3成分ひずみ計の観測，記録およびデータ処理方式

著者	島田 誠一，坂田 正治，野口 伸一
雑誌名	国立防災科学技術センター 研究報告
巻	31
ページ	101-110
発行年	1983-11
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00000893

国立防災科学技術センター研究報告　第31号　1983年11月

550. 34

3成分ひずみ計の観測，記録およびデータ処理方式

島田誠一*・坂田正治**・野口伸一*

国立防災科学技術センター

The Methods of Observation and Data Processing for the Three-Component Borehole Strainmeters

By

Seiichi Shimada, Shoji Sakata and Shin'ichi Noguchi

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

A three-component borehole strainmeter has been developed at NRCDP (Sakata *et al.*, 1982). The signals from the sensor are converted to 16-bit digital values and telemetered to NRCDP in Tsukuba using telephone lines. At NRCDP two kinds of signals are obtained. One is the long term variations of the strain and called 'DC component', with the flat response between a period of 100 seconds and DC. The other is the long period seismic data and called 'AC component', with the flat response between periods of 15 seconds and 1000 seconds.

At NRCDP there are three kinds of recording procedure for the data of the strainmeter. One is a real time data processing system, which samples and records 16-bit digital data to a disk memory every minute. The second is a long period seismic data recording system and the 12-bit digital signals of AC components are recorded to a cassette tape every second when long period seismic waves are detected. The last is a monitor using ink-dot recorders.

The long period seismic data recorded onto a cassette tape are displayed by a microcomputer and accumulated in a floppy disk.

* 第2研究部地殻力学研究室，** 第2研究部総合地震予知研究室

1. はじめに

国立防災科学技術センター（防災センター）では，坂田（1981）の考案によるボアホール式3成分ひずみ計を実用化し，設置・観測を開始している（Sakata *etal.*，1982）．この3成分ひずみ計は，テンソル量である水平方向のひずみの3成分の変化が連続的に観測できる初めての測器であり，その成果は単に地震予知に関してのみでなく，広く地球物理学および測地学において大いに期待されるところである．

さて，防災センターではすでに関東・東海地域に微小地震観測網とボアホール式傾斜計による地殻変動観測網を展開している（浜田他，1982，佐藤他，1980）．これらのデータは，筑波の防災センターにテレメタリングされ，計算機によって実時間の記録および処理が行われている（松村他，1979）．3成分ひずみ計のデータも，この計算機処理システムによって傾斜計と同様の処理がなされている．また，3成分ひずみ計は長周期地震計としてもすぐれた特性をもっているので，トリガー方式で長周期地震波をディジタル収録している．これらをまとめてブロック図にすると図1のようになる．すなわち，センサーの出力はテレメータリングされ，筑波の防災センターにおいて，①計算機処理システムによる記録および処理，②長周期地震波のトリガー式記録，③打点式記録計によるモニター記録が行われている．

3成分ひずみ計のこれらの観測および処理方式について以下に述べる．

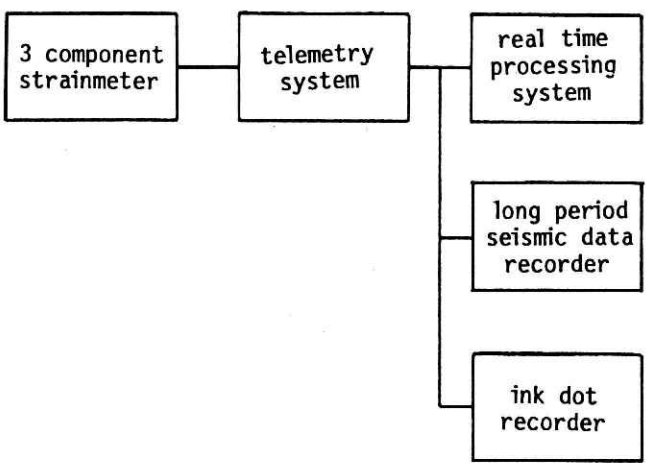


図　1　観測方式ブロック図．

Fig. 1　Constitution of the observation by the three-component borehole strainmeter.

2. センサー部およびテレメータリング

3成分ひずみ計において，ひずみ量を電圧量に変換する方式と増幅・フィルター処理によって出力を得る方式は，気象庁が関東・東海地域に観測網を展開している埋込式体積ひずみ計をもとにしている．埋込式体積ひずみ計の原理および観測方式についてはSacks *et al.*（1971），泉（1978 a，b）などに詳しい．

ボアホール内において，3成分ひずみ計のひずみ変化は，シリコンオイルの体積変化となってベローズを伸縮させ，このベローズの長さ変化を差動トランスによって電圧変化として検出している．ここで短周期の強い地震波動によるベローズの破損を避けるために，隘路(あいろ)をベローズへの入口に設けて，周期約1秒のメカニカルなローパスフィルターとして働かせている．こうして，地中センサー部は周期約1秒からDCまでフラットな周波数特性を持っている．

さらに3成分ひずみ計の出力は地上部において周波数特性の違う2種類の成分に分けて出力されている（図2）．1つは数時間以上のゆっくりとした変動現象を対象とした成分でDC成分と呼んでいる．この成分は増幅後30秒のローパスフィルター（LPF）を通してテレメータ装置に出力されている．もう1つの成分は主に長周期地震を捉えるための成分でAC成分と呼んでいる．この成分は増幅後約1.5時間のハイパスフィルター（HPF）を通してドリフト成分を消去したあと，10秒のローパスフィルターを通してテレメータ装置に出力されている．また両成分とも現地でのモニター用に10Hzのローパスフィルターを通した信号も別に出力されている．

3成分ひずみ計による観測では原理的に地中部の温度変化と体積ひずみ変化との区別がつかない．そこで地中部にひずみ計とともに高精度の温度計を設置して温度のモニターをしている．また，気圧の変化は地殻にかかる荷重の変化としてひずみ変化をもたらすため，観測

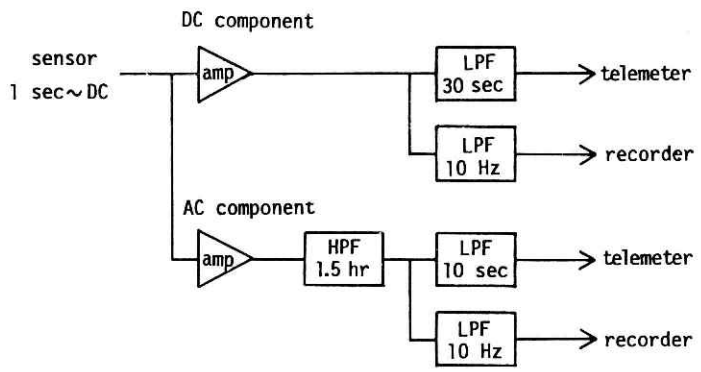


図 2　3成分ひずみ計地上増幅・フィルター部ブロック図．

Fig. 2　Schematic diagram of the amplifier and the filter of the three-component borehole strainmeter.

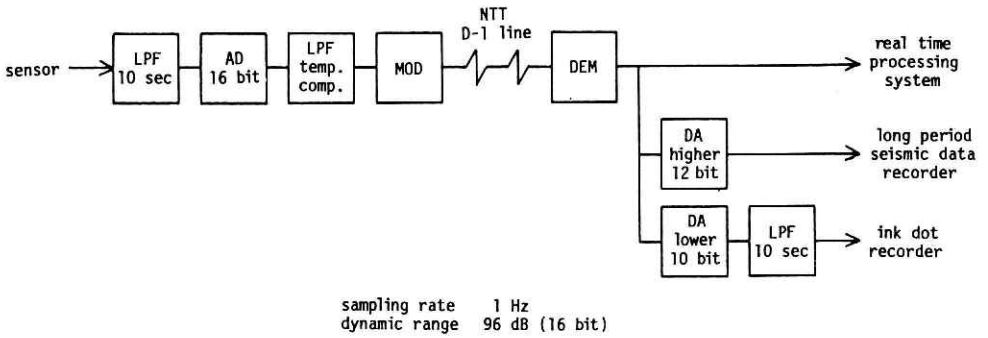


図 3　テレメータ装置ブロック図.

Fig. 3　Schematic diagram of the telemetric system.

室内に気圧計を設置し気圧の計測を行っている．さらにひずみ計の設置深度と設置地点の地層との関係で降雨の影響がひずみ変化に表われる場合があるので，観測施設内に雨量計を設置し雨量観測を行っている．温度計，気圧計および雨量計の出力もテレメータ装置に送られている．

テレメータ装置は各成分の信号に10秒のローパスフィルターを通したあと，1 Hzのサンプリングレートで16 bitのＡＤ変換を行ってディジタル信号を筑波の防災センターに伝送している（図３）．このとき，ＡＣ成分以外の成分は，ＡＤ変換時の温度ノイズによる最下位ビットのばらつきを除くため，ひとつのローパスフィルターを通して温度補償を行っている．また，筑波への伝送には電々公社（ＮＴＴ）のＤ－１専用回線を用いている．筑波においてはディジタル信号を計算機処理システムに送るほか，下位10 bitをＤＡ変換し10秒のローパスフィルターを通して打点式記録計でモニター記録をとり，さらにＡＣ成分については上位12 bitをＤＡ変換して長周期地震波記録装置に出力している．

また，３成分ひずみ計はドリフトによってＤＣ成分が測定範囲から外れる前に，バルブ開閉という操作によってセンサーのリセットを行っているが，この指令も筑波からテレメータで伝送している．

以上のようなフィルター処理の結果，筑波における信号の周波数特性は，ＤＣ成分は周期約100秒からＤＣまでフラットな特性，ＡＣ成分は周期約15秒から約1000 秒までフラットな特性になる（図４）．

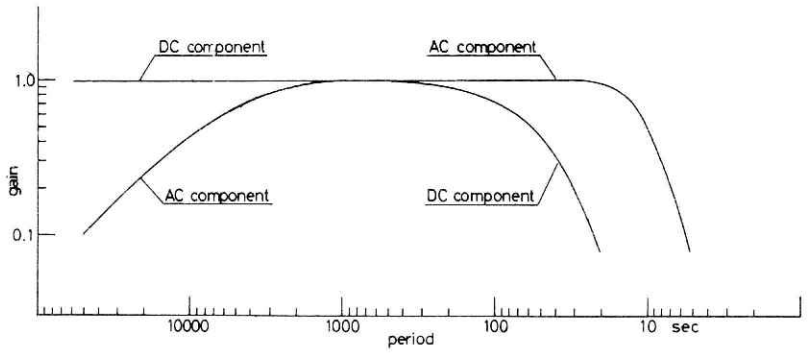


図　4　3成分ひずみ計ＤＣ成分およびＡＣ成分の周波数特性図.

Fig. 4　Frequency characteristics of the DC and AC components of the three-component borehole strainmeter.

3.　記録方式

筑波の防災センターにテレメータされたデータは，すでに述べたように計算機処理システム，長周期地震波記録装置および打点式記録計に送られて，収録されている.

計算機処理システムでは，毎秒のディジタル記録をテレメータ装置から受け取り，このうち毎正分のデータを磁気ディスクメモリーに収録している（松村他，1979）．磁気ディスクメモリーには3成分ひずみ計のほかボアホール式傾斜計や地下水に関する観測などのデータも含めて収録されている．これらの磁気ディスクメモリーの全ての観測データは1週間分の

表　1　各成分の感度.

Table 1　The sensitivity of each component.

	digital output	analogue output
strainmeter		
DC component*	1.173×10^{-8} cm²/digit	1.20×10^{-5} cm²/full scale
AC component**	1.854×10^{-9} cm²/digit***	1.90×10^{-6} cm²/full scale
thermometer	1.221×10^{-4} °C/digit	0.125 °C/full scale
barometer	9.155×10^{-3} mb/digit	37.5 mb/full scale
rain gauge	327.7 digit/step****	100 step/half scale ****

*　The gain of the amplifier is 20 dB.

**　The gain of the amplifier is 30 dB.

***　2.966×10^{-8} cm²/digit for the long period seismic wave recorder.

****　1 step is 0.5 mm precipitation.

表　2　各種記録の方式.
Table 2　Characteristics of recording systems.

	sampling	range
real-time processor	1/60 Hz	16 bit
long period seismic wave recorder	1　Hz	12 bit
ink-dot recorder	-	10 bit/full scale

データをまとめて磁気テープに書き出している（大久保他，1982）．3成分ひずみ計の観測データについては，この磁気テープから観測点ごとに抜き出して4か月または6か月分のデータを1巻の磁気テープに編集している。

モニター用打点式記録計は，テレメータされた16 bitのディジタル信号のうち下位10 bitをＤＡ変換して記録している．ただし，雨量計および気圧計の信号については上位または中位の10 bitをＤＡ変換している．

筑波の防災センターにおいて記録されている各成分の感度を表1に，またサンプリング周期と記録ビット数を表2にまとめる．

4.　長周期地震波記録装置

地殻変動連続観測に用いられる傾斜計，ひずみ計などは一般に周期数秒ないし数十秒からＤＣまでフラットな周波数特性を持っているので，長周期地震計としても有用な観測データが得られる．関東・東海地域に展開された防災センターのボアホール式傾斜計の観測網においても，計算機処理システムにおいてトリガー式で長周期地震波の収録を行うことが計画された．しかし，記録媒体として磁気ディスクメモリーしか使えず，小さなバッファ領域しか確保できなかったこと，バッファーメモリーによる遅延がなかったことなどから実用的なものとはなっていない．そこで3成分ひずみ計の観測においては，高ダイナミックレンジで比較的安価なディジタルカセットテープを記録媒体として用いたトリガー式の長周期地震波記録装置を各観測点ごとに1台ずつ設けることにした．観測点数が多くなった場合には計算機処理システムによって一括してモニターおよび収録を行う方が維持・管理の点で優れているので，次期計算機処理システムへの移行時には，計算機処理システムによって全観測点のデータを一括して収録する方式に切り換えることも検討している．

図5に現在の長周期地震波記録装置およびその処理装置のブロック図（左側）を示す．長周期地震波記録装置は8085相当のＣＰＵを搭載したＭＰＵボード（A8501 A）を用いたマイ

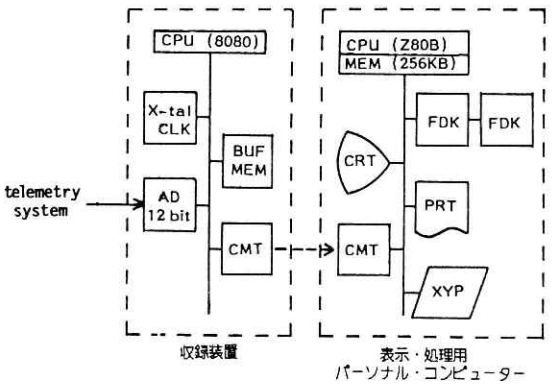


図　5　長周期地震波収録・処理システム図.

Fig. 5　Recording and processing system for the long period seismic data by the three-component borehole strainmeter.

クロコンピューター制御方式の記録装置で，テレメータ装置から入力した3成分のアナログ信号は1 Hzのサンプリングレートで12 bit でＡＤ変換され，常時64秒分のデータがバッファメモリーに蓄えられている．新しく入力したデータと過去64秒間のデータの平均値との差が2回連続して最初に設定したトリガーレベルを越えた場合トリガーがかかり，バッファメモリー中の60秒前のデータからディジタルカセットテープへの収録を開始する．また，新しく入力したデータと過去64秒間のデータの平均値との差が60回続けて収束レベル以内に収まるとディジタルカセットテープへの収録を終了する．ディジタルカセット収録部（ＣＭＴ）はティアック社製ＭＴ－２を用いている．ブロック長は256バイトで半ブロックに1成分1分間分のデータを収録し，データの前にラベル部を半ブロック付加して2ブロックで1分間分のレコードとしている．１巻のカセットテープに７時間以上のデータを収録できるのでカセットテープの終了による欠測はほとんどない．なお，この記録装置は刻時用に内部の水晶時計（Ｘ－tal ＣＬＫ）を用いているので数秒以内の時刻の誤差が避けられない．

5.　長周期地震波記録の処理

長周期地震波データは，現在はパーソナルコンピューター（沖電気製if－800 model 30）によって処理されている．これは現在の防災センターの大型計算機の周辺機器としてディジタルカセットテープが使えず，また端末としてパーソナルコンピューターを利用するのも難しいこと，この記録程度の量のデータの処理にはパーソナルコンピューターでも十分なことなどのためである．

現在用いている処理用パーソナルコンピューターのシステム図を図5右側に示す．この計算機はＣＰＵとしてＺ80Ｂを用い，メモリー（ＭＥＭ）はバンク切換えにより256ＫＢを持つ．また，ＯＳとしてＣＰ／Ｍを用いており，８ビットのパーソナルコンピューターとしては高級機に属する．周辺機器としてはディジタルカセットテープのほかＸＹプロッター（ＸＹＰ）も利用でき，またＣＲＴ上のディスプレイ画面をプリンター（ＰＲＴ）にハードコピーにとることもできる．また2台の８インチフロッピーディスクメモリー（ＦＤＫ）はそれぞれ約１ＭＢの容量を持っている．

カセットテープに収録された長周期地震波データは，再生してフロッピーディスクメモリーに移され，保存される．フロッピーディスク上では１つのトリガーイベントが１つのファイルを形成し，観測点名と年月日とそのシーケンスナンバーがファイル名になっている．１つのフロッピーディスクには40時間分以上のデータが収容できる．

フロッピーディスク上のデータファイルはＣＲＴにディスプレイして編集したり，プリンターにハードコピーをとることができる．また，プロッターに出力することもできる．図6にはハードコピーの例として，茨城県八郷町で観測された1982年12月28日の三宅島近海の地震（M_{JMA} 6.4）の記録を示す．さらにこの計算機は大体ＪＩＳの水準7000に相当する簡単なフォートラン（ＦＯＲＴＲＡＮ80）が使用できるので，地震の到来方向のひずみ量を計算するなどの簡単な処理が可能である．実際，上記の処理プログラムも入出力ルーチン以外はフォートランで書かれている．

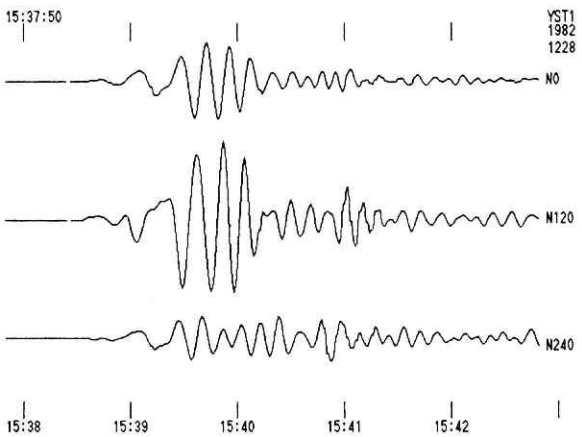


図　6　長周期地震波の収録例．茨城県八郷町に設置した３成分ひずみ計で観測された三宅島近海の地震（1982年12月28日，M_{JMA} 6.4）の記録のハードコピー．

Fig. 6　An example of the record of the long period seismic data; seismogram of the near Miyakejima earthquake (December 28, 1982; M_{JMA} 6.4) observed at Yasato station, Ibaraki Prefecture by the three-component borehole strainmeter.

6. まとめ

防災センターにおけるボアホール式3成分ひずみ計の観測および記録・処理の方法をまとめた．

1）3成分ひずみ計のセンサーから出力された信号は，ＤＣ成分，ＡＣ成分と呼ぶ2つの成分に分けて増幅，フィルター処理されて，テレメータ装置に入力されている．テレメータ装置は入力信号を毎秒16 bit でＡＤ変換して筑波の防災センターへ伝送している．防災センターで得られる信号の周波数特性は，ＤＣ成分は周期約100秒からＤＣまでフラットな特性，ＡＣ成分は周期約15秒から約1000秒までフラットな特性である．

2）防災センターでは3成分ひずみ計から得られるデータを3つの種類の方式で記録している．1つは計算機によるリアルタイム処理であり，計算機は毎正分の16 bit のディジタル信号を磁気ディスクメモリー上に収録している．もう1つはモニター用の打点式記録計による記録で，16 bit のデータのうち下位10 bit をＤＡ変換して記録している．

3）データの記録方式の最後の1つはＡＣ成分についての長周期地震波のトリガー式記録で，信号の上位12 bit についてディジタルカセットテープに1 Hz のサンプリングで収録している．この記録はパーソナルコンピュータで再生・処理され，フロッピーディスク上に収録され保存される．このパーソナルコンピュータでは，データをＣＲＴにディスプレイしてプリンターにハードコピーをとったり，プロッターに出力することができるほか，フォートランを使って簡単な処理を行うことができる．

謝　辞

当センター第2研究部地震防災研究室の笠原敬司研究員にはif－800パーソナルコンピューターの使用に関していろいろな便宜をはかっていただいた．また同研究部地殻力学研究室の岡田義光室長にはこの観測および記録・処理の方式全体についてさまざまの助言をいただいた．ここにあわせて深く感謝する．

参　考　文　献

1）浜田和郎ら（1982）：関東・東海地域地殻活動観測網 ― 国立防災科学技術センター．地震2，**35**，401－426．

2）泉末雄（1978ａ）：松代における埋込式ひずみ計の観測について（第1報）（外気温度の影響）．験震時報，**42**，11－17．

3）泉末雄（1978ｂ）：松代における埋込式ひずみ計の観測について第Ⅱ報（地震動に対する応答）．験震時報，**42**，51－54．

4）松村正三・大久保正・勝山ヨシ子・浜田和郎（1979）：計算機による地殻活動観測データ処理システム ― オンラインリアルタイムシステム ―．国立防災科学技術センター研究速報，№**35**，1－18．

5）大久保正・佐藤春夫・松村正三（1982）：グラフィックディスプレイ装置を用いた地殻傾斜変動図

の作成．国立防災科学技術センター研究報告，No.27，145－157．
6）Sacks, I.S., S.Suyehiro, D.W.Evertson and Y.Yamagishi (1971)：Sacks–Evertson Strainmeter, Its Installation in Japan and Some Preliminary Results Concerning Strain Steps. *Papers in Meteorology and Geophysics*, **22**, 195—208.
7）坂田正治（1981）：新しく考案したボアホール式3成分ひずみ計．国立防災科学技術センター研究報告，No.25，95－126．
8）Sakata, S., S.Shimada and S.Noguchi (1982)：Continuous Crustal Observation in Kanto District, a Triple Junction Area, by New Type Three-Component Borehole Strainmeters. *Proc. of the General Meeting of the IAG, Tokyo, May 7-15, 1982.* The Geodetic Society of Japan, 226—232.
9）佐藤春夫ら（1980）：孔井用傾斜計による地殻傾斜観測方式の開発．地震2，**33**，343－368．

（1983年6月8日　原稿受理）