

深部岩盤における初期応力測定プローブを用いた原位置試験

(核燃料サイクル開発機構 契約業務)

平成14年 3 月

同和工営株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to :
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Naka-gun, Ibaragi 319-1194,
Japan

©核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2002

深部岩盤における初期応力測定プローブを用いた原位置試験

加藤春實*

要 旨

核燃料サイクル開発機構東濃地科学センターでは、地層科学研究の一環として、地下深部岩盤の3次元初期応力測定法の開発を平成8年度より実施しており、これまでに深度1000m対応の応力解放法による深部岩盤における初期応力測定プローブを開発した。

本件では、サイクル機構が開発した深部岩盤における初期応力測定プローブを測定孔孔底に運搬し、孔底にて切り離す装置（以下プローブ運搬・切離し装置と呼ぶ）を設計・製作した。次に、初期応力測定プローブと製作したプローブ運搬・切離し装置とを組み合わせ、東濃地科学センター東濃鉱山坑内、北延 NATM 坑道に掘削した HQ ボーリング孔の深度13.5m、18.2m および 19.4m において原位置適用試験を実施した。プローブ運搬・切離し装置は設計どおりに作動し、鉛直ボーリング孔におけるオーバーコアリングは成功した。最後に、繰返し載荷試験によって当該岩盤と接着剤の力学特性を調査するとともに、オーバーコアリングによって測定した解放ひずみから、初期応力を評価した。

本報告書は、同和工営株式会社が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務の結果である。

契約番号：1306A00765

サイクル機構担当グループおよび担当者：東濃地科学センター 地質環境特性研究グループ
グループリーダー 長谷川 健

*：同和工営株式会社 ジオサイエンス事業部

***In situ* stress measurement at great depth using an automatic probe**

H.Kato*

ABSTRACT

Since 1996, Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) has carried out research on the development of methods and equipment for the triaxial *in situ* stress measurement. In the process of the research, the computerized probe has been devised in order to determine *in situ* stresses in rock by overcoring at depths to 1000m in water-filled boreholes. This report presents the designing of the equipment, which was used to lower and to install the probe in a borehole. Actual field application of *in situ* stress measurement in the northern NATM tunnel at Tono mine was performed with the probe and the equipment. The measurements in a HQ borehole at depths of 13.5m, 18.2m and 19.4m have successfully been conducted. Finally, values of Young's modulus and Poisson's ratio of the rock and the adhesive were obtained by cyclic compression testing. The three-dimensional state of the stress in the rock has been calculated using the elastic properties together with the measured strains.

This report has been drawn up by Dowa Engineering Co., Ltd. under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

Agreement No.: 1306A00765

JNC Liaison: Ken Hasegawa, Geoscience Research Group, Tono Geoscience Center.

* : Dowa Engineering Co., Ltd., Geoscience Consulting Division.

目 次

1. 件名	1
2. 目的	1
3. 本報告書の構成	1
4. 原位置試験場所	2
5. プローブ運搬・切離し装置の設計・製作	3
5.1 アウターチューブおよびインナーチューブ	4
5.2 プローブ切離しアタッチメント	4
5.3 アッパーセルリテーナー	5
6. パイロット孔掘削装置の製作	6
7. SI セルおよびグリューカプセルの製作	7
8. 初期応力測定プローブを用いた原位置測定	8
8.1 01SI-15 号孔における予備試験	8
8.2 01SI-16 号孔における本試験	12
8.3 接着剤の充填状態	17
9. 繰り返し载荷試験による岩石および接着剤の力学特性の評価	22
9.1 試験装置	23
9.2 試験方法	24
9.3 試験結果	29
(1) 岩石試験片	29
(2) 接着剤	34
a. 調合から 24 時間後の試験結果	34
b. 調合から 1 週間および 2 週間後の試験結果	37
10. 3次元初期応力状態の評価	40
11. まとめ	45
引用文献	46

付表目次

表 7.1 SI セルの仕様	7
表 7.2 グリューカプセルの仕様	7
表 9.1 岩石試験片の湿潤状態における寸法および重量	24
表 9.2 接着剤試験片の寸法および重量	24
表 9.3 岩石の除荷時のヤング率とポアッソン比	29
表 9.4 接着剤の除荷時のヤング率とポアッソン比	37
表 10.1 3次元初期応力状態を評価するために用いたヤング率とポアッソン比	41
表 10.2 初期応力測定プローブの各チャンネルで測定された 解放ひずみおよび x 軸の方位	41
表 10.3 初期応力解析プログラムで用いた入力データおよび出力データ (深度 13.5m における応力解放試験結果)	42
表 10.4 初期応力解析プログラムで用いた入力データおよび出力データ (深度 18.2m における応力解放試験結果)	43
表 10.5 初期応力解析プログラムで用いた入力データおよび出力データ (深度 19.4m における応力解放試験結果)	44

付図目次

図 4.1 原位置試験位置図	2
図 5.1 プローブ運搬・切離し装置の組立図	3
図 5.2 プローブ切離しアタッチメント	4
図 6.1 パイロット孔掘削編成図	6
図 8.1 鉛直ボーリング孔における応力解放法の試験手順	11
図 8.2 深度 13.5m における応力解放の結果	13
図 8.3 深度 18.2m における応力解放の結果	14
図 8.4 深度 19.4m における応力解放の結果	15
図 8.5 SI セル先端および側面からみたひずみゲージ配置と初期応力測定 プローブのチャンネル番号との対応関係	16
図 8.6 01SI-15 孔の深度 4.365m のオーバーコアの断面	18
図 8.7 01SI-16 孔の深度 13.50m のオーバーコアの断面	19
図 8.8 01SI-16 孔の深度 18.20m のオーバーコアの断面	20
図 8.9 01SI-16 孔の深度 19.40m のオーバーコアの断面	21
図 9.1 繰り返し一軸載荷試験における試験装置および測定系統	23
図 9.2 岩石試験片 A	25
図 9.3 岩石試験片 B	25
図 9.4 岩石試験片 C	26

図 9.5	岩石試験片 D	26
図 9.6	岩石試験片 E	27
図 9.7	岩石試験片 F	27
図 9.8	岩石試験片 G	28
図 9.9	岩石試験片 A の応力-ひずみ線図	30
図 9.10	岩石試験片 B の応力-ひずみ線図	30
図 9.11	岩石試験片 C の応力-ひずみ線図	31
図 9.12	岩石試験片 D の応力-ひずみ線図	31
図 9.13	岩石試験片 E の応力-ひずみ線図	32
図 9.14	岩石試験片 F の応力-ひずみ線図	32
図 9.15	岩石試験片 G の応力-ひずみ線図	33
図 9.16	接着剤試験片 A の応力-ひずみ曲線	35
図 9.17	接着剤試験片 B の応力-ひずみ曲線	35
図 9.18	接着剤試験片 C の応力-ひずみ曲線	36
図 9.19	接着剤試験片 D の応力-ひずみ曲線	36
図 9.20	接着剤試験片 A の調合後 1 週間および 2 週間後の応力-ひずみ曲線	38
図 9.21	接着剤試験片 B の調合後 1 週間および 2 週間後の応力-ひずみ曲線	38
図 9.22	接着剤試験片 E の調合後 1 週間および 2 週間後の応力-ひずみ曲線	39
図 9.23	接着剤試験片 F の調合後 1 週間および 2 週間後の応力-ひずみ曲線	39

1. 件名

深部岩盤における初期応力測定プローブを用いた原位置試験

2. 目的

核燃料サイクル開発機構東濃地科学センターでは、地層科学研究の一環として、地下深部岩盤の 3 次元初期応力測定法の開発を平成 8 年度より実施しており、これまでに深度 1000m 対応の応力解放法による深部岩盤における初期応力測定プローブを開発した。

本件では、サイクル機構が開発した深部岩盤における初期応力測定プローブを測定孔孔底に運搬し、孔底にて切り離す装置を設計・製作し、初期応力測定プローブと製作したプローブ運搬・切離し装置とを組み合わせ、原位置適用試験として、浅部岩盤における初期応力測定を実施するものである。

3. 本報告書の構成

本件の業務内容は以下に示す通り多岐にわたる。本報告書は、これらの業務内容に関する章から構成される。

- (1) プローブ運搬・切離し装置の設計・製作
- (2) パイロット孔掘削装置の製作
- (3) SI セルおよびグリューカプセルの製作
- (4) 初期応力測定プローブを用いた原位置応力測定
- (5) 岩石および接着剤の物性の評価
- (6) 3次元初期応力状態の評価

4. 原位置試験場所

原位置試験を実施した場所は、岐阜県土岐市泉大字河合字賤洞 1221-8 核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター 東濃鉦山坑内 北延 NATM 坑道である。応力解放試験を実施したボーリング孔（HQ-WL）は坑道から鉛直下向きに掘削され、01SI-15 号孔では予備試験を、そして 01SI-16 号孔では応力解放の本試験を実施した。これらのボーリング孔の掘削位置は図 4.1 に示す通りである。

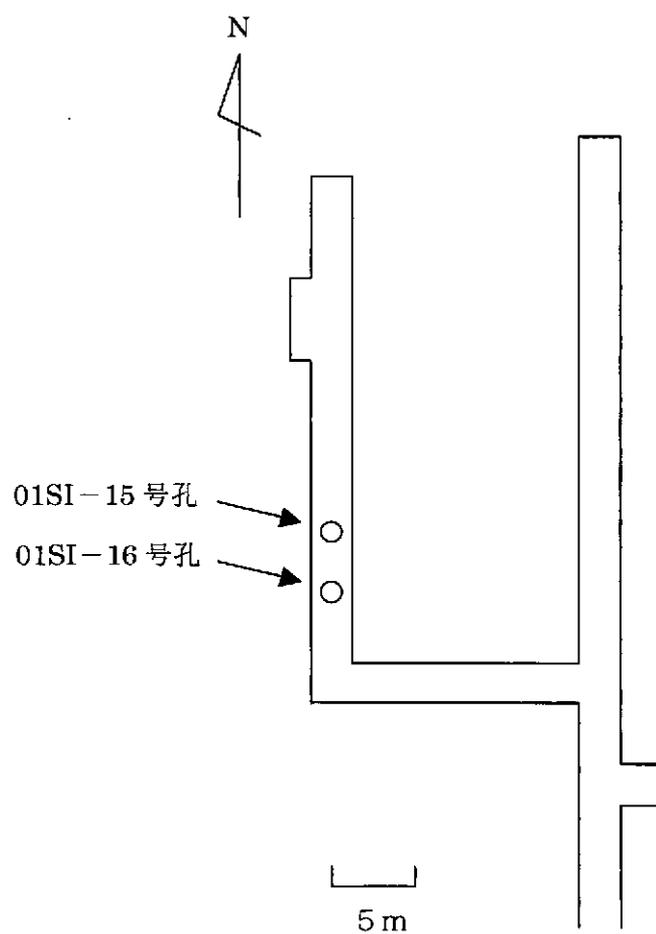


図 4.1 原位置試験位置図

5. プローブ運搬・切離し装置の設計・製作

プローブ運搬・切離し装置は、初期応力測定プローブ¹⁾全体を測定孔の中心に保持し、SIセル（Solid Inclusion Cell、中実円柱状埋設型計測装置）を直径 20mm のパイロット孔に確実に挿入できる構造とした。プローブ運搬・切離し装置の組立図は図 5.1 に示す通りである。本装置は、ワイヤーライン工法の OUTER チューブおよび INNER チューブ、プローブ切離しアタッチメント、アッパーセルリテーナーから構成される。以下に、これらの構成部品の仕様について述べる。

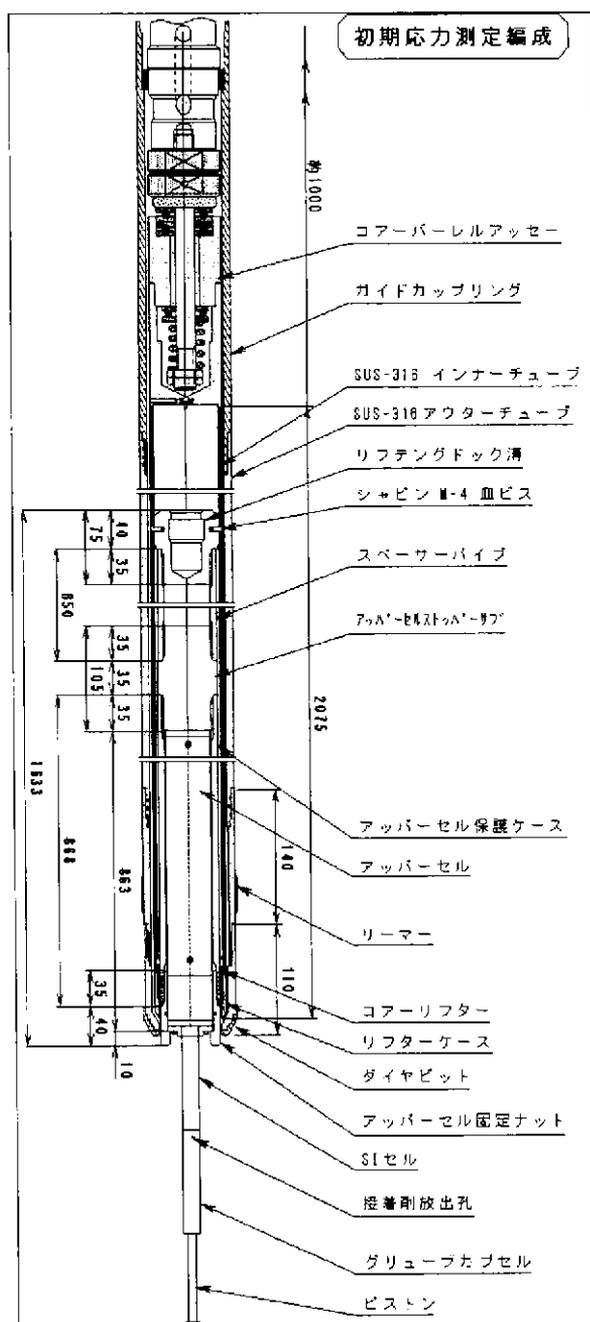


図 5.1 初期応力測定プローブ運搬・切離し装置の組立図

5. 1 アウターチューブおよびインナーチューブ

インナーチューブ内に初期応力測定プローブ全体を収納できるとともに、狭い坑内で応力解放試験ができるように、インナーチューブの長さが2mのHQ-WL オーバーコアリングコアバーレルを製作した(図5.1参照)。アウターチューブとインナーチューブの材質はSUS-316とし、コアチューブを構成する金属材料の磁性が初期応力測定プローブに内蔵された方位計に及ぼす影響をできるだけ小さくするようにした。

5. 2 プローブ切離しアタッチメント

初期応力測定プローブをインナーチューブに固定するためのアルミニウム製の治具であり、アッパーセルリテーナーの最上部に位置する(図5.2参照)。インナーチューブとアッパーセルリテーナーは、シャーピン(M4ネジ)によって固定される。初期応力測定プローブを切り離す機構は、このシャーピンを切断する方式とした。すなわち、SIセル下部のグリューカプセルがパイロット孔で収縮した後、アッパーセルの先端がオーバーコアリング孔の孔底に接触しシャーピンが切断され、プローブが切り離される。測定の対象となる岩盤の状況あるいはボーリングマシンのオペレーターの判断に応じてシャーピンの切断荷重を調整できるように、シャーピンの数と材質(真鍮、鉄、ステンレス)を選定することができる。シャーピンを切断するとアッパーセルリテーナーは自重によってインナーチューブの中をスライドするが、プローブ切離しアタッチメントの外径(65mm)は、ビットの内径(63.5mm)よりも大きいので、アッパーセルリテーナー全体がコアチューブの外に飛び出すことはない。シャーピンを切断して初期応力測定プローブをコアバーレルの外に設置する場合は、プローブ切り離しアタッチメントの形状を変更する必要がある。プローブ切離しアタッチメントの上部にはリフティングドック溝を設け、アッパーセルリテーナーが孔内に脱落した場合でも市販のオーバーショットによって回収できるようにした。

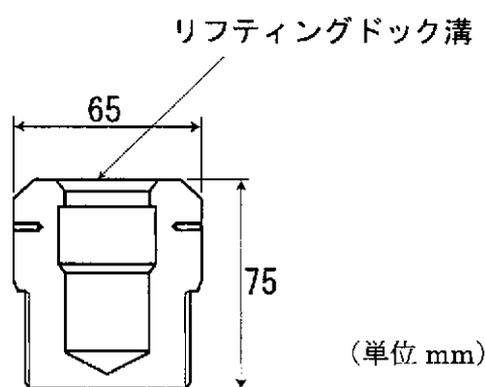


図 5.2 プローブ切離しアタッチメント

5. 3 アッパーセルリテーナー

初期応力測定プローブとインナーチューブとのクリアランスを調整し、初期応力測定プローブをボーリング孔の中心で鉛直に保たせる構造とした。初期応力測定プローブに内蔵された方位計に影響を及ぼさないように、材質は SUS・316 およびアルミニウムとした。アッパーセルリテーナーは、図 5.1 に示すようにプローブ切離しアタッチメント（シャーピンセットサブ）、スパーサーパイプ、アッパーセルストッパーサブ、アッパーセル保護ケース、アッパーセル固定ナットから構成される。

初期応力測定プローブを切り離した後、SI セルの基準ゲージの方位を正しく測定するために、コアバーレルを構成する鉄製の部品（主にビットとコアリフター）の磁性が初期応力測定プローブの方位計に影響を及ぼさない位置までコアバーレルを引き上げる必要がある。ただし、前述のようにアッパーセルリテーナー全体がコアバーレルの外に出ないように設計したので、コアバーレルを引き上げることができる最大の高さは、アッパーセルリテーナーの全長からプローブ切離しアタッチメントの長さを差し引いた長さに等しい。このため、アッパーセルリテーナーの長さを短く設計するとコアバーレルを構成する鉄製の部品の磁性によって初期応力測定プローブの方位を正確に測定できなくなる。逆に、アッパーセルリテーナーの長さを長く設計すると、オーバーコアリングによって回収されるコアの長さを十分に確保できなくなる。そこで、アッパーセルリテーナーの適切な長さを決定することを目的として、HQ-WL ビットとコアリフターを模擬した鉄製部品を初期応力測定プローブに接近させる予備試験をおこなった。その結果、ビットと初期応力測定プローブの間の距離が 600mm～700mm あれば、測定される方位の誤差は 0.3 度以下であることが明らかになった。この測定結果を基にして、コアバーレルの最小引き上げ高さとして回収すべきオーバーコアの長さを総合的に勘案し、アッパーセルリテーナーの全長を 1633mm とした。この場合、コアバーレルをプローブ切離しアタッチメントまで引き上げたときのビット先端と初期応力測定プローブ距離は 720mm である。また、掘削可能なオーバーコアの最大長さは約 450mm である。

6. パイロット孔掘削装置の製作

本件の応力解放試験では、オーバーコアリング孔は HQ ボーリング孔である。このオーバーコアリング孔の孔底から、孔軸を一致させて直径 20mm、長さ 300mm のパイロット孔を掘削するために、図 6.1 に示すような掘削装置を製作した。この装置は、ハイスーパーメタルを植え込んだ HQ ノンコアメタルチップビット（特明間ボーリング製）の中心に、直径 20mm、長さ 300mm のパイロット孔掘削ビット（シャンク直径 18mm、シャンク内径 8mm）を接続した構造になっている。パイロット孔掘削ビットは、ノンコアインプリダイヤモンドビット（クリステンセンマイカイ製）とノンコアメタルチップビット（特明間ボーリング製）の 2 種類製作し、掘削の対象となる岩盤の性状に応じて使い分けることができるようにした。すなわち、メタルチップビットは軟岩を、そしてインプリダイヤモンドビットは硬質岩盤を対象とした掘削に適している。

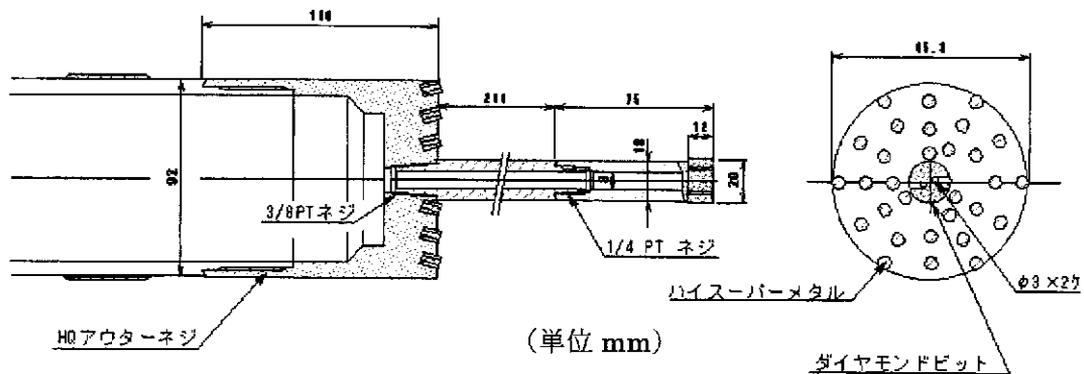


図 6.1 パイロット孔掘削編成図

7. SIセルおよびグリューカプセルの製作

初期応力測定に使用するSIセルとグリューカプセル^④を、表7.1および表7.2に示す仕様にしたがってそれぞれ5個ずつ製作した。

表 7.1 SIセルの仕様

マトリックス部	材質：ナガセエレクトクス ^⑤ 製注型用エポキシ樹脂
ひずみゲージ	東京測器製ロゼットゲージ 120Ω 2線式 (ゲージ長2mm、ベース長7mm)
温度ゲージ	東京測器製温度ゲージTF L切8 抵抗120Ω
コネクタ	ヒロセ電気社製超小型プッシュプルタイプ丸型コネクタ 12極
設計概略図 (単位 mm)	

表 7.2 グリューカプセルの仕様

材質	アルミニウム
設計概略図 (単位 mm)	

8. 初期応力測定プローブを用いた原位置測定

東濃鉱山坑内の北延 NATM 坑道における原位置試験では、まず深度 4.365m の 01SI-15 号孔において鉛直ボーリング孔における応力解放法の予備試験をおこない、次に予備試験の結果を踏まえて 01SI-16 号孔の深度 20m までの地点において応力解放法の本試験を 3 回おこなった。

8. 1 01SI-15 号孔における予備試験

01SI-15 号孔における予備試験の目的は、第 7 章で述べたプローブ運搬・切り離し装置が一連の応力解放試験の過程で設計通りに作動するかどうか検証すること、そして本試験における応力解放試験の試験手順を確立することにある。01SI-15 号孔における予備試験を通じて確立された鉛直ボーリング孔における応力解放法の試験手順は以下の通りである（図 8.1 参照）。

(1) パイロット孔の掘削

所定の深度までオーバーコアリング孔を掘削した後、HQ-WL ビットをパイロット孔掘削ビットに変更し、長さ 300mm のパイロット孔を掘削する。なお、予備試験においては、HQ オーバーコアリング孔の深度は 4.365m であった。また、当該岩盤は砂岩および泥岩などの軟岩から構成されていたので、パイロット孔掘削ビットは、ノンコアメタルチップビットを使用した。

(2) 初期応力測定プローブのパラメータの設定

初期応力測定プローブをステンレス製耐圧容器から引き出し、RS232C ケーブルでパーソナルコンピュータと接続し、適当なターミナルプログラム（例えば Windows のアクセサリにあるターミナルプログラム）を使って以下の項目を設定する。

- ① リアルタイムクロック
- ② サンプリング間隔
- ③ タイマー
- ④ メモリクリア
- ⑤ ステータスチェック

タイマースタートしたことを確認してから、初期応力測定プローブをステンレス製耐圧容器に収納する。

(3) アッパーセルリテーナーおよびインナーチューブの組立

まず、SI セルと初期応力測定プローブのコネクタを接続する。次に SI セルに O リングを装着し、SI セル押さえ板で SI セルを固定する。このとき、SI セルの基準ゲージの方向が初期応力測定プローブに設定した座標軸の方向と一致するようにする。SI セルを装着した初期応力測定プローブをアッパーセルリテーナーに挿入し、アッパーセル固定ナットで固定する。そして、アッパーセルリテーナーをインナーチューブに挿入し、インナーチューブの外側からプローブ切離しアタッチメントに M4 のシェアーピンをねじ込む。シェアーピンの材質と本数（最大 2 本）は、現場の状況に適合したせん断荷重が得られるように

選定する。最後にパーマルレンチによってインナーチューブの先端にリフターケースを取り付ける。

(4) 接着剤の調整

SIセルの外周と直径20mmのパイロット孔壁面の間隙を充填するための接着剤を製作する。まず、アラルダイトCY230およびハードナーHY965(いずれもナガセエレクトクス(株)製)を、精密天秤(SHIMADZU製ELECTRONIC BALANCE TYPE BL-220H容量220g、読み取り精度0.001g)によって計量しながら重量比率5:1の割合で混合し、プラスチック容器の中で十分に攪拌する。次に液状のエポキシ樹脂の入ったプラスチック容器を真空ベッセルに入れ、真空ポンプ(株)大阪空気機械製作所製真空ポンプMODEL CV-2)でベッセルの中の空気を吸引しながら真空下で30分から60分間脱泡する。これによってエポキシ樹脂を攪拌したときに混入した気泡を除去する。

(5) インナーチューブの設置

脱泡した接着剤をグリュウカプセルに装てんする。このときエポキシ樹脂の中に空気ができるだけ混入しないように、グリュウカプセルを傾斜させ、液状のエポキシ樹脂がアルミパイプの内壁を静かに伝わって入るようにする。接着剤を装てんしたグリュウカプセルをSIセルの先端にねじ込み、インナーチューブをアウターチューブの中に設置する。ただし、インナーチューブにコアバーレルアッセイを接続すると、その全長は坑道の高さよりも長くなるので、ボーリング孔に挿入することができない。そのため、まずリーマーとダイヤモンドビットを取り付けたアウターチューブを先にボーリング孔に挿入し、その上端が孔口に出た状態で固定する。次に、アッパーセルリテーナーおよびSIセルを装着したインナーチューブをアウターチューブの途中まで挿入し、インナーチューブの上端と坑道天盤の間に十分な作業空間を確保してからパーマルレンチによってコアバーレルアッセイを接続する。そして、インナーチューブを投入しアウターチューブにセットする。インナーチューブをアウターチューブにセットすると、ダイヤモンドビットの先端からアッパーセル固定ナットが15mmだけ飛び出す。

(6) SIセルの接着

ボーリングロッドを接続しながら、コアチューブをHQオーバーコアリング孔底までゆっくりと降下させる。まず、パイロット孔にSIセルが入り、グリュウカプセルのピストン先端がパイロット孔の孔底に到達すると、液状エポキシ樹脂がグリュウカプセルから排出され始め、SIセルとパイロット孔壁の間を充填する。さらにコアチューブを降下させると、インナーチューブ先端のアッパーセル固定ナットがオーバーコアリング孔底に接触する。ボーリングロッドを通じてボーリングマシンからコアチューブに荷重をかけると、インナーチューブとプローブ切離しアタッチメントを固定していたシェアーピンが切断され、アッパーセルリテーナーはインナーチューブの中をスライドし孔底に直立する。グリュウカプセルから排出されたエポキシ樹脂の一部はパイロット孔からオーバーコアリング孔まで溢れるので、ダイヤモンドビットを孔底に押し付けた状態で保持すると、ビットと岩盤あ

るいはビットとアップパーセルリテーナーが接着する可能性がある。このため、シェアーピンを切断し後にボーリングロッドを 10cm 引き上げて、ダイヤモンドビットを孔底から引き離す。この状態で液状のエポキシ樹脂が硬化するまで約 24 時間放置する。

(7) 方位測定

初期応力測定プローブに設定したタイマースタートの時刻になったら、ダイヤモンドビットの先端とオーバーコアリング孔底の距離が 1.1m になるようにボーリングロッドを引き上げ、コアバーレルを構成する鉄製部品の磁性が初期応力測定プローブの方位計に影響を及ぼさないようにする。ダイヤモンドビットの磁性と測定される方位との関係を調査するために、ダイヤモンドビットの位置を 10cm 降下させては 20 秒間保持し、初期応力測定プローブによって方位を計測する。これをビットの先端がオーバーコアリング孔底に到達するまで繰り返す。

(8) オーバーコアリング

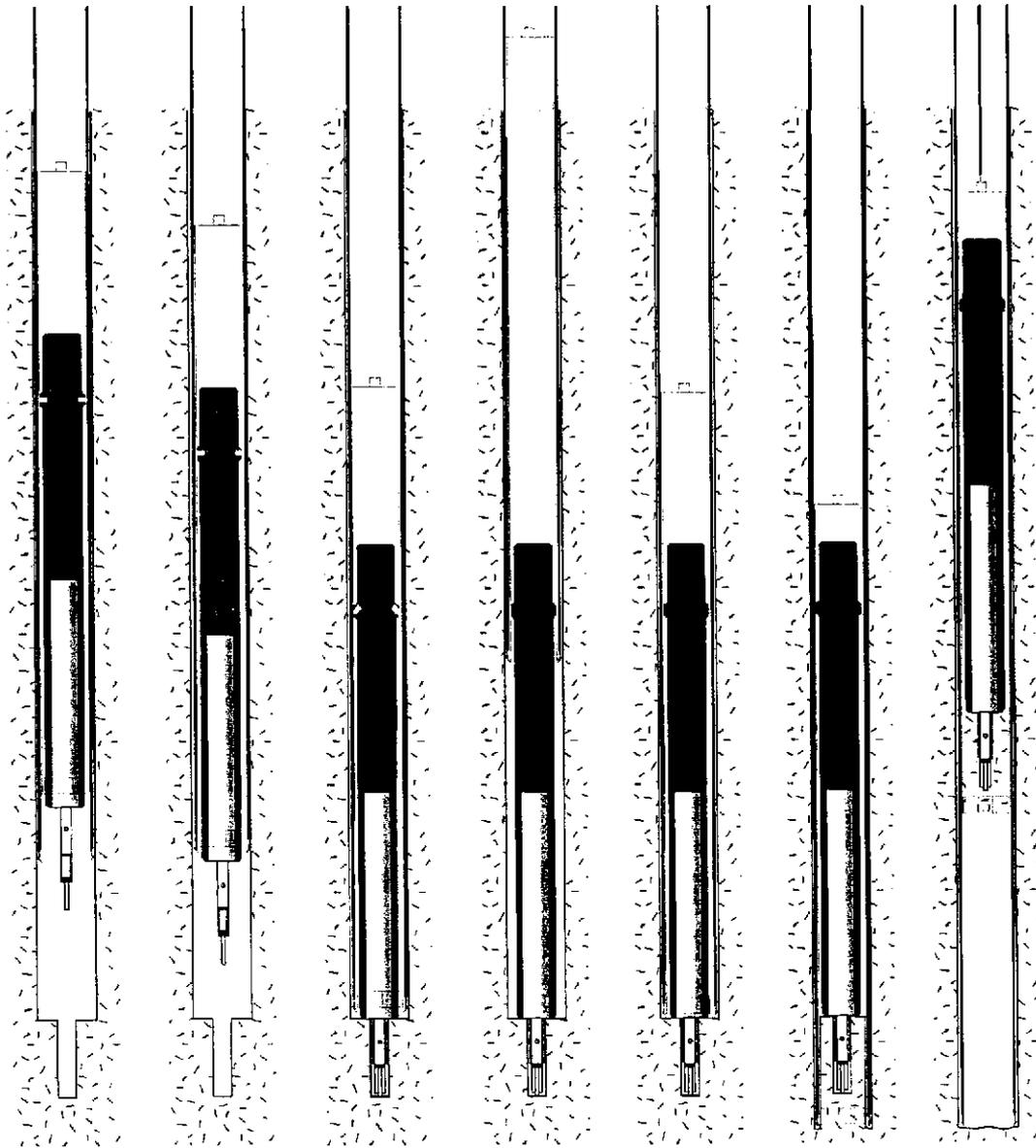
ダイヤモンドビットの先端がオーバーコアリング孔底に達したら、初期応力測定プローブの温度分布を一様にするために掘削水を約 5 分間循環させる。掘進速度を抑えながら 40cm オーバーコアリングをおこなう。所定の長さのオーバーコアリングが終了したら、コアバーレルを若干引き上げて、コアリフターとオーバーコアの摩擦力によってコアを岩盤から切り離す。

(9) 初期応力測定プローブとオーバーコアの回収

コアバーレルを引き上げて孔口に固定する。オーバーショットを投入しインナーチューブを引き上げる。アウターチューブからコアバーレルアッセイが出た状態でインナーチューブを固定し、コアバーレルアッセイを切り離す。次に初期応力測定プローブとオーバーコアが入ったインナーチューブをアウターチューブから取り出す。インナーチューブ先端のコアリフターを外し、オーバーコアがついた状態のアップパーセルリテーナーを引き出す。アップパーセル固定ナットとオーバーコア上端の間に金鋸を入れて SI セルを切断する。

(10) 測定データのダウンロード

アップパーセルリテーナーのアップパーセル固定ナットを外し、ステンレス製耐圧容器を取り出す。ステンレス製耐圧容器から初期応力測定プローブを引き出して、測定データをパーソナルコンピュータにダウンロードする。



1
 アウターチューブを孔底から数メートル引き上げた状態で、初断力測定プローブを装着したインナーチューブを降下させる。

2
 インナーチューブをアウターチューブにセットする。このとき、ダイヤモンドビットの先端からアンバーセル測定ナットが15mm飛び出す。

3
 コアチューブをオーバーコアリング孔底までゆっくりと降下させます。パイロット孔にS1セルが入り、グリューカプセルのピストン先端がパイロット孔の孔底に到達すると、液状エポキシ樹脂がグリューカプセルから排出され始め、S1セルとパイロット孔壁の間を充填する。さらにコアチューブを降下させるとインナーチューブ先端のアンバーセル測定ナットがオーバーコアリング孔底に接触し、インナーチューブとプローブ切り直しアタッチメントを固定していたシアーピンが切断される。

4
 アンバーセルリテーナーはインナーチューブの中をスライドし、孔底に固定する。グリューカプセルから排出された接着剤によってビットとアンバーセルリテーナーが接着しないように、ダイヤモンドビットを孔底から約1.5m引き上げる。この状態で液状のエポキシ樹脂が硬化するまで約24時間放置する。

5
 ダイヤモンドビットをオーバーコアリング孔底まで降下させ、掘削水を約5分間循環させる。これによって、初断力測定プローブの温度分布を均一にする。

6
 オーバーコアリングを行う。

7
 所定の長さのオーバーコアリングが終了したらコアセルを引き上げ、コアリフターとオーバーコアの厚さ力によってコアを岩盤から切り離す。

図 8.1 鉛直ボーリング孔における応力解放法の試験手順

8. 2 01SI-16号孔における本試験

本試験は、予備試験を実施した01SI-15号孔に近接して掘削した01SI-16号孔でおこなわれた。岩盤は土岐挟炭層の粗粒砂岩～細粒砂岩、シルト質砂岩などから構成され、数cm～50cm程度の範囲で砂粒径が変化し、砂泥互層の様相を呈している。応力解放は3回実施され、それぞれのオーバーコアリング孔底の深度は13.5m、18.2mおよび19.4mであった（以下では、応力解放試験の深度をオーバーコアリング孔底の深度で表記する）。各深度における試験工程は、第1日目がパイロット孔掘削およびSIセルの設置、第2日目がオーバーコアリングおよび初期応力測定プローブとオーバーコアの回収である。初期応力測定プローブの測定項目は以下の通りであり、サンプリング間隔は2秒に設定した。

- ① 測定日時、yy/mm/dd hh:mm:ss
- ② ひずみデータ、8成分のレコーダ A/D 値
- ③ 温度データ、レコーダ A/D 値
- ④ 傾斜、X、Y方向2成分、レコーダ A/D 値
- ⑤ 地磁気、地磁気3成分のレコーダ A/D 値

オーバーコアリングにともなって初期応力測定プローブの各チャンネルで測定された解放ひずみと時間の関係は図8.2、図8.3および図8.4の通りである。ここで、解放ひずみとは、オーバーコアリング開始直前の各チャンネルにおける2分間の平均ひずみを初期ひずみとし、これを測定されたひずみから差し引いた値である。これらの図には、掘削水の循環からSIセルの切断に至るまでの主な作業内容も記載されている。図中の「解放ひずみ測定期間」とは、初期応力の評価に用いた解放ひずみの平均値を算定したデータの測定時刻である。なお、初期応力測定プローブのチャンネル番号と、SIセルに埋設されたひずみゲージの配置との関係は図8.5のようである。

まず、これら3深度で測定された解放ひずみをみると、いずれもオーバーコアリング開始と同時に解放ひずみが増加し始めたことが認められる。このことは、SIセルの埋設位置がオーバーコアリング孔底の応力集中域に設置されたことを示している。応力解放法によって測定されるひずみデータから初期応力状態を評価するときに考慮する応力場は、①初期応力場、②パイロット孔を設けることによって誘起される応力場の变化、そして③オーバーコアリングに伴う応力場の变化であって、オーバーコアリング孔底の応力集中は通常考慮されない。したがって、本解放ひずみから初期応力場を厳密に評価するためには、オーバーコアリング孔底の応力集中を考慮した解析をおこなう必要があるように思われる。

図8.2の深度18.2mで測定された解放ひずみは、SIセルの近傍をオーバーコアリングビットが通過するとき解放ひずみが大きく変動し、特異な変化傾向を示している。これは、オーバーコアに天然き裂などの不連続面が含まれているか、あるいはSIセルとパイロット孔の間の接着が完全に行なわれていなかった等の理由が考えられる。測定された解放ひずみは最大で100 μ ひずみ程度で、3深度の中で最も小さい。

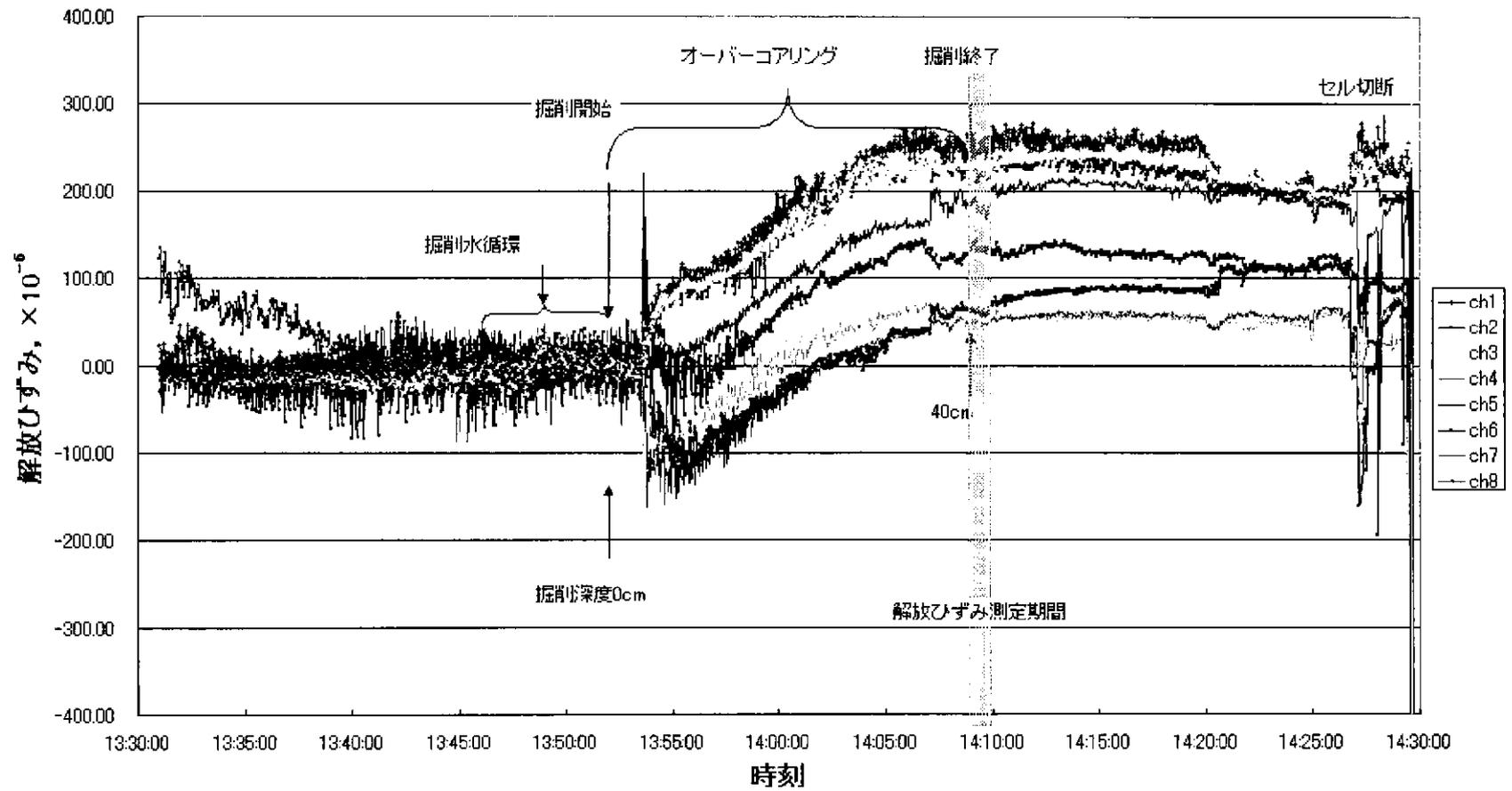


図 8.2 深度 13.5m における応力解放の結果

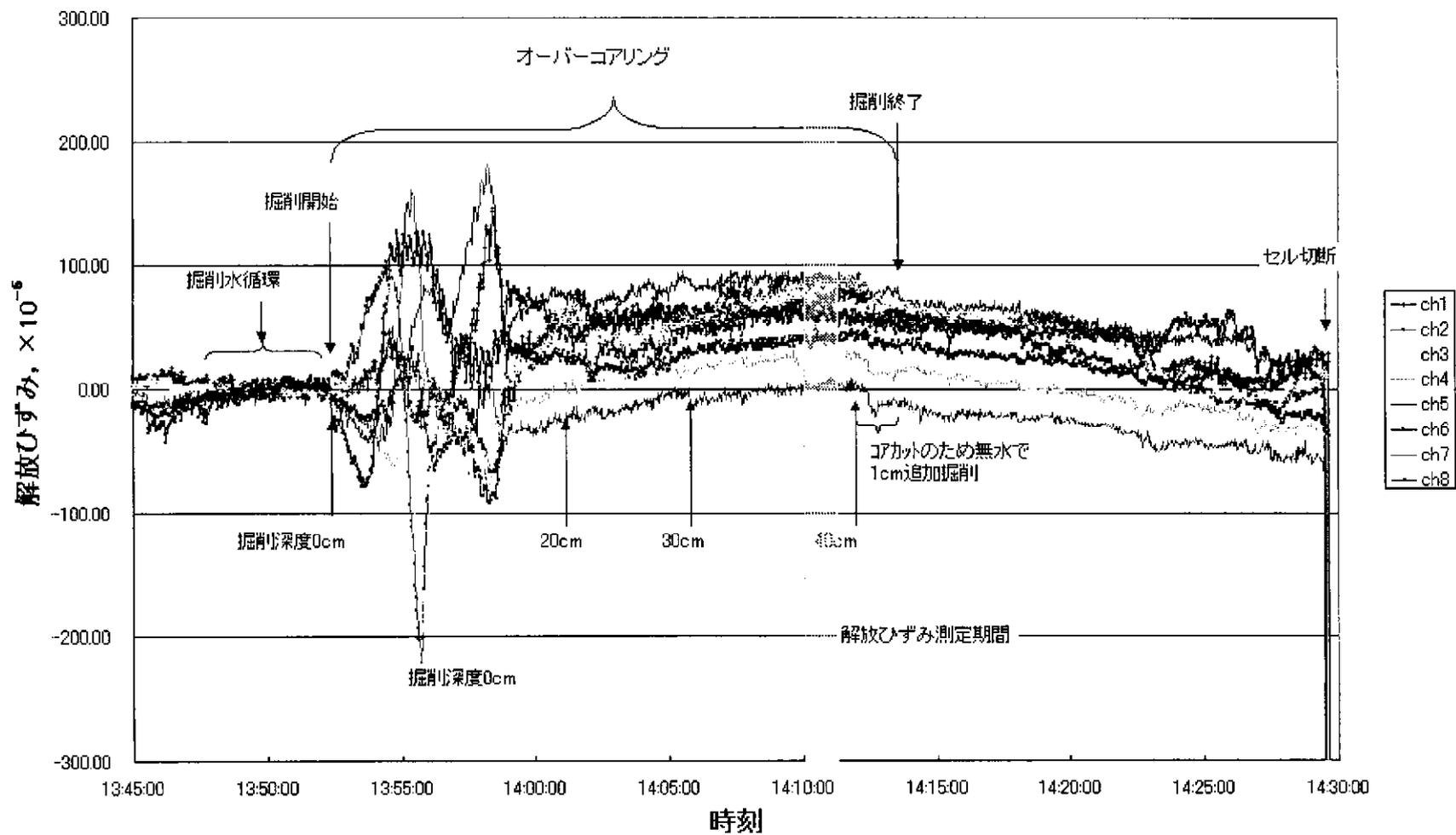


図 8.3 深度 18.2m における応力解放の結果

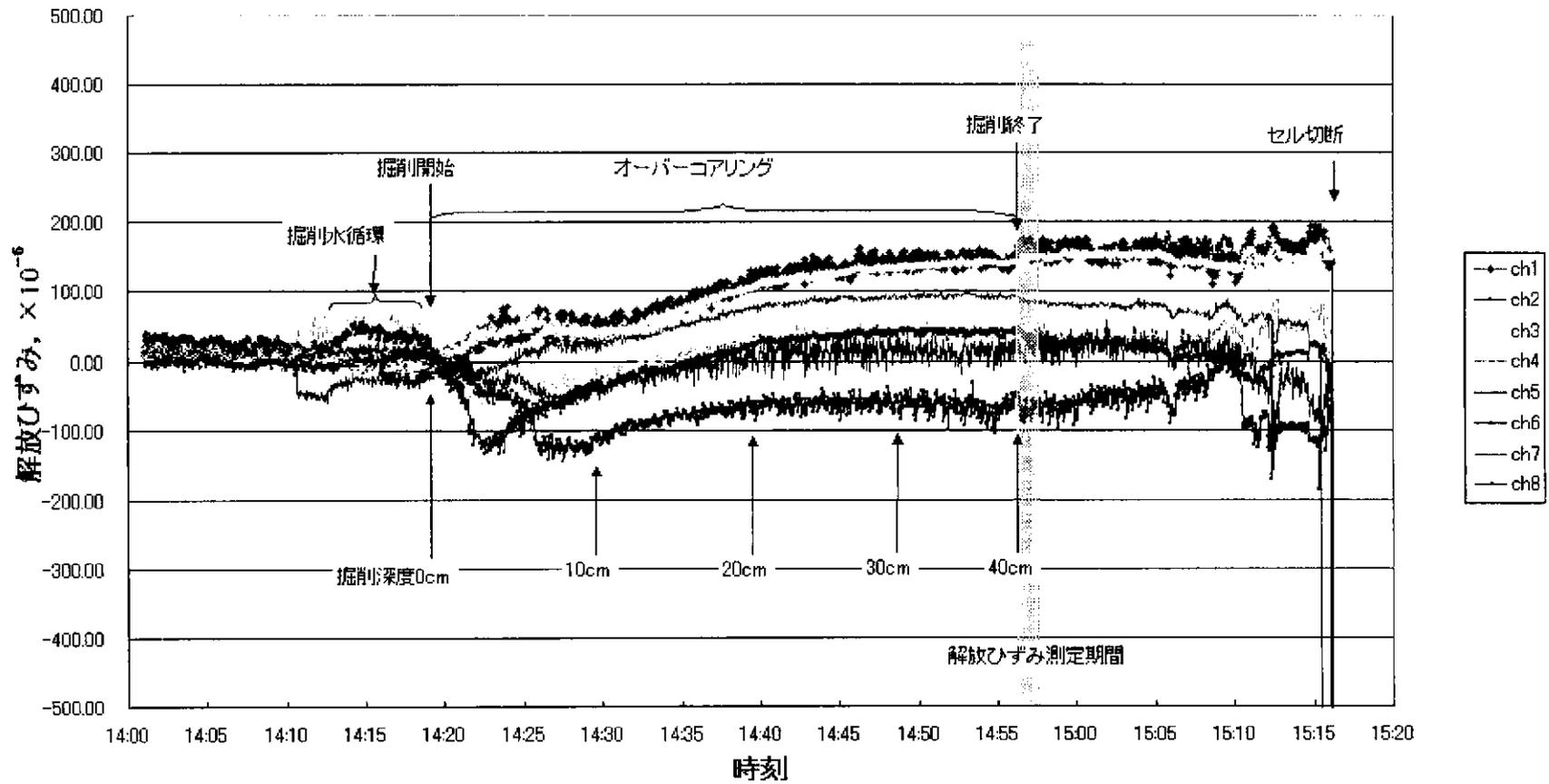


図 8.4 深度 19.4m における応力解放の結果

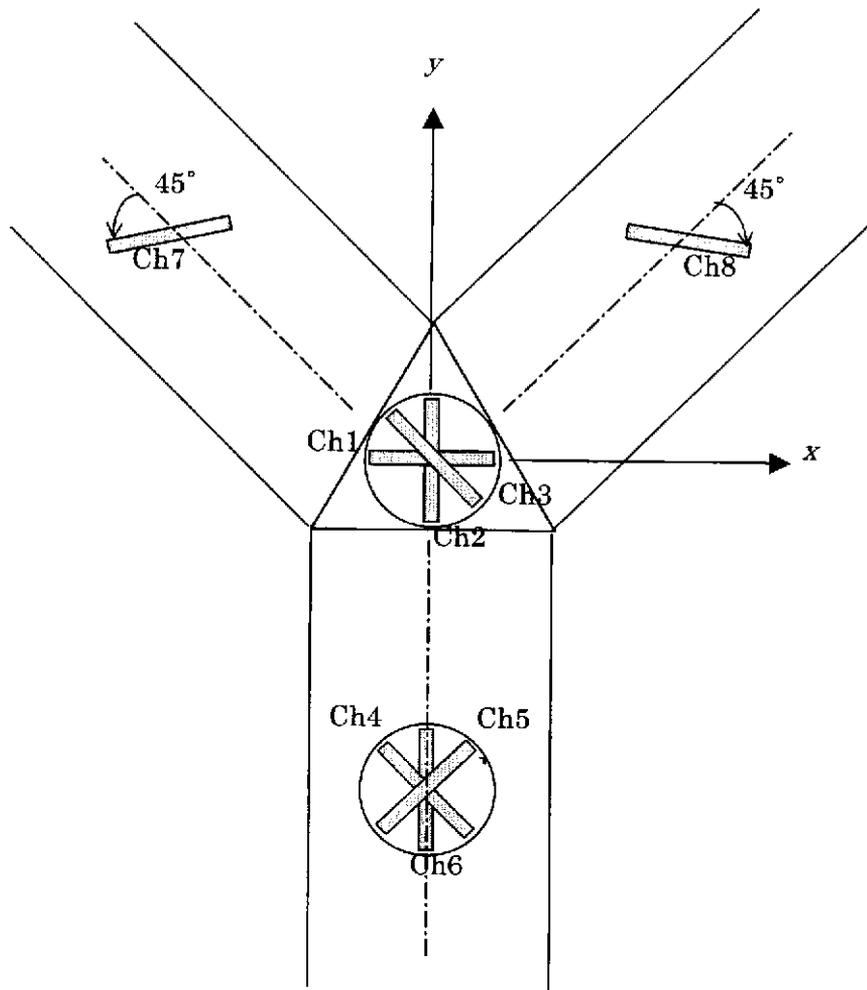
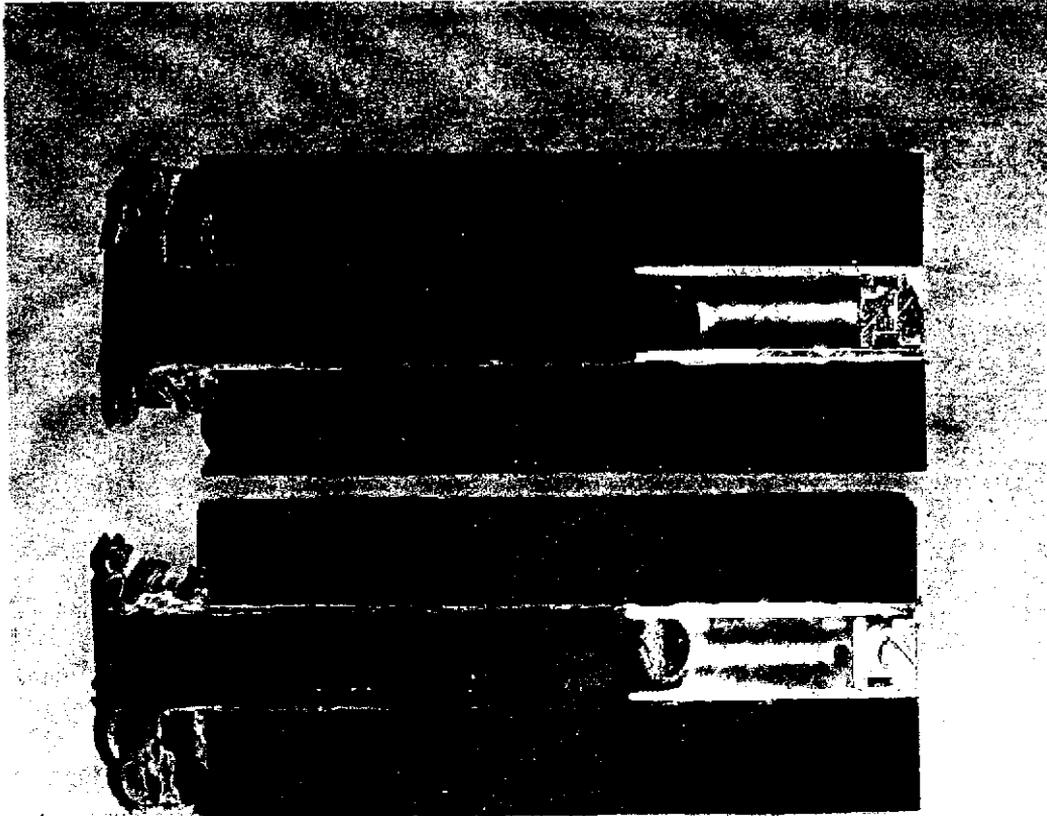


図 8.5 SI セル先端および側面からみたひずみゲージ配置と初期応力測定プローブのチャンネル番号との対応関係。x y 平面は SI セルの長軸と直交し、z 軸は SI セルの先端に向かう方向（紙面の裏側から表側に向かう方向）を正とする。

8. 3 接着剤の充填状態

SI セルとパイロット孔の間に充填された接着剤の充填状態を調査するために、コア軸を含む平面に沿って回収されたオーバーコアを2つに分割した。2分割したオーバーコアの切断面は、図 8.6、図 8.7、図 8.8 および図 8.9 に示す通りである。ここで、図のパイロット孔の右側（孔底側）がグリューカプセル、左側（孔口側）がSIセルである。まず、これらの断面を概観すると、砂粒子の粒度が長さ約 20cm のオーバーコアの内部で大きく変化し、オーバーコアがきわめて不均質であることが認められる。この傾向は、図 8.7 および図 8.8 のオーバーコアで特に顕著である。また、図 8.7 および図 8.9 のパイロット孔をみると、その壁面の輪郭は直線ではなくうねっており、パイロット孔の断面形状は真円でないことを示している。これは、岩盤の固結度が低いために、パイロット孔の掘削にともなって砂粒子が壁面から剥離したためであると考えられる。

次に、接着剤の充填状態をみると、いずれのオーバーコアも接着剤はSIセルとパイロット孔の間隙を充填し、かつパイロット孔の口元まで到達している。このことから、グリューカプセルの充填機構は孔底において予想通りに機能したといえる。ただし、01SI-15 孔の深度 4.365m のオーバーコア（図 8.6）を詳細にみると、SIセルとパイロット孔の間隙の接着剤の中に粘土状のスライムが混入して薄層をなしている。これは、パイロット孔の壁面に付着した粘土状の掘り屑が、SIセル設置前に完全に除去されなかったためであると考えられる。

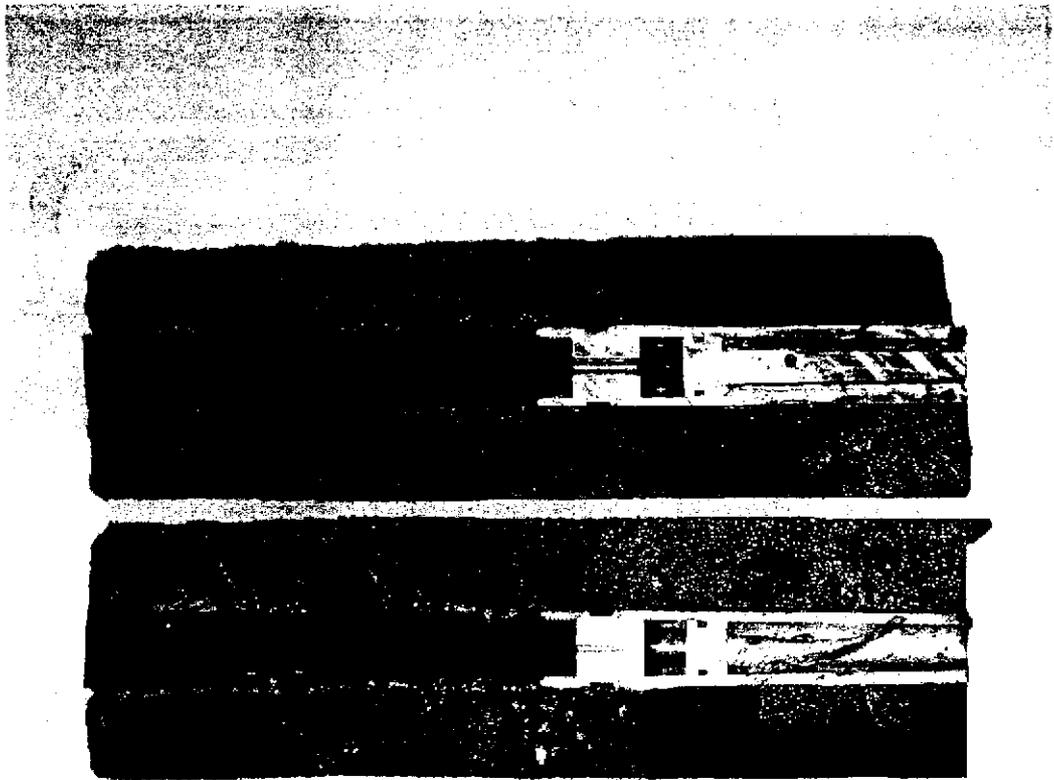


オーバーコア

ボーリング孔名：01SI-15

No.1 4.365m～4.640m

図 8.6 01SI-15 孔の深度 4.365m のオーバーコアの断面



オーバーコア

ボーリング孔名：01SI-16

No.1 13.50m~13.775m

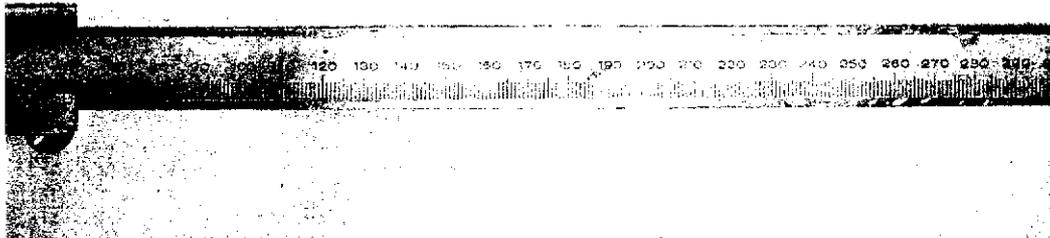
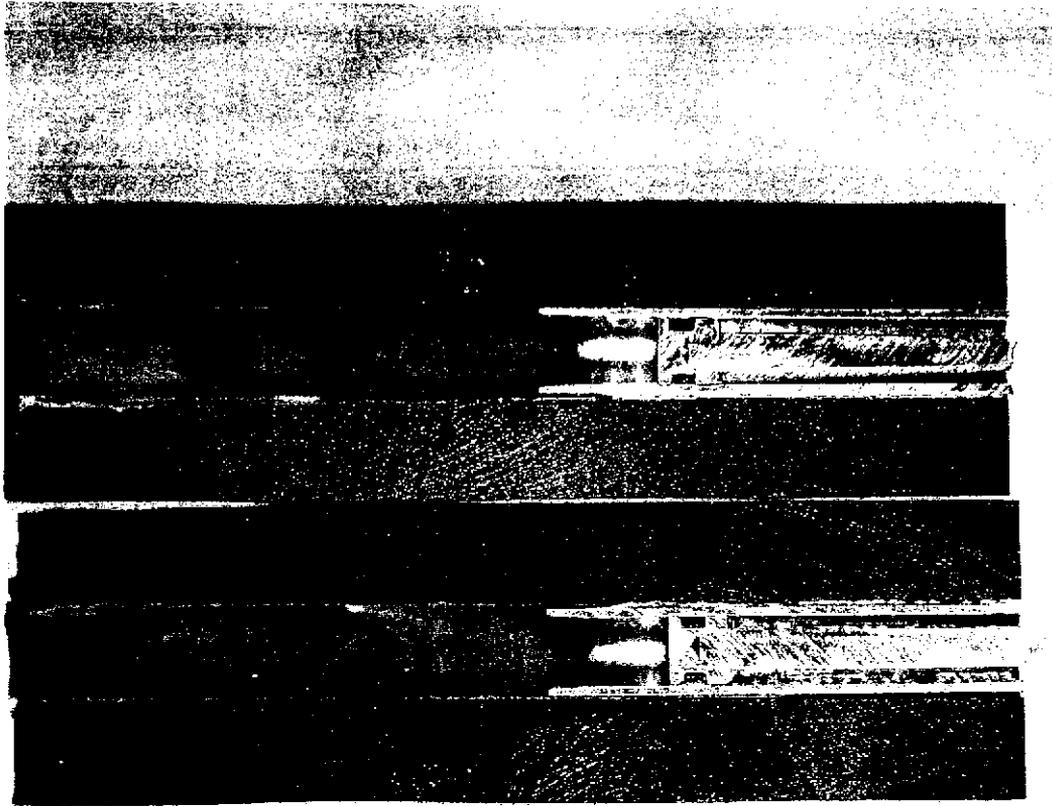


図 8.7 01SI-16 孔の深度 13.50m のオーバーコアの断面



オーバーコア

ボーリング孔名：01SI-16

No.2 18.20m～18.62m

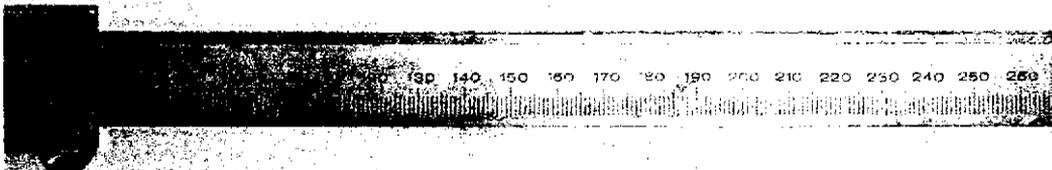
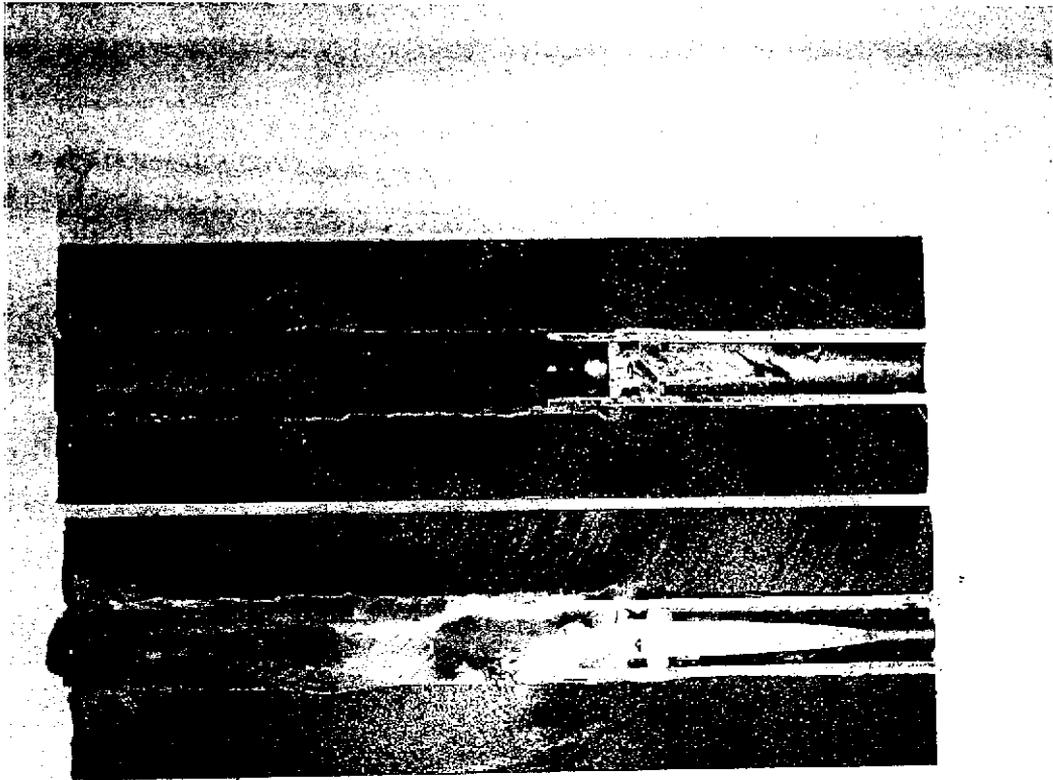


図 8.8 01SI-16 孔の深度 18.20m のオーバーコアの断面



オーバーコア

ボーリング孔名 : 01SI-16

No.3 19.40m~19.80m

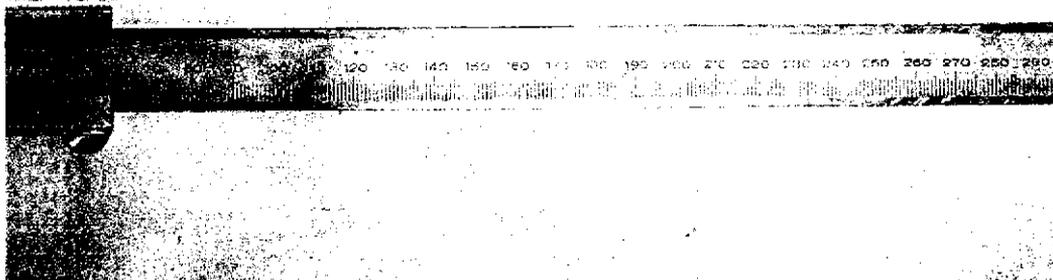


図 8.9 01SI-16 孔の深度 19.40m のオーバーコアの断面

9. 繰り返し載荷試験による岩石および接着剤の力学特性評価

応力解放法による初期応力測定において、岩石と接着剤の弾性率を適正に評価することは、原位置における解放ひずみを精度良く測定することと同様に、きわめて重要である。なぜならば、水圧破碎法などの応力を直接に測定する方法と異なり、応力解放法では応力の解放にともなうひずみを計測するので、算定される初期応力の精度はヤング率、ポアッソン比などの弾性率の正確な情報に大きく依存するからである。

ここでは、01SI-16号孔で測定された解放ひずみから初期応力を評価するために、ボーリングコアおよび接着剤を用いた繰り返し一軸載荷試験をおこない、それぞれのヤング率とポアッソン比を求めた。なお、当該岩盤はかなり不均質なので、採取深度によってボーリングコアに含まれる砂粒子の粒度が大きく変化し、その結果、評価される岩盤の力学特性も大きく変化することが考えられた。そこで、繰り返し載荷試験に用いたボーリングコアは、オーバーコアリングを行なった深度のできるだけ近傍から採取するようにした。また、接着剤はSIセルのボディーと同一の樹脂であるが、調合した後の時間と温度に依存して弾性率は変化することが考えられる。そこで、01SI-16号孔の孔内水温と同一の温度に設定した恒温槽の中で、24時間、1週間および2週間硬化させた試験片を用いて載荷試験をおこない、弾性率の時間依存性も調査した。

9. 1 試験装置

繰り返し一軸荷重試験の測定システムは、図 9.1 に示す通りである。荷重装置は、サーボ・コントロール式材料試験機 (MTS 社製: 315 型) である。荷重は試験機内蔵のロード・セル (MTS 社製: Model661.31F・01) によって測定した。岩石試験片の軸ひずみは軸変位計 (東京測器研究所製、CDP 5)、横ひずみは周変位計 (MTS 社製: Model632.11F・20) を用いて測定した。接着剤から製作した試験片の軸ひずみは、試験片の表面に直交ロゼットゲージ (ゲージ長 10mm) を接着して測定した。ただし、接着剤から製作した試験片の直径は 18mm と小さいために、ひずみゲージは試験片の片側にのみ貼付した。軸変位計あるいはひずみゲージで測定したデータは動ひずみ計 (共和電業社製: DPM 712A) を介して、また、ロード・セルおよび周変位計で測定したデータは直接、デジタルコントローラを介してパーソナルコンピュータに記録した。

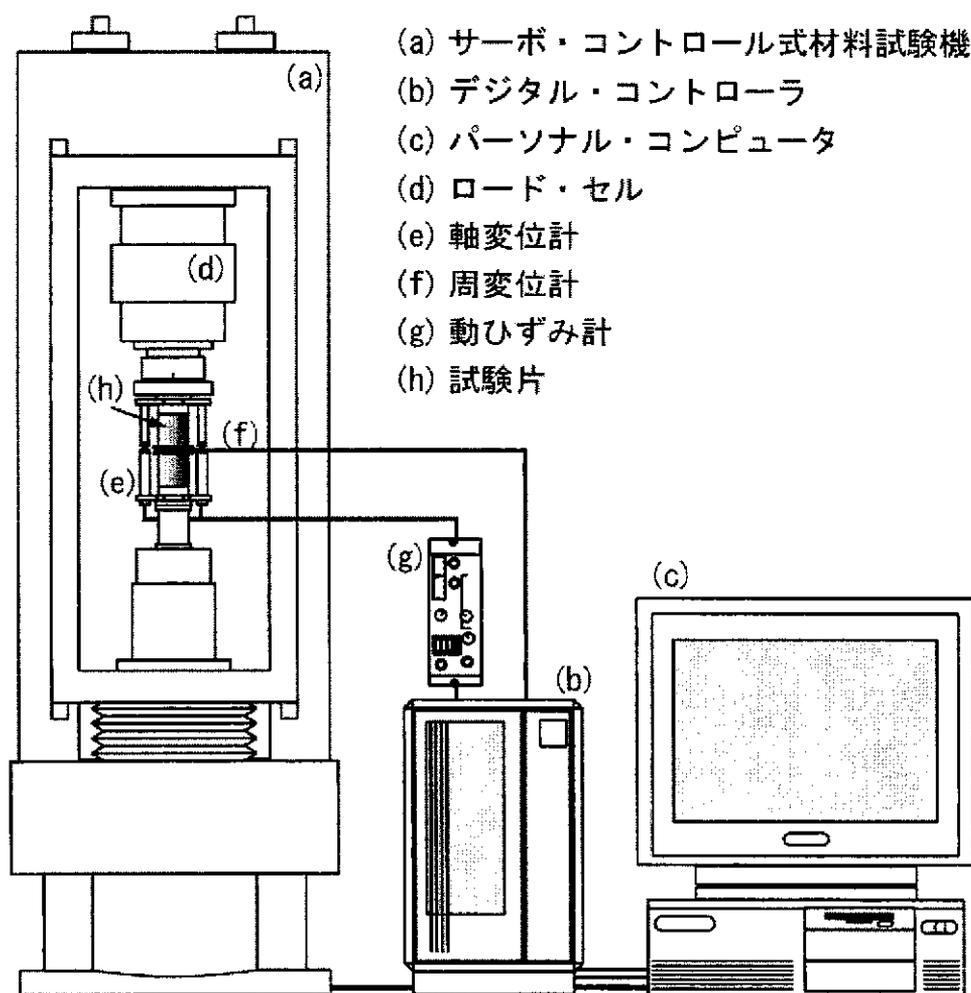


図 9.1 繰り返し一軸荷重試験における試験装置および測定系統

9. 2 試験方法

ボーリングコアから試験片を製作するときは、湿潤状態で送付された 01SI-16 号孔の HQ ボーリングコアをその長軸と垂直に切断し、両端面を平面研削盤によって平行度 1/20mm 以下に成形した。成形後、湿潤状態を保持するために試験片はビニール袋の中で保存した。岩石試験片の個数は 7 個であり、採取深度、湿潤状態における直径、長さおよび重量は表 9.1 に示す通りである。図 9.2 から図 9.8 は、成形後の岩石試験片である。

一方、接着剤から試験片を製作するときは、8. 1 (4) と同様の要領でエポキシ樹脂を混合脱泡した後、剥離剤を塗布した内径 18mm のアクリルパイプに流し込み、恒温槽の中で 24 時間硬化させた。この硬化時間は、原位置で接着剤を製作してからオーバーコアリングを開始するまでの時間にほぼ等しい。恒温槽の温度は 01SI-16 号孔の孔内水温と等しい 19℃ に設定した。24 時間後、硬化した接着剤をアクリルパイプから取り出し、ボーリングコアと同一の要領で端面整形した。接着剤は時間の経過に伴って硬化が進行するので、端面成形した試験片はひずみゲージ貼付後、すぐに試験に供した。第 1 回目の繰り返し載荷試験終了後、試験片を再び恒温槽に保管し、1 週間後および 2 週間後に同様の試験をおこなった。表 9.2 は接着剤から成形した試験片の寸法および重量である。

繰り返し載荷試験における載荷および除荷の速度は 1MPa/min とし、4MPa の最大応力まで載荷した後、ほぼ 0MPa まで除荷した。この最大応力は、東濃鉦山坑内 北延 NATM 坑道の被り地圧とほぼ等しい。本試験では、載荷・除荷の過程を 5 回繰り返した。岩石試験片の繰り返し載荷試験においては、試験片の乾燥を防ぎ、湿潤状態をできるだけ保持するために、試験中は試験片を薄いビニールフィルムで被覆した。接着剤から製作した試験片の繰り返し載荷試験では、4 本の試験片のうち 2 本（試験片 C と試験片 D）の最大応力を 8MPa とした。

表 9.1 岩石試験片の湿潤状態における寸法および重量

試験片	採取深度(m)	直径(mm)	長さ(mm)	重量(g)
A	14.25~14.35	63.70	113.30	750
B	14.81~14.97	63.40	157.60	1086
C	17.26~17.42	63.40	157.55	930
D	18.62~18.78	63.20	157.90	1026
E	18.80~18.96	63.35	157.50	996
F	19.00~19.16	63.20	157.20	1038
G	19.16~19.33	63.00	150.90	1044

表 9.2 接着剤試験片の寸法および重量

試験片	直径(mm)	長さ(mm)	重量(g)	備 考
A	18.80	47.10	15.27	24 時間,1 週間,2 週間後に試験実施(4MPa)
B	18.80	47.00	15.24	24 時間,1 週間,2 週間後に試験実施(4MPa)
C	18.80	47.00	15.23	24 時間後に試験実施(8MPa)
D	18.80	45.85	14.85	24 時間後に試験実施(8MPa)
E	18.80	46.80	15.19	1 週間,2 週間後に試験実施(4MPa)
F	18.80	46.70	15.22	1 週間,2 週間後に試験実施(4MPa)

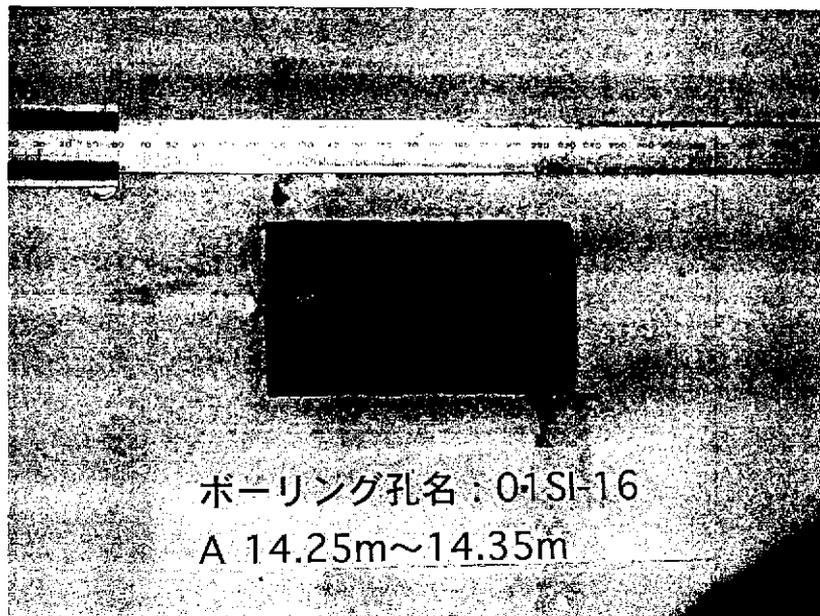


図 9.2 岩石試験片 A

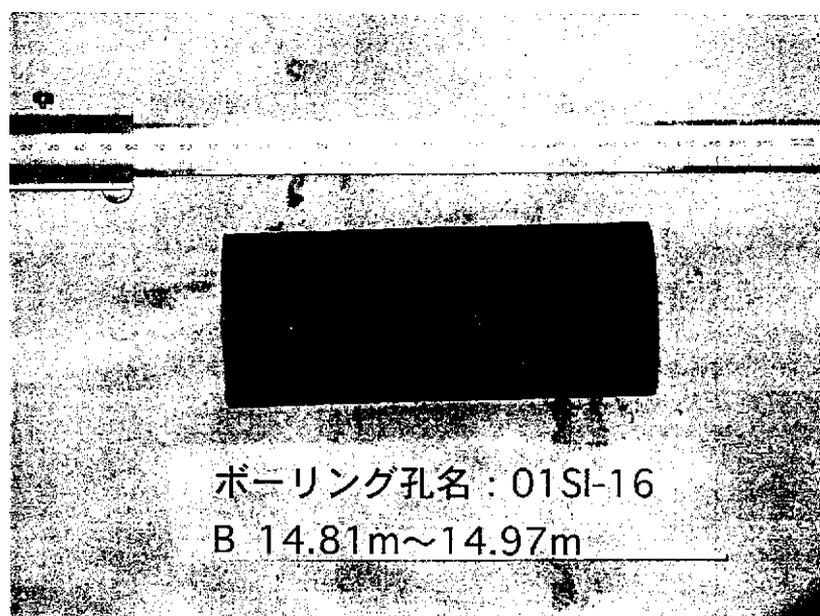


図 9.3 岩石試験片 B

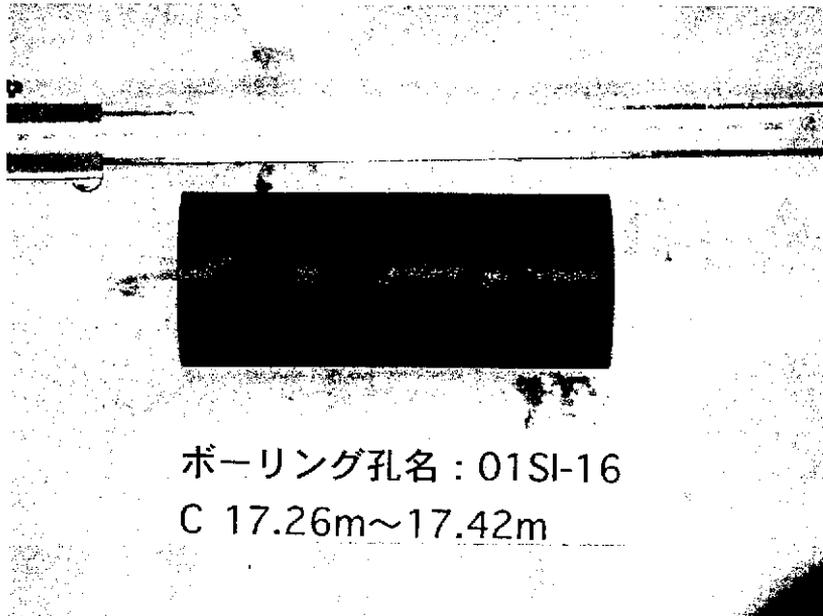


図 9.4 岩石試験片 C

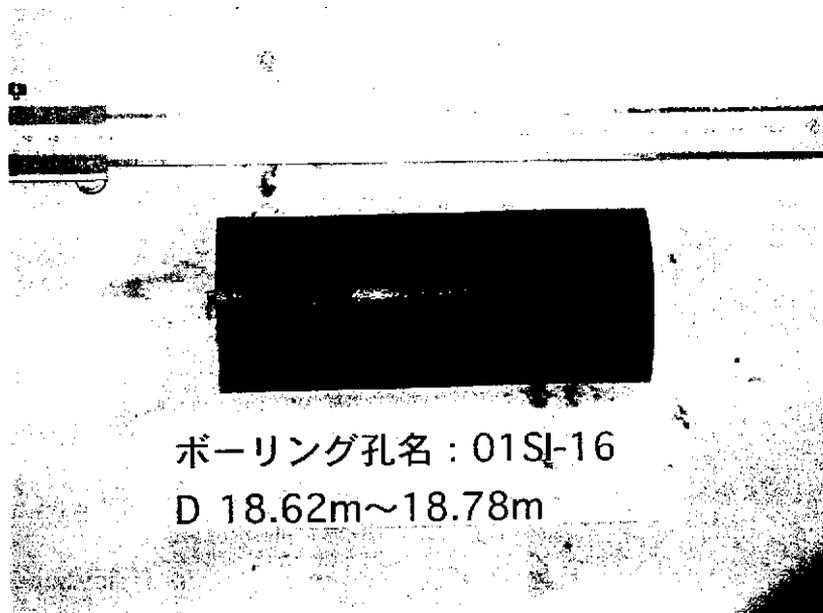


図 9.5 岩石試験片 D

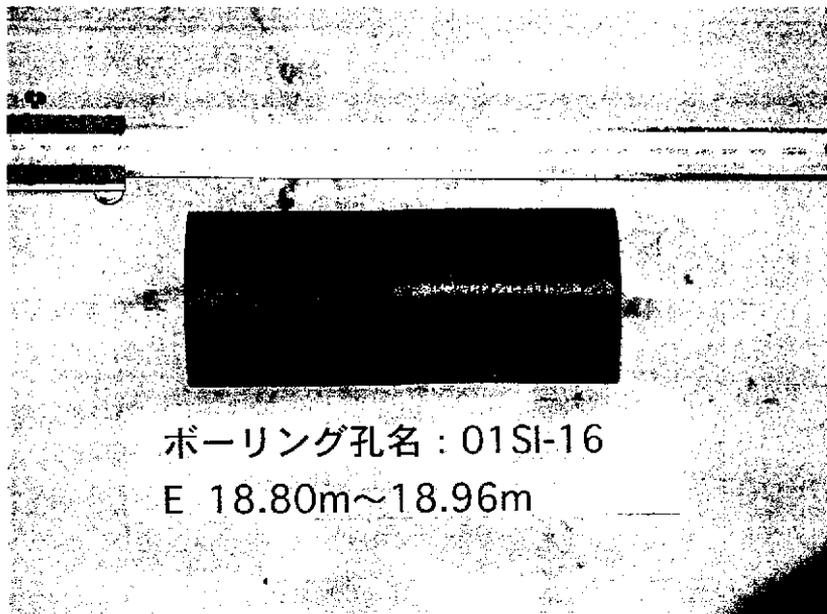


図 9.6 岩石試験片 E

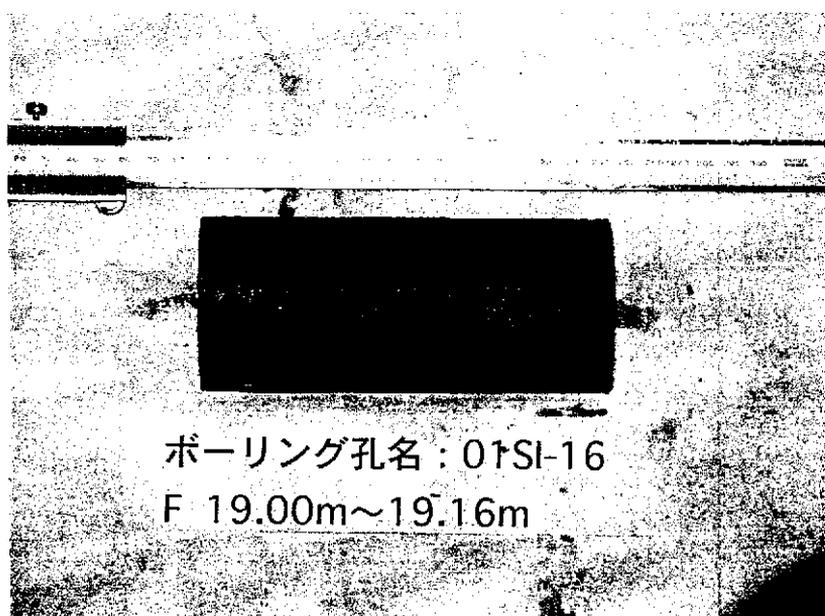


図 9.7 岩石試験片 F

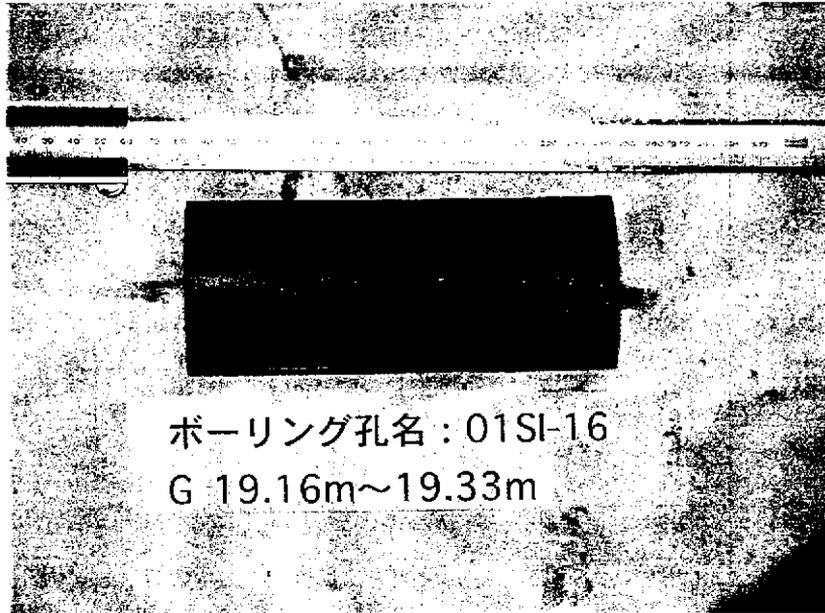


図 9.8 岩石試験片 G

9.3 試験結果

(1) 岩石試験片

繰り返し載荷試験における応力-ひずみ曲線は、図 9.9 から図 9.15 の通りである。ここで、グラフの上部に印されたアルファベット記号は試験片を表している。この記号は、表 9.1 および表 9.3 に記載されている試験片と対応している。応力-ひずみ曲線において圧縮応力および縮みひずみは正である。体積ひずみ ε_v は、計測された軸ひずみ ε_y と横ひずみ ε_x から、次式を用いて算出した。

$$\varepsilon_v = \varepsilon_y + 2 \varepsilon_x \dots\dots\dots(9.1)$$

なお、試験片 A は、第 1 回目の除荷時に破壊したため、繰り返し載荷試験を継続することができなかった。

図 9.10 から図 9.15 の繰り返し載荷試験における応力-ひずみ曲線を見ると、第 1 回目の載荷における軸ひずみは下に大きく凸になっており、低応力下で大きくひずむことが認められる。これは、低応力下で空隙やき裂が軸方向に閉じていくためと考えられる。これに対して横方向のひずみは小さくかつ直線的で、ポアソン比は極めて小さい。さらに、第 1 回目の除荷後の永久ひずみは、軸方向のみに大きく生じている。すなわち、第 1 回の載荷によって、岩石試験片は軸方向に圧密されたと考えられる。2 回目以降の載荷でも圧密によって軸方向に永久ひずみが生じるが、第 1 回目の載荷と比較するとかなり小さい。すなわち、岩石試験片の空隙やき裂は第 1 回目の載荷によって閉塞し、2 回目以降の載荷では比較的弾性的な挙動を示している。以上、岩石試験片は典型的な軟岩の変形挙動を示しているといえる。

繰り返し載荷試験の結果をまとめると表 9.3 の通りである。ヤング率およびポアソン比は、オーバーコアリングによる応力解放を模擬するために第 1 回目の除荷過程における応力-ひずみ曲線から求めた。すなわち、最大応力 (4MPa) と、これから 10% だけ除荷したときの応力 (3.6MPa) の区間における軸ひずみから、最小 2 乗法によって直線の傾きを求め、これを除荷時のヤング率とした。また同様に、同区間での横ひずみから同様にして直線の傾きを求め、軸ひずみの傾きを横ひずみの傾きで除した値を除荷時のポアソン比とした。除荷時のヤング率は、試験片 C を除くと、6GPa から 8GPa の範囲に分布する。

表 9.3 岩石の除荷時のヤング率とポアソン比

試験片	採取深度(m)	ヤング率 (GPa)	ポアソン比
A	14.25~14.35	—	—
B	14.81~14.97	7.3	0.10
C	17.26~17.42	3.9	0.24
D	18.62~18.78	6.7	0.16
E	18.80~18.96	5.9	0.17
F	19.00~19.16	6.6	0.23
G	19.16~19.33	7.8	0.20

— : 第 1 回目の除荷過程で破壊した。

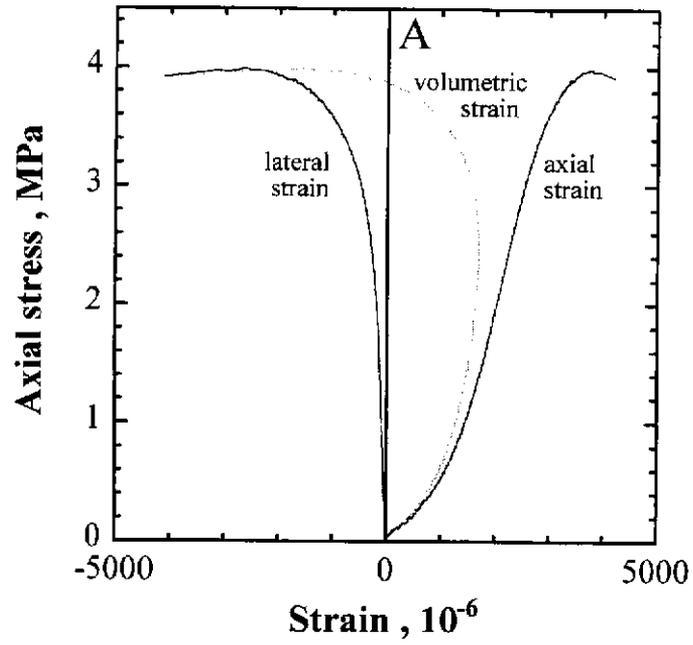


図 9.9 岩石試験片 A の応力-ひずみ線図

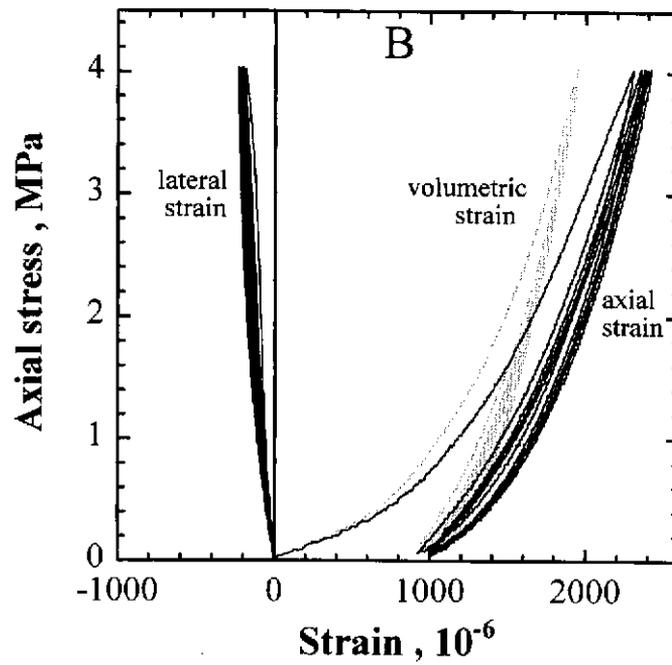


図 9.10 岩石試験片 B の応力-ひずみ線図

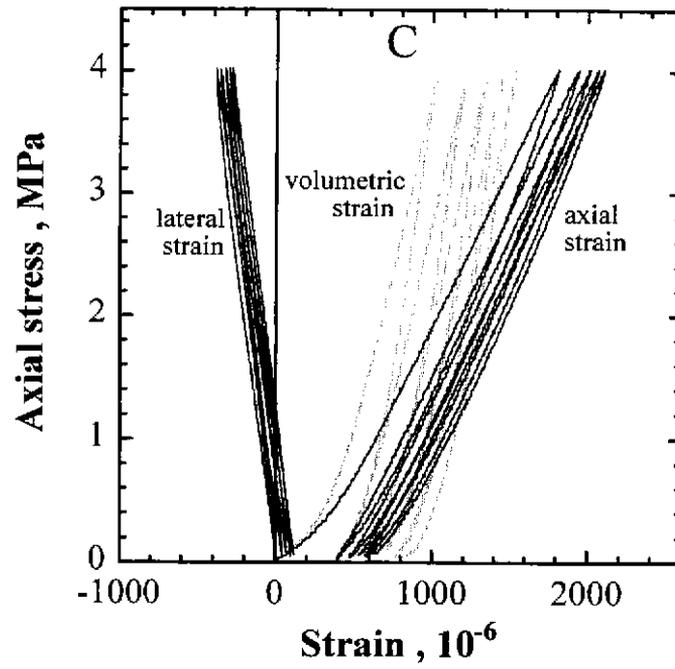


図 9.11 岩石試験片 C の応力-ひずみ線図

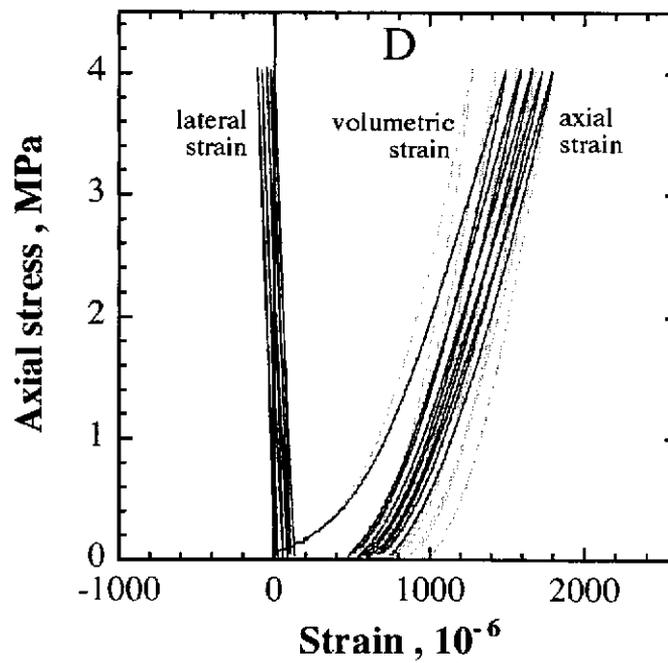


図 9.12 岩石試験片 D の応力-ひずみ線図

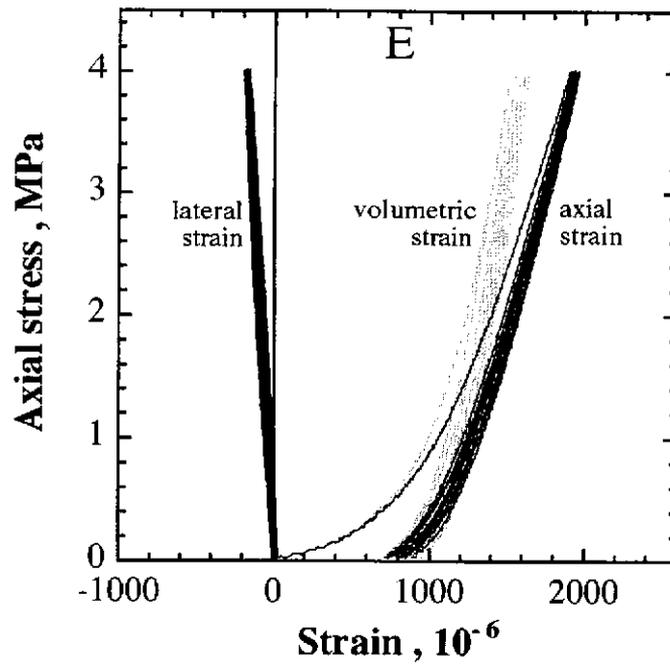


図 9.13 岩石試験片 E の応力-ひずみ線図

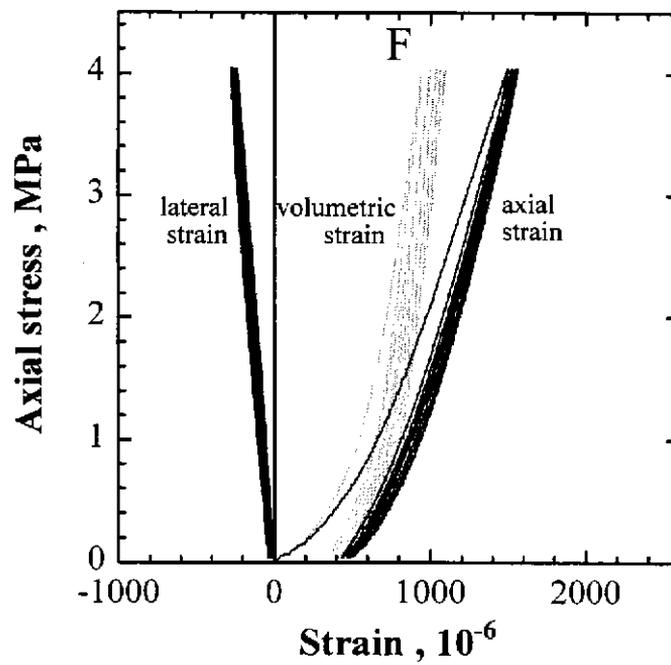


図 9.14 岩石試験片 F の応力-ひずみ線図

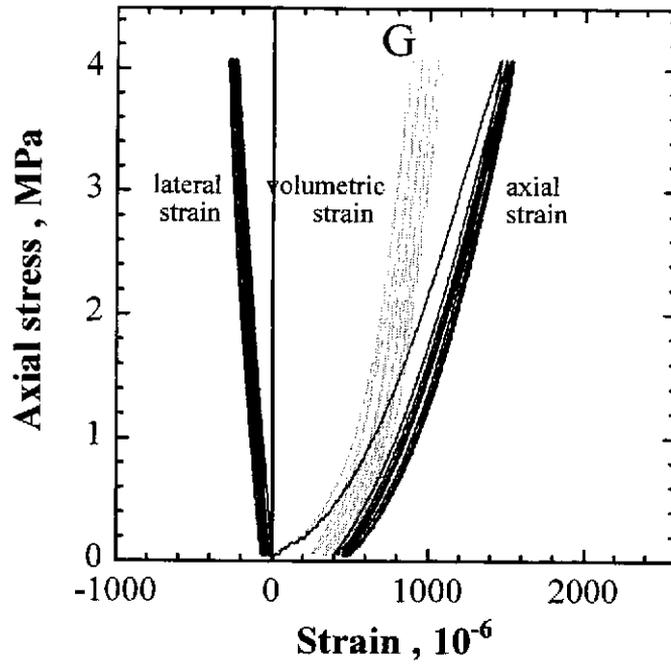


図 9.15 岩石試験片 G の応力-ひずみ線図

(2) 接着剤

a. 調合から 24 時間後の試験結果

孔内水温と等しい 19℃で 24 時間硬化させた接着剤の繰り返し載荷試験における応力-ひずみ曲線は、図 9.16 から図 9.19 の通りである。ここで、グラフの上部に印されたアルファベット記号は試験片を表している。この記号は、表 9.2 および表 9.4 に記載されている試験片と対応する。試験片 A と試験片 B の繰り返し載荷における最大応力は 4 MPa であり、試験片 C と試験片 D の最大応力は 8 MPa である。

図 9.16 から図 9.19 の繰り返し載荷試験における応力-ひずみ曲線をみると、試験片 B のひずみは極端に小さい。これは、ひずみゲージが試験片の片側にのみ貼付されたために、試験片に生じた曲げの影響を相殺できなかつたためであると考えられる。試験片 B を除く各試験片の応力-ひずみ曲線をみると、体積ひずみがきわめて小さいことが読み取れる。すなわち、一軸圧縮による試験片の体積変形は殆どなく、軸方向に変形した分だけ横方向に変形する。しかも、その変形は殆ど回復していない。これは、あたかも粘土のような塑性体の変形挙動であると言える。調合された接着剤は、時間の経過とともに硬化が進行し、低粘性体→高粘性体→塑性体→弾塑性体→弾性体へ変化すると考えられる。このうち、調合 24 時間後の接着剤は、塑性体の硬化段階であると考えられる。

以上のことから、図 9.16 から図 9.19 の繰り返し載荷試験の除荷時における応力-ひずみ曲線の傾きを弾性理論のヤング率として扱うことは問題があるように思われる。例えば、除荷時の応力-ひずみ曲線の傾きはかなり急であってヤング率は大きいようにみえる。しかし、これは単に変形が回復しないという塑性体としての変形挙動による。もしも仮にこの接着剤を弾性体として扱うのであれば、現実の硬化段階に見合うようなできるだけ小さなヤング率を設定すべきであろうと思われる。表 9.4 に示した 24 時間後のヤング率とポアソン比は、岩石試験片の場合と同一の手法を適用して求めた暫定的な結果である。

SI セルを用いた実際の測定においては、除荷時の弾性挙動のみを測定の対象とするので、接着剤の永久ひずみが初期応力の評価に誤差を与えることはない^[1]としている。しかし、コアリングにともなって、ボーリングコアが受ける応力履歴は複雑であって、地下深部の圧縮応力状態から無応力状態に至るまで単調な除荷の応力履歴でない場合がある。例えば、コアリング時に Poisson expansion^[2]が生じることは良く知られている。オーバーコアリングにともなって接着剤が履歴する応力が単調な除荷でなければ、塑性体である接着剤の応力とひずみは一意的に対応しなくなり、フックの法則は成り立たなくなることが考えられる。

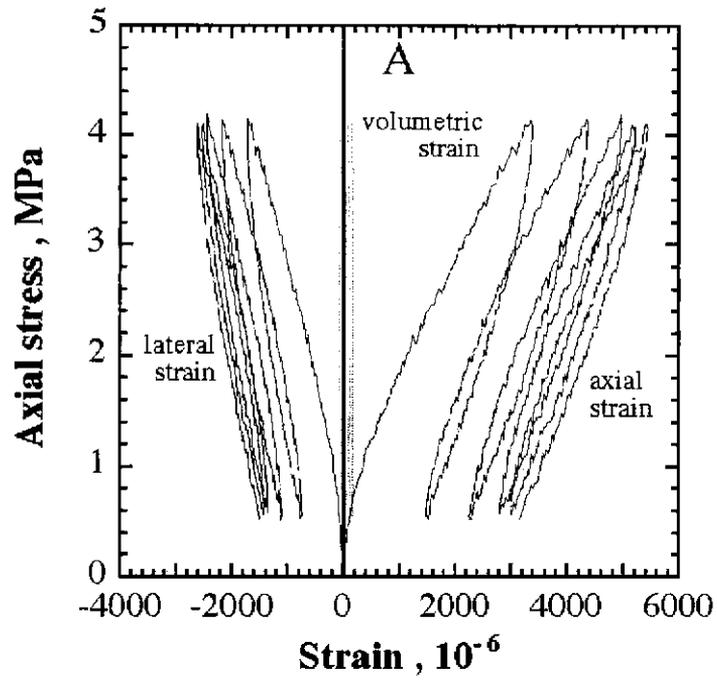


図 9.16 接着剤試験片 A の応力-ひずみ曲線

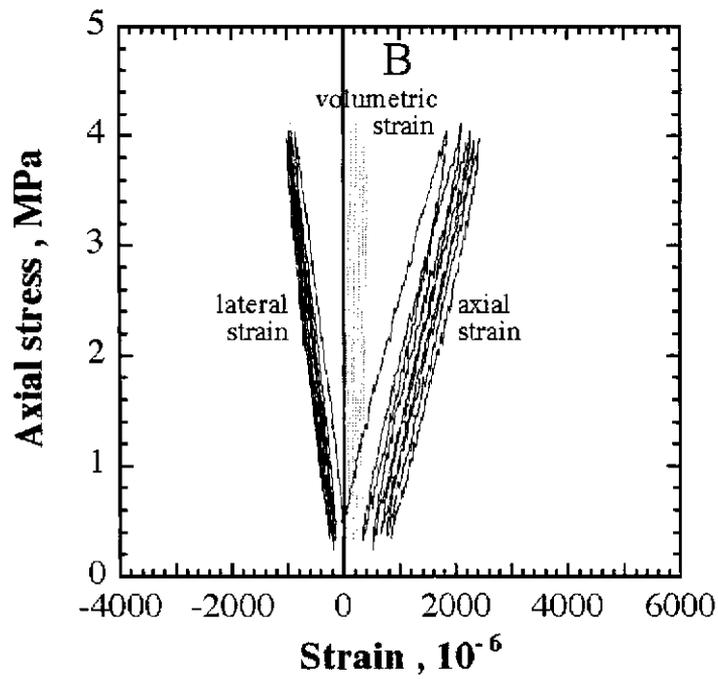


図 9.17 接着剤試験片 B の応力-ひずみ曲線

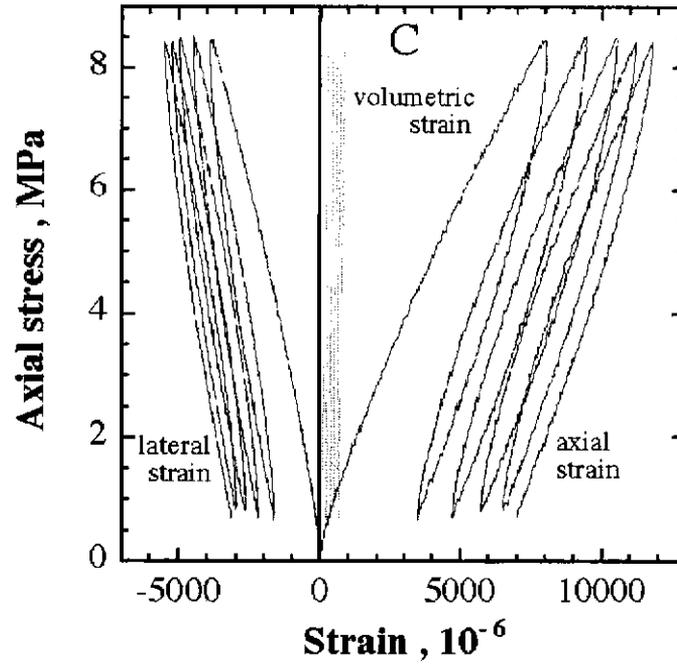


図 9.18 接着剤試験片 C の応力-ひずみ曲線

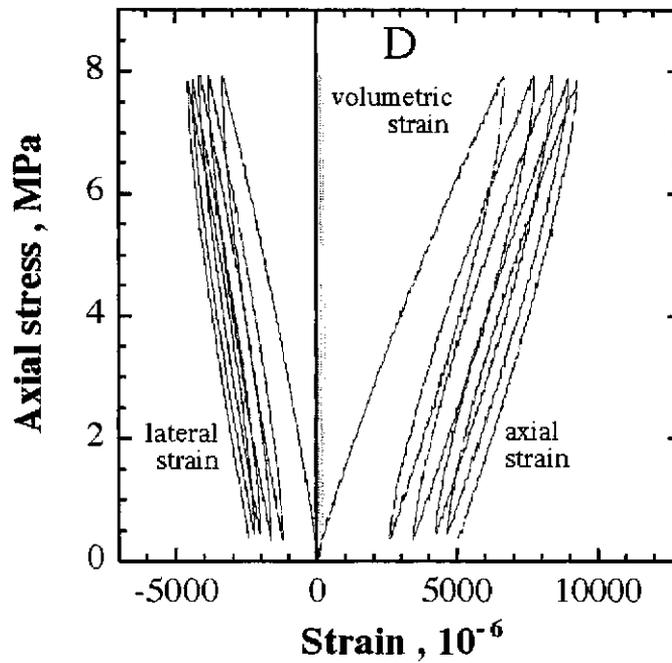


図 9.19 接着剤試験片 D の応力-ひずみ曲線

b. 調合から1週間および2週間後の試験結果

孔内水温と等しい19℃で1週間および2週間硬化させた接着剤の繰り返し載荷試験における応力-ひずみ曲線は、図9.20から図9.23の通りである。ここで、グラフの上部に印されたアルファベット記号は試験片を表している。この記号は、表9.2および表9.4に記載されている試験片と対応する。繰り返し載荷における最大応力はすべて4MPaである。

1週間および2週間後の繰り返し載荷における応力-ひずみ曲線は、いずれも殆ど線形であって除荷時に生じる永久ひずみは小さい。体積ひずみは小さく、軸方向に変形した分だけ横方向に変形し、その変形は殆ど完全に回復している。これは、あたかもゴムのような完全弾性体の変形挙動である。繰り返し載荷試験の結果をまとめると表9.4の通りである。除荷時のヤング率およびポアソン比は、岩石試験片の場合と同一の手法によって求めた。1週間および2週間後の各試験片の弾性率は殆ど等しく、ばらつきも小さい。

表9.4 接着剤の除荷時のヤング率とポアソン比

試験片	24時間後*		1週間後		2週間後	
	$E(\text{GPa})$	ν	$E(\text{GPa})$	ν	$E(\text{GPa})$	ν
A	12.1	0.39	4.2	0.43	4.8	0.39
B	4.9 ⁺	0.46 ⁺	4.5	0.41	4.2	0.40
C	9.2	0.38	—	—	—	—
D	6.8	0.42	—	—	—	—
E	—	—	4.3	0.44	4.1	0.42
F	—	—	4.5	0.41	4.0	0.37

*：調合24時間後の接着剤は塑性体なので、 E と ν は暫定的な数値である。

+：試験片に生じた曲げの影響を受けた可能性がある。

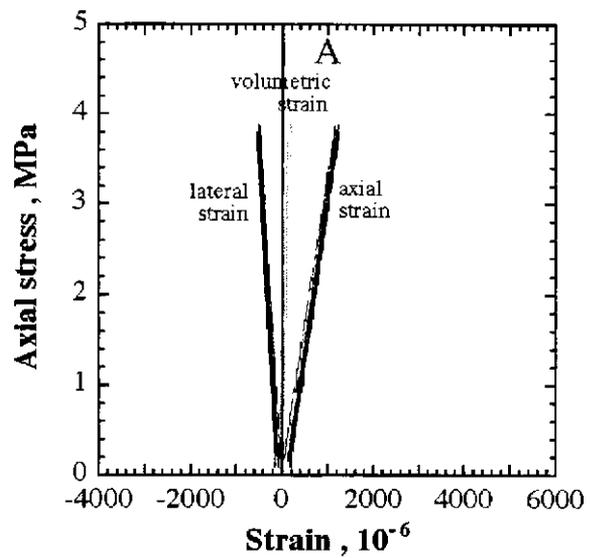
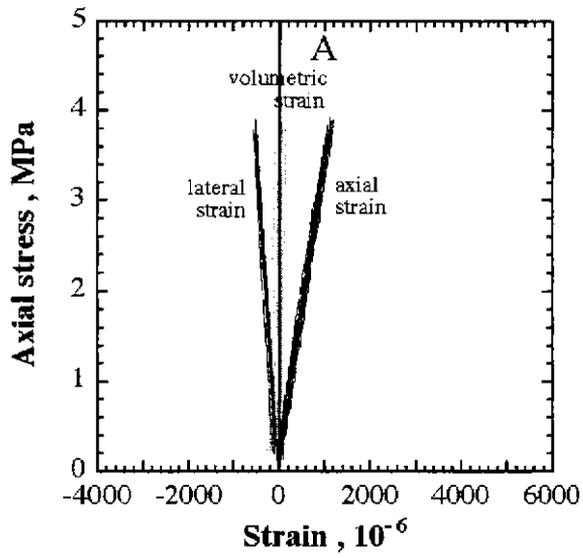


図 9.20 接着剤試験片 A の調合後(左)1 週間および(右)2 週間後の応力-ひずみ曲線

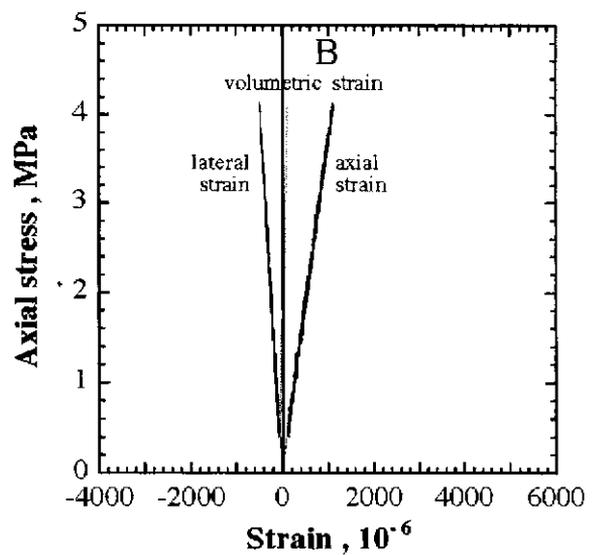
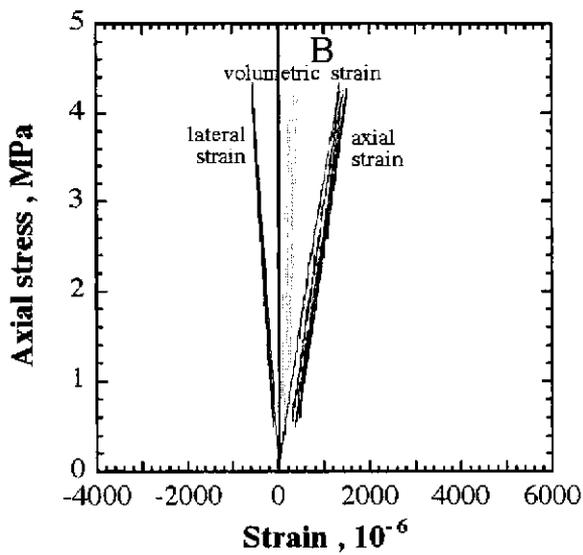


図 9.21 接着剤試験片 B の調合後(左)1 週間および(右)2 週間後の応力-ひずみ曲線

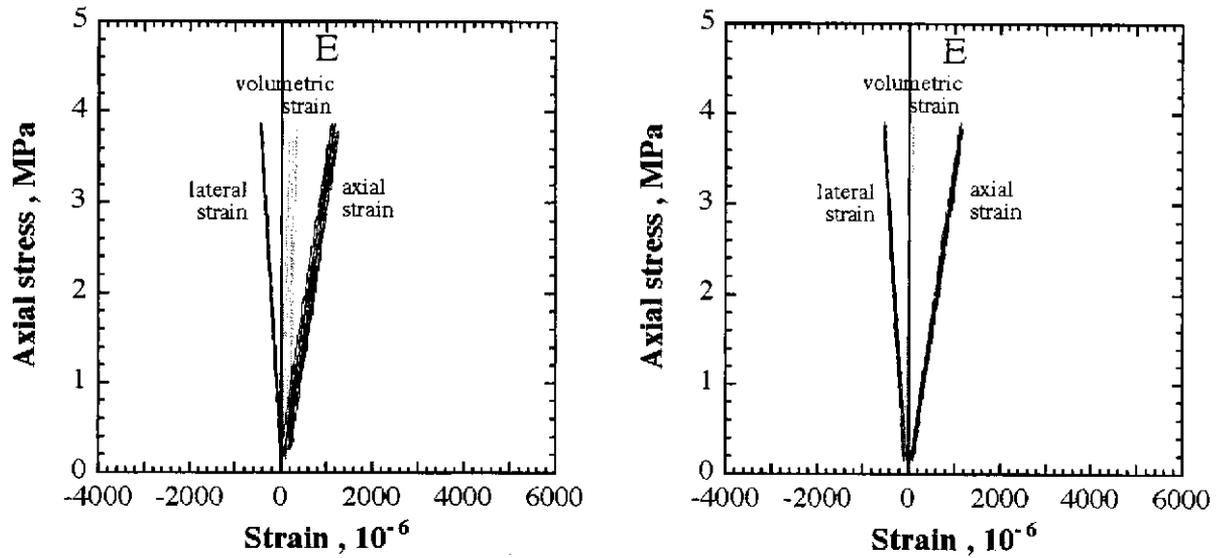


図 9.22 接着剤試験片 E の調合後(左)1 週間および(右)2 週間後の応力-ひずみ曲線

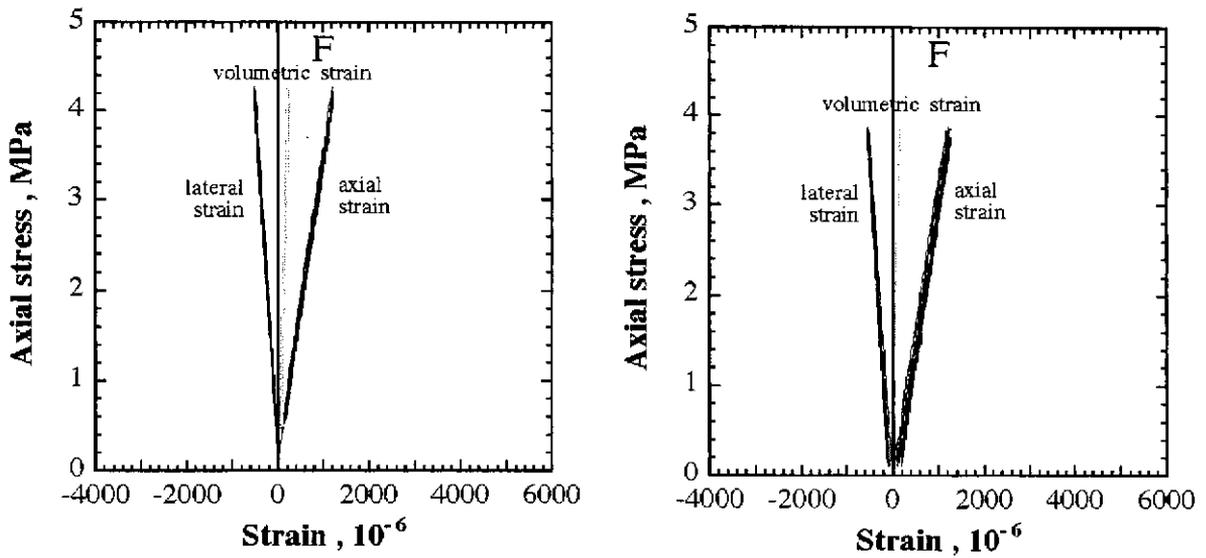


図 9.23 接着剤試験片 F の調合後(左)1 週間および(右)2 週間後の応力-ひずみ曲線

10. 3次元初期応力状態の評価

ここでは、3深度で測定された解放ひずみおよびSIセルの方位傾斜から3次元初期応力状態を評価する。表10.1は、初期応力測定用解析プログラム^[3]に入力するためのヤング率とポアソン比である。ここで、各試験深度における岩盤のヤング率とポアソン比は、備考に示すように、試験深度近傍の岩石試験片について求めた除荷時の力学特性値(表9.3)の平均値を採用した。SIセルのヤング率とポアソン比は、表9.4に示した調査2週間後の接着剤の平均値を用いた。前にも述べたように、調査してから24時間後の接着剤を仮に弾性体として取り扱ふとすれば、硬化の進行段階に応じた小さなヤング率を設定する必要がある。しかし、これらの弾性率を今回の繰返し載荷試験から求めることは困難であったので、ここでは2週間硬化させた後の接着剤のヤング率を50%に低減して解析をおこなうことにした。ポアソン比はSIセルのそれに等しいとした。

表10.2は、オーバーコアリングにともなって初期応力測定プローブで測定された解放ひずみのうち、オーバーコアリングの先端位置がオーバーコアリング孔底から約40cmに達したときの解放ひずみである。すなわち、図8.1、図8.2、図8.3の「解放ひずみ測定期間」と記された約30秒間の解放ひずみの平均値である。完全な弾性岩盤では、オーバーコアリングがひずみゲージ設置位置からオーバーコアの直径の1.5倍程度の距離^[4]に進んだ段階で、オーバーコアリングの位置と無関係に解放ひずみはそれぞれ安定したひずみ量に収束する。したがって、本応力解放試験のように圧密された岩盤がほぼ弾性体として挙動し、かつ、オーバーコアの直径が63mmである場合、オーバーコアリングの深さが400mm到達すると、SIセル埋設位置の応力は完全に解放されたとみなすことができるであろう。SIセルに設定したx軸の方位は、ダイヤモンドビットがオーバーコアリング孔底から1.1mの高さにあるときの、試験開始直前に測定された方位傾斜データから求めた。

以上の入力データから入力ファイルを製作し、初期応力測定用解析プログラムを使って解析した結果を示すと、表10.3から表10.5の通りである。ただし、入力ファイルの解放ひずみにはオーバーコアリング孔底の応力集中の影響が含まれていると考えられるが、本解析プログラムでは考慮していない。さらに、塑性体である接着剤を弾性体として取り扱っている。解析結果を解釈する場合、以上の2点を加味する必要があるように思われる。

表 10.1 3次元初期応力状態を評価するために用いたヤング率とポアソン比

応力解放 試験深度 (m)	岩盤		接着剤**		SI セル*		備 考
	E_1 (GPa)	ν_1	E_2 (GPa)	ν_2	E_3 (GPa)	ν_3	
13.5	7.3	0.10	2.2	0.40	4.3	0.40	岩石試験片 B の力学特性
18.2	6.3	0.17	2.2	0.40	4.3	0.40	岩石試験片 D,E の力学特性
19.4	7.2	0.22	2.2	0.40	4.3	0.40	岩石試験片 F,G の力学特性

* : SI セルの弾性率は、調合 2 週間後の接着剤の弾性率の平均値とした。

** : 接着剤のヤング率は SI セルの 50%とし、ポアソン比は SI セルと等しいとした。

表 10.2 初期応力測定プローブの各チャンネルで測定された解放ひずみおよび x 軸の方位

試験深度(m)	解放ひずみ ($\times 10^{-6}$)								x 軸の方位 (deg)*
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8	
13.5	261	233	236	58	202	75	55	129	166
18.2	84	70	81	29	89	60	3	41	-111
19.4	162	150	150	38	22	-70	85	32	40

* : 孔口から孔底を見たとき、磁北から時計回りを正とする。

表 10.3 初期応力解析プログラムで用いた入力データおよび出力データ
 (深度 13.5m における応力解放試験結果)

	入出力データ	データの説明
入力データ	0.032,0.011,0.009 7300,2200,4300 0.1,0.4,0.4 261,233,236,58,202,75,55,129	オーバーコア,パイロット孔,SIセル半径(m) 岩盤,接着層,SIセルのヤング率(MPa) 岩盤,接着層,SIセルのポアソン比(-) 解放ひずみ(ch1~8)
出力データ	icovar= 0 Calculation has performed Error Value= 0.1267E+01 Principal Stress(MPa) t_1(max) t_2(mid) t_3(min) 0.4405E+01 0.2516E+01 0.2122E+01 Directional Cosin(°) i L_i m_i n_i 1 90. 100. 10. 2 90. 10. 80. 3 0. 90. 90. Stress Components in x,y,z(MPa) txx tyy tzz 0.2122E+01 0.2576E+01 0.4345E+01 txy tyz txz -0.2101E-07 -0.3318E+00 0.2281E-07 for Schmidt net data t_1 : N 0E 10N t_2 : N 0E 79S t_3 : N 89E 0S	主応力の大きさ 主応力方向

表 10.4 初期応力解析プログラムで用いた入力データおよび出力データ
 (深度 18.2m における応力解放試験結果)

	入出力データ	データの説明
入力データ	0.032,0.011,0.009 6300,2200,4300 0.17,0.4,0.4 84,70,81,29,89,60,3,41	オーバーコア,パイロット孔,SIセル半径(m) 岩盤,接着層,SIセルのヤング率(MPa) 岩盤,接着層,SIセルのポアソン比(-) 解放ひずみ(ch1~8)
出力データ	icovar= 0 Calculation has performed Error Value= 0.1590E+01 Principal Stress(MPa) t_1(max) t_2(mid) t_3(min) 0.1660E+01 0.1023E+01 0.8650E+00 Directional Cosin(°) i l_i m_i n_i 1 90. 103. 13. 2 0. 90. 90. 3 90. 13. 77. Stress Components in x,y,z(MPa) txx tyy tzz 0.1023E+01 0.9042E+00 0.1620E+01 txy tyz txz 0.2460E-08 -0.1721E+00 0.1560E-07 for Schmidt net data t_1 : N 0E 12N t_2 : N 89E 0S t_3 : N 0E 77S	主応力の大きさ 主応力方向

表 10.5 初期応力解析プログラムで用いた入力データおよび出力データ
(深度 19.4m における応力解放試験結果)

	入出力データ	データの説明																												
入力データ	<p>0.032,0.011,0.009</p> <p>7200,2200,4300</p> <p>0.22,0.4,0.4</p> <p>162,150,150,38,22,-70,85,32</p>	<p>オーバーコア,パイロット孔,SIセル半径(m)</p> <p>岩盤,接着層,SIセルのヤング率(MPa)</p> <p>岩盤,接着層,SIセルのポアソン比(-)</p> <p>解放ひずみ(ch1~8)</p>																												
出力データ	<p>icovar= .1</p> <p>Calculation has normaly finished!</p> <p>Error Value= 0.1580E+00</p> <p>Principal Stress(MPa)</p> <p>t_1(max) t_2(mid) t_3(min)</p> <p>0.3243E+01 0.2315E+01 0.1989E+01</p> <p>Directional Cosin(°)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>i</th> <th>l_i</th> <th>m_i</th> <th>n_i</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>92.</td> <td>83.</td> <td>8.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>90.</td> <td>173.</td> <td>83.</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2.</td> <td>90.</td> <td>88.</td> </tr> </tbody> </table> <p>Stress Components in x,y,z(MPa)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>txx</th> <th>tyy</th> <th>tzz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.1991E+01</td> <td>0.2330E+01</td> <td>0.3226E+01</td> </tr> <tr> <th>txy</th> <th>tyz</th> <th>txz</th> </tr> <tr> <td>-0.5222E-02</td> <td>0.1184E+00</td> <td>-0.4019E-01</td> </tr> </tbody> </table> <p>for Schmidt net data</p> <p>t_1 : N 1W 7S</p> <p>t_2 : N 0E 82N</p> <p>t_3 : N 88E 0S</p>	i	l_i	m_i	n_i	1	92.	83.	8.	2	90.	173.	83.	3	2.	90.	88.	txx	tyy	tzz	0.1991E+01	0.2330E+01	0.3226E+01	txy	tyz	txz	-0.5222E-02	0.1184E+00	-0.4019E-01	<p>主応力の大きさ</p> <p>主応力方向</p>
i	l_i	m_i	n_i																											
1	92.	83.	8.																											
2	90.	173.	83.																											
3	2.	90.	88.																											
txx	tyy	tzz																												
0.1991E+01	0.2330E+01	0.3226E+01																												
txy	tyz	txz																												
-0.5222E-02	0.1184E+00	-0.4019E-01																												

1 1. まとめ

核燃料サイクル開発機構東濃地科学センターでは、地層科学研究の一環として、地下深部岩盤の3次元初期応力測定法の開発を平成8年度より実施しており、これまでに深度1000m対応の応力解放法による深部岩盤における初期応力測定プローブを開発した。

本件では、サイクル機構が開発した深部岩盤における初期応力測定プローブを測定孔孔底に運搬し、孔底にて切り離す装置を設計・製作した。次に、初期応力測定プローブと製作したプローブ運搬・切離し装置とを組み合わせ、東濃地科学センター東濃鉱山坑内、北延 NATM 坑道に掘削した HQ ボーリング孔の深度 13.5m、18.2m および 19.4m において原位置適用試験を実施した。プローブ運搬・切離し装置は設計どおりに作動し、鉛直ボーリング孔におけるオーバーコアリングは成功した。最後に、繰返し载荷試験によって当該岩盤と接着剤の力学特性を調査するとともに、オーバーコアリングによって測定した解放ひずみから、初期応力を評価した。

引用文献

1. 日本国土開発株式会社、深部岩盤における初期応力測定用プローブの設計、JNC TJ7440 99-012(1999).
2. Wang Y. and Wong T.F., Finite element analysis of two overcoring techniques for *in situ* stress measurement, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol.24, No.1, p.41-52(1987)
3. 日本国土開発株式会社、初期応力測定用解析プログラムの作成、JNC TJ7400 2000-013(2000).
4. 鈴木光、石島洋二、応力解放法による地圧測定に関する 1, 2 の基礎的考察、日本鉱業会誌、Vol.86,p.151-156(1970)