

天ヶ瀬観測室の新データ収録システムについて

森井 亙・山田 勝

要旨

地震予知研究センター天ヶ瀬観測室では、1995年から1996年にかけて、観測機器のセンサーを旧来の光学挺子光点読み取り式から作動トランス式に交換した。更に、伸縮計の基準尺の支持方式をローラー支持からベニオフ吊りに変更した。これらの改良によって観測機器の動帯域、最小分解能および周波数応答特性が大幅に向上した。改良された観測機器の性能を十分に生かすためには、それまで使用されてきた有線テレメータによるデータ収録システムの性能では不十分となったので、新たに計算機制御方式による新データ収録システムを開発した。

キーワード： 天ヶ瀬、地殻変動、歪地震計

1. はじめに

地震予知研究センター天ヶ瀬観測室では、1995年から1996年にかけて、観測機器のセンサーを旧来の光学挺子光点読み取り式から作動トランス式に交換し、センサー部分の動帯域、最小分解能および周波数応答特性の大幅な向上を得た。センサー部分の性能向上に伴い、伸縮計の基準尺の支持方式に問題があることが明らかとなり、それまで使用してきたローラー支持方式を廃して、新たにベニオフ吊りによる支持方式に交換した。

以上の改良によって観測機器の性能が大幅に向上したため、その能力を十分に生かすには、従来から使用していた有線テレメータによる収録システムの性能では不十分となった。改良した観測機器の能力を十分に活用できるようにするため、計算機制御による新データ収録システムを開発した。

本システムの特徴は、フィードバック方式によって得られる広動帯域、GPS 時計制御による高い時刻精度及び機器障害時の自動復旧機能である。

2. データ収録システム

観測システムのブロック図を Fig. 1 に示す。システムの動作の概要は以下の通りである。(1) GPS 時計が生成する 0.2 秒毎の割り込み信号に同期して、パーソナルコン

ピュータがシステム全体を制御する。(2) 能動素子を使用した高精度の全波整流器に依って直流信号に変換された作動トランスの出力は、遮断周波数 1/7Hz、減衰特性 -12dB/octave のパワース型低域通過フィルターを通った後、14 ビットの A/D 変換器によって数値データに変換され、パーソナルコンピュータに取り込まれる。本システムでは、この段階で取り込まれた数値データを「低感度記録」とよんでいる。(3) 得られた「低感度記録」の数値データは直ちに D/A 変換され、利得 46dB の差動増幅機の反転入力端子に印加される。差動増幅機の非反転入力端子には、整流され低域通過フィルターを通過した作動トランスの出力が印加されている。差動増幅機の出力は A/D 変換器によって数値化され、パーソナルコンピュータに取り込まれる。ここで得られた数値データを、本システムでは「残余記録」と呼ぶ。(4) パーソナルコンピュータは、5 秒毎にワークステーションに対して割り込み信号を送り、最新の 5 秒間のデータを送出する。ワークステーションは受け取ったデータの前処理を行い、データファイルを作成して保存する。データファイルは一日分をまとめて、デジタル公衆回線網を使用して地震予知研究センター研究棟に送られる。

ワークステーションが行う前処理の内容は主として次の二つの処理である。第一は、「低感度記録」と「残余

記録」から「高感度記録」を合成する処理である。時刻 t に得られた低感度記録の値を L_t 、 L_t に対応する D/A 変換出力を $A(L_t)$ 、残余記録の値を R_t 、高感度記録の値を H_t とすると、三者の関係は式 (1) で表される。

$$H_t = \{A(L_t - \delta t) \times 200\} / V_d + R_t \quad (1)$$

ここで、 V_d は A/D 変換器の 1 デジット当りの電圧、 δt は A/D 変換のサンプリング間隔を表す。本システムで使用している D/A 変換器の数値入力範囲は -8193 から +8192 迄の整数値であるが、その総ての数値入力に対するアナログ出力の値は、あらかじめ 6.5 桁保証のデジタルポルトメータで実測して数値表にまとめられている。式(1)に含まれる D/A 変換出力の値 $A(L_t)$ には、この数値表の値が使用される。

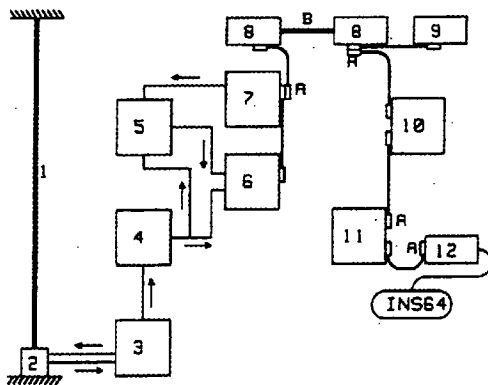


Fig. 1 A block diagram of the observation system. Numbers and alphabets denote equipments as follows: 1- super-invar rod ; 2- differential transformer ; 3- oscillator to excite the differential transformer and rectifier circuit ; 4- antialias filter with cut-off frequency of 0.14 Hz ; 5- differential amplifier with gains of 46 dB ; 6-A/D converter with a quantization of 14 bits ; 7- D/A converter with a quantization of 14 bits ; 8- bus extender with optical transceiver ; 9- GPS clock ; 10- personal computer controlling the A/D converter and the D/A converter ; 11- work station making and transmitting data files ; 12-terminal adaptor to match ISDN ; A- IEEE-488 bus ; B- optical fiber cable of two-way communication. Analog signals travel following arrows

第二は、得られた数値記録のリサンプル処理である。本システムでは、水平成分伸縮計 4 成分、鉛直成分伸縮計 1 成分、水管傾斜計 1 成分、動コイル型長周期地震計 3 成分、その他気象関係の測定項目を含めて全部で 16 成分の測定を行っている。総ての成分について 0.2 秒サンプルのデー

タを残すことが理想であるが、データ量が膨大なものとなるため各測定成分の特性や研究目的に合わせて、0.2 秒、1 秒、1 分のサンプリング間隔に編集し直したデータファイルが作成される。

以上の方式で得られた高感度記録の動帯域は 130dB、時刻精度は 10 ミリ秒以内である。前述のように、本システムは GPS 時計の生成する割り込み信号に同期して制御されているが、計算機及び周辺機器の動作遅延の合計が 10 ミリ秒程度有るために、GPS 時計の時刻精度に比べて記録の時刻精度が低下している。

3. 自動復旧機能

Fig. 1 に 5 から 12 までの番号で示した機器は、いずれも内部に CPU を持つため、雷サージ等の外来ノイズによってハングアップする可能性がある。通常、観測室は無人であるため、データの欠測を防ぐためには機器の障害を自動的に検知して復旧する機能が必須である。本システムでは、以下の手順によって周辺機器の自動復旧機能を実現している。

パーソナルコンピュータ (Fig. 1, 10 番) を含む全てのデジタル機器は GP-IB インタフェースで制御されているので、インタフェースのタイムアウト機能を使用してハングアップを検知できる。ワークステーション (Fig. 1, 11 番) は機器のハングアップを検知すると、最初に IFC を送出して当該機器の復旧を図る。IFC の送出で復旧しない場合には、当該機器のソフトウェアリセットスイッチをオンにする。この措置でも復旧しない場合には、当該機器の電源の入れ直しを行う。ソフトウェアリセットスイッチと電源の断続には接点リレーとラチェットリレーを夫々使用している。

次に、ワークステーション本体のハングアップに対しては、以下のような機能を持つ復旧装置とデーモンプログラムの組み合わせで対処している。

復旧装置には水晶発振器とデジタルカウンタを組み合わせたタイマーが内蔵されている。復旧装置は一定の時間が経過するとワークステーションに対してリポート命令を送出する。リポート命令送出後更に一定の時間が経過すると電源の入れ直しを行う。一方ワークステーション上には、定期的に復旧装置のタイマーをリセットする信号を送出するデーモンを走らせておく。従って、ワークステーションが正常に動作している限り復旧装置は作動せず、収録システムは連続動作を行うことになる。しかし、何らかの理由でワークステーションがハングアップした場合には、復旧装置によってリポートがかけられる事になる。復旧装置からのリポート命令でワークステーションが復旧すれば、その段階で復旧装置のタイマーをリセットする信号が生成されるので、電源の入れ直しは行われぬ。リポート

Table 1 A list of equipments being in operation at the Amagase observatory

| Equipment | Component | Resolution(low gain) | Resolution(high gain) |
|-----------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|
| Extensometer | N72.5W | 1.55×10^{-9} | 7.75×10^{-12} |
| Extensometer | Vertical | 9.80×10^{-10} | 4.90×10^{-12} |
| Extensometer | N62.5E | 1.03×10^{-9} | 5.15×10^{-12} |
| Extensometer | N27.5W | 1.03×10^{-9} | 5.15×10^{-12} |
| Extensometer | N62.5E (dip 55S) | 7.01×10^{-10} | 3.50×10^{-12} |
| Extensometer | N27.5W (dip 55S) | 7.01×10^{-10} | 3.50×10^{-12} |
| Extensometer | N27.5W | 7.01×10^{-10} | 3.50×10^{-12} |
| Seismograph | Vertical | 20 μ Kine (T=30sec.) | 0.1 μ Kine (T=30sec.) |
| Seismograph | N-S | 20 μ Kine (T=30sec.) | 0.1 μ Kine (T=30sec.) |
| Seismograph | E-W | 20 μ Kine (T=30sec.) | 0.1 μ Kine (T=30sec.) |
| Water tube tilt meter | N72.5W | 6.5×10^{-10} | |
| Thermometer | Air temperature | 0.001 degree | |
| Barometer | Atmospheric pressure | 6.5 Pa | |
| Hydrograph | Subsoil water level | 1 cm | |
| Pluviometer | Rainfall | 0.5 mm/min. | |
| Calibration signal | Circuit stability | 625 μ V | 3.13 μ V |

命令も受け付けられない場合には、復旧装置によってワークステーションの電源の入れ直しが行われる。最後の操作はかなり乱暴な措置であるが、仮に保守要員が復旧に当たったとしても、リブート命令を受け付けない状態では電源の入れ直し以外に復旧の手段が無いので、このような措置を講じている。

4. 記録例

上述のように、センサー、支持方式及び収録システムの全面的な改良によって、天ヶ瀬観測室の観測システムは、感度、時刻精度、周波数応答特性、時間分解能及び動帯域が大幅に向上した。伸縮計は通常の地殻変動観測のための計器としては勿論、歪地震計としても十分な性能を備えている。

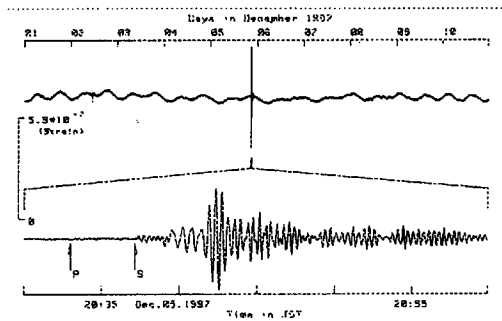


Fig.2 An example of strain seismogram containing an earthquake record. Upper one shows the continuous record from December 1 to December 10 1997. Lower one shows the expanded view of the earthquake record.

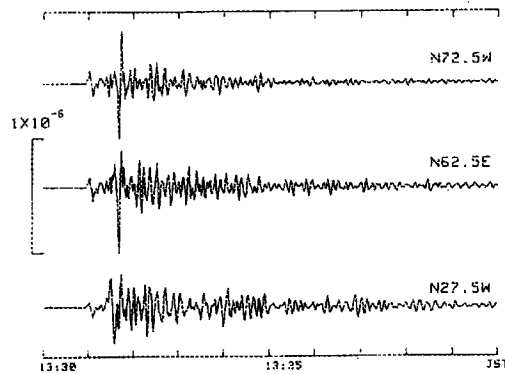


Fig.3 Strain seismogram recorded at the Amagase observatory from the 2000 Tottori-ken seibu earthquake.

Fig. 2は1997年12月にカムチャッカ半島付近で発生した地震の歪記録である。初動の立ち上がりから表面波まで、明瞭に記録されている。Fig. 3は2000年10月に発生した鳥取県西部地震の歪記録である。最大歪は10のマイナス6乗の桁に達しているが、クリップすることなく記

録されている。一方、同じ地震による歪ステップの値は最大で10のマイナス9乗の桁であったが、Fig. 4に示すように明瞭に記録されている。

5. まとめ

天ヶ瀬観測室の観測システムは、センサー、支持方式及び収録システムの全面的な改良により、感度、時刻制度、時間分解能、応答特性及び動帯域が大幅に向上した。伸縮計は通常の地殻変動観測の為の計測器としてだけではなく、歪地震計としても十分な性能を有している。また、システム障害に対する自動復旧機能も良好で、1997年以來大きな欠測も無く、連続記録が得られている。

謝 辞

観測計器の改良に当たって貴重な助言を下された重富國宏氏と尾上謙介氏にお礼申し上げます。

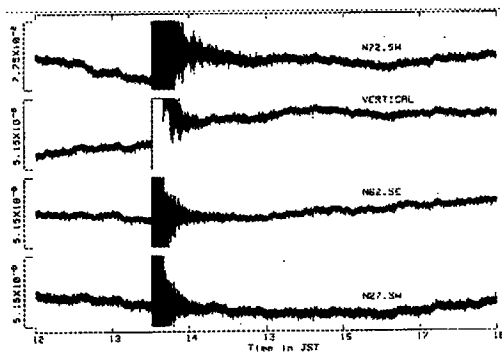


Fig.4 Strain step recorded at the Amagase observatory from the 2000 Tottori-ken seibu earthquake.

On the New Data Acquisition System in operation at the Amagase Observatory

Wataru Morii and Masaru Yamada

Synopsis

In interval from 1995 to 1996, extensometers and the water tube tilt meter being in operation at the Amagase observatory were reformed. Differential transformers were substituted for old transducers using an optical lever. For extensometers, the supporting structure of Benioff type was substituted for the old one using bearing pipes. With these reforming, dynamic range, resolution and frequency response characteristics of measuring instruments were improved successfully. Performance of the old data acquisition system was not enough to make use of high performance of measuring instruments. In order to use effectively measuring instruments reformed, a new data acquisition system was constructed.

Keywords: Amagase, crustal movement, strain seismograph