

11 - 6 地震予知研究のための応力開放法による深部応力測定

－計器開発による地下深部 (1km 以上) における応力観測と地殻活動総合観測－ **In-situ Stress Measurements by Over-coring Method in Deep Boreholes for Earthquake Prediction Research - Multi-component Observation of Crustal Activities and Continuous Stress Monitoring in Deep Boreholes (Deeper than 1km) by Developing Powerful Instrument**

石井 紘 ((財) 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所)、
山内常生 (名古屋大学環境学研究科 地震火山・防災研究センター)

Hiroshi ISHII, Tono Research Institute of Earthquake Science (TRIES),
Association for Development of Earthquake Prediction (ADEP)
Tsuneo YAMAUCHI, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

要旨

地殻深部の応力値を精度よく測定することは地震予知研究ばかりでなく地下深部の人工的な建設作業や地下開発において重要で必要な項目である。今まで困難であった深部ボアホールを用いた応力開放法による応力測定を新しい計器の開発と計器の設置方法やオーバーコアリング技術の改良により可能にした。応力測定後に同じ位置に歪計を埋設・設置することにより応力の連続観測が可能になる。その概要を一例として岐阜県瑞浪市にある屏風山断層近傍に掘削した深度 1000m のボアホールでの測定・観測を例にして紹介する。

応力連続観測の考え方と地殻活動総合観測

地震予知研究においては人工的ノイズを避け S/N 比の高い観測により、地震に関連した微小な信号の捕捉を可能にする地下深部における観測が欠かせない条件である。その場合に特に地殻応力の観測と多項目・多成分の地殻活動観測が重要である。

我々の日常においても物質の壊れる前には必ず変形などの前兆的变化を見ることができる。地震予知研究における地殻変動観測は変形を測定しており、同じ力が加わっても物質の硬さにより変形の大きさが異なる。最も知りたいのは実際に作用している応力であり物質によらない地震発生に直接関係している物理量である。

しかしながら現在、地下深部における三次元の応力測定は十分な精度で実施できていない。いくつかある応力測定法の中でもオーバーコアリングによる応力開放法は精度のよい方法として知られている。しかしながら今日までは深部ボアホールにおけるオーバーコアリングが困難であったために浅いボアホールにおいてのみ可能であった。我々が開発したインテリジェント型歪計を用いると深部ボアホールにおけるオーバーコアリングが可能になり、原位置での応力測定が可能になった。

この計器を用いて深部ボアホールにおけるオーバーコアリングによる応力測定を実施し経験を積んでいる。最初は全てが新しい試みでありいくつかの困難もあったが経験と改良を重ねることにより、深部ボアホールにおいてもほとんど同芯でオーバーコアすることが可能になり応力測定が可能になった。我々が採用しているオーバーコアリングによる方法は周囲の岩盤を破壊することなく応力の測定が可能である。応力測定を実施したと完全に同じ位置に歪計を設置することにより岩盤の応力の連続観測が理論的には可能になる。この考えに基づいて我々は地殻活動総合観測を深部ボアホールにおいて実施している。ここでは岐阜県瑞浪市にある屏風山断層近傍に掘削した深度 1000m のボアホールで

の結果を例として概要を紹介する。

概要

第1図には応力測定的重要性を模式的に示している。同じ応力であっても変形は媒質により異なるが直接応力の測定ができれば地震発生に関してより直接的な情報が得られる。第1表は応力測定に関する従来の方法の問題点と新しい方法の利点をメモしている。深部における応力開放法による応力測定は今まで不可能であった。第2図には我々が開発したインテリジェント型歪計をバージョン3まで示している。現在はバージョン6まで進んでおり、計器の埋設状態のまま電源供給とデータ回収が可能になっている。

ここで示す応力測定の例は我々のボアホール観測点の中で屏風山観測点（BYB）で実施された結果を示す。第3図に東濃地震科学研究所のボアホール観測点分布を示す。BYBは地図の東端に位置し屏風山断層から1km弱のところにある。第4図はボアホールの形状と総合観測装置の設置位置を示している。応力測定は深度350m、700mと1000mにおいて実施した。第5図は設置直前のインテリジェント歪計を示している。第6図は初期応力測定のためのボアホール形状、歪計の設置とオーバーコアの様子を示している。オーバーコア時のプロセスを第7図に示す。できるだけ多くの情報を得るために途中まで掘削した時点で少し引き上げ応力開放をさせている。第8図はオーバーコアにより取り出されたサンプル、インテリジェント型歪計と検定用容器の写真である。現在は深くてもほとんど同芯で回収できるようになっている。第9図は屏風山ボアホール700m地点においてオーバーコアをした時の歪計のデータと歪計の深度、作業プロセスを合わせて示している。まだ暫定結果ではあるが350mと700mにおいて観測された結果の解析された主応力値を地理院の三角測量により得られた結果と比較したのが第10図である。地理院の結果とよく合っているのがわかる。屏風山観測点の場合は応力測定を実施したとまったく同じ地点に地殻活動総合観測装置を埋設設置していることから周辺の岩の弾性常数を知ることによりその後の応力の時間変化が観測できることになる。第11図は応力測定を実施したと同じ地点に埋設・設置したデジタル式小口径地殻活動総合観測装置である。得られた結果は整理して報告する予定である。

従来の方法の問題点および開発した方法の利点

問題提起

地震予知研究において最も重要な応力の測定を地下深部(3km程度)において実施したい

現状

地下深部での原位置応力測定が可能な方法は水圧破碎法

応力開放法で深部ボアホールの応力測定は不可能。せいぜい40mかトンネル内で通常は5m程度

本研究

a) 深部(1km以深)に於けるオーバーコアを可能にするインテリジェント回収型歪計の開発

b) 深部におけるオーバーコア手法の開発(ハードとテクニック)

c) 深部におけるオーバーコアデータから初期応力解析手法の開発

d) その後の地殻活動総合観測

メモ

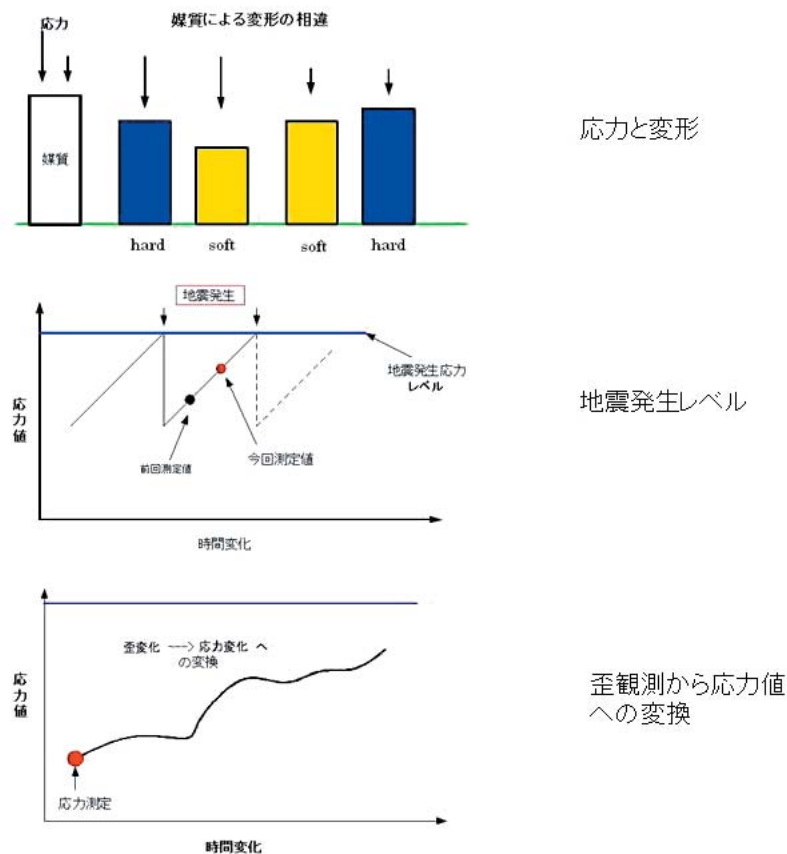
従来のものより計器の感度が2桁以上よい

岩盤を破壊しない測定であり測定後のボアホール使用可能

岩盤のよくないところ、固い岩盤における測定も可能

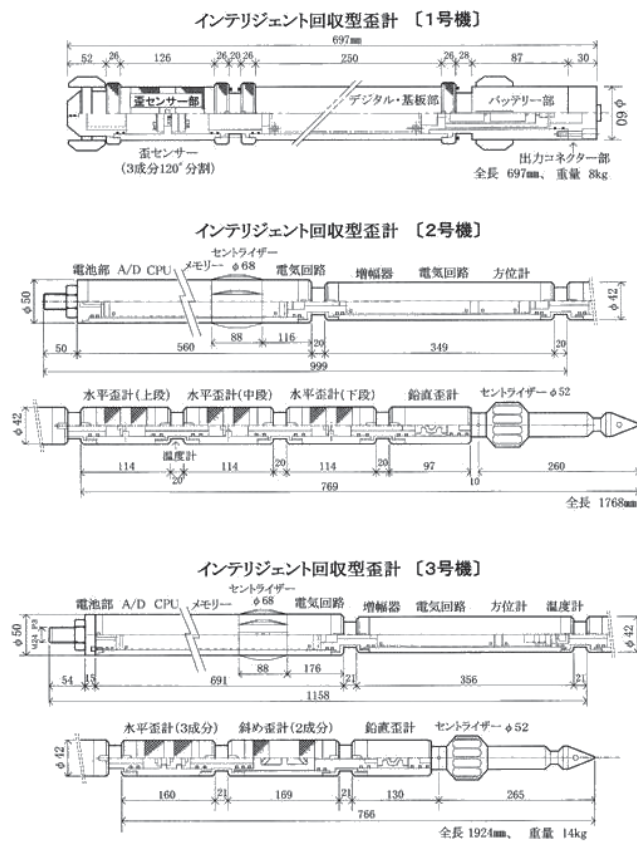
第1表 応力測定に関する従来の方法の問題点と新しい方法の利点

Table.1 An issue of traditional method concerning stress measurement and advantages of our metho



第1図 変形、応力と地震発生および応力連続観測の考え方

Fig.1 Relationship among displacement, stress and earthquake occurrence, and importance of continuous stress observation

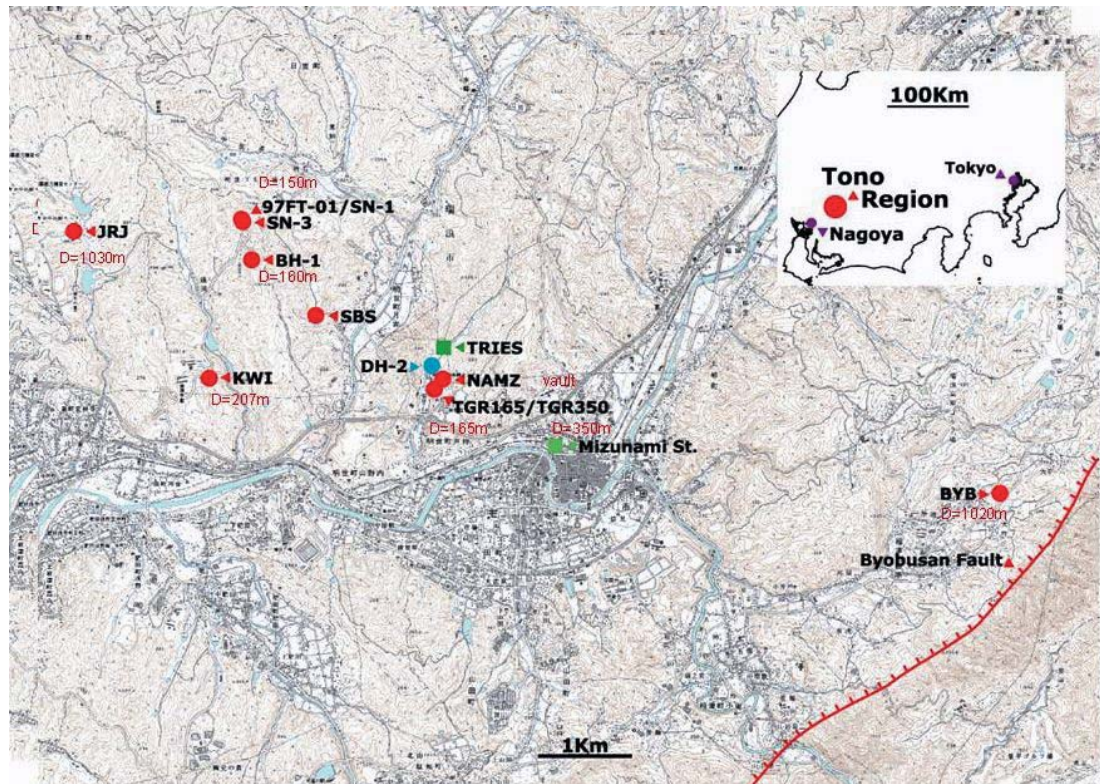


インテリジェント歪計

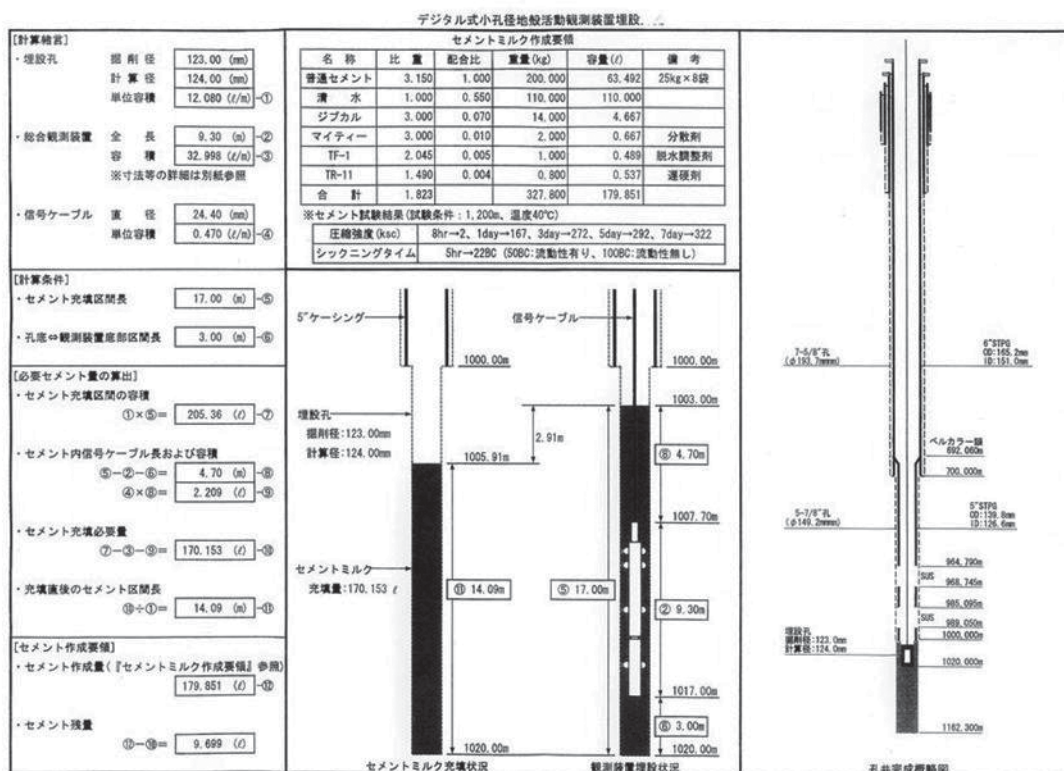
現在は計器の埋設状態のままで電源供給とデータ収集が可能

図 1. 初期応力測定用に開発した測定装置 1号機から 3号機までの構成図

第 2 図 オーバーコア法により応力測定を行うためのインテリジェント歪計
Fig.2 Intelligent type strain meter for determining in-situ stress by over-coring method



第 3 図 東濃地震科学研究所におけるボアホール観測点分布とボアホール深度
Fig.3 Distribution of borehole station with depth being operated by TRIES



屏風山(BYB)ボアホールの形状と応力測定・総合観測装置設置位置

第4図 屏風山ボアホールの形状と応力測定・総合観測装置の設置位置

Fig.4 Structure of Byobusan 1 km borehole and installation position of multi-component instrument

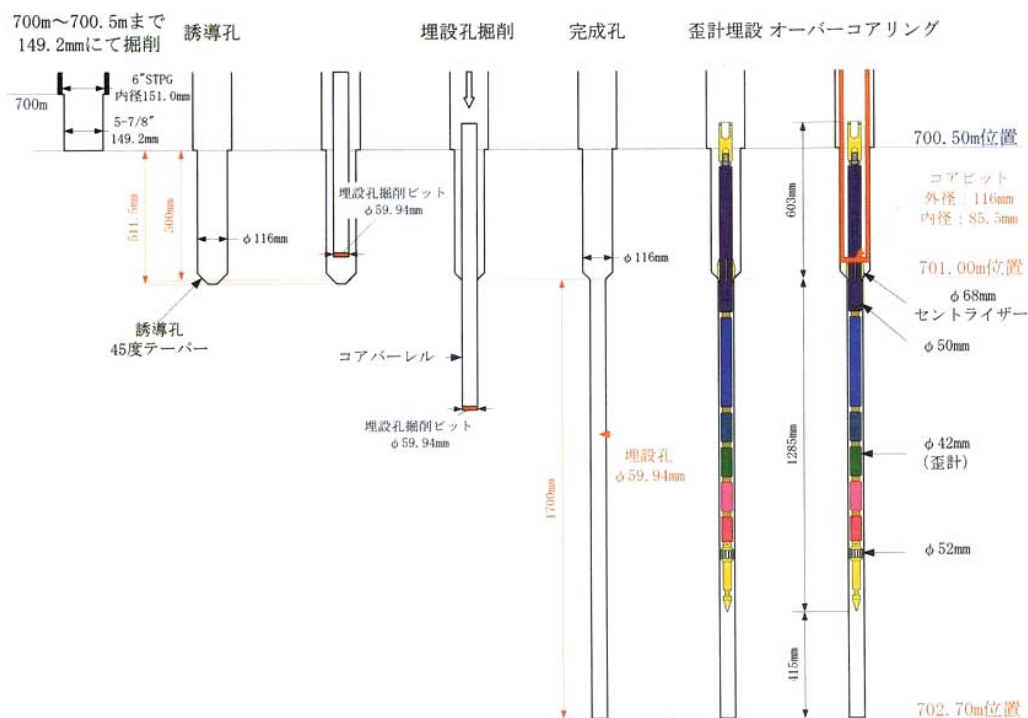


インテリジェント
回収型歪計の埋
設設置直前

第5図 インテリジェント歪計とその設置前

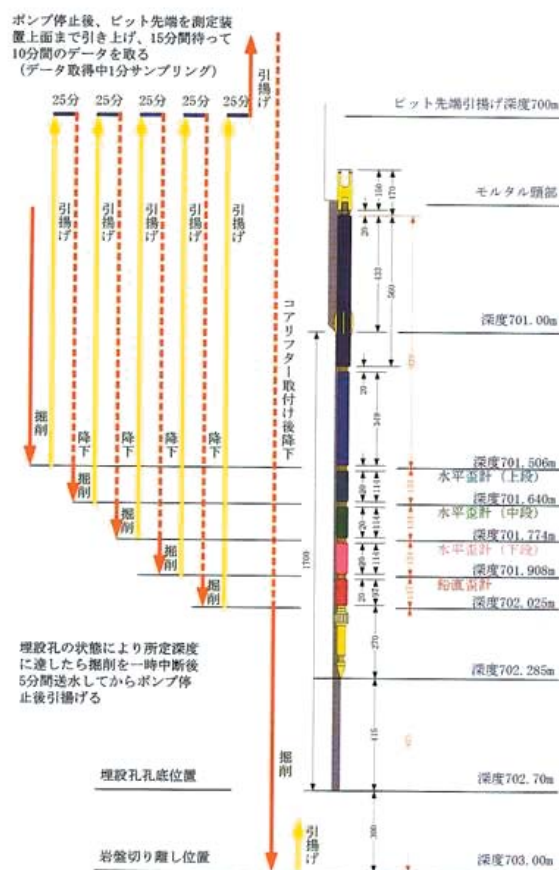
Fig.5 Intelligent type strain meter before installation

初期応力測定のためのボアホール形状、回収型歪計とオーバーコア

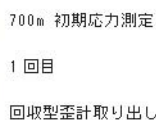
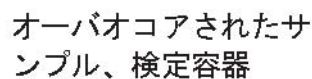


第6図 初期応力測定のためのボアホール形状、ひずみ計の設置とオーバーコア
Fig.6 Borehole structure for installation of intelligent type strain meter and over-coring

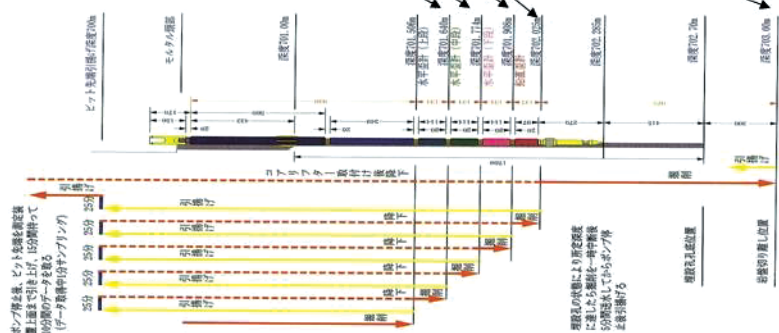
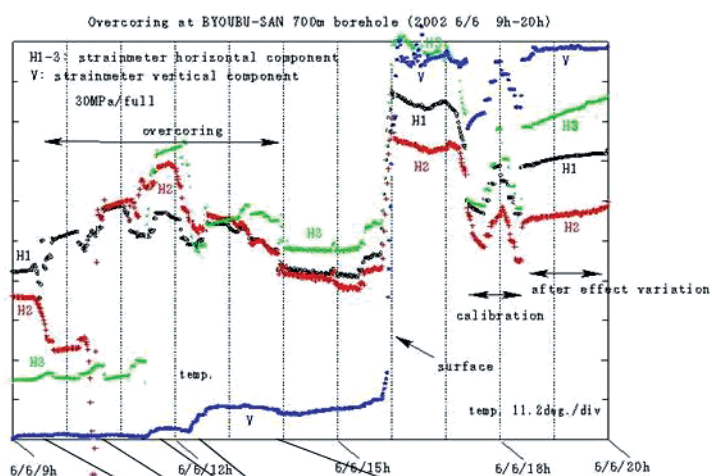
オーバーコアにおける作業プロセス



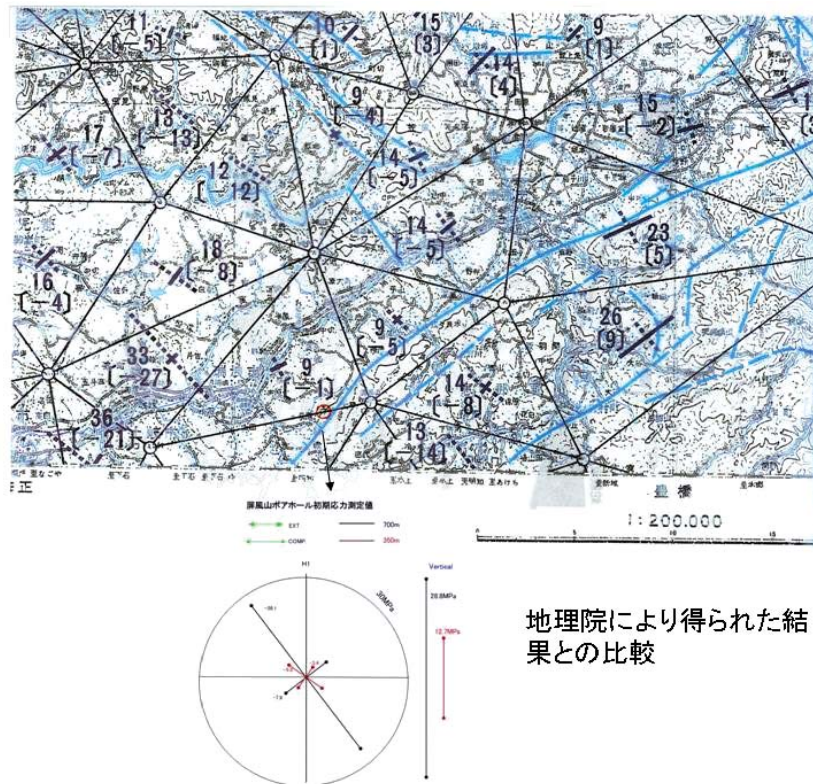
第7図 オーバーコアにおける作業プロセス
Fig.7 Operation process in case of over-coring



第 8 図 オーバーコアにより取り出されたサンプル、インテリジェントタイプ歪計と検定容器
Fig.8 Core sample, intelligent type strain meter and calibration vessel taken out by over-coring



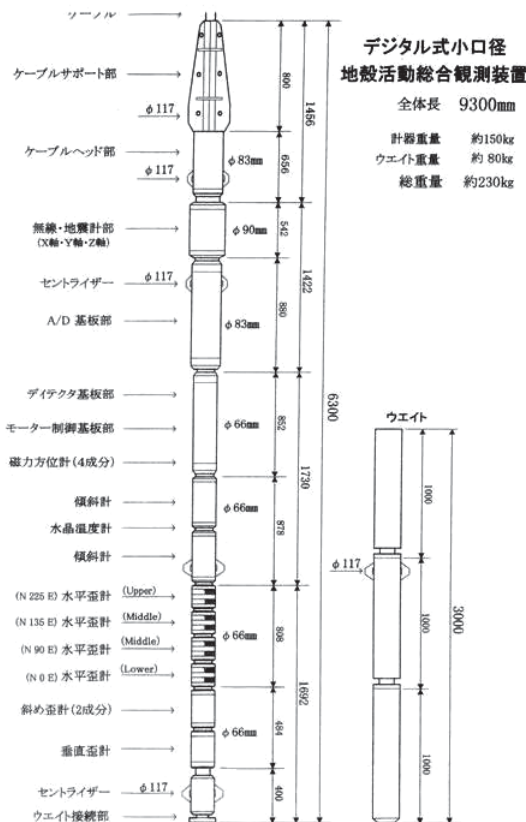
第9図 屏風山 700m 深度で実施したオーバーコアによりインテリジェント歪計で観測された歪変化
Fig.9 Strain variation data recorded by intelligent type strain meter by over-coring in Byobusan 700 m position. Position of the instrument and obtained data are also indicated.



地理院により得られた結果との比較

第 10 図 屏風山ボアホールの 350m と 700m においてインテリジェント歪計によるオーバーコアリングにより求められた応力

Fig.10 In-situ stress at 300m and 700m depths of Byobusan borehole. They were obtained from overcoring method by means of intelligent type strain meter developed by us.



特徴:

1. 深度1km以深の埋設可能(世界最深の地殻活動総合観測)
2. 多成分観測
3. 同軸ケーブル1本(ケーブルが細い)
4. 埋設中のデータをモニター可能
5. 正確な深度モニター
6. 完全な耐雷対策
7. その他

第 11 図 屏風山観測点を含む領域における地理院により得られた主歪との比較

Fig.11 Comparison between principal strain obtained from triangulation survey performed by GSI and principal stress obtained from our overcoring method