

TECHNICAL REPORTS OF THE METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE No. 7

STRONG-MOTION SEISMOGRAPH MODEL 83  
FOR THE JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY NETWORK

By

SEISMOLOGY AND VOLCANOLOGY  
RESEARCH DIVISION, MRI

気象研究所技術報告

第7号

83型強震計の開発

気象研究所地震火山研究部

気象研究所

METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE, JAPAN

FEBRUARY 1983

## Meteorological Research Institute

Established in 1946

Director : Dr. S. Matsumoto

Forecast Research Division	Head: Dr. A. Katayama
Typhoon Research Division	Head: Dr. M. Aihara
Physical Meteorology Research Division	Head: Dr. T. Okabayashi
Applied Meteorology Research Division	Head: Mr. N. Murayama
Meteorological Satellite Research Division	Head: Dr. K. Naito
Seismology and Volcanology Research Division	Head: Dr. H. Watanabe
Oceanographical Research Division	Head: Mr. T. Tada
Upper Atmosphere Physics Research Division	Head: Dr. M. Kano
Geochemical Research Division	Head: Dr. M. Ōwada

1-1, Nagamine, Yatabe-Machi, Tsukuba-Gun, Ibaraki-Ken 305, Japan

### Technical Reports of the Meteorological Research Institute

*Editor-in-chief* : Dr. T. Okabayashi

*Editors* : Ms. T. Akiyama      Mr. J. Shiino      Dr. Y. Sasyo  
            Dr. S. Arakawa      Mr. I. Akita      Dr. M. Seino  
            Dr. M. Endoh      Dr. M. Hirota      Dr. Y. Sugimura

*Managing Editors* : K. Nishida, H. Nishimura

#### Technical Reports of the Meteorological Research Institute

has been issued at irregular intervals by the Meteorological Research Institute since 1978 as a medium for the publication of survey articles, technical reports, data reports and review articles on meteorology, oceanography, seismology and related geosciences, contributed by the members of the MRI.

## 序

昭和53年（1978）7月、測地学審議会長から内閣総理大臣および関係各大臣に「地震予知の推進に関する第4次計画の実施について」の建議がなされた。この中で大・中・小地震観測を担当している気象庁に対して『既存の観測網の大地震に対する観測能力の維持向上を図り、特に、地震現象解明のために大地震の完全記録を目的とする強震計を開発整備する』ということが示された。このことは、気象庁の既存の強震計は震度4から5以上になると振り切れとなり、震源近傍の大地震の完全記録がほとんど得られなかったことを指摘されたものである。

一方、気象庁の津波予報において、同じ規模の地震が発生しても、これに伴う津波は必ずしも同じ規模にならないということを経験した。これは地震の発生メカニズムによるものと考えられ、津波予報の精度向上のためにも、このことの導入が議論された。このことに関連して最近、震源過程に関する研究がめざましく、このためにも周波数帯域および振幅範囲の広い強震計が強く要望された。また、地震工学の立場からも高性能の強震計の開発の必要性が強調され、昭和55年（1980）5月の第79回日本学術会議の総会において、高性能強震計による高密度の強震観測を推進すべきであるということが、政府に勧告された。

気象研究所地震火山研究部では、昭和52年（1977）度から経常研究で研究を開始していたが、これを受けて、昭和54年（1979）からは特別研究「地震予知に関する実験的並びに理論的研究」の中の常時地震監視システムに関する開発研究の一環として、実施してきた。

この特別研究の遂行に当り、地震火山研究部では田望研究部長が主任研究者となり、また、昭和57年（1982）度には渡辺偉夫研究部長が引き継いで開発研究を進めた。本研究は常時観測のためのいくつかのきびしい条件に耐え得ることに注意が払われたが、関係者の並々ならぬ努力により、昭和57年度で完成を迎えることとなった。開発研究の結果は今日の地震予知、津波予報、震度問題を含む地震工学等の観測研究の要請に答えられる高性能強震計であると考えている。今後気象庁が予定している強震計の全国展開並びに近代地震学や地震工学における研究観測に広く利用されることを心から期待するものである。

本報告を発刊するに当り、この開発研究に側面から協力された関係者に深甚なる謝意を表すると共に、この報告が関係方面の方々に多大の寄与をするものと期待している。大方の御批判をいただければ幸いである。

昭和58年2月

気象研究所 地震火山研究部長

渡 辺 偉 夫

# 83 型 強 震 計 の 開 発

## 目 次

序	
概要（和文） .....	1
アブストラクト（英文） .....	3
第1章 まえがき .....	7
1. 開発の背景と意義 .....	7
2. 開発研究の経過 .....	11
第2章 機器の開発・製作 .....	17
1. 方式設計 .....	17
2. 変換・等化増幅器 .....	25
3. 記録器 .....	46
4. 処理・解析装置 .....	51
5. 電 源 .....	54
6. デジタル記録の処理プログラム .....	56
第3章 実用化試験 .....	105
1. 耐震性の試験 .....	105
2. 低温特性試験 .....	117
第4章 あとがき .....	123
1. 強震計発達の歴史 .....	123
2. 開発研究遂行の体制 .....	129
3. 謝 辞 .....	129

# 83 型 強 震 計 の 開 発

気象研究所地震火山研究部

## 概 要

1966年6月27日に San Andreas 断層でマグニチュード 5.6 の Parkfield 地震が発生した。この断層を横ぎって強震観測アレイが設置されていたが、その中で断層の地表における痕跡から80mの所の観測点は重力加速度の50%にも及ぶ大きな加速度を記録した。それを数値的に積分してもとめた変位波形はかなり単純で、かつ印象的であり、その後の震源過程論の発展をもたらす大きな契機となった。すなわち、安芸と Haskell とはそれぞれ独立に、この変位波形を説明すべく、地下に発生した転位が伝播してゆき断層が形成される、というモデルをたてた。このモデルにもとづいて計算した波形と、観測された波形を積分して得られた変位波形との間にはよい一致が認められ、以後、このモデルは震源過程をよく説明するものであるとしてうけ入れられている。それ以来、多くの地震学者の研究により震源過程論が発展していった。震源近くで得られた記象は伝播径路の影響をほとんどうけていないので、このような研究に有効である。これが、地震学における強震観測の意義といえる。

現在、気象庁には全国に114ヶ所の強震観測点があり、1950年代当初の設計による純機械式の強震計が稼動している。これらの強震計は、主として日本近海のみならず、環太平洋にわたる津波予報業務に利用される。強震計は固有周期6秒、減衰定数0.5、倍率1倍、最大振幅3cm、紙送りの速さは3cm/minである。この強震計は津波予報業務の他にも上で述べたような震源過程の研究にも使われてきた。しかし、最近の震源過程論の進歩はこの事情を変えつつある。すなわち、より完全な震源過程を把握するためにより長周期でかつ大振幅の波形に関する正確な情報が必要とされるようになってきた。しかしながら、この強震計は震度4から5以上になるとふりきれてしまうことが多い。このため、測地学審議会は第4次地震予知計画(1979~83年度)として、大・中・小地震観測を担当する気象庁に対して、地震現象解明のために大地震の完全記録の取得を目的とする強震計を開発整備することを建議した。

この報告で述べる83型強震計はこのような要請に応えるべく設計されている。津波の発生は地震波の長周期成分の振幅の大小と明瞭な関係があるので、この強震計による長周期波動の情報は津波予報業務に有効である。さらにこの強震計は、地震工学からの最近の要請にも十分対応できるであろう。

この強震計の試作にあたって変換器は3種類について、それぞれ性能の総合評価を行い、現存するものの中で最もよいと考えられるサーボ型の加速度変換器を見出した。この変換器は0.2mGal~2kGalの広い振幅範囲とDCから数百Hzという広い帯域をカバーしていて、安定度も高い。

強震地動はおおむね速度スペクトルが平坦であり、また最大速度は $100\text{cm}^0\text{-P/s}$ を超えないと言われているので、この強震計では加速度計からの出力を $0.02\text{ Hz}$ 以上の帯域で積分し、長周期の速度比例出力をとりだしている。そして $60\text{ Hz}$ で標本化し、12ビットで線形に数値化する。 $100\text{cm}^0\text{-P/s}$ を最大地動変位に設定してあるから、量子化間隔は $0.049\text{cm/s}$ となっている。このデータをマイクロプロセッサで10秒遅延してJ I S規格のカセット式デジタル磁気テープ(CMT)に記録する。波形データの処理には市販の、いわゆる、パーソナル・コンピュータが利用できるが、汎用の小型計算機でも何ら特別なインターフェイスなしに、直接処理できる。積分、フィルタ、スペクトル解析などの基本的なプログラムも、いくつか作成した。トリガー機能により、収録が開始された後、E O T (End-of-tape mark)を検出するまでデータがテープに書かれ、CMT片面で8分間のデータを収録できる。次のトリガーにより、2台目の磁気テープ装置が記録を開始する。この強震計の設計の条件は、観測点には四六時中、人がつめているということなので、3番目のトリガーの前に最初のCMTは交換してもらえると期待できる。緊急を要する津波予報業務のために、ペン書きのアナログ記録器も用意されている。これにはペンがスケール・アウトしても $1\text{ m}$ までの、水平動の合成最大振幅がデジタル表示できる機能も併せ備えている。

この強震計を構成するすべての装置の耐震性および耐環境温度性能が念入りに調べられた。最も懸念されたCMT装置も、耐震性では $2\text{ kGal}$ 、低温特性では $-15^{\circ}\text{C}$ という条件下でも正常な動作が保証できることが確かめられている。このことは埃以外はかなり過酷な環境にも耐えうることを意味し、使用条件に制限が少ないという点で高く評価できる。ペン書き記録器も、その他の装置も同様の厳しい環境下で正常に働くことが確かめられている。

1981年4月からは筑波において試験観測を開始し、翌年7月からは仙台管区气象台に移して、続けている。この試験観測中に数個の記録が得られたが、なかでも1981年9月24日と25日のいずれも早朝、首都圏をゆるがして話題となった2個の地震の記録をとることに成功した。

筆者らはこの強震計を、開発研究の終了した1983年にちなんで83型と命名した。83型強震計は将来、全国の气象台、測候所に設置される計画であり、震源過程論、津波予報業務および地震工学において貢献できることが期待される。

Strong-Motion Seismograph Model 83  
for the Japan Meteorological Agency Network

by

Seismology and Volcanology Research Division, M. R. I.

Abstract

An earthquake of Richter magnitude scale 5.6, subsequently called the Parkfield Earthquake, occurred along the San Andreas fault on June 27, 1966 near Cholame, California, U. S. A. The accelerographs of the strong-motion instrument array across the fault were activated by the direct shock. Among them, the horizontal component perpendicular to the strike of the fault reached 50 percent of gravity at the station only 80 meters apart from the surface trace of the fault. The accelerogram was integrated numerically. The displacement wave form is most impressive, because it shows a single pulse of 20 cm in amplitude and a duration of 2 seconds. This wave form afforded a capital opportunity for studying the focal process as described in the following.

Aki and Haskell proposed independently a moving dislocation model to interpret this impulsive displacement wave form; that is, a right lateral dislocation started from one end of the fault zone (vertical fault, 3 km deep and 37 km wide) to the other end, and was propagated horizontally with a speed of 2.2km/s; the final dislocation reached 60 – 90cm, and the rise time was 0.3 second. Excellent agreement was obtained between their synthetic seismograms based on the model and the integrated displacement wave form, which means that the proposed model is acceptable as an approximation of the first order. Since then, the study of the focal process has been developed by many seismologists. Near-field seismograms are hardly distorted by the effect of unknown underground paths, and are thus effective in the study of the focal process as described above. Here lies the significance of strong-motion observation in seismology.

The Japan Meteorological Agency (JMA) has 114 strong-motion observation stations all over the Japan Islands. The current seismograph is a purely mechanical one designed in the early 1950's. The main use of the seismograph is for the circum-Pacific tsunami warning service for which the JMA is responsible. Its natural period and damping ratio are 6 seconds and 0.5 of critical, respectively, and the magnification is 1 (amplitude range 3 cm) with chart speed 3 cm/min. Although this strong-motion seismograph has also been utilized in the above-mentioned focal process study as well as the tsunami warning service,

the development of the study has changed the situation. That is, information on longer-period wave forms as well as larger amplitude ranges has been required in order to obtain the perfect model of a fault.

A really strong-motion record near the fault zone has scarcely been obtained by the current strong-motion seismograph, because it cannot stand against the JMA's seismic intensity scale 4, 5 or larger. The Geodesic Council of the Ministry of Education memorialized the Government that the JMA, which is responsible for observation of large-, middle- and small-scale earthquakes, should develop and deploy high-performance strong-motion seismographs in order to record perfectly the strong seismic motion, as the fourth Five-Year Plan of the National Program of Earthquake Prediction Research in Japan (1979-83).

The strong-motion seismograph Model 83 described in this paper is newly designed to meet this requirement. The seismograph must also meet the requirement both of the tsunami warning service and of the earthquake engineering as discussed in the International Workshop on Strong-Motion Instrument Arrays on May 1978 at Hawaii. The generation of tsunami is closely correlated to the long-period seismic wave. Longer-period information through this new seismograph will be very useful for the service.

Three different kinds of transducers were manufactured and tested as to their performance. Of the three, the servo-type accelerometer was found to be the most effective. It covers a large dynamic range from 0.2mGal to 2kGal and a wide frequency band from DC to more than 100 Hz. It has been said that the velocity spectra for strong seismic motion are approximately flat and that the maximum velocity is less than 100 cm<sup>0</sup>-P/s. The output from the accelerograph is integrated in the frequency band higher than 0.02Hz to obtain a long-period velocity-proportional signal. The signal is digitized by a sampling frequency 60 Hz and a dynamic range 12 bit. As the maximum amplitude has been set to 100 cm<sup>0</sup>-P/s, one digit of the digital wave form data results in 0.049 cm<sup>P</sup>-P/s. After a delay of ten seconds, the data are written on digital cassette magnetic tape (CMT) of the Japanese Industrial Standard (JIS). To process the wave form data, a commercial micro-computer system has been prepared, but the general-purpose mini-computer system is also available without any particular interface. Some fundamental programs to process the data have been coded, which include integration, time domain filtering, spectral analysis and so on. Once the magnetic tape is started by a trigger, the wave form data for 8 minutes are written until the end-of-tape mark is detected. The next trigger will be accepted by the other CMT unit. As the condition of design of this seismograph is that



the staff is staying at any observation station at all times to do the tsunami warning service, it could be expected that the CMT is exchanged before the third trigger. For the purpose of quick tsunami warning service, an analog recorder of the pen-oscillograph is also prepared. The maximum composed horizontal amplitude is displayed digitally up to one meter even if the amplitude grows off scale.

All the sub-systems of the seismograph were examined as to their quakeproof and temperature-proof quality. Fears were entertained to the CMT unit. However, examination has shown that even the unit can operate at circumstances up to 2kGalP-P and down to  $-15^{\circ}\text{C}$ . The other sub-systems including the pen-oscillograph are also proved to operate at severe circumstances.

The experimental observation was performed at Tsukuba, 50 km north of Tokyo, from April 1981 to June 1982, and at Sendai, northern Honshu, from July 1982. Several strong seismic motions were observed. They include the two earthquakes on September 24 and 25, 1981, in which the JMA intensity scale 4s were observed.

The seismograph has been named Model 83, and it is scheduled to be installed at JMA seismic stations in future. Then, it will contribute to the focal process study, tsunami warning service and earthquake engineering.

This study has been performed by the following staff members of the Seismology and Volcanology Research Division of the Meteorological Research Institute : Nozomu Den, Hideo Watanabe, Tatsuto Iinuma, Hideteru Matumoto, and Michio Takahashi.