１０－９　深部ボアホールにおける新しい応力測定システムについて
Initial Stress Measurements by Means of Intelligent Type Strainmeter by Overcoring and Strain Observation in Deep Boreholes

東京大学地震研究所
名古屋大学大学院理学研究科地震火山観測研究センター
Earthquake Research Institute, the University of Tokyo
Research Center for Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Nagoya University

はじめに

地震予知研究においては，歪や傾斜などの観測地殻変動観測は地震に関連した直前の異常変化や前兆的変化を観測する上で重要な項目である。

しかるに，現在これらの観測は地表近くで行われているため，本来小さな信号である地震に関連した前兆的変化は人工的ノイズなどにより観測出来ていないということが生じている。このことを考慮して我々は前に 10 のマイナス 8 乗以上の感度を有する高感度の小型多成分ボアホール歪計を開発した（石井ほか 1992）。この計器はその後さらに，この歪計とともに新しく開発された傾斜計，温度計，ジャイロ，地震計，加速度計などを搭載したボアホール地殻活動総合観測装置として開発・発展させた（ISHII et. al. 1997, ISHII & YAMAUCHI 1998）。

この装置は伊豆半島の群発地震発生地域に埋設設置され，観測開始以来発生した 3 回のすべての大きな群発地震において，群発地震発生前の前兆的傾斜・歪変動と最初の大きな地震発生前の前兆的傾斜・歪変動の観測に成功している（石井ほか　1998）。このような結果は，異常地殻活動発生地域に非常に近いところでノイズの少ない深部ボアホールにおいて高感度の観測を実施すれば，前兆的変化の観測が可能であることを示している。しかしながら，実際に地震発生との関連において更に知りたいのは応力の絶対値とその変化である。ボアホール地殻変動総合観測計器の設置前に計器設置地点における応力絶対値の測定が出来れば，その後の歪み連続観測により，その後の応力変化を観測により知ることが出来る。

このような考えのもとに高感度の小型多成分ボアホール歪計をベースにして深部ボアホールにおいて応力を測定するための計器の開発を進めた。

インテリジェント回収型歪計

この観測計器については，山内ほか 6)などに詳細が発表されている。インテリジェント回収型歪計を開発する過程において, 従来は水平3成分の歪を測定していたが方位計も開発し搭載するほか, 鉛直歪や斜めの歪の測定可能にするための試みがなされ，将来的には 3 次元の 6 成分の歪の測定を目指している。第 1 図は最初に開発された 1 号機を示している。この計器は水平 3 成分の歪計と温度計を搭載している。計器の設置方位は別の方法で測定する。第 2 図は 2 号機であり，水平 3 成分の歪のほかに鉛直の歪も測定できるほか方位測定用の磁力計も搭載している。

深いボアホールにおける計器埋設，その後のオーバーコアを精度よく行うには掘削技術・掘削システムの能力も向上させることが必要である。インテリジェント回収型歪計の地下深部への埋設とオーバーコアリングの概念図が第 3 図に示されている。これに関しては松本ほか 7)に述べられている。

オーバーコア観測データの例

深いボアホールにおけるオーバーコアリングは，今までに 10 回程度行っている。今までに前例がなく初めてのことが多いので困難な問題もあったが，その中で，埋設設置の方法，オーバーコア掘削過程のタイムスケジュール設定，計器の回収方法，データの処理解析などのノーハウが蓄積されつつある。ここでは，岐阜県の阿寺断層近傍の福岡町で行った深度 400m ボアホールでのオーバーコアの結果を示す。第 4 図は 1999 年 2 月に岐阜県福岡町で行ったオーバーコアリングにおいて計器の埋設設置からオーバーコアリング・感度検定までの観測された歪 4 成分,温度と方位計の記録である。インテリジェント回収型歪計は内部に CPU，メモリー，AD 変換，電源，マルチプレクサーなどを内蔵しておりケーブルが外に出ていないため埋設・設置は容易である。埋設・設置前に地上で時刻やサンプリング間隔などを設定する。その後，設置予定の孔底にベーラーを用いて膨張性のグラウトを置換する。最初の部分は設置に伴う歪計の移動などのためにデータが乱れている。その後，グラウトの硬化に伴う発熱のため温度が上昇し水平歪は伸びを示し，垂直歪は縮みを示す。その後温度の低下とグラウトの膨張に伴い水平歪は縮みを示し，垂直歪は伸びを示す。1 週間程度の時間の経過後オーバーコアを実施する。オーバーコアと感度検定の部分の観測データは第 5 図に示されている。掘削が指定した深度に到達した時にボーリングマシーンを停止して，応力の開放を待ち 4 成分のセンサー位置と関連した異なる深度に於けるデータを取り込む。これにより，将来は 3 次元の応力の推定が可能と考えている。計器の底から一定の深さに到達した後岩を切り離す。その後引き上げる過程で指定した深度で水圧によるデータを取り込み，深度を変えてデータを取ることによりコアバーレル，岩石，グラウトと歪計を含めた応答感度を知ることが出来る。その後地上に引き上げてコアバーレルからオーバーコアされた岩石，グラウトと歪計を含む部分を孔底に再度沈め，深度を変えてデータを取ることにより岩石，グラウト歪計を含めたシステムの感度検定をすることが出来る。第 5 図において，鋸歯状になっている部分が深度を変えてデータを取った部分である。

基本的解析例

深部ボアホールにおけるオーバーコアリングは困難があったが，経験を積みながら同心のコアサンプルを取り出すノウハウを蓄積することが可能になってきた。第 6 図は新宮の 500m ボアホールにおいて得られたオーバーコアサンプルである。ほとんど同心状のコアサンプルが得られている。オーバーコア後の地上への取り出す過程において，キャリブレーションをしているため従来のオーバーコアリングのように，研究室に持ち帰り検定する必要がないため解析前の作業は簡便化されている。今回は，オーバーコア途中のデータは用いず，掘削最終の観測データのみについて結果を示す。前述の阿寺断層近くの福岡町の観測結果について検討してみる。開発した磁気方位計を搭載しており，方位は埋設前のボーリング地点における検定から求められる。第 5 図の観測結果から，開

放された応力値は容易に求められる(石井ほか 8))。初期解析によって得られた値は NE164：2.5MPa, NW76：12.7MPa, NE44：7.2MPa となり, 最大主応力は NW13：12.9MPa, 最小主応力は NE77：4.3MPa となった。今後は，得られている豊富なオーバーコアリングデータを用いて一層の解析手法の開発を進め，3 次元応力値を求める方法の開発を目指す。

(石井　紘)

参　考　文　献

1) 石井ほか，1992, 新しい小型多成分歪み計の開発と観測，物理探査学会第 86 回講演会論文集, 32.

2) Ishii H.,T.Yamauchi and F.Kusumoto,Development of High Sensitivity Bore hole Strain meters and Application for Rock Mechanics and Earthquake Prediction Study. Rock Stress,253-258,1997a,Balkema.

3) Ishii,H. and T. Yamauchi, Multi-component Borehole Instrument for Earthquake Prediction Study and It's Application for Rock Mechanics.
Proceedings of International Workshop on Frontiers in Monitoring Science and Technology for Earthquake Environments, W2-5, 1-6,1998.

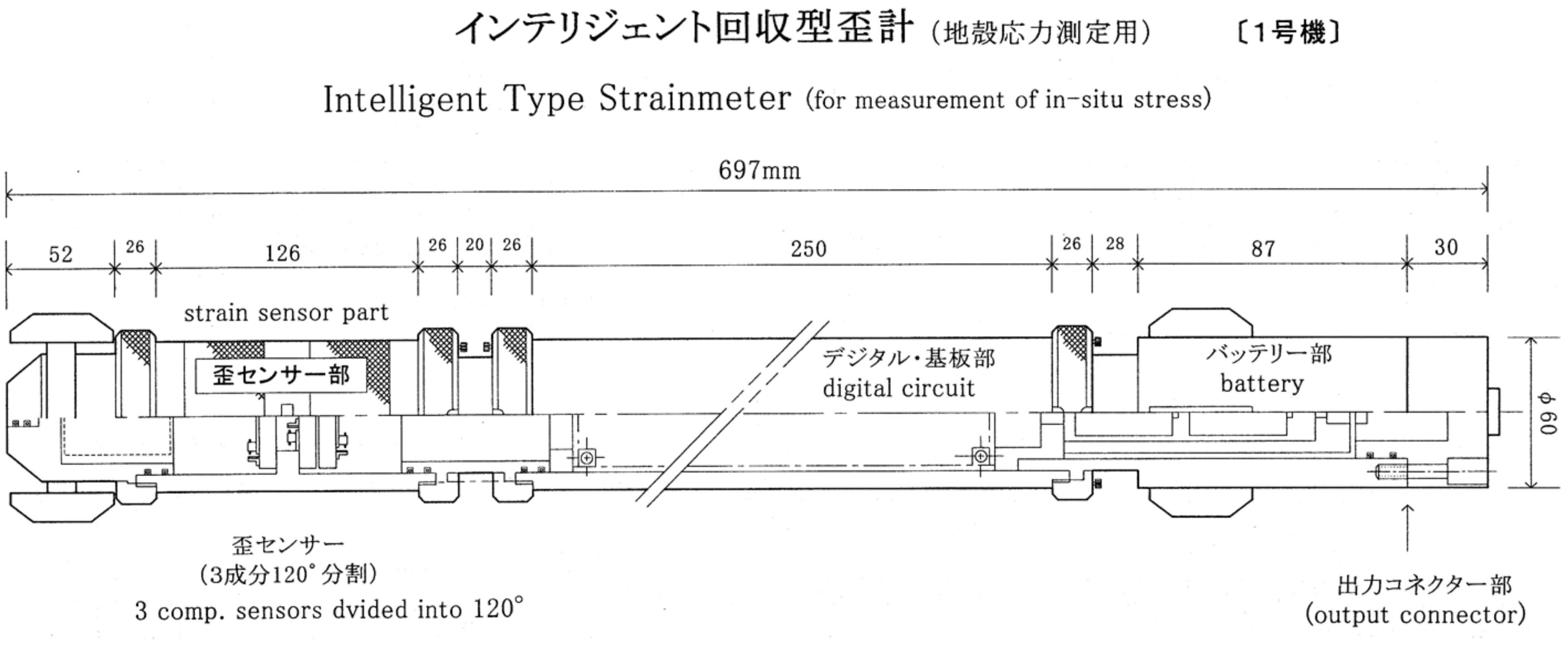
4) 石井　紘，中尾 茂，松本滋夫，平田安廣，ボアホール地殻活動総合観測装置で観測された伊豆半島東方沖群発地震の前兆的地殻変動，地下深部における地殻変動連続観測に向けて，研究会集録，47-51，1998.

5) 石井 紘, 深部ボアホール地殻活動総合観測の重要性・今後の短期予知研究と地殻変動連続観測, 月刊地球号外 新地震予知研究，No.20，198-204，1998a.

6) 山内常生，石井　紘，松本滋夫，超深度ボアホールにおける初期応力測定のためのインテリジェント回収型歪計の開発，物理探査学会第 102 回（平成 12 年度春季）学術講演会講演論文集, (2000)，104-108.

7) 松本滋夫,石井　紘，山内常生，窪田　亮，超深度ボーリング孔における初期応力測定のためのオーバーコアリングシステムと方法について，物理探査学会第 102 回（平成 12 年度春季）学術講演会講演論文集，(2000)，394-397.

8) 石井　紘,山内常生,松本滋夫, 池田隆司,インテリジェント回収型歪計を用いた超深度ボーリング孔における歪観測とオーバーコアによる初期応力測定，物理探査学会第 102 回（平成 12 年度春季）学術講演会講演論文集，(2000)，109-113.

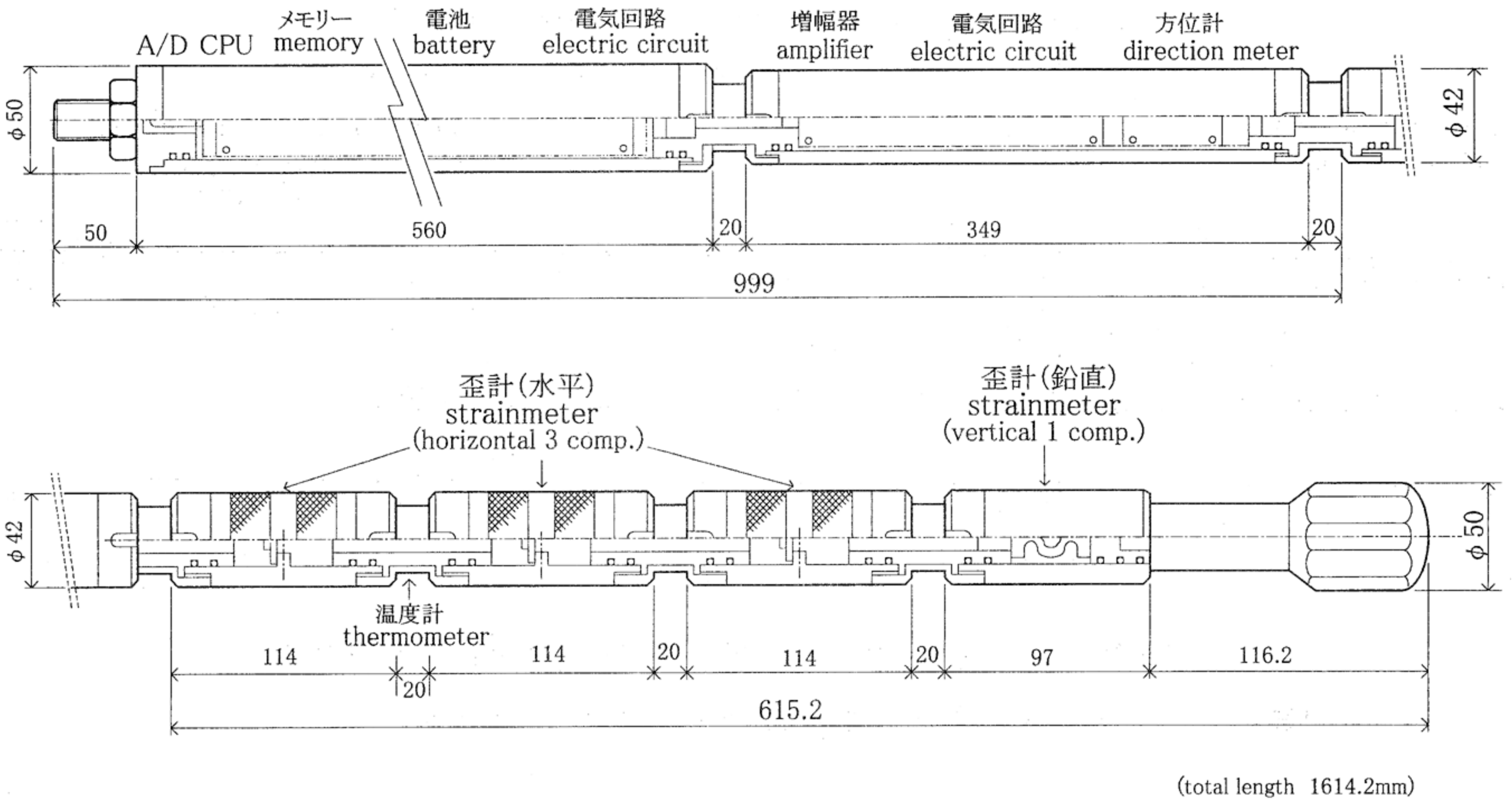


第１図　インテリジェント回収型歪計（地殻応力測定用）１号機

Fig.1　Intelligent type strainmeter for measurement of in-situ stress(Ver.1)

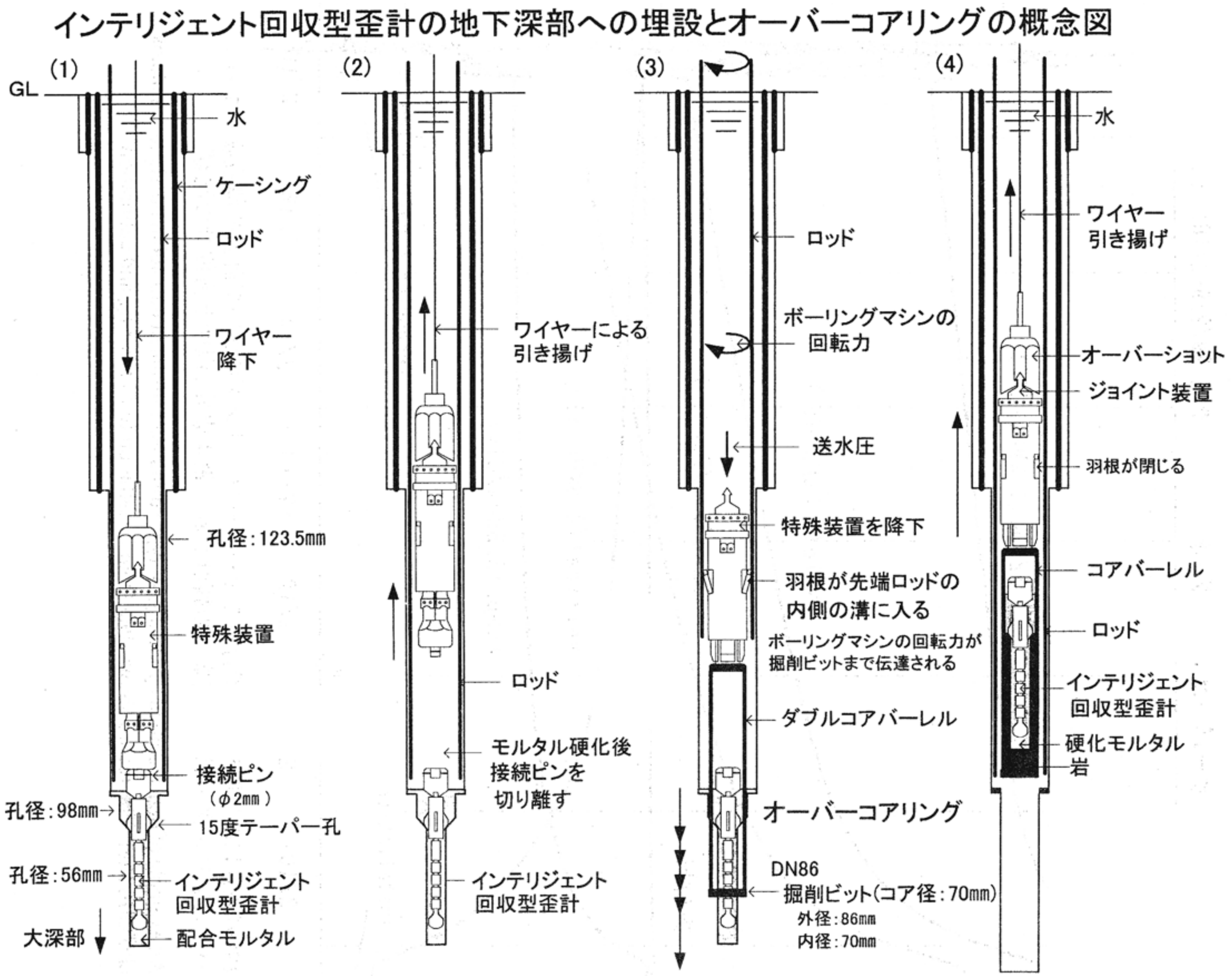
インテリジェント回収型歪計（地殻応力測定用）　〔2号機〕

Intellgent Type Strainmeter (for measurement of in-situ stress)



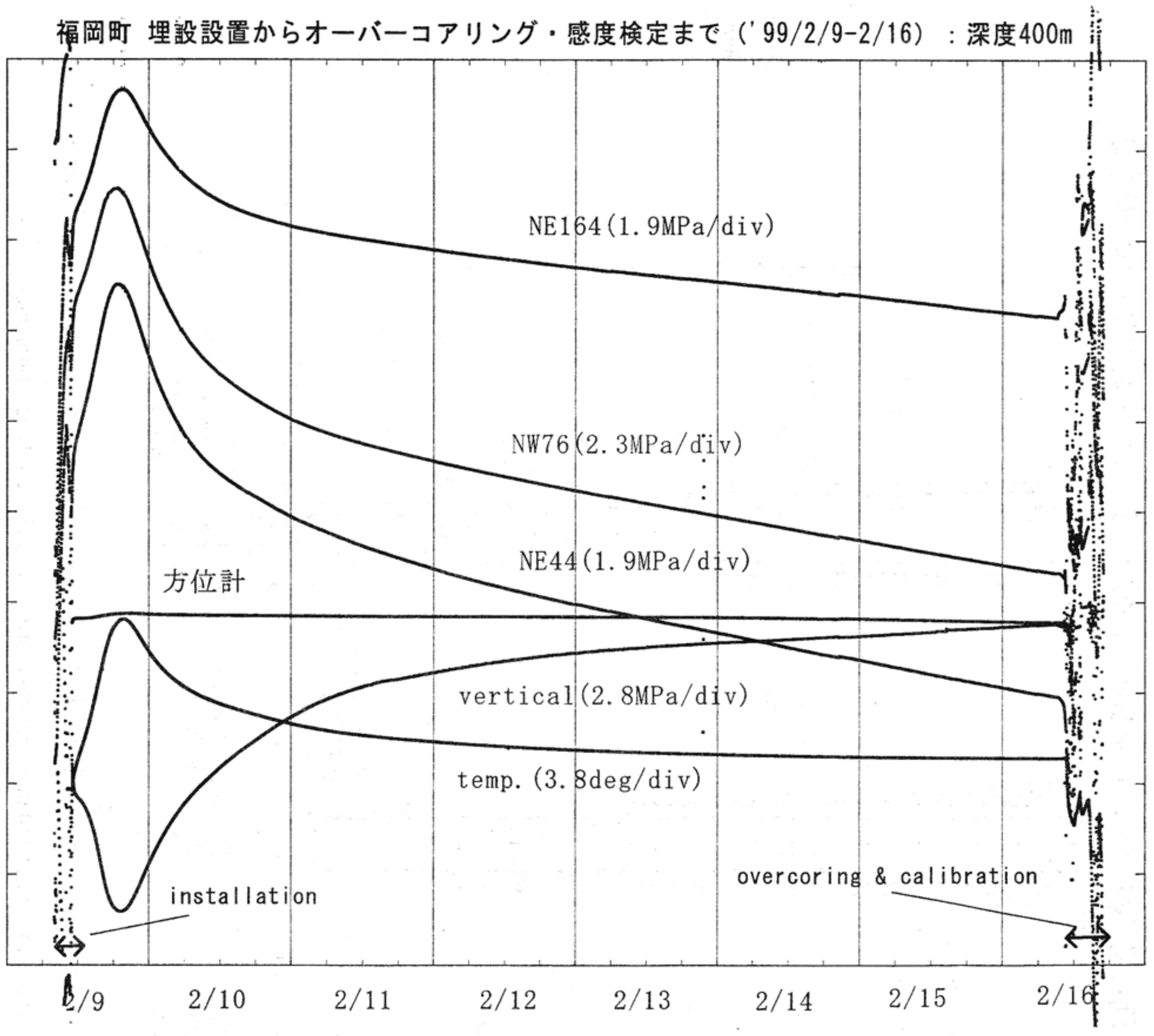
第 2 図　インテリジェント回収型歪計（地殻応力測定用）2 号機

Fig.2　Intelligent type strainmeter for measurement of in-situ stress(Ver.2)



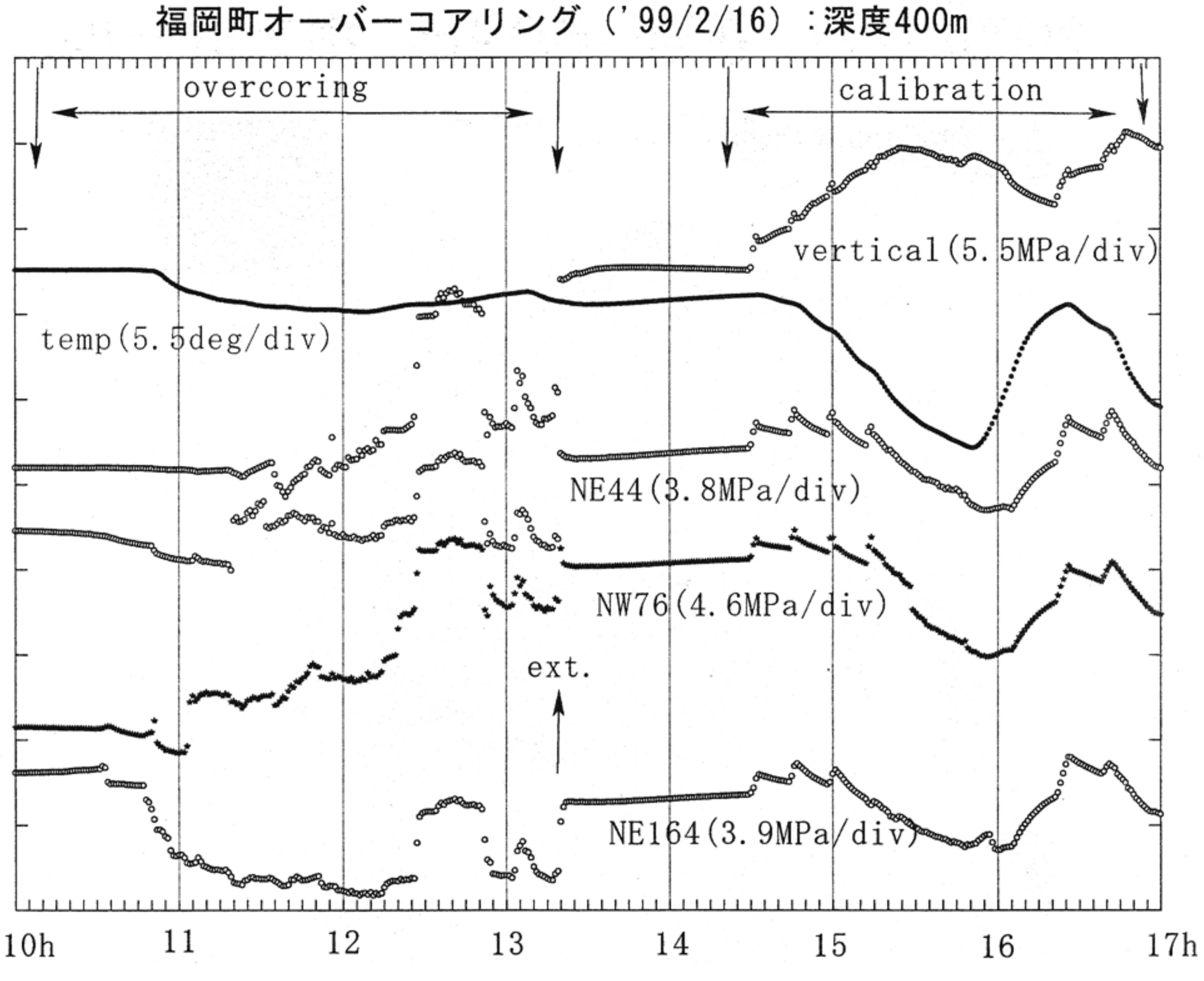
第３図　インテリジェント回収型歪計の地下深部への埋設とオーバーコアリングの概念図

Fig.3　Diagram showing installation and overcoring of intelligent type strainmeter



第 4 図　1999 年 2 月に岐阜県福岡町で行ったオーバーコアリングにおいて計器の埋設設置からオーバーコアリング・感度検定までの観測された歪 4 成分,温度と方位計の記録

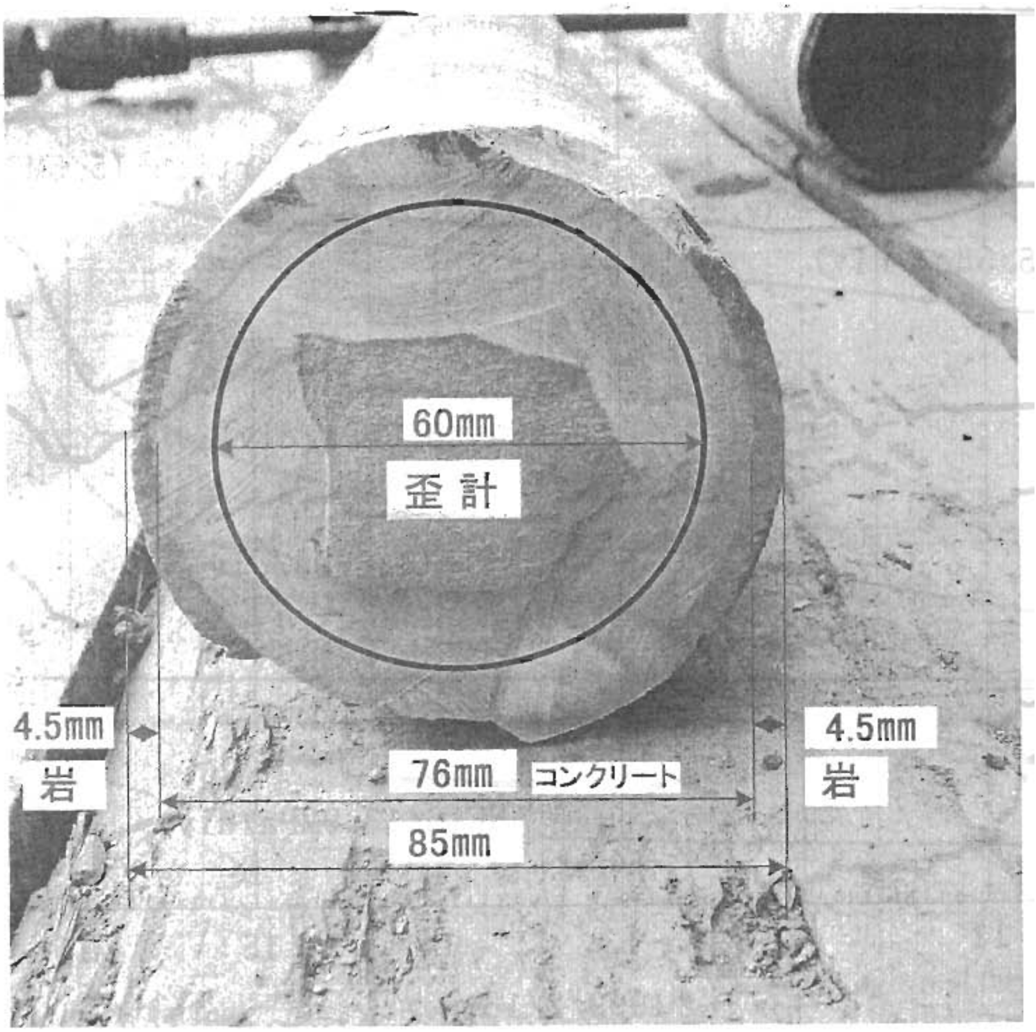
Fig.4　An example of data recorded by intelligent type strainmeter installed into 400m borehole at Fukuoka-cho Gifu Pref. The record shows data from installation to overcoring and calibration



第５図　オーバーコアと感度検定の部分の観測データ

Fig.5　Enlargement of overcoring and calibration parts in Fig.5.

2000/1/21　新宮　509m　ボアホール



同芯円で回収されたコアの中に
インテリジェント回収型歪計１号機がある

第 6 図　新宮の 500m ボアホールにおいて得られたオーバーコアサンプルである。

Fig.6　An core sample of overcoring performed at 500m borehole of Singu city.