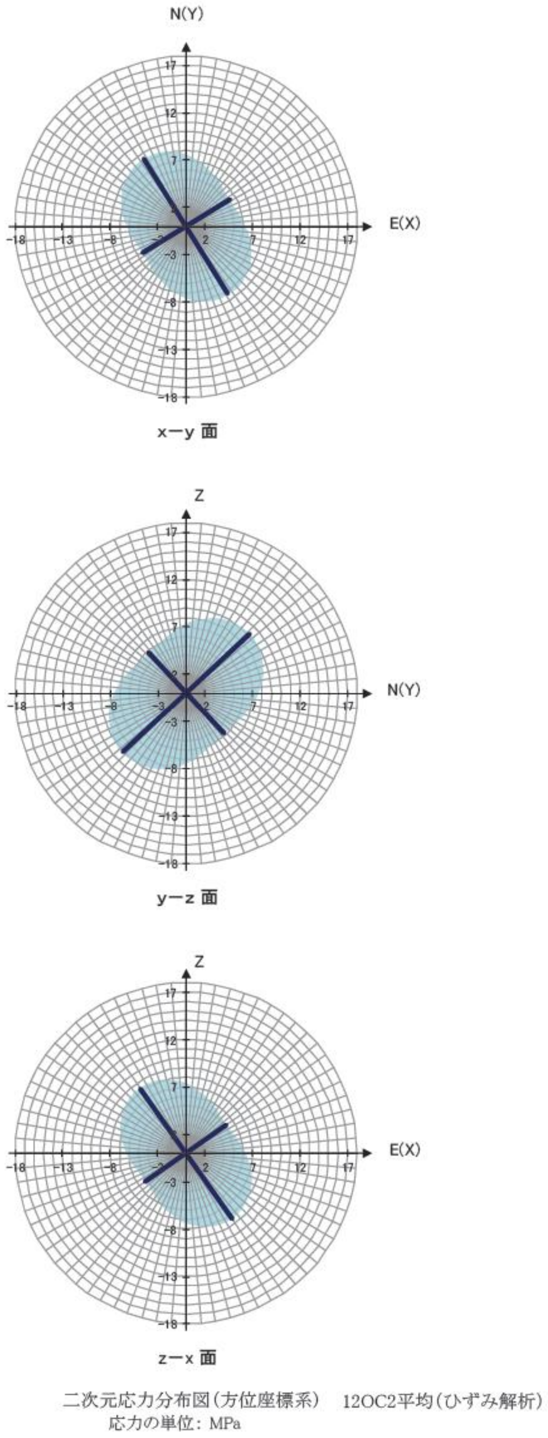


図 8-4(6) 初期応力解析結果（12OC2、全ひずみの最小二乗）

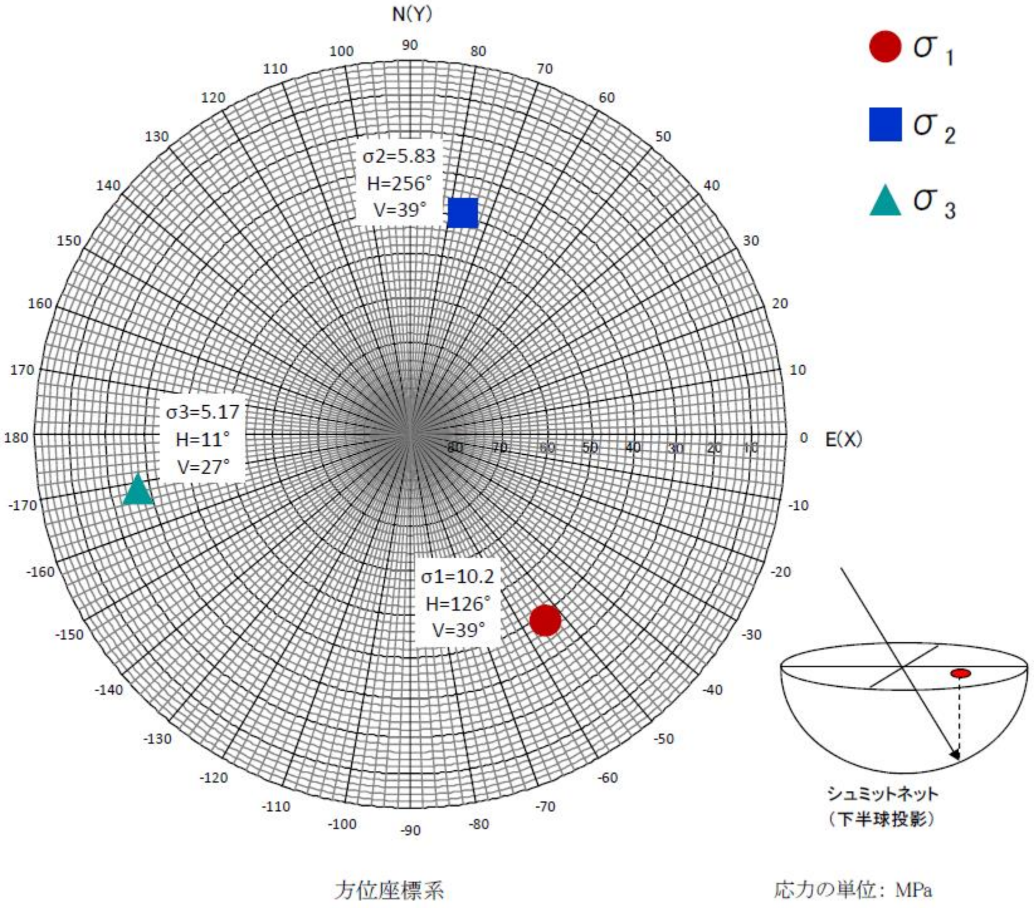


図 8-4(7) 初期応力解析結果（12OC2、全ひずみの最小二乗）

資料 9　初期応力解析結果（12MI28 号孔、29 号孔全体）
（６応力成分の平均、全ひずみの最小二乗）

全体（6 応力成分の平均）

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

	方位座標系
プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI28, 12MI29
測定№	全平均 （個別6応力成分）

(計算済み)6応力成分

σx :	9.15	MPa	τxy :	-3.24	MPa
σy :	10.72	MPa	τyz :	0.63	MPa
σz :	7.52	MPa	τzx :	-0.64	MPa

圧縮応力を正とする
軸(+)を E　　y軸(+)を N　　z軸(+)を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力	方向余弦 *l*	*m*	*n*	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 : 13.40 MPa	-0.613	0.776	0.150	128	9
σ_2 : 7.40 MPa	-0.017	-0.203	0.979	265	78
σ_3 : 6.59 MPa	0.790	0.598	0.138	37	8

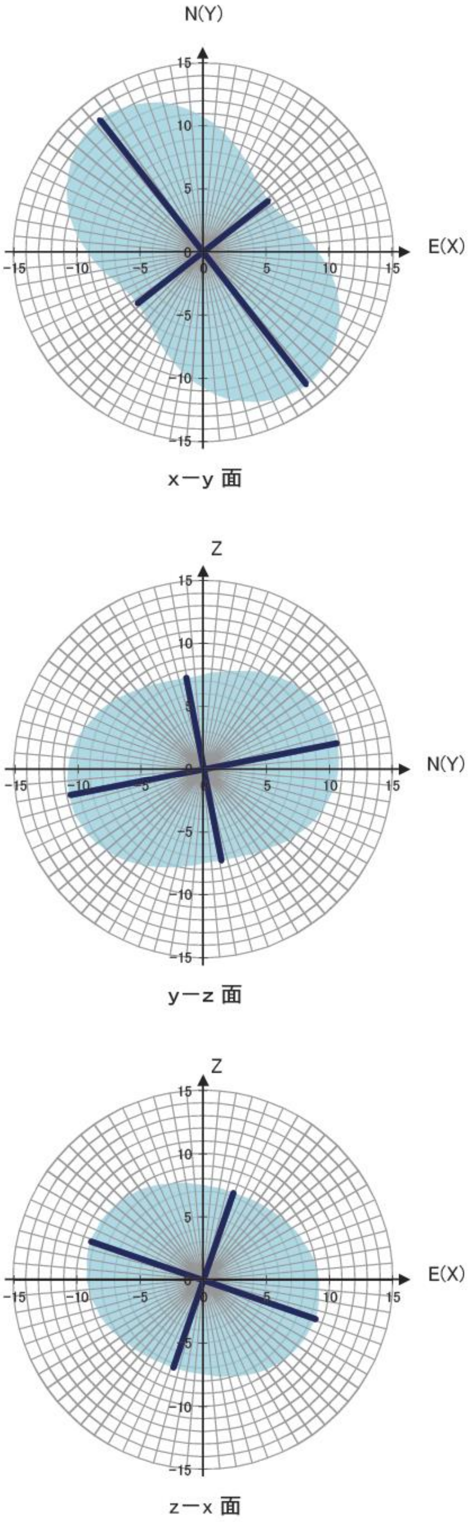
方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	13.27 MPa	6.60 MPa	128
y-z面	10.84 MPa	7.40 MPa	11
z-x面	9.37 MPa	7.30 MPa	109

θ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とするσ_1'の角度

図 9-1(1) 初期応力解析結果（全体、６応力成分の平均）



二次元応力分布図（方位座標系）全平均（個別6応力成分）
応力の単位: MPa

図 9-1(2) 初期応力解析結果（全体、6 応力成分の平均）

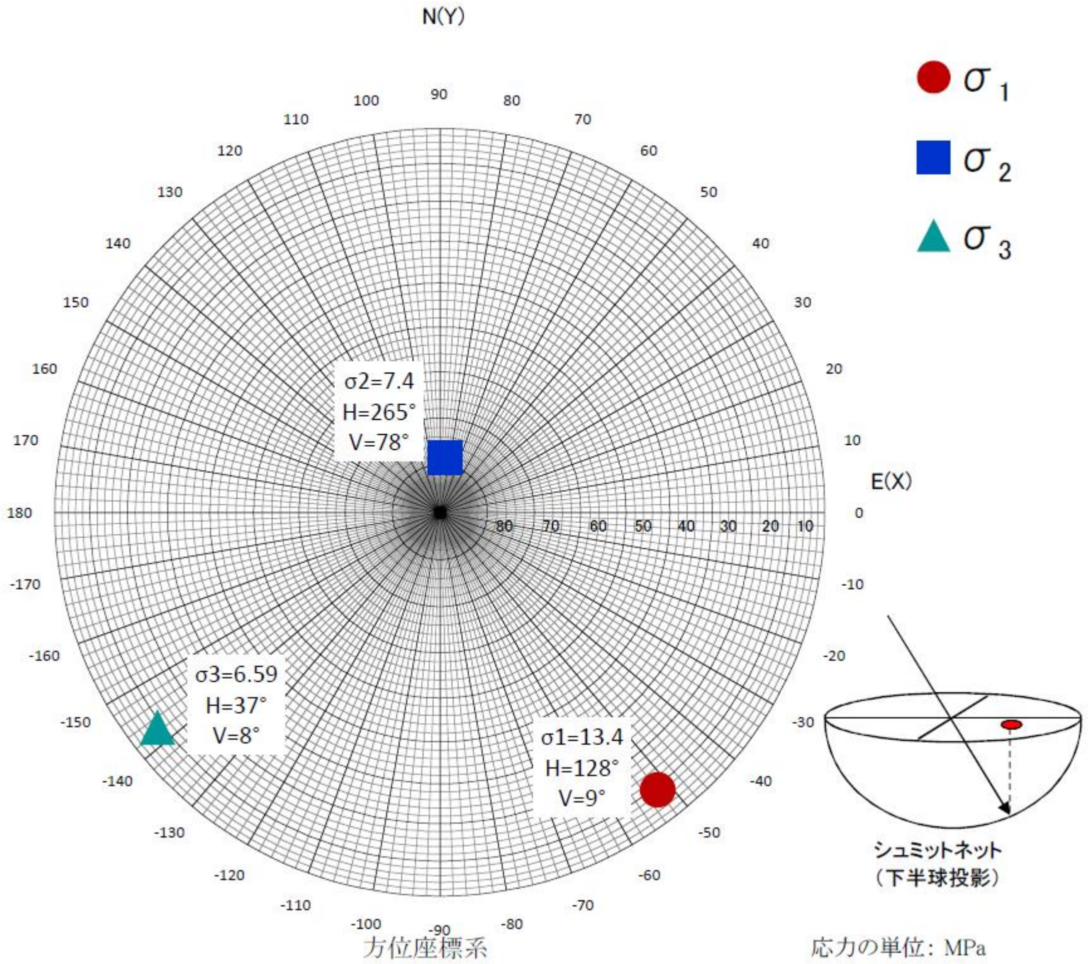


図 9-1(3) 初期応力解析結果（全体、６応力成分の平均）

全体（全ひずみの最小二乗）

円錐孔底ひずみ法の測定緒元

	方位座標系
プロジェクト名	瑞浪初期応力測定（深度300m）
孔番	12MI28, 12MI29
測定№	全平均 （ひずみ最小二乗）

(計算済み)6応力成分

σx ：	9.35	MPa	τxy ：	-2.57	MPa
σy ：	9.76	MPa	τyz ：	0.67	MPa
σz ：	7.71	MPa	τzx ：	-1.04	MPa

圧縮応力を正とする
軸（＋）を E　　y軸（＋）を N　　z軸（＋）を 鉛直上方向

三次元主応力の大きさと方向

主応力		方向余弦 *l*	*m*	*n*	方位角 H(°)	傾斜角 V(°)
σ_1 :	12.44 MPa	-0.668	0.702	0.246	134	14
σ_2 :	7.56 MPa	-0.182	-0.475	0.861	249	59
σ_3 :	6.82 MPa	0.722	0.530	0.446	36	27

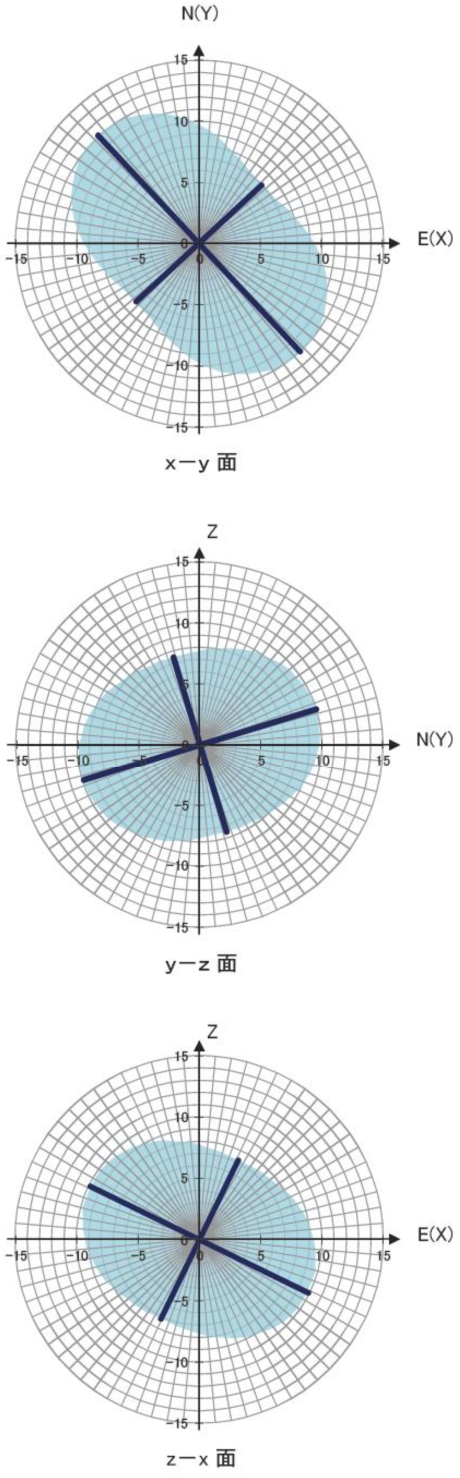
方位角：水平面内でx軸から反時計回りを正とする角度
傾斜角：水平面から上向きの角度

二次元主応力の大きさと方向

平面	σ_1'	σ_2'	θ (°)
x-y面	12.13 MPa	6.98 MPa	133
y-z面	9.96 MPa	7.51 MPa	17
z-x面	9.85 MPa	7.21 MPa	116

θ ：xからy軸、yからz軸、zからx軸への回転を正とする σ_1' の角度

図 9-2(1) 初期応力解析結果（全体、全ひずみの最小二乗）



二次元応力分布図（方位座標系）全平均（ひずみ最小二乗）
応力の単位: MPa

図 9-2(2) 初期応力解析結果（全体、全ひずみの最小二乗）

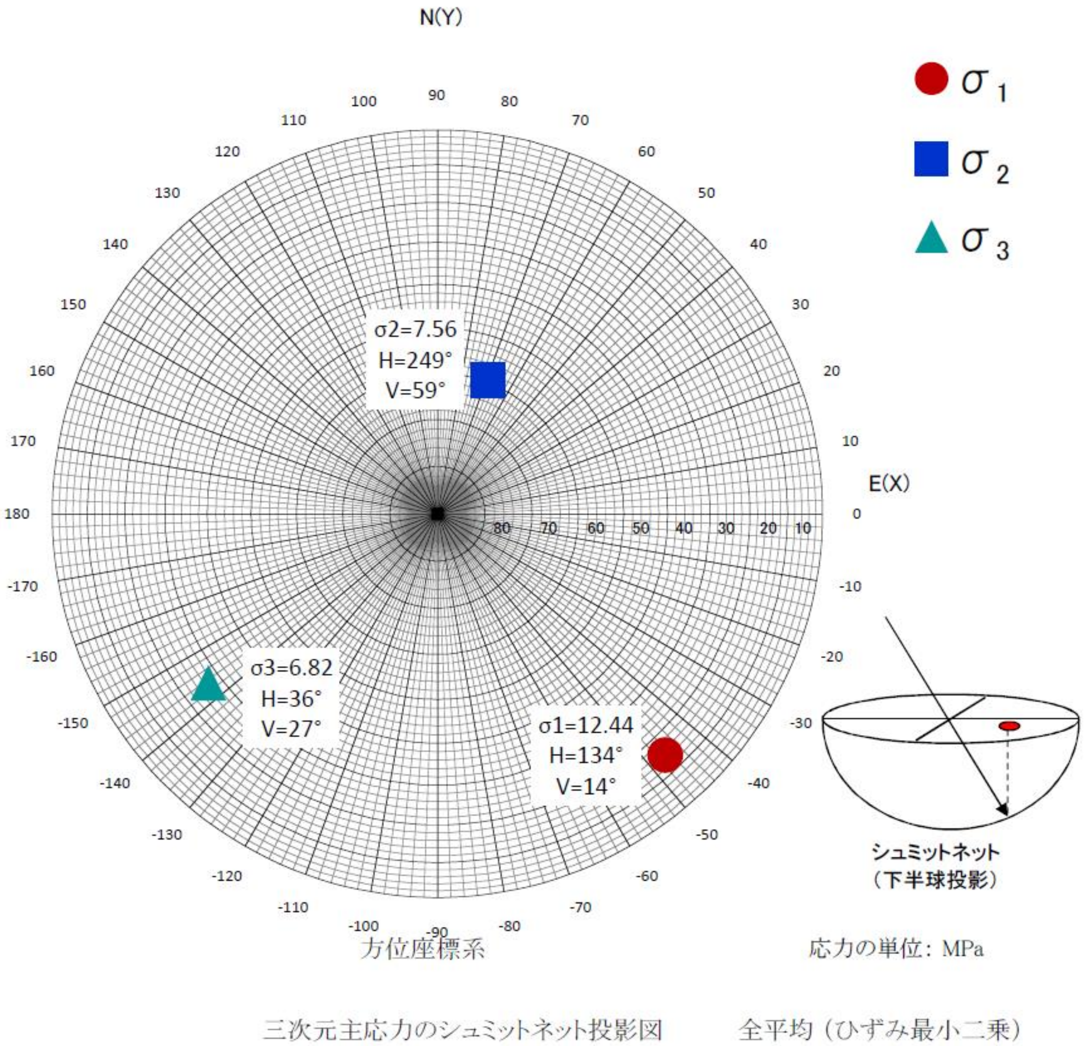


図 9-2(3) 初期応力解析結果（全体、全ひずみの最小二乗）

資料 10　湧水割れ目

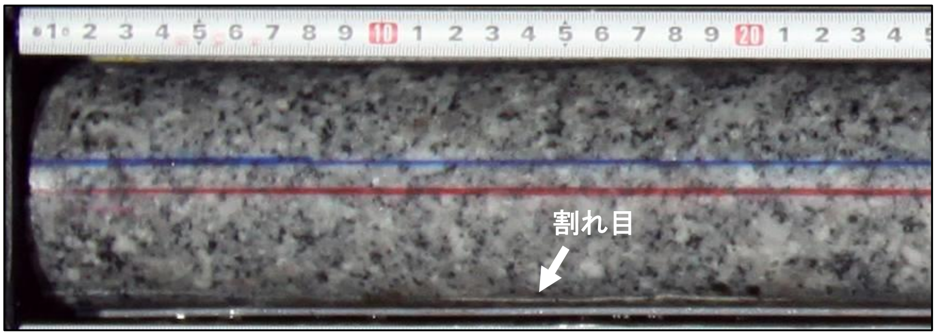
表 10　確認された割れ目の一覧

ボーリング孔	割れ目 No.	深度(m)*
12MI28 号孔	28-01	6.15
	28-02	8.00
	28-03	15.54
	28-04	16.54
	28-05	17.05
	28-06	17.40
12MI29 号孔	29-01	6.30
	29-02	14.30
	29-03	16.75
	29-04	18.10
	29-05	18.64
	29-06	19.00
	29-07	19.06
	29-08	21.29

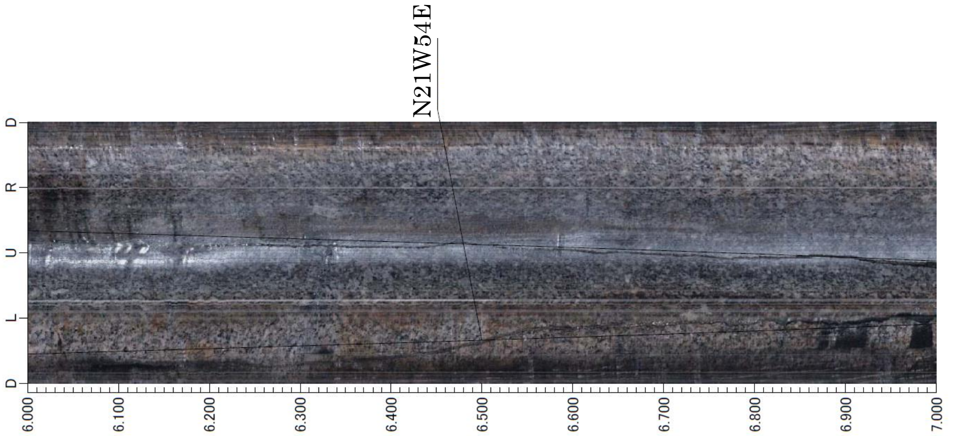
*ボアホールボトムスコープ先端の深度。ボアホールボトムスコープは前方観察であることに注意。実際に観察されている範囲は、ボアホールボトムスコープ先端から+数 cm～20cm 程度前方の範囲である。

ボアホール
ボトム
スコープ
画像

コア写真



ボアホール
テレビ観察



ボアホールボトムスコープで確認された湧水割れ目は、
N21W54E であると推定される。

図 10-1　12MI28 号孔、6.15m 付近（割れ目 No.28-01）

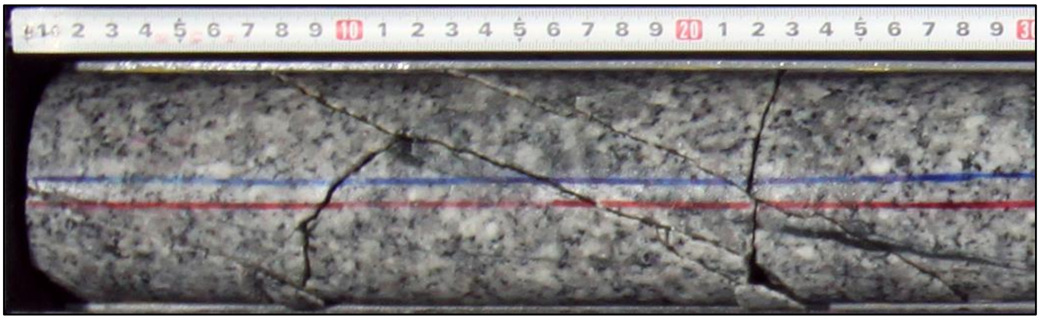
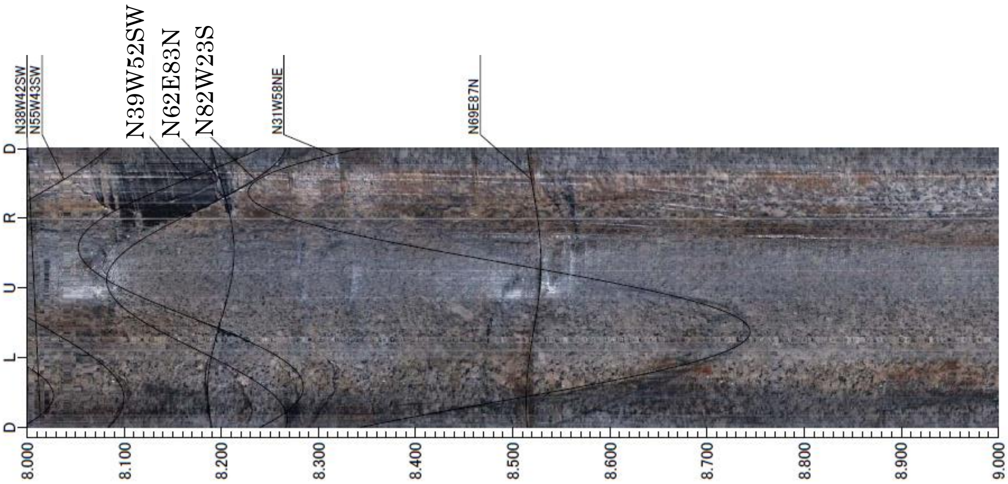
ボアホール ボトム スコープ 画像	
コア写真	
ボアホール テレビ観察	 ボアホールボトムスコープで確認された湧水割れ目は、N39W52SW、N62E83N、N82W23S のいずれかであると推定される。

図 10-2　12MI28 号孔、8.00m 付近（割れ目 No.28-02）

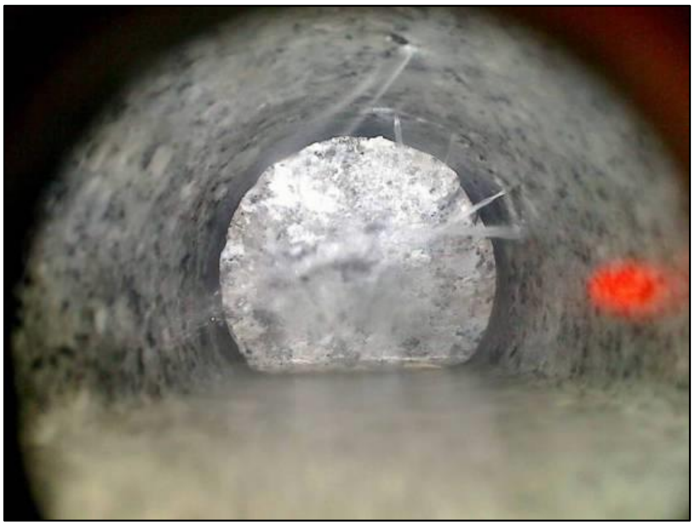
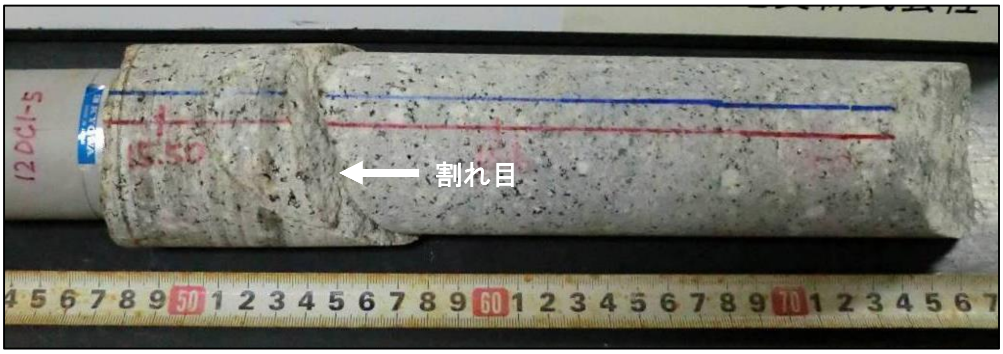
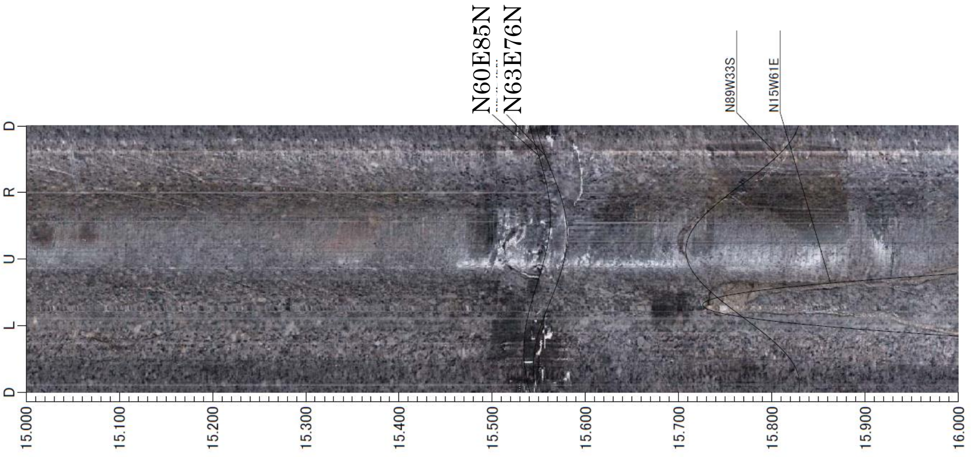
ボアホール ボトム スコープ 画像	
コア写真	
ボアホール テレビ観察	 ボアホールボトムスコープで確認された湧水割れ目は、 N60E85N、N63E76N であると推定される。

図 10-3　12MI28 号孔、15.54m 付近（割れ目 No. 28-03）

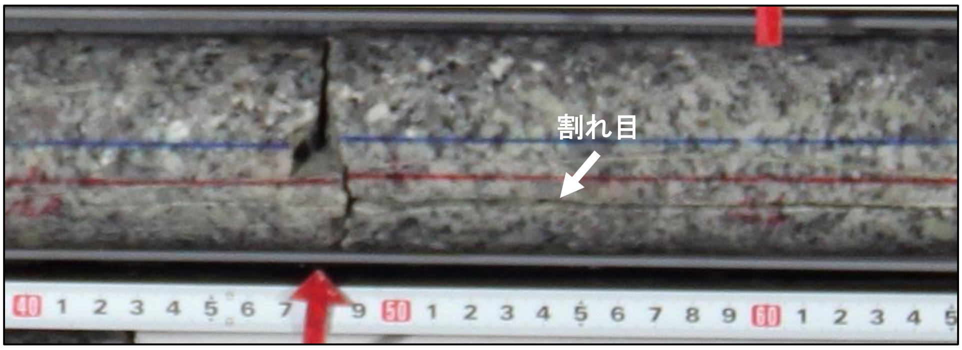
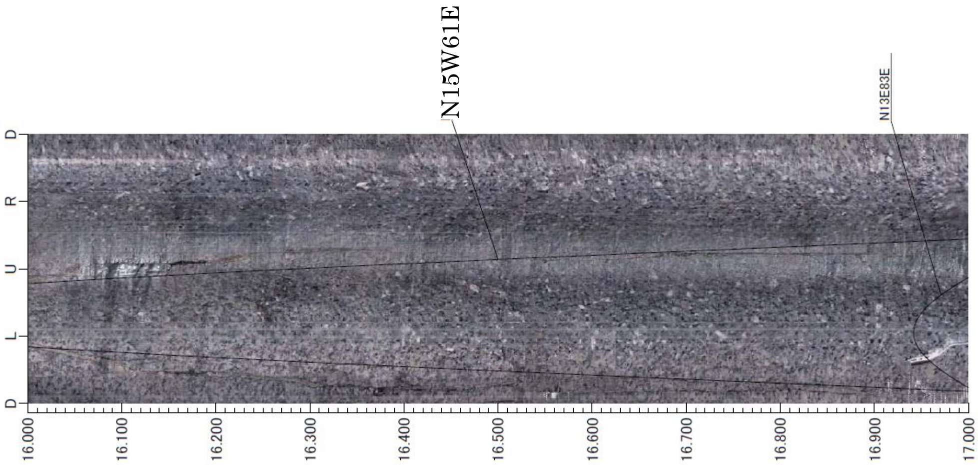
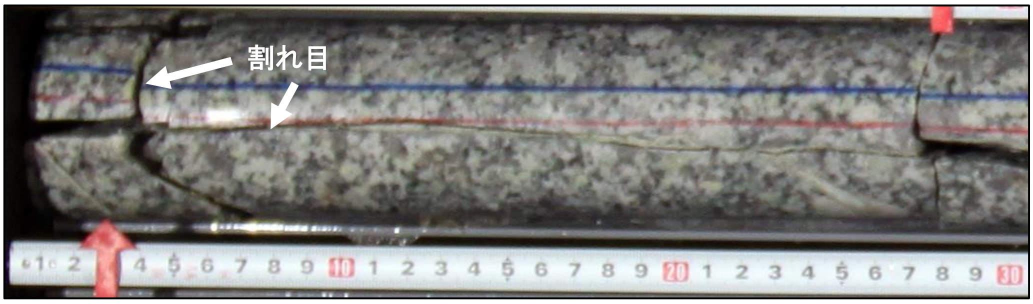
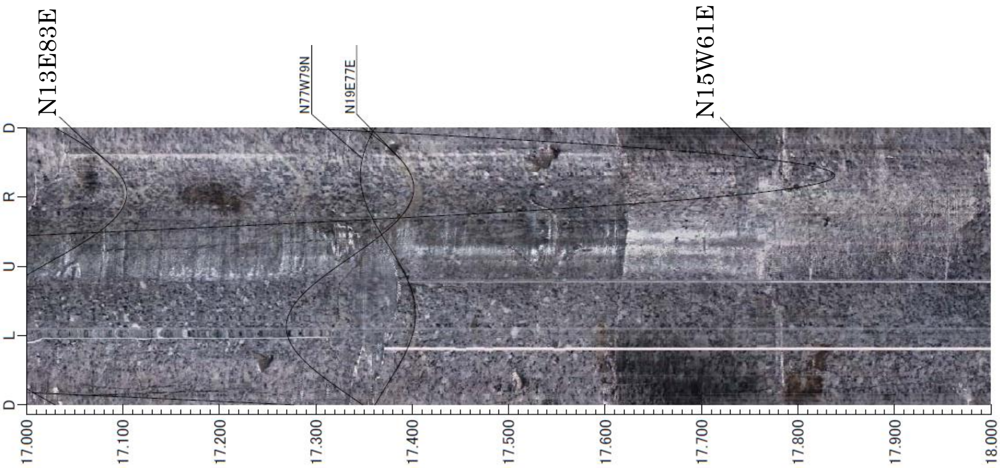
ボアホール ボトム スコープ 画像	
コア写真	
ボアホール テレビ観察	 ボアホールボトムスコープで確認された湧水割れ目は、 N15W61E であると推定される。

図 10-4　12MI28 号孔、16.54m 付近（割れ目 No.28-04）

<table>
<tr><td>ボアホール
ボトム
スコープ
画像</td><td> </td></tr>
<tr><td>コア写真</td><td>
</td></tr>
<tr><td>ボアホール
テレビ観察</td><td>

ボアホールボトムスコープで確認された湧水割れ目は、
N13E83E、N15W61E のいずれかであると推定される。</td></tr>
</table>

図 10-5　12MI28 号孔、17.05m 付近（割れ目 No.28-05）

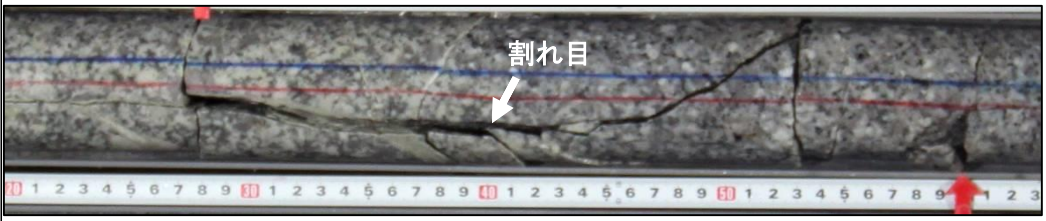
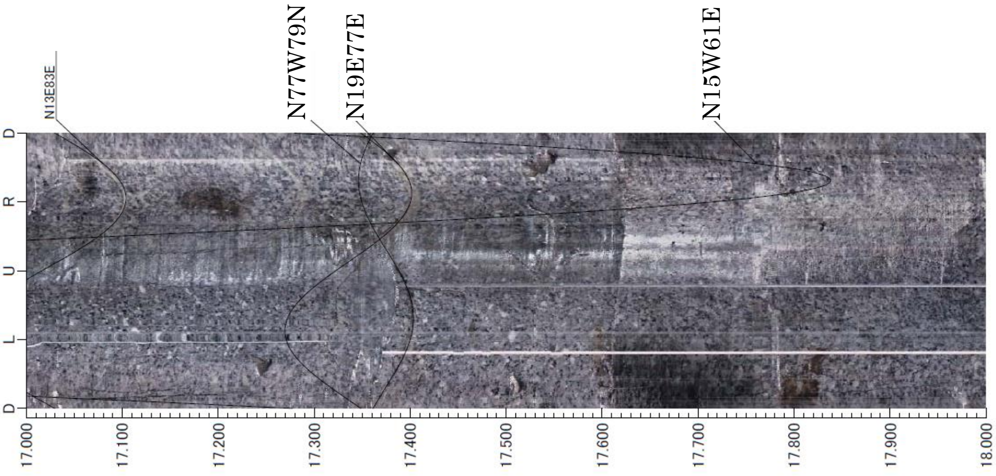
ボアホール ボトム スコープ 画像	
コア写真	
ボアホール テレビ観察	 ボアホールボトムスコープで確認された湧水割れ目は、N77W79N、N19E77E、N15W61E のいずれかであると推定される。

図 10-6　12MI28 号孔、17.40m 付近（割れ目 No. 28-06）

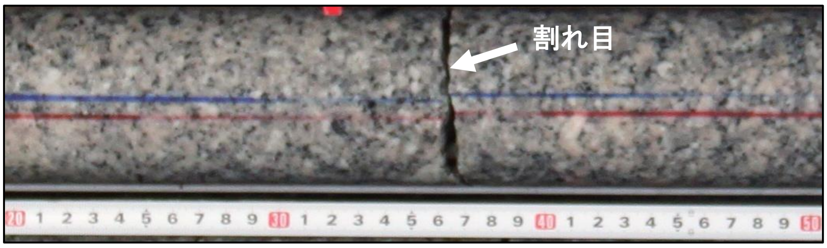
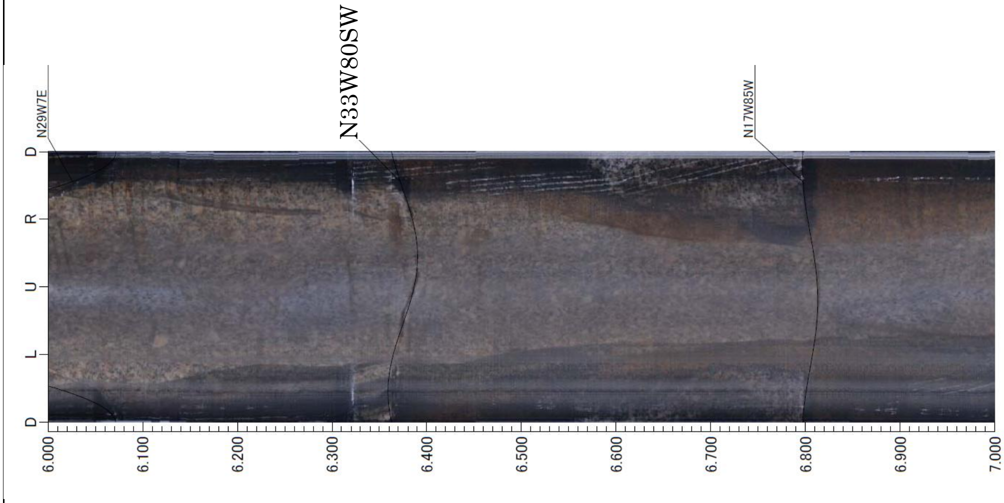
ボアホール ボトム スコープ 画像	
コア写真	
ボアホール テレビ観察	 ボアホールボトムスコープで確認された湧水割れ目は、 N33W80SW であると推定される。

図 10-7　12MI29 号孔、6.30m 付近（割れ目 No.29-01）

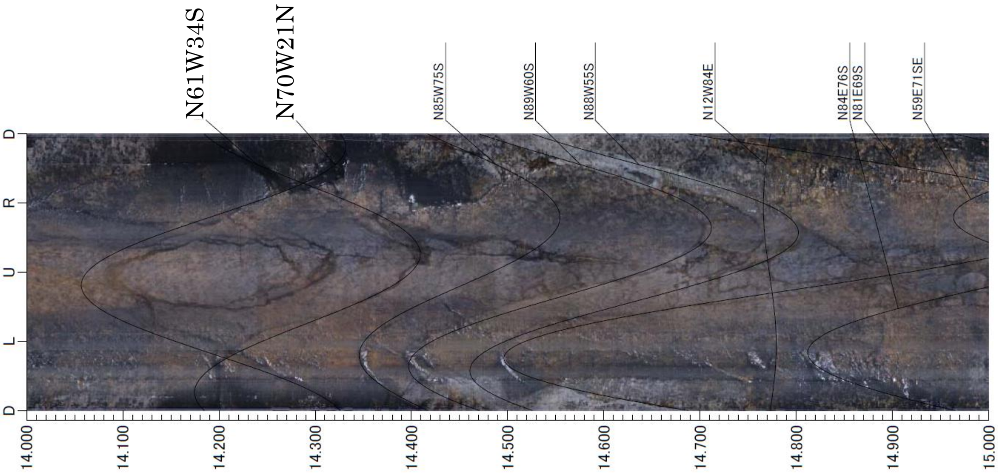
ボアホール ボトム スコープ 画像	
コア写真	
ボアホール テレビ観察	 ボアホールボトムスコープで確認された湧水割れ目は、 N61W34S、N70W21N のいずれかであると推定される。

図 10-8　12MI29 号孔、14.30m 付近（割れ目 No.29-02）

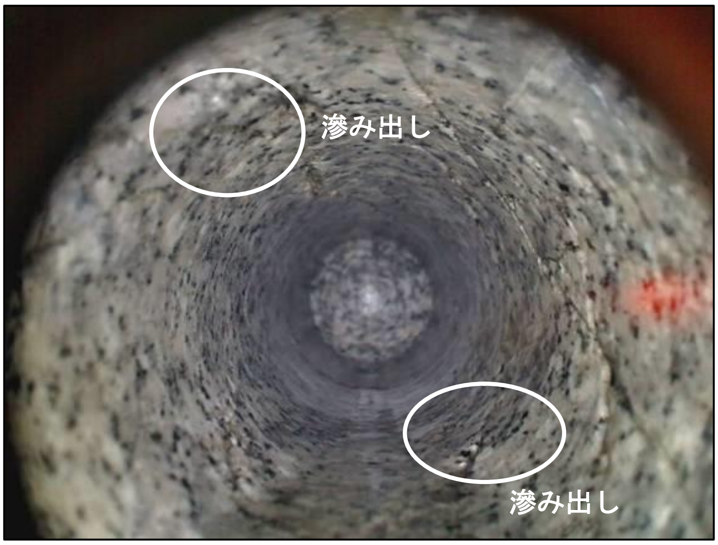
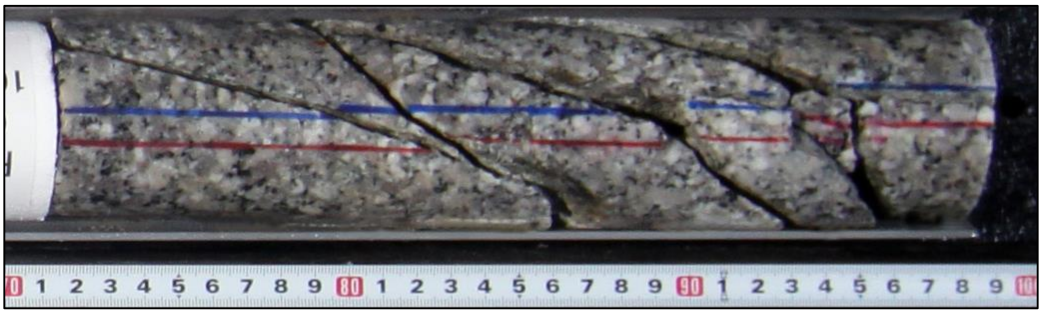
ボアホール ボトム スコープ 画像	
コア写真	
ボアホール テレビ観察	 ボアホールボトムスコープで確認された湧水割れ目は、N85W53S、N72W74S、N89W58S、N84W67S のいずれかであると推定される。

図 10-9　12MI29 号孔、16.75m 付近（割れ目 No. 29-03）

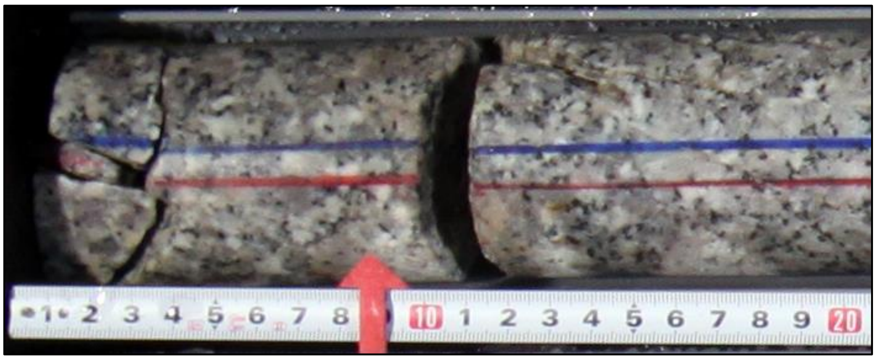
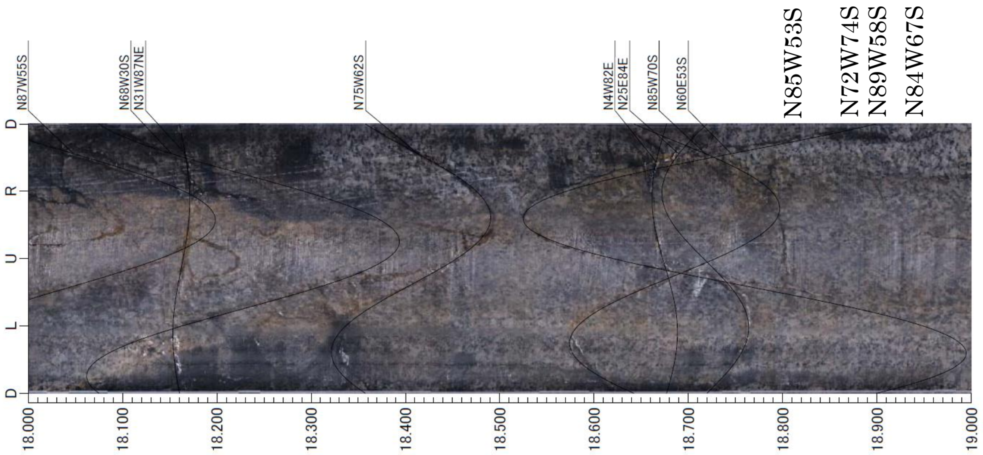
ボアホール ボトム スコープ 画像	
コア写真	
ボアホール テレビ観察	 ボアホールボトムスコープで確認された湧水割れ目は、N85W53S、N72W74S、N89W58S、N84W67S のいずれかであると推定される。

図 10-10　12MI29 号孔、18.10m 付近（割れ目 No. 29-04）

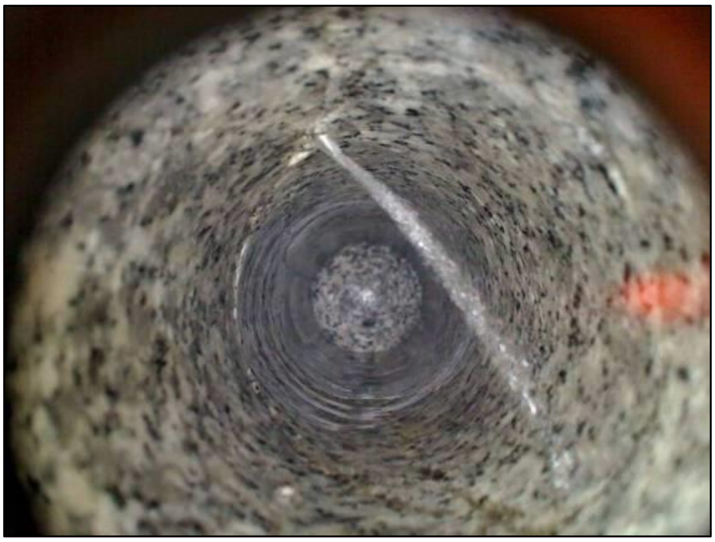
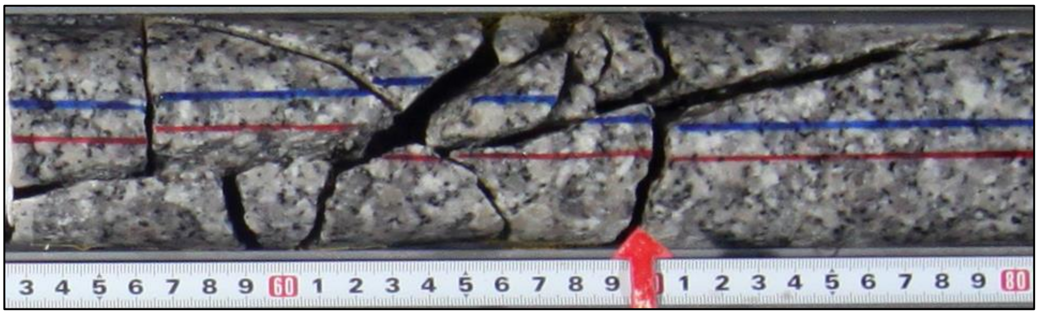
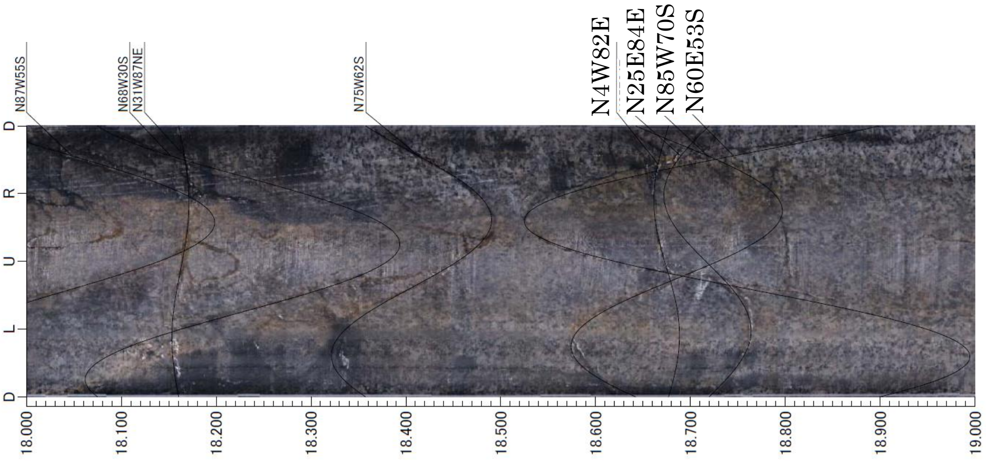
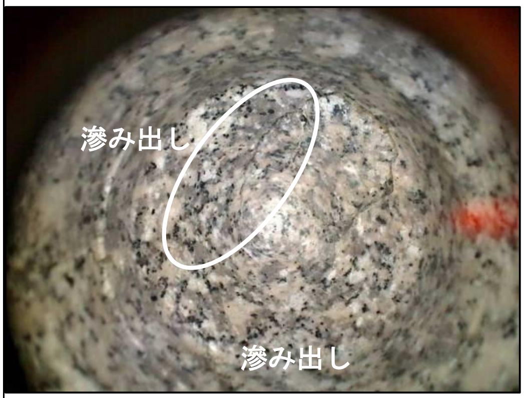
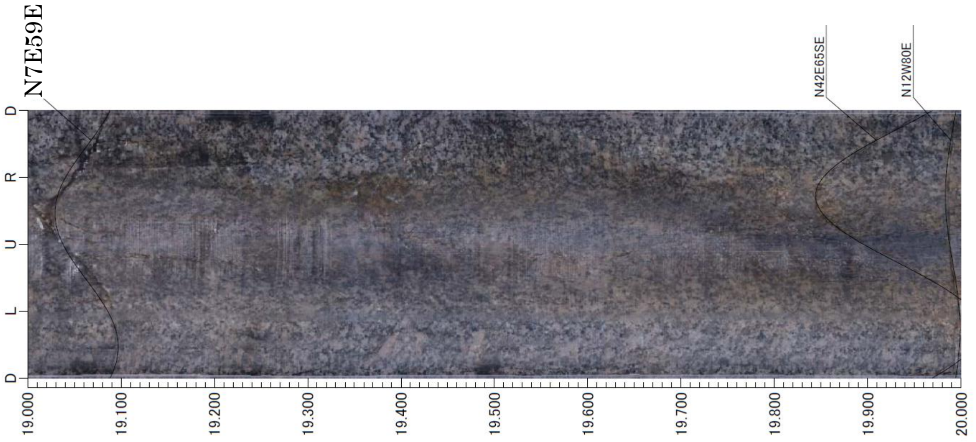
ボアホール ボトム スコープ 画像	
コア写真	
ボアホール テレビ観察	 ボアホールボトムスコープで確認された湧水割れ目は、N4W82E、N25E84E、N85W70S、N60E53S のいずれかであると推定される。

図 10-11　12MI29 号孔、18.64m 付近（割れ目 No. 29-05）

<table>
<tr><td>ボアホール
ボトム
スコープ
画像</td><td>

</td></tr>
<tr><td>コア写真</td><td>円錐孔底成形時は
ノンコアで掘削のためコア写真なし</td></tr>
<tr><td>ボアホール
テレビ観察</td><td>

ボアホールボトムスコープで確認された湧水割れ目は、
N7E59E であると推定される。</td></tr>
</table>

図 10-12　12MI29 号孔、19.00m、19.06m 付近（割れ目 No.29-06,07）

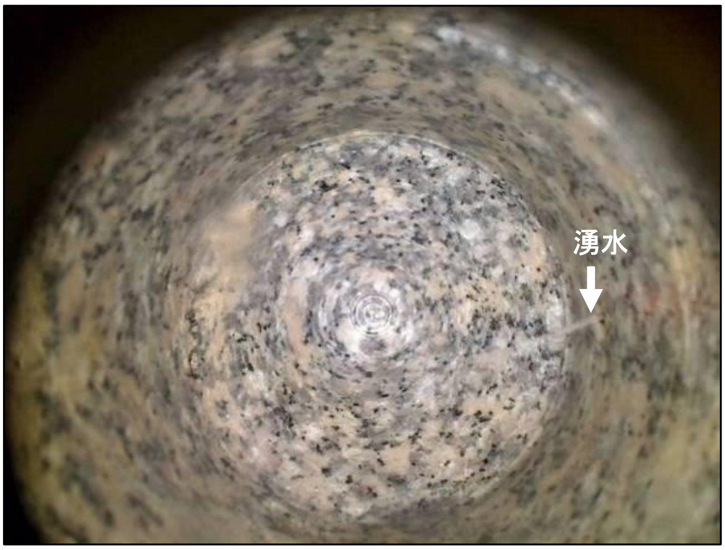
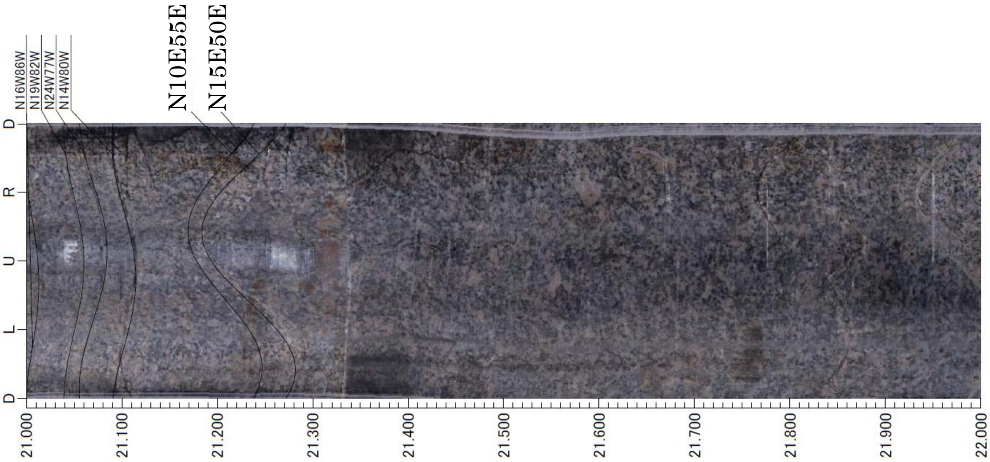
ボアホール ボトム スコープ 画像	
コア写真	円錐孔底成形時は ノンコアで掘削のためコア写真なし
ボアホール テレビ観察	 ボアホールボトムスコープで確認された湧水割れ目は、 N10E55E、N15E50E のいずれかであると推定される。

図 10-13　12MI29 号孔、21.29m 付近（割れ目 No. 29-08）

This is a blank page.

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	立法メートル	m^3
速さ，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	キログラム毎立法メートル	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}
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	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウエーバ	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)	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^{-2}\ cd$
放射性核種の放射能 (f)	ベクレル (d)	Bq		s^{-1}
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト (g)	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		$s^{-1}\ mol$

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位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み、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(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
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg\ s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$m\ kg\ s^{-3}\ K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3}\ sA$
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2\ kg\ s^{-2}\ mol^{-1}$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}\ mol^{-1}$
照射線量（X線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1}\ sA$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2\ s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2\ sr)$	$m^2\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$
酵素活性濃度	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=60s
時	h	1h =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	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L，l	$1L=11=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3\ kg$

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	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

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	$1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	$1\ Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m$
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
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	$1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$
ストークス	St	$1\ St\ =1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb\ =1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal\ =1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G\ =1Mx\ cm^{-2}\ =10^{-4}T$
エルステッド (c)	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(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	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー）4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	µ	$1\ \mu\ =1\mu m=10^{-6}m$

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています