

6-8 深いボアホール（深度 1000m）での地殻活動総合観測 Multi-component observation of crustal activities in a deep borehole with 1000m depth

東濃地震科学研究所、名古屋大学、東京大学地震研究所
Tono Research Institute of Earthquake Science, ADEP, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya
University and Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

はじめに

2001 年度から進めていた屏風山地殻活動総合観測点（岐阜県瑞浪市稲津町萩原字向田 1141-9、N35°21'51.59"、E137°18'14.21"、H 333m）が完成した（第 1 図）。1200m のボアホールを掘削し、最終的には 1020m にデジタル式小口径地殻活動総合観測装置を埋設設置し（2003 年 3 月 30 日）、地震 3、歪 7、傾斜 2、地磁気 4、精密温度などの連続観測データを蓄積している。このような深度における地殻活動総合観測は世界最深の連続観測である。この観測開始の前に深度 350m、700m と 1000m において当研究所、名古屋大学と東京大学地震研究所が共同で開発したインテリジェント回収型歪計を用いたオーバーコアにより初期応力の測定を実施した。比較のために DSCA 法による応力測定も 350m と 700m において実施した。700m より深い深度においては物理検層として電気比抵抗・温度検層、PS 検層、密度検層、キャリパー検層などを行った。計器の埋設設置などでいくつかの新しい試みも行われたので資料を記載する。

なお、観測した長期的なデータについては次の機会に報告する。

研究目的とその達成

研究目的は以下のようである。

1. 内陸活断層である屏風山断層（第 1 図）における地球物理学的調査研究および応力、歪、地下水などの観測研究
2. 深部ボアホールにおける地殻活動総合観測計器の開発・改良研究
3. ボアホールを用いた応力測定手法の開発・改良研究
4. 深部ボアホールにおけるデータ伝送収集システムの開発研究

4 項目のうち 2、3、4 に関してはかなり目的を達している。1 に関しては今後のデータ蓄積により成果が期待できる。

ボアホールの構造と計器の設置

最終的に掘削したボアホールは第 2 図の様に出来上がった。岩盤の状況を考慮し、総合観測装置（第 3 図）は径 123mm の裸孔の深度 1020m の地点に埋設設置された。写真 1 にボアホール掘削用の櫓と総合観測装置埋設時の写真が示されている。

総合観測装置の埋設設置

今回の総合観測装置のデータ伝送システムは新しく無線伝送方式を開発使用している。したがって埋設作業中においても回転するケーブルドラムからデータを取り込むことが可能であり、地上のパソコンでリアルタイムでセンサーの出力を見ることが出来る。写真 2 上は計器の埋設・設置作業中にセンサーの出力を監視しているところである。写真 2 下図はセンサーのディスプレイ出力の例

で総合観測装置が孔底のグラウトに入り込むときのデータである。このようにリアルタイムでセンサーの出力を見ることが出来るようになったため、センサーと岩盤のカップリング状態がわかり埋設・設置が正確に行えるようになるとともに異常が発生しても即座に判断し対応することが出来るようになった。第4図は総合観測装置を設置のために降下させ、孔底に近づいた時のセンサーの出力である。ボアホールの最下部付近ではケーシングは鉄とステンレスを組み合わせており磁力計の出力を見る計器が鉄ケーシング内にあるかステンレスケーシング内にあるか区別が可能であり、計器の深度が正確に確認できる。計器のグラウト突入により鉛直歪が急速に縮み始め、計器の固定とともに落ち着きを示しており水平歪の出力も考慮すると計器の確実な設置が確認できる。磁力計の出力とともに考慮すると明白に総合観測装置の状態と深度が理解できる。

総合観測装置位置の正確なモニター

今回の新しい特徴の一つは計器の降下時の位置が正確にモニターできるようになったことである。従来はケーブルあるいはワイヤーの長さを頼りにしていたためその伸びなどのために正確ではなかった。今回は全てのデータを計器の降下時にモニターできることと磁力計を搭載していることを利用した。ケーシングは通常 鉄であるが孔底近くにステンレスのケーシングを鉄と交互に配置した。総合観測装置を降下させ磁力計の出力をモニターすると鉄ケーシングの継ぎ目を通過するときにはスパイク状の出力を記録する（第4図参照）。その後孔底に近づきステンレスケーシングを通過するときには第4図に見られるように鉄ケーシングと出力が異なり総合観測装置の位置が正確にわかる。数センチ程度の誤差で位置を決めることが出来たと考えている。

このように計器の位置の正確な認識と歪計などの出力のリアルタイム把握により総合観測装置の埋設設置の確実性が格段に増した。

観測データの例

総合観測装置は2003/3/30に埋設設置されたがその後の1分サンプリングのデータを第5図から第8図に示す。温度は埋設設置直後のグラウトの発熱により上昇したがその後、下降し33.2度程度で落ち着いている。歪計の水平4成分は縮みの傾向を継続し落ち着いてきているが歪計の斜めと鉛直成分は伸びの傾向から落ち着いてきている。各成分とも潮汐変化をきれいに記録している。これらの図は1分ごとの値をプロットしたものであるが実際は30ヘルツでサンプリングしているので、平均した出力を取り出すことにより一桁記録はきれいになる。第8図は磁力計の出力であるが水平3成分と垂直成分とも日変化をきれいに記録している。

東濃地震科学研究所の観測網

今回完成した屏風山観測点を含めた東濃地震科学研究所周辺の観測点が第1図に示されている。97FTとBH1はボアホール観測点で深度160m程度のところに総合観測装置が埋設設置されている。NAMZは名古屋大学の横坑の地殻変動観測点で伸縮計や水管傾斜計が設置されている。TGR350-165はそれぞれ深度350mと165mの深度のボアホールで総合観測装置が埋設設置されている。KWIは深度200m程度の深度に二連式の総合観測装置が埋設設置されている。この屏風山観測点の完成により瑞浪地域において6km程度の範囲の中に水平方向と垂直方向の位置の異なる観測をしており、地殻変動観測の3次元アレイ観測網を攻勢している。これらのデータの蓄積と比較解析により地殻変動のより詳細な研究を進めることが可能であり成果が期待される。

特徴および独創的なこと

- 1.今回設置する地殻活動総合観測計器は名古屋大学と共同で開発しているがこのような地下深部(1200m)での多項目・多成分観測が可能な計器は世界的に見ても他には存在しない。
- 2.このような地下深部での地殻活動総合観測は世界的にも始めてである。
- 3.地下深部から大量のデータを地上に伝送するが、同軸ケーブル1本で伝送する方式を開発した。従来方式では直径40mmと太いケーブルでアナログ伝送していた。
- 4.活断層近傍での応力の深さ分布の計測及び地殻活動の総合観測も例がない。

今後の課題

深部ボアホール観測はS/N比を向上させ地震に関連した信号の検知能力を圧倒的に向上させる。1995年の兵庫県南部地震において前震が4個しか観測されなかったとされている。しかしながら1km以上の深度の地殻活動総合観測をしていれば前震も100個以上観測できたであろうし、前兆的な歪・傾斜変化も観測出来た可能性がある。なぜなら今回設置する計器の最初のバージョンの地殻活動総合観測装置による深部ボアホール観測により伊豆半島の3回の群発地震すべてにおいて前兆的な歪・傾斜変化が観測されている(参考文献1,2)。その時点と比較すると現在の地殻活動総合観測装置はかなり改良されてきている。

最終的には地震発生と直接関連している応力の連続観測を行うことが理想であり開発を継続している。現在はインテリジェント回収型歪計を用いたオーバーコア方式により初期応力値を求め歪計による連続観測により応力の時間変化を記録している。総合観測装置も将来的にはケーブルがなく地上から計器近くに送受信装置を近づけることによりデータ収集と電源の供給が可能なシステムを構築する方向である(山内ほか、3)。1本のボアホールにより現在もかなりの観測(地震3成分、歪6、傾斜2、地磁気4、地下水位、精密温度など)が可能であるが間隙水圧の測定も今後実施したい項目のひとつである。いずれにしても1本の深部ボアホールにより多項目・多成分の観測が、多くの観測点で可能になれば地震予知研究に貢献するところが大きいと考えている。最後に第9図には最近作成した屏風山ボアホール観測点のパンフレットを付けた。

参考文献

- 1) 石井 紘、山内常生、松本滋夫：最新の地震・地殻変動計測システムによる地震前兆現象の検出(月刊地球・号外 No.33、2001)
- 2) H.Ishii, T. Yamauchi, S. Matsumoto, Y. Hirata and S. Nakao, Development of multi-component borehole instrument for earthquake prediction study, some observed examples of precursory and co-seismic phenomena relating to earthquake swarms and application of the instrument for rock mechanics, 365-377, Seismogenic Process Monitoring, 2001, Balkema.
- 3) 山内常生、石井 紘、浅井康広、大久保慎人、松本滋夫：深部ボアホールにおける地殻変動・地殻応力測定装置の開発ー成果と将来計画ー、京大防災研 地殻変動研究集会プロシーディング、2003



写真1 上 屏風山ボアホール掘削用檣

左 デジタル式小口径地殻活動総合観測装置のダミー埋設試験

右 デジタル式小口径地殻活動総合観測装置の埋設・設置開始前

Photo.1 Tower for boring in the Byobusan station.

Left Testing of installation of digital type small diameter multi-component borehole instrument for observing of crustal activities.

Right Just before the installation of digital type small diameter multi-component borehole instrument.

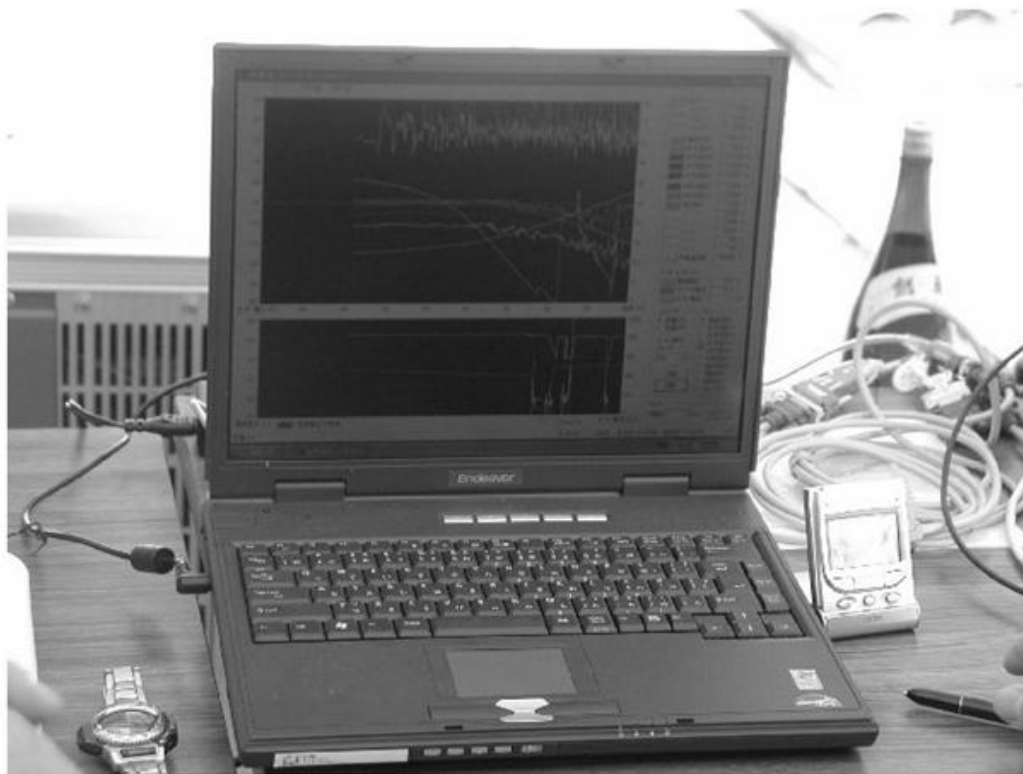
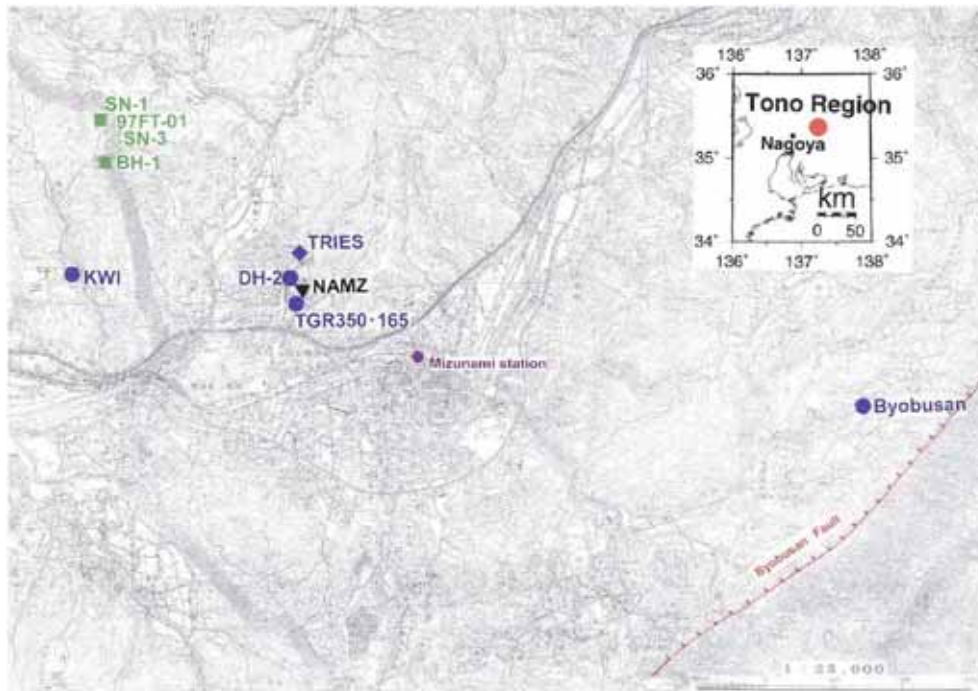


写真2 上 地殻活動総合観測装置の埋設・設置時のリアルタイムセンサー出力監視風景

下 埋設・設置中にリアルタイムで表示される観測成分の出力。これを見ながら計器の状況を監視・判断する。計器設置成功祈願のためのお神酒が見える。

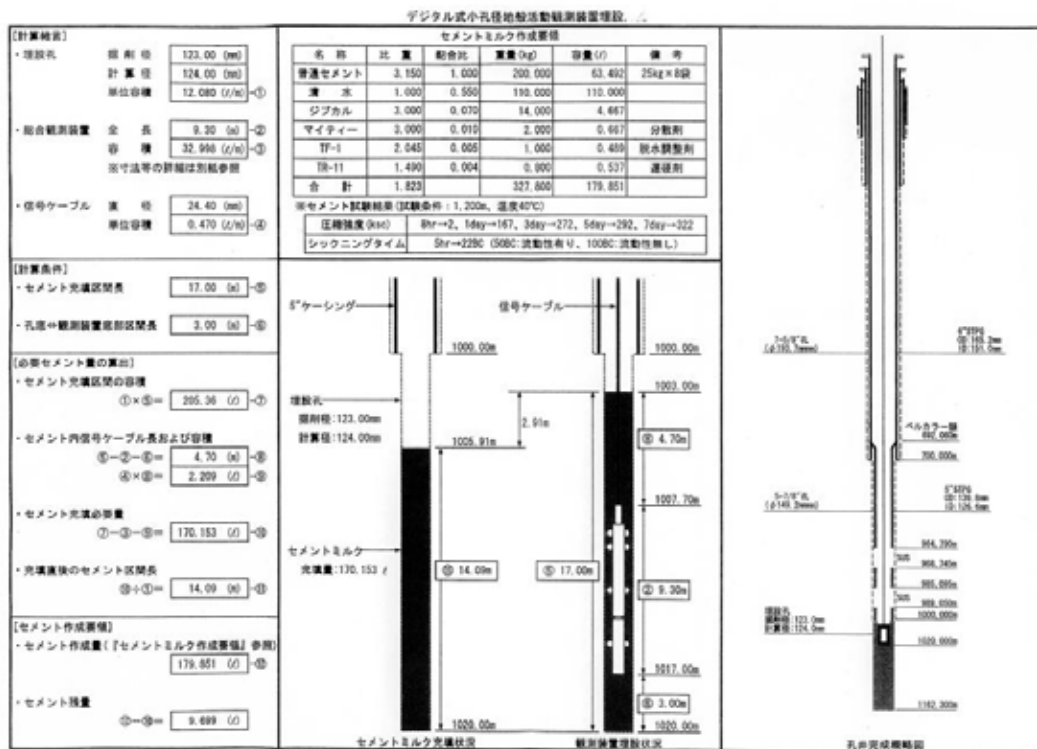
Photo.2 Upper Watching out- put records of digital type small diameter multi-component borehole instrument during installation.

Lower An example of out put records shown on a monitoring display during installation.



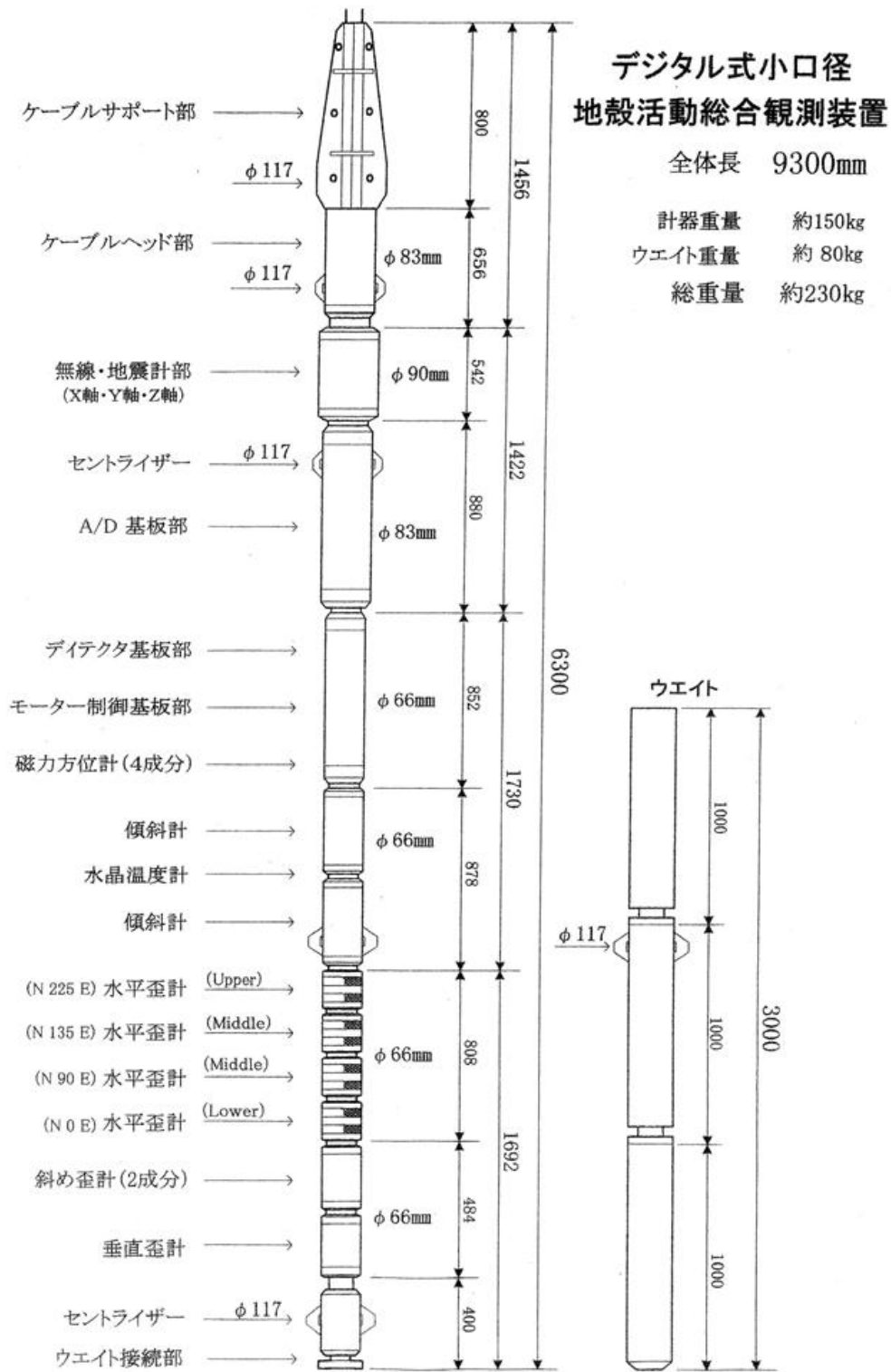
第1図 観測点分布および屏風山断層の位置

Fig.1 Location of multi-component borehole observation station and Byobusan fault.



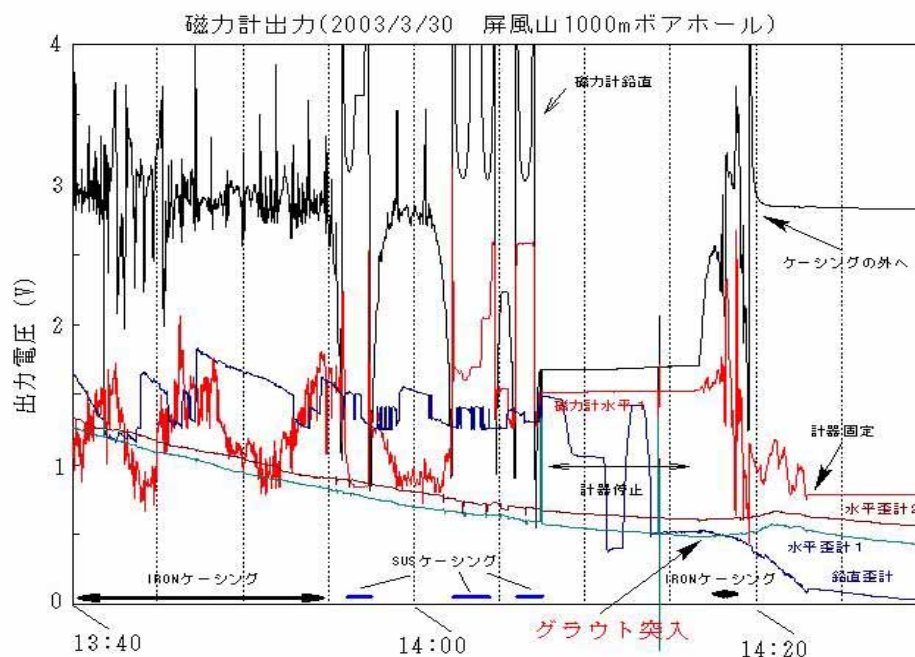
第2図 掘削したボアホールの形状と埋設位置

Fig.2 Structure of borehole in Byobusan borehole station.



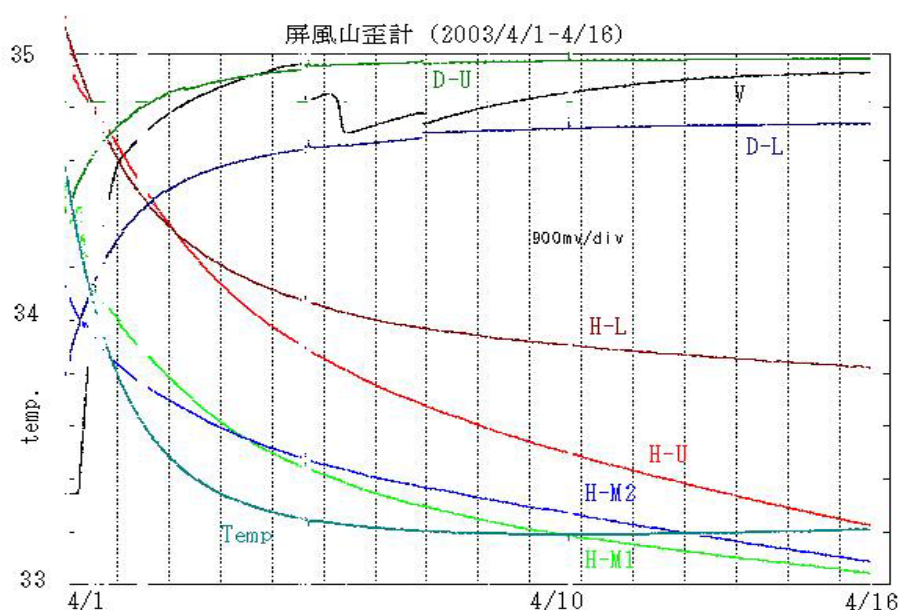
第3図 デジタル式小口径地殻活動総合観測装置

Fig.3 Digital type multi-component borehole instrument for crustal activities that is installed in the Byobusan (BYB) borehole station.



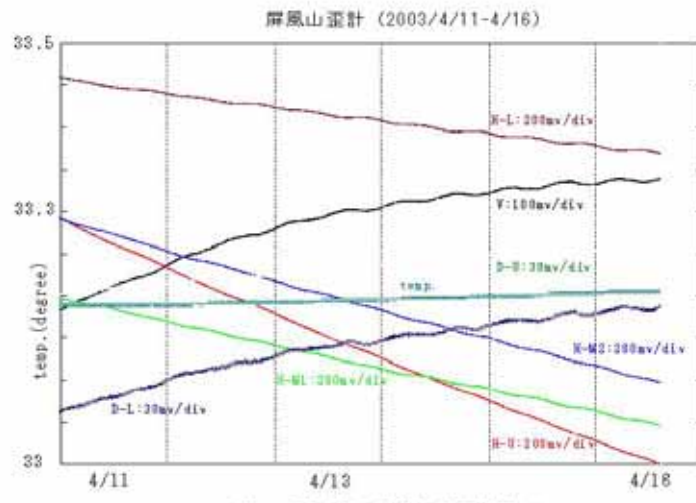
第4図 総合観測装置の埋設設置時におけるボアホール底のグラウトに突入する直前直後のセンサー出力。横軸は計器の降下に伴う時間経過、ケーシングは最深部付近では鉄とステンレス（SUS）を組み合わせているので磁力計の出力により計器の位置（深度）が正確にわかる。歪計の出力変化から計器がグラウトに突入したかがわかる。これらのデータをリアルタイムで見ることが可能であり計器の埋設設置の位置や作動状況がわかり計器の確実な設置が可能になった。

Fig.4 Sensor out put of various sensors equipped in the multi-component borehole instrument in the case where the instrument reach to grout and get in grout. Horizontal axis is time process of the instrument going down to the bottom of borehole. Casing of borehole is composed of a combination of iron and stainless so that magnetometer in the instrument can discriminate the depth of the instrument. Out put of strain meters can let us know when the instrument gets in grout and stop. We can make sure success of installation and know running state of it from this information.



第5図 設置後の歪計の時間変化－1

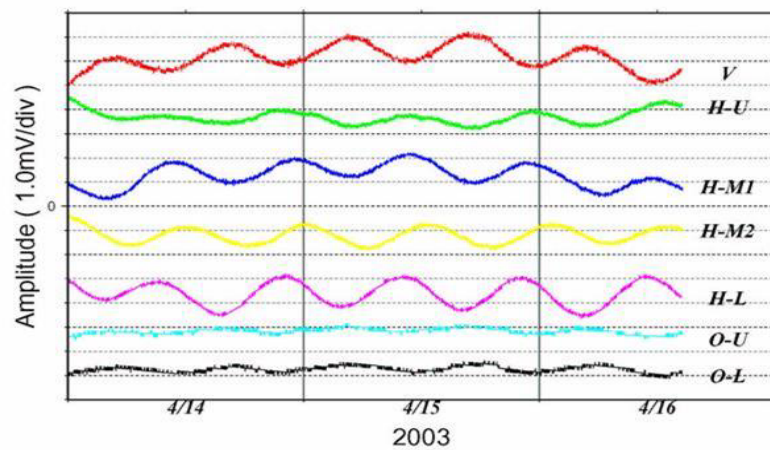
Fig.5 Time variation of strain meters after installation (1)



第 6 図 設置後の歪計の時間変化－ 2

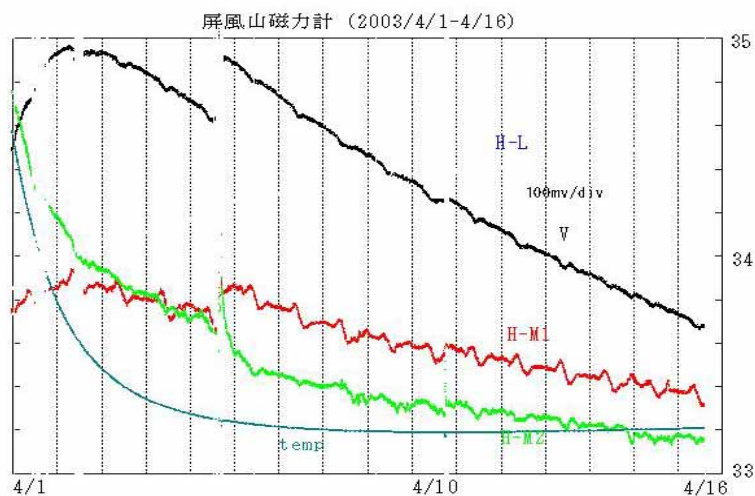
Fig.6 Time variation of strain meters after installation (2)

Byobusan Strain



第 7 図 設置後の歪計の時間変化－ 3

Fig.7 Time variation of strain meters after installation (3)



第 8 図 設置後の磁力計の時間変化

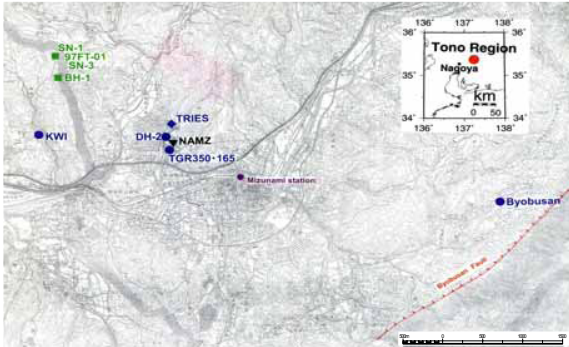
Fig.8 Time variation of magnetometers after installation

世界最深の地殻活動総合観測

(岐阜県瑞浪市 屏風山観測点 深度 1km)

(財) 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所

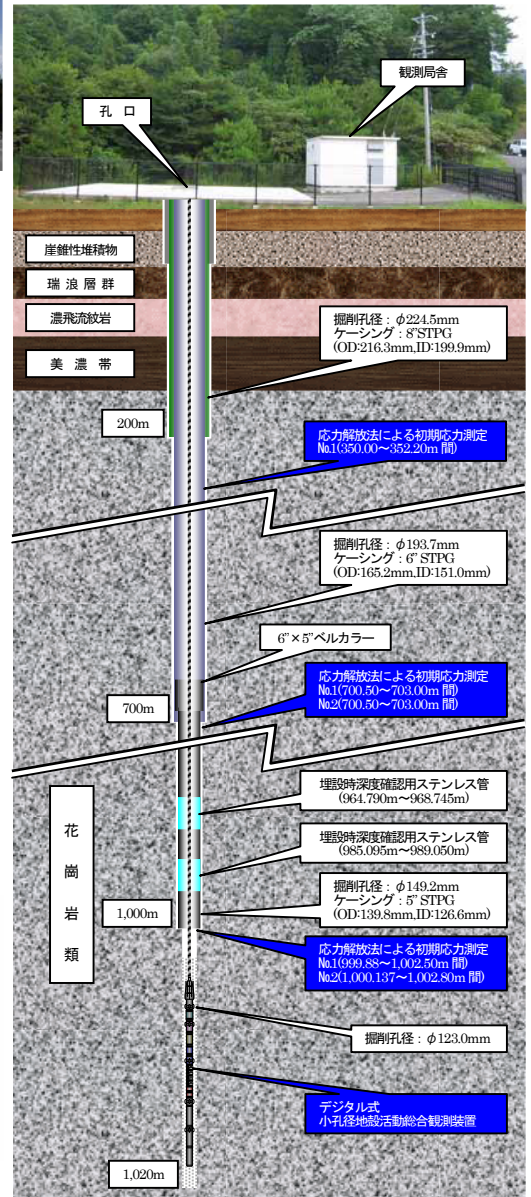
地震予知研究や地下深部の研究を進めるためには、地下深部における地球物理学的総合観測を可能にすることが重要である。兵庫県南部地震（1995、マグニチュード 7.2）において前震が 4 個しか観測できず、前兆的変動が観測されなかったのも観測点が地表近くにあり人工的なノイズが大きく信号の小さな前兆変化が隠されてしまったためである。地下深部において高感度の観測が可能になればこのような問題は解決する。このため 1 本の深いボアホールにおいて多項目の観測を可能にする計器の開発および計器の埋設設置方法を確立するための研究を名古屋大学および東大地震研と共同で進め、屏風山断層の近傍に屏風山地殻活動総合観測点を建設した。



上：屏風山 1,000m ボアホール掘削および計器埋設設置に用いられた掘

左：観測点分布：Byobusan（屏風山）深度 1,000m、TGR（戸狩）深度 350m&165m、NAMZ（瑞浪）横坑、KWI（河合）深度 200m、TRIES（東濃地震科学研究所）

下：屏風山観測点の観測局舎とボアホールの断面図、地質



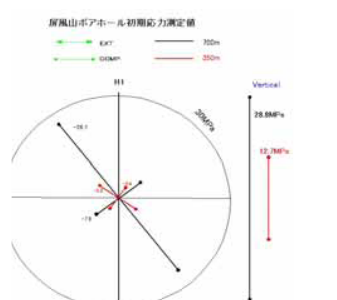
応力解放法による初期応力測定

本ボアホール掘削工程において、開発したインテリジェント回収型歪計を使用したオーバーコアリング法により地殻応力を測定した。地殻応力は地震発生のポテンシャルを示す重要な観測項目である。本観測点では、1,000m 級の応力開放法による測定を世界で始めて実施し、確立した。



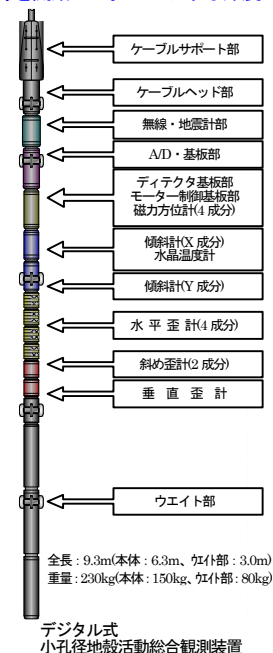
右：初期応力測定のためのインテリジェント回収型歪計の埋設設置直前と青木所長

右：測定された 350m と 700m における



デジタル式小孔径地殻活動総合観測装置の埋設・設置

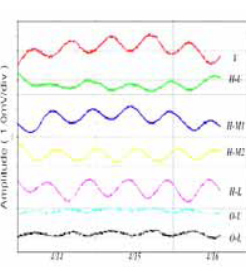
本観測点では、歪 7 成分、傾斜 2 成分、地震 3 成分、地磁気 4 成分および温度などを一度に観測する地殻活動総合観測装置を開発し、2003/3/30 に 1,020m の深度に埋設設置しデータの連続記録を開始した。このような深度における地殻活動総合観測は世界で初めての試みである。



デジタル式小孔径地殻活動総合観測装置



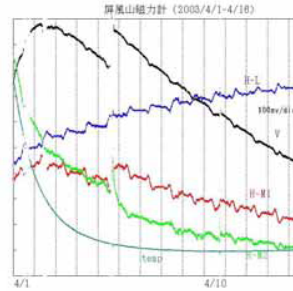
総合観測装置の埋設設置の直前



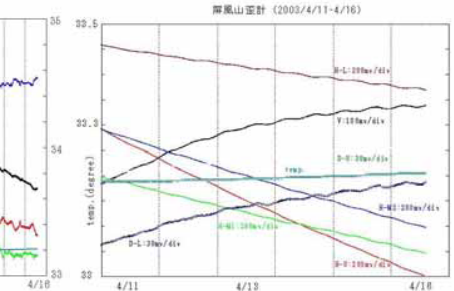
ドリフトを除外した歪計の記録



総合観測装置の埋設設置中のオンライン監視



総合観測装置の磁力計 4 成分と温度計の出力



総合観測装置の埋設設置直後の歪計 7 成分と温度計の出力

(財) 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所
〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-63
Tel:0572-67-3105 Fax:0572-67-3108 Hp: <http://www.tries.jp>

第 9 図 深いボアホールでの地殻活動総合観測

Fig.9 Explanation pamphlet of Byobusan (BYB) borehole station