

深部岩盤における初期応力測定用の レコーダー、方位傾斜計の製作

核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書

2001年2月

日本国土開発株式会社

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下さい。

〒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, Ibaraki 319-1194,
Japan

©核燃料サイクル機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2001

深部岩盤における初期応力測定用のレコーダー、方位傾斜計の製作

菊地慎二*

要 旨

核燃料サイクル開発機構では、超深地層研究所計画の一環として、地下深部の初期応力状態を評価する研究を実施している。

前年度までの業務では初期応力測定法のうち、最も信頼性の高いとされる応力解放法を用いて、深度 1000m まで測定可能な 3次元初期応力測定用のプローブを開発することとして、今までに埋設型の測定用プローブの設計、SIセルの製作とその耐圧性能試験、耐圧容器の製作および測定ひずみから三次元初期応力を計算するための解析プログラムの作成を実施している。

今年度は、プローブ内に設置されるレコーダー、方位傾斜計および昨年度製作されたSIセルに装着されるグリューカプセルを製作した。また、これらの機器が正常に作動することを確認するための試験を実施した。

本報告書は、日本国土開発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成果である。

契約番号:12M0869

担当部課室および担当者:核燃料サイクル開発機構東濃地科学センター

地質環境特性研究グループ グループリーダー 武田精悦

*:日本国土開発株式会社 施工本部 土木部

Manufacturing of recorder, magnetometer,
Biaxial clinometers and glue capsule for In Situ Stress Measurement

S. Kikuchi*

ABSTRACT

JNC carries out a study to evaluate the initial in situ stress states at great deep layers of the underground under the Mizunami Underground Research Laboratory Project.

The objective of this study is to develop the probe for the measurements of 3-dimensional in situ stresses applicable by 1,000m in depth by means of the Stress Relief Method which is regarded as the most reliable method of the stress measurement.

The works of this year are to produce a recorder, magnetometer, biaxial clinometers and five glue capsules and to manufacture these instruments installed the probe. In addition, the examination tests are carried out to identify that these instruments operate normally.

Work Performed by JDC Corporation under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

Contract No. 12M0869

JNC Liaison: Seietsu Takeda, Group Leader, Geoscience Research Group,
Tono Geoscience Center

* : JDC Corporation , Civil Engineering Department

目 次

1. はじめに	1
2. 製作の概要	2
3. レコーダーの製作	3
3.1 レコーダー部	3
3.2 電源	7
3.3 取付け台座	7
4. 方位傾斜計の製作	9
4.1 方位計	10
4.2 傾斜計	11
5. グリューカプセルの製作	12
6. 作動確認試験	14
6.1 レコーダー部	14
6.2 方位計	21
6.3 傾斜計	24
7. おわりに	32

—付 図 目 次—

図 3-1-1 電子回路ブロック図	4
図 3-1-2 新しいゲージ配置図	6
図 3-3-1 アッパーセル配置図	9
図 5-1-1 グリュカセル設計図	12
図 6-1-1 載荷実験モデル図	14
図 6-1-2 時間—ひずみ 載荷図 (テ—タロガ—、供試体 No. 3、生テ—タ)	17
図 6-1-3 時間—ひずみ 載荷図 (アッパ—セル、供試体 No. 3、生テ—タ)	17
図 6-1-4 荷重—ひずみ 載荷図 (テ—タロガ—、供試体 No. 3)	18
図 6-1-5 荷重—ひずみ 載荷図 (アッパ—セル、供試体 No. 3)	18
図 6-1-6 穿孔深さ—ひずみオバ—コア図 (テ—タロガ—、供試体 No. 1)	19
図 6-1-7 穿孔深さ—ひずみオバ—コア図 (アッパ—セル、供試体 No. 2)	19
図 6-2-1 方位計測定誤差 (S/N386)	23
図 6-2-2 方位計測定誤差 (S/N397)	23
図 6-3-1 測定角の多項式近似式との差(X 軸) (S/N4122)	28
図 6-3-2 測定角の多項式近似式との差(Y 軸) (S/N4122)	28
図 6-3-3 測定角の多項式近似式との差(X 軸) (S/N4123)	31
図 6-3-4 測定角の多項式近似式との差(Y 軸) (S/N4123)	31

—付 表 目 次—

表 3-1-1 レコーダー電子回路部仕様	3
表 3-1-2 コネクター仕様	5
表 3-1-3 ひずみゲージ仕様	6
表 4-1-1 方位計仕様	10
表 4-1-2 傾斜計仕様	11
表 5-1-1 グリュカセル仕様	12
表 6-3-1 測定角と傾斜計出力電圧 (S/N4122)	26
表 6-3-2 各項式係数 (S/N4122)	27
表 6-3-3 測定角と傾斜計出力電圧 (S/N4123)	29
表 6-3-2 各項式係数 (S/N4123)	30

－付 写 真 目 次－

写真 3-1-1 レコーダー	5
写真 3-3-1 取付け台座と各計器の配置状況	8
写真 4-1-1 方位計(左)と電源部(右)	10
写真 4-1-2 傾斜計(基盤左端がセンサ)	11
写真 6-1-1 実験装置	16
写真 6-1-2 オーバーコアリング作業	16
写真 6-1-3 コア切断写真	17
写真 6-2-1 方位計検定状況	21
写真 6-2-2 方位計検定状況(拡大)	22
写真 6-3-1 傾斜計検定状況	24

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構東濃地科学センターでは、超深地層研究所計画の一環として地下深部岩盤の初期応力状態の測定および評価手法の研究を実施している。深度 1000m 程度までの3次元初期応力を測定した実績は、国内外ともに少なく、信頼性も高いとは言えない。そこで、まず大深度ボーリング孔を用いる方法、あるいはそこから採取されたコアを用いる方法など様々な応力測定方法の現状調査を実施した。その結果、現在最も信頼性の高いとされている応力解放法を採用し、深度 1000m まで測定可能な3次元初期応力測定用のプローブを開発することとし、今までに埋設型の測定用プローブの設計、SI セルの製作とその耐圧性能試験、耐圧容器の製作および測定ひずみから三次元初期応力を計算するための解析プログラムの作成を実施している。

今年度は、アップパーセル内に設置されるレコーダー、方位傾斜計および昨年度製作された SI セルの先端に装着されるグリューカプセルを製作する。また、これらの機器が正常に作動することを確認するための試験も実施する。

2. 製作の概要

(1) 件名

「深部岩盤における初期応力測定用のレコーダー、方位傾斜計の製作」

(2) レコーダー、方位傾斜計の製作の目的

深度 1000m 対応の初期応力測定用のプローブのうち、製作されていないレコーダー、方位傾斜計およびグリューカプセルを製作し、昨年度に製作された SI セルと耐圧容器に組み合わせて作動確認を実施する。

(3) 作成業務の内容

本業務の内容は次のとおりである。

- ①レコーダーの製作
- ②方位傾斜計の製作
- ③グリューカプセルの製作
- ④作動確認試験
- ⑤報告および報告書の作成

本業務による製作物は、サイクル機構契約業務報告書「深部岩盤における初期応力測定用プローブの設計」(JNC TJ7400 99-012)の基本設計に基づいて製作される。

(4) 工期

工期 平成 12 年 9 月 28 日～平成 13 年 2 月 28 日

(5) 初期応力測定装置の概要

核燃料サイクル開発機構では、超深地層研究所計画の一環として、地下深部の初期応力状態を測定および評価する手法の研究開発を進めている。

3 次元主応力を測定する方法として、最も信頼性の高いといわれる応力解放法のうち埋設型セル方式を採用し、深度 1000m まで対応できる測定装置の開発に着手している。開発している測定装置は、長さ約 1m、直径 45mm で先端(下端)に直径 18mm の SI セルと称する埋設型セルが装着されている。その上部は耐圧容器に格納されるアップパーセルであり、オーバーコアリング時のデータを収録するレコーダーや方位傾斜計、電源などが装填されている。

1998 年度に設計を実施し、昨年度は SI セルおよび耐圧容器の製作を行っている。今年度は製作の残りの部分、すなわちレコーダー、方位傾斜計および SI セルを孔壁に接着させる接着剤が格納されるグリューカプセル(SI セルの下方に装着)の製作を行う。

3. レコーダーの製作

3.1 レコーダー部

レコーダーは、SIセルの方位、傾斜、温度およびオーバーコアリング作業時の SI セルに内蔵されているひずみゲージで測定されるひずみ時間変化を記録するメモリー部である。

(1) 電子回路部

レコーダーの電子回路の仕様およびブロック図を表 3-1-1 と図 3-1-1 に示す。

表 3-1-1 レコーダー電子回路部仕様

測定方式	リレー切換えによるマルチプレクス測定
A/D コンバータ	分解能:16 ビット
フィルタ	2~3 個の A/D 変換値の平均化処理
ひずみゲージ	抵抗値:120Ω ゲージ率:K=約 2.1 測定範囲: $\epsilon \max = \pm 30,000 \times 10^{-6}$ (3%) ひずみ限界時の抵抗変化: $\Delta R = \epsilon \max KR = \text{約} \pm 7.56 \Omega$ 精 度: $\pm 0.1\%$ フルスケール 収録精度: 1×10^{-6} ひずみ ($\therefore \pm 30,000$ ステップ°)
温度ゲージ	抵抗値:120Ω 測定範囲:-20~+200°C 抵抗変化: $\Delta R = \text{約} 15.12 \Omega$ 収録精度:0.1°C
インタフェース	方位計:シリアル 傾斜計:アナログ2ch PC:RS232C
測定間隔	1 秒~60 秒(設定変更可)
最大測定数	24,000 レコード
収録データ	測定時刻 ひずみデータx8 成分 温度データ 方位データ 傾斜データx2 成分
使用メモリ	SRAM 512KB×2 = 1MB
電源	DC3.3V 30.0Ah
消費電流	記録時:DC3V430mA スタンバイ時:DC3V370mA

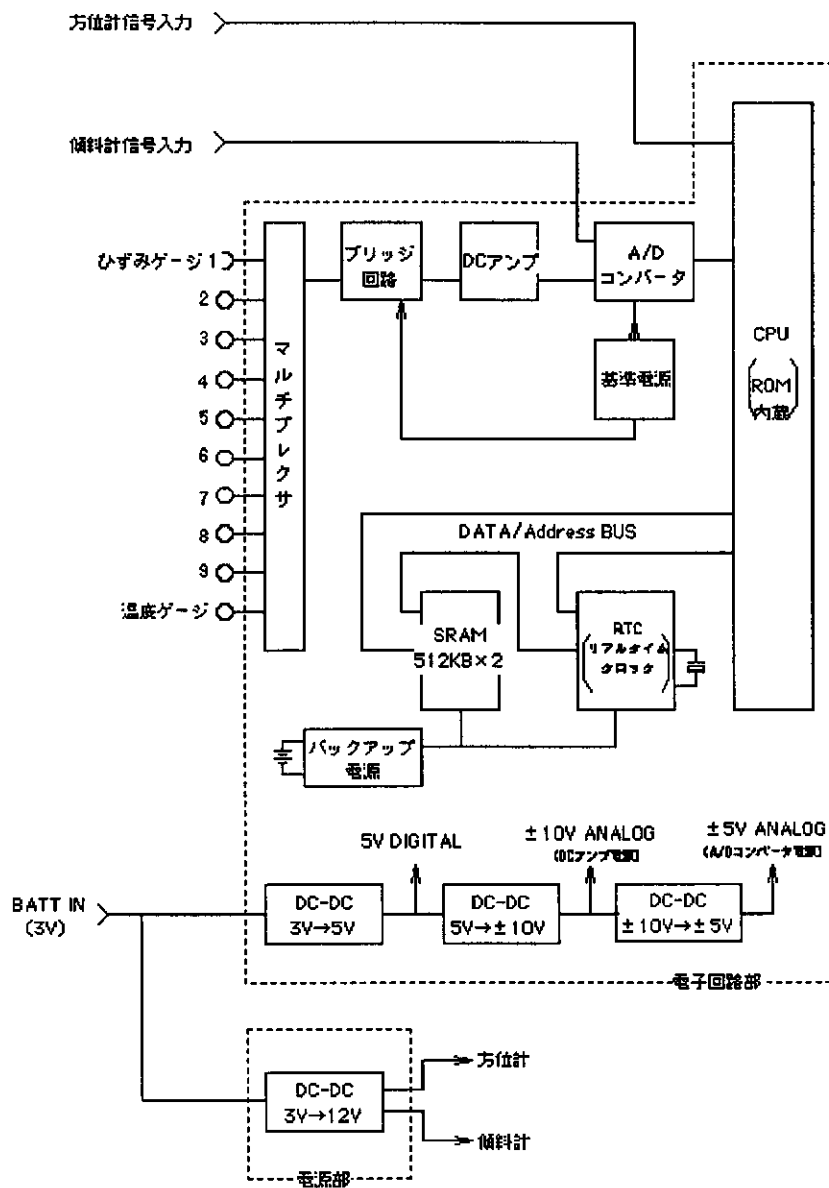


図 3-1-1 電子回路ブロック図

製作されたレコーダー(写真 3-1-1)は、機能的には基本設計に則しているが、駆動用電源を一部変更した。具体的には、基本設計段階では 9V であったものを、実機では 3V に変更した(表 3-1-1 および図 3-1-1)。これにより、電源として用いるリチウム電池の数量が削減でき、電池の格納スペースを圧縮した。

(2) SI セルとの接続

本プローブに用いた SI セルは、従来のリード線引き出し方式から、コネクタ方式に変更し、これに伴ないレコーダー・SI セル間を接続する接続ケーブルを新設した。

従来の SI セルは多数のリード線がむき出しになっているタイプで、アップパーセルへの接続が複雑で結線ミスを起こす可能性があった。そこで、SI セル本体にコネクタを取り付けワンタッチ操作での着脱を可能とした。

また、このコネクタ化により SI セルのアップパーセルへの取り付け(固定)方法も改良した。従来は SI セルに切り込みを入れてアップパーセルに固定していたが、今回は切り込みによって SI セルに脆弱部が発生しないように、SI セル外周に盛り上げ部を付加し、その部分とアップパーセルが嵌合して固定させる方法を採用した。

コネクタ仕様を表 3-1-2 に示す。

表 3-1-2 コネクタ仕様

名 称	小型丸型多極コネクタ
製品名	ヒロセ電気社製 HR10A-10R-12P
形 式	超小型,プッシュプルタイプ丸型コネクタ 12 極

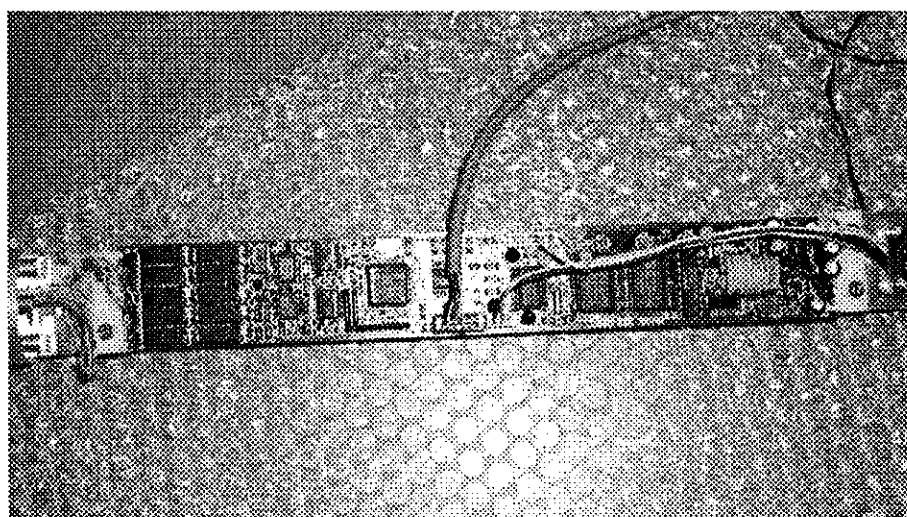


写真 3-1-1 レコーダー部

(3)ゲージの配置

SI セルとアップパーセルの連結をコネクタ方式に変更したのに伴い、SI セル内のゲージの配置を変更した。

従来のゲージの配置では、SI セル軸方向の中央部一個所の軸直角断面近傍に3枚の3軸ロゼットが配置されていた。このため軸方向成分のゲージが 3 枚、すなわち同じひずみ挙動を示すゲージが 3 枚、存在していたことになる。

そこでゲージ数を少なくしても3次元ひずみ計測機能を損なわないようなゲージ配置に変更した。

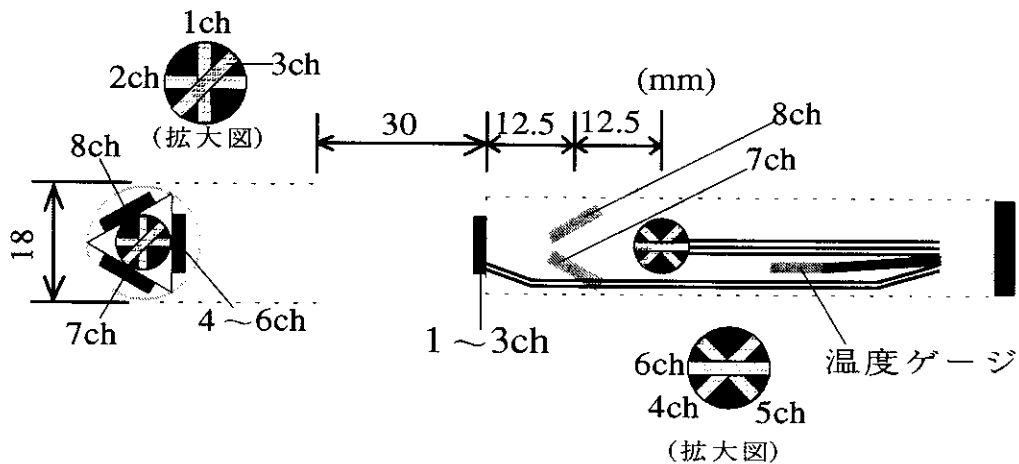


図 3-1-2 新しいゲージ配置図

ただし、新しいゲージ配置では、ゲージ長が従来のゲージ長よりも短くなるが、SI セルは高分子樹脂であるため、岩石にひずみゲージを直接貼付する時に問題となるような粒子の大きさを考慮する必要がなく、ゲージ長に関する問題はない。図 3-1-2 に新しいゲージ配置を、表 3-1-3 にひずみゲージ仕様を示す。

表 3-1-3 ひずみゲージ仕様

製品名	東京測器製ロゼットゲージ FRA2-11
形式	120Ω 2線式(2×3枚)
寸法	ゲージ長さ 2mm ベース長さ 7mm
測定範囲	±30000×10 ⁻⁶ (室温)
分解能	1.0×10 ⁻⁶
測定精度	±0.1%FS
使用温度範囲	-20～+80℃

また、従来は SI セル内のリード線としてビニール被覆線を用いていた。しかし、エポキシ樹脂で充填し凝固させるとリード線内部に残る空気が収縮時に気泡となって出てくる場合があった。このためリード線をポリイミドまたはポリレタン被覆の単線に変更した。

3.2 電源

レコーダーの駆動用電源電圧の変更に伴い、電源として使用するリチウム電池の構成を変更した。基本設計では 3.3V 5Ah のリチウム電池を3本直列に使用し 9.9V 5Ah(3.3V 換算だと 15Ah)としていたが、製作に際しては、米 Electrochem 社製 CSC-3B36 を1本使用することとした。CSC-3B36 の容量は 3.3V 30.0Ah であり、基本設計段階での容量の2倍である。これにより、電池格納スペースをより小さくすることができた。

電池はコネクタ付きのリード線をあらかじめ取付けたものを使用し、短絡防止のため、周囲に絶縁被覆を施した。

方位計および傾斜計には、DC15V を供給する必要があるため、リチウム電池とこれらの間に DC-DC 変換用の基板を設けた(図 3-1-1)。

消費電流(実測)は、レコーダー待機時 200mA、同計測時 260mA、方位計 150mA、傾斜計 20mA(いずれも 3.3V 換算)である。方位計および傾斜計は常時通電されているため、全体として待機時は 370mA、計測時は 430mA の電流を必要とする。計測間隔を1分1回と仮定すると、1時間当り、

$$(0.37(\text{A}) \times 59 + 0.43(\text{A}) \times 1) \div 60 = 0.371(\text{Ah})$$

の電力を消費することになる。使用したリチウム電池の容量は 30.0Ah であるので、

$$30.0(\text{Ah}) \div 0.371(\text{Ah}) = 80.8(\text{h})$$

となり、約 80 時間の計測が可能である。

3.3 取付台座

アップパーセル内に格納されるレコーダー、方位計、傾斜計および電池を固定するために、アップパーセル耐圧容器内部に取り付け台座が必要となる。本製作では、アルミ製の取付台座を製作した。取付台座および各計器の配置を図 3-3-1 および写真 3-3-1 に示す。

取付台座は、次の3つの部位から構成される。

- ① SI セル連結部としても機能する耐圧容器下端側エンドキャップに、全格納物を固定するための接続リング部。
- ② レコーダー、方位計、傾斜計、および DC-DC 変換用の電源基板を取付ける「かまぼこ」型のトレー部。
- ③ 筒内ガイドを兼ねた電池ホルダー部。

①は M4 のネジ3本によって、耐圧容器下端側エンドキャップに固定される。また、SI セルへの信号線接続のために、中央部に貫通孔を設けた。①②③を合せると、直径 ϕ 40mm、全長 745mm(端部緩衝材を除く)となる。③の一部は、電池の絶縁被覆が万が一破損した場合の安全のため樹脂製とした。

基本設計段階ではアップパーセルの先端(下方)に近い位置に、方位計、傾斜計をレ

アウトしていたが、SI セルとレコーダー間の配線長を短くするために、レコーダーを先端部に配し、方位計、傾斜計を上方に移動した。

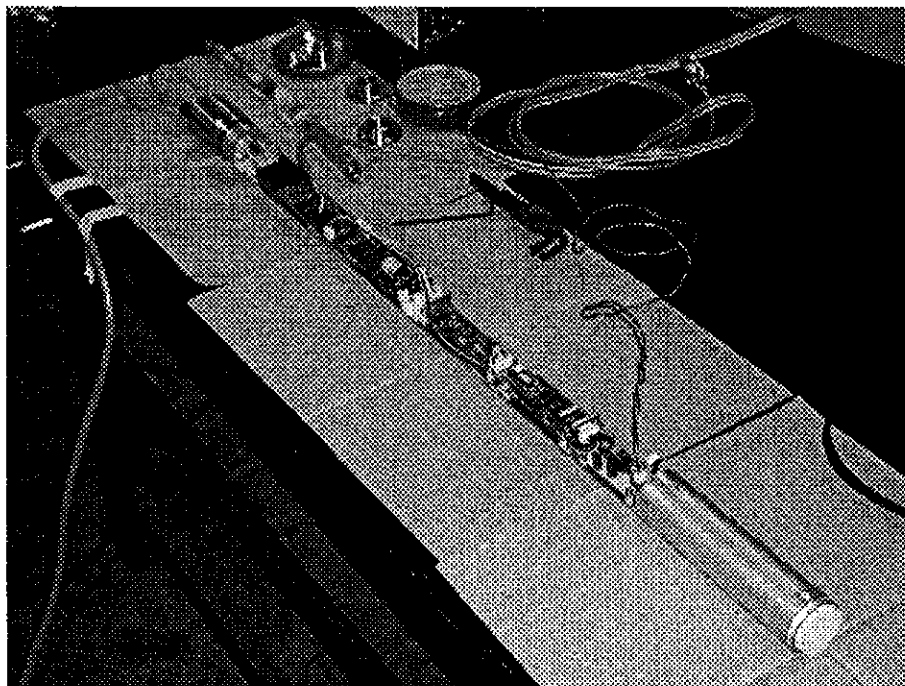


写真 3-3-1 取付け台座と各計器の配置状況
(奥より順に耐圧容器下側エンドキャップ、接続リング、トレー、電池ホルダが並ぶ。トレー上には奥より順に、レコーダー、傾斜計、方位計、電源部が固定されている。)

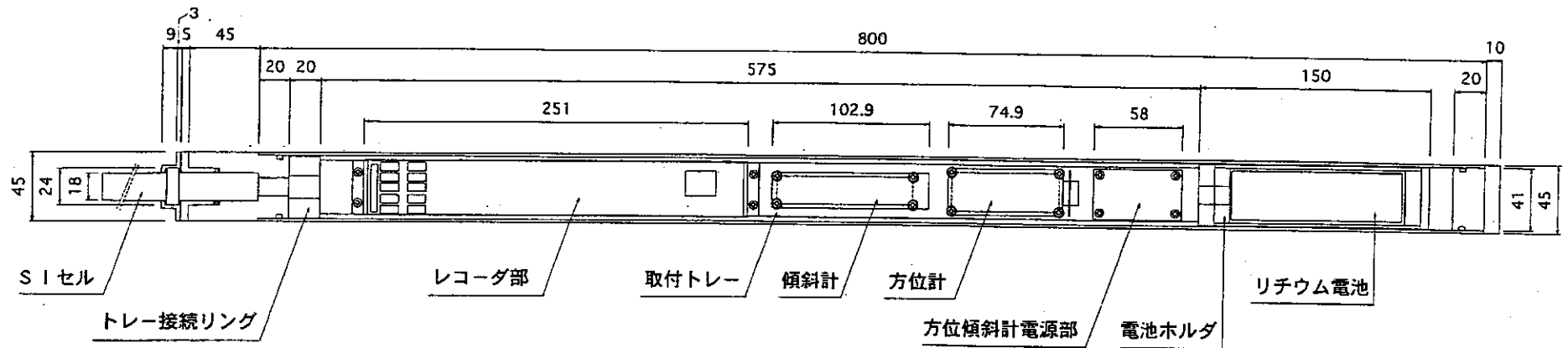


図 3-3-1 アッパーセル配置図

4. 方位傾斜計の製作

方位傾斜計は、方位計と傾斜計それぞれ独立したものをを用いた。

4.1 方位計

方位計は、基本設計段階で想定されていた機種が生産中止により入手できなくなったため、新たに機種選定を行った。採用した方位計は米 Honeywell 社の HMR2300 D00232 である。HMR2300 は、小型のXYZ3軸の磁場出力が得られる磁気抵抗素子を用いた磁力計である。HMR2300 は基板上にセンサを含む全回路が実装されており、計測データを RS232C デジタル出力として得られ、直接レコーダー部に接続が可能である。

表 4-1-1 に方位計の仕様を示す。

表 4-1-1 方位計仕様

方式	フラックスゲート
測定範囲	0～360°全周方向
測定精度	±1°
出力	RS232C、2400bps、非同期シリアル伝送
電源	DC max.15V, 27mA
想定形式	米 Honeywell 社 HMR2300 D00232
既製品寸法	W31×L75×H20(センサ・回路一体型) (単位 mm)高さ H は概寸

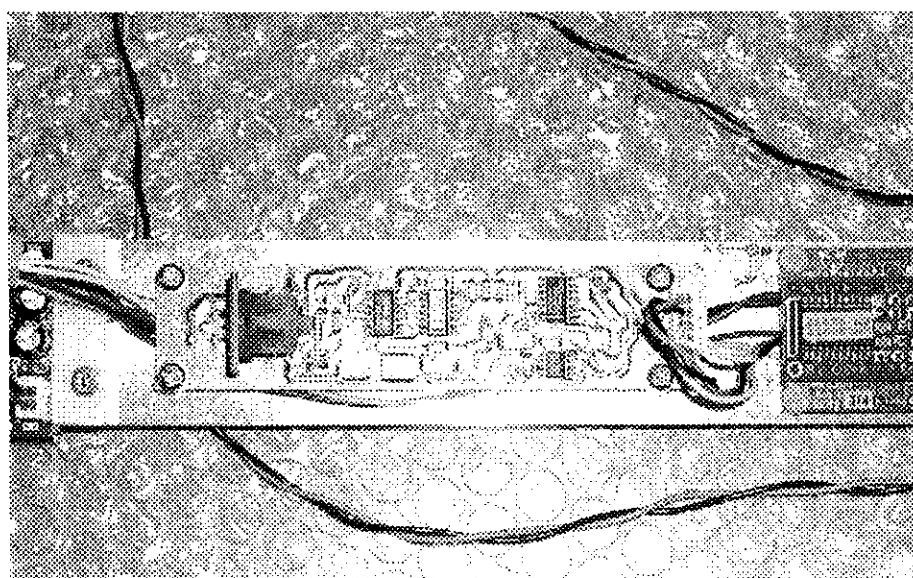


写真 4-1-1 方位計(左)と電源部(右)

4.2 傾斜計

傾斜計は、基本設計での想定機種(米 Applied Geomechanics 社 Model 902)を用いた。表 4-1-2 に傾斜計の仕様を示す。

表 4-1-2 傾斜計仕様

方式	導電性液体の変位による重力加速度方向検知 (傾斜角はセンサの抵抗値に変換・出力される)
測定範囲	鉛直より $\pm 20^\circ$
精度	$\pm 0.5^\circ$
分解能	分解能 $\pm 0.01^\circ$
出力	X、Y 方向 2 成分、 $\pm 2\text{VDC}$
スケールファクター	100mV/deg
時定数	約 1 秒
電源	DC12V、8mA
想定形式	アプライドジオメカニクス製 Model 902
寸法	W23×L100×H23(センサ・回路一体型)

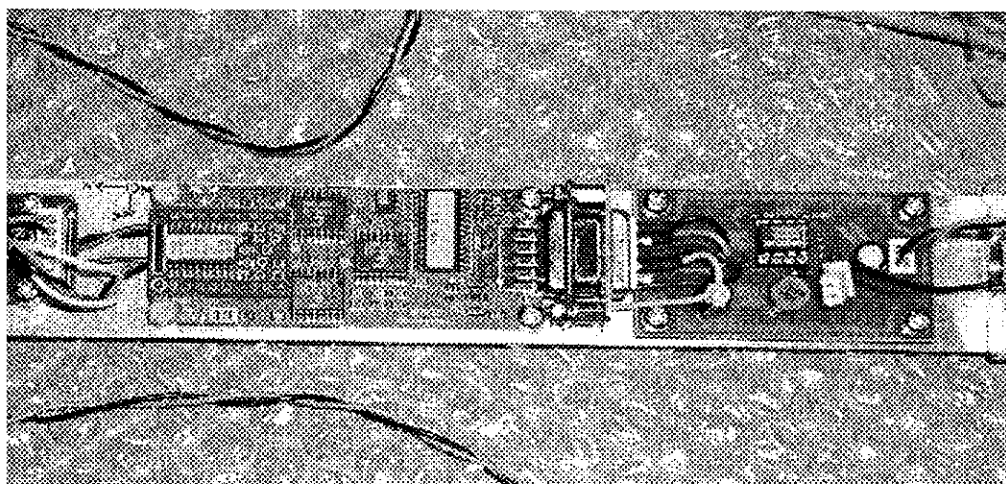


写真 4-1-2 傾斜計(基板左端がセンサ)

なお、方位計および傾斜計の資料を巻末に添付する(資料1, 2)。

5. グリューカプセルの製作

グリューカプセルは SI セルの下方に取り付けられ、SI セルをパイロット孔内に接着固定するためのグリュー(接着剤で、材料はエポキシ樹脂)を内蔵している。グリューカプセルの最下端にあるピストンがパイロット孔底到達後に押し上げられると、グリューはカプセルから浸出し、SI セルとパイロット孔の間隙を充填し、一定時間経過後、SI セルを岩盤に接着・固定する。

グリューカプセルの仕様および設計図を表 5-1-1 および図 5-1-1 に示す。

グリューカプセルは、従来水圧に耐えるように真鍮製のカプセルとしていた。しかし、真鍮は非常に重く、大深度までセルを降下させる間に脱落等の危険性がある。

そこで、カプセルの材質をアルミニウムに変更し、従来の真鍮に比べ重さを 1/3 以下とした。また、耐圧性能は、1000 気圧まで耐えられることを実験により確認した。

さらに、脱落防止のため SI セルとの接合方法はねじ込み式とした。サイズは従来の外径 19mm を 18mm としてプローブと同径にしたが、内径は変更していない。

表 5-1-1 グリューカプセル仕様

名称	グリューカプセル
形式	円筒ピストンシリンダー形式
寸法	直径 18mm 全長 292mm(最長時) (カプセル部)外径 18mm 内径 17mm 全長 150mm (ピストン部)外径 14mm 内径 8mm 全長 150mm (内部パッキン)直径 14mm 長さ 6mm (天然ゴム製 2 重パッキン) (外部パッキン)幅 10mm 厚さ 1mm(発泡シート)
材質	アルミニウム
引張強さ	90~150MPa
比重	2.69

従来のグリューカプセルと SI セルを接続すると、アップーセルより下部だけで 300mm 以上と長くなり、パイロットホールに挿入する際に、破損する可能性があった。また、日本のように岩盤の節理・層理が多い地域では不連続面に遭遇する確率が高く、長いコア試料の採取は必ずしも容易ではない。これらの理由から、SI セルの長さをできるだけ短くすることが好ましい。このため SI セルの長さは、SI セルがパイロットホールの上面より 45mm 程度入ったところに、ゲージが配置される長さを基準に全長を約 170mm と出来る限り最短長とした。

これに伴い接着剤の量が少なくなりグリューカプセルの長さも短くした。

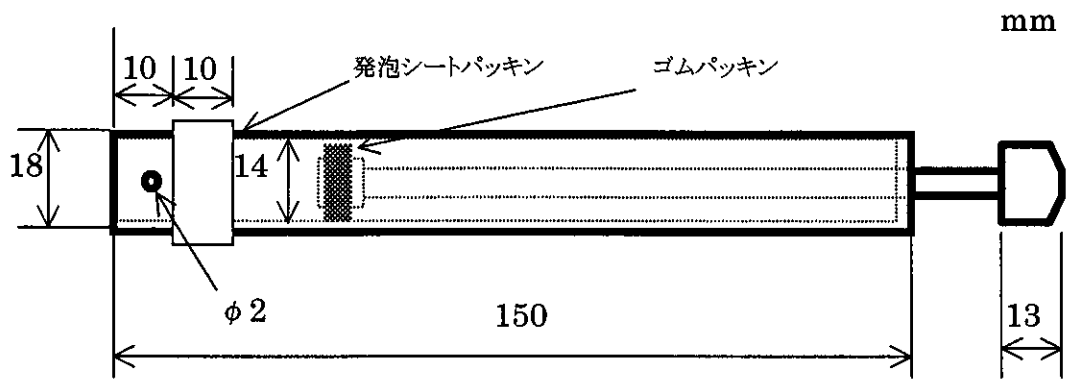


図 5-1-1 グリユーカプセル設計図

6. 作動確認試験

作動確認試験では、今年度製作したもの(方位計および傾斜計)の性能を確認することと、昨年度まで個別に製作していたものと今年度製作したレコーダーとを組み合わせ、レコーダーが SI セル内のひずみゲージの変化を記録出来ることを確認した。

方位計および傾斜計は、屋外において測量機器を活用し精度確認試験を実施した。

6.1 レコーダー部

(1) 試験目的

SI セルとアップパーセル(耐圧容器内にレコーダー、方位傾斜計を装着した測定記録装置)を接続し、SIセルを装着した岩石供試体を用いたオーバーコアリング試験を行い、アップパーセル内の測定装置の動作確認を行った。動作確認は、具体的にはアップパーセルの代わりにデータロガーを用いて同様に試験を行い、その結果と比較した。

(2) 試験方法

試験の要領を以下に示す。

- ① 砂岩供試体(250×250×100mm)にパイロットホール(直径 20mm)を穿孔し、SI セルを挿入した後、接着剤(エポキシ樹脂)を用いて固定する。(図 6-1-1 参照)
- ② 上述の砂岩供試体を反力枠にセットし、SI セルとアップパーセル(またはデータロガー)を延長ケーブルで接続する。
- ③ 数回のならし载荷後、10t 载荷を行う。このとき、データロガーを用いて SI セルのひずみ確認用データを記録する。その後、同じ行程をアップパーセル(またはデータロガー)を用いて行い、データを記録する。
- ④ 10t 载荷状態で SI セルの周りを直径 60mm のオーバーコアリングを行い、応力解放する。この行程をアップパーセル(またはデータロガー)でデータを記録する。

オーバーコアリング試験の様子を写真 6-1-1 および写真 6-1-2 に示す。

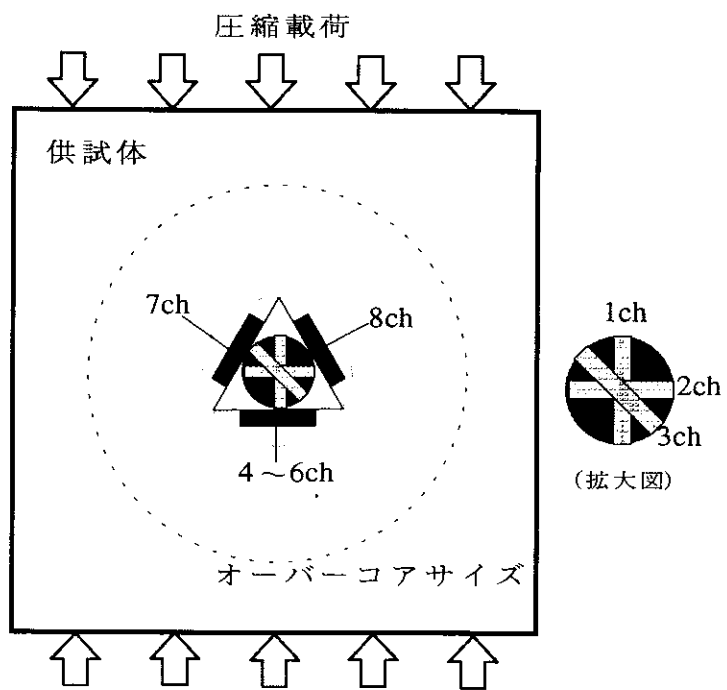


図 6-1-1 荷重実験モデル図

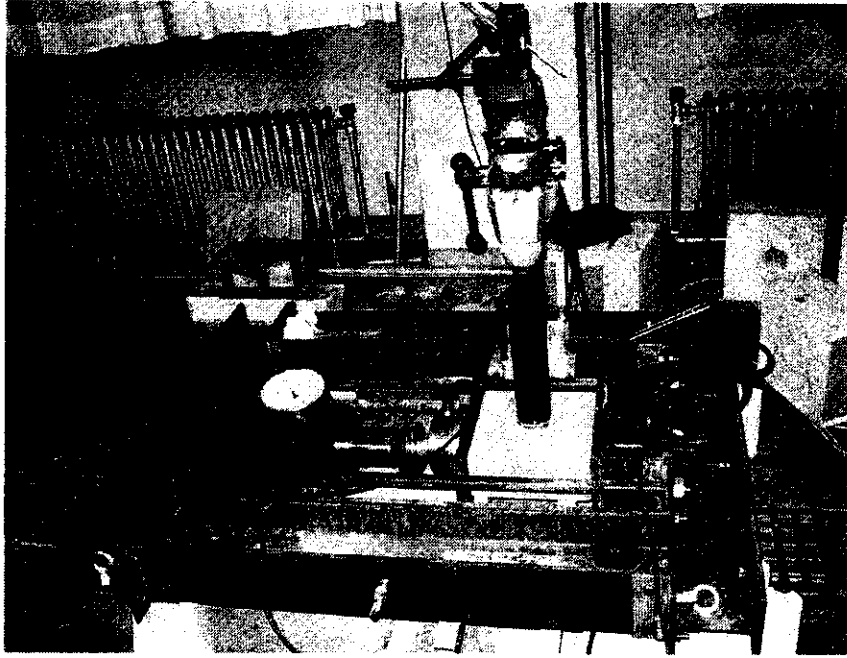


写真 6-1-1 実験装置

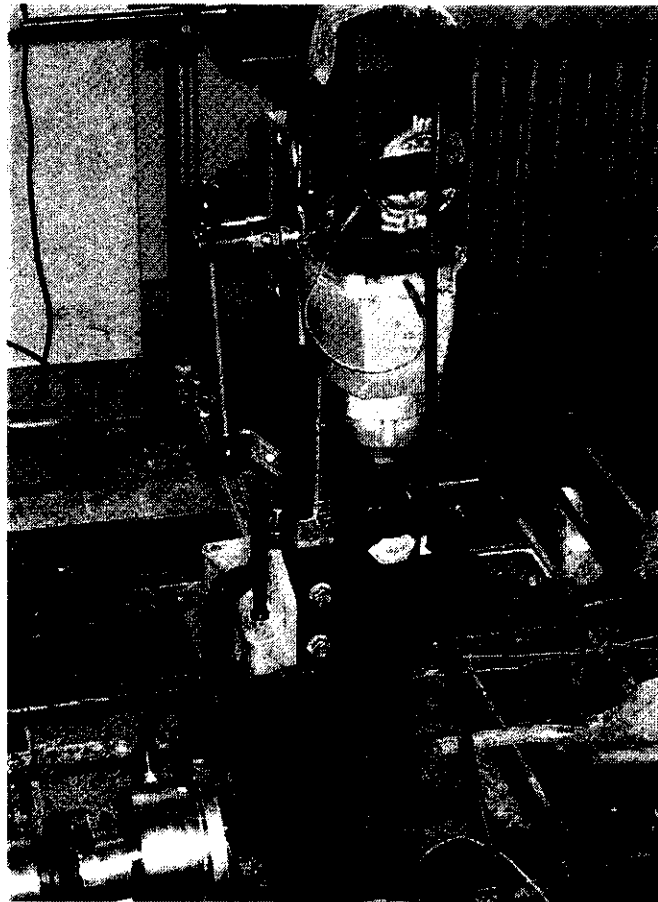


写真 6-1-2 オーバーコアリング作業

(3) 試験結果

図 6-1-2 は 載荷時のデータロガーによりひずみを測定した結果である。この載荷は、10ton 載荷を 2 度実施している。図 6-1-3 は図 6-1-2 と同じ条件で載荷を行い、アップパーセルにより測定を記録している。ただし、載荷は 1 回である。

図 6-1-2 と図 6-1-3 では、各ひずみゲージのピークは両者とも同じ数値であり、アップパーセルによる計測は問題がないことがわかる。図 6-1-4 と図 6-1-5 は同じ試験データの横軸を荷重に換えて示したものである。

図 6-1-6 と図 6-1-7 は、オーバーコアリング時のひずみの変化をデータロガーとアップパーセルにより測定した(供試体は異なる)ものである。ch7の動きがやや異なっているが、供試体や SI セルが異なること、載荷による応力分布状況も異なっていることなどを考慮すると、アップパーセルの記録装置はデータロガーと同様の性能といえる。したがって、アップパーセル内の測定記録装置は問題なく作動することが確認された。

写真 6-1-3 にオーバーコアリングにより取り出したコアの切断面を示す。これにより SI セルと砂岩供試体は完全に接着していることが確認された。

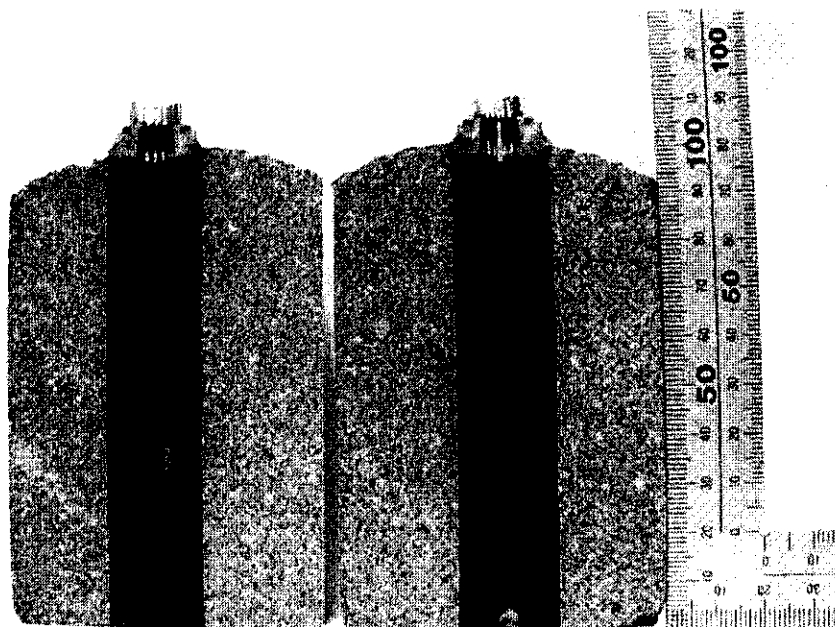


写真 6-1-3 コア切断写真

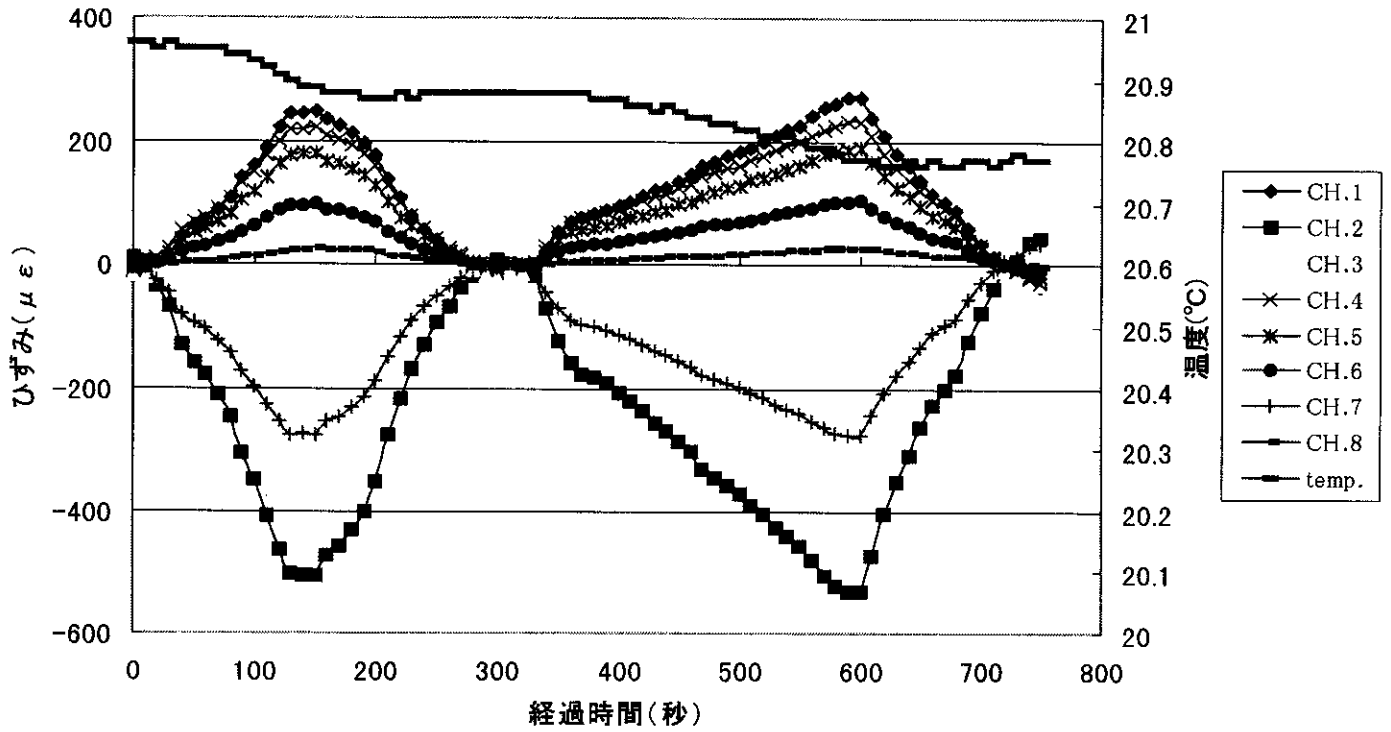


図 6-1-2 時間-ひずみ 载荷図(データロガー、供試体No.3、生データ)

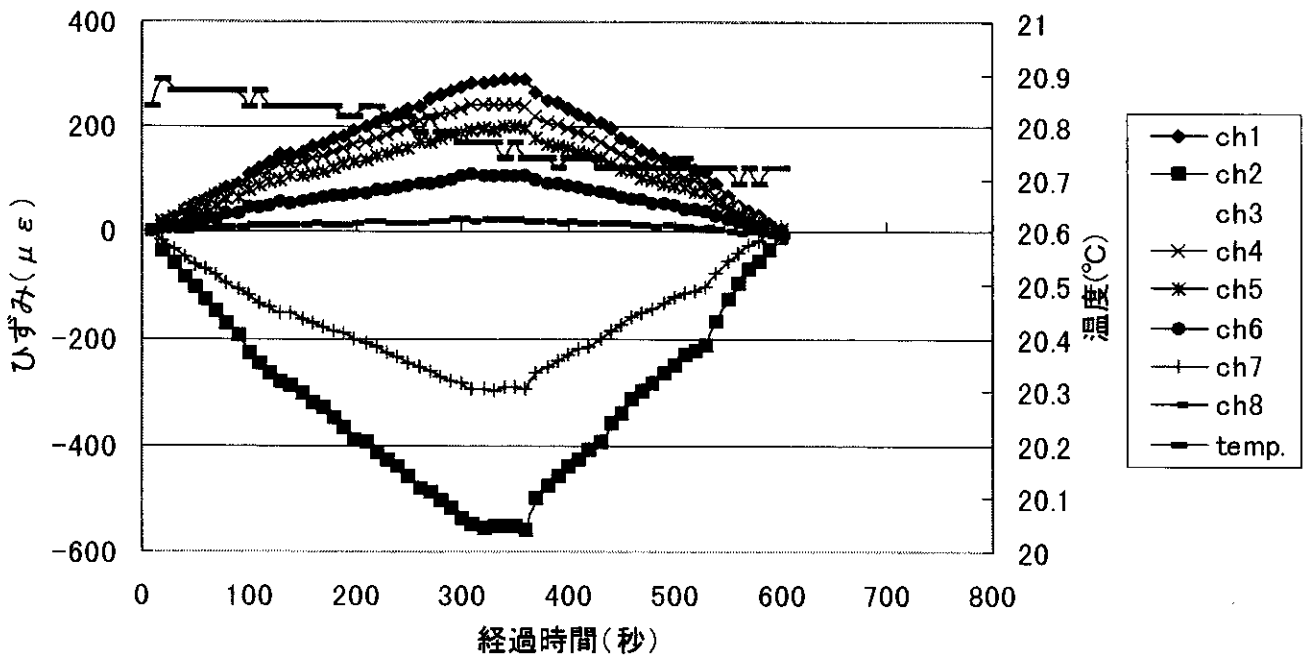


図 6-1-3 時間-ひずみ载荷図(アッパーセル、供試体 No3,生データ)

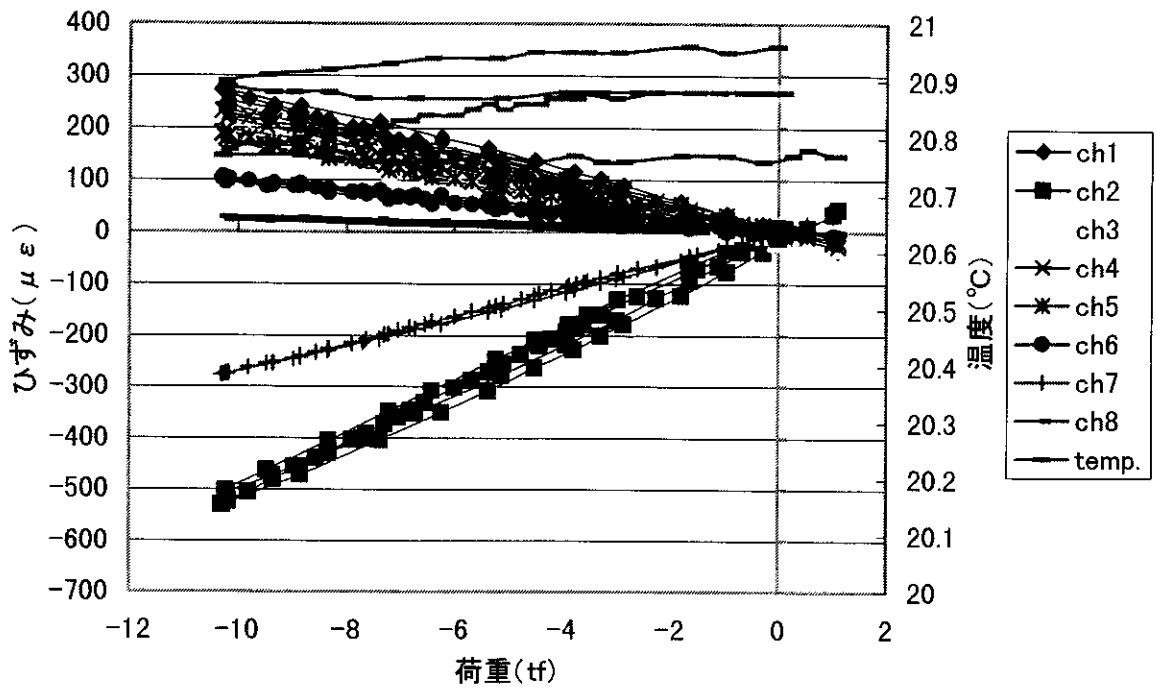


図 6-1-4 荷重-ひずみ載荷図(データロガー, 供試体 No3)

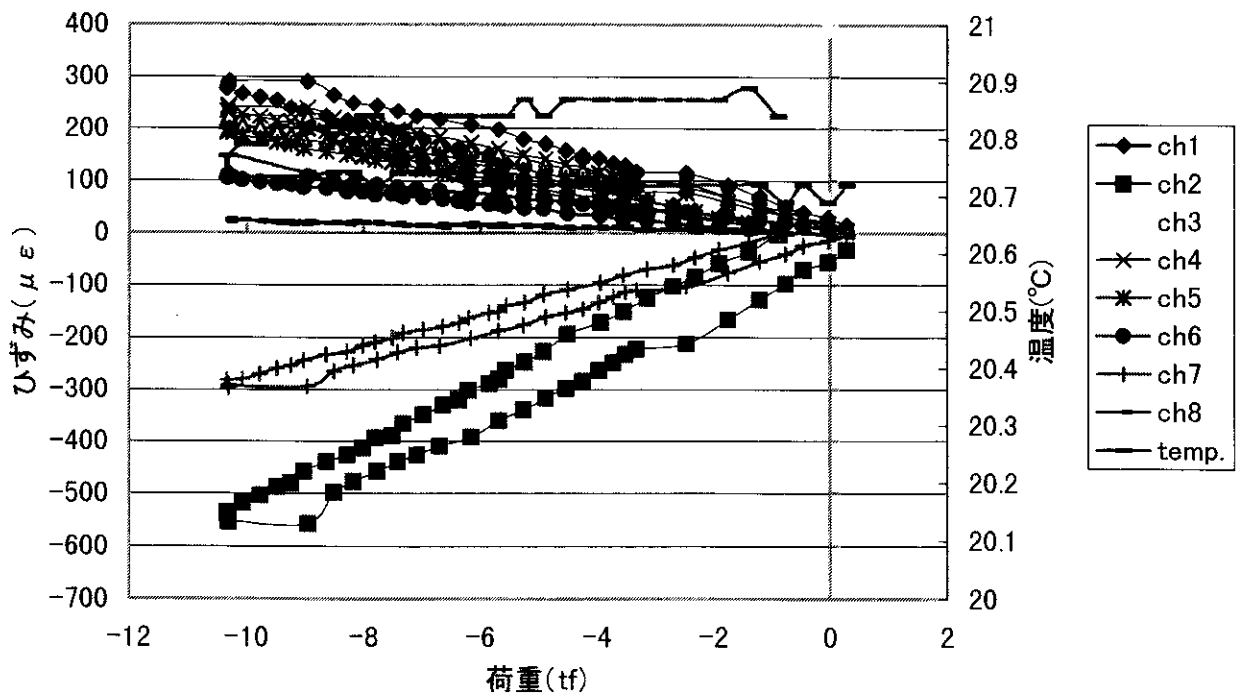


図 6-1-5 荷重-ひずみ載荷図(アッパーセル, 供試体 No3)

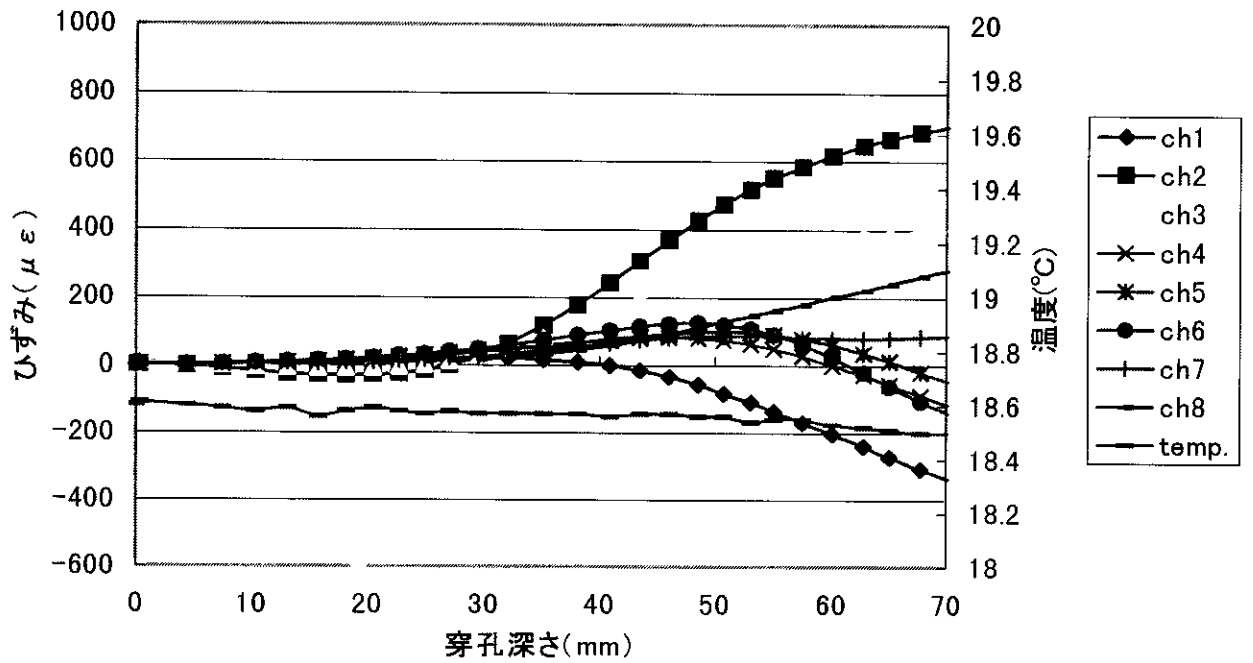


図 6-1-6 穿孔深さーひずみオーバーコア図(データロガー, 供試体 No1)

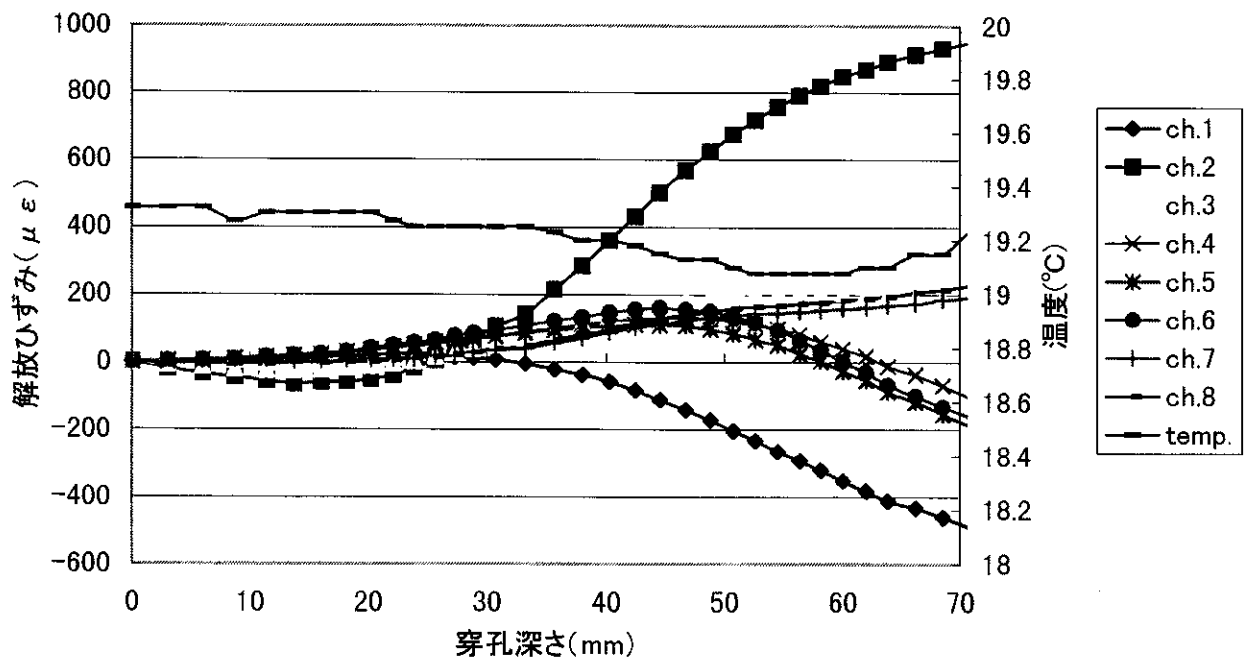


図 6-1-7 穿孔深さーひずみオーバーコア図(アッパーセル, 供試体 No2)

6.2 方位計

(1) 試験目的

アップーセル内に取り付ける方位計を単独に取り出して試験を行い、その測定精度が所定の精度を持っていることを確認した。

(2) 試験方法

試験の要領を以下に示す。

- ① 水平に保持された角度読み取り目盛り付き回転台座(オリエンテータ)上に方位計を取付ける(写真 6-2-1、6-2-2)。
- ② 方位計のX軸とY軸が水平面内にくるように取付け角度を調整する。水平は、XY各軸を各々東および西に向け、その絶対値がほぼ同じになるように調整することで確認する。
- ③ オリエンテータを30度毎に回転させ、方位計データを記録する。直接得られるデータは地磁気の直交三成分(この場合は、Mx、My 成分は水平成分、Mz は鉛直成分)であるので、計算($\tan^{-1}(Mx/My)$)により方位角求め、オリエンテータの設定値との比較を行う。



写真 6-2-1 方位計検定状況

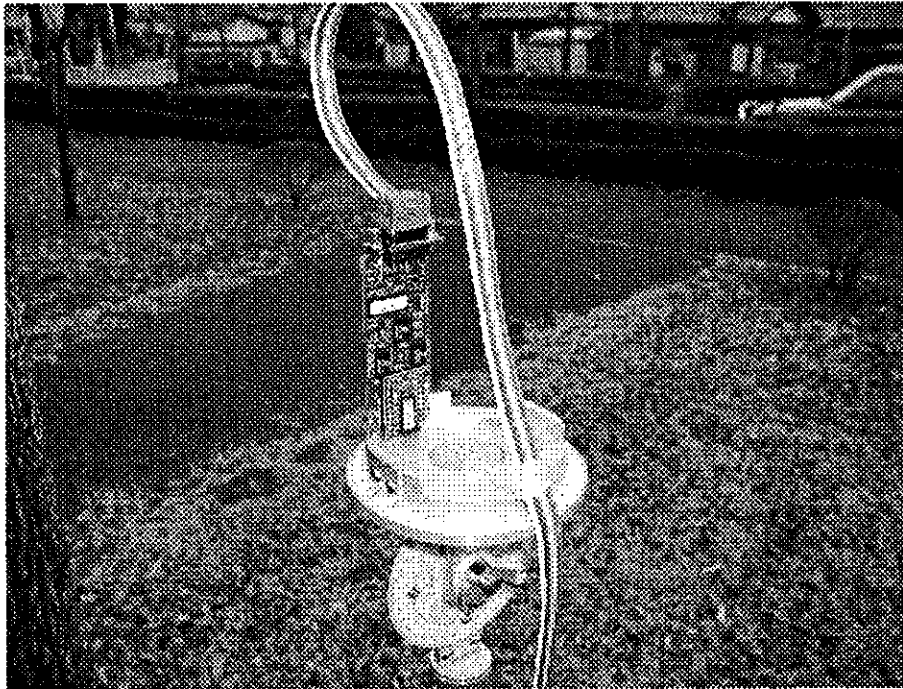


写真 6-2-2 方位計検定状況(拡大)

(3) 試験結果

試験結果を以下に示す。

S/N 386(常用)

測定方位のオリエンテータ方位からの差を、図 6-2-1 に示す。誤差の最大値は 0.9 度、最小値は-0.9 度であり、±1度以内に入っていることが確認できた。

S/N 397(予備)

測定方位のオリエンテータ方位からの差を、図 6-2-2 に示す。誤差の最大値はS/N 386と同様 0.9 度、最小値は-0.9 度であり、±1度以内に入っていることが確認できた。

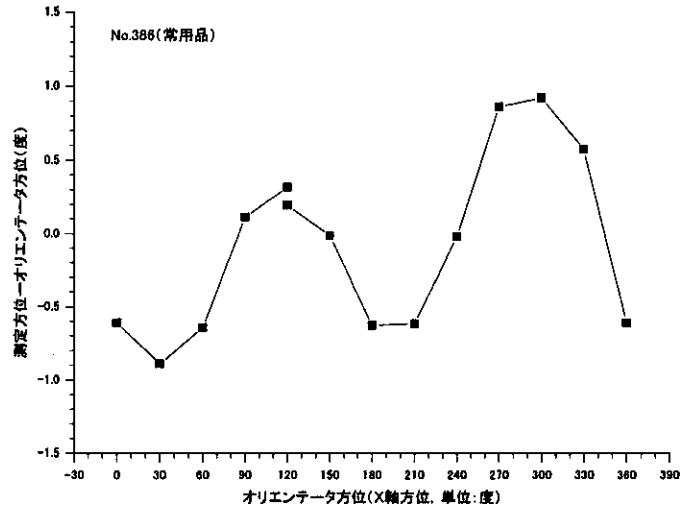


図 6-2-1 方位計測定誤差(S/N386)

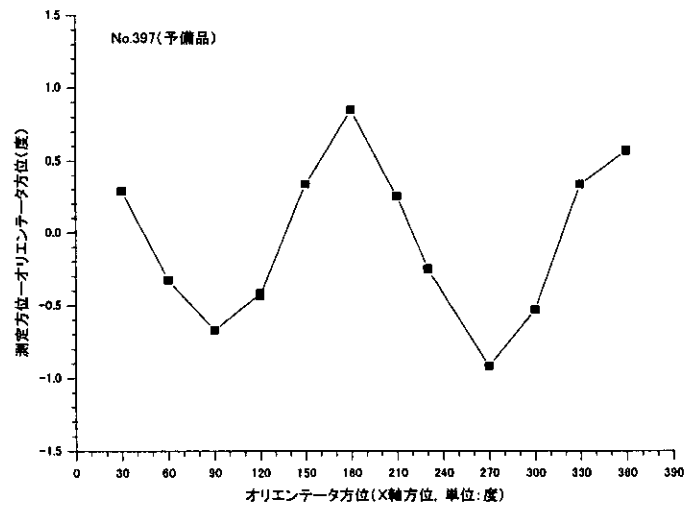


図 6-2-2 方位計測定誤差(S/N397)

6.3 傾斜計

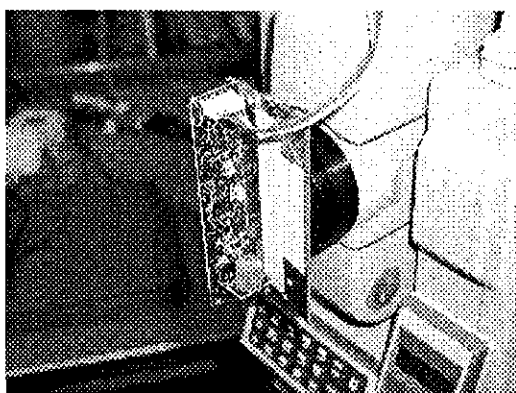
(1) 試験目的

アップーセル内に取り付ける傾斜計を単独に取り出して試験を行い、その測定精度が所定の精度を持っていることを確認した。

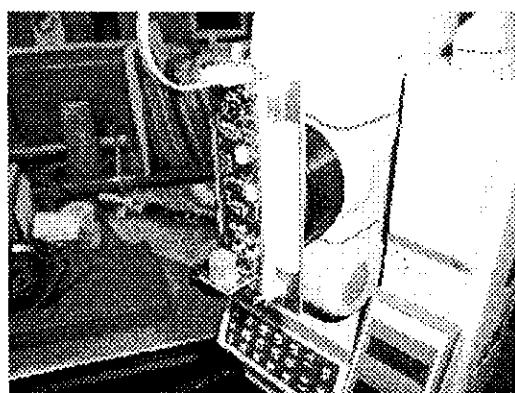
(2) 試験方法

試験の要領を以下に示す。

- ① 水平に保持された測量用トランシットの鏡筒部前面に、取付け金具を介して傾斜計を取付ける(写真 6-3-1)。この際、鏡筒回転軸と平行な方向の傾斜がほぼ 0 度(水平)となるよう取付け金具にて調節する。
- ② トランシット鏡筒部を上下させ、鏡筒回転軸と直角する方向(測定軸)の出力が 0 V(実際にはロガーの出力なので A/D 変換値の 8000H)になるところの上下角を読む。この上下角の水平からのずれは、傾斜計のトランシットに対する取付け誤差(オフセット)を表す。
- ③ トランシット鏡筒部を水平から ±25 度の範囲で 1 度毎に順次セットし、各測定角における傾斜計の出力を記録する。
- ④ 各測定角から手順②で得たオフセットを除し、真の測定角 T を求める。
- ⑤ ロガー傾斜計出力 D を電圧 V に変換する。電圧は $V=(D-32768)/32768*2.5$ で求められる。
- ⑥ 手順⑤で得られた電圧電圧値 V を x (独立変数) とし、手順④で得られた真の測定角 T の多項式回帰を行い、5 次までの係数を求める。
- ⑦ 各測定角の多項式近似式との差を求め、所定の精度(±0.5 度)以内に納まっていることを確認する。



X 軸



Y 軸

写真 6-3-1 傾斜計検定状況

(3) 試験結果

試験結果を以下に示す。

図 6-3-1～4 で示される通り、常用傾斜計(S/N4122)、予備用傾斜計(S/N4123)とも、X軸およびY軸の±20度の範囲において、回帰曲線からの差が±0.5度以内であることが確認された。

実際の岩盤応力測定に際しては、表 6-3-1 または表 6-3-2 の係数を用いることにより、所定の計測精度内で使用できる。

表 6-3-1 測定角と傾斜計出力電圧(S/N4122)

X 軸キャリブレーション		Y 軸キャリブレーション	
測定角度 (度)	X出力(V)	測定角度 (度)	Y出力(V)
-24.460	-2.4940	-23.887	-2.3385
-24.127	-2.4526	-22.886	-2.2239
-23.127	-2.3328	-21.884	-2.1103
-22.127	-2.2156	-20.848	-1.9963
-21.127	-2.0988	-19.877	-1.8907
-20.127	-1.9851	-18.881	-1.7827
-19.127	-1.8758	-17.881	-1.6784
-18.127	-1.7706	-16.886	-1.5791
-17.127	-1.6599	-15.886	-1.4782
-16.127	-1.5515	-14.886	-1.3792
-15.127	-1.4480	-13.887	-1.2793
-14.127	-1.3450	-12.887	-1.1821
-13.127	-1.2447	-11.886	-1.0855
-12.127	-1.1451	-10.886	-0.9898
-11.127	-1.0459	-9.885	-0.8968
-10.127	-0.9484	-8.886	-0.8031
-9.127	-0.8519	-7.887	-0.7105
-8.127	-0.7576	-6.886	-0.6182
-7.127	-0.6624	-5.886	-0.5288
-6.127	-0.5683	-4.885	-0.4375
-5.127	-0.4742	-3.886	-0.3470
-4.127	-0.3818	-2.887	-0.2564
-3.127	-0.2874	-1.887	-0.1666
-2.127	-0.1943	-0.886	-0.0774
-1.127	-0.1025	0.114	0.0114
-0.127	-0.0078	1.113	0.0997
0.873	0.0848	2.113	0.1891
1.874	0.1765	3.114	0.2783
2.874	0.2692	4.114	0.3665
3.874	0.3594	5.114	0.4576
4.873	0.4552	6.113	0.5485
5.873	0.5475	7.114	0.6401
6.873	0.6413	8.114	0.7301
7.873	0.7356	9.114	0.8224
8.874	0.8310	10.114	0.9136
9.873	0.9261	11.114	1.0057
10.873	1.0219	12.114	1.0999
11.874	1.1021	13.114	1.1951
12.873	1.2157	14.114	1.2939
13.873	1.3174	15.114	1.3931
14.873	1.4167	16.113	1.4920
15.873	1.5187	17.114	1.5926
16.873	1.6218	18.114	1.6946
17.874	1.7264	19.114	1.7970
18.873	1.8343	20.113	1.9022
19.873	1.9413	21.114	2.0091
20.873	2.0515	22.114	2.1181
21.873	2.1643	23.113	2.2313
22.873	2.2806	24.114	2.3471
23.873	2.4002	25.114	2.4644
24.873	2.4810		

5次多項式によるキャリブレーションフィッティング (S/N 4122)

$$T = a + bV + cV^2 + dV^3 + eV^4 + fV^5$$

ただし、

T;測定角度(度)

V;XまたはY出力(V)

a-f;係数(表 6-3-2)

表 6-3-2 多項式係数(S/N 4122)

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
X軸	0.00000	+10.85392	+0.01896	-0.20416	+0.00198	+0.00775
Y軸	0.00000	+11.20992	+0.03028	-0.20521	-0.00281	+0.00540

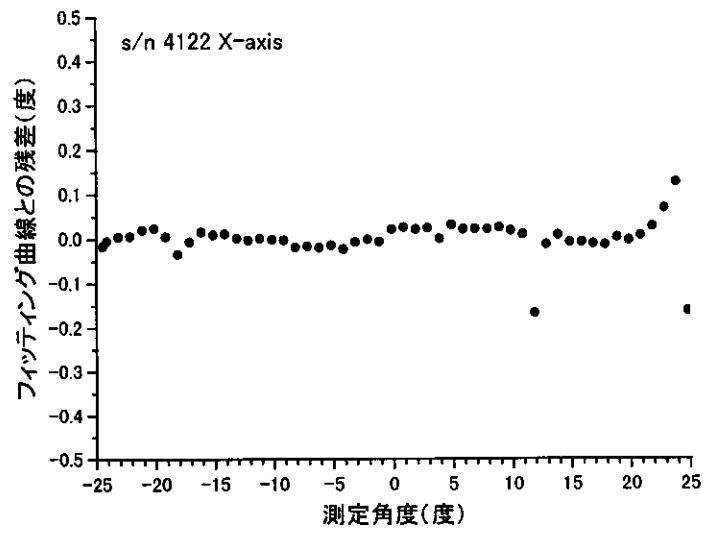


図 6-3-1 測定角の多項式近似式との差(X軸)

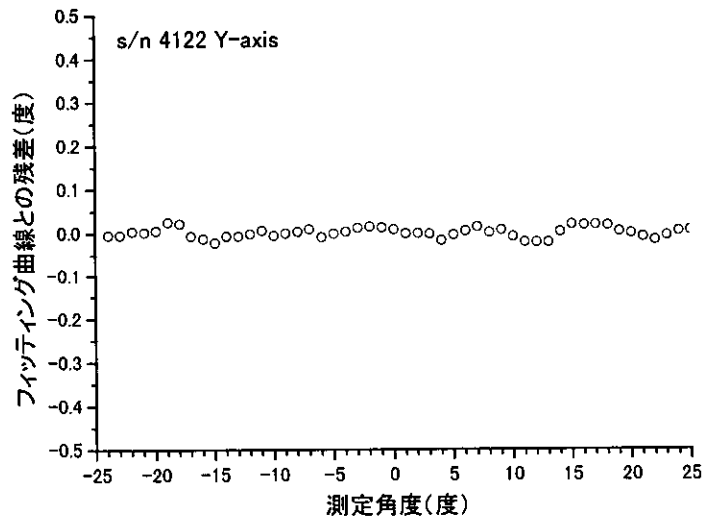


図 6-3-2 測定角の多項式近似式との差(Y軸)

表 6-3-3 測定角と傾斜計出力電圧(S/N4123)

X軸キャリブレーション		Y軸キャリブレーション	
測定角度 (度)	X出力(V)	測定角度 (度)	Y出力(V)
-24.408	-2.4603	-24.750	-2.4416
-23.408	-2.3364	-23.750	-2.3228
-22.408	-2.2160	-22.750	-2.2070
-21.408	-2.0991	-21.750	-2.0940
-20.408	-1.9846	-20.750	-1.9840
-19.408	-1.8737	-19.750	-1.8752
-18.408	-1.7651	-18.750	-1.7702
-17.408	-1.6562	-17.750	-1.6651
-16.408	-1.5511	-16.750	-1.5639
-15.408	-1.4481	-15.750	-1.4626
-14.408	-1.3480	-14.750	-1.3619
-13.408	-1.2478	-13.750	-1.2647
-12.408	-1.1488	-12.750	-1.1686
-11.408	-1.0513	-11.750	-1.0725
-10.408	-0.9556	-10.750	-0.9776
-9.408	-0.8595	-9.750	-0.8843
-8.408	-0.7664	-8.750	-0.7919
-7.408	-0.6713	-7.750	-0.6995
-6.408	-0.5788	-6.750	-0.6063
-5.408	-0.4869	-5.750	-0.5155
-4.408	-0.3960	-4.750	-0.4247
-3.408	-0.3051	-3.750	-0.3350
-2.408	-0.2148	-2.750	-0.2452
-1.408	-0.1255	-1.750	-0.1566
-0.408	-0.0350	-0.750	-0.0673
0.592	0.0539	0.250	0.0218
1.592	0.1429	1.250	0.1115
2.592	0.2324	2.250	0.2013
3.592	0.3225	3.250	0.2919
4.592	0.4115	4.250	0.3815
5.592	0.5009	5.250	0.4715
6.592	0.5910	6.250	0.5614
7.592	0.6825	7.250	0.6522
8.592	0.7737	8.250	0.7436
9.592	0.8639	9.250	0.8340
10.592	0.9550	10.250	0.9276
11.592	1.0477	11.250	1.0204
12.592	1.1405	12.250	1.1153
13.592	1.2362	13.250	1.2104
14.592	1.3317	14.250	1.3067
15.592	1.4275	15.250	1.4033
16.592	1.5249	16.250	1.5032
17.592	1.6226	17.250	1.6030
18.592	1.7216	18.250	1.7053
19.592	1.8234	19.250	1.8093
20.592	1.9274	20.250	1.9152
21.592	2.0348	21.250	2.0231
22.592	2.1427	22.250	2.1334
23.592	2.2532	23.250	2.2463
24.592	2.3653	24.250	2.3625
25.592	2.4800	25.250	2.4789

5次多項式によるキャリブレーションフィッティング(S/N 4123)

$$T = a + bV + cV^2 + dV^3 + eV^4 + fV^5$$

ただし、

T;測定角度(度)

V;XまたはY出力(V)

a-f;係数(表 6-3-4)

表 6-3-4 多項式係数(S/N4123)

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
X 軸	0.00000	+11.16313	+0.11350	-0.19002	-0.00473	+0.00310
Y 軸	0.00000	+11.19376	+0.02747	-0.19043	-0.00203	+0.00325

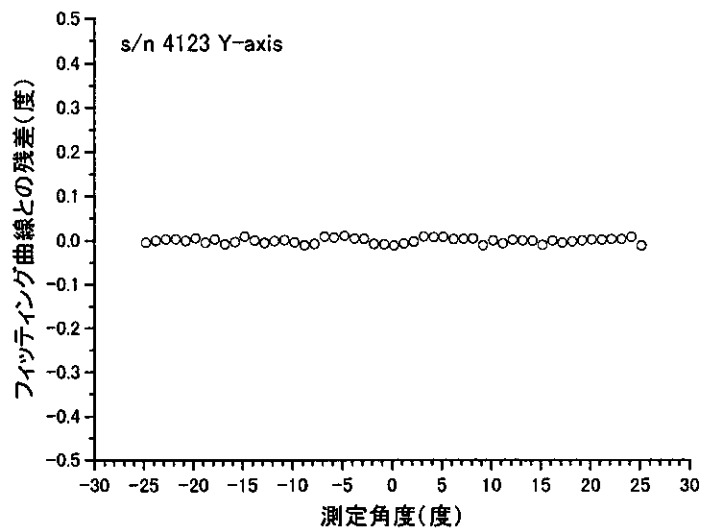


図 6-3-3 測定角の多項式近似式との差(X軸)

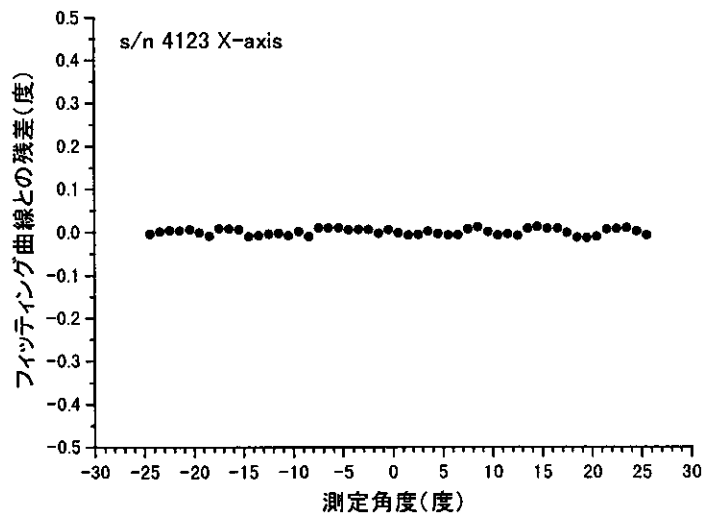


図 6-3-4 測定角の多項式近似式との差(Y軸)

8. おわりに

本報告書は、地下深度 1000m 対応の初期応力測定用のプローブを製作することとし、今年度はレコーダー、方位傾斜計およびグリューカプセルを製作し、かつ、昨年度に製作されている SI セルと耐圧容器に組み合わせて作動確認を実施した結果についてまとめたものである。

本業務による製作物は、サイクル機構契約業務報告書「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)の基本設計に基づいて製作した。

ただし、その後の研究により、基本設計から変更した方がいいと判断された項目については設計の一部を変更した。

仕様変更は、昨年度に既に製作している SI セルにも及び、より使いやすかつ実際的なSIセルとなるような内容とした。

また、作動確認試験では個々の計器の作動確認の他、実際の測定を模擬してオーバーコアリング試験を行い、組立てたレコーダーの作動が正常であることを確認した。

次年度はこの測定機器を用いて、孔内で試験的に測定を行う予定となるが、常に改良を重ねる努力が重要と考える。