

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. Owada

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つ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」中の當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たり、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。本研究は當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たり、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 健 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. ディ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、この変形波形を説明すべく、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受け入れられている。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受けないので、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 3 cm、紙送りの速さは 3 cm/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 0.2 mGal ~ 2 kGal 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 $100\text{cm}^{0-\text{P}}/\text{s}$ 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 Hz以上の帯域で積分し、長周期の速度比倒出力をとりだしている。そして60 Hzで標本化し、12ビットで線形に数値化する。 $100\text{cm}^{0-\text{P}}/\text{s}$ を最大地動変位に設定してあるから、量子化間隔は $0.049\text{cm}/\text{s}$ となっている。このデータをマイクロプロセッサーで10秒遅延してJIS規格のカセット式ディジタル磁気テープ(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、EOT(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1mまでの、水平動の合成最大振幅がディ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 kGal、低温特性では -15°C という条件下でも正常な動作が保証できることが認められている。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認められている。

1981年4月からは筑波において試験観測を開始し、翌年7月からは仙台管区気象台に移して、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日のいずれも早晨、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も成功した。

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、全国の気象台、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 $100 \text{ cm}^0\text{-p/s}$. 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 $100 \text{ cm}^0\text{-p/s}$, one digit of the digital wave form data results in $0.049 \text{ cm}^0\text{-p/s}$. 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°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.

第1章　ま　え　が　き*

1. 開発の背景と意義

1.1　震源過程論からの要請

1966年6月27日20時36分(現地時間), 米国カリフォルニアのSan Andreas断層が, 高まりくる応力に耐えきれなくなって動き, マグニチュード5.6の地震(Parkfield地震)が発生した。U.S. Coast and Geodetic SurveyとCalifornia Department of Water Resourcesによる強震観測アレイの内, Station 2は, その1年ほど前から稼動を始めていたが, 地表にあらわれた断層の痕跡からわずか80mの所に位置していて断層の走向に直交する水平成分は, 重力加速度の50%にもおよぶ大加速度を記録した。また断層から5.5km離れた観測点でも重力加速度の40%を上まわる加速度が観測された(Cloud and Perez, 1967)。Housner and Trifunac(1967)はこれらの加速度記録を数値積分して速度波形および変位波形を得た。その結果, Station 2における最大速度は70cm/s, 最大変位は20cmを上まわる値が得られている。特に, 変位波形は印象的で, 幅2秒ほどのパルス状を呈している。これらの“波形”は, 並行して発展してきた“地震の断層モデル”とあいまって, 震源過程論に大きな進歩をもたらすさきがけとなった。

すなわち, Aki(1968)はMaruyama(1963)により定式化された弾性転位の考え方にもとづき, またHaskell(1969)もこれとは独立にDeHoop(1958)により確立された数学的基礎に立ち, Station 2で観測された波形は次のような震源過程を仮定すると, うまく説明できると述べた。すなわち, その震源過程というのは水平の幅37km, 深さ3kmの鉛直断層の一端から, 右横ずれのくいちがい(dislocation)がライズタイム0.3秒で生じ始め, それが2.2km/sの速さで他端にむけて水平方向に進行し, 断層の両側のくいちがい量は最終的に60~90cmに達したというものである。二人のモデルにもとづく理論波形はいずれも観測波形と満足すべき一致を見ている。従ってこれらの仮定は震源過程の第一近似として妥当なものと見なされた。

このように, ある地震について, 断層の長さ, 幅, 走向, 傾斜角, くいちがいの大きさと方向, ライズタイム, くいちがいの出発点, くいちがいの進行速度等を仮定して理論地震記象をもとめ, それと, 実際に観測された記象とを比較して震源過程の第一近似をもとめるという研究は, その後も, 近地の強震記象のみならず遠地の長周期記象をも用いて行われてきた。それらの研究は川崎(1976)やLay et al.(1982)によってリストされているが, 例えは, 1923年の関東地震についてKanamori(1971)やMatsu'ura et al.(1980), 1931年西埼玉地震についてAbe(1974), 1943年鳥取地震についてKanamori(1972), 1971年San Fernando地震についてHeaton and Helberger(1979), 1978年伊豆大島近海の地震についてShimazaki and Somerville(1979)等があげられる。勿論, これらの研究の進捗は, Sato(1972, 1973a, b, 1975), 川崎ら(1972a, b)

* 執筆担当 高橋道夫

による理論地震記象の計算方法の進歩に支えられている。

ある程度大きな地震による近地の地震動の波形を記録するということは、地震の本質の解明を目的とする震源過程論において、上に述べたように大きな意義が認められる。われわれが本稿で述べる強震計の性能は、そのような目的に合致するものでなければならない。今までの気象庁による強震計は、はたして、この目的に十分合致していたであろうか。

中央気象台は1927年から強震観測網の整備を開始し、更に津波予報業務に利用するため1951年からこの観測網を一層充実させ始めた（50～52型強震計）。観測点は1959年には106ヶ所に達し（飯沼、1973），現在、114ヶ所にのぼっている（第4章1節参照）。この強震計は機械式で、振子の相対的な動きをペンに伝え、記録紙上に可視記録を得るもので、倍率1倍の変位比例記録が得られる。振子の固有周期が5～6秒（水平動成分は6秒、上下動成分は5秒）なので、主としてそれ以下の周期帯域をカバーしている。この強震計は $3\text{ cm}^{0-\text{P}}$ を越える振幅で飽和してしまうだけでなく、気象庁震度5の地震動にさらされると復旧不可能な障害が発生することもある。そこまで致らないまでも $30\text{ mm}/\text{min}$ という紙送り速度では高周波地震動の“波形”に関する情報は、はじめから望むべくもない。このような点を指摘されながらもこの強震記象はそれなりに活用されてきた。ところが最近の地震学の進歩はこの事情を変えつつある（渡辺、1981）。例えば、カバーすべき周期帯域について考えると、 $10^1\sim 10^2\text{ km}$ の代表的な長さをもつ断層が、数 km/s の速さで伝播するくらいがいによって生成される場合を考えてみる。現象が始まってから終了するまで10ないし数10秒の時間を要するが、その時間を一周期とする地動までをもカバーする特性の記録なくしては、その断層の全体像を把握することは不可能である。その他、カバーすべき周期帯域の下限、振幅範囲の適切な上限等については第2章1節で詳しく論じる。

測地学審議会も、第4次地震予知5ヶ年計画（1979～83）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を目的とする強震計を開発整備することを建議した。

1.2 津波予測技術からの要請

気象庁は津波の波高を予報するという重大な責任を負っている。その業務の基礎となる津波波高の予測技術からの要請も、次のように見られる。すなわち、1975年6月10日22時47分頃、北海道東方沖に発生した地震は、強震計の記録から、あるいは震度分布から推定される規模は余り大きいものではないにもかかわらず、花咲において93cmにも及ぶ津波を記録した。これと対照的に、その地震の最大余震である14日03時08分頃の地震は、本震よりも、強震計の記録も、また震度も大きいにもかかわらず、津波は全く記録されていない。長宗、中礼（1976）はこの違いを調べるために、札幌および松代のそれぞれ短、長周期地震計の記録をスペクトル解析した。その周期別の相対振幅をみると、10秒を境として短周期側では余震の方のレベルが高く、長周期側ではこの関係は逆転してい

て、20秒で2.5倍、100～200秒で数倍～10倍の差が認められる。この例のように、津波の大きさは周期20秒以上の長周期の波の振幅と密接に関係していると考えられる。この意味において、50秒まで帶域ののびた地震計は津波の大きさの予測において、非常に有効である。

津波予報の精度の向上ということが唱えられて久しい。そのためには、震源の位置をすみやかに、かつ正確に決定して、その地震が海域の浅い所に発生したかどうかを判定できるようなシステムが不可欠であることは論をまたないが、この点についての検討はこの報告書のテーマの範囲を逸脱するのでふれない。ここでは測器の面から、気象庁における現在の津波波高の予測技術を検討してみる。津波の波高は上で述べたように、長周期の地震波の振幅と密接な関連がある。しかし、長周期波形を提供できる地震計は豊富ではなく、予測技術に直接的に結びつく具体的な研究の進捗ははかばかしくないのが現状である。現用の強震計が設計された1950年頃の技術レベルでは温度変化に起因する振子のドリフトを防ぐための特別の工夫も考案されていなかった。このため、振子の固有周期を長くすればするほど保守に手間どるため6秒という固有周期が業務用の地震計としての限界の性能であったと考えられる。また減衰にしても、慣性モーメントの大きい振子に大きな減衰を与えることは容易ではなく、減衰定数0.5に甘んじていたものであろう。ところが、この報告書で述べる新しい強震計によると、長周期の波形を記録することが可能になる。その時、どんな特性の記録が波高予測のためにふさわしいであろうか。

現在の津波波高の予測技術は固有周期6秒、減衰定数0.5の特性の記録にもとづいて次の手順で行われる。(1)震央距離と最大記録振幅との関係をプロットして津波の有無、波高を一定の方法で推定する。(2)プロットが、津波があるかないか、大きいか小さいか、の臨界におちた場合には、あるいはそうでなくとも、現場の技術者は強震計の記録波形を観察する。強震計の特性から、例えば周期20秒の波は1/10以下の振幅になってしまっている。従って、記象紙を斜めにもって調べても、長周期の波は短周期の波にじゃまされてうまく見えないことも多いであろう。それでも、記録に始終接してきた“経験”にもとづき最終的に津波の波高を予測しなければならない。この“経験”的内容を理論および観測の両面から解析し定式化することが津波予測技術の発展をもたらす。このように考えると、その技術の発展のための最も正統な進み方は、当面は現用強震計と全く等しい特性的記録で業務を遂行しながら一方では強震動に関する可能な限りの沢山の情報をもりこんだ記録を蓄積し、後者の記録を解析することにより調査・研究を進めていく方法である。しかし、この正統な方法では記録の蓄積に多くの時間がかかり、津波予報精度の向上という緊急性のある課題の解決にはふさわしくない。

正統ではないが応急的な進み方として次のような方法が考えられる。それは、先に述べた予測技術の手順(1)における震央距離—最大振幅のプロット結果に重大な影響を及ぼさない範囲で長周期側の感度を上げるという方法である。これは手順(2)における波形の観察において現場の技術者の“経験”に依存している部分の作業を大いに助けるものとなろう。冒頭に述べた1975年6月10日と14日

の極端に性質の異なる2つの地震の場合でも20秒以上の周期の成分の振幅が読みとれるならば、両者のちがいは記録上に明瞭に現れると期待できる。具体的に言うと、6秒以上の帯域における感度を現用のものより2~3倍上げるとか、あるいは6秒以上の帯域を加速度比例でなく速度比例とするとかが考えられる。後者の場合、長周期側の感度は20秒において約3倍、50秒では約8倍上ることになる。短周期の成分はしゃ断するのもひとつ的方法であろう。どんな方法が最適かは更に詳しく検討されなければならない。必要な特性の実現方法については第2章2.3節で述べるが、これについては電子回路を適切に応用すれば難しい問題はない。

1.3 地震工学からの要請

強震計に対する地震工学からの要請も、年々切実さを増している。強震計委員会により開発された加速度型強震計（SMA C型）は1953年から、建築物、橋梁、ダム、港湾施設などの各種構造物に設置されだし始め、そして1964年新潟地震を契機としてその整備が急である。1980年末には台数1259を数えるに至った。これらは地盤上に設置されているものも少なくないが、主に前述の構造物に設置されていて、その地震応答の観測を通じて耐震設計に必要な基礎データを取得するという工学的な性格の強いものである。ところが最近の構造物の長大化にともない、この強震計の性能に不十分な点が目立ちはじめた。刻時精度の悪いこと、初動部分の記録が得られないこと、等があるが、なかでも最も本質的な問題は、この強震計のカバーする周波数帯域および振幅範囲（Dynamic range）が狭いという点である。これはなにも我が国だけの問題ではなく、1977年1月にインドのニューデリーで開かれた国際地震工学会（IAE E）主催の第6回世界地震工学会議においても、高性能の強震計による高密度の強震観測を推進することが必要であるとの認識が得られた。そして翌1978年5月、国際地震工学会の主催、国際連合教育科学文化機関(UNESCO)、国際地震学地殻内部物理学協会(IASPEI)等の後援のもとに国際会議 International Workshop on Strong-Motion Earthquake Instrument Arrays がハワイで開かれた(Iwan, 1978)。この会議の内容は三雲(1978)の報告にも詳しく書かれている。この中で、望ましい強震計の特性として、加速度比例で帯域は0.1~30Hz、振幅範囲は2mGal~2g、刻時精度0.01秒と述べられている。この討論をうけて日本学術会議は第79回総会の議決にもとづき、高性能の強震計による高密度強震観測を推進すべきであると、政府に勧告している(1980年5月)。なお、この地震工学的な強震観測は、これを密に配置することにより、i)地震の発生機構および地震波の伝播機構解明、並びにii)地震動に及ぼす局地的な地形・地盤条件の影響解明、を目的としている。

われわれは、この、震源過程の解明あるいは津波の波高の予測に視点をおいた強震計の開発に際しても、地震工学的な侧面を見すごすことのないように留意した。

2. 開発研究の経過

前節で述べたように、国内・外で強震観測の必要性が強調されてゆく中での、われわれの開発研究の経過を以下に述べる。

第3次地震予知5ヶ年計画の4年目の1977年12月、第85回地震火山談話会（気象庁地震課主催）の席で末広（観測部参事官、当時）から、その頃検討中であった第4次地震予知5ヶ年計画の案に対する説明のための講演があった。当然、大地震の短期予知に向けての体制づくりが話の中心であったが、関連した測器の更新という形で、もう30年近くも経過した強震計がとりあげられた。これと前後して地震課から、最大級の強震動下においても解析に耐えられる記録を得ることのできる強震計を第4次計画で開発してほしい旨、要望された。

一方、学会における動向には、1977年5月、東京で開かれた地震学会において村松により、地震学的な目的の速度型強震計を製作し実用化した、という話（村松、1977）もあり、また1978年1月には少なからぬ被害をともなった伊豆大島近海の地震（ $M_J: 7.0$ ）の発生により、大島、石廊崎、横浜、網代の強震計が振り切れた（市川ら、1978）ことなどから、最大級の強震下でも忠実な記録のとれる、地震学的な目的にあった強震計が、あらためて望まれた。

その後、強震計のあるべき姿について机上の検討を経て目標とする性能を定め、その性能を達成すべく二・三の変換器を入手して実験観測も手がけた。1978年7月の地震火山研究部の談話会における、目標仕様の討論、変換方式の中間報告、記録・処理方式の提案を経て、10月には第94回地震火山談話会において「新強震計の設計」というタイトルで講演発表を行った。その時の主な内容は次のとおりである。

- i) 出力は変位比例型と速度比例型の二本立てとし、前者は現用の強震計と等しい周波数特性、倍率を踏襲し、可視記録として出力する。後者は $1/50\sim20\text{ Hz}$ の帯域とし、 $100\text{cm}^{0-p}/\text{s}$ までの振幅をカバーする。
- ii) 変位比例出力の水平二成分の合成最大振幅を表示する機能をもたせる。表示は 100cm^{0-p} までを考えている。この場合、可視記録が飽和しても表示だけは有効となるように設計する。
- iii) 速度比例の成分の記録はトリガー式とする。記録媒体はふれ幅の大きな可視記録にするか、デジタル磁気テープにするか、決定を保留する。
- iv) 変換器の方式は4通りほど考えられるが、いずれが最適か、検討を続ける。50秒まで帯域ののびた強震計を用いれば、1975年6月10日と14日に北海道東方沖に発生した二つの地震のような場合でも、津波予報は成功するだろうということを、長宗、中礼（1976）を引用してつけ加えて話した。この講演に対して、記録媒体としての磁気テープは、故障が多いという理由から、使わない方がよいという意見が出された。これは主に67型地震計を扱った経験およびアメダスの開発試験結果にもとづく意見である。

その第94回地震火山談話会の1ヶ月ほど前の1978年9月17日、イランに $M_s = 7.4$ の地震が発生

した。強震計にふさわしい変換器を模索して実験観測を行っていた筆者らは、この地震の表面波の記録に成功し、±2 gまで測れるある加速度センサー（強震計変換器の一候補）が、 $0.15 \text{mGal}^{0-\text{P}}$ の低レベルの信号も分解できることを見出した（高橋、1981）。これにより、振幅範囲に関する目標仕様は、変換器に関する限りは達成が可能であるとの確信が得られた（最終的には、この変換器を採用している）。また同年12月23日に台湾付近で発生した地震の記録にも成功し、他の種類の加速度センサーも、分解能の点では目標に到達できることが確認された。

さて、翌1979年1月、「高性能強震計の開発試作にあたって」と題して、その年の4月から、本格的に発足する予定の計画に対して、ユーザー代表としての地震課の要望を聞くべく、集りをもった。地震火山研究部からは田（部長、当時）、高橋（研究官）が、地震課からは15名ほどが出席した。この時点で、われわれの提案の内、第94回地震火山談話会における主旨と变成了点は、速度比例出力をカセット式ディジタル磁気テープに記録するという方針を明瞭にうちだした点と、加速度比例出力も、記録装置は用意しないが、出力可能とした点、それに磁気テープの再生・処理にはマイコンを主体とした、いわゆるパーソナル・コンピュータを利用し、同時に汎用ミニコンでも直接処理可能な形態とするという点、の3点である。なお、この加速度比例出力は後の仙台における試験観測において効果を發揮した。この席では活発な意見が交換された。なかでも前もって配布された竹山（地震課調査官、当時）による私案は、後々までも、われわれの開発における参考になっている。その中で特に注目に値する点は、津波予報の精度向上のためには長周期波が有効であるとの認識に立ち、震度3相当以上の地震を対象に長周期波形の可視記録を出力すべきである、とした点である。この席でかわされた討論の主な点を以下に述べる。

- i) 1979年度から3ヶ年計画で開発・試作された強震計は1982年度から地震課が全国に業務展開する計画である。
- ii) 変換器については数種類の候補を対象に地震火山研究部で評価実験を行う。
- iii) 可視記録の耐震性も十分に評価する。
- iv) ある一方向だけでも長周期成分を可視記録に出力すれば、津波有無の判定材料になる。そのための記録器についても検討を行う。
- v) この強震計は現用品の代替品として、それと同等以上に機能しなければならない。特に、カセット式ディジタル磁気テープ記録は、考えられる最大の強震動下においても、忠実な記録がとれなければ更新する意味がない。
- vi) このディジタル記録の再生・処理には、なるだけ多くの汎用計算機が使えることが望ましい。
- vii) 保守の容易なように設計を行う必要がある。
- viii) 停電対策は発動発電機が地震動で故障した場合でも、それが動きだすまでには2~3時間みておけば十分であろう。

以上の討論を経て、地震火山研究部は細部設計に入り、それがほぼ完成した1979年9月、地震課

との間で2回目の集りをもった。この集りには地震火山研究部から飯沼（室長、当時）、松本（主任研究官）、高橋（研究官）が、地震課からは9名が出席した。この席へのわれわれの提案はほとんど、現在できあがった強震計にもりこまれている。かわされた討論の内、主な事項は次のとおりである。

- I) 可視記録に自動利得制御（A G C）をかけて、振幅範囲を拡大することの可否について検討を行う。
- II) カセット式ディジタル磁気テープ記録は今までの強震計にはない、特徴であり、調査研究用として特に重要な装置である。
- III) 磁気テープに代る記録媒体としてROMあるいはバブルメモリ等の不揮発性固体メモリを採用できるか、検討する。
- IV) 製作した強震計に耐震性、耐環境温度性能の評価を十分くわえる。

こうしていよいよ強震計の製作にとりかかり、1980年3月には完成、1981年3月までに耐震性、耐環境温度性能（低温特性）の評価を終え、満足すべき結果を得ている。1981年2月には科学技術庁主催の第6回防災科学技術研究連絡会で渡辺（地震課長、当時）がこの強震計をとりあげ（渡辺、1981），また4月には筆者らも地震学会で発表した（田ら、1981）。いずれの講演においても、50秒もの長周期までカバーする強震計を気象庁の地震観測網に展開することへの反響は少なくなかった。7月には地震学会と同様の主旨の講演を第125回地震火山談話会でも行った。試験観測は1980年3月の完成以来、折をみて当所の観測棟で行っていたが、1981年4月からは、これを本格的な実用化試験としてとりあげ、9月24日、25日のいずれも早朝、首都圏をゆるがせた2つの地震を始めとする、数個の強震動の観測に成功した。また磁気テープの再生・処理装置である、パソコン・コンピュータに、周辺装置としてXYプロッタ等の増強も行い、処理プログラムの作成にも着手した。また、1981年度にはカセット式ディジタル磁気テープ記録器に、前年に行った評価を補強する目的で-15°Cにまで及ぶ低温環境にさらして、特性を調べ、十分耐えうるという結果を得た（田ら、1982）。1982年6月には仙台管区気象台からの要望により試験観測のために、強震計一式を移管した。現在、仙台管区気象台で震度問題を含む独自の目的を併せ持つて、調査観測を続けている。

なお、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型強震計と命名する。

References

- Abe, K., 1974 : Seismic displacement and ground motion near a fault: the Saitama Earthquake of September 21, 1931, J. Geophys. Res., 79, 4393-4399.
- Aki, K., 1968 : Seismic displacements near a fault, J. Geophys. Res., 73, 5359-5376.
- Cloud, W. K., and V. Perez, 1967 : Accelerograms-Parkfield Earthquake, Bull. Seis. Soc.

Am., 57, 1179-1192.

DeHoop, A. T., 1958 : Representation theorems for the displacement in an elastic solid and their application to elastodynamic diffraction theory, Thesis, Technische Hogeschool, Delft.

Haskell, N. A., 1969 : Elastic displacement in the near-field of a propagating fault, Bull. Seis. Soc. Am., 59, 865-908.

Heaton, T. H., and D. V. Helmberger, 1979 : Generalized ray models of the San Fernando Earthquake, Bull. Seis. Soc. Am., 69, 1131-1341.

Housner, G. W. and M. D. Trifunac, 1967 : Analysis of accelerograms-Parkfield Earthquake, Bull. Seis. Soc. Am., 57, 1193-1220.

Iwan, W. D., editor, 1978 : Proceedings of the International Workshop on Strong-Motion Earthquake Instrument Arrays. 10^P.

Kanamori, H., 1971 : Faulting of the great Kanto Earthquake of 1923 as revealed by seismological data, Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ., 49, 13-18.

Kanamori, H., 1972 : Determination of effective tectonic stress associated with earthquake faulting, the Tottori Earthquake of 1943, Phys. Earth Planet. Interiors, 5, 426-434.

Lay, T., H. Kanamori, and L. Ruff, 1982 : The asperity model and the nature of large subduction zone earthquakes, Earthq. Prediction Res., 1, 3-71.

Maruyama, T., 1963 : On the force equivalents of dynamical elastic dislocations with reference to the earthquake mechanism, Bull. Earthq. Res. Inst., 41, 467-486.

Matsu'ura, M., T. Iwasaki, Y. Suzuki, and R. Sato, 1980 : Statical and dynamical study on faulting mechanism of the 1923 Kanto Earthquake, J. Phys. Earth, 28, 119-143.

Sato, R., 1972 : Seismic Waves in the near field, J. Phys. Earth, 20, 357-375.

Sato, R., 1973 a : Seismic waves due to a dislocation source model in a multi-layered medium, Part I. theory, J. Phys. Earth, 21, 155-172.

Sato, R., 1973 b : Seismic waves due to a dislocation source model in a multi-layered medium, Part II. numerical calculations for a point source, J. Phys. Earth, 21, 401-414.

Sato, R., 1975 : Seismic waves due to a dislocation source model in a multi-layered medium, Part III. numerical calculations for a moving fault, J. Phys. Earth, 23, 289-309.

Shimazaki, K., and P. Somerville, 1979 : Static and dynamic parameters of the Izu-Oshima, Japan earthquake of January 14, 1978, Bull. Seis. Soc. Am., 69, 1343-1378.

参考文献

- 田 望, 飯沼龍門, 松本英照, 高橋道夫, 1981: 気象庁用の新・強震計——その設計・試作・評価
——, 地震学会昭和56年度春季大会予稿集, 167.
- 田 望, 飯沼龍門, 松本英照, 高橋道夫, 1982: ディジタルカセットテープレコーダーの震動・温
度特性について, 地震学会昭和57年度春季大会予稿集, 77.
- 市川政治編, 気象庁地震課, 石廊崎測候所, 大島測候所, 1978: 1978年1月14日伊豆大島近海の地
震調査報告, 験震時報, 43, 21-57.
- 飯沼龍門, 1973: 気象庁の強震観測の歴史・現状と将来, 気象, 9月号, 3668-3670.
- 川崎一朗, 鈴木保典, 佐藤良輔, 1972 a: 半無限媒質中の断層によって生じる地震波(その1),
地震, II, 25, 207-217.
- 川崎一朗, 鈴木保典, 佐藤良輔, 1972 b: 半無限媒質中の断層によって生じる地震波(その2),
地震, II, 25, 333-342.
- 川崎一朗, 1976: 地震発生機構(震源モデル)について, 気象, 2月号, 4417-4423.
- 三雲 健, 1978: 高密度強震観測網に関する国際会議報告, 地震, II, 31, 471-472.
- 村松郁栄, 1977: 速度型強震計の製作, 地震, II, 30, 317-338.
- 長宗留男, 中礼正明, 1976: 1975(昭和50)年6月10日の北海道東方沖の地震の大きさと津波の規
模, 験震時報, 40, 105-107.
- 高橋道夫, 1981: 強震観測のための変換器, 気象研究所研究報告, 32, 173-181.
- 渡辺偉夫, 1981: 現在開発中の高性能強震計について, 第6回防災科学技術連絡会予稿集, 25-26.

第2章 機器の開発・製作*

1. 方式設計

1.1 概要

この強震計は、気象庁が全国に展開している地震観測網に使用することを目標として開発されるものである。従って、方式設計においては特に次の諸点を条件とした。なお、ブロック図を図2.1.1に示す。

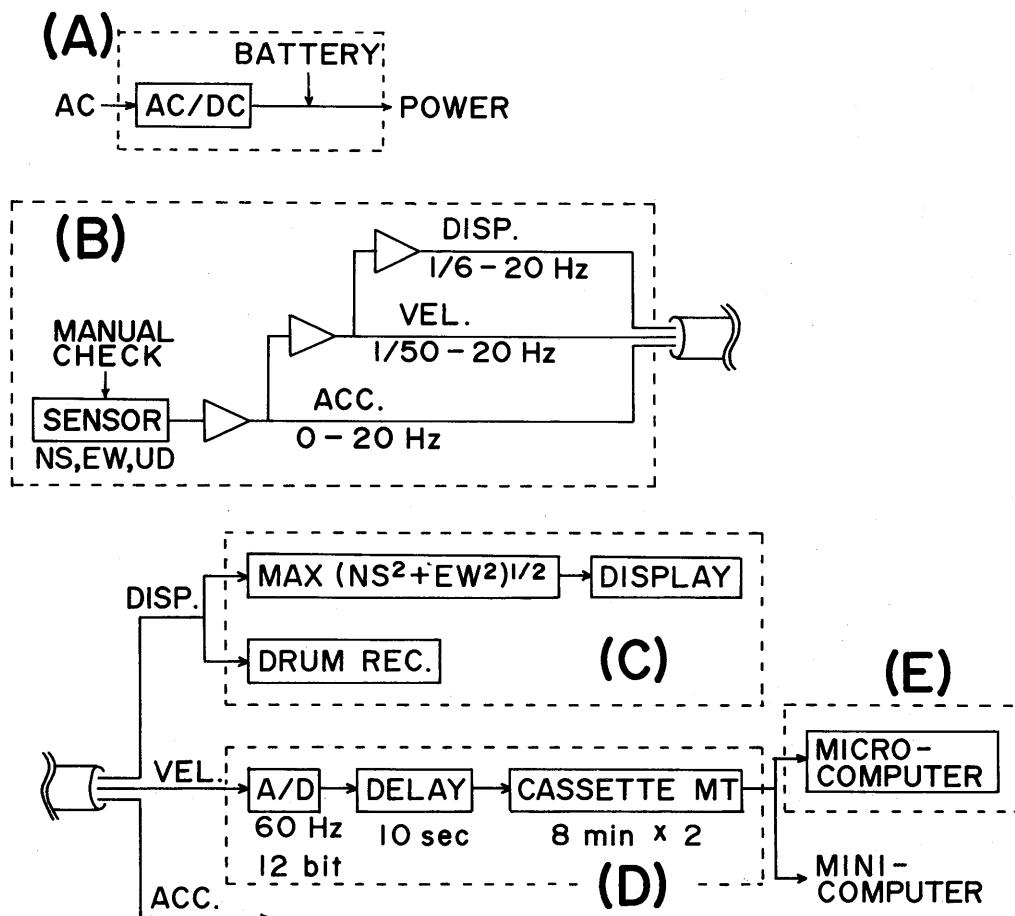


図2.1.1 強震計のブロック図

(A) : 無停電電源, (B) : 変換・等化増幅器, (C) : アナログ記録器,
(D) : ディジタル記録器, (E) : 処理・解析装置。

* 執筆担当 高橋道夫

まず、条件の第一は観測点には観測者が常駐しているという点である。この条件は、S M A C型強震計およびその流れをくんで、最近各種用意されている強震計（例えば太田ら，1979；太田ら，1981；大久保ら，1981；野田ら，1981；大谷，1981）と比較した時、最も大きな運用上の違いである。この利点はディジタル波形を記憶しておく媒体の容量を減少させることに活用されている。すなわち、地震後ただちにデータの記憶媒体（カセット式ディジタル磁気テープ）を取り替えることが期待できるので、本装置は対象とする2件の地震（1件8分間まで）のデータを収録できるように設計しておくだけ十分である。

ある一定以上の大きさの地震を感じた場合、観測者はただちに津波の予・警報を目的とするデータの処理（駆除）にかかわらなければならない。現在の津波予報技術は $1/6\text{ Hz}$ 以上の帯域における変位振幅の最大値に、最も重きを置いている。この処理に便宜をはかるため、水平2成分の合成最大振幅を表示できるように設計した。しかしながら、従来から得られている地震波形のアナログ記録には、各種の情報を多く含んでいるので未だ計算機では行うことのできない高度の処理も観測者の目を通して瞬時に行わしめるといった有効な面を見落すことはできない。このため、耐震性のすぐれたアナログ記録器を、緊急駆除のために用意した。

また、気象庁の地震観測の目的は工学的な要求を優先させるのではなく、あくまでも理学的な要求を満たすことに主眼がおかかれている。一般に、震源における物理過程の主な情報は長周期の波動に最もよく現れ、短周期の波動は震源過程の細かい部分や波の伝播経路の性質に関する情報しかもたらさないものと考えられている。また、現在の地震学の段階は、震源過程に関する第一近似のモデルがやっとできあがった段階（山川，1976）と考えられるので、長周期の記録を蓄積することには、まだまだ意義が認められる。また、ある地震が津波をともなうか否かの判定には長周期波動の大きさが決定的な役割を果すと考えられる。この意味においても長周期成分の観測は有意義である。一般に、地震工学的の要求により開発された強震計は加速度比例の記録のみを出力するのが通例であるが、この開発では長周期を強調する記録を効率よく収録するため速度比例、および変位比例の出力を記録する方式とした。そして変位比例出力の帯域は $1/6 \sim 20\text{ Hz}$ 、速度比例出力の帯域は $1/50 \sim 20\text{ Hz}$ とした。前者の帯域の下限を $1/6\text{ Hz}$ に設定したのは現用の機械式強震計と特性をあわせるためである。これにより現用強震計とここで述べる強震計の記録に互換性が保証できる。しかしながら、後者の $1/50\text{ Hz}$ までの帯域をもった速度比例記録こそが、これから述べる強震計の大きな特長であり、これなくしては新たに強震計を開発した意味がない、とまで言ってよかろう。

正確な時刻の情報は、強震の波形記録に劣らないだけの価値を有する。ここで新たに開発された強震計が設置される観測点には、すでに、十分管理された良い時計があるという前提にたって、独自の管理を必要とする、精度の良い時計は用意していない。その前提は、実際、ほとんどの場合にあてはまる。従ってこの強震計では、管理された時計から出力されるタイムマークもしくはタイムコードのアナログ信号を、地震波形と同様にA/D変換して、4番目のチャンネルに記録する方式

とした。

一般の地震計では記録可能な最小振幅を問題とするが強震計の場合には逆に、最大振幅が問題となる。加速度比例強震計の場合、 2 g まで測れるとしているものが多い。これは地震動に共振している構造物の加速度を測るという目的から、また、もしも記録できる振幅範囲を越えてしまった時受ける損失の大きさから見ると、妥当な値と言えよう。ここで述べる強震計の、速度比例出力の記録できる振幅範囲は 100 cm/s とした。この値は、村松（1977）も過去の地震を参考にして提案している値であるし、また震源近傍での地面の運動速度は（くいちがい量÷2）÷（立ち上り時間）で代表できるが、これが 100 cm/s を越えるものは未だかつてない、という2つの研究成果にもづいている。ところが、ごく最近の報告によると、 108 cm/s が記録されているが、これについては1.2節でふれる。

方式設計において留意した重要な点は、最後に、停電対策である。一般に大地震にはひきつづいて余震が発生し、これも強震動となることも多く、またその波形の観測も本震直後の余震の観測という意味で重要である。商用電源および発動発電機ともに機能しない状態でも8時間だけは観測が続けられるだけの容量をもった電池を用意した。

以下の小節では、個々の部分の方式設計について詳しく述べるが、これらはいずれも、第1章2節でのべたように、ユーザー代表としての気象庁地震課と密接なる連絡をとりあって決定したものである。

1.2 観測の対象とする範囲

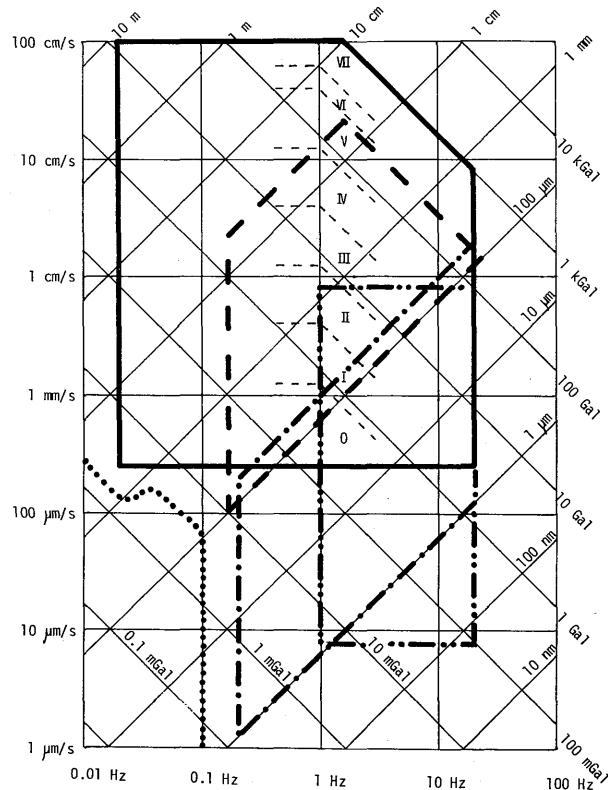
地震学において興味の対象となっている波動の周波数帯域および振幅範囲は非常に広い。周波数帯域でみると 10^{-4} Hz のオーダーの、いわゆる地球の自由振動と呼ばれるものから、可聴帯域の 10^2 Hz のオーダーのものまで、振幅範囲では、第1級の地震の断層面両側のくいちがい量である $10^0 \sim 10^1\text{ m}$ のオーダーの変位から、静かな場所での雑微動の振幅 10^{-9} m のオーダーのものに至っている。このような広い帯域・振幅範囲をすべてカバーする地震計などというものは、未だかつてなく、地震計は一般に観測対象や目的別に、例えば微小地震観測網において用いられるものは短周期高感度地震計、世界中に展開されているWWSSNあるいはSRO観測点の長周期高感度地震計、SMAC型強震計に代表される短周期低感度地震計、等に分類できる。ところで、長周期で大振幅の領域は、これをカバーする地震計は世界中でもほとんどない。本稿の強震計はこの領域のカバーを目指している。

まず、この強震計の振幅範囲の検討を行う。記録可能な最大振幅は、最大級の強震動よりも大きい所に設定する必要がある。くいちがい量Dの断層が立ち上り時間Tで形成される場合、断層の両側が対称に運動すると仮定するならば、地動の最大速度は第一近似的に $D/2T$ で与えられる。日本の内陸型地震について、DとTとが比較的よくもとまったく地震を川崎（1976）がリストアップし

た結果によると、 $D/2T$ は1948年福井地震、および1961年北美濃地震が最大で、 $60\text{cm}/\text{s}$ となっている。実際には、第一近似では無視されている短周期波の寄与が当然あると思われる所以、もう少し大きくなる可能性がある。また村松（1976）は日本および米国カリフォルニアにおいて、実際に記録された強震波形を参考にして、 $100\text{cm}/\text{s}$ を超える地動は、まず存在しないであろう、と結論した。また Atkinson（1982）も同様の提言を行っている。このようなことから、われわれも記録可能な振幅の最大を $100\text{cm}^{0-p}/\text{s}$ に設定した。これにより分解可能な最小振幅は、A/D変換の精度により決まり、12 bit の場合には量子化間隔が $48.8 \times 10^{-3}\text{cm}/\text{s}$ となる。

対象とする周波数帯域の下限は、低い程望ましい。低くする際の主な問題点は変換器の精度ないしは分解能である。この場合、変換器の分解能（公称 5mGal ）が上で述べたA/D変換の分解能とほぼ等しくなる $1/50\text{Hz}$ を、帯域の下限に設定した。一方、帯域の上限は、高い程望ましいことは事実である。ただ、記録媒体の容量に制限があるから、ここでは妥当な値として上限を 20Hz に設定し、標本化周波数 60Hz を採用した。これにより1巻の記録媒体（カセット式ディジタル磁気テープ）に約8分間のデータを収録できる。

図 2.1.2 83型強震計のカバーする周波数・振幅範囲（実線）。S R O 地震観測装置（点線）（Peterson and Orsini, 1976; Peterson et al., 1976），現用強震計（破線），59型地震計（一点鎖線），および67型地震計（二点鎖線）がカバーする範囲も同時に示してある。アラビア数字の 0 ~ VII は気象庁震度階の目安（村松, 1976）を示す。振幅は片振幅で表示してある。



以上をまとめて、この強震計がカバーする周波数帯域、振幅範囲を図2.1.2に示す。図には気象庁の代表的な地震計のカバーする領域、および気象庁震度階の目安（村松、1976）も同時に書き込んである。なお、1.6 Hz以上の帯域で1 kGalを超える加速度が観測できなくなっているのは、変換器が飽和することによる。この点は強震観測においては問題とはならない。問題はむしろ、記録する速度の最大振幅が本当に $100 \text{ cm}^{0-\text{P}}/\text{s}$ を超えないか、という点である。最近の報告（Hartzell and Helmberger, 1982）によると、1979年10月15日にImperial Valleyで発生したM 6.6の地震の断層から1 kmほど離れた地盤上で、断層の走向に直角な水平方向の最大速度 $108 \text{ cm}^{0-\text{P}}/\text{s}$ が観測されている。測器等の詳細が、この論文だけからでは十分読みとれないが、もしこれが事実だとすると、この強震計のカバーすべき振幅範囲について設計を変更する必要があるかもしれない。但し、この場合でも、変更箇所は等化増幅器の利得を下げるだけで十分である。

図2.1.2からわかるように、この強震計は従来一般に使用されている地震計ではカバーできていない、長周期大振幅の領域を観測の対象として含んでいる。得られた波形データは新しい情報を含むデータとして、有効な使い方ができよう。

1.3 地動の電気信号への変換

長周期大振幅の地面の運動に忠実な電気信号を出力し、かつ、広い振幅範囲をもつ変換器として、次の方程式が考えられる。

- i) 油制動方式………固有振動数 f_0 が、1 Hz程度の振子を高粘性の油の中にひたすことにより、大きな制動（正規化された減衰定数 h ）をかける。このとき振子にとりつけた変位変換器の出力は $f_0/2h \sim 2hf_0$ の広い帯域で速度比例となる。これは村松（1977）が提案した方式である。
- ii) 変位帰還方式……… f_0 が数 Hzの振子に変位変換器と動電コイルをとりつけておく。振子の変位に比例した出力を增幅して動電コイルに帰還すると、“電気バネ”が構成できて、固有振動数が数百 Hzにまで上る。この時、新しい固有振動数以下の帯域では、変位変換器の出力は地動の加速度に比例する。これを積分して速度比例とする方式。
- iii) 速度帰還方式……… f_0 が数 Hzの振子に2つの動電コイルをとりつけておく。一方のコイルの出力を増幅して他方に帰還すると電気的に制動がかかる。この制動の大きさを h とすると油制動方式と同様に、 $f_0/2h \sim 2hf_0$ の帯域で加速度比例出力が得られるので、これを積分するという方式。

これらの3方式の変換器の振子の運動、出力のS/N等については後節で詳しく述べるが、机上の検討においては、いずれの方式でも満足のゆく性能を得られることがわかる。ただ、これらの方程式にもとづいて実際に製品を試作ないしは購入して、耐震性、耐温度性能を、実験により調べた。その結果、油制動方式は、温度変化により油の粘性が変化し、これが直接、感度変化をひきおこし、たとえ増幅器の利得に温度特性をもたせることにより補正しようとしても、温度の代表性等現実の

問題として、補正しきれないことがわかった。また、速度帰還方式にもとづいて試作した変換器は、用いたバネの特殊な構造（ダイヤフラムバネ）により、大きな振幅で二次元的に振動させた時に、受感方向以外の振動に感応する兆候が認められた。これは、振子にかかっている電気的な制動が、受感方向にのみ有効で、その直交方向には全く無効となり、動き易いその方向に“運動がにげた”ことによる。これは勿論、速度帰還方式の欠点ではなく、むしろ変換器振子の構造の問題である。これらの試験結果は第3章で詳しく述べる。

われわれは、変位帰還方式により作られた変換器 JA-4を、この強震計にもっともふさわしいものと判断する。JA-4は温度変化による感度の変化、ドリフト、また振動をかけた時の波形の歪の少なさ、等、あらゆる点において満足すべき性能を示した。JA-4の他にも変位帰還方式の変換器は市販されてはいるが、コストの点で同クラスの他の製品と比較する時、これは、温度変化によるドリフトが圧倒的に小さいという点が大きな特長である。なお、JA-4は日本航空電子工業㈱の製品であるが、1981年に同社はJA-4に代り、JA-5という製品を発表している。JA-5はJA-4より小型化され、かつ分解能がすぐれ、コストは変わっていないので十分に使用にたえられるものと期待できる。

1.4 増幅および特性の等化

変換器の出力は加速度比例である。 $1/50\sim20\text{ Hz}$ の帯域で速度比例にするために、一度積分する。また $1/6\sim20\text{ Hz}$ の帯域で変位比例の出力をも得るために、更に積分する。積分には演算増幅器を用いると回路設計が容易である。最初の積分回路を模式的に図2.1.3に示す。この回路は 0.01 Hz と 0.015 Hz とに極をもつ帯域通過回路で、利得は $0\sim0.01\text{ Hz}$ では $+6\text{ dB/oct}$ 、 0.015 Hz 以上では -6 dB/oct の勾配をもっている。総合すると 0.02 Hz 以上の帯域を積分し、 0.02 Hz

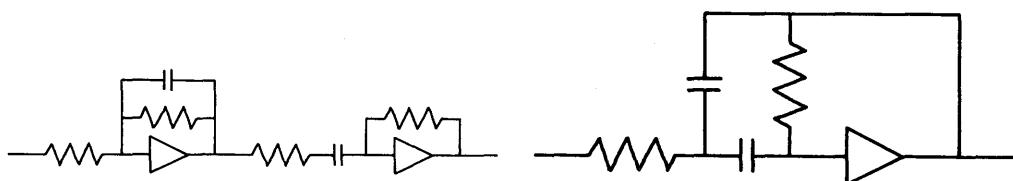


図2.1.3 加速度比例の信号を速度比例
に積分する回路の模式図

図2.1.4 速度比例の信号を更に
変位比例に積分する回路の模
式図

において、理想積分特性よりも、3 dBだけ利得が下っている。二段目の積分回路を図 2.1.4 に示す。この回路は近似的に $1/6 \text{ Hz}$ を境に低・高周波側にそれぞれ + - 6 dB/oct の勾配で利得が下っている。 $1/6 \text{ Hz}$ における Q を 1 に設定してあるので、地震計の振子の運動を論ずる時の h (正規化された減衰定数で $h = 1$ が臨界減衰状態に相当) = $1/2Q$ は 0.5 である。すなわち、この変位比例出力は、現用強震計の、固有振動数 $1/6 \text{ Hz}$ 、減衰定数 0.5 (制振比で約 6) という特性と全く等しく、従って、得られる記録の特性の連続性が保たれる。

このような回路を搭載した基板の耐震上の問題点は、 $1/50 \text{ Hz}$ という低周波数のコーナー周波数を得るために大容量 (従って重い) コンデンサの実装である。実際に耐震性のテストを行った結果、基板を防振構造にしないと振動により、ごくわずかの瑕疵を原因とする小さな雑音を発生することもありうることがわかった。

1.5 記録およびその処理

この強震計は 2 台の記録器が備えられている。ひとつは地震観測においてよく用いられるヘリカル・レコーダで、 $1/6 \sim 20 \text{ Hz}$ の帯域の変位比例出力のアナログ記録が、連続的に実時間で描かれる。感度は 1 cm/cm 、すなわち 1 倍、紙おくりは 30 mm/min 、ピッチ 1.25 mm 、最大振幅 2.5 cm で記録紙の交換は 1 日 1 回である。耐震性が考慮されているので、 1 g 程度の加速度ではペンがとび上ることもなく、ただ、ギアのバックラッシュにより記録器がやや太くなる程度である。これ以上の耐震性能を大きな機構を駆動する必要のある、この種の記録器にもとめるのは困難であろう。

この可視記録器の出力は地震発生直後に、津波予報のための処理に利用される。その処理の便宜を考えて水平動 2 成分の合成最大振幅の表示部を設けた。アナログ I C により二乗の和の平方をもとめるという演算が行われ、結果の最大値を、 $0 \sim 999 \text{ mm}$ までの間で、 1 mm きざみでデジタル化して表示する。従って可視記録器が 25 mm でふりきれても表示だけは 1 m までの範囲内では正しい表示ができることになる。

もうひとつの記録器はデジタル記録器で、 $1/50 \sim 20 \text{ Hz}$ という帯域の速度比例出力が、地震が発生した時だけ、トリガー機能により記録される。A/D 変換は $\pm 100 \text{ cm/s}$ の地動速度に相当する電圧値を最大とし、12 bit の精度で行われ、標本化周波数は 1 チャンネル当たり 60 Hz である。記録媒体はカセット式デジタル磁気テープである。この 1 卷に約 8 分間の波形データが収録できる。トリガーは、上下動の連続する 5 標本点のデータがすべて、設定したレベルを超えた時、はたらくようにした。遅延時間は 10 秒である。また、一旦トリガーがかかると、テープの終るまで、すなわち 8 分間、記録をとりつづける。磁気テープ装置を 2 台用意したので、無人の状態でも 2 件のトリガーがなければ記録が可能である。この点はまた、大地震の直後の 16 分間の余震も記録可能、という点に意義が認められる。

$1/50 \sim 20 \text{ Hz}$ という広帯域で速度比例特性という、この強震計の大きな特徴である成分をカセ

ット式磁気テープに記録する方式の他に、アナログ記録方式も検討した。しかし、これは次の理由で採用しなかった。アナログ方式のひとつに発熱素子を密に並べたサーマルヘッドで、幅の広い感熱記録紙にアナログ波形を描かせる方式があるが、これは紙送り機構以外に機械的可動部がないので、耐震性にすぐれていると思われる。しかし、この方式は高周波の現象に追随できないことがわかり、また、記録紙幅をいくら大きくしようとも、記録可能な振幅範囲はディジタル方式にはかなわない。記録可能な最大振幅は何10年に1度あるかどうか、という大きなレベルに設定されるので、振幅範囲が狭い場合、すなわち、記録できる最小振幅のレベルが高いと、地震の記録の得られる機会は指数的に少なくなる。これは運用上望ましい条件とはいえない。また、アナログ記録では、計算機による高度な処理を行おうとする場合、波形のディジタル化の作業も、大変煩雑である。このようなことからアナログ記録方式は採用しないことを決定した。

ディジタル方式による記録媒体にはカセット式ディジタル磁気テープの他にフロッピーディスクとか、ごく最近市場に出まわってきた磁気バブルメモリカセット(中野ら, 1981)とかが考えられる。このうち、フロッピーディスクは耐震性が大問題である。勿論、地震動が終るまでデータを一時的に蓄えておいて、その後、記録するとか、緩衝材等で厳重に防振するとかの対策はとれなくはないが、前者の対策ではメモリーが莫大になる。よってフロッピーディスクの採用の是非については机上の検討のみにとどめ、不採用を決定した。

磁気バブルメモリカセットは、固体素子で可動部が全くなく、振動とかほこりのある悪環境でも、信頼性高い記録が得られる。しかも、電源がなくても情報の保持が可能である、等の、強震計の記録部として採用するにはうってつけの特長をそなえている(赤松, 1982)。ただこれは、開発途上にある製品であり、その将来について、必ずしも明るい見通しぶかりではない。明るい見通しの方は、例えば、単位記憶量当りの容積やコストをカセットテープと比較すると、強震計開発当初の段階において、それぞれ 10^2 倍、 10^3 倍であり、それが82年春段階においては容積は 10^1 倍に改善された。さらに今後需要が拡大すれば84年頃にはカセットテープと比べて容積が 10^0 倍、コストが 10^2 倍位まで改善できるであろうという予想もある(沖電気藤原俊郎氏、私信)。得られた波形データは、他の媒体に移して保管できるから、コストはそれほど大きな問題ではない。一方、処理段階のことを考えると、バブルメモリカセットのデータ複元には今までのところ、特定の、いわゆるパソコンが利用できるのみで、小型ないしは大型の計算機では、直接にはアクセスできない(データを特定のパソコンを用いて、フロッピーディスクに書き移せば、可能である)。将来においても、直接処理できるようになる可能性は非常に薄いと考えられる。磁気バブルメモリカセットは、机上評価されたが、ひと言で言えばその開発が強震計の開発に“間にあわなかつた”ということである。

このような事情から、ディジタルの波形データを記録する媒体として、カセット式ディジタル磁気テープを候補としてとりあげ、装置を試作し、評価を加えた。磁気テープ装置はT E A C社のMT-2という製品である。この装置は振動条件および温度条件の厳しい南極の雪上車上でもうまく

作動したという実績（気象庁地震課藤沢格氏、私信）があるだけではなく、さらに機構条件および書き込み条件について ISO、および JIS 規格を満しているので、カセットMTを入出力装置として採用している小型ないしは大型計算機で JIS FORTRAN を用いて直接処理を行えるという特長もある。振動に対して強いのはテープ駆動に慣性の大きな駆動部品を用いていないのが主な理由であると考えられる。このようなことからMT-2を利用したデジタル記録器を、強震計の記録器にふさわしいものと判定した。実際にこの装置は振動試験および温度試験においても問題は出てきていない。

1.6 電 源

強震発生時には商用電源の正常な供給は期待できない。発動発電機にしても、瞬時には立上らないし、また、時によっては強震動のために故障してしまうこともあろう。この時のために、鉛蓄電池およびサイリスタ整流器をくみ合わせた無停電電源（無瞬断）を用意した。この電源からDC24Vが強震計のすべての部分に供給され、AC 100 Vの入力が断の状態で 8 時間以上の容量を持たせた。なお、第1章2節でも述べたように、8時間も必要はないと考えられる。電源をより小型化するためにも、2~3時間の容量とすることは有意義であろう。24Vと、やや高めの電圧を選んだのは、各部分で用いられるDC/DCコンバータの変換効率を上げるためにある。

2. 変換・等化增幅器

2.1 振子の運動

まず、1.3節で述べた3方式の変換器の振子の運動を解析する。振子には一般的回転運動型と、ダイヤフラムバネで支えられた直線運動型との二種類があるが、ここでは回転運動型について解析する。直線運動型に関する取扱いは例えば松本・高橋（1976）を参照されたい。

実体振子の質量をM[kg]、慣性モーメントをK[kg・m²]、回転軸から重心までの距離をH[m]（従って相当単振子長 ℓ [m] = K/MH）として、その運動方程式を、田（1963）にならって

$$K\ddot{\theta} + D\dot{\theta} + U\theta = -MH\ddot{x} - G_1I_1 - G_2I_2 \quad (1)$$

と書く。ここで^{*}は時間微分をあらわし、また

θ ：振子の角変位 [rad] ,

D：空気あるいは油等による外部制動力のモーメント [kg・m²/s] ,

U：復元力のモーメント [kg・m²/s²] ,

G：動電定数 [V・s] ,

I：動電コイルを流れる電流 [A] ,

x：地面の変位 [m] ,

である。但し、GおよびIにつけた添字 i ($i = 1, 2$) は i 番目のコイルに関する量を示している。

この時、 i 番目の動電コイルの両端に誘起される超電力 E_{si} [V] は

$$E_{Si} = G_i \theta \quad (2)$$

であり、また、もし仮に振子角変位に比例する変位変換器(その感度を S [V/rad] とする)がとりつけられていれば、その出力 E_m [V] は

$$E_m = S\theta \quad (3)$$

となる。(1)は、この変位変換器が振子に力を作用しない場合になりたつ。一般に、第 i 番目の動電コイルの抵抗を R_{ci} とし、これが等価的に抵抗 R_{di} で終端されている場合には、(1)は

$$\ddot{\theta} + 2h\omega_0\dot{\theta} + \omega_0^2\theta = -\frac{\ddot{x}}{\ell} \quad (4)$$

と変形できる。ここで

$$\omega_0 = (U/K)^{1/2}, \quad (5)$$

$$h = \frac{1}{2\omega_0 K} \left(D + \frac{G_1^2}{R_{c1} + R_{d1}} + \frac{G_2^2}{R_{c2} + R_{d2}} \right) \quad (6)$$

であり、これらはそれぞれ固有角振動数 [rad/s]、減衰定数と呼ばれる量である。

以上の準備にもとづいて、1.3節で述べた3方式による強震計の、記録可能な最大振幅、検出可能な最小信号、100 cm/s または 2000 Gal という大きな地動速度が入力した時の振子の変位、等を調べ、問題点について検討する。

i) 油制動方式

この方式では動電コイルは用いない。(4)において地面の運動の角周波数を ω とし、 $\ddot{\theta} = (j\omega)^2\theta$, $\dot{\theta} = j\omega\theta$, $\ddot{x} = (j\omega)^2x$ とおくと、

$$(-\omega^2 + j \cdot 2h\omega_0\omega + \omega_0^2)\theta = \omega^2 \cdot \frac{x}{\ell} \quad (7)$$

を得る。この方式は、振子を油づけにすることにより D を大きくして、(6)の h を $10^1 \sim 10^2$ のオーダーとして使う。(7)の左辺 () 内の各項の絶対値を周波数別に調べると、

$\omega \gg 2h\omega_0$ のとき、第1項

$\omega_0/2h \ll \omega \ll 2h\omega_0$ のとき、第2項

$\omega \ll \omega_0/2h$ のとき、第3項

がそれぞれ卓越して大きい。() 内の第2項が卓越する $\omega_0/2h \sim 2h\omega_0$ の周波数帯では

$$\theta \doteq \frac{\omega}{j \cdot 2h\omega_0} \cdot \frac{x}{\ell} = \frac{-1}{2h\omega_0} \cdot \frac{\dot{x}}{\ell} \quad (8)$$

と、振子の角変位は地動の速度に比例する。図 2.2.1 のように、変位変換器の出力に A 倍の增幅器をつなぐと、出力 V_1 は(3)および(8)より

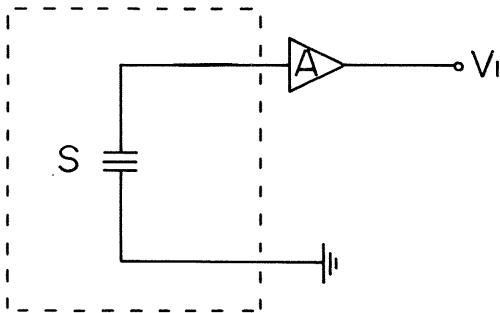


図 2.2.1 油制動方式の変換器の電
気的等価回路図。S の右側の記号
は変位変換器を示す。

$$V_1 = AE_m = \frac{-AS}{2h\omega_0} \cdot \frac{\dot{x}}{\ell} \quad (9)$$

を得る。

例えば、これは、実際に試作した変換器（図 2.2.2）の例であるが固有周期 1.6 [s] ($\omega_0 = 2\pi/1.6$) , $K = 1.4 \times 10^{-3}$ [kg · m²] (以下、単位は省略するが、いずれも MKSA 単位系である) , $M = 0.39$, $H = 0.056$, $\ell = 0.064$ の振子に $S = 96$ の変位変換器をとりつけ、 $h = 100$, $A = 2.6$ とすると $1/320$ Hz ~ 125 Hz の帯域で $5V/(100\text{ cm/s})$ の感度を有する速度比例出力を得ることができることが、(9)からわかる。振子の不動点のふれ幅 $\ell\theta$ は、(8)から 100 cm/s の地動が入力しても 1.3 mm にとどまり、ストッパーによる振幅制限には至らない。検出しうる最小信号は変位変換器の出力 $E_m = S\theta$ 中に含まれる雑音のレベルに依存するが、これは一般に mV のオーダーよりはるかに小さい。ゆえに出力 V_1 の作動範囲は $0.5\text{ mV} \sim 5\text{ V}$ 、すなわち、地動速度に換算して $10^{-2} \sim 10^2\text{ cm/s}$ という、 80 dB が容易に得られる。

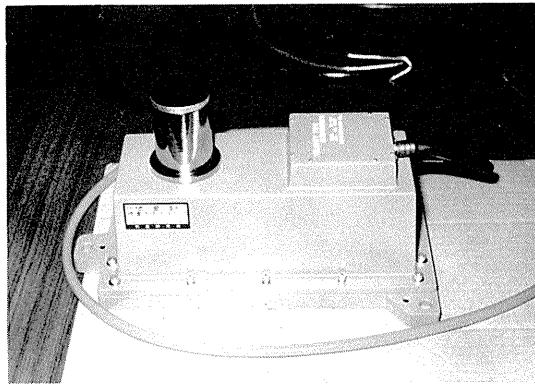


図 2.2.2 油制動方式の変換器（上下動）の外観。

ii) 変位帰還方式

この方式の振子には、変位変換器の他に動電コイルがつけられていて、図 2.2.3 のように構成される。動電コイルは 1 本なので(1)，その他の式において， G_1 ， I_1 ， R_{c1} を単に G ， I ， R_c と記すことにする。図 2.2.3 において，

$$V_2 = AS\theta, \quad (10)$$

$$I = \frac{V_2 + G\theta}{R_c + R_o}, \quad (11)$$

$$V_3 = IR_o. \quad (12)$$

である。但し， A は増幅器の利得である。(10)，(11)より，(1)は，

$$K\ddot{\theta} + D\dot{\theta} + U\theta = -MH\ddot{x} - \frac{G^2\theta + AGS\theta}{R_c + R_o}$$

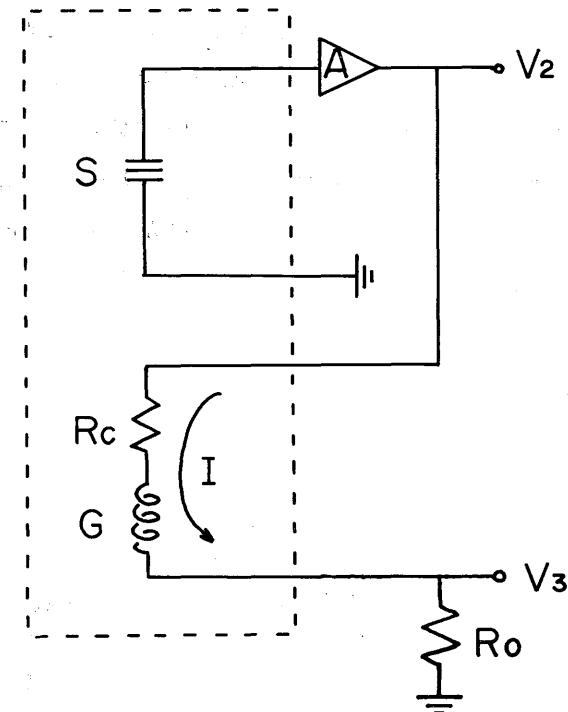


図 2.2.3 変位帰還方式の変換

器の電気的等価回路図。 S および G の右側の記号は変位変換器および速度変換器（動電コイル）。 R_c は動電コイルの内部抵抗。

または

$$\ddot{\theta} + 2h\omega_0\dot{\theta} + \left(\omega_0^2 + \frac{AGS}{K(R_c + R_o)} \right) \theta = -\frac{\ddot{x}}{\ell} \quad (13)$$

と変形できる。但し、 h は(6)と同様である。更に

$$\omega_N^2 = \omega_0^2 + \frac{AGS}{K(R_c + R_o)} \quad (14)$$

とおくと、

$$\ddot{\theta} + 2h_N\omega_N\dot{\theta} + \omega_N^2\theta = -\frac{\ddot{x}}{\ell}, \quad (15)$$

ここで $h_N = h\omega_0/\omega_N$ である。(7)を導いたのと同様に(15)より

$$(-\omega^2 + j \cdot 2h_N\omega_N\omega + \omega_N^2)\theta = \omega^2 \frac{x}{\ell} \quad (16)$$

を得、そしてこの場合、 h_N は 10^0 あるいはそれ以下のオーダーであるから、(16)の左辺()内は
 $\omega \gg \omega_N$ のとき、第1項

$\omega \ll \omega_N$ のとき、第3項

がそれぞれ卓越する。この方式で使う帯域は $\omega \ll \omega_N$ の帯域である。この時

$$\theta \doteq \frac{\omega^2}{\omega_N^2} \frac{x}{\ell} = \frac{-1}{\omega_N^2} \cdot \frac{\ddot{x}}{\ell} \quad (17)$$

と、振子の角変位は地動の加速度に比例する。(14)において $\omega_N \gg \omega_0$ とすると、さらに

$$\theta \doteq \frac{-K(R_c + R_o)}{AGS} \cdot \frac{\ddot{x}}{\ell} \quad (18)$$

と近似できる。この時、 V_2 は(10)より

$$V_2 = \frac{-K(R_c + R_o)}{G} \cdot \frac{\ddot{x}}{\ell}$$

であり、また、出力 V_3 は、 $\omega \ll AS/G$ の帯域で、(11), (12)より

$$V_3 \doteq -\frac{KR_o}{G} \cdot \frac{\ddot{x}}{\ell} = -\frac{MHR_o}{G} \ddot{x} \quad (19)$$

と、いずれも地動の加速度に比例する。

例えば、強震計の変換器にもっともふさわしい、と1.3節で述べたJA-4(図2.2.4)の場合、
 $\omega_0 = 2\pi \cdot 4.5$, $\omega_N = 2\pi \cdot 500$, $M = 2.5 \times 10^{-3}$, $H = 1.78 \times 10^{-2}$, $R_o = 1000$, $G = 0.22$ であるから、
DC ~ 500 Hz の帯域において $V_3/\ddot{x} = 2 [V/g]$ の感度を得ている。2 g 入力時の振子の不動
点の変位 $\ell\theta$ は(17)より、高々、 $10^1 \mu\text{m}$ のオーダーであり、ストッパーにあたる心配は全くない。検
出可能な最小信号は、図2.2.3の回路が負帰還回路であるから、振子の変位が小さくても、決して

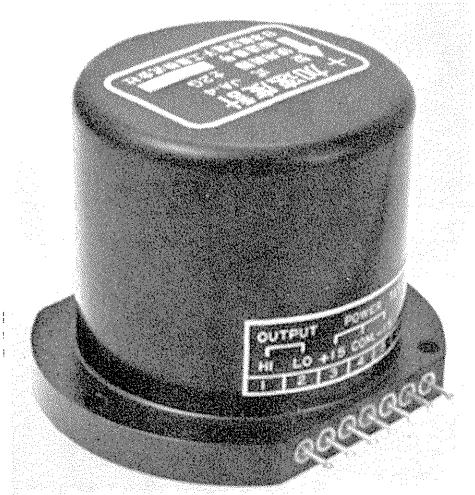


図 2.2.4 変位帰還方式の変換器 (JA-4) の外観。

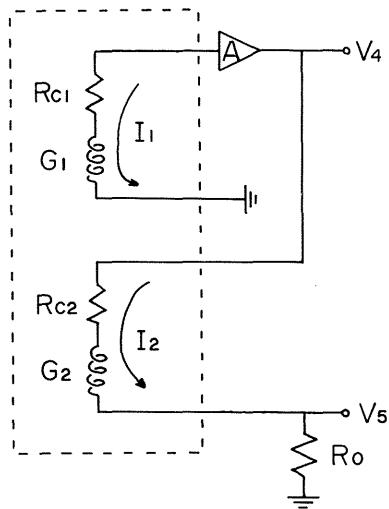


図 2.2.5 速度帰還方式の変換器の電気的等価回路図。 G_1 , G_2 は速度変換器 (動電コイル) R_{C1} , R_{C2} はそれらの内部抵抗。

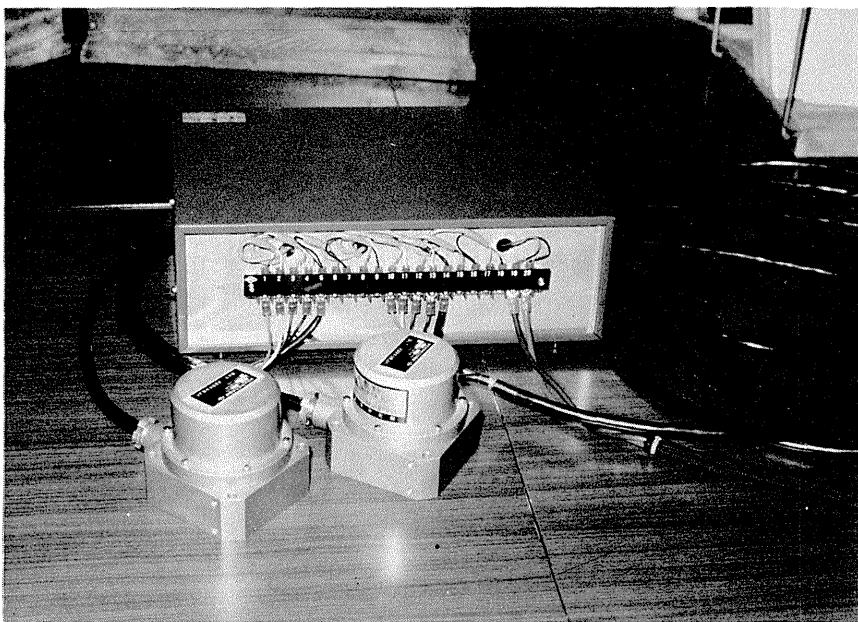


図 2.2.6 速度帰還方式の変換器の外観

悪くない。その理由は高橋(1981)がすでに詳しく論じていて、それによると、カタログには5 m Galの分解能しかないとあるが、実はその1/10以下の信号まで分解している。従って、作動範囲は加速度で、実に130 dBを超える。このことは、変換器に関しては第1章1.3節で述べた地震工学における国際的な要求を満す製品が現実に存在していることを意味する。

III) 速度帰還方式

この方式の振子には変位変換器ではなく、そのかわり2本の動電コイルがつけられている。図2.2.5に回路構成を示す。この図で

$$V_4 = AG_1\dot{\theta}, \quad (20)$$

$$V_5 = I_2R_o, \quad (21)$$

$$I_1 = \frac{G_1\dot{\theta}}{R_{e1} + R_1}, \quad (22)$$

$$I_2 = \frac{V_1 + G_2\dot{\theta}}{R_{e2} + R_o} \quad (23)$$

である。但し、A、R₁は増幅器の利得、入力抵抗である。この時、(1)は

$$K\ddot{\theta} + D\dot{\theta} + U\theta = -MH\ddot{x} - \frac{G_1\dot{\theta}}{R_{e1} + R_1} - \frac{AG_1G_2\dot{\theta} + G_2^2\theta}{R_{e2} + R_o}$$

または

$$\ddot{\theta} + 2\left(h + \frac{AG_1G_2}{2\omega_o K (R_{e2} + R_o)}\right)\omega_o\dot{\theta} + \omega_o^2\theta = -\frac{\ddot{x}}{\ell} \quad (24)$$

となる。但し、hは(6)式のhである。さてここで

$$h_N = h + \frac{AG_1G_2}{2\omega_o K (R_{e2} + R_o)} \quad (25)$$

とおくと、(7)、(16)と同様に

$$(-\omega^2 + j \cdot 2h_N\omega_o\omega + \omega_o^2)\theta = \omega^2 \frac{x}{\ell} \quad (26)$$

を得る。26の左辺()内の各項の絶対値を周波数別に調べると、(1)の油制動方式と同様に $\omega_o / 2h_N \ll \omega \ll 2h_N\omega_o$ の時、第2項が卓越する。この方式は h_N を大きくして、この帯域を観測の対象とする。この時、(8)と同様に、

$$\theta = \frac{\omega}{j \cdot 2h_N\omega_o} \cdot \frac{x}{\ell} = \frac{-1}{2h_N\omega_o} \cdot \frac{\dot{x}}{\ell} \quad (27)$$

と、振子の角変位は地動の速度に比例する。出力 V_5 は $h_N \gg h$ としておけば

$$V_5 = \frac{R_o K}{G_2} \left(-\frac{\dot{x}}{\ell} \right) = -\frac{MHR_o}{G_2} \ddot{x} \quad (28)$$

と、ほぼ(19)と同様の、地動の加速度に比例する出力が得られる。

実際に試作した変換器を図2.2.6に示す。ii)の変位帰還方式とほぼ同様に、記録可能な最大振幅、検出可能な最小信号、大きな振動が入力した時の振子の変位、いずれも問題はない。

2.2 変換器

この強震計の変換器は単に耐震性を要求されているだけではなく、それ以上に、地面の運動に忠実な電気信号を出力することを求められている。この意味でこの変換器の製造には、一般の高感度地震計用の変換器と同程度の精密工作を必要とする。それと同時に耐震性を持たせなければならない。従って、変換器の設計と製作における困難度は一般的のものより大きいといえる。われわれは過去において、いま求められている以上に大きな振動や衝撃をうけても破壊に到らない変換器を製作した経験はあるが(田ら, 1980), これとても、その観測対象はやはり微小な地震動であり、大振幅の地震動を正確に測るのが目的ではなかった。このようなことから、強震計の最も基本となる変換器部分の決定には、先に述べた3方式にもとづいて3機種を試作ないしは購入し、評価を加えて、これらの内から最も適切な変換器を選定する方法を探った。

評価試験の詳細は第3章で述べるが、その要点と、それにもとづくわれわれの変換器の評価結果は次の通りである。油制動方式にもとづいて製作されている変換器の問題点は、制動をかけている油の粘性が温度とともに変化し、(6)のDを変える結果となる点である。すなわちDの変化に比例してhが変わり、それに反比例して、(9)からわかるように、出力V_oが変化する。これを補償するために増幅器の利得に温度特性をもたせるように製作されているが、現実には、そんなに理想的に補償できるものではない。実験によると10°C当り約3%の感度の変化が認められた。また上下動変換器については、温度変化により油の密度が変化することにより浮力も変化し振子の釣合い位置が移動し、出力にドリフトを生じる。このドリフトは実に10°C当り60cm/s相当の大きさと測定された。このような欠点が認められるので、この変換器を気象庁の地震観測点に展開する場合には、なお大幅な改良を必要とする。しかし、その具体的な方法については、見通しが立たない。

速度帰還方式にもとづいた変換器も試作し、評価を加えた。温度試験においては全く問題はなかったが、振動試験の1g近くのレベルにおいて、問題が発生した。変換器を小型にするため、振子にはダイヤフラムバネで支えた直動型を採用した。変換器の受感方向に振動をかけると、きれいな波形を呈し、また受感方向と直交方向に振動をかけると、ほとんど出力はなく、一見、問題はないかのごとく見えた。しかし、受感方向を含む平面内で二次元的な振動を加えると、それまできれいであった波形が、レベルが1g近くなるあたりから加速度的に歪を増し、ついにはS/Nが10dBを割るという現象がひとつの被試体について、再現生をもって、観察された。これは明らかに、用いた振動台の運動の歪ではなく、変換器自身の問題である(詳しくは第3章を参照)。こういう現象のあらわれる理由は次のように考えられる。すなわち、振子にかかる電気的な制動(2.1節の25)を

参照)は、振子の受感方向にのみ有効で、その直交方向には全く無効である。これにより、二次元的に振動を加えた場合、振子が回転する等の運動を生じ、動き易い方向へ、運動が“にげた”ものと考えられる。勿論、これは方式の問題ではなく、用いたダイヤフラムバネの問題である。またこの現象は、微小レベルの振動の測定では、全くあらわれてこない、強震計に特有の現象であり、変位帰還方式にも発生しうる現象である。その対策は、振子の受感方向以外の共振周波数を高くする、すなわち、振子は受感方向以外の方向へはもっと動きにくくすることが必要である。なお、油制動方式の制動は、あらゆる方向に働くのでこのようなことはない。

変位帰還方式にもとづいた変換器は2種類購入した。両者はコスト的には全く同等品であり、またその性能もカタログ上で見る限り、ほとんど同等である。ただ一点異なるのは、JA-4という製品の、出力の零点の温度によるドリフトが1°C当り0.05 Galであるのに対し、他方はその20倍と大きい。この点に納得がいかないので、実際に調べてみたが、両者ともまさにカタログ通りであった。温度ドリフトの小さいのは製造者の製造技術に負うところが大きい。JA-4は振動試験においても問題は生じなかった。受感方向の共振周波数(固有振動数)が500Hzまで高くしてある一方、それ以外の方向での共振周波数の最低は1kHz程度と高いので、二次元振動においてもダイヤフラムバネのような問題は発生しなかった。これらのことと総合して、JA-4をこの強震計にふさわしいものと考える。先にも述べたがJA-4は1981年以降、JA-5という製品に換えられた。JA-5はJA-4と比較して、やや小型になり、かつ分解能は1mGalに、温度ドリフトは30mGal/°Cに、と、良くなる一方、コストは変わっていない。われわれは、時期的な事情から、JA-5の評価は行えなかつたが、その製造工程がJA-4の経験を十分ふまえたものであることからすると、十分使用に耐えられるものと判断している。

2.3 等化增幅器

変換器の出力は地動の加速度に比例している。ところが、要求されている記録の特性は速度比例および変位比例である。記録器の作動範囲は、一般に、增幅回路のそれよりも非常に狭い。例えば、可視記録器等のアナログ記録器は50dB前後、12bitのデジタル記録器でも72dBしかない。この記録器の狭い作動範囲を有効に利用するためには、変換器の出力を所望する特性に等化して記録器に渡さなければならない。

図2.2.7に、等化增幅回路のブロック図を示す。この図における変位比例出力は現用の強震計と全く等しい周波数応答特性が得られるようになっている。図2.2.8は試作した変換器、等化增幅器の外観であり、図2.2.9は等化增幅器のプリント基板である。図2.2.7においてU1~U10は低雑音演算増幅器LM108である。図でU1、U6、U9はいずれも利得1のバッファであり、またU5、U8の利得は周波数に依存せず、それぞれ15.7、7.5前後で半固定である。信号はU6、U8、U9、U10が非反転端子に、その他は反転端子に入力する。上下動変換器に限っては、平衡時にも

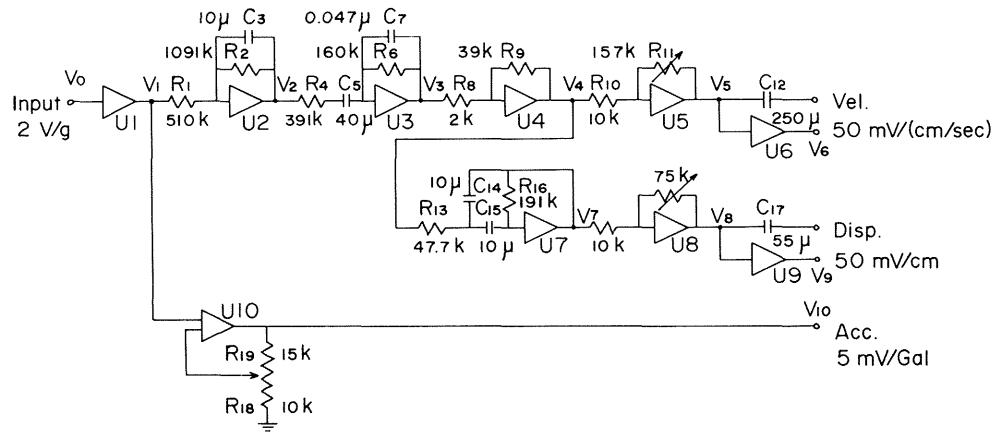


図 2.2.7 等化増幅回路のブロック図

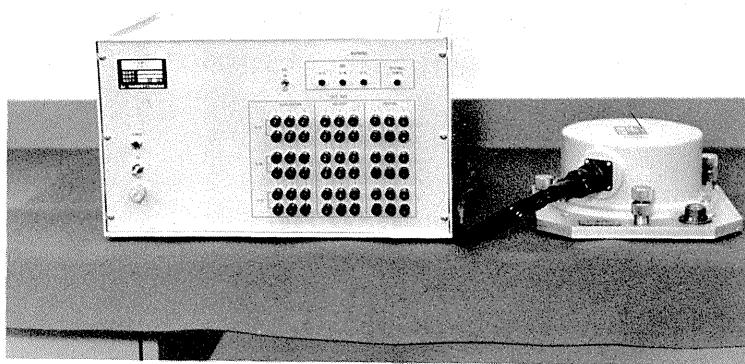


図 2.2.8 変換器(右)および等化増幅器の外観。

変換器筐体の内には図 2.2.4 に示した変位帰還
方式のセンサーが 3 方向、収納されている。

1 g に相当する 2 V が出ているので、この電圧をキャンセルするための回路がU 1の周辺に付加されている。以下では、この回路の周波数応答の解析を行う（例えば柳沢、金光、1973）。

一般に、演算増幅器を用いて図2.2.10のように、すなわち、反転入力端子に四端子回路網で言うところのアドミタンス行列が Y_a である回路を接続し、そして帰還路にアドミタンス行列が Y_b である回路を接続すると、伝達関数 $H(j\omega)$ は

$$H(j\omega) \equiv \frac{V_1}{V_0} = -\frac{y_{12a}}{y_{12b}} \quad (1)$$

で与えられる。ここに、 j は虚数単位、 ω は角周波数、 y_{12a} 、 y_{12b} はそれぞれ、アドミタンス行列 Y_a 、 Y_b の(1,2)成分をあらわしている。さらに図2.2.11のような場合は(1)の関係はもっと簡単

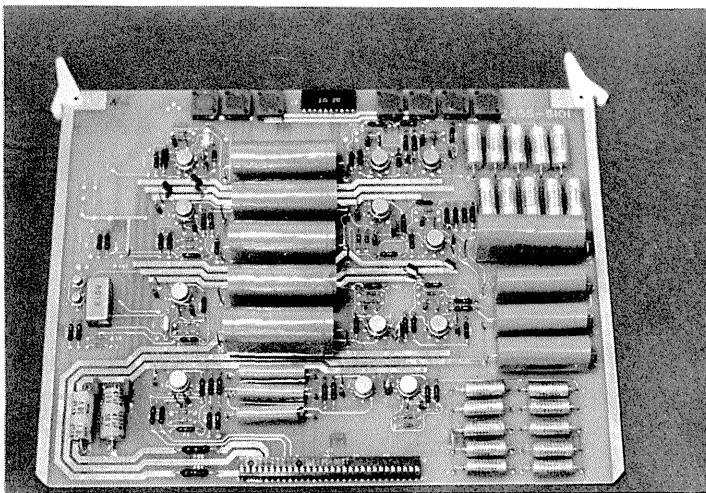


図2.2.9 等化増幅器のプリント基板。図2.2.8
の左側の筐体に収納される。この基板1枚で、
図2.2.7に示した回路を構成している。

化され

$$H(j\omega) = -\frac{Z_b}{Z_a} \quad (2)$$

で表わされる。ここで Z_a 、 Z_b は図2.2.11に示した素子のインピーダンスである。このことはインピーダンス Z の二端子回路を四端子回路網的に見なおすとき、 $y_{12} = -1/Z$ の関係にあることから明らかである。

また、演算増幅器を用いて図2.2.12のように回路をくみ、反転端子に入力することもできる。但

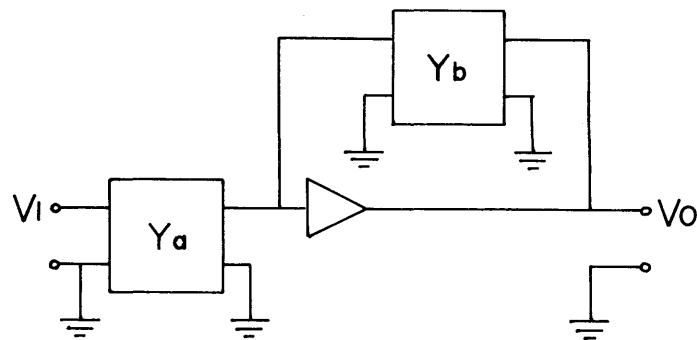


図 2.2.10 演算増幅器で单一帰還回路
を構成した時のブロック図

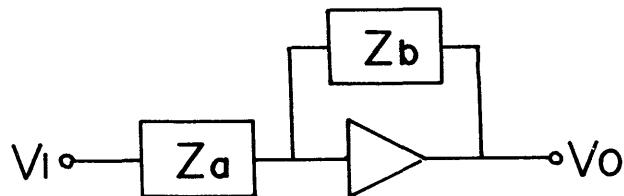


図 2.2.11 簡単な单一帰還回
路のブロック図

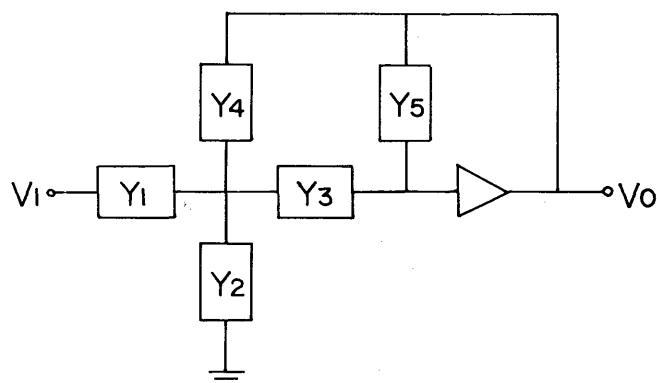


図 2.2.12 多重帰還回路のブロック図

し Y_i ($i=1 \sim 5$) は素子のアドミタンスすなわち、インピーダンスの逆数である。図 2.2.10, 図 2.2.11 の回路では帰還路が 1 本であるから、单一帰還回路と呼ばれるのに対し、この回路は複数の帰還路を有しているので、多重帰還回路と呼ばれる。その伝達関数 $H(j\omega)$ は

$$H(j\omega) = \frac{-Y_1 Y_3}{Y_5 (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) + Y_3 Y_4} \quad (3)$$

で与えられる。(1)～(3)において、 $H(j\omega)$ の絶対値が入出力電圧の比をあらわし、その偏角が位相ずれに相当する。

单一、および多重帰還回路を比較すると、一般的に言って、回路素子数の最小化、特性の調整の容易さにおいて後者が優り、高利得の実現、回路素子値の最小化、高いQの実現性、入力合成の容易さにおいて前者が優る。特性の安定性は同等である。

さて、図 2.2.7において U_1 の利得は 1 であるから

$$\frac{V_1}{V_0} = 1 \quad (4)$$

は当然である。(2)を用いて次の関係が得られる。

$$\frac{V_2}{V_1} = -\frac{1}{C_3 R_1} \cdot \frac{1}{j\omega + \frac{1}{C_3 R_2}} \quad (5)$$

$$\frac{V_3}{V_2} = -\frac{1}{C_7 R_4} \cdot \frac{j\omega}{\left(j\omega + \frac{1}{C_5 R_4}\right) \left(j\omega + \frac{1}{C_7 R_6}\right)} \quad (6)$$

$$\frac{V_4}{V_3} = -\frac{R_9}{R_8} \quad (7)$$

$$\frac{V_5}{V_4} = -\frac{R_{11}}{R_{10}} \quad (8)$$

U_6 の利得は 1 であるから

$$\frac{V_6}{V_5} = 1 \quad (9)$$

である。 V_7/V_4 は(3)を用いて

$$\frac{V_7}{V_4} = -\frac{R_{16}}{R_{13}} \cdot \frac{C_{15}}{C_{14} + C_{15}} \cdot \frac{\left(\frac{1}{C_{14}} + \frac{1}{C_{15}}\right) \frac{1}{R_{16}} (j\omega)}{(j\omega)^2 + \left(\frac{1}{C_{14}} + \frac{1}{C_{15}}\right) \frac{1}{R_{16}} (j\omega) + \frac{1}{C_{14} C_{15} R_{13} R_{16}}} \quad (10)$$

を得る。ここで U 7 周辺の回路は図 2.2.12において $Y_2 = 0$ の状態に相当していることを利用している。U 8, U 9 の利得はそれぞれ 7.5, 1 であるから

$$\frac{V_8}{V_7} = 7.5 \quad (11)$$

$$\frac{V_9}{V_8} = 1 \quad (12)$$

を得る。U 10 は非反転端子入力であり、上では述べなかったが、簡単な解析により

$$\frac{V_{10}}{V_1} = \frac{R_{18} + R_{19}}{R_{18}} \quad (13)$$

であることがわかる。

(4)～(13)の関係式を用いて、各々の演算増幅器がどのような動作をしているのか、考察する。まず U 1 は、図 2.2.7 には描かれていないが、システムの総合チェックを行う時、このままで過大な電圧が出力される、それを適正なレベルにまで下げるためにチェック時の利得を下げる働きと、先に述べた上下動変換器の平衡時の出力をキャンセルする働きを行っている。U 2 は $1/2\pi C_3 R_2 = 0.0146 \text{ Hz}$ 以上の帯域を積分する。U 3 は $1/2\pi C_5 R_4 = 0.010 \text{ Hz}$ 以下の帯域と $1/2\pi C_7 R_6 = 21.2 \text{ Hz}$ 以上の帯域における利得を抑圧する。U 2 と U 3 を総合して、0.02～20 Hz で信号の積分を行い、理想的な積分特性からのずれが 0.02～20 Hz で 3 dB 以内におさまるようになっている。0.02 Hz に二重の極を設けることをあえてしなかったのは、周波数応答を急峻にすることによりインパルス応答が振動的になるのを避けたからである。また、0.02 Hz を帯域の下限に設定したのは、1.2 節でも述べたが、変換器の雑音レベルと、デジタル記録時の A/D 変換の量子化雑音のレベルが同等になるのがこの周波数だからである。U 4 で $R_9 / R_8 = 19.5$ 倍して更に U 5 で 15.7 倍して $50 \text{ mV} / (\text{cm} / \text{s})$ の感度を有する速度比例出力を得る。なお、U 5 には各素子の偏差による利得の偏差を微調整して、感度を最終的に合わせこむ働きもある。図 2.2.13 にレベルダイヤグラムを示し、また図 2.2.14 には各段階での周波数応答を示す。

U 7 は速度比例の信号 V_4 を $1/6 \text{ Hz}$ 以上の帯域で更に積分する働きをしている。(10)で示された V_7 / V_4 の関係式に各素子の定数を代入して周波数応答を計算して図 2.2.15 に示す。この図からもわかるように応答は $1/6 \text{ Hz}$ に二次の極を有し、 $Q = 1$ (従って、減衰定数 $h \equiv 1/2Q = 0.5$) の特性を呈している。このために変位比例出力の周波数応答は現用の機械式強震計と全く等しくなり、両者の記録の間に互換性、連続性が保たれる。U 8, U 9 でそれぞれ 7.5, 1 倍されて、 50 mV/cm の感度を有する変位比例出力を得る。U 8 には感度の微小調整機構が付加されている。レベルダイヤグラム、および各段階で周波数応答をそれぞれ図 2.2.16, 2.2.17 に示す。

図 2.2.7 の U 10 は 5 mV/Gal の感度を有する加速度比例出力を得るために、2.5 倍の非反転増幅回路である。この図には描かれていないが 20 Hz 以上の帯域を抑圧するようになっている。この

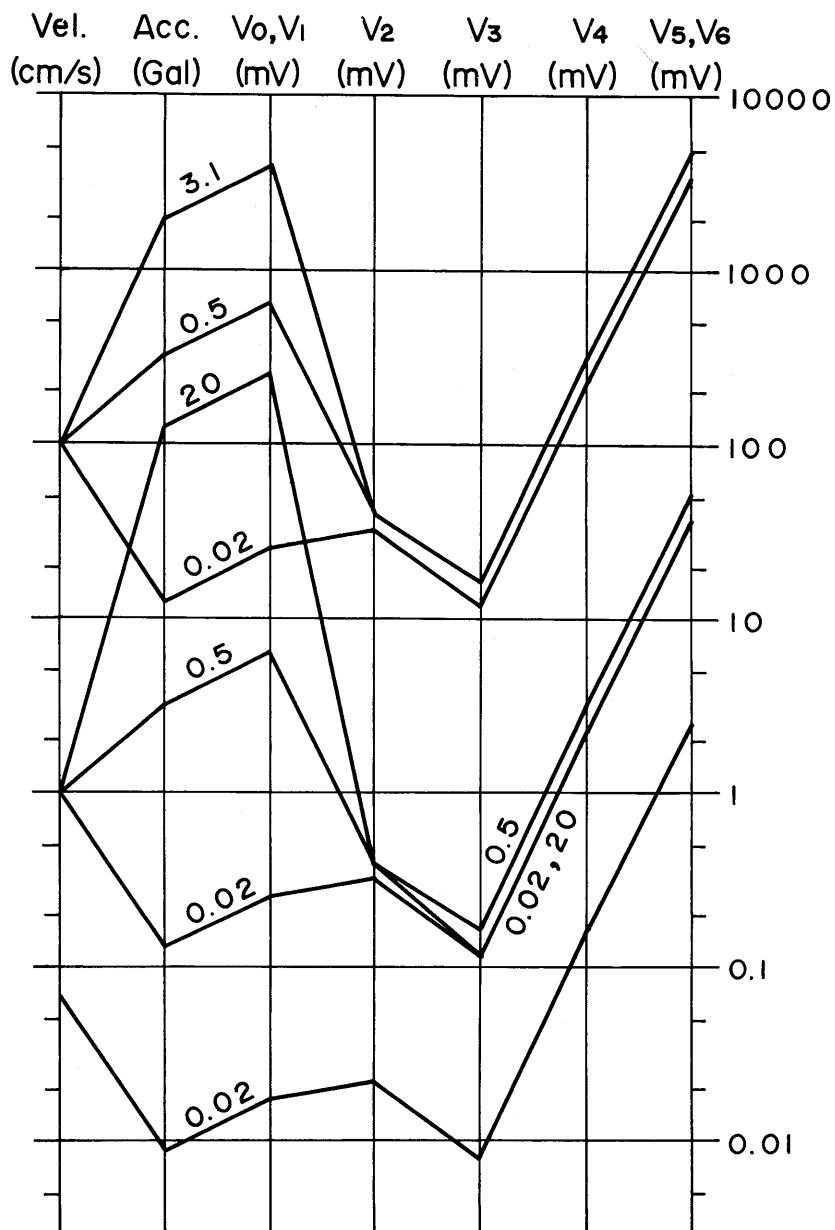


図 2.2.13 速度比例出力を得るまでのレベルダイヤグラム。
 $V_0 \sim V_6$ は図 2.2.7 を参照。図中に挿入した数字
 は周波数 (Hz) を示す。

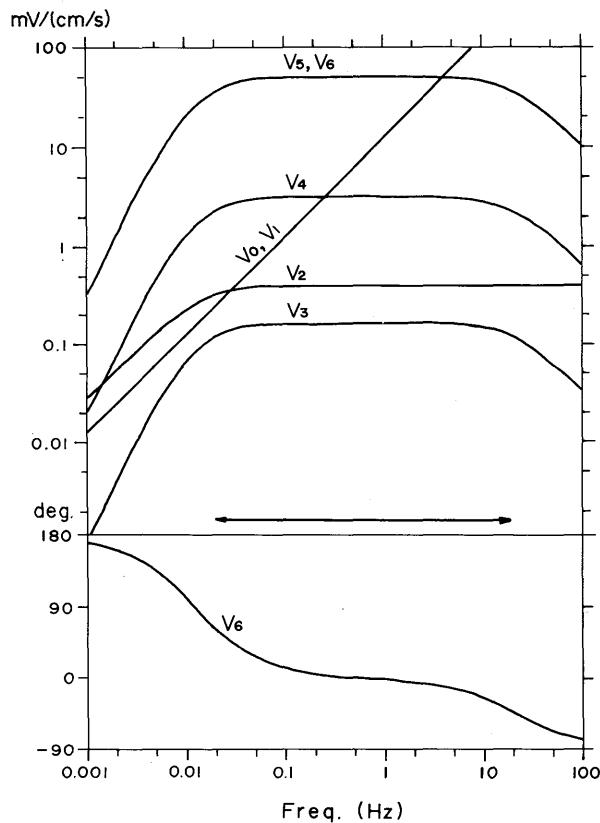
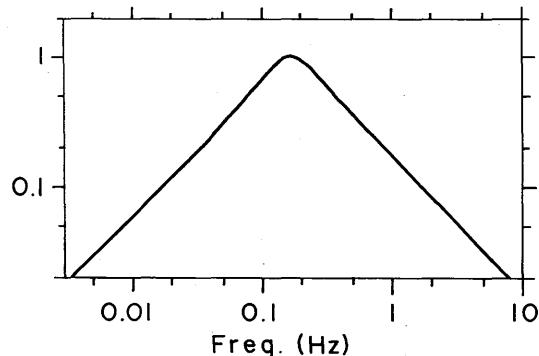


図 2.2.14 速度比例出力を得るまでの各段階（図2.2.7参照）における周波数応答。上段が振幅応答で下段が位相応答。中央の矢印は観測対象の周波数帯（0.02~20 Hz）を示す。

図 2.2.15 U 7（図2.2.7参照）周辺の回路の周波数応答 V_7/V_4 。縦軸は相対利得。



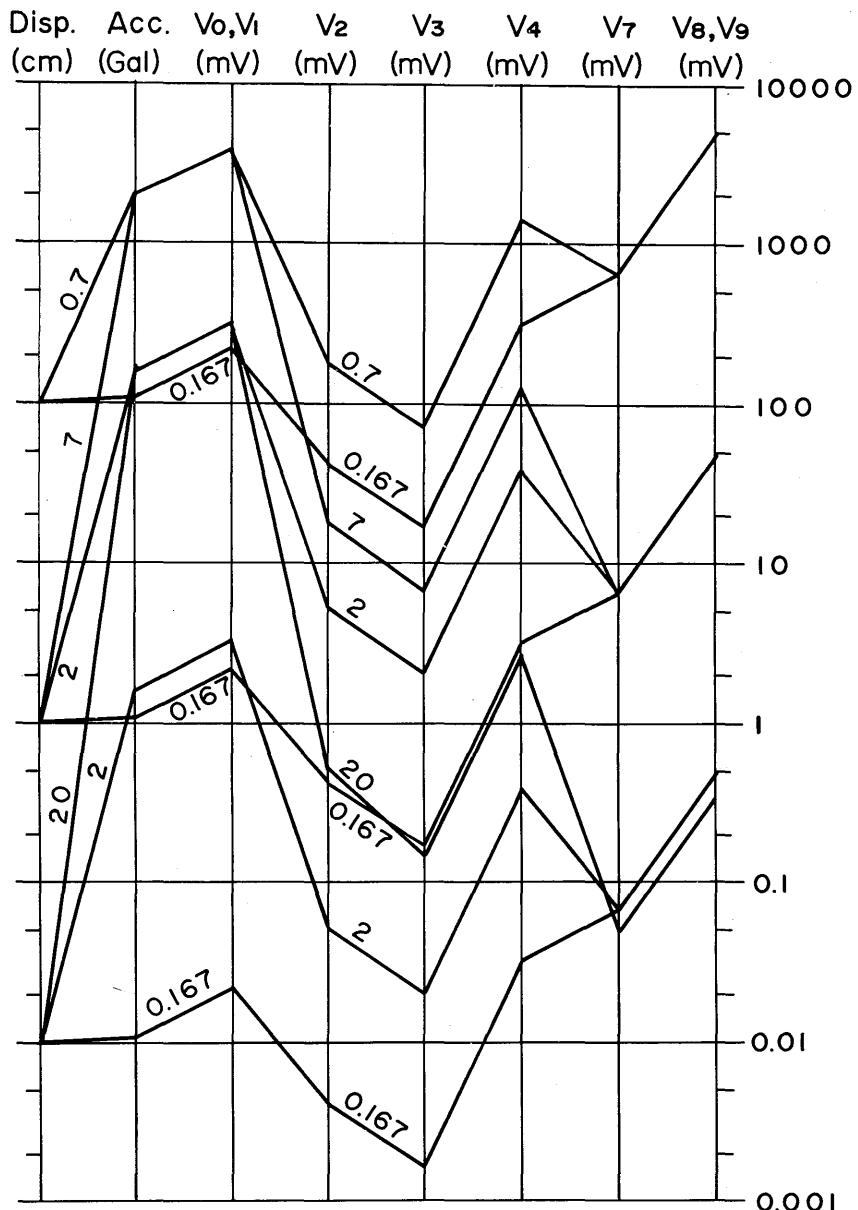


図 2.2.16 変位比例出力を得るまでのレベルダイヤグラム。

$V_0 \sim V_4, V_7 \sim V_9$ は図 2.2.7 を参照。図中に挿入した数字は周波数 (Hz) を示す。

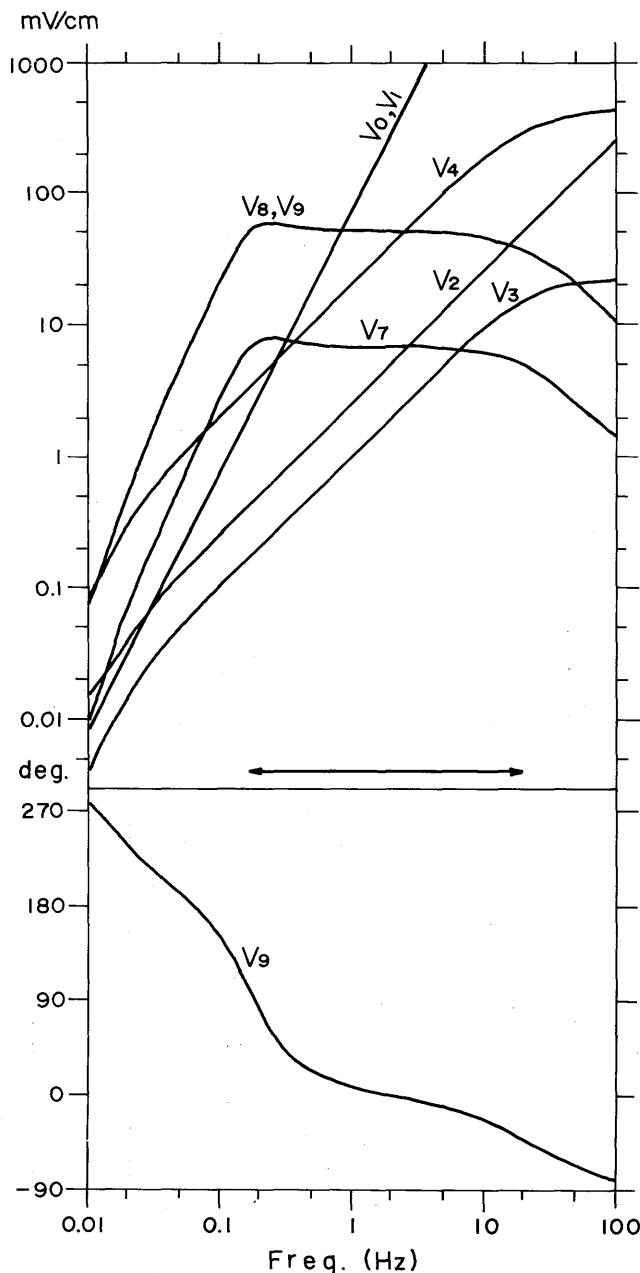


図 2.2.17 変位比例出力を得るまでの各段階（図 2.7 参照）における周波数応答。上段が振幅応答で下段が位相応答。中央の矢印は観測帯域の周波数帯 ($1/6 \sim 20$ Hz) を示す。

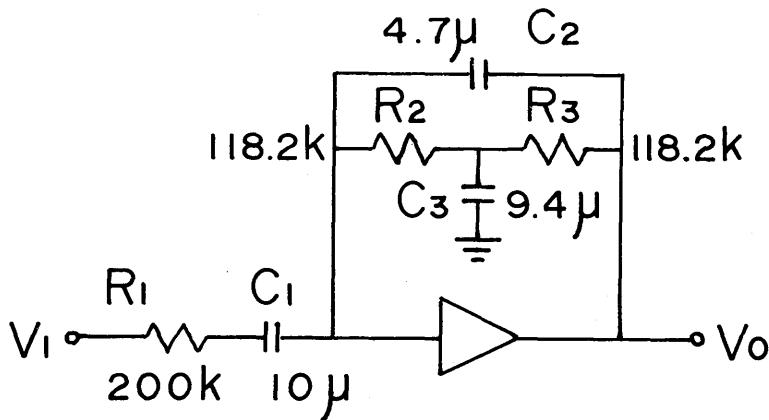


図 2.2.18 ブリッジ T型 R C 回路を帰還路に挿入した

積分回路。入出力電圧の関係は一般的には(14)で与えられるが、 $R_2 = R_3$ 、 $C_3 = 2C_2$ 、 $C_1R_1 = C_2R_2$ の場合には(15)と、簡単になる。この図に示された素子値は津波予報精度の向上を配慮した、ひとつの案であり、上の関係は満していない。

強震計は加速度を計測の対象としていないので、この出力の記録器は検討していない。せっかく加速度比例の信号がそこまで来ているので将来、何かあった時のためにという単純な理由から、基本的にはこの出力をとりだす方針を探った。

さて、筆者らは第1章1.2節の後半において、津波波高の予測精度の向上に応急的に貢献する周波数応答はどんな特性であるべきかについてふれた。そこで二・三の案を示した。これらの案を具体的に電子回路で実現するためには図2.2.12または(3)に示した多重帰還回路、あるいは図2.2.18に示す、帰還路にブリッジ T型 R C 回路を挿入した单一帰還回路を応用して実現できる。図2.2.18の場合には

$$\frac{V_0}{V_1} = -\frac{C_3R_2R_3}{C_2R_1(R_2+R_3)} \cdot \frac{\frac{1}{j\omega + \frac{1}{C_3(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3})}}}{\frac{1}{j\omega + \frac{1}{C_1R_1}}} \frac{\frac{1}{C_3}\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)(j\omega)}{(j\omega)^2 + \frac{1}{C_3}\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)(j\omega) + \frac{1}{C_2C_3R_2R_3}} \quad (14)$$

の関係があるから、 $R_2 = R_3$ 、 $C_3 = 2C_2$ 、 $C_1R_1 = C_2R_2$ と設定すると(この図に示された素子値は、これらの関係は満していない)

$$\frac{V_0}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{2h\omega_0 (j\omega)}{(j\omega)^2 + 2h\omega_0 (j\omega) + \omega_0^2} \quad (15)$$

という関係を得る。ここで $\omega_0 = 1/\sqrt{2} C_1 R_1$, $h = 1/\sqrt{2}$ である。この式は固有角振動数 ω_0 [rad/s], 減衰定数 $1/\sqrt{2}$ の振子の伝達関数と等しい。(3)あるいは(15)は回路設計においてよく利用される関係式である。

この強震計の製作にあたって、実際に製作した変位比例出力を得るために積分回路における素子の値を図2.2.18に示し、またその周波数応答を(14)にもとづいて計算し図2.2.19に示す。この回路は

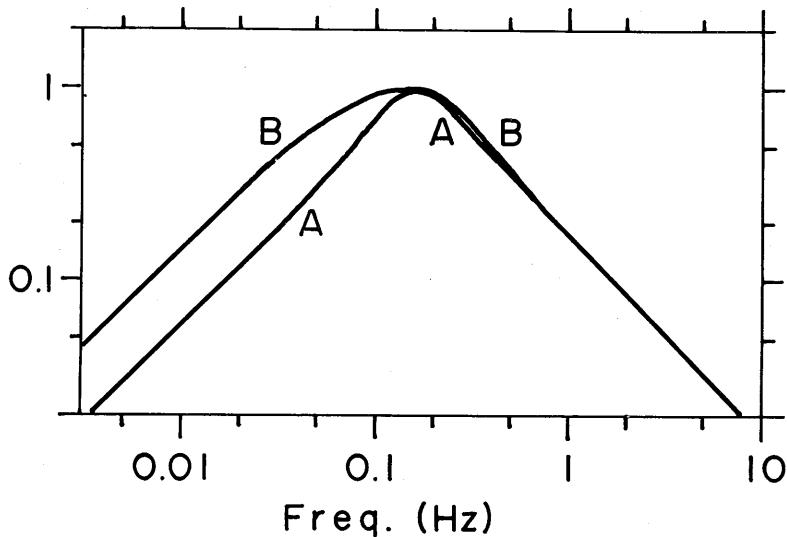


図2.2.19 図2.2.15に示した V_7/V_4 (A)

と図2.2.18に示した回路による V_0/V_1 (B)との比較。いずれも相対利得。

$1/6$ Hz 以上の帯域における振幅応答を、現用地震計の応答にできるだけ似せた点が特徴である。そして $1/6$ Hz 以下では結果的に、固有周期 9.4 秒、減衰定数 0.8 の振子の応答に近似でき、 $1/10$ Hz 以下における利得が、約 8 dB 大きくなっている。この程度の特性の変更は現在の津波予測技術の手順に重大な変更をきたすものとはならないと考えられる。念のために書きそえるが、図2.2.19の特性は、単なるひとつの案にすぎず、更に望ましい特性はなお、検討を要する。

変換器から記録器に到るまでの、強震計全システムの動作チェックを簡単に行うための機構(接点)を設けた。この接点を手動または遠隔操作により、閉じることにより、変換器の振子に外力を加えることができる。あらかじめ一定の方法でこの接点を閉じ、その時の出力波形を記録しておく。定期的にこの操作をくり返し、出力波形を比較することにより、特性に変わらないかどうかチェックできる。例えば

図2.2.20は、接点をちょうど1秒間だけ閉じた時、出力される波形を示す。

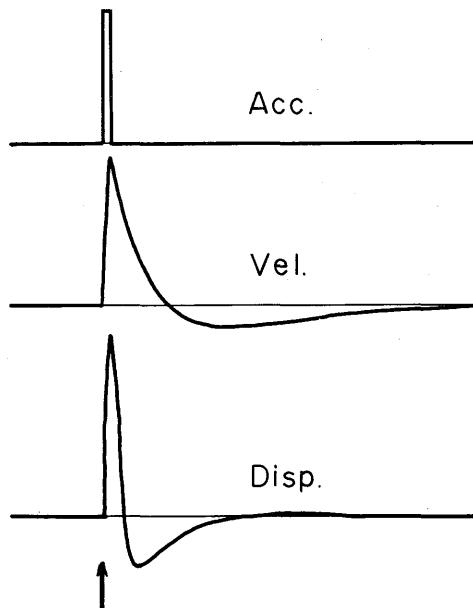


図2.2.20 試作した変換・等化增幅
器のチェック端子を1.0秒間閉じ
た時に出力される波形

試作器に温度試験および振動試験を行った。温度を -5°C から 40°C まで変化させて利得の温度感度を測定したところ速度、変位いずれの出力も $+10^{\circ}\text{C}$ の変化当り約 $+0.1\text{ dB}$ という結果を得た。また位相の変化は 40°C 当り 1° 以内におさまっている。これらは十分満足のゆく値と評価できる。振動試験において、上下動成分の等化增幅回路を搭載した1枚の基板に小さいながら、雑音が観測された。それは10数Hz以上の周波数で1g近くの高レベルで加振する時、現れ始め、その周波数は加振周波数に等しく、またS/Nは35dB程度である。われわれは雑音の発生箇所の追及を行ったが時間の制限もあって、ある狭い範囲内においこんだにとどまった。この雑音の原因是、いずれにしろ、他の基板にはそのような雑音は全く現れないことから、その基板の製造上の何らかの小さな不具合が基板の共振周波数(25~26Hz)近くで露見してきたものと考えられる。事実、基板を手でおさえて防振効果をもたすと、雑音は消えてしまう。納入検査において発見できない程度の小さな不具合が、こうして雑音の原因となることは問題であるから、基板に防振装置をとりつけるという対策を施すべきである。

3. 記録器

3.1 アナログ記録器

強震発生直後に行われる、津波予報を目的とした処理のために、耐震性にすぐれたアナログ式インク書き可視記録器を開発した(図2.3.1)。これは、地震観測においてよく用いられるヘリカル・レコーダで、実時間の波形が連続的に描かれる。耐震性への配慮のため、重量のあるガルバノメータを固定し、比較的軽い回転ドラムを横方向に移動させる。そして、そのドラムの脱落を防ぐため図2.3.2に示す工夫を施した。この機構は90°回転する“軸押え”を“レバー”でとめ、その“レバー”を更に“板バネ”つきのストッパーでおさえた構造をしている。ペンの長さは15cmで、ガルバノメータの回転角との関連で2.5cmの振幅まで直線性が保たれる。上下動加速度によるペンの浮き上りを防ぐため、0.8～0.9gのペンを1g重の力で記録紙に押さえつける。まさつによる不感帶をなくすため、ガルバノメータには 2.4×10^6 dyne・cm/radの高トルクをもつ機種を選んだ。

紙おくり速度は30mm/min、ピッチは1.25mmで、ドラムが一周するのに25分かかる。記録紙交換は1日1回である。これらのパラメータは設計変更も可能であるが、どのように設定するかは運営上の問題である。感度は1cm/50mVで、増幅器の感度は50mV/cmであるから、最終的に1cm/cmすなわち1倍の変位比例記録が得られる。可視記録の振幅が22mmを越えると感度を自動的に1/5に下げる。この場合、約60秒後にもとの感度に復帰する。また、アナログICを用いて、水平動2成分の合成最大振幅をもとめ、表示する機構を設けた。表示は0～999mmまで1mmきざみの3桁であり、手動によりリセットするまで、それまでの最大値を保持しつづける。

自動利得制御(AGC)は、それを実際に採用することが有効かどうか、検討するために設けた。AGCは、記録器の作動領域を広げる点で、有効であることが多い。しかし、一般に可視記録の場合、特に、それが強震直後に行われるべき緊急的な処理においては、その有効性は疑わしい。むしろ、記録された振幅を誤まって過小評価する危険の方が大きく、また、表示回路により最大振幅が表示されていることでもあるし、われわれは、AGCは採用すべきでないと判断する。

紙おくりの駆動力源には停電対策の容易さとモーターの寿命の面を考慮して、DCブラシレスパルスモーターを採用した。市販のモーターに駆動回路も付加されているので、そのまま使用したところ、紙おくり速度の一様性は 10^{-4} /hourと、ACシンクロナスマーターと比べて若干劣ったが、このことにより験測作業の効率が低下するとは考えられない。

試作したアナログ記録器の環境温度を0°Cから40°Cまで変化させて感度の変化を調べた。一般に、可視記録の振幅のよみとりには比較的大きな誤差を伴い、精度はよくないが、その誤差の範囲内(1%程度)で感度の変化は認められなかった。ドラムの回転周期は33ppm/°Cの割合で長くなる。すなわち、0°Cにおいて25分0秒で1回転していたものが、40°Cにおいては25分2秒かかった。これはRC発振回路にすれば通常の値と評価できる。



図 2.3.1 アナログ式インク書き可視記録器
(右)と増幅器

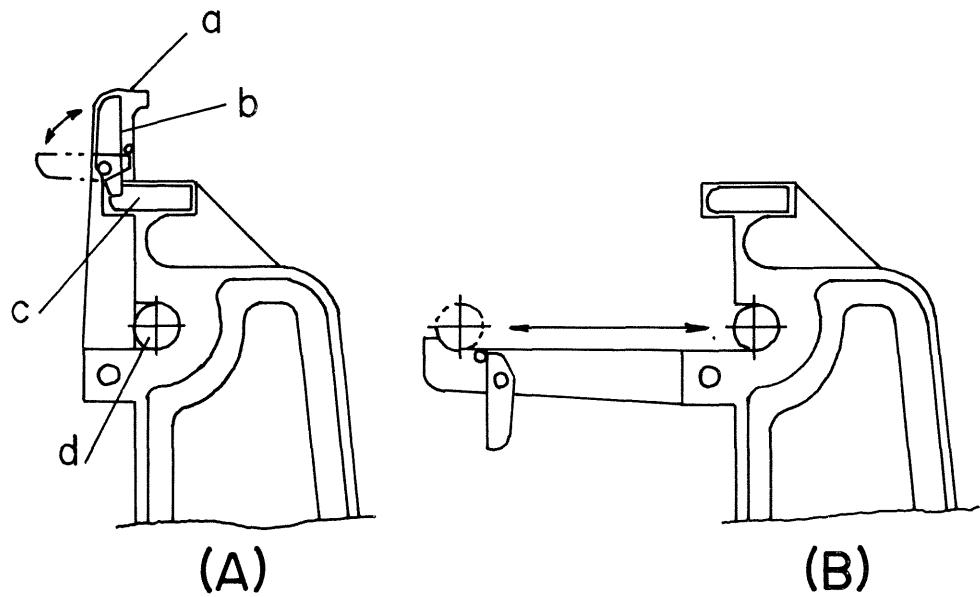


図 2.3.2 アナログ記録器のドラムの脱落を
防止する機構。a : 軸押え, b : レバー,
c : 板バネ, d : ドラム軸。

ドラムの機械的共振周波数の最低は 8.5 Hz 付近にあった。2 g までかけた振動試験において 7 Hz 以下では異常はほとんど認められない。8 Hz 位から次第にギアのバックラッシュにより、記録線がやや太くなるのが認められたが、復旧不可能な障害は勿論、ペンが浮き上る等の現象は認められなかった。詳しくは第3章で述べる。

3.2 ディジタル記録器

0.02~20 Hz という広い帯域をもった速度比例出力は、記録の質を保ち、かつ処理の便宜をはかるため、振幅の動作範囲の広いディジタル形式で記録する。そのディジタル化されたデータの記録には、色々な媒体を検討したが、先にも述べた理由でカセット式ディジタル磁気テープを採用した。AD変換器、遅延回路、トリガー回路、時計等を含む、周辺回路をも同一筐体内に搭載したディジタル記録器を製作した。図2.3.3にその外観を示す。アナログ形式の地震信号3成分と時計信号1成分はマルチプレクサで順次切替えられ、AD変換器によりディジタルデータに変換される。標本化周波数は1成分当たり60 Hz、変換精度は12ビットである。これらのデータは10秒間だけRAMに貯えられる。地震が発生したかどうかの判定はアナログ入力の第3チャンネル、すなわち上下動成分の信号が用いられる。単に振幅レベルの大きさのみで地震かどうかの判定を行う論理にしてあるが、单発パルスによる誤動作を防ぐため、相次ぐ5標点がすべて、設定レベルを上回った時、はじめて、トリガーされるようにした。また、入力するアナログ電圧にオフセットがあると、この判定論理はうまく働かないで、あらかじめデータの平均処理を行うことにより、実質的にオフセットを除去

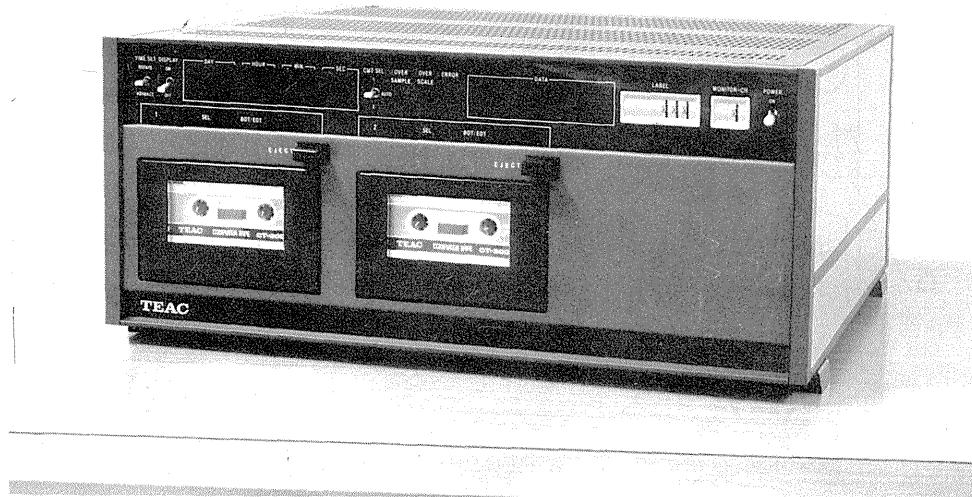
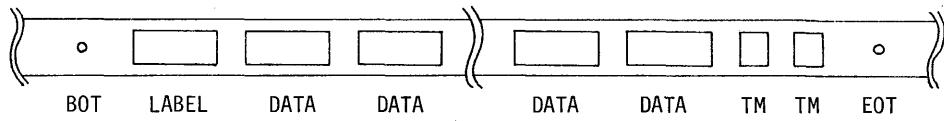


図2.3.3. ディジタル記録器の外観

する処理も行つてある。

トリガーがかかるとその10秒前のデータから順に磁気テープに書かれるが、その形式を図2.3.4に示す。データ1個当たり12ビットの情報量を有しているが、処理の便宜のため、および、将来にお



LABEL	BLOCK	BYTE	DATA	BLOCK
0	0	1	CH	1
0	2	2		1
0	0	3		2
0	L ₁	4		2
L ₂	L ₃	5		3
0	0	6		3
0	0	7		4
0	N	8		4
0	0	9		1
0	8	10		1
0	0	11		2
0	4	12		2
0	0	13		3
0	0	14		3
0	1	15		4
0	0	16		4
0	D ₁	17		1
D ₂	D ₃	18		1
H ₁	H ₂	19		2
M ₁	M ₂	20		2
S ₁	S ₂	21		3
0	0	22		3
0	0	23		4
0	0	24		4
.	.	.		.
.	.	.		.
.	.	.		.
0	0	255		4
0	0	256		4

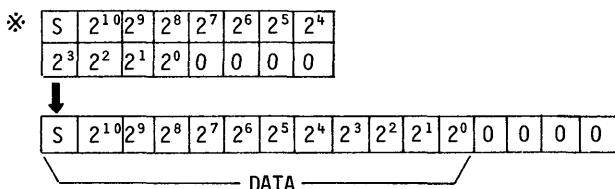


図2.3.4 カセット式ディジタル磁気テープ上に書かれるラベルおよびデータのフォアマット。

BOT：磁気テープの始端、TM：テープマーク、EOT：磁気テープの終端、L₁L₂L₃：地点番号、N：ボリューム番号（左側の磁気テープ装置は1、右側は2）、D₁D₂D₃：1年の通算日、H₁H₂：時、M₁M₂：分、S₁S₂：秒（トリガーのかかった時刻）。

いてより高精度のAD変換を行えるようになった時のために、あえて2バイト16ビットの領域を、このデータの記録のためにとっておく。2の補数形式であらわされたデータのMSBから8ビットが上位バイトに、その次のビットからLSBまでの4ビットが下位バイトの上半分に入り、残りは常に0となっている。標本点の順に、そしてアナログ入力のチャンネル番号順にデータが並べられるので、1ブロック256バイト中に32標本点、すなわち32/60秒分のデータを記録する。カセットテープ片面には920前後のブロックを収録可能なので、8分間強の波形データを記録できることが、計算するとわかる。なお、BOTの次の最初のブロック(ラベルブロック)にはテープの識別情報が書き込まれる。この場合の識別情報には3桁の地点番号、トリガーのかかった日、時、分、秒の値等がある。

磁気テープ装置の機構部はMT-2と呼ばれるTEAC社の製品で、最も実績のある装置のひとつであり、これが2台組み込まれていて、2回分のトリガーまで収録することができる。磁気テープ上の記録形式は位相変調方式、記録密度は800 bpiと、IRGに関する条件、および使用されているコードがISOおよびJIS規格に準拠しているので汎用の小型計算機に入出力装置があれば直接アクセスできるのが特長である。カセットテープにはCT-300を用い、A、B両面を反転して使用できる。

装置の前面パネルには時刻情報を表示するほか、任意のアナログチャンネルの入力電圧値、あるいは自己診断機能によるエラー情報をも表示できるようにして保守を容易にした。

試作したデジタル記録器に2gまでの振動を与えてその耐震性を評価した。2kGal^{P-P}あたりで表示が消えるトラブルが発生したが、これは基板と本体との間の接触不良であることが判明した。しかし、この時でも得られたデータは全く正常であった。この装置の実際のセットにあたっては、簡易な耐震機構を施した方が無難である。

環境温度は40°Cから-15°Cまで変えて評価したが、第3章でも述べるように、全く問題は発生しなかった。

ここで、AD変換の精度について検討してみる。一般に強震計の場合、考えられるどんな大きな強震動をも、飽和することのない記録を得るという至上の命題のため、記録器の振幅の動作範囲の上限を、非常に大きなレベルに設定する。従って、記録しうる最小信号はAD変換器のビット数に直接関係する。例えば、この強震計の場合、±100cm/sを12ビットでAD変換するので量子化間隔は0.0488cm/sである。AD変換器が理想的に働いた場合には量子化雑音は±0.0244cm/sであるが、一般に、雑音により更に±1/2~1 LSBは悪くなるのが通例である。ところで、地震動が人体で感じられ始めるレベルは0.8 Galまたは0.13cm/s程度と言われている(村松, 1969)。従ってこの、有感になるかならないかの地震動下で、この強震計により得られる波形データは数ディジットに過ぎず、とても解析に耐えるものではない。これは決して望ましいことではなく、AD変換のビット数をもっと多くすべきである、との主張がでてくるのも当然かもしれない。事実、北

海道大学耐震工学研究室で開発した強震観測装置（太田ら，1981）や、土木研究所における高密度強震観測施設（大久保ら，1981）においても16ビットのAD変換器が採用されている。これらの強震計は工学的目的の強いもので、2 gまでの加速度比例の記録を得ることを目的としたものである。速度比例出力を得るわれわれの強震計の記録の1ディジットは1/50 Hzにおいて、6 mGalであるのに對し、上で述べた2つの強震計の場合には、その10倍程度と悪い。もっとも、これらの強震計は50秒もの長周期波動の観測を目指しているものではないが。

AD変換のビット数を大きくすることには確かに価値がある。それは、強震の記録をとる機会を指數的に増大させ、また大振幅の記録の場合には、解析における精度を向上させる。このための障害は現在ではもう、コスト以外には見出せないが、技術革新の目覚ましい昨今、低コストで16ビットの変換が実現できる日は遠くないと考えられる（竹田ら，1982）。その時には是非とも16ビットを採用すべきである。その変更により、処理、その他には全く混乱は生じない。

3.3 時刻情報の記録

正確な時刻の情報は場合によっては得られた波形データにまさるとも劣らない価値を有する。従って、近年開発されている強震計はどれを見ても非常に高精度の時計を用意し、J J YあるいはN H Kの放送で自動的に調整している。しかし、この強震計の場合にはその運用上の形態から、観測点には十分管理された良い時計がすでにあると期待できる。従って、用意した水晶発振器は公称 2×10^{-6} の精度と、決して良くない。AD変換の標本化周波数の制御にはこの水晶が用いられるが、これにはこの程度の精度で十分である。磁気テープのラベルブロックに書き込まれるトリガー時刻の情報は、この水晶による時計にもとづいているので、その秒の位は震源計算等の正確な時刻を必要とする処理には全く使えない。正確な時刻は第4チャンネルに入力されたタイムマークを参照すべきである。

4. 処理・解析装置

4.1 ミニ・コンピュータ

いわゆるミニコンにはカセット磁気テープ装置を入出力装置として採用できる機種がある。従つて、それを使用して強震計のデジタル記録をミニコンで直接的に処理できる。そのためのプログラムをFORTRAN言語で作成した。これについては6節で詳しく述べる。

4.2 パーソナル・コンピュータ

デジタル記録の処理・解析装置としてミニコンの他に、表2.4.1に示す、いわゆるパソコンを提案する。これらはすべてTEAC社製（一部渡辺測器製）のカタログ製品である。PS-80はCPUにZ-80を用い、ROMを12 kB、RAMを48 kB実装していて、BASIC言語を利用でき、

CRTディスプレイおよびキーボードが装備されている。これに、プリンタとプロッタを増強すると、相当高度な解析が行える（図2.4.1）。6節には、以上の構成で実行できるプログラムを載せてある。

PS-80は米国TANDY RADIO SHACK社のTRS-80という機種を母体にして、デジタル式カセット磁気テープも読み書きできるようにと考えて開発された機種である。TRS-80は日本においては、今ひとつ“人気”はでなかつたが、その広い拡張性、豊富なソフトウェアが高く評価されているものである。PS-80は、これらの特徴をひきついでいるので、強震動の波形データのみならず、他の分野のデータ処理においても有効である。

この装置を更に増強する場合には、表2.4.2に示した場合が考えられる。目的にあわせて適宜、増強してゆけばこの装置は更に有効なものとなろう。この他にもデジタル入出力、GPIB、アセンブラー等の増強が可能であるが、詳しくはPS-80の取扱説明書を参照されたい。

なおPS-80は今後、PS-85という上位機種にとって代られるものと思われる。ソフトウェアその他には完全な互換性があり、処理速度も2倍程度速くなると期待できる。

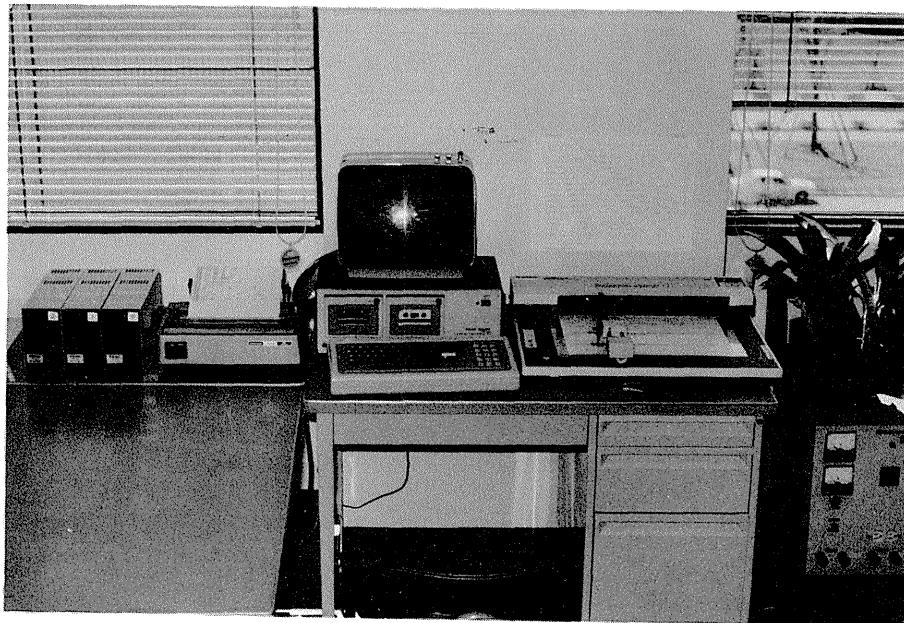


図2.4.1 パーソナル・コンピュータの外観

表 2.4.1 処理・解析装置一覧

品 名	型 名	主 な 仕 様	備 考
パーソナル・コンピュータ	P S - 80	R A M 48kB, カセット磁気テープ装置 2台付き。	C R T ディスプレイ, キーボードを含む。
シリアルドットプリンタ	P T - 210	文字の大きさは 1 / 5, 1 / 10, 1 / 16.5 インチに切替可能, 1 行最大印字数は 132 (16.5 文字 / インチの時), 紙幅 208 ~ 216 mm。	
X-Yプロッタ	W X 4671 (渡辺測器製)	有効作画範囲 X 軸 : 360 mm, Y 軸 260 mm, ステップサイズ 0.1 mm, 最大作画速度 5 cm / s。	アダプタボード・接続ケーブルを含む。

表 2.4.2 処理・解析装置の増強

目 的	品 名	型 名	主 な 性 能	備 考
高 速 处 理	F O R T R A N コンパイラ (ソフトウェア)	P L - L 0020	J I S F O R T R A N の水準 7000 相当	ミニディスク 2 台以上を必要とする。
プログラミングの効率化, 外部記憶装置	ミニディスク装置	P F - 50	より高度な B A S I C が使える。	最大 4 台
アナログデータの処理	A / D コンバータ ボード	A / D C	A / D 16 チャンネル, D / A 3 チャンネル	入出力端子箱を要する。

5. 電 源

5.1 整流器

整流器はサイリスタ整流器で、単相 100 V 50/60 Hz を受電して、これを整流し、蓄電池を浮動ならびに均等充電しながら同時に負荷に DC 24 V の直流定電圧を供給する。交流入力の電圧、周波数の変動、また負荷の変動に対しても常に一定の電圧を供給するため、集積回路方式の出力電圧検知装置にてサイリスタを制御している。負荷が増大して定格以上になった場合には自動的に出力電圧を垂下させ、過放電あるいは焼損事故を未然に防ぐようにもしてある。定格最大出力電流は 20 A で、これで、変換・等化增幅部 1.5 A、アナログ記録器 1.8 A、デジタル記録器 2 A をまかぬ。

整流器および次に述べる蓄電池は鉄材を用いた強固な筐体に収納され（図 2.5.1）、1 g 以上の大加速度にも十分耐えられる設計になっている。

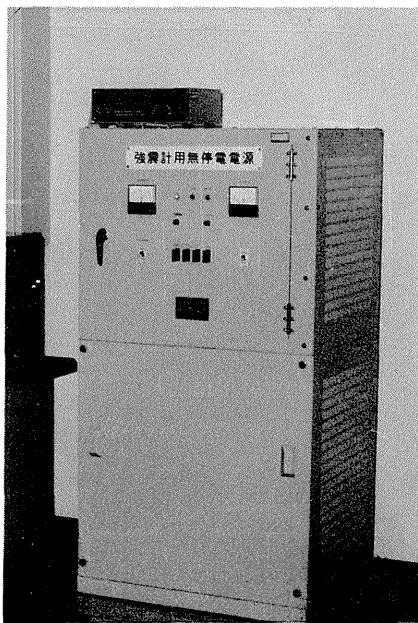


図 2.5.1 無停電電源の外観

5.2 蓄電池

触媒栓をとりつけた鉛蓄電池を 12 個用意した。この 1 セットで 60 A·h の容量を有し（10 時間放電率），従って交流 100 V の供給が断のままでも、強震計は最大 10 時間程度の運転が可能である。

この、10 時間という値は、やや大きすぎるかもしれない。1964 年の新潟地震の際、新潟地方気象台の発動発電機が動き始めるまでに 1 時間程度しか要しなかった、という例もあることだし、2 ~

3時間もあれば十分かもしれない。更に検討を要する問題である。もし、2~3時間でよいことになれば電池を小型化することができるので、これにともない、筐体(図2.5.1の場合、幅70cm、奥行60cm、高さ130cm)の小型化の面で、相乘的に貢献する。

6. ディジタル記録の処理プログラム

6.1 概 要

4.1節で述べたように、カセット磁気テープ装置を備えたミニコンで、ディジタル記録を直接的に処理する副プログラムを2種類作成した。用いた言語はFORTRANである。図2.6.1にそのリストを示す。

RLABELはラベル情報を読むためのサブルーチンで、第2引数MTに、カセット磁気テープの論理装置番号を入力しておくと、LABELという変数に地点番号、記録器の番号、トリガー時刻(日、時、分、秒)が outputされる。第3引数INDはそのカセット磁気テープが強震計のものかどうかを示す指標で、0が出力された時はそうではないことをあらわす。

RDATAは1レコード分のデータを読む、または空読みするためのサブルーチンで、第2引数にカセット磁気テープの論理装置番号を入力しておき、第3引数INDに空読みするときは0を、本当に読むときは1を入力しておくと、第1引数IXに波形データが出力される。第4引数IRCは、カセット磁気テープの記録の終りを検出した時には1が、そうでない時は0が出力される。

この2つのサブルーチンの使用例のプログラムを図2.6.2に示し、このときのラインプリンターへの出力の一部を図2.6.3に示す。この例のようにRDATAをCALLする時の第1引数のディメンジョンを(4, 32)としておけば(i, j)要素にはi成分(i=1は南北成分、i=2は東西成分、i=3は上下成分、i=4は刻時信号)のj番目の時刻の波形データが入ってくる。データの1digitは(200/4096)cm/s = 48.8×10⁻³cm/sの地動速度に相当する。図2.6.2のプログラムの25行目と27行目の間、あるいは31行目と35行目の間で、望む処理を行うことができる。

4.2節でも述べたように、カセット式ディジタル磁気テープ記録はパーソナルコンピュータPS-80を用いて解析することができる。そのために、新たに開発したプログラムを6.2節以降に掲げ、その使用法を述べる。そして将来の参考の際の便利のために、これを"BASIC言語で書かれた、強震記録解析のためのプログラムライブラリー83年版"の意味で、BAPLAS-83(BASIC Program Library for Analyses of Strong-Motion Seismogram-Version 83)と名付けておく。BAPLASのリストを以下に掲載するので、それを見ながらキーインして使うことは勿論結構であるが、著者に請求すればCMTの形で提供する。

なお、これらのプログラムの実行には非常に多くの時間を要する。その主な原因はBASIC言語を用いたことによる。アセンブラー言語を用いることにより10倍以上の高速化が期待できるが、そのようなプログラムは将来、強震計が全国に展開される頃までには発表する予定である。

LINE-NO	STATEMENT
0001	C *** REWIND CMT AND READ LABEL BLOCK ***** CODED BY M TAKAHASHI
0002	SUBROUTINE RLABEL(LABEL,MT,IND)
0003	C *** LABEL : LABEL INFORMATION
0004	C *** MT : SYMBOLIC DEVICE NUMBER FOR CMT
0005	C *** IND : (OUTPUT) =0 : NORMAL ; =1 : CMT NOT SEISMOGRAM
0006	INTEGER*2 LABEL(6),IX(7)
0007	IND=0
0008	REWIND MT
0009	READ(MT,1010) IX
0010	C *** SEISMOGRAM ?
0011	IF(IX(1).NE.2) GO TO 900
0012	C *** STATION
0013	LABEL(1)=IX(2)/256*100 + (IX(2)-IX(2)/256*256)/16*10
0014	+ (IX(2)-IX(2)/16*16)
0015	C *** RECORDER NUMBER
0016	LABEL(2)=IX(3)
0017	C *** TRIGGER DAY
0018	LABEL(3)=IX(4)/256*100 + (IX(4)-IX(4)/256*256)/16*10
0019	+ (IX(4)-IX(4)/16*16)
0020	C *** HOUR
0021	LABEL(4)=IX(5)/4096*10 + (IX(5)-IX(5)/4096*4096)/256
0022	C *** MIN
0023	LABEL(5)=IX(6)/4096*10 + (IX(6)-IX(6)/4096*4096)/256
0024	C *** SEC
0025	LABEL(6)=IX(7)/4096*10 + (IX(7)-IX(7)/4096*4096)/256
0026	GO TO 999
0027	900 IND=1
0028	999 RETURN
0029	1010 FORMAT(A2,1X,A2,1X,A2,8X,A2,3A1)
0030	END

```
** OPTIONS ** NAM=RLABEL , S , K
** STATISTICS ** SOURCE CARDS= 30 , PROGRAM SIZE= 484
** STATISTICS ** ERRORS= 0 , SEVERITY CODE= 0 , COMPILEATION COMPLETE.
```

LINE-NO	STATEMENT
0001	C *** SKIP OR READ NEXT ONE BLOCK ***** CODED BY M TAKAHASHI
0002	SUBROUTINE RDATA(IX,MT,IND,IRC)
0003	C *** IX : WAVE FORM DATA
0004	C *** MT : SYMBOLIC DEVICE NUMBER FOR CMT
0005	C *** IND : (INPUT) =0 : SKIP; =1 : READ
0006	C *** IRC : (OUTPUT) =0 : NORMAL; =1 : END OF CMT DETECTED
0007	INTEGER*2 IX(128)
0008	IRC=0
0009	READ(MT,1010*END=900) IX
0010	IF(IND.EQ.0) RETURN
0011	DO 10 I=1,128
0012	10 IX(I)=IX(I)/16
0013	GO TO 999
0014	900 IRC=1
0015	999 RETURN
0016	1010 FORMAT(128A2)
0017	END

```
** OPTIONS ** NAM=RDATA , S , K
** STATISTICS ** SOURCE CARDS= 17 , PROGRAM SIZE= 177
** STATISTICS ** ERRORS= 0 , SEVERITY CODE= 0 , COMPILEATION COMPLETE
```

図 2.6.1 ラベル情報を読むための（上），およびデータを読むための（下）サブルーチンプログラム。

LINE-NO	STATEMENT
0001	C'***EXAMPLE TO USE SUBROUTINES "RLABEL" AND "RDATA" *****
0002	INTEGER*2 IDATA(4,32),LABEL(6)
0003	MT=3
0004	C *** MT : SYMBOLIC DEVICE NUMBER FOR CMT
0005	C *** REWIND CMT AND READ LABEL BLOCK
0006	CALL RLABEL(LABEL,MT,IND)
0007	C *** IND: INDICATOR(OUTPUT); = 0 : NORMAL, = 1 : NOT SEISMOGRAM
0008	IF(IND.NE.0) GO TO 10
0009	WRITE(6,610) LABEL
0010	GO TO 20
0011	10 WRITE(6,611)
0012	STOP
0013	20 WRITE(6,620)
0014	DO 30 NBLK=1,34
0015	C *** NBLK : BLOCK NUMBER
0016	IND=1
0017	C *** IND : INDICATOR(INPUT); = 0 : SKIP ONE BLOCK
0018	C *** = 1 : READ ONE BLOCK
0019	IF(NBLK.LT.24) IND=0
0020	C *** SKIP OR READ NEXT ONE DATA BLOCK
0021	CALL RDATA(IDATA,MT,IND,IRC)
0022	C *** IRC : RETURN CODE; = 0 : NORMAL, = 1 : END OF CMT
0023	IF(IRC.NE.0) GO TO 40
0024	IF(IND.EQ.0) GO TO 30
0025	C *** WRITE DATA (OR ANTHOR PROCESSING)
0026	WRITE(6,630) (NBLK,(IDATA(J,K),J=1,4),K=1,32)
0027	C *** WRITE DATA (OR ANTHOR PROCESSING) (END)
0028	30 CONTINUE
0029	GO TO 50
0030	40 WRITE(6,640)
0031	50 CONTINUE
0032	C ***
0033	C *** SOME PROCESSING
0034	C ***
0035	999 STOP
0036	610 FORMAT(1H1/33H *** STRONG MOTION SEISMOGRAM ***//
0037	+10H STATION = ,I4,14H RECORDER = ,I2,18H (1=LEFT,-2=RIGHT)//
0038	+15H TRIGGER TIME : ,I4,2H D,I3,2H H,I3,2H M,I3,2H S//)
0039	611 FORMAT(1H1/27H *** CMT NOT SEISMOGRAM ***)
0040	620 FORMAT(20X,30H (1 DIGIT = (200/4096) CM/S)/
0041	+51H BLCK NO. N - S E - W U - D TIME-MARK)
0042	630 FORMAT((5I10))
0043	640 FORMAT(28H0*** END OF CMT DETECTED ***//)
0044	END.

```
** OPTIONS ** NAM=MAIN , S , K
** STATISTICS ** SOURCE CARDS= 44 , PROGRAM SIZE= 529
** STATISTICS ** ERRORS= 0 , SEVERITY CODE= 0 , COMPILED COMPLETE
```

図2.6.2 図2.6.1に示した2つのサブルーチンの使用例

*** STRONG MOTION SEISMOGRAM ***

STATION = 555 RECORDER = 1 (1=LEFT, 2=RIGHT)
 TRIGGER TIME : 25 D 2 H 54 M 43 S

BLOCK NO.	1 DIGIT = (200/4096) CM/S			TIME MARK
	N - S	E - W	U - D	
24	-1	7	6	-261
24	-2	9	4	-264
24	-1	8	0	-266
24	-1	8	-4	-269
24	-1	8	-6	-271
24	-1	5	-6	-271
24	-1	5	-5	-270
24	-1	3	-4	-269
24	-1	5	-2	-268
24	-1	4	-1	-268
24	-1	3	-2	-268
24	-1	3	-1	-267
24	-1	2	-3	-268
24	-1	1	-6	-274
24	0	0	-9	-274
24	-1	-3	-12	-276
24	0	-5	-12	-279
24	-1	-7	-11	-276
24	-1	-7	-8	-275
24	-1	-10	-7	-274
24	-2	-10	-6	-273
24	-1	-9	-5	-271
24	-2	-9	-4	-268
24	-2	-11	-1	-265
24	-2	-10	3	-265
24	-2	-8	8	-260
24	-3	-8	9	-259
24	-3	-5	11	-258
24	-2	-3	16	-253
24	-2	-2	21	-250
24	-2	5	25	-245
24	-2	8	28	-243
25	-2	14	27	-244
25	-2	17	26	-244
25	-2	21	22	-247
25	-1	24	17	-250
25	0	26	12	-255
25	-1	27	4	-262
25	0	26	-5	-269
25	0	23	-16	-278
25	1	19	-27	-288

図 2.6.3 図 2.6.2 のプログラムの出力の一部

6.2 プログラム起動の準備

プログラムを起動する前に、KBREALと名付けられているTEAC社製のプログラムをPS-80に読み込ませることが必要である。このプログラムは、キーボードのキーの機械的なbounceを防止するためのソフトウェアである。その手順を以下に述べる。

(1) まず、PS-80の取扱説明書に掲載されている手順に従って、CRTディスプレイ上に

MEMORY SIZE?

と表示されている状態にする。この状態でENTERキーを押すと

RADIO SHACK LEVEL II BASIC
READY
>

と表示されて、コンピュータはREADY状態になる。この時、KBREALの入っているCMT(カセット式ディジタル磁気テープ)をPS-80本体右側の磁気テープ装置(UNIT 1)にセットし、"S", "Y", "S", "T", "E", "M"とキーを押した後、ENTERキーを押す。そうすると、

*?

と表示されるので更に"/", "1", "4", "0", "0", "0"とキーを押して、再びENTERキーを押す。ここまでで、CRT上の表示は次のようになっている。

MEMORY SIZE?
RADIO SHACK LEVEL II BASIC
READY
>SYSTEM

*? /14000

SAVE OR LOAD ?

但し、ここにおけるアンダーライン は、実際には表示されているものではなく、これは本稿の説明のためにつけ加えたもので、 は単にENTERキーを押したことを、 … は"X", "X", …, "X"とキーを押した後、ENTERキーを押したことを意味するものである(以後同様に書き表す)。

つづいてLOAD, L, 1およびKBREALと入力する。すなわち

LOAD, L, 1
FILE NAME : KBREAL
KBREAL
READY
>

この時、コンピュータは再び READY 状態になる。これで CMT 上のプログラム KBREAL はコンピュータのメモリー上にロードされ、使える状態になっている。

(2) 次に

› RUN

と入力する ("R", "U", "N" とキーを押した後、ENTER キーを押す) と KBREAL が起動し、

*** KB DEBOUNCE & REAL TIME ROUTINE ***

CURRENT MEMORY SIZE : 65535

* AUTO MEMORY MAP =====

NEW MEMORY SIZE : 65392

KB DEBOUNCE ROUTINE .. : 65393 - 65447 (55 BYTES)

REAL TIME ROUTINE : 65448 - 65535 (88 BYTES)

* CHECK MEMORY MAP =====

NEW MEMORY SIZE : ?

と表示されプログラムは一時停止する。そして、65000、ブランク、ブランクと入力するとプログラムは再び動きだし、

*** KB DEBOUNCE & REAL TIME ROUTINE ***

CURRENT MEMORY SIZE : 65535

* AUTO MEMORY MAP =====

NEW MEMORY SIZE : 65392

KB DEBOUNCE ROUTINE .. : 65393 - 65447 (55 BYTES)

REAL TIME ROUTINE : 65448 - 65535 (88 BYTES)

* CHECK MEMORY MAP =====

NEW MEMORY SIZE : ? 65000

KB DEBOUNCE LOAD POINT : ? ____

REAL TIME LOAD POINT . : ? ____

* LOADING MACHINE CODE =====

KB DEBOUNCE ROUTINE .. : 65393 - 65447

REAL TIME ROUTINE : 65448 - 65535

* RELOCATING =====

KB DEBOUNCE ROUTINE COMPLETE

REAL TIME ROUTINE COMPLETE

READY

›

と表示されて終了する。

(3) 次に BAPLAS-83 の内、希望するプログラムのロードを行う。例えば 6.3 節において述べ

るプログラム DSSG をロードしたい場合には次のようにする。

```
READY  
>SYSTEM  
  
*? /14000  
  
SAVE OR LOAD ?  
LOAD, L, 1  
FILE NAME : DSSG  
KBREAL  
DSSG  
READY  
>
```

READY 状態になった後、RUN と入力すると DSSGが起動する。以下の、6.3～6.6における各プログラムの使用説明では、RUNを入力した後からを記す。

6.3 プログラム D S S G

ファイル名：D S S G (Display Seismogram の意)

目的：ディジタル強震記象をC R T上に、アナログ的に波形を、またはディジタル的に数値データそのものを表示する。

実行に必要なメモリーの大きさ：約 4.0 kByte

使用している変数名：A, AD\$, AN, CH%, CM\$, DA%, DR%, DY, HR, J, K, N, PT%, RC, SC, ST, TX, VL, X, XP%, Y\$

プログラムを改造する場合には、これらの変数名は使わないのが無難である。

使用説明：

(1) RUNを入力するとC R T上に

```
***** DSSG - BAPLAS 83 *****  
STRONG MOTION SEISMOGRAM : DISPLAY SEISMOGRAM  
READY (Y OR N)?
```

と表示される。UNIT 0 の磁気テープ装置に、強震記録のCMTをセットした後、Yを入力する。
(この場合、省略値はYとなっているので単にENTERキーを押すだけで、Yを入力したことと同
等である)。

(2) コンピュータは強震記録のラベルブロックを読んだ後、

```
***** DSSG - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : DISPLAY SEISMOGRAM
READY (Y OR N)? Y
STATION : 789
RECORDER : 1 (1=LEFT, 2=RIGHT)
TRIGGER : 321 D 12 H 34 M 56 S
START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.
```

ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ?

と、その強震記録がどこの観測点のものか、記録は記録計の左右どちらの磁気テープ装置で記録されたものか、トリガー時刻はいつか、等の情報を表示し、かつ、遅延が10秒あるので、記録の始まりの時刻はトリガー時刻よりも10秒前である旨、注意を換起する。最後の表示は、アナログ的に地震波形を表示するのか、それともディジタル的に地震波形データを数値で表示するのか、いずれかの指定を入力待ちの状態であることを示している。アナログ的に表示させたい場合にはAを、ディジタル的の場合にはDを入力する。省略値はDである。

(3.1) Dと入力した場合には

(3.1.1) さらに

```
ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ? D
START TIME (AFTER START TIME OF RECORD)?
```

と表示して、ディジタル表示を始める時刻の指定を入力待ちの状態となる。記録の始まっている時刻(トリガー時刻の10秒前)からの経過時間(単位は秒)で指定する。省略値は0であるから、単にENTERキーを押すと、CMTの最初から表示を始めるし、10と入力するとCMTを10秒分空送りしてから、表示を始める。

(3.1.2) 表示の例を次に示す。

```
***** DSSG - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : DISPLAY SEISMOGRAM
READY (Y OR N)? Y
STATION : 789
RECORDER : 1 (1=LEFT, 2=RIGHT)
TRIGGER : 321 D 12 H 34 M 56 S
START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.

ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ? D
START TIME (AFTER START TIME OF RECORD)? 10
12H 34M 55.6S <NS=    1  EW=     3  UD=     0> TC=   -17  B# 19
12H 34M 55.6S <NS=   -2  EW=     2  UD=    -2> TC=   -22  B# 19
12H 34M 55.6S <NS=    0  EW=     1  UD=    -1> TC=   -23  B# 19
12H 34M 55.7S <NS=   -1  EW=     0  UD=    -1> TC=   -25  B# 19
12H 34M 55.7S <NS=   -1  EW=     0  UD=    -2> TC=   -22  B# 19
```

上の例で、最終行は12時34分55.7秒のデータはNS成分が-1, EW成分が0, UD成分が-2,

そして第4チャンネルの時刻信号の値が-22であり、これらは19番目のブロックに書かれているということを意味する。なお、この表示で1 digit は(200/4096)cm/sの速度に相当する。

(3.1.3) 記録の終りを検出すると

```
==== END OF SEISMOGRAM ====
READY
>
```

と表示して、プログラムは終了する。

(3.2)(2)においてAを入力した場合には

(3.2.1) さらに

```
ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ? A
COMPONENT (N, E OR U)?
```

と、アナログ的に表示する成分の指定待ちの状態となる(1成分しか表示できない)。N, EまたはUを入力する。(省略値はUである)次に

```
SELECT D.R. (7-12) ?
```

と、D.R.(ダイナミックレンジの意)の指定待ちの状態となる。7以上12以下の整数を指定するが、その意味は、nを指定した時、CRT上に表示されるアナログ波形の振幅をフルスケール当り(200/4096)×2^n cm/sにする、ということである。従って大きい値を入力すれば倍率は小さくなる。(省略値は7)。

(3.2.2)(3.1.1)と同じ

(3.2.3) 表示の例を次に示す。

```
***** DSSG - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : DISPLAY SEISMOGRAM
READY (Y OR N)? Y
STATION : 789
RECORDER : 1 (1=LEFT, 2=RIGHT)
TRIGGER : 321 D 12 H 34 M 56 S
                      START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.

ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ? A
COMPONENT (N, E OR U)? N
SELECT D.R. (7-12) ? 7
START TIME (AFTER START TIME OF RECORD)? 90
```

```

- <--- 36M 15.8S      ----> +
- <--- 36M 15.8S      ----> +
- <--- 36M 15.9S      ----> +
- <--- 36M 15.9S      ----> +
- <--- 36M 16.0S      ----> +
- <--- 36M 16.0S      ----> +
- <--- 36M 16.1S      ----> +
- <--- 36M 16.1S      ----> +
- <--- 36M 16.2S      ----> +
- <--- 36M 16.2S      ----> +
- <--- 36M 16.3S      ----> +
- <--- 36M 16.3S      ----> +

```

右方向が正の極性であり、波形が零線とともに表示されている。

(3.2.4) (3.1.3)と同じ。

プログラムリスト：

```

10 CLS:PRINT"***** DSSG - BAPLAS 83 *****"
20 PRINT"STRONG MOTION SEISMOGRAM : DISPLAY SEISMOGRAM"
30 ' CODED BY M TAKAHASHI, SEE MRI TECH. REP. NO.6
40 DEFINT I-N : DIM DA%(3,31)
50 GOSUB 1000 : INIT **** INITIALIZE ***
60 GOSUB 2000 : LABEL *** READ LABEL ***
70 IF RC<>0 GOTO50
80 GOSUB 7000 : *** DISPLAY LABEL INFORMATION ***
90 SC=SC-10 : IF SC<0 THEN SC=SC+60 : AN=AN-1
100 INPUT"ANALOG OR DIGITAL (A OR D)" ;AD$
110 IF AD$="A" THEN INPUT"COMPONENT (N, E OR U)" ;CM$ : DR% =7 : I
INPUT"SELECT D. R. (7-12)" ;DR%
120 GOSUB 3000 : HEAD *** HEADING ***
130 SC=SC+N*32/60-1/60
140 IF SC>=60 THEN SC=SC-60 : AN=AN+1 : GOTO 140
150 IF AD$<>"A" THEN 190
160 FOR J=0 TO 3 : PRINT : NEXT J
170 PT% =44 : CH% =2 : IF CM$="N" THEN CH% =0
180 IF CM$="E" THEN CH% =1
190 GOSUB 4000 : READ *** READ NEXT BLOCK ***
200 IF RC<>0 THEN PRINT"== END OF SEISMOGRAM ==": END
210 FOR J=0 TO 31
220 SC=SC+1/60 : IF SC>=59.99 THEN SC=0 : AN=AN+1
230 IF AD$="A" THEN GOSUB 6000 ELSE GOSUB 5000 : ANADSP/DIGDSP
240 NEXT J
250 GOTO 190
1000 '*** SUBROUTINE INIT ***** INITIALIZE *****
1010 POKE 16526,0 : POKE 16527,48
1020 Y$="Y":INPUT"READY (Y OR N)" ;Y$
1030 IF Y$="Y" THEN 1040 ELSE 1020
1040 IF USR(11) AND 1E THEN PRINT"NOT READY !":GOTO1020 ELSE RET

```

```

URN :'***** SUBROUTINE LABEL ***** READ LABEL BLOCK *****
2000 X=USR(0):A=USR(8):A=USR(4):RC=0:' RC : RETURN CODE
2010 IF(PEEK(X)<0) OR (PEEK(X+1)<2) THEN PRINT"THE CMT IS NOT
SEISMOGRAM. PUT THE SEISMOGRAM IN UNIT #0.":RC=1:RETURN
2030 ST=(PEEK(X+3) AND 15)*100+(PEEK(X+4) AND 240)*10/16+(PEEK(
X+4) AND 15) :' STATION
2040 VL=PEEK(X+7) AND 15 :' RECORDER UNIT NUMBER
2050 DY=(PEEK(X+16) AND 15)*100+(PEEK(X+17) AND 240)*10/16+(PEEK(
X+17) AND 15) :' DAY OF THE YEAR
2060 HR=(PEEK(X+18) AND 240)*10/16+(PEEK(X+18) AND 15):' HOUR
2070 AN=(PEEK(X+19) AND 240)*10/16+(PEEK(X+19) AND 15):' MINUTE
2080 SC=(PEEK(X+20) AND 240)*10/16+(PEEK(X+20) AND 15):' SECOND
2090 RETURN :'*****
3000 '*** SUBROUTINE HEAD **** HEADING CMT *****
3010 TX=0 : INPUT"START TIME (AFTER START TIME OF RECORD)":TX
3020 N=TX*15/8 : IF N=0 THEN RETURN ELSE IF N>900 THEN 3010
3030 FOR J=1 TO N : A=USR(6) : NEXT : RETURN :'*****
4000 '*** SUBROUTINE READ ***** READ NEXT BLOCK *****
4010 RC=0 : A=USR(4) : IF A AND 2 THEN OUT2,10 : RC=1 : RETURN
4020 FOR J=0 TO 31 : FOR K=0 TO 3
4030 POKE VARPTR(DA%(K,J)), PEEK(X+2*K+8*J+1)
4040 POKE VARPTR(DA%(K,J))+1, PEEK(X+2*K+8*J )
4050 DA%(K,J)=DA%(K,J)/16 : NEXT K,J :N=N+1: RETURN :'*****
5000 '*** SUBROUTINE DIGDSP **** DISPLAY DIGITALLY *****
5010 PRINT USING"##H "; HR;; PRINT USING"##M ";AN; : PRINT USING
"##.##;SC;
5020 PRINT USING"(NS#####";DA%(0,J);
5030 PRINT USING" EW#####";DA%(1,J);
5040 PRINT USING" UD#####";DA%(2,J);
5050 PRINT USING" TC#####";DA%(3,J);
5060 PRINT " B##";N :RETURN :'*****
6000 '*** SUBROUTINE ANADSP ***** DISPLAY ANALOGOUSLY *****
6010 PT%=PT%+1 : IF PT%=45 THEN PT%=42 : PRINT USING"- <--- ##M
";AN; : PRINT USING"##.##;SC; : PRINT @1018,"---> +";
6020 XP%=DA%(CH%,J)/2+(DR%-7)+64.5
6030 IF XP%>127 THEN XP%=127
6040 IF XP%<0 THEN XP%=0
6050 SET(XP%,PT%) : SET(64,PT%) : RETURN :'*****
7000 '*** SUBROUTINE DSPLBL **** DISPLAY LABEL INFORMATION ***
7010 PRINT"STATION :ST:PRINT"RECORDER :"VL"(1=LEFT,2=RIGHT)"
7020 PRINT"TRIGGER :"DY"D"HR"H"AN"M"SC"S"
7030 PRINT,"START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.":PRINT
7040 RETURN :'*****

```

実行に要する時間：1秒間分の記録の処理に約40秒を要する。

使用上の注意：このプログラムは、余り実用的とは言えない。特にアナログ的に表示する場合には6.5で述べるPLSGを使う方が良いであろう。むしろ、このプログラムは、最大振幅をもとめるとか、マグニチュードを計算するとか、のプログラムを作る時の土台として、すなわち、これを

もとにして部分的に修正して、望むものを出力する、という使い方のために有用であると考える。

6.4 プログラム P R S G

ファイル名：P R S G (Print Seismogram の意)

目的：ディジタル強震記録をC R T上に、アナログ的に波形を、またはディジタル的に数値データそのものを印刷する。

実行に必要なメモリーの大きさ：6.2 kByte

使用している変数名：A, AD\$, AN, CH%, CM\$, DA%, DR%, DY, HR, ID, IE, IP, J, JA, K, L, N, RC, SC, ST, TX, VL, X, Y, Y\$, Z

使用説明：

(1) RUNを入力するとC R T上に

```
***** PRSG - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : PRINT SEISMOGRAM
READY (Y OR N)?
```

と表示される。UNIT 0 の磁気テープ装置に、強震記録のCMTをセットしてYを入力する。(省略値はY)

(2) ラベルブロックを読んだ後

```
***** PRSG - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : PRINT SEISMOGRAM
READY (Y OR N)? Y
STATION : 789
RECORDER : 1 (1=LEFT, 2=RIGHT)
TRIGGER : 321 D 12 H 34 M 56 S
          START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.

ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ?
```

と、ラベルの内容を表示して、D S S Gと同様にアナログ波形を印刷するのか、ディジタルで波形データを数値で表示するのか、の指定の入力待ちとなる。(省略値はD)

(3.1) Dと入力した場合には

(3.1.1) D S S Gの(3.1.1)と同じ。

(3.1.2) 印刷の例を次に示す。

*** STRONG MOTION SEISMOGRAM ***

STATION : 789
 RECORDER : 1 (1=LEFT, 2=RIGHT)
 TRIGGER : 321 D 12 H 34 M 56 S
 START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER
 DYNAMIC RANGE = 12 BIT (+2047 TO -2048 DIGITS)
 1 DIGIT = 10 VOLT/4096 = 2.441 MILLI-VOLT
 = 200 (CM/SEC)/4096 = 0.04883 CM/SEC
 SAMPLING FREQUENCY = 60.00 Hz

M	S	(+)	N	-	S	(-)	(+)	E	-	W	(-)	(+)	U	-	D	(-)	TIME	CODE								
36	15.5	=	19	18	18	15	16	14*	15	15	15	15*	8	8	8	-1	-12	-23	-14	-18	-20	-22				
36	15.6	=	12	12	18	18	9	7*	14	15	15	16	-1	-1	-1	-2	-2*	-18	-20	-17	-21	-22	-18			
36	15.7	=	5	5	5	5	5	5*	14	15	15	16	15*	-3	-3	-3	-4	-2	-5*	-26	-21	-22	-21	-17	-25	
36	15.8	=	6	6	6	6	6	5*	15	14	13	14	14*	-4	-5	-6	-6	-2	-5*	-26	-21	-22	-21	-17	-25	
36	15.9	=	4	3	3	3	3	3*	15	14	13	14	14*	-7	-6	-8	-7	-6	-5*	-28	-24	-27	-23	-19	-19	
36	16.0	=	4	4	5	5	5	8*	13	14	13	13	14*	-7	-6	-8	-7	-6	-5*	-25	-19	-25	-19	-17	-18	
36	16.1	=	9	11	12	13	15	16*	13	13	13	14	14*	-8	-7	-7	-8	-8*	-21	-19	-19	-19	-29	-21		
36	16.2	=	17	28	21	21	21	24*	14	16	16	15	15*	-8	-8	-8	-9	-8*	-24	-17	-18	-24	-24	-22		
36	16.3	=	24	25	25	25	25	25*	15	16	16	15	15*	-8	-9	-9	-9	-8*	-22	-21	-28	-11	11	11		
36	16.4	=	25	25	25	25	25	24*	15	15	15	14	12*	-7	-7	-7	-7	-8*	98	101	98	99	93	95		
36	16.5	=	24	24	24	25	25	27*	18	18	18	19	19*	-7	-7	-7	-8	-7*	98	96	95	100	100	95		
36	16.6	=	27	29	30	31	32	33*	8	9	8	8	8*	-4	-2	-3	-1	-2*	-16	-17	-16	-16	-18	-12		
36	16.7	=	31	34	33	33	32	30*	6	10	8	8	8*	-3	0	0	-1	-2*	-12	-12	-17	-22	-22	-25		
36	16.8	=	29	29	28	27	27	23*	9	9	11	11	11*	-1	-1	-1	-1	-1*	-21	-18	-20	-21	-21	-25		
36	16.9	=	23	21	21	19	18	19*	11	11	12	11	11*	-3	-3	-3	-4	-4*	-24	-27	-22	-27	-24	-28		
36	17.0	=	18	17	17	15	14	12*	13	13	13	12	12*	-7	-7	-7	-8	-5*	-19	-19	-21	-21	-23	-25		
36	17.1	=	11	18	18	17	15	14	12*	13	13	11	11*	-1	-1	-1	-1	-1*	-27	-21	-21	-19	-18	-20		
36	17.2	=	11	17	17	15	14	12*	13	13	11	11*	-1	-1	-1	-1	-1*	-23	-15	-22	-16	-14	-22			
36	17.3	=	5	4	3	3	3	3*	18	18	11	11	11*	-6	-6	-6	-6	-5*	-19	-19	-21	-21	-19	-20		
36	17.4	=	-1	-1	-1	-1	-1	-2*	18	11	9	10	10*	-7	-6	-7	-5	-4*	-27	-24	-22	-18	-16	-16		
36	17.5	=	-2	-3	-4	-4	-4	-5*	5	4	3	3	2*	-1	-1	-1	-1	-4*	-24	-22	-21	-19	-16	-22		
36	17.6	=	-5	-6	-5	-5	-5	-5*	1	1	1	1	1*	-5	-5	-5	-5	-5*	-92	102	94	98	99	78		
36	17.7	=	-5	-6	-5	-5	-5	-5*	0	1	1	1	0*	-1	-1	-1	-1	-1*	-12	-22	-21	-22	-22	-13		
36	17.8	=	-4	-5	-5	-5	-5	-5*	-3	-4	-4	-5	-5*	-7*	-7	-7	-7	-2*	-28	-28	-22	-24	-21	-22		
36	17.9	=	-4	-5	-5	-5	-5	-5*	-8	-9	-10	-12	-14*	-14*	-14	-14	-14	-7*	-16	-16	-22	-19	-20	-19		
36	17.10	=	-7	-7	-7	-7	-7	-9*	-16	-17	-28	-21	-21*	-23*	-23	-23	-23	-7*	-16	-28	-21	-24	-20	-18		
36	18.0	=	-3	-10	-11	-11	-10	-14*	-25	-26	-28	-28	-31*	-31*	-31	-31	-31	-7	-15	-24	-25	-22	-19	-20		
36	18.1	=	-13	-14	-14	-14	-13	-15*	-32	-32	-33	-33	-34*	-33	-33	-33	-33	-5*	-26	-28	-21	-27	-19	-19		
36	18.2	=	-14	-14	-14	-14	-13	-15*	-34	-32	-31	-31	-30*	-29	-29	-29	-29	-4	-22	-22	-22	-26	4	106		
36	18.3	=	-14	-15	-14	-14	-14	-13*	-28	-27	-26	-25	-23*	-21*	-21	-21	-21	-1*	-1*	-92	99	95	102	94	102	
36	18.4	=	-12	-11	-11	-10	-10	-8*	-28	-18	-17	-16	-15*	-13*	-13	-13	-13	-1	-1*	-92	99	95	102	94	102	
36	18.5	=	-7	-8	-6	-7	-5	-5*	-11	-11	-10	-10	-9*	-8*	-8*	-8*	-8*	-3	-2	-5*	103	98	101	98	76	35
36	18.6	=	-5	-6	-3	-2	-3	-3*	-9	-8	-7	-7	-6	-7*	-4	-4	-4	-4	-4*	-16	-29	-17	-20	-22	-25	
36	18.7	=	-3	-2	-2	-2	-3	-3*	-7	-7	-7	-8	-8	-9*	-6	-5	-5	-5*	-5*	-24	-21	-23	-24	-22	-25	

(3.1.3) DSSGの(3.1.3)と同じ。

(3.2) Aと入力した場合には

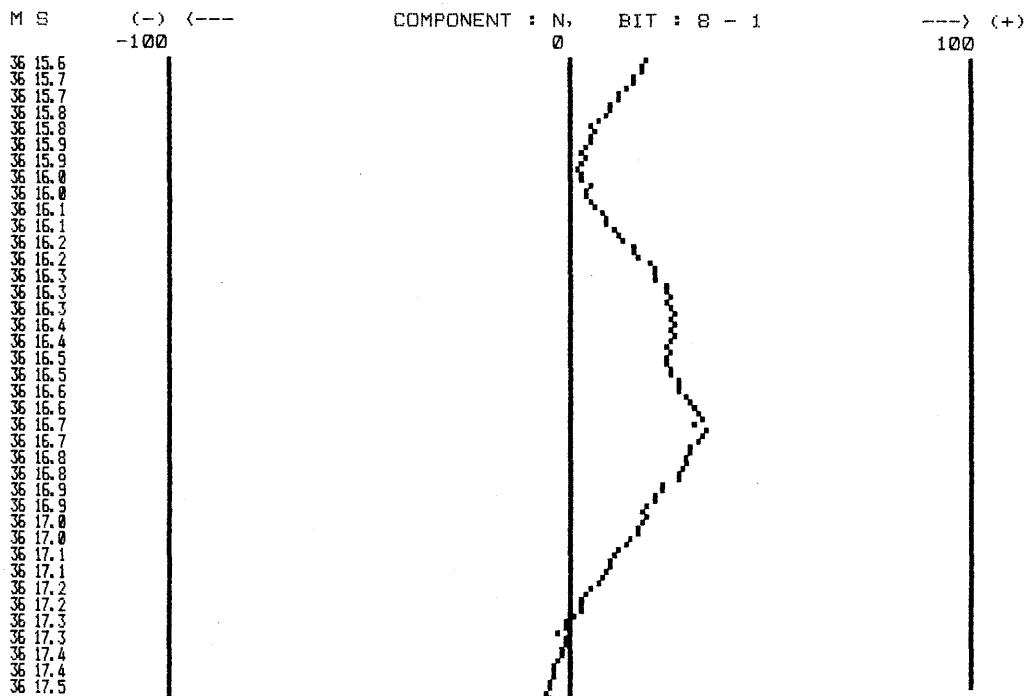
(3.2.1) DSSGの(3.2.1)とほぼ同じ。異なるのはダイナミックレンジの指定が8以上となる点である(省略値は8である)。

(3.2.2) DSSGの(3.1.1)と同じ。

(3.2.3) 印刷の例を次に示す。

*** STRONG MOTION SEISMOGRAM ***

STATION : 789
RECORDER : 1 (1=LEFT, 2=RIGHT)
TRIGGER : 321 D 12 H 34 M 56 S
 START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER
DYNAMIC RANGE = 12 BIT (+2047 TO -2048 DIGITS)
1 DIGIT = 10 VOLT/4096 = 2.441 MILLI-VOLT
 = 200 (CM/SEC)/4096 = 0.04883 CM/SEC
SAMPLING FREQUENCY = 60.00 HZ



記象とともに振幅スケールが印刷される。スケールの 1 単位は記録の 1 digit, すなわち, (200 / 4096) cm / s である。

(3. 2. 4) DSSG の (3. 1. 3) と同じ。

プログラムリスト：

```

10 CLS:PRINT"***** PRSG - BAPLAS 83 *****"
20 PRINT"STRONG MOTION SEISMOGRAM : PRINT SEISMOGRAM"
30 ' CODED BY M TAKAHASHI, SEE MRI TECH. REP. NO. 6
40 DEFINT I-N : DIM DA%(3,31), ID(3,95)
50 GOSUB 1000 : 'INIT *** INITIALIZE ***
60 GOSUB 2000 : 'LABEL *** READ LABEL ***
70 IF RC<>0 GOTO50
80 GOSUB 7000 : '*** DISPLAY LABEL INFORMATION ***
90 INPUT"ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ";AD$
100 IF AD$="A" THEN CM$="U" :INPUT"COMPONENT (N, E OR U)";CM$ :
DR%=-8 : INPUT"SELECT D. R. (8-12) ";DR%
110 GOSUB 3000 : 'HEAD *** HEADING ***
120 GOSUB 10000 : 'PRTLBL *** PRINT LABEL INFORMATION ***
130 LPRINT CHR$(27)CHR$(65)
140 IF AD$="A" THEN 150 ELSE LPRINT"M S (+) N - S (-)
(+ ) E - W (-) (+ ) U - D (-) TIME CODE" : GOTO 190
150 LPRINT" M S (-) <--- COMPONENT : ";CM$; ", B
IT ":";DR%;"-";DR%-7;" ---> (+)";LPRINT" ";-100*"
2+(DR%-8);STRING$(28,32);"0";STRING$(27,32);100*2+(DR%-8)
160 CH%2 : IF CM$="N" THEN CH%0
170 IF CM$="E" THEN CH%1
180 DIM IP(124)
190 SC=SC+N*32/60-1/10-10 : IF AD$="A" THEN SC=SC+1/20
200 IF SC<0 THEN SC=SC+60: AN=AN-1
210 IF SC>=60 THEN SC=SC-60 : AN=AN+1 : GOTO 210
220 LPRINT CHR$(29)CHR$(27)CHR$(56)
230 FOR JA=0 TO 64 STEP 32 : GOSUB 4000 : '*** READ NEXT BLOCK ***
240 IF RC<>0 THEN :LPRINT CHR$(30)CHR$(27)CHR$(54)CHR$(27)CHR$(6
6) : LPRINT"== END OF SEISMOGRAM ==": END
250 FOR K=0TO31 : FOR J=0TO3
260 ID(J,JA+K)=DA%(J,K) : NEXT J,K,JA
270 IF AD$="A" THEN GOSUB 8000 ELSE GOSUB 9000
280 GOTO 230
1000 '*** SUBROUTINE INIT ***** INITIALIZE *****
1010 POKE 16526,0 : POKE 16527,48
1020 Y$="Y":INPUT"READY (Y OR N) ";Y$
1030 IF Y$="Y" THEN 1040 ELSE 1020
1040 IF USR(11) AND 16 THEN PRINT"NOT READY !":GOTO1020 ELSE RET
URN : '***** ****
2000 '*** SUBROUTINE LABEL ***** READ LABEL BLOCK *****
2010 X=USR(0):A=USR(8):A=USR(4):RC=0: ' RC : RETURN CODE
2020 IF(PEEK(X)<>0) OR (PEEK(X+1)<>2) THEN PRINT"THE CMT IS NOT
SEISMOGRAM. PUT THE SEISMOGRAM IN UNIT #0. ";RC=1:RETURN
2030 ST= (PEEK(X+3) AND 15)*100+(PEEK(X+4) AND 240)*10/16+(PEEK(
X+4) AND 15) : ' STATION
2040 VL=PEEK(X+7) AND 15 : ' RECORDER UNIT NUMBER
2050 DY=(PEEK(X+16) AND 15)*100+(PEEK(X+17) AND 240)*10/16+(PEEK(
X+17) AND 15) : ' DAY OF THE YEAR
2060 HR=(PEEK(X+18) AND 240)*10/16+(PEEK(X+18) AND 15):' HOUR
2070 AN=(PEEK(X+19) AND 240)*10/16+(PEEK(X+19) AND 15):' MINUTE

```

```

2080 SC=(PEEK(X+20) AND 240)*10/16+(PEEK(X+20) AND 15):'SECOND
2090 RETURN :'*'***** SUBROUTINE HEAD ***** HEADING CMT *****'
3000 '*** SUBROUTINE READ ***** READ NEXT BLOCK *****
3010 TX=0 : INPUT"START TIME (AFTER START TIME OF RECORD)";TX
3020 N=TX*15/8 : IF N=0 THEN RETURN ELSE IF N>900 THEN 3010
3030 FOR J=1 TO N : A=USR(6) : NEXT : RETURN :'*'*****'
4000 '*** SUBROUTINE READ ***** READ NEXT BLOCK *****
4010 RC=0 : A=USR(4) : IF A AND 2 THEN OUT2,10 : RC=1 : RETURN
4020 FOR J=0 TO 31 : FOR K=0 TO 3
4030 POKE VARPTR(DA%(K,J)) , PEEK(X+2*K+8*J+1)
4040 POKE VARPTR(DA%(K,J))+1, PEEK(X+2*K+8*J )
4050 DA%(K,J)=DA%(K,J)/16 : NEXT K,J :N=N+1: RETURN :'*'*****'
7000 '*** SUBROUTINE DSPLBL **** DISPLAY LABEL INFORMATION ****
7010 PRINT"STATION :"ST:PRINT"RECORDER :"VL"(1=LEFT, 2=RIGHT)"
7020 PRINT"trigger :"DY"D"HR"H"AN"M"SC"S"
7030 PRINT,"START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.":PRINT
7040 RETURN :'*'*****'
8000 '*** SUBROUTINE ANAPRT ***** ANALOGOUSLY PRINT *****
8010 FOR JA=0 TO 93 STEP 3
8020 SC=SC+.05 : IF SC>=59.99 THEN SC=0 : AN=AN+1
8030 LPRINTUSING"## ";AN; : LPRINTUSING"##.#";SC;
8040 FOR K=0 TO 124 : IP(K)=128 : NEXT K : IP(62)=234 : IP(112)
)=234 : IP(12)=234
8050 FOR K=0 TO 2:IE=ID(CH%,JA+K)/2+(DR%-8)+125.5
8060 IF IE<0 THEN IE=0
8070 IF IE>249 THEN IE=249
8080 Y=INT(IE/2) : Z=IE/2-Y
8090 IF Z=0 THEN IP(Y)=IP(Y) OR 4+K ELSE IP(Y)=IP(Y) OR 2*4+K
8100 NEXT K
8110 FOR K=0 TO 124 : IF IP(K) AND 32 THEN IP(K)=IP(K) OR 64
8120 IF K=124 THEN LPRINTCHR$(IP(K)) ELSE LPRINTCHR$(IP(K));
8130 NEXT K,JA : RETURN :'*'*****'
9000 '*** SUBROUTINE DIGPRT ***** DIGITAL PRINT *****
9010 FOR JA=0 TO 90 STEP 6
9020 SC=SC+.1 : IF SC>=59.99 THEN SC=0 : AN=AN+1
9030 LPRINTUSING"## ";AN; : LPRINTUSING"##.#";SC;:LPRINT"=";
9040 FOR K=0 TO 3 : FOR L=0 TO 5
9050 LPRINTUSING"#####";ID(K,JA+L);
9060 NEXT L : IF K<>3 THEN LPRINT"*";
9070 NEXT K,JA
9080 RETURN :'*'*****'
10000 '*** SUBROUTINE PRTLBL ***** PRINT LABEL INFORMATION ****
10010 OUT248,0: LPRINT CHR$(31)CHR$(27)CHR$(54)CHR$(27)CHR$(66)
10020 LPRINT" ":"LPRINT" ":"LPRINT"** STRONG MOTION SEISMOGRAM **"
:LPRINT" ":"LPRINT CHR$(30):LPRINT"STATION :"ST
10030 LPRINT"RECORDER :"VL;"(1=LEFT, 2=RIGHT)"
10040 LPRINT"trigger :"DY"D"HR"H"AN"M"SC"S"
10050 LPRINT" START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER"
10060 LPRINT"DYNAMIC RANGE = 12 BIT (+2047 TO -2048 DIGITS)"
10070 LPRINT"1 DIGIT = 10 VOLT/4096 = 2.441 MILLI-VOLT
10080 LPRINT" = 200 (CM/SEC)/4096 = 0.04883 CM/SEC"
10090 LPRINT"SAMPLING FREQUENCY = 60.00 HZ":LPRINT" ":"LPRINT" "
10100 RETURN :'*'*****'

```

実行に要する時間：1秒間分の記録の処理に、デジタルで約60秒、アナログで約270秒を要する。

使用上の注意：DSSGにおける使用上の注意と同様。

6.5 プログラム P L S G

ファイル名：PLSG (Plot Seismogram の意)

目的：強震記録を積分または微分したのち、更にバタワース・フィルタをかけて、XYプロッタで作画する。6種類の作画が可能で、それらは(i)時間-N, E, U 3成分、(ii)時間-N, E 2成分、(iii)時間-U 1成分、(iv)時間-水平動合成振幅、3成分合成振幅、(v)水平面内の軌跡、(vi)鉛直面内の軌跡、である。

実行に必要なメモリーの大きさ：16.8 kByte

使用している変数名：A, AA, AN, AS, CD, DA%, DB, DY, ES, FS, F1, F2, F3, F4, F5, F6, G1, G2, G3, G4, G5, G6, HL\$, HR, I, J, JA, JX, K, MO, M1, N, NP, NQ, NT, NU, N2, N3, N6, PI, RC, R, SA, SC, ST, TH, TS, TX, TY, VL, WC, W1, W2, X, XB, XF, XS, XX, X1, X2, Y\$, YB, YP\$, YY, Y1, Y2

使用説明：

(1) RUNを入力するとCRT上に

```
***** PL SG - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : PLOT SEISMOGRAM
READY (Y OR N)?
```

と表示される。UNIT 0 の磁気テープ装置に、強震記録のCMTをセットしてYを入力する。(省略値はY)

(2) ラベルブロックを読んだ後

```
STATION : 789
RECORDER : 1 (1=LEFT, 2=RIGHT)
TRIGGER : 321 D 12 H 34 M 56 S
      START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.

* * NO : X - Y * * * * * * * * * * * *
*   1 : T - N, E, U
*   2 : T - N, E
*   3 : T - U
*   4 : T - SQR( N + 2 + E + 2 ) &
      SQR( N + 2 + E + 2 + U + 2 )
*   5 : E - N
*   6 : N (THETA) E - U
* * NO * * * * * * * * * * * *
SELECT X-Y (1-6) ?
```

と、ラベルの内容を表示してNo.1～6の内、いずれの処理を行うのか、の指定の入力待ちとなる。処理No.1はX軸を時間軸に、Y軸をN, E, U3成分の振幅軸にとる、という意味である。また処理No.6はX軸を北から東まわりにTHETA度の方向、Y軸を上方向にとった鉛直面内の軌跡を作画する、という意味である。1～6の内のいずれかで指定する（省略値は1）。

(3) いずれを入力しても、次に

```
* * NO : OUTPUT * * * * * * * * * * * *  
*   0 : VELOCITY      (THROUGH)      *  
*   1 : DISPLACEMENT (INTEGRATION)    *  
*   2 : ACCELERATION (DIFFERENTIAL)  *  
* * * * * * * * * * * * * * * * * * *  
SELECT OUTPUT (0-2)?
```

と、速度波形を出力するか、積分して変位波形を出力するか、あるいは微分して加速度波形を出力するか、の指定の入力待ちとなる。0～2のいずれかで指定する（省略値は0）。

(4) 次には

```
* * NO : FILTER * * * * *  
*   0 : NO FILTER      *  
*   1 : LOW PASS FILTER *  
*   2 : HIGH PASS FILTER *  
*   3 : BAND PASS FILTER *  
* * * * * * * * * * * *  
SELECT FILTER (0-3) ?
```

と、出力に際して用いるフィルタの種類の指定待ちとなる。0～3で指定する（省略値は0）。

0を入力した場合は(6)へ進む。1～3を入力した場合は(5)へ進む。

(5)

(5.1)(4)で1(Low Pass Filter)を指定した場合には

(5.1.1)まず

```
SELECT FILTER (0-3) ? 1  
*** LOW PASS FILTER ***
```

と表示し、次にフィルタの設計に入る。

(5.1.2)最初に

HIGHEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ?

に対して、フィルタの通過帯域はDCから何Hzまでにするか、を指定する。次に、

MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ?

に対して、その通過帯域における利得は何%以上とするか、を指定する。阻止帯域についても同様に指定する。

SELECT FILTER (0-3) ? 1

*** LOW PASS FILTER ***

HIGHEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ? 10

MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ? 90

LOWEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ? 20

MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ? 5

上はDCから10Hzまでを通過帯域とし、そこでの利得を90%以上に、20Hz以上を阻止帯域とし、そこでの利得は5%以下に設定した場合の例である。

(5.1.3) 次の

CHECK ABOVE. O.K. (Y OR N) ?

に対して、指定に誤りがなければYを、誤りがあって指定のやりなおしをしたい時はNを入力する。

Nを入力すると(5.1.2)にもどる。(省略値はY)

(5.1.4) 計算機は上で指定した特性を満すフィルタの設計を行う。フィルタができあがると

*** LOW PASS FILTER OF ORDER 4 HAS DESIGNED ***

と表示して、上の例は4次のフィルタができ上ったことを示している。フィルタの特性が急峻すぎる場合には、例えば

*** LOW PASS FILTER ***

HIGHEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ? 10

MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ? 99

LOWEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ? 12

MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ? 1

CHECK ABOVE. O.K. (Y OR N) ? Y

TOO SHARP LOW PASS FILTER N= 29

==== TRY AGAIN ===

と表示して、つくれなかつたことを知らせてくる。上は、指定した特性を満すためには29次ものフィルタとなってしまってつくれなかつた例である。22次以内ならつくるプログラムになっているので、ゆるやかな特性に指定しなおすため、(5.1.2)にもどる。22次以内なら(6)にすすむ。

(5.2) (4) で2(HIGH PASS FILTER)を指定した場合には

(5.2.1) まず

SELECT FILTER (0-3) ? 2

*** HIGH PASS FILTER ***

と表示し、次にフィルタの設計に入る。

(5.2.2)

HIGHEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ? 1

に対して、フィルタの阻止帯域はDCから何Hzまでにするか、を指定する。次に

MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ? 5

に対して、その阻止帯域における利得は何%以下とするか、を指定する。通過帯域についても同様に指定する。

SELECT FILTER (0-3) ? 2

*** HIGH PASS FILTER ***

HIGHEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ? 1

MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ? 5

LOWEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ? 2

MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ? 90

上はDCから1Hzまでを阻止帯域とし、そこでの利得を5%以下に、2Hz以上を通過帯域とし、そこでの利得は90%以上に設定した場合の例である。

(5.2.3) (5.1.3)と同じ。

(5.2.4) (5.1.4)と同じ。急峻すぎる場合は(5.2.2)にもどる。22次以内なら(6)に進む。

(5.3) (4)で3(BAND PASS FILTER)を指定した場合には

(5.3.1)まず

SELECT FILTER (0-3) ? 3

*** BAND PASS FILTER ***

--- HIGH PASS PART ---

と表示し、次にフィルタの設計に入る。

(5.3.2) このプログラムは、帯域フィルタは高域フィルタと低域フィルタの継続接続でつく るようになっている。ほぼ(5.1.2), (5.1.3), (5.2.2), (5.2.3)の順に入力してゆく。

* * * * *

SELECT FILTER (0-3) ? 3

*** BAND PASS FILTER ***

--- HIGH PASS PART ---

HIGHEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ? 1

MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ? 5

LOWEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ? 2

MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ? 90

CHECK ABOVE. O.K. (Y OR N)? Y

--- HIGH PASS PART OF ORDER 6 HAS DESIGNED ---

--- LOW PASS PART ---

```
HIGHEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ? 10
MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ? 90
LOWEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ? 20
MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ? 5
CHECK ABOVE. O.K. (Y OR N)? Y
--- LOW PASS PART OF ORDER 4 HAS DESIGNED ---
*** BAND PASS FILTER HAS DESIGNED ***
```

上の例は高域フィルタ（阻止帯域DC～1 Hz, 利得5%以下, 通過帯域2 Hz以上, 利得90%以上）と低域フィルタ（通過帯域DC～10 Hz, 利得90%以上, 阻止帯域20 Hz以上, 利得5%以下）とを縦接続した例で、おのおの6次, 4次のフィルタがつくられている。

(6) (3)において0, 1, 2を入力した場合に応じて、それぞれ

* VELOCITY *

または

* DISPLACEMENT *

または

* ACCELERATION *

と表示して、速度比例波形、変位比例波形、または加速度比例波形を出力する旨を伝える。

(7)

(7.1) (2)において1～4を入力した場合には

(7.1.1) さらに

TIME SCALE (MM/MIN) ?

と、時間軸のスケールの指定の入力待ちとなる。 mm/min を単位として入力する（省略値は360）。

(7.1.2) 次に、(3)において0, 1, 2を入力した場合に応じてそれぞれ

AMPLITUDE SCALE ((CM/S)/CM) ?

または

AMPLITUDE SCALE ((CM)/CM) ?

または

AMPLITUDE SCALE ((GAL)/CM) ?

と、振幅軸のスケールの入力待ちとなるので(cm/s) $/\text{cm}$, (cm) $/\text{cm}$, または(Gal) $/\text{cm}$ を単位として入力する。これは作画用紙上の1 cmが何 cm/s , 何 cm , または何 Galに相当するかを示すものである。

(7.1.3) 次に

START TIME AFTER START TIME OF RECORD (SEC) ?

と、記録開始後、(CMTの先頭の記録の時刻)から、何秒後から作画を開始するか、の入力待ちとなる。X-Yプロッタを作画準備完了状態にセットしたのち、希望する数値(秒)を入力する。

省略値は0である。(2)において、1~4を入力した時の作画例を図2.6.4~2.6.7に示す。

(7.1.4) 作画用紙の右端まで達すると終了する。その前でもCMTが終りになればその時点で

```
TIME SCALE (MM/MIN) ? 360
AMPLITUDE SCALE ( (CM/S)/CM ) ? 1
START TIME AFTER START TIME OF RECORD (SEC)? 480
==== END OF SEISMOGRAM ====
READY
)
```

と表示して終了する。

(7.2)(2)において5を入力した場合には

(7.2.1)(7.1.2)と同じ。

(7.2.2)(7.1.3)と同じ。

(7.2.3) 次に

```
AMPLITUDE SCALE ( (CM/S)/CM ) ? 1
START TIME AFTER START TIME OF RECORD (SEC)? 15
STOP TIME AFTER START TIME OF RECORD (SEC) ?
```

と、記録開始後、何秒後までを作画するのかの指定待ちの状態となる。希望する値を入力する。

(7.2.4) 作画を開始をする。CRTの右下に、その時点での作画中の時刻が表示される。(7.2.3)で指定した時刻まで作画して、終了する。作画例を図2.6.8に示す。

(7.3)(2)において6を入力した場合には

(7.3.1) さらに

```
THETA (DEG) ?
```

と、角度THETAの指定待ちとなる。これは、これから鉛直断面上の軌跡を作画しようとしているが、その鉛直断面の走向の角度を指定するもので、北から東回りに度単位で測った値で指定する。

(7.3.2)(7.1.2)と同じ。

(7.3.3)(7.1.3)と同じ。

(7.3.4)(7.2.3)と同じ。

(7.3.5)(7.2.4)と同じ。作図例を図2.6.9に示す。

プログラムリスト：

```
10 CLS:PRINT"***** PLAS - BAPLAS 83 *****"
20 PRINT"STRONG MOTION SEISMOGRAM : PLOT SEISMOGRAM"
30 ' CODED BY M TAKAHASHI, SEE MRI TECH. REP. NO.6
40 DEFINT I-N : DIM DA%(3,31),XB(4),YB(4),DB(2,31)
50 GOSUB 1000 :'INIT *** INITIALIZE ***
60 GOSUB 2000 :'LABEL *** READ LABEL ***
70 IF RC<>0 GOTO50
80 GOSUB 7000 :*** DISPLAY LABEL INFORMATION ***
```

```

90 PRINT"** NO : X - Y * * * * * * * * * * * * * * * * "
100 PRINT"** 1 : T - N, E, U "
110 PRINT"** 2 : T - N, E "
120 PRINT"** 3 : T - U "
130 PRINT"** 4 : T - SQR( N + 2 + E + 2 ) & "
140 PRINT"** SQR( N + 2 + E + 2 + U + 2 ) "
150 PRINT"** 5 : E - N "
160 PRINT"** 6 : N (THETA) E - U "
170 PRINT"** NO * * * * * * * * * * * * * * * * "
180 NP=1 : INPUT"SELECT X-Y (1-6) ";NP
190 IF NP<1 OR NP>6 THEN 180
200 PRINT"** NO : OUTPUT * * * * * * * * * * "
210 PRINT"** 0 : VELOCITY (THROUGH) "
220 PRINT"** 1 : DISPLACEMENT (INTEGRATION) "
230 PRINT"** 2 : ACCELERATION (DIFFERENTIAL) "
240 PRINT"** * * * * * * * * * * * * * * "
250 NU=0 : INPUT"SELECT OUTPUT (0-2) ";NU:THE DESIGN METHOD
260 IF NU<0 OR NU>2 THEN 250 :: OF DIGITAL FILTER
270 PRINT"** NO : FILTER * * * * * " :: IS BASED ON
280 PRINT"** 0 : NO FILTER " :: "DIGITAL FILTERS"
290 PRINT"** 1 : LOW PASS FILTER " :: WRITTEN BY HAMMING,
300 PRINT"** 2 : HIGH PASS FILTER " :: TRANSLATED BY
310 PRINT"** 3 : BAND PASS FILTER " :: MIYAGAWA & IMAI;
320 PRINT"** * * * * * * * * * * " :: KAGAKUGIJUTSU-
330 NQ=0:INPUT"SELECT FILTER (0-3) ";NQ : SHUPPANSHA, 1980.
340 IF NQ<0 OR NQ>3 THEN 330
350 IF NU=0 AND NQ=0 THEN PRINT"** VELOCITY *": GOTO 450 ELSE
  DIM CD(5,22), XF(2,2,23):FS=60
360 N2=0 : N6=0 : IF NQ=0 THEN 440
370 IF NQ=1 THEN PRINT"*** LOW PASS FILTER ***" ELSE 390
380 GOSUB 20000 : GOSUB21000 : IF RC<>0 THEN 380 ELSE PRINT"***"
  LOW PASS FILTER OF ORDER";N;"HAS DESIGNED ***": GOTO 440
390 IF NQ=2 THEN PRINT"*** HIGH PASS FILTER ***" ELSE 410
400 GOSUB 19000 : GOSUB 21000 : IF RC<>0 THEN 400 ELSE PRINT"**"
  HIGH PASS FILTER OF ORDER";N;"HAS DESIGNED ***": GOTO 440
410 PRINT"*** BAND PASS FILTER ***"
420 GOSUB 19000 : GOSUB 21000 : IF RC<>0 THEN 420 ELSE PRINT"--"
  HIGH PASS PART OF ORDER";N;"HAS DESIGNED ---": F5=F1 : F6=F2
  : G5=G1 : G6=G2 : N6=N2
430 GOSUB20000 : GOSUB21000 : IF RC<>0 THEN 430 ELSE PRINT"---"
  LOW PASS PART OF ORDER";N;"HAS DESIGNED ---": PRINT"*** BAND PA
  SS FILTER HAS DESIGNED ***"
440 IF NU=0 THEN PRINT"** VELOCITY *":CD(1,0)=1:FOR K=2 TO 5 :
  CD(K,0)=0 : NEXT K ELSE IF NU=1 THEN PRINT"** DISPLACEMENT *":
  GOSUB 22000 ELSE PRINT"** ACCELERATION *":GOSUB 23000
450 IF NP<5 THEN TS=360:INPUT"TIME SCALE (MM/MIN) ";TS
460 IF NP=6 THEN TH=0 : INPUT"THETA (DEG) ";TH
470 AS=1 : PRINT"AMPLITUDE SCALE ";
480 IF NU=0 THEN INPUT"( (CM/S)/CM ) ";AS ELSE IF NU=1 THEN INPUT
  "( (CM)/CM ) ";AS ELSE INPUT"( (GAL)/CM ) ";AS
490 IF AS<=0 THEN 470
500 GOSUB 3000 : HEAD *** HEADING CMT ***

```

```

510 IF NP>4 THEN TY=TX+5 : INPUT"STOP TIME AFTER START TIME OF R
ECORD (SEC) ";TY
520 IF NP>4 AND TY<TX THEN 510 ELSE TY=TY-TX
530 GOSUB 12000 :'' FRAME ***: PLOT FRAME ***
540 GOSUB 13000 :'' PLTLBL ***: PLOT LABEL INFORMATION ETC. ***
550 GOSUB 14000 :'' PLTCMP ***: PLOT COMPONENTS ***
560 FOR K=0 TO 4:XB(K)=0:NEXT K : TH=TH*3.141593/180
570 YB(0)=2300-NP*200 : YB(1)=1900-NP*500 : YB(2)=350+350*NP
580 N2=N2+N6+1 : IF NP=4 THEN YB(0)=1400 : YB(1)=400
590 YB(3)=300 : YB(4)=2500 : N=-1 : AS=20000/AS/4096 : NT=0
600 IF NP=3 THEN M0=2 : M1=2 ELSE M0=0 : IF NP=2 OR NP=5 THEN
    M1=1 ELSE M1=2
610 GOSUB 4000 :'' READ ***: READ NEXT BLOCK ***
620 IF RC<>0 THEN OUT2,10 : LPRINT"H" : OUT248,0 : PRINT"== END
OF SEISMOGRAM ==": END
630 FOR K=0 TO 31 : FOR J=M0 TO M1 : DB(J,K)=DA%(J,K) :NEXT J,K
640 IF NQ<>0 OR NU<>0 THEN GOSUB 24000 :''' FILTERING ***
650 GOSUB 11000 :'' PLTSMG ***: PLOT SEISMOGRAM ***
660 IF RC<>0 THEN OUT2,10:LPRINT"H":OUT248,0:END ELSE GOTO 610
1000 '*** SUBROUTINE INIT *****: INITIALIZE *****
1010 POKE 16526,0 : POKE 16527,48
1020 Y$="Y":INPUT"READY (Y OR N)":Y$
1030 IF Y$="Y" THEN 1040 ELSE 1020
1040 IF USR(11) AND 16 THEN PRINT"NOT READY !":GOTO1020 ELSE RET
URN :'' ****
2000 '*** SUBROUTINE LABEL *****: READ LABEL BLOCK *****
2010 X=USR(0):A=USR(8):A=USR(4):RC=0:' RC : RETURN CODE
2020 IF(PEEK(X)<>0) OR (PEEK(X+1)<>2) THEN PRINT"THE CMT IS NOT
SEISMOGRAM. PUT THE SEISMOGRAM IN UNIT #0.":RC=1:RETURN
2030 ST=(PEEK(X+3) AND 15)*100+(PEEK(X+4) AND 240)*10/16+(PEEK(
X+4) AND 15) :' STATION
2040 VL=PEEK(X+7) AND 15 :' RECORDER UNIT NUMBER
2050 DY=(PEEK(X+16) AND 15)*100+(PEEK(X+17) AND 240)*10/16+(PEEK(
X+17) AND 15) :' DAY OF THE YEAR
2060 HR=(PEEK(X+18) AND 240)*10/16+(PEEK(X+18) AND 15):' HOUR
2070 AN=(PEEK(X+19) AND 240)*10/16+(PEEK(X+19) AND 15):' MINUTE
2080 SC=(PEEK(X+20) AND 240)*10/16+(PEEK(X+20) AND 15):' SECOND
2090 RETURN :'' ****
3000 '*** SUBROUTINE HEAD ***: HEADING CMT *****
3010 TX=0:INPUT"START TIME AFTER START TIME OF RECORD (SEC)":TX
3020 N=TX*15/8 : IF N=0 THEN RETURN ELSE IF N>900 THEN 3010
3030 FOR J=1 TO N : A=USR(6) : NEXT : RETURN :'' *****
4000 '*** SUBROUTINE READ *****: READ NEXT BLOCK *****
4010 RC=0 : A=USR(4) : IF A AND 2 THEN OUT2,10 : RC=1 : RETURN
4020 FOR J=0 TO 31 : FOR K=0 TO 3
4030 POKE VARPTR(DA%(K,J)), PEEK(X+2*K+8*J+1)
4040 POKE VARPTR(DA%(K,J))+1, PEEK(X+2*K+8*J )
4050 DA%(K,J)=DA%(K,J)/16 : NEXT K,J :N=N+1: RETURN :'' *****
7000 '*** SUBROUTINE DSPLBL ***: DISPLAY LABEL INFORMATION ***
7010 PRINT"STATION :"ST:PRINT"RECORDER :"VL"(1=LEFT, 2=RIGHT)"
7020 PRINT"TRIGGER :"DY"D"HR"H"AN"M"SC"S"
7030 PRINT,"START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.":PRINT

```

```

7040 RETURN :' ****
11000 'SUBROUTINE PLTSMG ***** PLOT SEISMOGRSM *****
11010 RC=0 : FOR J=0 TO 4
11020 IF (NP>4 AND J>0) OR ((NP=2 OR NP=4) AND J=2) OR (NP=3 AND
J<2) THEN 11380 ELSE XS=NTS*32/360
11030 IF INT(XS+0.5)>3600 THEN RC=1 : RETURN
11040 FOR K=0 TO 31
11050 IF NP>4 THEN 11270 :'
===== NP=1, 2, 3, 4 =====
----- TIME MARK -----
11060 IF J>2 THEN YY=INT(DA%(3,K)/5+0.5)+2200*J-6300 ELSE 11120
11070 IF J=3 AND YY>400 THEN YY=400
11080 IF J=3 AND YY<200 THEN YY=200
11090 IF J=4 AND YY>2600 THEN YY=2600
11100 IF J=4 AND YY<2400 THEN YY=2400
11110 GOTO 11210 :'
----- TIME MARK END -----
----- SEISMOGRAM -----
11120 IF NP=4 AND J=0 THEN YY=INT( SQR( DB(0,K)+2 + DB(1,K)+2 )
* AS + 0.5 )
11130 IF NP=4 AND J=1 THEN YY=INT( SQR( DB(0,K)+2 + DB(1,K)+2 +
DB(2,K)+2 ) * AS + 0.5 )
11140 IF NP<>4 THEN YY=INT( DB(J,K)*AS+0.5 )
11150 IF NP=1 THEN YY=YY+2100-J*700
11160 IF NP=2 THEN YY=YY+1900-J*1000
11170 IF NP=3 THEN YY=YY+1400
11180 IF NP=4 THEN YY=YY+1400-J*1000
11190 IF YY>2600 THEN YY=2600
11200 IF YY<200 THEN YY=200 :'
----- SEISMOGRAM END -----
===== NP=1, 2, 3, 4 END =====
11210 IF K=0 THEN LPRINT"M"XB(J)", "YB(J)"
11220 XX=INT(XS) : IF XX>3600 THEN 11370
11230 LPRINT"D"XX", "YY
11240 IF K=31 THEN XB(J)=XX : YB(J)=YY
11250 XS=X$+TS/360
11260 GOTO11370 :'
===== NP=5, 6 =====
11270 IF NP=5 THEN XX=INT(DB(1,K)*AS+0.5)
ELSE XX= INT((DB(0,K)*COS(TH)+DB(1,K)*SIN(TH))*AS+0.5)
11280 IF NP=5 THEN YY=INT(DB(0,K)*AS+0.5)
ELSE YY=INT(DB(2,K)*AS+0.5)
11290 XX=XX+1300 : YY=YY+1300
11300 IF XX>2600 THEN XX=2600
11310 IF XX<0 THEN XX=0
11320 IF YY>2600 THEN YY=2600
11330 IF YY<0 THEN YY=0
11340 IF N=0 THEN LPRINT"M"XX", "YY : N=1 ELSE LPRINT"D"XX", "YY
11350 PRINT@1000, AN;"M";:PRINTUSING"###.##";SC;:PRINT"S";:
SC=SC+1/60 : IF SC>59.99 THEN SC=0 : AN=AN+1
11360 TY=TY-1/60 : IF TY<0 THEN RC=1 : RETURN :'
===== NP=5, 6 END =====

```

```

11370 NEXT K : LPRINT"R"0", "0
11380 NEXT J : RETURN :'***** SUBROUTINE FRAME ***** PLOT FRAME *****
12000 '*** SUBROUTINE FRAME ***** PLOT FRAME *****
12010 OUT248, 1 : LPRINT"H": X1=0:Y1=200:X2=3600:Y2=2600
12020 IF NP>4 THEN Y1=0 : X2=2600
12030 LPRINT"M"X1", "Y1
12040 FOR K=X1 TO X2 STEP 100
12050 LPRINT"D"K", "Y1", "K", "Y1+30", "K", "Y1 : NEXT K
12060 FOR K=Y1 TO Y2 STEP 100
12070 LPRINT"D"X2", "K", "X2-30", "K", "X2", "K : NEXT K
12080 FOR K=X2 TO X1 STEP -100
12090 LPRINT"D"K", "Y2", "K", "Y2-30", "K", "Y2 : NEXT K
12100 FOR K=Y2 TO Y1 STEP -100
12110 LPRINT"D"X1", "K", "X1+30", "K", "X1", "K : NEXT K
12120 IF NP>4 THEN LPRINT"M"0", "1300 : LPRINT"L"1 : LPRINT"B"26
: LPRINT"D"2600", "1300 : LPRINT"M"1300", "0 : LPRINT"D"1300", "260
0 : LPRINT"L"0
12130 RETURN :'***** SUBROUTINE PLTLBL ***** PLOT LABEL INFORMATION *****
13000 'SUBROUTINE PLTLBL ***** PLOT LABEL INFORMATION *****
13010 IFNP>4 THEN LPRINT"S"6 : LPRINT"M"2725", "2425
ELSE LPRINT"S"4 : LPRINT"M"25", "130
13020 LPRINT"PSATION:"ST
13030 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "2325 ELSE LPRINT"P"
13040 LPRINT"PTRIG :"DY"D"HR"H"
13050 IF NP>4 THEN LPRINT"M"3019", "2225
13060 LPRINT"P"AN"MMSC"S"
13070 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "2125 ELSE LPRINT"P"
13080 SC=SC+N*32/60-10 : IF SC<0 THEN SC=SC+60 : AN=AN-1
13090 IF SC>=60 THEN SC=SC-60 : AN=AN+1 : GOTO13090
13100 LPRINT"PPLOT STARTS ON":IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "2025
13110 SA=INT(SC*10+0.5)/10 : LPRINT"P"AN"MM"SA"S"
13120 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "1925:LPRINT"PPLOT STOPS ON":
LPRINT"M"2725", "1825:SA=SC+TY:AM=AN
13130 IF NP>4 AND SA>=60 THEN SA=SA-60 : AM=AM+1 : GOTO 13130
13140 IF NP>4 THEN LPRINT"P"AM"INT(SA*10+0.5)/10"S"
13150 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "1725 : GOTO 13160 ELSE LPRINT
T"MM"25", "70 : LPRINT"PTIME SCALE:"TS"mm/min "
13160 LPRINT"PAMP. SCALE:"IFNP>4THEN LPRINT"M"2725", "1625
13170 IF NU=0 THEN LPRINT"P"AS"(cm/sec)/cm" ELSE IF NU=1 THEN
LPRINT"P"AS"(cm)/cm" ELSE LPRINT"P"AS"(Gal)/cm"
13180 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "625 ELSE LPRINT"M"25", "10
13190 IF NQ=0 THEN LPRINT"PNQ FILTER" : GOTO13300
13200 IF NQ=1 THEN LPRINT"PLQW PASS FILTER:"
ELSE LPRINT"PHIGH PASS FILTER:"
13210 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "525
13220 LPRINT"S"4 :IF NQ=1 OR NQ=2 THEN LPRINT"P"G1%" AT"F1"Hz, "
ELSE LPRINT"P"G5%" AT"F5"Hz, "
13230 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "425
13240 IF NQ=1 OR NQ=2 THEN LPRINT"P"G2%" AT"F2"Hz " : GOTO13300
ELSE LPRINT"P"G6%" AT"F6"Hz "
13250 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "325 ELSE LPRINT"P; "

```

```

13260 IF NP>4 THEN LPRINT"S"6
13270 LPRINT"PLOW PASS FILTER:" : IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "225
13280 LPRINT"S"4 : LPRINT"P"G1%" AT"F1"Hz, " : IF NP>4 THEN
LPRINT"M"2725", "125
13290 LPRINT"P"G2%" AT"F2"Hz"
13300 LPRINT"S"6 : RETURN : ****
14000 'SUBROUTINE PLTCMP ***** PLOT COMPONENTS *****
14010 IF NP<5 THEN 14050 ELSE LPRINT"M"2770", "1360 :'
=====
NP=5, 6 =====
14020 LPRINT"D"2800", "1400", "2830", "1360", "2800", "1400", "2800", "
800 : LPRINT"M"2700", "900 : LPRINT"D"3550", "900", "3510", "930", "3
550", "900", "3510", "870 : LPRINT"M"2825", "1200
14030 IF NP=5 THEN LPRINT"PN" ELSE LPRINT"PU"
14040 IF NP=5 THEN LPRINT"M"3400", "925 : LPRINT"PE" : GOTO 14130
ELSE LPRINT"M"2900", "925 : LPRINT"PN("TH"deg)E" : GOTO 14130
14050 LPRINT"M"25", "2510:LPRINT"Ptime mark" :'
=====
NP=1 =====
14060 IF NP=1 THEN LPRINT"M"25", "2125:LPRINT"PN":LPRINT"M"25", "2
025:LPRINT"PS":LPRINT"M"25", "1425:LPRINT"PE":LPRINT"M"25", "1325:
LPRINT"PW":LPRINT"M"25", "725:LPRINT"PU":LPRINT"M"25", "625:LPRINT
"PD": GOTO 14120
14070 '== NP=2 =====
14080 IF NP=2 THEN LPRINT"M"25", "1925:LPRINT"PN":LPRINT"M"25", "1
825:LPRINT"PS":LPRINT"M"25", "925:LPRINT"PE":LPRINT"M"25", "825:LPRINT
"PW": GOTO 14120 :'
=====
NP=3 =====
14090 IF NP=3 THEN LPRINT"M"25", "1425:LPRINT"PU":LPRINT"M"25", "1
325:LPRINT"PD": GOTO 14120 :'
=====
NP=4 =====
14100 LPRINT"M"25", "1325: LPRINT"P(N+E)": LPRINT"M"25", "325:LPRINT
"PC(N+E+U)": LPRINT"S"2 : LPRINT"M"111", "1353 : LPRINT"P2": LP
RINT"M"209", "1353 : LPRINT"P2":LPRINT"M"250", "1353:LPRINT"P1/2"
14110 LPRINT"M"111", "353 : LPRINT"P2" : LPRINT"M"209", "353 : LPR
INT"P2" : LPRINT"M"307", "353 : LPRINT"P2" : LPRINT"M"348", "353 :
LPRINT"P1/2" : LPRINT"S"6:LPRINT"M"0", "1400:LPRINT"D"3600", "1400
:LPRINT"M"0", "400:LPRINT"D"3600", "400
14120 LPRINT"M"25", "240:LPRINT"Ptime mark"
14130 LPRINT"H" : RETURN : ****
19000 '*** SUBROUTINE INPUT1 ****
19010 IF NQ=3 THEN PRINT"--- HIGH PASS PART ---"
19020 INPUT"HIGHEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ";F1
19030 IF F1<=0 OR F1>20 THEN 19020
19040 INPUT"MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ";G1
19050 IF G1<=0 OR G1>80 THEN 19040
19060 INPUT"LOWEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ";F2
19070 IF F2<=F1 OR F2>=30 THEN 19060
19080 INPUT"MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ";G2
19090 IF G2<=G1 OR G2<20 OR G2>=100 THEN 19080
19100 YP$="Y" : INPUT"CHECK ABOVE. O.K. (Y OR N)";YP$
19110 IF YP$<>"Y" THEN 19010 ELSE RETURN : ****
20000 '*** SUBROUTINE INPUT2 ****
20010 IF NQ=3 THEN PRINT"--- LOW PASS PART ---"

```

```

20020 INPUT "HIGHEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ";F3
20030 IF F3<=0 OR F3>20 THEN 20020
20040 INPUT "MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ";G3
20050 IF G3<=20 OR G1>=100 THEN 20040
20060 INPUT "LOWEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ";F4
20070 IF F4<=F3 OR F4>=30 THEN 20060
20080 INPUT "MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ";G4
20090 IF G3<=G4 OR G4<=0 OR G4>=80 THEN 20080
20100 YP$="Y" : INPUT "CHECK ABOVE. O.K. (Y OR N) ";YP$
20110 IF YP$<>"Y" THEN 20010 ELSE RETURN : ****
21000 *** SUBROUTINE DESIGN FILTER ****
21010 IF NQ=1 OR (NQ=3 AND N6<>0) THEN F1=F3:F2=F4:G1=G3:G2=G4
21020 RC=0 : PI=3.141593 : ES=SQR((100/G1)^2-1) : AA=100/G2
21030 F1=F1/FS : W1=TAN(PI*F1) : F2=F2/FS : W2=TAN(PI*F2)
21040 RN=LOG(SQR(AA^2-1)/ES)/LOG(W2/W1)
21050 IF RN>0 THEN HL$="LOW" : N=INT(RN)+1 : WC=W1*ES^(1/N)
    ELSE HL$="HIGH" : N=-INT(RN) : WC=W1*ES^(1/N)
21060 IF N>22 THEN PRINT "TOO SHARP ";HL$;" PASS FILTER N=";N :
    PRINT " === TRY AGAIN ===" : RC=1 : RETURN
21070 N2=N/2 : IF N2=0 THEN 21130
21080 FOR I=N6+1 TO N6+N2: A=WC^2+1+2*WC*SIN(PI*(2*(I-N6)-1)/2/N)
21090 IF RN>0 THEN CD(1,I)=WC^2/A : CD(2,I)=2*CD(1,I)
    ELSE CD(1,I)=1/A : CD(2,I)=-2*CD(1,I)
21100 CD(3,I)=CD(1,I) : CD(4,I)=2*(1-WC^2)/A
21110 CD(5,I)=(-WC^2-1+2*WC*SIN(PI*(2*I-1)/2/N))/A : NEXT I
21120 N3=N2*2 : IF N3=N THEN 21150
21130 N2=N2+1: IF RN>0 THEN CD(1,N2+N6)=WC/(1+WC) : CD(2,N2+N6)=
    CD(1,N2+N6) ELSE CD(1,N2+N6)=1/(1+WC) : CD(2,N2+N6)=-CD(1,N2+N6)
21140 CD(3,N2+N6)=0 : CD(4,N2+N6)=(1-WC)/(1+WC) : CD(5,N2+N6)=0
21150 F1=F1*FS : F2=F2*FS : RETURN : ****
22000 *** SUBROUTINE INTEGRATOR ****
22010 CD(1,0)=0.00832100 : CD(2,0)=0 : CD(3,0)=-CD(1,0)
22020 CD(4,0)=1.99704 : CD(5,0)=-0.997042 : RETURN: ****
23000 *** SUBROUTINE DIFFERENTIATER ****
23010 CD(1,0)=55.8184 : CD(2,0)=0 : CD(3,0)=-CD(1,0)
23020 CD(4,0)=-0.620204 : CD(5,0)=-0.240408 : RETURN: ****
24000 *** SUBROUTINE FILTERING **** ASSUMPTION ****
24010 FOR JX= 0 TO 31 : * ALL INPUT BEFORE START = FIRST DATA
24020 FOR J= M0 TO M1 : * THEREFORE, ALL OUTPUT BEFORE START
24030 XF(J,2,0)=DB(J,JX): * = FIRST DATA (LOW PASS FILTER),
24040 IF NT<>0 THEN 24080: * = 0 (ELSE)
24050 FOR K=0 TO 1:XF(J,K,0)=XF(J,2,0) : FOR JA=1 TO N2
24060 IF NQ=1 AND NU=0 THEN XF(J,K,JA)=XF(J,2,0) ELSE XF(J,K,JA)=0
24070 NEXT JA,K
24080 FOR K=1 TO N2: XF(J,2,K)=CD(1,K-1)*XF(J,2,K-1)
    + CD(2,K-1)*XF(J,1,K-1) + CD(3,K-1)*XF(J,0,K-1)
    + CD(4,K-1)*XF(J,1,K) + CD(5,K-1)*XF(J,0,K) : NEXT K
24090 DB(J,JX)=XF(J,2,N2)
24100 FOR K=0 TO 1:FOR JA=0 TO N2:XF(J,K,JA)=XF(J,K+1,JA):NEXT JA,K
24110 NEXT J : NT=1 : NEXT JX : RETURN : ****

```

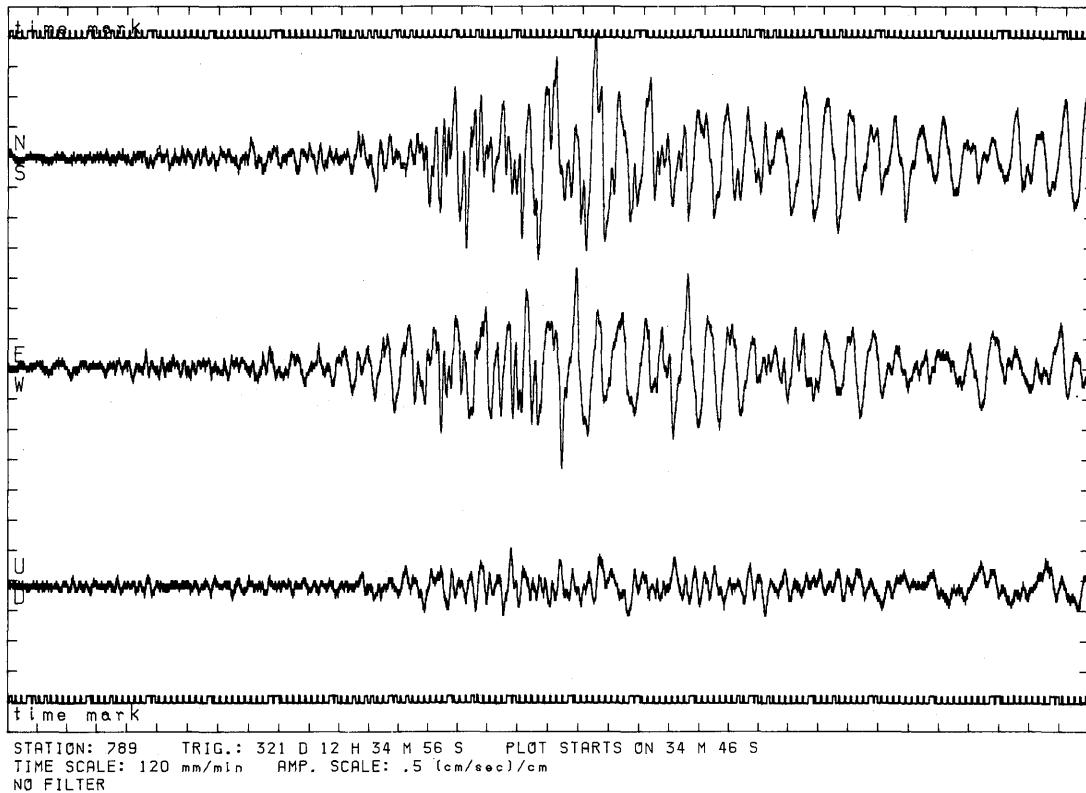


図 2.6.4 P L S G の出力例 (2)で 1 を選択し, (3)で 0, (4)で 0, (7.1.1) で 120, (7.1.2) で 0.5, (7.1.3) で 0 を, 選択ないしは指定した場合。図 2.6.9 まで, 1 div. が 1 cm である。また, 記録は実際の強震動ではなく, 微小地震の長周期記録を増幅したもの。ラベルブロックも仮に作りだしている。

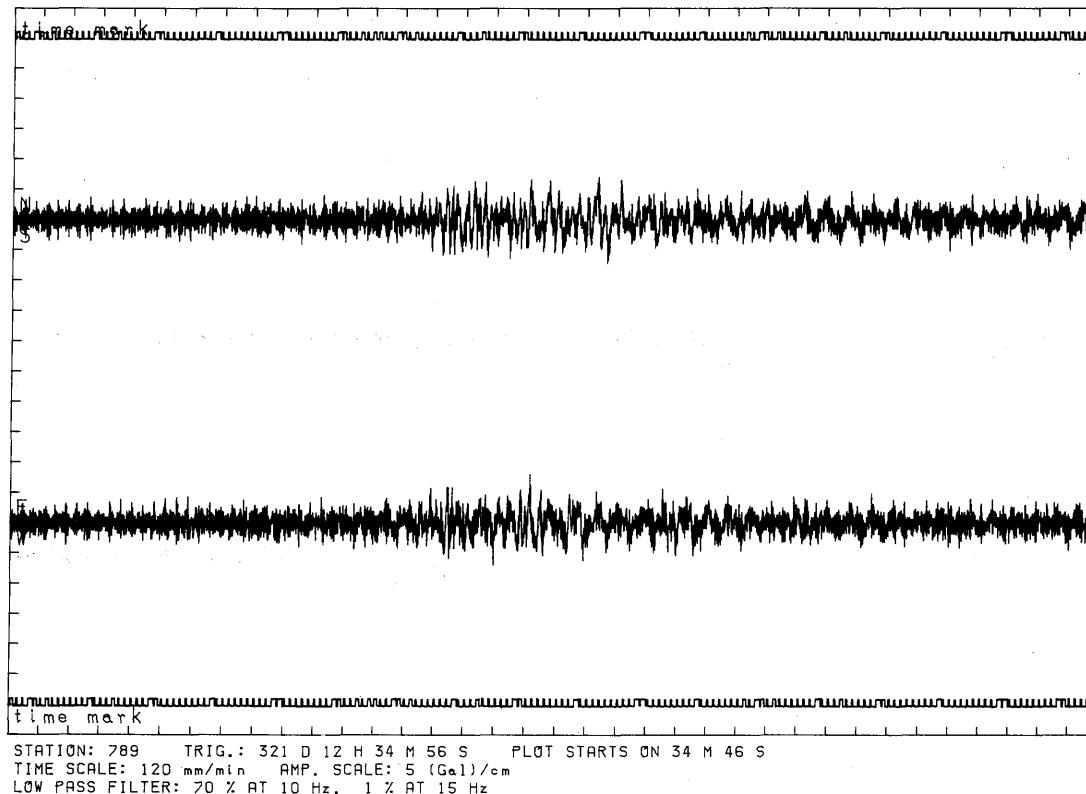


図 2.6.5 P L S G の出力例。 (2)で 2, (3)で 2, (4)で 1, (5.1.2)で 10, 70,
15, 1, (5.1.3)で Y, (7.1.1)で 120, (7.1.2)で 5, (7.1.3)
で 0 を, 選択ないしは指定した場合。

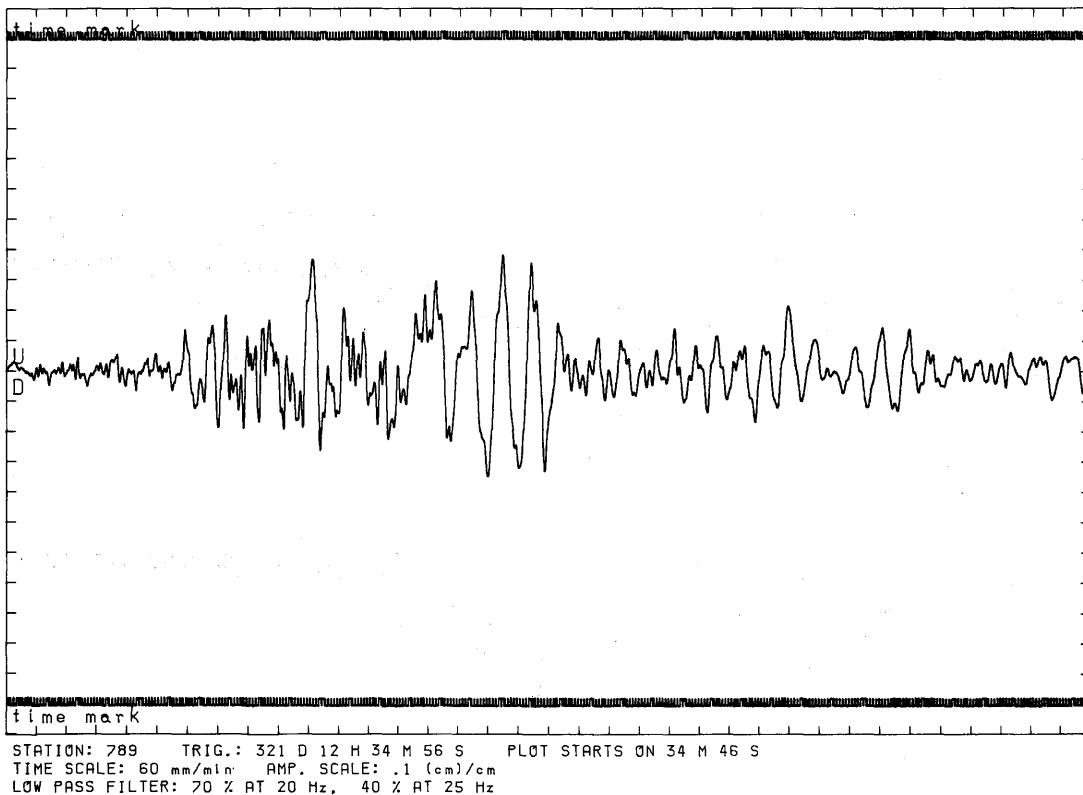


図 2.6.6 P L S G の出力例。 (2)で 3, (3)で 1, (4)で 1, (5.1.2) で 20,
(5.1.3) で Y, (7.1.1) で 60, (7.1.2) で 0.1, (7.1.3) で 0 を、選択ないしは指定した場合。

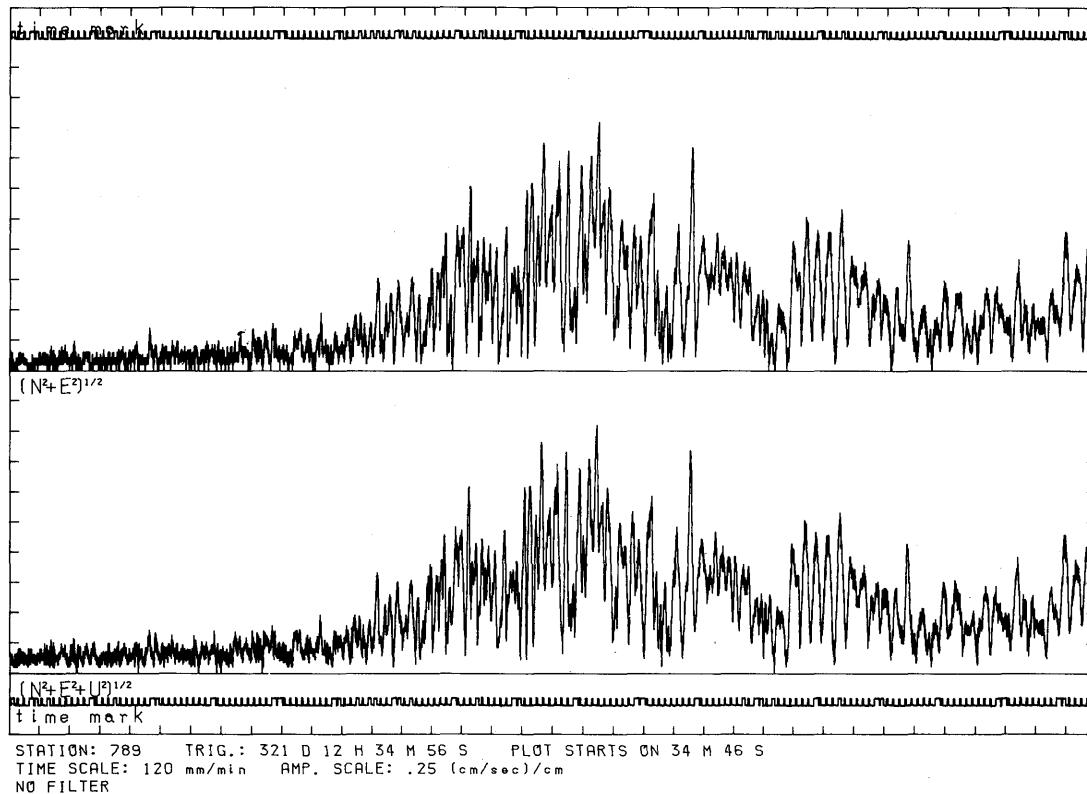


図 2.6.7 P L S G の出力例。 (2)で 4, (3)で 0, (4)で 0, (7.1.1) で 120,
(7.1.2) で 0.25, (7.1.3) で 0 を, 選択ないしは指定した場合。

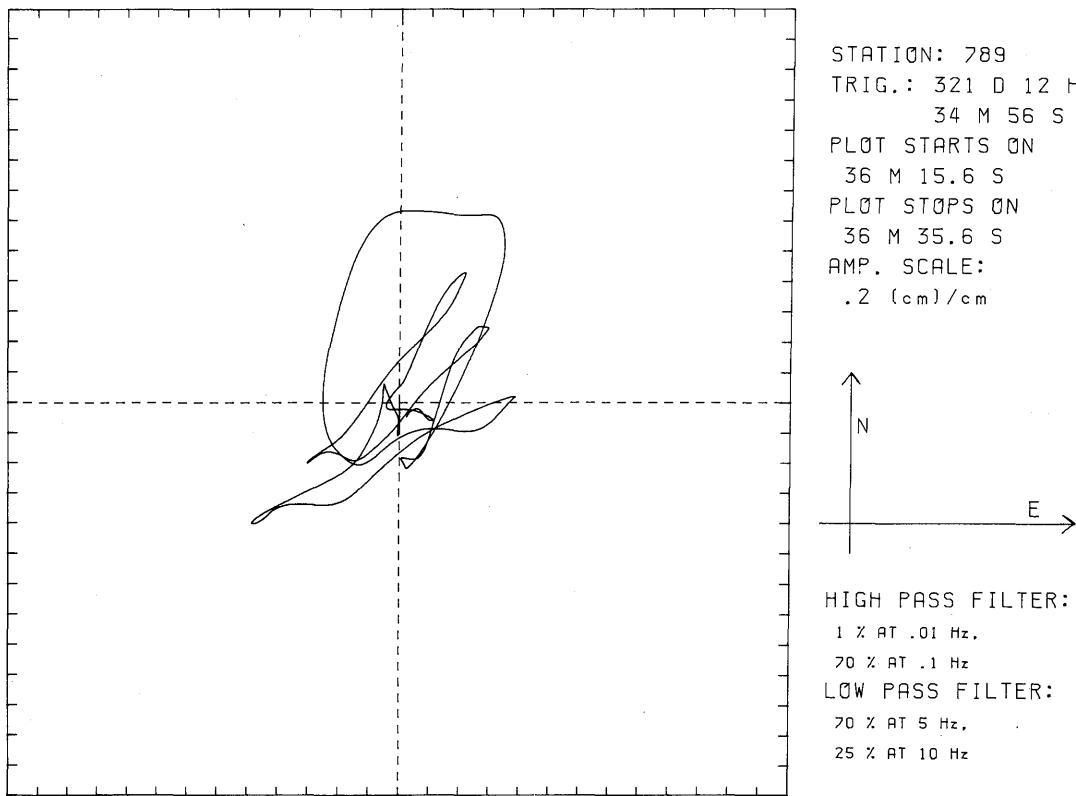


図 2.6.8 P L S G の出力例。 (2)で 5, (3)で 1, (4)で 3, (5.3.2) で 0.01, 1, 0.1, 70, Y, 5, 70, 10, 25, Y, (7.2.1) で 0.2, (7.2.2) で 80, (7.2.3) で 100 を, 選択ないしは指定した場合。

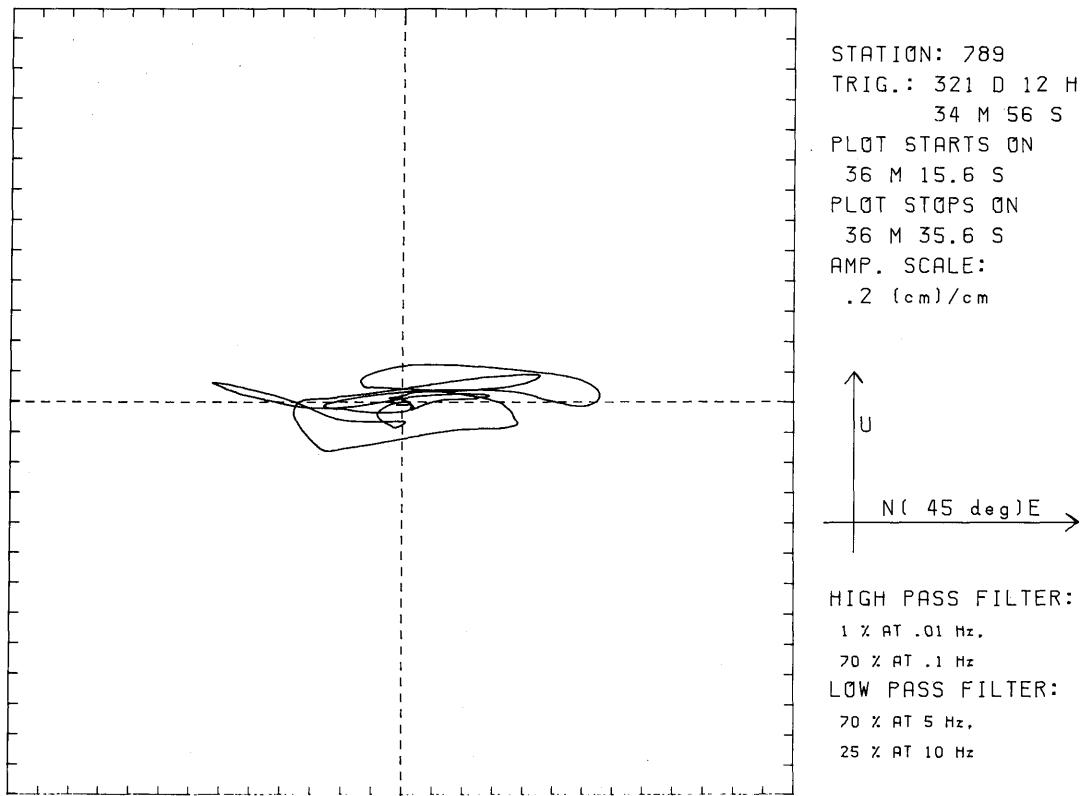


図 2.6.9 P L S G の出力例。 (2)で 6, (3)で 1, (4)で 3, (5.3.2) で 0.01, 1, 0.1, 70, Y, 5, 70, 10, 25, Y, (7.3.1) で 45, (7.3.2) で 0.2, (7.3.3) で 80, (7.3.4) で 100 を, 選択ないしは指定した場合。

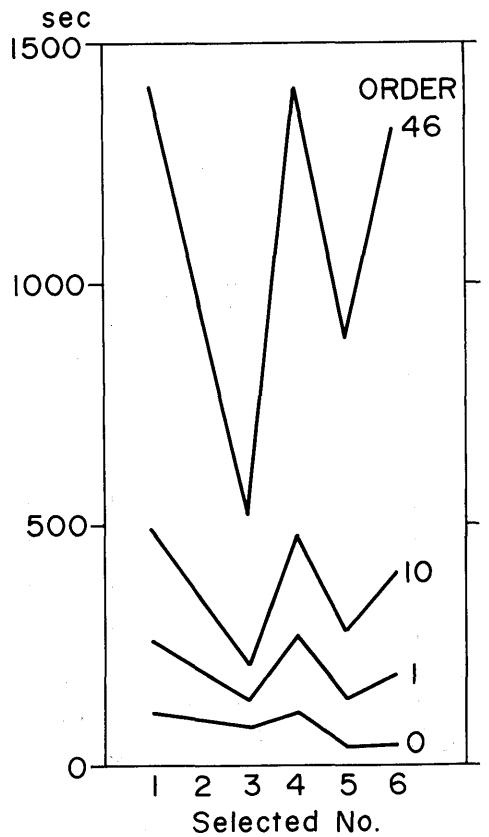


図 2.6.10 P L S Gにおいて、(2)で選択した番号（横軸）と、1秒分のデータを処理するのに必要な時間（縦軸）との関係を、フィルタの次数をパラメータとして示した図。

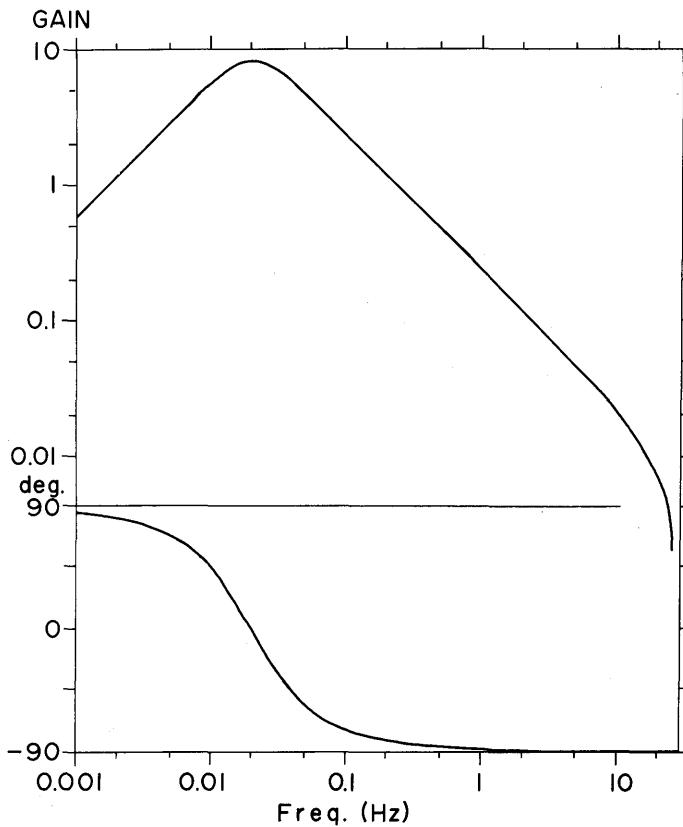


図 2.6.11 P L S Gで用いられている積分演算の周波数特性。上段が振幅特性で、下段が位相特性。

実行に要する時間：フレームを作画するのに3～4分。1秒分のデータを処理するのに図2.6.10に示しただけの時間を要する。図で横軸は(2)において指定した番号、縦軸が要する時間で、用いるフィルタの次数をパラメタとして示してある。フィルタの次数は(5.1.4)(5.2.4)あるいは(5.3.2)において表示されたもので、帯域フィルタの場合は高域フィルタの次数と低域フィルタの次数の和をとるものとする。また、微分、積分はともに、2次のフィルタに相当するので、これらを行うときは用いるフィルタの次数に2を加えなければならない。

使用上の注意：この、プログラムで使われている積分、および微分演算の周波数応答を図2.6.11、2.6.12に示す。この図からわかるように積分演算は1/50Hzに、微分演算は20Hzにピークを持ち、そこにおける利得はそれぞれ約18dB、約44dBとなっている。利得が0dBを超える帯域ではA/D変換による量子化雑音、および電気的な雑音も増幅されるので、得られた図の精度（ないしは分解能）には十分注意し

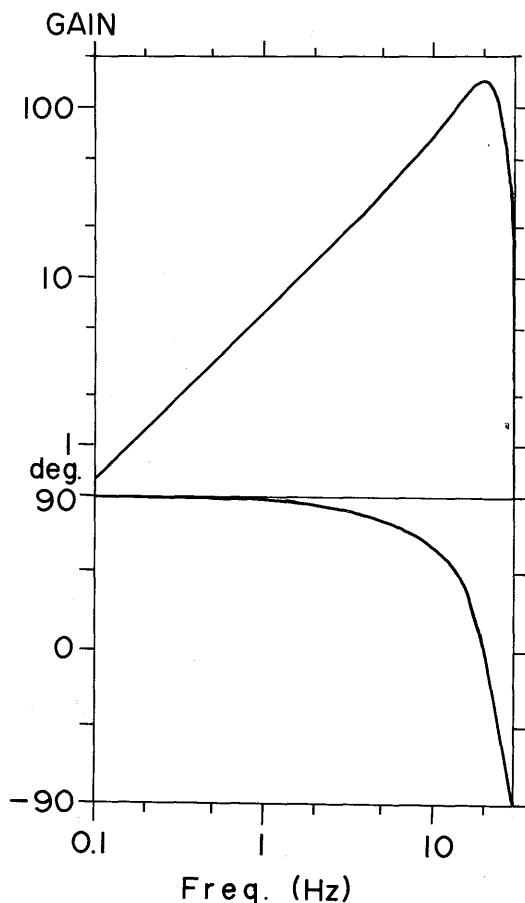


図2.6.12 P L S Gで用いられている
微分演算の周波数特性。上段が振幅
特性で、下段が位相特性。

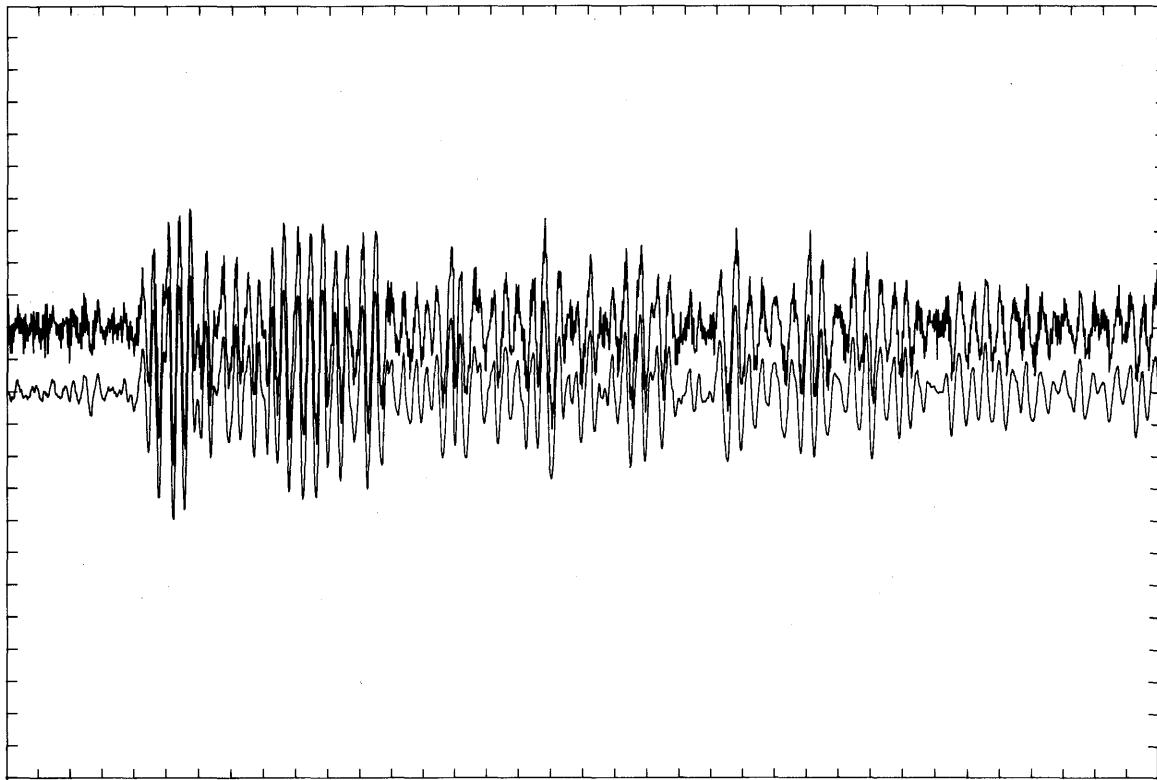


図 2.6.13 実際の強振動（1980年9月25日02時54分、関東南東沖、 $M_J: 6.1$ の地震を筑波で観測したもの、南北成分）の加速度比例記録（下側）と、同時に観測した速度比例記録に図2.6.12に特性を示した微分演算を施した記録（上側）。よい一致が見られる。横軸：1 s / div.; 縦軸：10Gal / cm。

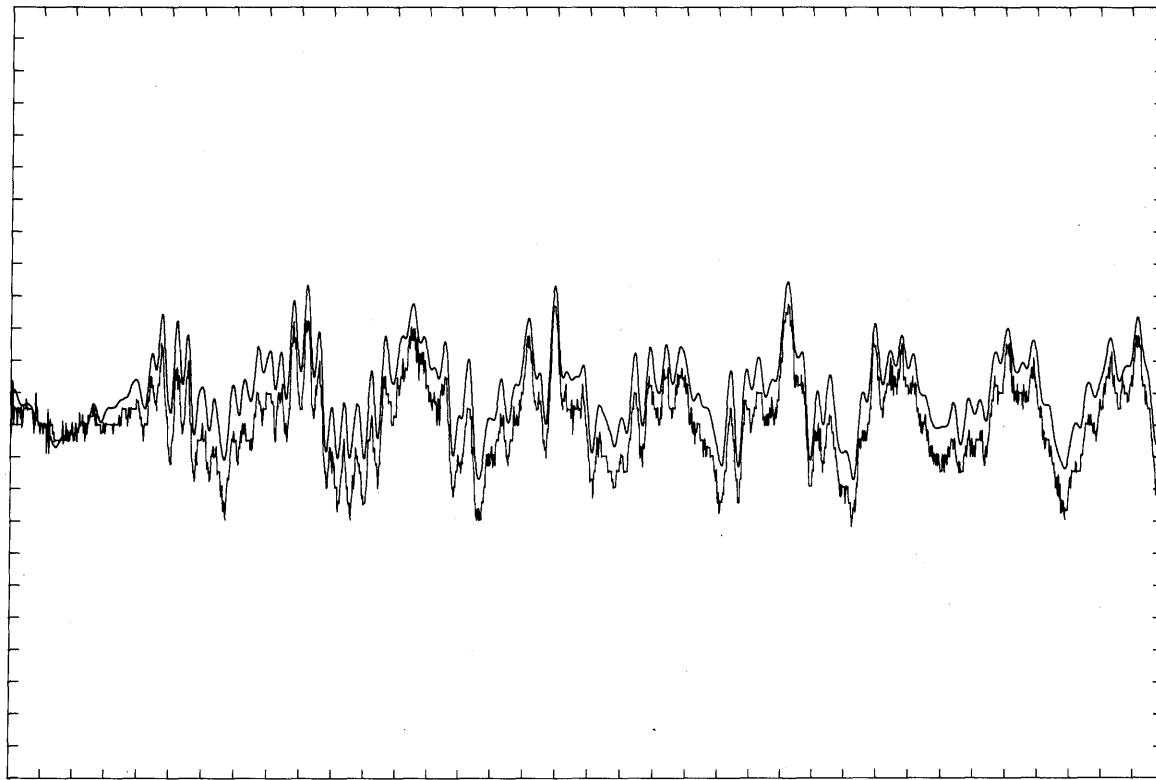


図 2.6.14 実際の地震(図 2.6.13と同じ)の変位比例記録(下側)と、同時に観測した速度比例記録に図 2.6.11に特性を示した積分演算を施した記録(上側)。よい一致が見られる。横軸: 1 s /div.; 縦軸: 1 mm /div.。

なければならない。A/D変換されたデータの1digitは0.0488cm/sであるが、これは1/50Hzにおいては変位0.388cmに、20Hzにおいては6.13Galに相当する。従って、得られた変位ないしは加速度記録も、それ以上の精度はありえない。ただし、フィルタを用いることによって積分あるいは微分演算の、利得の0dB以上のある帯域をしゃ断することによって、精度は向上する。例えば、積分の場合にDC~0.05Hzを阻止帯域とし、そこでの利得を25%以下、0.1Hz以上を通過帯域とし、そこでの利得を70%以上とするような高域フィルタをかけた場合には0.1cmの精度が得られる（この場合、当然ながらDC~0.1Hzの帯域の情報は失われる）。また例えば微分の場合に、DC~10Hzを通過帯域とし、そこでの利得を70%以上、20Hz以上を阻止帯域とし、そこでの利得を25%以下とするような低域フィルタをかけた場合には3Galの精度が得られる。

この積分および微分フィルタの有効性を確かめるために、実際に、変位、速度、加速度成分を並行して記録した。そして実際の加速度記録と、速度記録を微分したものと図2.6.13に示す。また実際の変位記録と、速度記録を積分したものと図2.6.14に示す。いずれもよい一致を見ていて、速度比例の波形データの有効さが明瞭に示されている。

このプログラムにおけるフィルタの設計法はHamming(1977)によっている。

6.6 プログラムSPEC

ファイル名：SPEC (Spectrumの意)

目的：パワーまたはフーリエ・スペクトルを計算し、図形出力する。

実行に必要なメモリーの大きさ：44.7kByte

使用している変数名：A, AH, AL, AM, AN, AW, BY%, BW, CH, CM\$, DF, DI, DY, EI, ER, FH, FL, FP\$, HI, HR, IA, ID, IS, IV, IX, IY, J, JA, JB, JF, JG, K, KA, KC, KF, KM, L, LE, LL, LM, LN, LT, MA, N, NA, NB, NG\$, NH\$, NM, NN, NX, RA, RB, RC, S, SA, SC, SH, ST, TT, TX, TY, UF, VL, WW, X, XA, XB, XC, XD, XI, XR, X1, X2, X3, X4, Y\$, Y1, Y2, Y3, Y4

使用説明：

(1) RUNを入力するとCRT上に

```
***** SPEC - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : SPECTRUM
READY (Y OR N)?
```

と表示される。UNIT 0 の磁気テープ装置に、強震記録のCMTをセットしてYを入力する（省略値はY）。

(2) ラベルブロックを読んだのち

```
***** SPEC - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : SPECTRUM
READY (Y OR N) ? Y
STATION : 789
RECORDER : 1 (1=LEFT, 2=RIGHT)
TRIGGER : 321 D 12 H 34 M 56 S
      START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.
```

FOURIER SPECTRUM OR POWER SPECTRUM (F OR P) ?

と、ラベルの内容を表示して、フーリエスペクトルを計算するのか、パワースペクトルを計算するのかの指定待ちとなる。F(フーリエ)またはP(パワー)を入力する(省略値はF)。

(3) 次に

FOURIER SPECTRUM OR POWER SPECTRUM (F OR P) ? F
COMPONENT (N, E OR U) ?

と、どの成分のスペクトルを計算するのか、の指定待ちとなる。N, EまたはUを入力する(省略値はU)。

(4) そして、

FOURIER SPECTRUM OR POWER SPECTRUM (F OR P) ? F
COMPONENT (N, E OR U) ? U
START TIME (AFTER THE TRIGGER TIME) (SEC) ?

と、スペクトル解析を開始する時刻の指定待ちとなる。トリガー時刻後の経過秒数を入力する。
-10より小さい数は入力できない(省略値は0である)。

(5)

FOURIER SPECTRUM OR POWER SPECTRUM (F OR P) ? F
COMPONENT (N, E OR U) ? U
START TIME (AFTER THE TRIGGER TIME) (SEC) ? 10
STOP TIME (AFTER THE START TIME) (SEC) ?

次は、(4)で入力した時刻から、何秒間分のデータを解析するのか、の指定である。メモリの大きさの制限から、68より大きな数は入力できない(省略値は1)。

(6) フーリエ変換はFFTを用いて行う。そしてデータ数は2のべき乗に合わせるようにしてある。一般に、データ数がちょうど2のべき乗にはならない場合、後に0をつけ加えることが、よく行われる。次の

FOURIER SPECTRUM OR POWER SPECTRUM (F OR P) ? F
COMPONENT (N, E OR U) ? U
START TIME (AFTER THE TRIGGER TIME) (SEC) ? 10
STOP TIME (AFTER THE START TIME) (SEC) ? 15
NUMBER OF DATA : 900 FOURIER TRANSFORM NEEDS 1024 DATA.
124 TRAILING ZEROS WILL BE ADDED. O.K. (Y OR N) ?

というメッセージは、そのような0をつけ加えてよいかどうかの入力待ちである。よい場合はYを、よくない場合はNを入力する。Nを入力すると、(5)で入力した値が無効になり、例えば

```
NUMBER OF DATA : 900      FOURIER TRANSFORM NEEDS 1024 DATA.  
124 TRAILING ZEROS WILL BE ADDED. O.K. (Y OR N) ? N  
STOP TIME BECOMES 17.0667 SEC
```

と表示された場合なら、(5)において、17.0667を入力したことと同等になる(省略値はY)。

(7) (2)～(6)に入力まちがいは、ないかどうかチェックする。

```
CHECK ABOVE. O.K. (Y OR N) ?
```

まちがえていないならYを入力して(8)へすすむ。まちがえている時はNを入力すると(2)にもどる(省略値はY)。

(8) 作画における周波数軸の設定を行う。まず、

```
FREQUENCY AXIS *****  
LINEAR (N) OR LOG (G) ?
```

に対して、線型スケールで書く場合はLを、対数スケールの場合はGを入力する(省略値はL)。

次に

```
LOWEST FREQUENCY (HZ) ?
```

に対して、作図の下限周波数を入力する。省略値は線型スケールの場合は0、対数スケールの場合は解析時間を1周期とする周波数である。次に

```
HIGHEST FREQUENCY (HZ) ?
```

に対して、同じく上限周波数を入力する。省略値は20である。ナイキスト周波数30Hz以上の値は入力できない。

(9) (8)における設定に誤りがないかどうかをチェックして、

```
CHECK FREQUENCY AXIS (Y OR N) ?
```

という問い合わせに、誤りがなければYを入力して(10)へすすむ。Nを入力すると(8)にもどる(省略値はY)。

(10) 作画における振幅軸の設定を行う。まず

```
AMPLITUDE AXIS *****  
LINEAR (N) OR LOG (G) ?
```

に対して線型スケールの場合はNを、対数スケールの場合はGを入力する（省略値はL）。次に

MINIMUM AMPLITUDE (CM OR CM²/S) ?

に対して下限の振幅をフーリエスペクトルなら(cm/s)・sを、パワースペクトルなら(cm/s)²・sを単位として入力する。また

MAXIMUM AMPLITUDE (CM OR CM²/S) ?

に対して、上限の振幅を同様に入力する。上・下限ともに0を入力すると、振幅軸のスケールはプログラムが制御し、(i)線型スケールの場合、得られたスペクトル値の最大から0まで、(ii)対数スケールの場合、同様に最大値からその1/1000まで、となる。

(11) (10)に対するチェックを(9)と同様に行う。

CHECK AMPLITUDE AXIS (Y OR N) ?

Yなら次に進み、Nなら(10)にもどる（省略値はY）。

(12) 最後に

BAND WIDTH (HZ) ?

と、スペクトル平滑化のための窓(Parzen窓)の幅の指定待ちとなる。希望する値を入力する。0と入力した場合（省略値は0）には平滑化を行わない。プログラム上の制約から、余りにも小さい数値や、大きい数値は入力できない。この場合

BAND WIDTH (HZ) ? 100
TOO WIDE BAND WIDTH.
BAND WIDTH (HZ) ?

あるいは

BAND WIDTH (HZ) ? 0.001
TOO NARROW BAND WIDTH.
BAND WIDTH (HZ) ?

と表示して窓の幅が広すぎる、または狭すぎる旨、メッセージを出してくるので再入力を行う。

(13) 処理を行い（データが長くなると非常に時間がかかる），つづいて

(14) 作画を行う。

(15) 作画が終了すると

PLOT OVER THE FIGURE (Y OR N) ?

と、窓の幅を変えたスペクトルを計算して、その時点できている図に重ね書きするかどうか、の指定待ちである。Yを入力すると

BAND WIDTH (HZ) ?

と、(12)にもどる。Nを入力すると

PLOT OVER THE FIGURE (Y OR N) ? N
READY
)

と、終了する(省略値はY)。

作例を図2.6.15に示す。この例は窓をかけないスペクトルと、窓の幅0.1 Hzのスペクトルとを重畠して描いたものである。

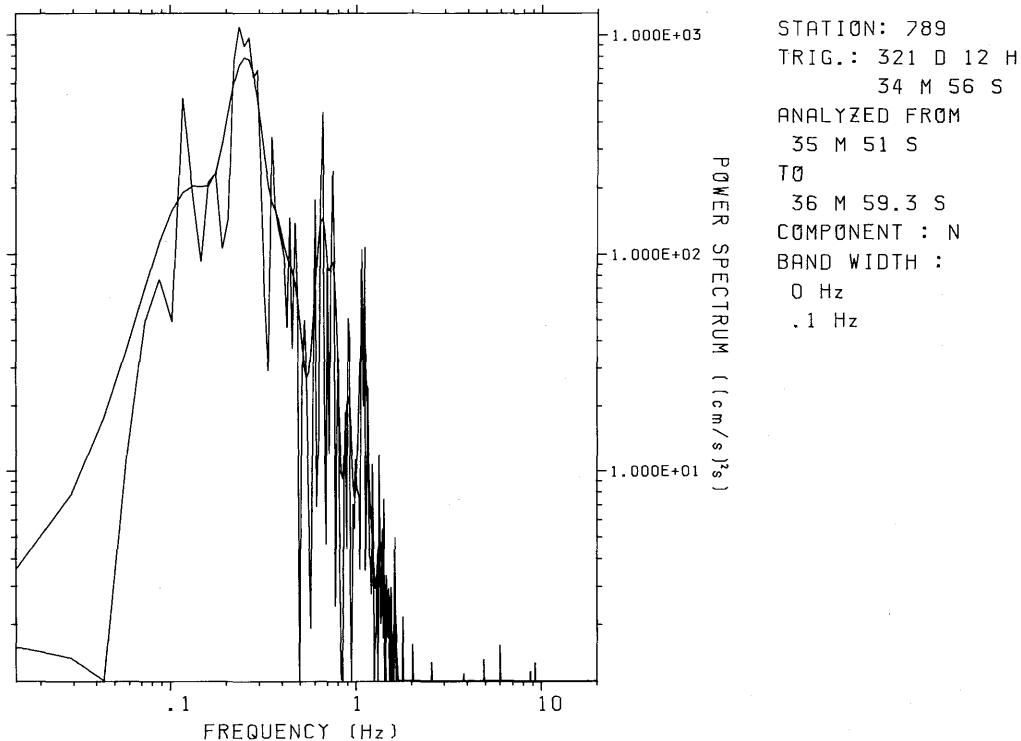


図2.6.15 SPECの出力例。(2)でP, (3)でN, (4)で55, (5)で60, (6)でN, (7)でY, (8)でG, 空白, 空白, (9)でY, (10)でG, 0, 0, (11)でY, (12)で0, (13)にもどって0.1を指定した場合である。なめらかな方の線が0.1 Hzの幅の窓を用いたスペクトルである。

プログラムリスト:

```

10 CLS:PRINT"*****SPEC - BAPLAS 83 *****"
20 PRINT"STRONG MOTION SEISMOGRAM : SPECTRUM"
30 ' CODED BY M TAKAHASHI, SEE MRI TECH. REP. NO.6
40 DEFINT I-N : DIM WW(101)
50 GOSUB1000 : GOSUB2000 : IFRC<>0 GOTO50:' INIT. & READ LABEL

```

```

60 GOSUB 7000 :**** DISPLAY LABEL INFORMATION ****
70 FP$="F" : INPUT"FOURIER SPECTRUM OR POWER SPECTRUM (F OR P) ";FP$ : IF NOT(FP$="F" OR FP$="P") THEN 70
80 CM$="U" : INPUT"COMPONENT (N, E OR U) ";CM$ : IF NOT(CM$="N" OR CM$="E" OR CM$="U") THEN 80
90 TX=0 : INPUT"START TIME (AFTER THE TRIGGER TIME) (SEC) ";TX
100 TX=TX+10:N=TX*15/8:IF N<0 THEN 110 ELSE IF N>900 THEN 90
110 TY=1 : INPUT"STOP TIME (AFTER THE START TIME) (SEC) ";TY
120 IF TY<0 THEN 110 ELSE NM=TY*60
130 FOR K=4 TO 12 : IF INT(2^K+0.5)>NM THEN 150 ELSE NEXT K
140 PRINT"TOO MANY DATA. DECREASE STOP TIME. ";: GOTO 110
150 PRINT"NUMBER OF DATA ":";NM; : NN=2^K+0.5 : PRINT" FOURIER
TRANSFORM NEEDS";NN;"DATA."
160 PRINT NN-NM;"TRAILING ZEROS WILL BE ADDED. ";
170 Y$="Y" : INPUT"O.K. (Y OR N) ";Y$
180 IF Y$="N" THEN NM=NN : TY=NM/60 : PRINT"STOP TIME BECOMES";TY
190 Y$="Y":INPUT"CHECK ABOVE. O.K. (Y OR N) ";Y$
200 IF Y$="N" THEN 60
210 DIM XI(NN+402):IF NN>1000 THEN DIM XR(NN)ELSE DIM XR(NN+400)
220 PRINT" FREQUENCY AXIS *****"
230 NG$="N":INPUT"LINEAR (N) OR LOG (G) ";NG$ : IF NOT(NG$="N" OR
NG$="G") THEN 230
240 IF NG$="N" THEN FL=0 ELSE FL=60/NN
250 INPUT"LOWEST FREQUENCY (HZ) ";FL : IF (NG$="N" AND FL<0) OR
(NG$="G" AND FL>0) THEN 240
260 FH=20: INPUT"HIGHEST FREQUENCY (HZ) ";FH:IF FH<=FL OR FH>30
THEN 260
270 Y$="Y" : INPUT"CHECK FREQUENCY AXIS (Y OR N) ";Y$
280 IF Y$<>"Y" THEN 220
290 PRINT"AMPLITUDE AXIS *****"
300 NH$="N":INPUT"LINEAR (N) OR LOG (G) ";NH$ : IF NOT(NH$="N" OR
NH$="G") THEN 300
310 AL=0 : INPUT"MINIMUM AMPLITUDE (CM OR CM+2/S) ";AL:IF AL<0 T
HEN 310
320 AH=0 : INPUT"MAXIMUN AMPLITUDE (CM OR CM+2/S) ";AH: IF AH=0
THEN 330 ELSE IF AH<AL THEN 320
330 IF NH$="G" AND AL=0 THEN AL=AH/1000
340 Y$="Y" : INPUT"CHECK AMPLITUDE AXIS (Y OR N) ";Y$
350 IF Y$<>"Y" THEN 290 ELSE Y$="N" : BY%=-1525 : GOTO 390
360 Y$="Y" : INPUT"PLOT OVER THE FIGURE (Y OR N) ";Y$
370 IF NOT(Y$="Y" OR Y$="N") THEN 360
380 IF Y$="N" THEN LPRINT"H" : OUT248,0 : END
390 BW=0 : INPUT"BAND WIDTH (HZ) ";BW
400 TT=NN/60:DF=1/TT:IF BW=0 THEN 480 ELSE UF=1.854305/BW*DF
410 IF UF>0.5 THEN PRINT"TOO NARROW BAND WIDTH." : GOTO 390
420 LM=FIX(2/UF)+1:IF LM>101 OR BW/DF>7*NN/15 THEN PRINT"TOO WID
E BAND WIDTH." : GOTO 390 : ****
430 WW(1)=0.75*UF :' TRANSLATED FROM THE FORTRAN *
440 FOR J=2 TO LM :' PROGRAM CODED BY Y.OHSAKI *
450 DI=1.570796*(J-1)*UF :' (DZISHINDO NO SUPEKUTORU *
460 WW(J)=WW(1)*(SIN(DI)/DI)+4:' KAISEKI NYUMON), KASHIMA- *

```

```

470 NEXT J           : SHUPPANKAI, 167-169, 1976 *
480 IF Y$="Y" THEN 590      : ****
490 IF N<=0 THEN 500 ELSE FOR J=1 TO N : A=USR(5) : NEXT J
500 IF CM$="N" THEN K=0 ELSE IF CM$="E" THEN K=1 ELSE K=2
510 ID=0 : JA=60*(TX-N*8/15) : IV=VARPTR(ID)
520 A=USR(4):IF A AND2 THENPRINT"END OF DATA DETECTED, AND TRAIL
ING ZEROS ARE ADDED." :GOTO570
530 FOR J=JA TO 31 : POKE IV,PEEK(X+2*K+8*J+1)
540 IF IV=32767 THEN POKE -32768,PEEK(X+2*K+8*J) ELSE POKE IV+1,
PEEK(X+2*K+8*J)
550 NX=NX+1 : IF NX>NM THEN 570 ELSE XR(NX)=ID/16
560 NEXT J : JA=0 : GOTO 520
570 OUT2,10 : ID=-1 : NA=NN : GOSUB 16000 : *** FAST ***
580 NB=NN/2+1 : FOR J=1 TO NB : XI(J)=(XR(J)+2+XI(J)+2)/30/NN:NE
XT J : XI(1)=XI(1)/2 : XI(NB)=XI(NB)/2
590 IF BW=0 THEN FOR J=1TONB:XR(J)=XI(J):NEXTJ:GOTO 670
600 LL=LM*2-1 : LN=LL-1+NB : LT=(LL-1)*2+NB : LE=LT-LM+1
610 FOR K=1 TO LT : XR(K)=0 : NEXT K
620 FOR K=1 TO NB : XR(LL-1+K)=XI(K) : NEXT K
630 FOR K=LM TO LE : S=WW(1)*XR(K) : FOR L=2 TO LM
640 S=S+WW(L)*(XR(K-L+1)+XR(K+L-1)):NEXT L:XI(K+NB)=S : NEXT K
650 FOR L=2 TO LM : XI(LL+L-1+NB)=XI(LL+L-1+NB)+XI(LL-L+1+NB) :
XI(LN-L+1+NB)=XI(LN-L+1+NB)+XI(LN+L-1+NB) : NEXT L
660 FOR K=1 TO NB : XR(K)=XI(LL-1+K+NB) : NEXT K
670 IF FP$="P" THEN 690 ELSE XR(1)=SQR(XR(1)*TT) : XR(NB)=SQR(X
R(NB)*TT) : FOR K=2 TO NB-1 : XR(K)=SQR(XR(K)*TT/2) : NEXT K
690 OUT248,1
700 IF Y$="Y" THEN 890
710 GOSUB15000
720 LPRINT"PCOMPONENT : "CM$ : LPRINT"M"2725,"1625 : LPRINT"PBA
ND WIDTH :"
730 LPRINT"M"100","200 : Y1=200:Y2=185:Y3=170:Y4=100:GOSUB17000
740 LPRINT"M"100","2500:Y1=2500:Y2=2515:Y3=2530:Y4=0:GOSUB17000
750 LPRINT"M"750,"1 : LPRINT"PFREQUENCY (Hz)"
760 LPRINT"S"4 : LPRINT"M"100","200
770 IF AH<>0 THEN 830
780 FOR J=1 TO NB : IF XR(J)>AH THEN AH=XR(J)
790 NEXT J : IF AH=0 THEN PRINT"ALL DATA ZEROS":END ELSE IF AH<A
L THEN AL=0:PRINT"'MINIMUM AMPLITUDE' IS SET TO ZERO."
800 IF NH$="N" THEN AH=1.02*AH-0.02*AL : GOTO840
810 IF AL=0 THEN AL=AH/1000
820 AH=AH*(AH/AL)+0.02
830 IF AL=0 AND NH$="G" THEN AL=AH/1000
840 X1=100:X2=85:X3=70:X4=0:GOSUB18000
850 LPRINT"M"2100","200:X1=2100:X2=2115:X3=2130:X4=2115
860 GOSUB 18000 : LPRINT"S"6
870 LPRINT"M"2500","2000:LPRINT"Q"3:IF FP$="F" THEN LPRINT"PFOUR
IER SPECTRUM ((cm/s)s)" ELSE LPRINT"POWER SPECTRUM ((cm/s)s)":L
PRINT"S"2:LPRINT"M"2530","945:LPRINT"P2":LPRINT"S"6
880 LPRINT"Q"0
890 KC=0 : LPRINT"M"2725,"BY% : LPRINT"P"BW"Hz" : BY%=BY%-100
: LPRINT"H" : IF NG$="N" THEN KA=1 ELSE KA=2

```

```

900 FOR K=KA TO NB
910 IF NG$="N" THEN IX=100.5+2000*(DF*(K-1)-FL)/(FH-FL)
ELSE IX=100.5+2000*(LOG(DF*(K-1))-LOG(FL))/(LOG(FH)-LOG(FL))
920 IF IX<100 THEN 980
930 IF IX>2100 THEN 990
940 IF NH$="N" THEN IY=200.5+2300*(XR(K)-AL)/(AH-AL)
ELSE IF XR(K)<=0 THEN IY=200
ELSE IY=200.5+2300*(LOG(XR(K))-LOG(AL))/(LOG(AH)-LOG(AL))
950 IF IY>2500 THEN IY=2500
960 IF IY<200 THEN IY=200
970 IF KC=0 THEN LPRINT"M"IX","IY:KC=1 ELSE LPRINT"D"IX","IY
980 NEXT K
990 LPRINT"H" : GOTO 360
1000 '*** SUBROUTINE INIT ***** INITIALIZE *****
1010 POKE 16526,0 : POKE 16527,48
1020 Y$="Y":INPUT"READY (Y OR N)":Y$
1030 IF Y$="Y" THEN 1040 ELSE 1020
1040 IF USR(11) AND 16 THEN PRINT"NOT READY !":GOTO1020 ELSE RET
URN :'***** READ LABEL BLOCK *****
2000 '*** SUBROUTINE LABEL ***** READ LABEL BLOCK *****
2010 X=USR(0):A=USR(8):A=USR(4):RC=0:' RC : RETURN CODE
2020 IF(PEEK(X)>0) OR (PEEK(X+1)>2) THEN PRINT"THE CMT IS NOT
SEISMOGRAM. PUT THE SEISMOGRAM IN UNIT #0.":RC=1:RETURN
2030 ST=(PEEK(X+3) AND 15)*100+(PEEK(X+4) AND 240)*10/16+(PEEK(
X+4) AND 15) :' STATION
2040 VL=PEEK(X+7) AND 15 :' RECORDER UNIT NUMBER
2050 DY=(PEEK(X+16) AND 15)*100+(PEEK(X+17) AND 240)*10/16+(PEEK(
X+17) AND 15) :' DAY OF THE YEAR
2060 HR=(PEEK(X+18) AND 240)*10/16+(PEEK(X+18) AND 15) :' HOUR
2070 AN=(PEEK(X+19) AND 240)*10/16+(PEEK(X+19) AND 15) :' MINUTE
2080 SC=(PEEK(X+20) AND 240)*10/16+(PEEK(X+20) AND 15) :' SECOND
2090 RETURN :'*****
7000 '*** SUBROUTINE DSPLBL **** DISPLAY LABEL INFORMATION ****
7010 PRINT"STATION :"ST:PRINT"RECORDER :"VL"(1=LEFT,2=RIGHT)"
7020 PRINT"TRIGGER :"DY"D"HR"H"AN"M"SC"S"
7030 PRINT,"START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.":PRINT
7040 RETURN :'*****
15000 '*** SUBROUTINE SPLBL ***** PLOT LABEL INFORMATION ****
15010 LPRINT"S"6 : LPRINT"2725", "2425 : LPRINT"PSTATION:"ST
15020 LPRINT"2725", "2325 : LPRINT"PTRIG. :"DY"D"HR"H"
15030 LPRINT"3019", "2225 : LPRINT"P"AN"M"SC"S"
15040 LPRINT"2725", "2125 : SC=SC+TX-10
15050 IF SC<0 THEN SC=SC+60 : AN=AN-1
15060 IF SC>60 THEN SC=SC-60 : AN=AN+1 : GOTO15060
15070 LPRINT"PANALYZED FROM" : LPRINT"2725", "2025
15080 SA=INT(SC*10+0.5)/10 : LPRINT"P"AN"M"SA"S"
15090 LPRINT"2725", "1925:LPRINT"PTO"
15100 LPRINT"2725", "1825 : SA=SC+TY : AM=AN
15110 IF SA>60 THEN SA=SA-60 : AM=AM+1 : GOTO 15110
15120 LPRINT"P"AM"M"INT(SA*10+0.5)/10"S"
15130 LPRINT"2725", "1725:RETURN:*****"
16000 '*** SUBROUTINE FAST *** FAST FOURIER TRANSFORM *****

```

```

16010 JA=1                      :'' TRANSLATED FROM THE FORTRAN*
16020 FOR IA=1 TO NA             :'' PROGRAM CODED BY Y.OHSAKI   *
16030 IF IA)=JA THEN 16070      :'' (DZISHINDO NO SUPEKUTORU   *
16040 ER=XR(JA) : EI=XI(JA)      :'' KAISEKI NYUMON,          *
16050 XR(JA)=XR(IA):XI(JA)=XI(IA):'' KASHIMA-SHUPPANKAI, 93-95, *
16060 XR(IA)=ER : XI(IA)=EI     :'' 1976, 2900YEN)        *
16070 MA=NA/2                     :'' ****
16080 IF JA<=MA THEN 16100
16090 JA=JA-MA : MA=MA/2 : IF MA>=2 THEN 16080
16100 JA=JA+MA : NEXT IA
16110 KM=1
16120 IF KM>=NA THEN RETURN
16130 IS=KM*2 : FOR KA=1 TO KM
16140 HI=3.141593*ID*(KA-1)/KM:CH=COS(HI):SH=SIN(HI)
16150 FOR IA=KA TO NA STEP IS : JA=IA+KM:XA=XR(JA):XB=XI(JA)
16160 ER=XA*CH-XB*SH : EI=XB*CH+XA*SH : XC=XR(IA):XD=XI(IA)
16170 XR(JA)=XC-ER : XI(JA)=XD-EI
16180 XR(IA)=XC+ER : XI(IA)=XD+EI
16190 NEXT IA,KA
16200 KM=IS : GOTO 16120 :'' ****
17000 '*** SUBROUTINE FREQAX *** PLOT FREQUENCY AXIS ****
17010 IF NG$="G" THEN 17080
17020 FOR JF=0 TO 30 : KF=100.5+2000*(JF-FL)/(FH-FL)
17030 IF KF<100 THEN 17070
17040 IF KF>2100 THEN 17140
17050 LPRINT"D"KF", "Y1
17060 IF JF/5=FIX(JF/5) THEN LPRINT"D"KF", "Y3:IF Y4=0 THEN LPRINT
T"D"KF", "Y1 ELSE LPRINT"M"KF-60", "Y4:LPRINT"P"JF:LPRINT"M"KF", "Y
1 ELSE LPRINT"D"KF", "Y2", "KF", "Y1
17070 NEXT JF : GOTO 17140
17080 FOR JF=-2 TO 1 : FOR JG=1 TO 9 : KF=100.5+2000*(LOG(JG*10+
JF)-LOG(FL))/(LOG(FH)-LOG(FL))
17090 IF KF<100 THEN 17130
17100 IF KF>2100 THEN 17140
17110 LPRINT"D"KF", "Y1
17120 IF JG=1 THEN LPRINT"D"KF", "Y3:IF Y4=0 THEN LPRINT"D"KF", "Y
1 ELSE LPRINT"M"KF-60", "Y4:LPRINT"P"JG*10+JF:LPRINT"M"KF", "Y1 EL
SE LPRINT "D"KF", "Y2", "KF", "Y1
17130 NEXT JG,JF
17140 LPRINT"D"2100", "Y1 : RETURN:':***'
18000 '*** SUBROUTINE SPECAX *** PLOT SPECTRUM AXIS ****
18010 IF NH$="G" THEN 18100
18020 AW=(AH-AL)/40:FOR JA=-4TO6:FOR JB=1 TO 3:IF JB=3THEN JB=5
18030 IF JB*10+JA)=AW THEN 18040 ELSE NEXT JB,JA
18040 RA=JB*10+JA:FOR JB=0 TO AH*2/RA : RB=JB*RA
18050 KF=200.5+2300*(RB-AL)/(AH-AL) : IF KF<200 THEN 18090
18060 IF KF>2500 THEN 18160
18070 LPRINT"D"X1", "KF
18080 IF JB/5=FIX(JB/5) THEN LPRINT"D"X3", "KF:IF X4=0 THEN LPRINT
T"D"X1", "KF ELSE LPRINT"M"X4", "KF-18:LPRINT USING"P##.####";RB
: LPRINT"M"X1", "KF ELSE LPRINT"D"X2", "KF", "X1", "KF
18090 NEXT JB : GOTO 18160

```

```

18100 FOR JF=-6 TO 6:FOR JG=1 TO 9:KF=200.5+2300*(LOG(JG*10^JF)-
LOG(AL))/(LOG(AH)-LOG(AL))
18110 IF KF<200 THEN 18150
18120 IF KF>2500 THEN 18160
18130 LPRINT"D"X1","KF
18140 IF JG=1 THEN LPRINT"D"X3","KF:IF X4=0 THEN LPRINT"D"X1","K
F ELSE LPRINT"MX4","KF-18:LPRINTUSING"P##.####";JG*10^JF:LPR
INT"MX1","KF ELSE LPRINT"D"X2","KF","X1","KF
18150 NEXT JG,JF
18160 LPRINT"D"X1","2500 : RETURN :"*****"

```

実行に要する時間：(13)において要する時間は(6)において表示されたデータ数と(12)で指定した値の関数で、図2.6.16に示したようになる。この図は(12)において入力した値をパラメータとして描かれている。

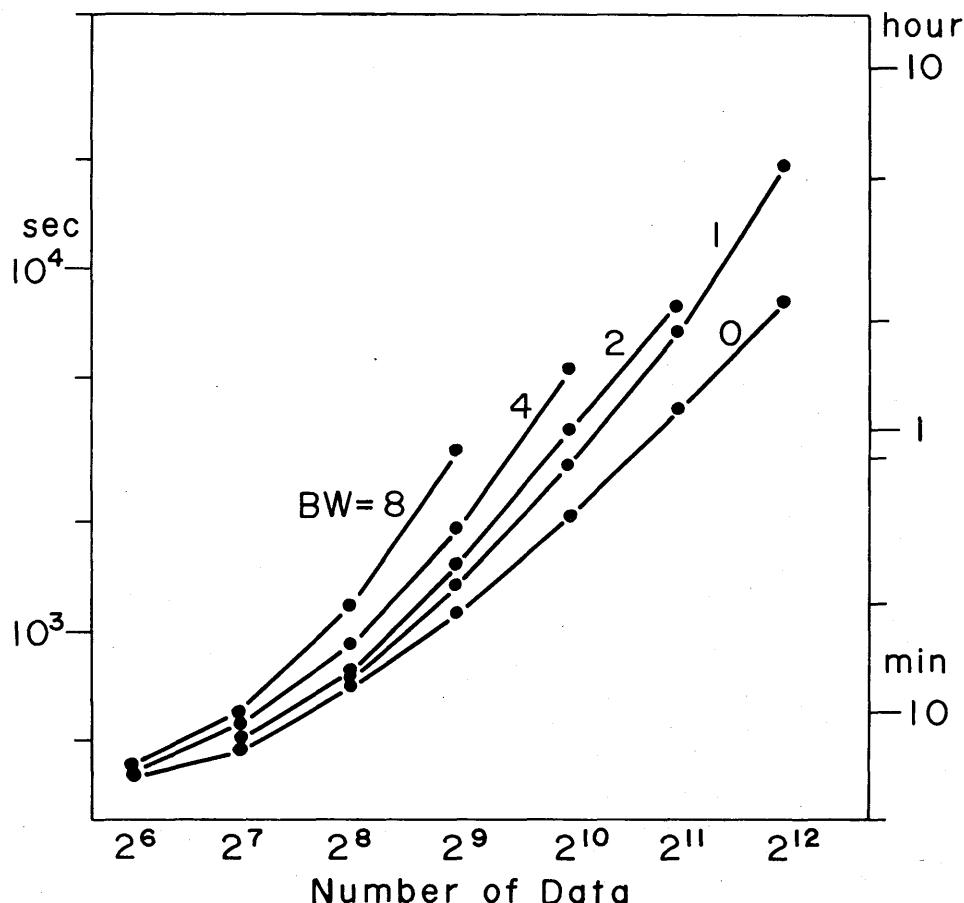


図2.6.16 SPECにおいて、処理するデータ数（横軸）と、
処理に必する時間（縦軸）を、(12)で指定する窓の
幅（BW）をパラメータとして示した図。

使用上の注意：このプログラムにおけるスペクトル計算，およびその平滑化は大崎（1976）によりFORTRANで書かれたプログラムをBASICに書き直したものである。

References

- Atkinson, G. M., 1982 : Comments on "Attenuation relations for strong seismic ground motion in Canada" by H. S. Hasegawa, P. W. Basham, and M. J. Berry, Bull. Seis. Soc. Am., 72, 1765-1770.
- Hartzell, S. and D. V. Helembberger, 1982 : Strong-motion modeling of the Imperial Valley Earthquake of 1979, Bull. Seis. Soc. Am., 72; 571-596.
- Peterson, J and N. A. Orsini, 1976 : Seismic research observatories : Upgrading the Worldwide Seismic Data Network, EOS, 57, 548-556.
- Peterson, J., H. M. Butler, L. G. Holcomb and C. R. Hutt, 1976 : The seismic research observatory, Bull. Seis. Soc. Am., 66, 2049-2068.

参考文献

- 赤松純平, 1982 : 磁気バブルメモリを用いた強震観測装置. 地震学会昭和57年春季大会予稿集, 87.
- 田 望, 1963 : 地震観測用の諸計器の試作. 北海道大学地球物理学研究報告, 10, 143-169.
- 田 望, 飯沼龍門, 松本英照, 高橋道夫, 1980 : 海底地震常時観測システムの開発. 気象研究所技術報告, №4, 233 p.
- Hamming, R. W., 1977 : Digital Filters. Prentice-Hall Inc., N. J., USA.;邦訳, 1980 : 宮川 洋, 今井秀樹, 科学技術出版社, 東京, 230 p.
- 川崎一朗, 1976 : 地震発生機構(震源モデル)について. 気象, 20. 2, 21-27 (4417-4423).
- 松本英照, 高橋道夫, 1976 : 地震計電磁変換器の検定方法とその精度について. 気象研究所研究報告, 27, 129-140.
- 村松郁栄, 1969 : 震度分布と地震のマグニチュードとの関係. 岐阜大学教育学部研究報告—自然科学—, 4, 168-176.
- 村松郁栄, 1976 : 地震動の極値および振動継続時間について. 地震, 29, 223-232.
- 村松郁栄, 1977 : 速度型強震計の製作. 地震, II, 30, 317-338.
- 長宗留男, 中礼正明, 1976 : 1975(昭和50)年6月10日の北海道東方沖の地震の大きさと津波の規模. 験震時報, 40, 105-107.
- 中野義雄, 笹本芳文, 平山 智, 1981 : 音声応答装置用磁気バブルメモリ. NEC技報, 34, 60-61.
- 野田節男, 倉田栄一, 土田 肇, 1981 : 港湾技術研究所における高密度強震観測. 日米天然会議耐

- 風耐震構造専門部会第13回合同部会会議録, 92-101.
- 大久保忠良, 岩崎敏男, 川島一彦, 1981: 土木研究所における高密度強震観測計画および記録の解析. 日米天然会議耐風耐震構造専門部会第13回合同部会会議録, 1981年5月, 19-43.
- 大崎順彦, 1976: 地震動のスペクトル解析入門. 鹿島出版会, 東京, 260 p.
- 太田 裕, 後藤典俊, 岡田成幸, 鏡味洋史, 1979: 強震観測装置の開発 —— S M A C型強震計の延長として——. 北海道大学工学部建築工学教室耐震工学研究室, 47p.
- 太田 裕, 岡田成幸, 後藤典俊, 鏡味洋史, 1981: 強震観測装置の開発 —— 標準観測点の実現をめざして——. 北海道大学工学部建築工学教室耐震工学研究室, 44p.
- 大谷圭一, 1981: 速度計による強震観測. 日米天然会議耐風耐震構造専門部会第13回合同部会会議録, 148-158.
- 高橋道夫, 1981: 強震観測のための変換器. 気象研究所研究報告, 32, 173-181.
- 竹田 仁, 秦 郁朗, 杉山信二, 小林孝夫, 梶沼昭夫, 渋野勝昭, 1982: ディジタル・オーディオ用の低歪率16ビット I C A-D, D-A変換器. 日経エレクトロニクス, №282, 186-216.
- 山川宣男, 1976: 地震予知について(1). 気象庁測候時報, 43, 171-189.
- 柳沢 健, 金光 盤, 1973: アクティブフィルタの設計. 産報, 東京, 206p.

第3章 実用化試験*

1. 耐震性の試験

試作した強震計を構成する各機器に2000~4000 Gal P-P の振動を与え、実際に強震下でうまく動作するかどうかを確めた。これらの試験は、この強震計の性能を、強震下でも十分発揮できるかどうかを確認するうえで非常に重要な項目であると位置づけている。試作品には以下に述べるような、二三の不満足な点が見られた。実用機においては、これらの箇所の何らかの設計変更、もしくは耐震機構の付加を行うべきであるとの判断を得た。具体的には、以下においてその都度述べる。

なお、この節で述べる各部分の振動試験の後に、強震計全体を同時に、大型振動台に搭載し、振動試験を行った。大型振動台は、その大きな加振力により、重量物に対し容易に大きな振動を与えることができる点が特長である。この強震計は可視記録器や電源等の、かなりの重量物が含まれるので装置全体は通常の振動台では一挙に試験することができない。大型振動台による試験は、水平一方向の加振を、装置の取り付け方向を変更することによって、装置に対しては二方向の加振とし、2日間にわたって実施した。周波数、振幅、波形等の条件を変化させて振動を与えた結果、システム全体に不都合が発生していないことを確めた。また異なる種類、成分の変換器を同時に搭載し、異なる対象、例えば正規の出力と漏洩出力等に関する信号も同時に収録し、各部に単独で行った測定の評価に使用した。

1.1 変換器

変換器は振動台により、耐震性を評価すると同時に、その感度の測定も行いうる。しかし、振動台による感度の測定には一般に大きな誤差をともなう（松本、高橋、1976）。これは振動台の不規則な運動によるもので、実際に重量物を振動させるのであるから、発振器の波形のようにきれいな正弦波形で、というわけにはいかない。感度の正確な測定には、もっと別の、電気的な方法が用いられるべきである。実際に変換器を振動台でふることの意義はむしろ、受感方向以外の振動に、いかに応答しないかを確認することにある。このためには電気的な方法は無力である。しかし、振動台にしても、本来振動をかけている方向以外に全く動かないということはないから、精度は悪い。以下に掲げるデータは、振動台の運動をできるだけ規則正しくなるように調整して得たものであるが、それでも数%程度の異常な運動を含むという条件下で測定されたデータと考える。

振動は表 3.1.1~3.1.3 に示したように、3 方向に 5, 7, 10 Hz の周波数で 1000, 2000 Gal P-P のレベルで 3 分間以上加えた。これらの表には各条件下における変換器の出力電圧値を示してある。

表 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3 は、それぞれ、油制動方式、速度帰還方式、変位帰還方式の変換器に

* 執筆担当 松本英照、高橋道夫

対する結果である。表中の○印は受感方向であることを示す。また△印は振動台の円弧運動により、その方向に運動のもれがあることが明らかであることを示す。すなわち、図3.1.1あるいは図3.1.

表3.1.1 油制動方式の変換器にいろいろな振動を与えた時の出力 (V^{P-P} , 速度比例)。○印は受感方向, △印は振動台の円弧運動のために, その方向の運動が発生することを示す。

変換器	入力 加速度 (Gal ^{P-P})	振動方向	周波数 (Hz)		
			5	7	10
N-S	1000	N-S	0.484 [○]	—	0.236 [○]
		E-W	0.011	—	0.004
		U-D	0.001	0.001	0.001
	2000	N-S	0.960 [○]	—	0.466 [○]
		E-W	0.020	—	0.009
		U-D	—	0.002	0.002
U-D	1000	N-S	0.004 [△]	—	0.001 [△]
		E-W	0.006 [△]	—	0.002 [△]
		U-D	0.380 [○]	0.275 [○]	0.185 [○]
	2000	N-S	0.011 [△]	—	0.002 [△]
		E-W	0.017 [△]	—	0.005 [△]
		U-D	—	0.540 [○]	0.364 [○]

表 3.1.2 速度帰還方式の変換器にいろいろな振動を与えた時の出力 (V^{P-P} , 加速度比例で感度は 5 mV/Gal) 。◎印, および△印は表 3.1.1 と同様。

変換器	入力 加速度 (Gal $^{P-P}$)	振動方向	周波数 (Hz)		
			5	7	10
N-S	1000	N-S	4.88 ◎	—	4.86 ◎
		E-W	0.030	—	0.034
		U-D	0.018	0.018	0.016
	2000	N-S	9.40 ◎	—	9.50 ◎
		E-W	0.060	—	0.140
		U-D	—	0.030	0.030
U-D	1000	N-S	0.052△	—	0.050△
		E-W	0.048△	—	0.036△
		U-D	4.44 ◎	4.52◎	4.56 ◎
	2000	N-S	0.170△	—	0.155△
		E-W	0.165△	—	0.135△
		U-D	—	9.20◎	8.75 ◎

表 3.1.3 変位帰還方式の変換器にいろいろの振動を与えた時の出力 (V^{P-P} , 加速度比例で感度は 5 mV/Gal)。◎印および△印は表 3.1.1 と同様。×印については本文参照。

変換器	入力 加速度 (Gal^{P-P})	振動方向	周波数 (Hz)		
			5	7	10
N-S	1000	N-S	5.04 ◎	—	4.80 ◎
		E-W	0.053	—	0.10 ×
		U-D	0.007	0.011	0.008
	2000	N-S	9.90 ◎	—	9.50 ◎
		E-W	0.103	—	0.100
		U-D	—	0.023	0.013
E-W	1000	N-S	0.048	—	0.044
		E-W	5.12 ◎	—	4.96 ◎
		U-D	0.250△	0.132△	0.072△
	2000	N-S	0.090	—	0.100
		E-W	10.05◎	—	9.80 ◎
		U-D	—	0.464△	0.220△
U-D	1000	N-S	0.034△	—	0.006△
		E-W	0.032△	—	0.030△
		U-D	4.84 ◎	4.88 ◎	4.60 ◎
	2000	N-S	0.150△	—	0.025△
		E-W	0.135△	—	0.030△
		U-D	—	9.65 ◎	9.00 ◎

2に示したような、腕の長さの短い振動台の場合、直交方向の成分が振幅の二乗に比例して、2倍の周波数で現れてくる。この現象は表3.1.3の、東西動変換器を2000 Gal^{P-P}で上下方向に7Hzで振動をかけた場合が最大で4.5%，すなわち90 Galに到っている。

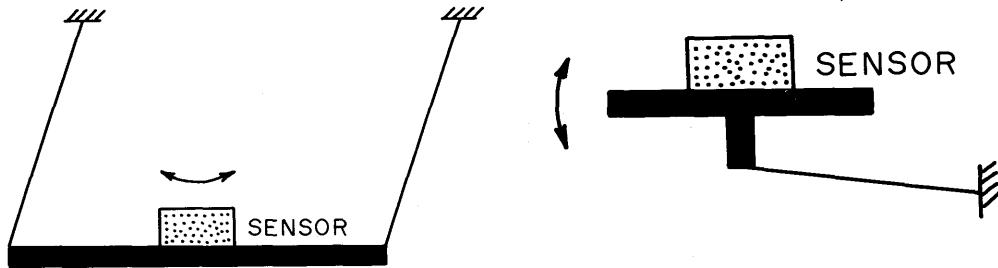


図3.1.1 水平振動台。腕の長さが短いと振幅が大きくなるに従って、倍周波の上下振動が無視できなくなる。

図3.1.2 上下振動台。水平振動台と同様に、振幅が大きくなるに従って、水平振動が無視できなくなる。

油制動方式の変換器は、その、油つけという構造からしても耐振性には問題ないと考えられるが、実験により、そのとおり確認された。速度帰還方式の変換器も、この実験に関する限り問題はないと言える。

変位帰還方式の変換器を受感方向と直交方向に振動させた時、奇異な波形が観測された。その波形を図3.1.3に示す。これは南北成分の変換器を1000 Gal^{P-P}のレベルで東西方向に、10 Hzの振動を加えた時（表3.1.3の×印）にのみ発生した。図3.1.3の振動数は振動台のそれに等しく、振

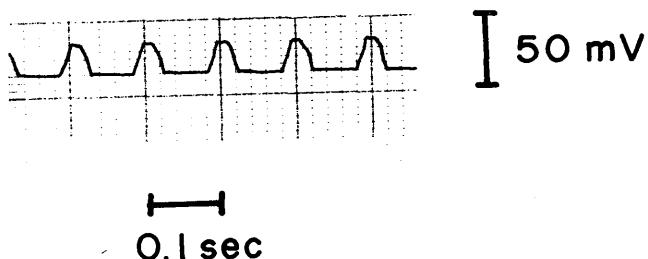


図3.1.3 変位帰還方式の変換器をその受感方向と直交方向に振動させた時、観測された波形。振動台の異常な運動によるものではなく、変換器の振子の異常な振舞によると考えられるが、この現象は再現性がなく、実験的に追及することができなかった。

幅は最初は受感方向の振幅の 0.4 % の大きさであった。この状態で振動を与え続けたところ振幅が次第に成長し、2 % の大きさまで達して成長はとまった。この原因はこの波形からして、振動台の運動の歪によるものではなく、変換器の振子の異常な運動によるものと考えられる。振子が常にこのような振舞をするのでは大問題であるが、このような現象は振動のレベルを 2000 Gal^{P-P} に上げると発生しなくなるし、また表 3.1.3 の実験中、他にも例はない。われわれは、これはある特殊な条件下で、例えば特定の周波数の純粋な持続振動波による共振現象として出現するもので、まれに発生する現象であると判断し、変換方式および変換器のもつ本質的な問題ではないと評価している。

速度帰還方式および変位帰還方式の変換器について、先に第 2 章 2.2 節で述べたような、電気的な制動ないしは復元力が無効になる受感方向と直角方向へ、運動が“にげる”ことがないかどうか調べるために、二次元的な振動を与えた。二次元の振動は水平動振動台の上に小型の上下動振動台を設置することにより作りだした。

水平加振のみ、あるいは上下加振のみの場合には速度帰還、変位帰還方式の変換器いずれにも異常は見られなかった。しかし、二次元的な振動を与えた時、変位帰還方式の変換器は正常であったが、逆に、速度帰還方式の変換器（ダイヤフラムバネを用いている）からは異常な出力波形が、再現性をもって出力された。図 3.1.4 にその歪んだ波形を示す。この図の（C）に見られる高周波歪

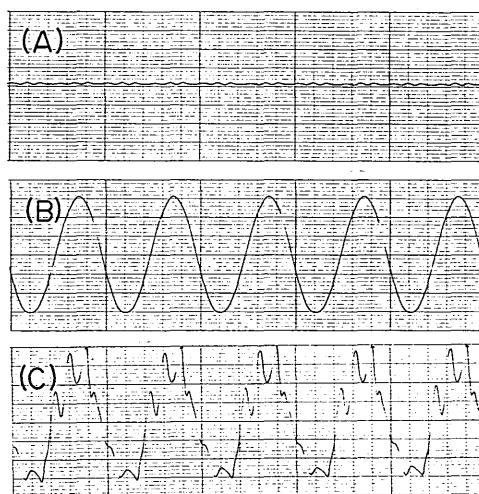


図 3.1.4 速度帰還方式の水平動変換器に (A) $10\text{Hz}, 3\text{kGal}^{P-P}$ の上下動を与えた時の記録、(B) $5\text{Hz}, 3\text{kGal}^{P-P}$ の水平動を与えた時の記録、(C) $10\text{Hz}, 3\text{kGal}^{P-P}$ の上下動と $5\text{Hz}, 2\text{kGal}^{P-P}$ の水平動を同時に与えた時の記録。横軸は左端から右端までが 1 秒。縦軸はいずれもフルスケールが 4kGal 。(A)において、わずかにしか認められない不正な出力が (C)においては異常に増幅されていて、波形の歪が著しい。

波形の周波数は 30Hz で、上下加振周波数の 3 倍である。この周波数は、受感方向の加振振幅を変化させるにともない、微妙に変化したが、しかしそれは上下の振動数の整数倍に限られていた。こ

れはダイヤフラムバネが、電気的制動により受感方向には動きにくくなっていることを原因とする、不正な振子の首振り運動が発生したためと考えられる。

しかしながら、後日、この変換器と同種の上下動変換器を用いて、コイルに電流を流すことにより上下に加振し、同時に振動台で水平に加振を行うという二次元加振実験を実施したところ、何の異常も認められなかった。このようなことから、上でのべた現象が、被試体固有の欠陥であったのか、それともダイヤフラムバネの本質的な、強震計には適しないという欠陥なのか、未解決である。これを見極めるには被試体の数をふやして実験を行わなければならない。

1.2 等化増幅器

等化増幅器単体の耐震性を評価するために、発振器から 0.2 Hz, 0.1 V^{0-P} の信号を入力しながら表 3.1.4 に示した要領で振動を与え(図3.1.5)，出力を監視することにより異常の有無を調べた。なお、振動にもっとも弱いと考えられる部分は着脱自由のプリント基板である。これは左右方向に 4 枚並んでいて、内、3 枚は 3 方向の成分に相当する積分回路がくみこまれている。これらは左、右、下の 3箇所で固定されている。この基板に搭載されている積分用の大容量コンデンサが特に重量があり、問題があるとすればその足のハンダづけの箇所であると考えられる。振動台の周波数が 7Hz 以上でレベルが 1000Gal^{P-P} 以上だと、基板は音をたてて揺れ始める。しかしいずれも、浮き上ってくることはないし、また手で軽くおさえるという、わずかな制振作業を加えるだけで音は止る。なお基板の共振周波数は 26~27Hz 付近に認められた。

表 3.1.4 の № 8 の実験中に上下動の速度比例出力に異常な雑音が発生しているのが認められた。その波形を図 3.1.6 に示す。その波形の特徴は、与えている振動の周期と等しい時間間隔でパルス状に発生している点である。雑音の発生箇所とその原因を追及するため、その後、いろいろと実験を行った。その結果、次のことがわかった。すなわち、雑音を発生するのは上下動成分の速度比例出力のみで、南北、東西方向の成分や、上下でも加速度あるいは変位比例出力には認められない。雑音の発生するのは i) 基板の共振周波数に近い、20Hz 以上の周波数であること、ii) レベルが 2000 Gal^{P-P} 以上であること、iii) 振動方向が、基板をあおる方向の前後方向であること、の 3 条件が同時に満された時に限られる。雑音を発生している箇所は図 2.2.7 において、V₂ は正常であるが V₄ では正常でないことから、U3, U4 周辺の箇所であることまではつきとめた。V₄ に発生している雑音が変位比例出力の V₈, V₉ で認められないのは、その雑音の帯域 (>20Hz) では V₄ 以降の利得 V₈/V₄ が V₅/V₄ に比べて小さいからであると考えられる。U3, U4 の IC を別に用意したものと交換しても、また重量のある大容量コンデンサの支持部を補強したりしても、様子は全く変わらない。ただ、基板全体に防振機構を施すと、雑音はただちになくなる。

このようなことから、われわれは、この雑音の原因是、プリント基板製作時のごくわずかの不具合、納入検査時の目視検査では発見できない程度の瑕疵が、振動により露見してきたものであると

表 3.1.4 等化増幅器の振動試験実施要領

No.	振動方向	周波数(Hz)	振幅(Gal ^{P-P})	振動時間(秒)	備考
1	左 右	5 ~ 20	1000	350	予備テスト
2	"	"	2000	250	
3	"	"	"	140	
4	"	"	"	140	
5	前 後	"	1000	120	予備テスト
6	"	"	2000	200	
7	"	"	"	130	
8	"	"	"	140	
9	"	20	"	50	
10	"	"	200~2000	70	
11	"	"	"	70	
12	上 下	5 ~ 20	1000	210	予備テスト
13	"	7 ~ 20	2000	180	
14	"	"	"	100	
15	"	"	"	160	
16	"	10	2000~3000	220	振動台の調整
17	"	10 ~ 20	3000	90	
18	"	20	3000~4000	30	
19	"	10 ~ 20	3000	90	
20	"	"	"	80	
21	左 右	"	2600	170	
22	"	"	"	90	
23	"	"	"	90	
24	前 後	"	"	180	
25	"	"	"	130	
26	"	"	"	220	
27	"	20	2000	50	
28	"	"	200~2000	90	
29	"	10	2000	70	
30	"	20	200~1200	30	
31	"	"	200~1000	130	
32	"	10 ~ 20	200~1800	120	
33	"	20	200~1000	110	
34	"	20	1000	120	

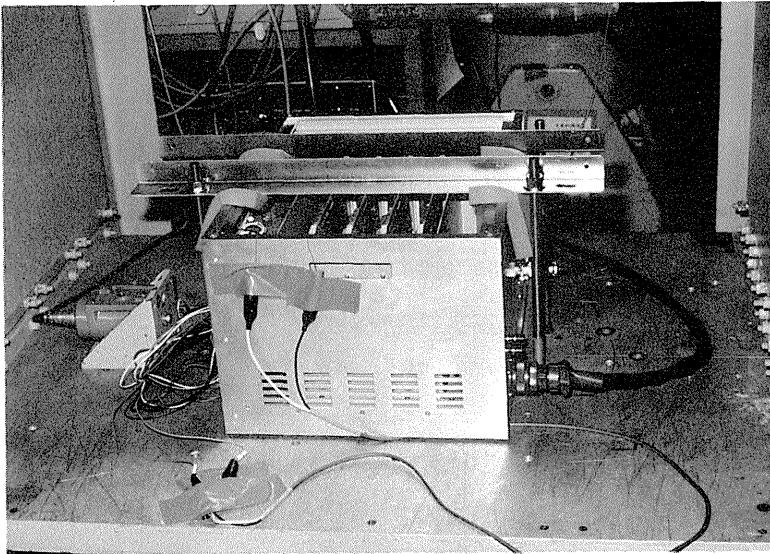


図3.1.5 等化増幅器の耐震性の試験

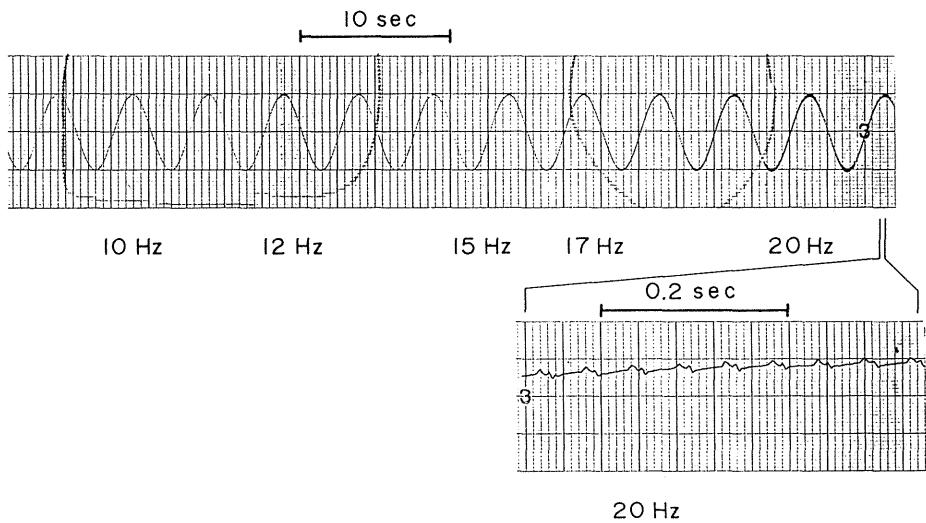


図3.1.6 等化増幅器の速度比例出力にあらわれた異常な雑音。図中の周波数は与えた振動の周波数で振幅は 2000 Gal^{P-P} 。基板には防振機構を施すことが必要と考えられる。

評価した。それでもこれは振動測定用の機器としては必ずしも小さな問題とは言えないので、なんらかの対策をとる必要がある。そのひとつには基板に耐震機構を施す方法が考えられる。さらに納入の前に十分な振動試験を科すことができれば万全である。これらにより、目視検査で見逃す程度の瑕疵がもしあっても、まちがいなく検出できよう。

1.3 アナログ記録器

アナログ記録器は、2つの筐体からなっていて、一方はガルバ・アンプ、他方はドラム記録部である。前者に発振器から三角波を入力し、後者のペンで記録を描かせながら、振動台の搭載重量の制限から各々の筐体を別々に振動をかけた。まず、ガルバ・アンプのみを搭載し、前後、左右、上下方向に5~20Hzで1600Gal^{P-P}および2000Gal^{P-P}のレベルで、周波数を掃引しながら各3分間振動を与えた。可視記録には全く異常は認められない。ただガルバ・アンプの筐体は二重構造をしていて、外側筐体と内側筐体とからなりたっているが、両者の接続は筐体前面の4ヶ所でネジ止めしてあるにすぎない。このため両筐体間に相対運動をひきおこし、軽微ながら異常音を発生した。実害は認められないが好ましい現象ではないので、なんらかの耐震機構を附加した方が良いと考える。

次にドラム記録部にガルバ・アンプの筐体に対してと同様の要領で、やはり、周波数を掃引しながら振動を与えた(図3.1.7)。ペン圧はペン先において1g重に設定しておいた。比較的重量のある可動部のドラムは、回転方向のギア、あるいは横方向へのスライドのために削られたガイド溝

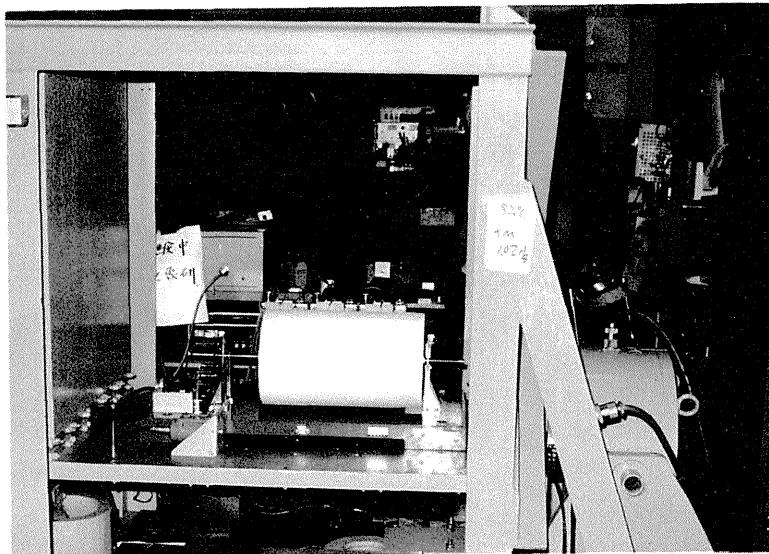


図3.1.7 アナログ記録器ドラム部の耐震性の試験

に余裕が必要なため、その間隙により、ドラム本体が 8.5 Hz 付近で共振をおこすことがわかった。この時、記録線が太くなるという現象が見られ、その太さは振動をかける時間が長くなるとともに、太さを増してゆき、ついには 1 mm ほどの太さにまで達した。図 3.1.8 は 2000Gal^{P-P} の振幅で上下方向に振動をかけた時の、発振器から入力した三角波の記録例である。この程度の障害は、可視記録

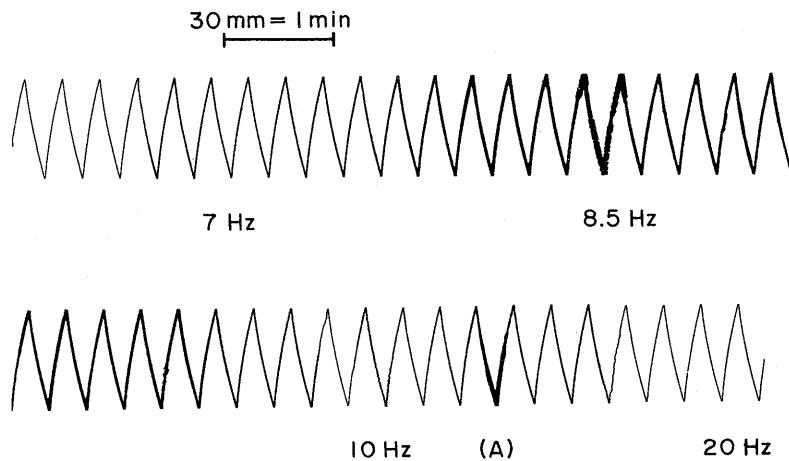


図 3.1.8 ドラムを上下（紙面に垂直）に振動を与えた時の記録例。
図中の周波数は与えた振動の周波数で、振幅は 2000Gal^{P-P}。

器としては、許されてもよい性能であると評価できる。

ドラム部に、左右方向に 20Hz, 2000Gal^{P-P} の振動を与えていた時、一時、信号が 3 成分とも断続的状態を呈した。いろいろと調べたが自然に回復し、かつ再現もしなかったので障害箇所および原因はつかめていない。これは重大な障害なので製品には納入前に厳重な振動試験を施し、接触不安定箇所がないかどうか検査する必要がある。

1.4 ディジタル記録器

ディジタル記録器には DC + 25mV を入力しながら、表 3.1.5 の要領で振動を与えた（図 3.1.9）。周波数は 5, 7, 10, 15, 20Hz を各 1 分間ずつ、連続して与えた。但し、No. 2 は 20Hz の単一周波数である。振幅はすべて 2000Gal^{P-P}、No. 5 の最後の 1 分間は 3000Gal^{P-P} に上げた。No. 1 の試験で、筐体前面の時刻情報の表示が消える事故が発生したが、これは表示用にプリント基板からとりだしているフラットケーブルの接触不安定が原因であり、得られたデータは全く正常であった。そのフラットケーブルをしっかりと固定した結果、後の実験ではこのようなことは再発しなかった。再現性を

もって認められる現象に "OVER SCALE" のランプが、大振幅になると点灯する、ということがあった。このランプは入力信号がAD変換の動作範囲を越えていることを知らせる警報ランプである。この回路の耐震性について再検討の必要がある。表3.1.6に№5の実験で得られたテープ1巻分のデータの度数分布を各入力成分毎に示す。入力はDC+25mVであるから10.24 digitに相当する。データはAD変換の精度内で10 digitのまわりに分布していて、振動が加わっていることによる悪影響は全く認められない。

表3.1.5 ディジタル記録器の振動試験実施要領

No.	振動方向	周波数(Hz)	振幅(Gal ^{P-P})	振動時間(秒)	備考
1	前 後	5 ~ 20	2000	480	(注1)
2	"	20	2000	150	
3	左 右	5 ~ 20	2000	480	(注1)
4	"	5 ~ 20	2000	330	(注1)
5	上 下	5 ~ 20	2000~3000	480	(注1)

(注1) 5~20Hzの正弦波のみならず、実際の地震波形（最大振幅を2000Gal^{P-P}に較正したもの）による振動も与えた。

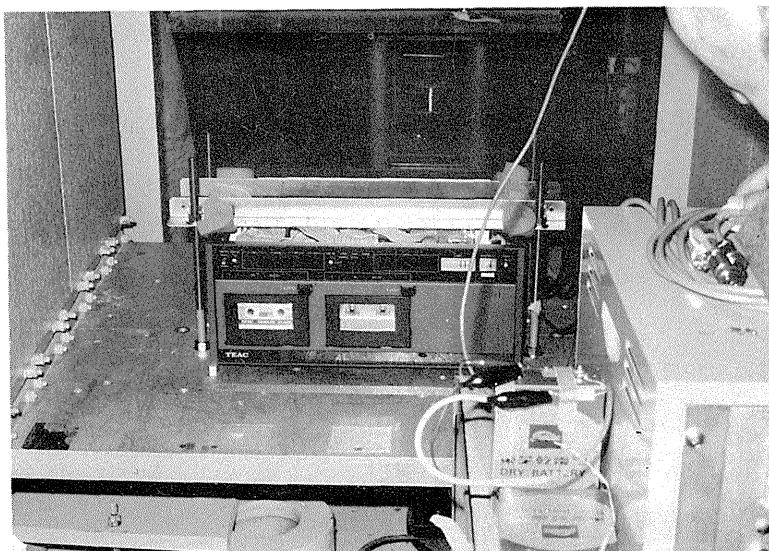


図3.1.9 ディジタル記録器の耐震性の試験

表 3.1.6 №.5(表 3.1.5)の実験中に記録されたデータ(入力は+25mVDC)の分布(%)

digit	channel			
	1	2	3	4
8	0.0	0.0	0.0	0.0
9	6.2	1.2	2.0	1.4
10	82.7	84.8	81.3	77.1
11	11.1	14.0	16.7	21.5
12	0.0	0.0	0.0	0.0
平均	10.049	10.128	10.147	10.200
標準偏差	0.414	0.369	0.407	0.435

2. 低温特性試験

この強震計を構成する装置にはいろいろな電子部品が使用されている。電子部品については、コストを度外視すれば、-25°Cまでの特性が保証された部品を使用することができる。また磁気テープ記録器では当然のことながら、温度によって柔軟度が大幅に変化する性質をもつ磁気テープを、ヘッドに密着させながら安定に走行させなければならない。しかしながら磁気テープ本体には低温特性を明確に保証する製品はなく、一般に、0°C以下では使用しないのがよい、とされている。

この強震計の開発に際しては漸定的に環境温度を0°Cと定め、それぞれの機器を製作した。一般的に言って、そのような条件で製作しても、-10°Cとか、それ以下の温度まで、安定に作動することはよく経験している。筆者らは環境温度は0°C以上、という条件で、コストを下げる機器を製作し、0°C以下における動作は実際に試験して、動作の安定を保証する、という方針をとった。なお、現用の強震計は機械式であるので、温度特性に関しては上下動の零点移動を除いては、ほぼ問題はない。

試作した強震計の各部分の環境温度を、0°C~40°Cの間で変化させて特性の変化を調べた(図3.2.1)。なおこの試験は前節の耐震性の評価の前に行われたものである。0°Cまでの測定データを検討した結果、問題のないことが確認されたので、後日、更に-15°Cまでの範囲で、うまく動作するかどうかの評価を行った。その結果、次に述べるように磁気テープ装置も含めて正常に動作することが認められた。

2.1 変換器

油制動方式の変換器は第2章2.2節でも述べたように、温度の変化による制動力の変化が直接的に感度を支配するので、これを補償するため、利得に温度特性をもった増幅回路が用意され、同一の筐体に収容されている。この筐体の環境温度を -5°C から 40°C の間で変化させ、温度が筐体内で一様に安定するのに十分なだけの時間を経た後、測定を行った。その結果、次の事がわかった。

まず、感度の変化は増幅器で補償後でも 10°C 当り $3\sim 4\%$ の大きさである（ $10\sim 40^{\circ}\text{C}$ のデータの平均）。補償しない状態だと 10°C 当り 30% 程度変化するという資料があることからすると、変化率は約 $1/10$ に改善されている。 $3\% / 10^{\circ}\text{C}$ という値は、後に述べる方式の値と比較して、決して良くない。それに、制動に関係するシリコンオイルの温度分布が、ひとつのサーミスタで代表できるか、という問題も残っている。

上下動変換器は、油の、温度変化による密度変化から浮力が変化し、零位置の移動が認められた。その大きさは実に 10°C 当り 60cm/s の地動速度に相当している。この補償のためには吊りバネの弾性定数に温度依存性をもたせることが考えられるが、バネ材の選択程度ではその実現性の見通しは立たない。また、筆者の経験によれば、そういう加工が新たな雑音を発生する可能性もある。

さらに、これは油制動方式本来の問題ではないが、振子の吊り方がいわゆる、タスキ掛け、と呼ばれるものであって、われわれが購入した製品の場合、そのタスキのしめ具合に問題があった。そして、 0°C 以下の環境温度下で固体まさつが発生し、小さな加速度では出力が零のままで、大きな加速度でも波形が歪むという現象が見られた。これらの問題を総合すると、余りにも欠点が多く

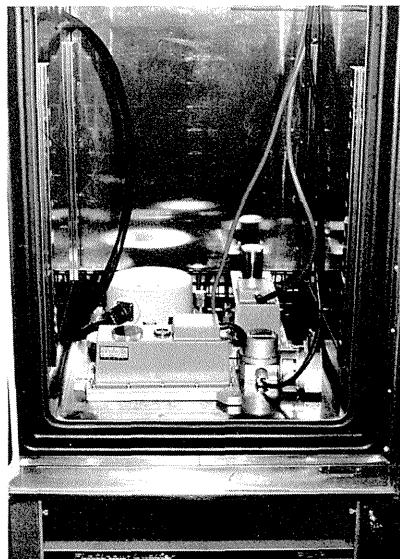


図3.2.1 変換器の低温特性試験

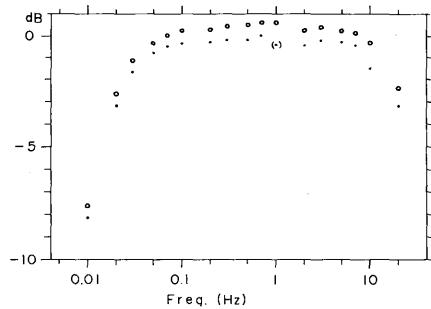


図 3.2.2 速度比例出力の周波数応答の温度依存性。白丸：40°Cにおけるデータ。
黒丸：0°Cにおけるデータ。縦軸の0 dBは50 mV/(cm/s)に相当する。

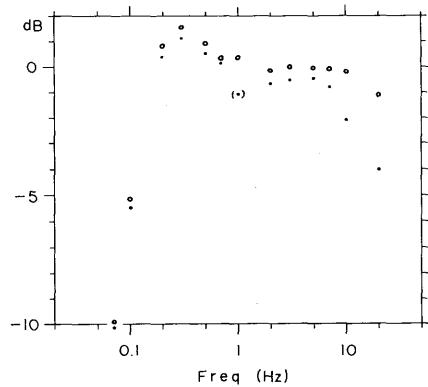


図 3.2.3 変位比例出力の周波数応答の温度依存性。白丸：40°Cにおけるデータ。
黒丸：0°Cにおけるデータ。縦軸の0 dBは50mV/cmに相当する。

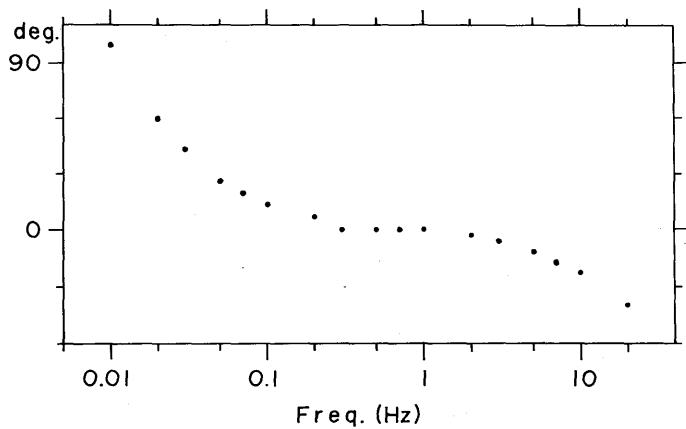


図 3.2.4 速度比例出力の周波数応答(位相)の温度依存性。40°Cにおけるデータ
と0°Cにおけるデータとの差は1°以内で、この図のスケールでは、両
者は一致する。

ぎる。われわれは、油制動方式は、少くとも、その方式にもとづいて製作された評価の対象となつた変換器は、今の目的の強震計にはふさわしくないと評価する。

速度帰還方式および変位帰還方式にもとづいた変換器の環境温度を $0\text{ }^\circ\text{C}\sim40\text{ }^\circ\text{C}$ の範囲で $10\text{ }^\circ\text{C}$ ステップで変化させ、コイル抵抗（速度帰還方式のみ）、感度、ドリフト（変位帰還方式のみ）、ステップ応答の変化を測定した。なお等化增幅器は常温下に置いた。感度変化は速度帰還方式の水平動が $0.6\text{ \%}/10\text{ }^\circ\text{C}$ 、上下動が $0.1\text{ \%}/10\text{ }^\circ\text{C}$ 以下、変位帰還方式が $0.5\text{ \%}/10\text{ }^\circ\text{C}$ 以下と認められる。変位帰還方式のドリフトの割合はカタログどおりの $0.05\text{ Gal}/\text{ }^\circ\text{C}$ という値を得た。ステップ応答の温度依存性は全く認められない。以上のように、満足すべき結果を得た。

今回の強震計の変換器としての最優力候補である変位帰還方式の変換器には、更に $-15\text{ }^\circ\text{C}$ までの低温環境にさらして、その特性を測定した。いずれの項目にも異常は見られず、 $-15\text{ }^\circ\text{C}$ までの環境での使用に際して問題はないと言える。

2.2 等化增幅器

この等化增幅器は変位帰還方式の変換器の出力を等化・増幅するように、電圧レベル、インピーダンス、その他が設計されている。この装置の環境温度を $0\text{ }^\circ\text{C}$ から $40\text{ }^\circ\text{C}$ まで、 $10\text{ }^\circ\text{C}$ ステップで変化させて、ドリフトの割合、周波数振幅および位相応答を測定した。ドリフトは加速度比例出力が $0.3\text{ mV}/10\text{ }^\circ\text{C}$ 以下、速度比例出力が $5\sim8\text{ mV}/10\text{ }^\circ\text{C}$ 、変位比例出力が $0.3\text{ mV}/\text{ }^\circ\text{C}$ 以下であった。速度比例出力のドリフトがやや大きいが、磁気テープに記録されるディジタルデータにして $2\sim3\text{ digit}/10\text{ }^\circ\text{C}$ 相当であり、 4096 digit という大きな動作範囲からすると、問題にすべき量ではないと評価する。振幅応答のレベルの変化、すなわち、記録の感度の変化は、加速度比例出力で $1\text{ \%}/10\text{ }^\circ\text{C}$ 、速度比例出力で $1.5\text{ \%}/10\text{ }^\circ\text{C}$ 、変位比例出力で $1.5\text{ \%}/10\text{ }^\circ\text{C}$ という結果を得た。見方によつては、必ずしも満足すべき大きさではない、との評価もあるが、主にコストとの関連で、これ位の値が限界である。図3.2.2～3.2.3に上下動成分の速度、変位比例出力の振幅応答の温度依存性を示す。位相特性を $0.01\sim20\text{ Hz}$ の帯域で、速度比例出力についてのみ測定したが、 $0.3\text{ deg}/10\text{ }^\circ\text{C}$ 以下の変化しか認められなかった。図3.2.4にそのデータを示す。十分満足することができる。

更に厳しい温度環境を想定して $-15\text{ }^\circ\text{C}$ までの範囲で同様の測定を行つたが、別に異常は認められない。この装置も、それだけの低温下でも十分機能することが期待できる。

2.3 アナログ記録器

ガルバ・アンプの筐体およびドラム記録部の筐体の環境温度を $0\sim40\text{ }^\circ\text{C}$ の間で $10\text{ }^\circ\text{C}$ ステップで変化させ、発振器からの出力を記録した。水平動の合成振幅の表示も同時に読みとつた。発振器の周波数を $1\sim30\text{ Hz}$ の間で、レベルは $20, 40, 100\text{ mV}$ の3とおり変化させた。描かれた波形の振幅の温度依存性は $0.3\text{ \%}/10\text{ }^\circ\text{C}$ 以下であることを確認した。また、ドラムの回転周期は $0\text{ }^\circ\text{C}$ で1500秒、

40°Cで1502秒であり、その変化の割合は0.033%/10°Cと計算できる。これらはいずれも地震観測に際して、特に問題は生じないと評価できる。

2.4 ディジタル記録器

環境温度を0~20°Cの間で5°Cステップで変化させ、DC+25mVを入力しながら磁気テープに記録をとり、その記録を再生することにより評価した。10°Cにおける実験中に磁気テープの終りを示すEOTの穴を検出できず、それに伴ってFILE ENDのマーク(2個連続したテープマーク)を書かない、という現象が発生した。磁気テープのEOTの穴も正しくあいていたので、まちがいなく障害が発生したものと思われるが、現象が再現しなかったので原因は不明である。そのような現象はその後の長い試験観測中にも全く発生しなかったし、もっと低温下でも発生しなかったから、環境温度のせいではないと考えられる。その他には異常は全く見出されなかった。

後日行った、-15°Cまでの低温特性試験でも全く問題が生じないことが確認できた(田ら, 1982)。この点は、この磁気テープ装置と同型の機構部をもつ機種が、南極という低温環境でも正常に動作したという実績(気象庁地震課藤沢格氏、私信)を定量的に裏づけた点で高く評価できよう。

但し、-15°Cの環境下で大きな加速度を与える、という試験を行ったわけではないので、最悪の条件下まで安定に作動できるということまで確認したことにはならない。この記録器は可能ならば、テープ交換等の操作性も考えて、居室、すなわち極端な低温環境にならない場所に設置すべきであると考える。

参考文献

- 田 望, 飯沼龍門, 松本英照, 高橋道夫, 1982: ディジタルカセットテープレコーダーの振動・温度特性について. 地震学会昭和57年度春季大会講演予稿集, 77.
松本英照, 高橋道夫, 1976: 地震計電磁変換器の検定方法とその精度について. 気象研究所研究報告, 27, 129-140.

第4章 あとがき*

1. 強震計発達の歴史

1.1 初期の強震計

83型強震計が完成し、全国に展開されると気象庁の地震観測史上、大きなエポックになると考えられる。ここで気象庁（東京気象台、中央気象台）における100年余りの強震計発達の歴史をふりかえってみる（宇佐美、浜松、1967；飯沼、1973；浜松、1981）。

1875年（明治8年）6月1日東京気象台が創立されると同時にPalmieri式地震計が購入設置され地震観測が始められた（浜松、1966）。この地震計は一種の強震計で、U字管に水銀を満し、水銀面に錘を浮べこの錘に滑車を介してカウンターバランスを取り付け釣り合いを取っておくものである。一旦、地震があると水銀面が動搖して錘が押し上げられ最大位置に停止する、この位置での滑車の回転角を測定し、それを地震の強さとしたものである。この地震計は、1883年（明治16年）まで使用されている。この間に観測された年間最大地震数は1880年の74回である。この年の2月22日東京湾を震央とするいわゆる直下型地震（M 5.9）が起り東京・横浜を中心として被害があった。

これを契機として日本地震学会が創立され、地震計の考案にも力が入れられる様になった。振子を不動点とみなすGray・Milne式錐（かすがい）形験震器が考案されたのもこの頃で1883年から観測に使用された。この錐形とは別にMilneの考案による簡単地震計が、取扱が簡単で、かつ安価のため広く使われるようになった。この地震計は、原理的には鉛直振子（振子長約60cm）の下に拡大針を取り付け、いぶしガラス板へ震動記録を書かせたものである。また、その後一時期、Ewing式地震計を改良した関谷式も使われたようである。関谷式は鉛直振子と倒立振子を組み合せ、固有周期をのばす工夫がされている。記録はいぶしガラスをペン先でひっかく方式である。

強震計として水平動を直交2成分に分解し、回転するドラムに記録するようになったのは、1900年に製作された大森式強震計からである。その10年後には今村式の強震計も開発され、これは年間最大2台のペースで全国展開された。

1923年の関東地震後から1927年にかけ、大森式強震計を主体として約20台の強震計が全国の観測所に整備された。しかしその後、3成分、制振器つきの中央気象台式が開発されるにともない、大森式、今村式は漸次中央気象台式に更新されていった。1960年には大森式、今村式の強震計は気象庁の現役の測器からは完全に姿を消すに至った。これら3種類の強震計の主なる規格を表4.1.1に示す。

中央気象台式強震計は1927年から展開が開始されたが、1941年は更に新型気象台式強震計（41型）として大きな改良が行われて固有周期も長くなった（中央気象台地震課、1942）。この両式を合せ1940～49年頃にかけ全国で40台前後が稼動していた。

* 執筆担当 飯沼龍門（1節）、高橋道夫（2,3節）

表 4.1.1 気象庁が1900～1940年頃まで展開した強震計の規格

型名 規格	大森式	今村式	中央気象台式
固有周期		10秒	3～5秒
倍率		2倍	1倍
成分数	大森式強震計は関東震災後1927年までの間に20台近く配備されたが、規格についての文献がない	水平2成分 (途中より上下成分が入る)	3成分
制振器		なし	制振度2.5～3 マグネット方式
ドラム送り		約50mm／分	約30mm／分
起動器		ゼンマイ起動・テンプ調速	ゼンマイ起動・テンプ調速
垂錘		2kg (上下ピポットの荷重が同じ)	水平2kg 上下1.1kg
その他	1900年より配備	1910年より配備	1927年より配備

1.2 50型強震計

1950年には41型をモデルとした、50型強震計が気象測器製作所（気象測器工場の前身）で開発された（酒井、1951；図4.1.1～3）。1951年と52年に更に改良が加えられ、それぞれ51型、52型と称されている。これらは1961年まで、表4.1.2に示した数だけ、全国の観測所に配備された（父島、沖縄には復帰後）。これにともない、41型強震計も現役からは姿を消した。41型、50～52型強震計の主なる規格を表4.1.3に示す。

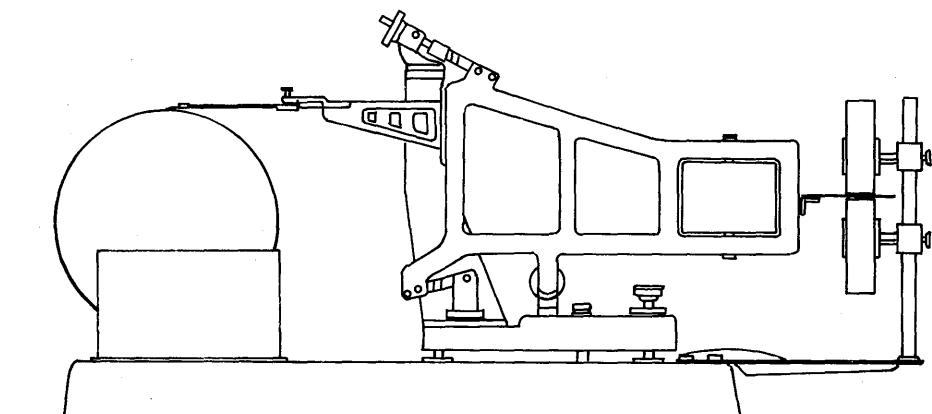


図4.1.1 50型強震計の構造（水平動）

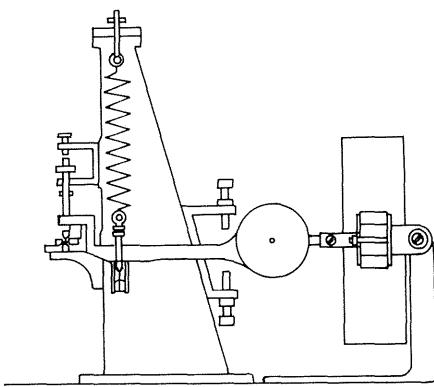


図 4.1.2 50型強震計の構造（上下動）。

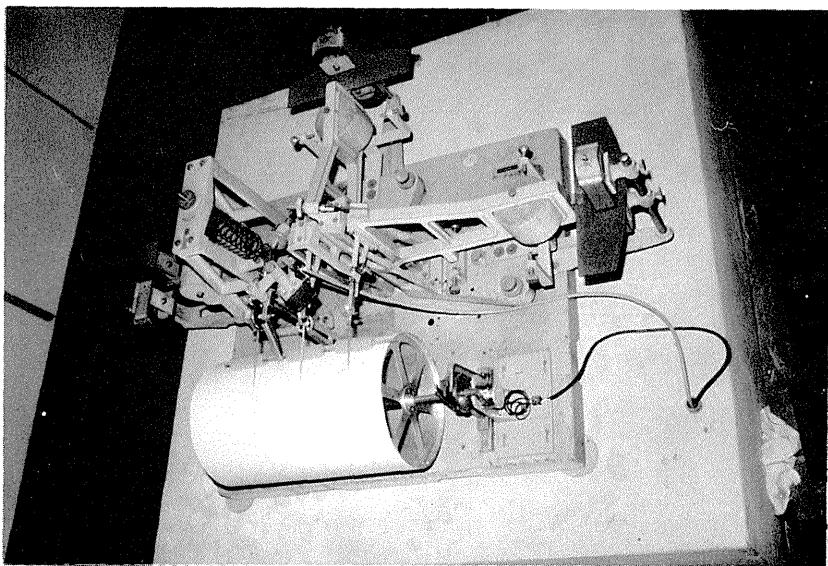


図 4.1.3 51型強震計の外観（御前崎測候所）。

表 4.1.2 50～52型強震計の年次別設置数（諏訪，長宗，1975）

年	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	計
台数	15	26	27	2	7	1	0	0	8	10	6	4	106

表 4.1.3 41型・50型・51型・52型の強震計の規格

単位	41型	50型	51型	52型
記録成分	水平 2成分 上下 1成分	水平 2成分 上下 1成分	水平 2成分 上下 1成分	水平 2成分 上下 1成分
固有周期	秒 水平 7 上下 5	水平 6 上下 5	水平 6 上下 5	水平 6 上下 5
倍率	1	1	1	1
制振器	制振度 3 マグネット アルミ板	制振度 8 マグネット 銅板	制振度 8 マグネット 銅板	制振度 8 マグネット 銅板
摩擦値	mm 0.01	水平 0.04以下 上下 0.05以下	水平 0.04以下 上下 0.05以下	水平 0.04以下 上下 0.05以下
記録送り	mm/min 25	30	30	30
起動器	ゼンマイ式 (テンプ付)	ゼンマイ式 (ガバナー付)	ゼンマイ式 (ガバナー付)	ゼンマイ式 (ガバナー付)
垂錐	kg 水平 4 上下 3	水平 4.5 上下 2.2	水平 4.1 上下 3.0	水平 4.2 上下 3.0
その他	フレーム:アルミ合金 ドラム:木 製 上下支点:ピボット	フレーム:鉄 ドラム:アルミ製 上下支点:バネ	50型シリーズにはこの他52改型と 52B型の5種類があり相当振子長 及び重心距離が年式により多少変 っている。	

1.3 50型強震計の改良

50型シリーズの強震計は震度5の強い方になると、記録はふり切れ、更に水平成分の振子の釣り板バネに損傷を生ずる事故が多発した。また、ゼンマイバネを駆動力とし、フリクションガバナー回転速度調整器を介在させた起動機は、強震の発生とともに止まってしまうこともあるなど、強震計としては基本的な欠陥がめだった。この他にも、観測運用上にも時代の変遷とともに、主として部品の手配に困難が生じてきた。これに対処するために、気象測器工場と地震課の両者により、50型強震計の改良が行われてきた。その経過と概要を以下に述べる。

1) 釣り板バネの損傷の対策

1961年2月27日の日向灘地震の際、宮崎地方気象台の強震計の水平動成分の上下の釣板バネが両成分共に切れる事故が発生し機構の再検討が要求された。

気象測器製作所では、この問題を解決するため、水平成分の釣板バネを厚さで3種類、長さで3種類の組合せ、線状バネで4種類、十字線バネで2種類の計15種類のバネを試作し、さらに、振子の重錐の重心の位置で振れ幅を制限する振れ幅めを追加して、上記の事故の防止を図った(矢崎、

1962 a, b)。評価試験では、静的試験と衝撃試験の6項目について実験を行い、主としてバネの損傷についてチェックしている。この後行った振動台によるテスト結果により重錘の位置にフレ止めをつける改良が最も効果的で、釣りバネは従来のまゝでよいことが確認された。1962年、地震課で全数のフレ止め部品を製作・配布し、現地でフレームに取りつけ加工を行い、ただちに実用化された。この結果、事故の件数は大幅に減少はしたが、皆無には至らなかった。

ii) 記録振幅の拡大の試み

測定最大振幅(6 cm^{P-P})を拡大する試みとして、重錘のフレ止めを固定型とせず、直角形の腕で受けその先にバネと空気制振器を組合せたショックアブソーバーを取り付けた装置を試作して試験が行われている(矢巻, 1971)。この結果、最大全振幅は水平成分で6 cmが10 cmに、上下成分で5 cmが8 cmまでそれぞれ拡大しうることが認められた。振子がフレ止めに接触するまでは、従来の性能で作動するが、接触を始めると振子の自己周期が6秒から0.5秒へと短くなつて特性が変化し、記録の処理が複雑になることがわかり、従ってこの方式はテストのみで実用化はされなかつた。

iii) 起動機の改造

ゼンマイバネ原動力、フリクションガバナー調速方式の記録ドラム用起動器は、振動試験の結果約2 Hzの水平成分1方向のみの振動に対しても300Gal程度で機能を失うことが認められた。このことは3方向の振動が複雑にかゝった場合には震度5で機能を失うものと推定される。その対策のためと、また一方ではゼンマイバネの入手が困難になった事情も勘案して、停電時でも作動する強震計専用の電動式起動機の開発が気象測器工場で行われた(小野崎, 1971; 小野崎, 川上, 1971; 小野崎, 1972)。この起動機は3 WのACシンクロナスマーターを駆動源とし、その電源には常時は商用のAC 100 Vを使用し、停電時には、DC 12V(自動車用バッテリー)を使用し、トランジスター(改造後はIC)によるCR発振回路で基準周波数(50 Hz又は60Hz)を作る簡単なDC-AC(100 V)コンバーターと、バッテリーへ常時フローティング充電を行う充電装置とを組合せたものである。実用テストの結果に基づき一部に改良を加へ、1972年に16台を製作して全国へ配布したのを手始めにその後3年間程で全官署の起動機はこの型に改造された。

iv) すす書き記録の中止

すす書き記録には良い面も多いが、緊急観測時に誤まって手を触れると記録が消える、毎日のくん煙ニス掛けは不衛生でしかも、ニスかんの爆発やプロパンガスによる火災事故の危険をともなつてゐる、等の理由で、改造の要求も、年々高まってきていた。また、記録紙のマイクロフィルム化が試行されたが、すす書き記録紙はコントラストが悪く、加えてマイクロフィルムのラティチュードが小さいこともある、仕上りが非常に悪かった。これらのことから、気象測器製作所において、インク書き化の検討が行われた(小野崎, 1965, 気象測器製作所, 1968)。

記録ペンには、外径0.3 mm内径0.2 mmの市販の自記記録ペンを使用、インクには速乾性赤色インクを採用している。インクつぼは、記録ペンアームに取りつけ、水圧により過大にインクが流出す

るのを防止するため、液面がペン先の高さよりも高くならない位置に取りつけた。記録紙はすす書き用（アート紙）とは別にこれに適した用紙の選定を必要とした。テストの結果、記録線の太さが、すす書きと比べて、約2倍（0.2mm）以上、摩擦値は10～20%程度の増加が認められたが、運用上はより望ましい方式であると判断された。しかし、実際に使用してみると、ペン先にドラム上のはこりが付着し、次第に太くなるという欠点が発見された。そのための対策は門脇（1970）、小野崎（1973）に詳しく述べられている。これ以後、手入れをよくすれば記録線も細くなり、すす書きにほぼ匹敵する記録を得ることができるようになった。

V) 隔測化

最近、気象官署も合同庁舎に入る事例も多くなり、気象庁関係は気象観測を重点とするためビルの上層階に室が割り当てられる例が多くなった。このため、地震計室が遠くなるか、あるいはやむ得ず上層階に強震計を持ち込む事例が多くなり、強震観測の質の低下にかゝわる問題となっている。また、全国整備の気象資料伝送網では、各管区気象台まで強震計の記録をオンラインで伝送することが前提として計画がすすめられた。このような理由からとりあえず現用の強震計に手を加える程度で隔測化を進めなければならない事態も発生している。

西山ら（1980）は50型強震計の原型に、なるべく手を加えないで、かつ振子の動きに影響を与えることのない、機械運動を電位に変換する変換器をさがした。その結果、大きな変位を検知し非接触機構である、渦電流効果による変位変換器が最適であると結論づけた。この変換器は、ピックアップコイルに常時1MHzの基準電圧を印加して一定の磁束を発生させておく、このコイルに対向するアルミ板（強震計の振子アームの中間へ取り付ける）が動くことにより磁束密度が変る、この変化をピックアップコイルで検知して変位の変化に比例した電圧へ変換するというものである。この磁束密度の変化は、ほぼ変位の対数に比例するのでこの特性を変位比例に変換するため、復調器に対数增幅回路を挿入して出力を得ている。この外、振子の運動が円運動をするので左右非対称となるため、その補正も行い記録上で波形の歪が無視できる程度にしてある。

水戸地方気象台で約半年にわたってテストを行った結果、最大振幅の比較で最大10%程度の誤差を生ずる例もあったが、大半は良く合致した。

この結果を踏え、この装置は1981年度から稼動を始めた気象資料伝送網の強震計テレメータの変換器として使用されている。

以上みてきたように、気象庁における強震観測は時代の要請と技術の進歩、およびその時々の関係者の努力に支えられ、100年をこえる歴史をきざみ記録の蓄積をうるに至った。しかし、強震計に対する最近の要求には50型のような機械式地震計では、これに応えることが困難となってきている。ここに83型強震計が誕生した背景がある。

2. 開発研究遂行の体制

この研究は1977、78年度については経常研究「地震測器の研究」で、1979年度からは、5ヶ年計画で始まった、特別研究「地震予知に関する実験的および理論的研究」の中のサブテーマ「常時地震監視システムに関する開発研究」の内のひとつとして行われた。担当者を表4.2.1に示す。この表には、この報告書の執筆の分担も同時に示した。

表4.2.1 強震計の開発担当者一覧

氏名	所属	担当年度	執筆担当
田 望	地震火山研究部長 (主任研究者)	1978-81	—
渡辺 健夫		82	序
飯沼 龍門	第3研究室長	77-81	第4章の一部
松本 英照	第3研究室主任研究官	77-82	第3章の一部
高橋 道夫	第3研究室研究官	77-82	第1,2章と第3章の一部, 第4章の一部

3. 謝辞

この研究は次に記す多くの機関および個人の御協力、御教示によって遂行された。すなわち、全装置総合の耐震性評価のための共同研究を心よくひきうけて下さり、その上、大型振動台を使用させて頂いた国立防災科学技術センターの第2研究部耐震実験室の方々、実用化のための試験観測を共同で行っている仙台管区気象台の市川政治・調査課長、石橋辰作・観測課長はじめ関係者の方々、この開発が始まるや、いち早く加速度変換器JA-4を無償で提供された浅田敏・東海大教授、気象庁における強震観測の意義をよく理解されて、変換器に関する手もちの資料を心よく提供された村松郁栄・岐阜大教授、工学的視点に立った強震計を製作し、その経験等をきかせてくれた太田裕・北海道大学教授はじめ工学部建築工学教室耐震工学研究室の方々、日頃から強震観測に深い造詣を有し、終始御鞭撻を頂いた当研究部の勝又護・主任研究官はじめ同僚の方々、ユーザーの立場から有効な御教示、御叱正を頂いた気象庁地震課の竹山・火山室長はじめ地震課、地震予知情報課の方々、そして最後に原稿に目をとおし、適切な意見をいただいた当研究部の清野政明・第1研究室長。以上の方々に御礼を申し上げる。

また、この強震計が完成するまで予算関連業務において御尽力いただいた増田武ならびに原田朗

・企画室長をはじめとする企画室の方々に敬意を表する。

なお、この強震計の製造、評価は次に記す業者に発注した。すなわち、変換器および等化増幅器が日本航空電子、ドラム式可視記録器が勝島製作所、カセット式ディジタル磁気テープ記録器および処理装置がT E A C、無停電々源が新電元、評価は主として明石製作所の設備を借用、この他に変換器の候補機種として沖電気、および東京測振である。各社はいずれも、強震観測の重要性をよく認識し、今回の開発成功の基となる御協力をいただいた。ここに御礼を申し上げる。

参考文献

- 中央気象台地震課、1942：新型気象台式強震計の紹介。測候時報、13、161～163。
- 浜松音蔵、1966：地震観測のあけぼのと Palmieri 地震計。測候時報、33、189～192。
- 浜松音蔵、1981：地震観測史。日本の地震学百年の歩み、第1部第3章1節。地震、2、34特別号、73～91。
- 飯沼龍門、1973：気象庁の地震観測の歴史・現状と将来。気象、9月号、3668～3670。
- 門脇孝延、1970：59型インク書き電磁地震計の細書きと記象紙面のごみの防除法について。測候時報、37、273～275。
- 気象測器製作所、1968：一倍強震計の記録方式改造（インキ書き方式）の現況。測候時報、32、38～39。
- 西山宏、鈴木宣直、川上保、1980：強震計の隔測化。測候時報、47、45～50。
- 小野崎誠一、1965：一倍強震計の記録方式改造。測候時報、32、194～197。
- 小野崎誠一、1971：一倍強震計用電動式起動機。測候時報、38、82～84。
- 小野崎誠一、川上保、1971：一倍強震計の振動試験。測候時報、38、103～105。
- 小野崎誠一、1972：一倍強震計用電動式起動機（改良型）。測候時報、39、60～61。
- 小野崎誠一、1973：一倍強震計ゴミ取装置。測候時報、40、100～101。
- 酒井乙彦、1951：50年型強震計の紹介。測候時報、18、205～208。
- 諏訪彰・長宗留男、1975：地震・火山。気象百年史、II、第14章、439～456。
- 宇佐美龍夫、浜松音蔵、1967：日本の地震および地震学の歴史。日本の地震学の概観、第1篇、地震、2、20特集号、1～34。
- 矢龜記一、1971：一倍強震計ばね制動装置。測候時報、38、85。
- 矢崎敬三、1962a：1倍強震計バネ強度測定試験報告。験震時報、27、17～21。
- 矢崎敬三、1962b：測器の紹介及び説明：地震。測器要報、7、1～3。

気象研究所

1946(昭和21年)設立

所長：理博松本誠一

予報研究部	部長：	理博	片山	昭彦
台風研究部	部長：	理博	相原	正彦
物理気象研究部	部長：	理博	岡林	俊雄
応用気象研究部	部長：		山村	信彦
気象衛星研究部	部長：	工博	内藤	吉信
地震火山研究部	部長：	理博	渡辺	偉夫
海洋研究部	部長：		多田	利義
高層物理研究部	部長：	理博	嘉納	宗靖
地球化学研究部	部長：	農博	大和田	守

気象研究所技術報告

編集委員長：岡林俊雄

編集委員：秋山孝子 椎野純一 佐粧純男
荒川正一 穂田巖 清野政明
遠藤昌宏 廣田道夫 杉村行勇

事務局：西田圭子 西村浩弥

気象研究所技術報告は、気象学、海洋学、地震学、その他関連の地球化学の分野において、気象研究所職員が得た研究成果に関し、技術報告、資料報告及び総合報告を掲載する。

気象研究所技術報告は、1978年(昭和53年)以降、必要の都度刊行される。

昭和58年3月31日発行 ISSN 0386-4049

編集兼発行所 気象研究所

茨城県筑波郡谷田部町長峰1-1

印刷所 アサヒビジネス株式会社

TEL 0298(51)7411