



| | |
|------------------|---|
| Title | 8. やや長週期の地震観測装置の試作 |
| Author(s) | 吉井, 敏尅; YOSHII, Toshikatsu |
| Citation | 北海道大学地球物理学研究報告, 13, 115-125 |
| Issue Date | 1965-02-25 |
| DOI | https://doi.org/10.14943/gbhu.13.115 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/13889 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 13_p115-125.pdf |



8. やや長週期の地震観測装置の試作

吉井敏尅

(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和39年10月受理 —

I. ま え が き

現在、長週期地震計は長週期の電磁式換振計と長週期の galvanometer とを R-C 回路をはさんで結びつける、いわゆる直結の方法が主流をしめている。しかしこの方法は装置が大きくなるうへ、galvanometer が不安定で取り扱いが難しく、感度も十分には得難いという欠点がある。そのため、最近直流増幅器と短週期の galvanometer とを持った長週期地震計が多く用いられるようになった。この形の長週期地震計では galvanometer の取り扱いが易しいうへ、直流増幅器の増幅度により倍率を自由に選らべるという利点がある。

今回、主として近地地震を長週期地震計で記録するという目的¹⁾のため、上の形の携帯可能なやや長い週期まで観測できる地震観測装置を試作し、すでに数多くの記録を得ている。本論文ではこの装置の構成、特性、および得られた記録等について報告する。

II. 全体の構成

第1図にこの地震計の全体の構成を block diagram で示した。電磁式地震計の出力は filter を通った後直流増幅され、さらに電力増幅されて短週期のペン書き galvanometer を動かす。電磁式地震計は固有週期5秒に設計されたやや小形のもので、バネの交換等により相当広い範囲にわたりその週期を変えることができる。Coil は抵抗 $2\text{K}\Omega$ のものを用いている。



第1図 観測装置の構成

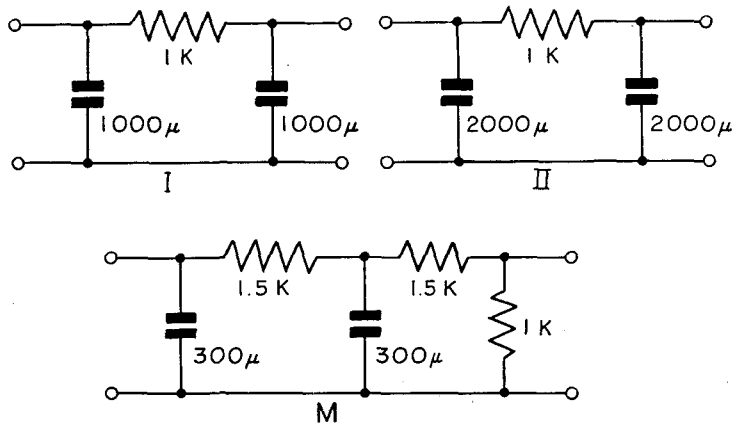
Fig. 1. Block diagram of seismograph.

ペン書き galvanometer は前述の如く短週期のものであり、現在 13 c/s 、内部抵抗 $8\text{ K}\Omega$ のものを用いている。従って今使用する周波数範囲では十分に平坦な特性を持っていると考えられる。記録紙の送りは回転ギヤの組み合わせで変えられるが、長週期観測のときはもつぱら 27 mm/min を使用している。

1) 田望・吉井敏尅；近地地震の記象に見られる長週期振動(その1)，北大地球物理学研究報告，12(1964)，43.

III. フィルター

Filter は第2図の如き3通りのものを作ったが、図中 **M** は特に脈動観測用に設計したものである。これらの filter は BENIOFF²⁾ の述べているように low pass filter として働くと同時に、振子の固有週期の長週期化にも役立つ。形は図の如く RC 2 段の回路であり、これにより短週期振動、脈動等の noise を避ける。



第2図 フィルター

Fig. 2. Filters.

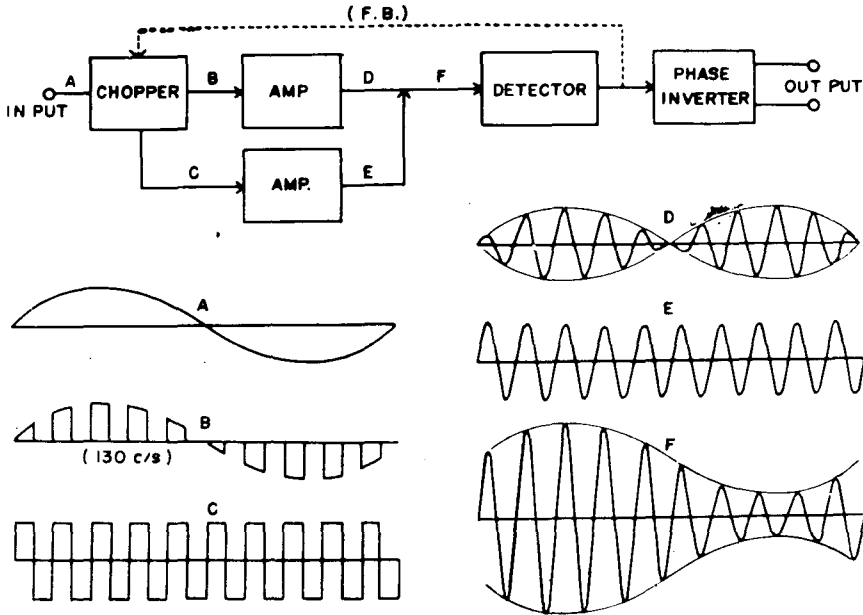
IV. 直流増幅器

Filter を通った信号は次に直流増幅される。第3図にこの直流増幅器の block diagram とその各点における模式的な波形を示した。

この直流増幅器は transistor を用いた chopper 方式のものであり5つの部分からなる。直流又はそれに近い波形 **A** は chopper で **B** のごとき矩形波に断続される。この chopper は multivibrator からの矩形波により制御される。Chopper 出力 **B** は次の狭帯域増幅器で増幅されるのであるが、同時に一定振幅の multivibrator の矩形波 **C** も別の狭帯域増幅器で増幅される。後者には phase shift の回路が付いている。狭帯域増幅器であるからそれらの出力波形 **D**, **E** は図に見られる如く正弦波となっているが、特に注意すべきなのは **D** であって、**B** に見られる長週期成分は増幅されないためいわゆる平衡変調波となっている。そのためと **D** と **E** を加えることにより **F** の如き振幅変調波を得た後整流する、いわゆる位相弁別の検波を行なっている。その出力は結局入力波形 **A** が増幅されたものとなる。又、この出力を chopper 回路に feed back させる回路も設けられている。

なお、次の phase inverter で位相を反転しているのは、次の電力増幅器を push-pull で働

2) H. BENIOFF; Long Period Seismographs, Bull. Seis. Soc. Am. 50 (1960), 1.

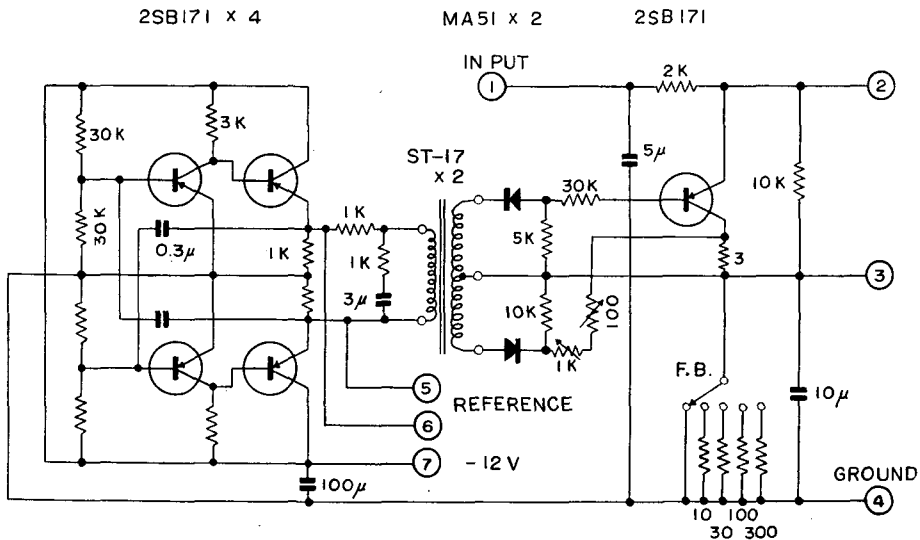


第3図 直流増幅器の構成と各点における模式的波形

Fig. 3. Block diagram of DC amplifier and wave forms at some points.

らかせるためである。

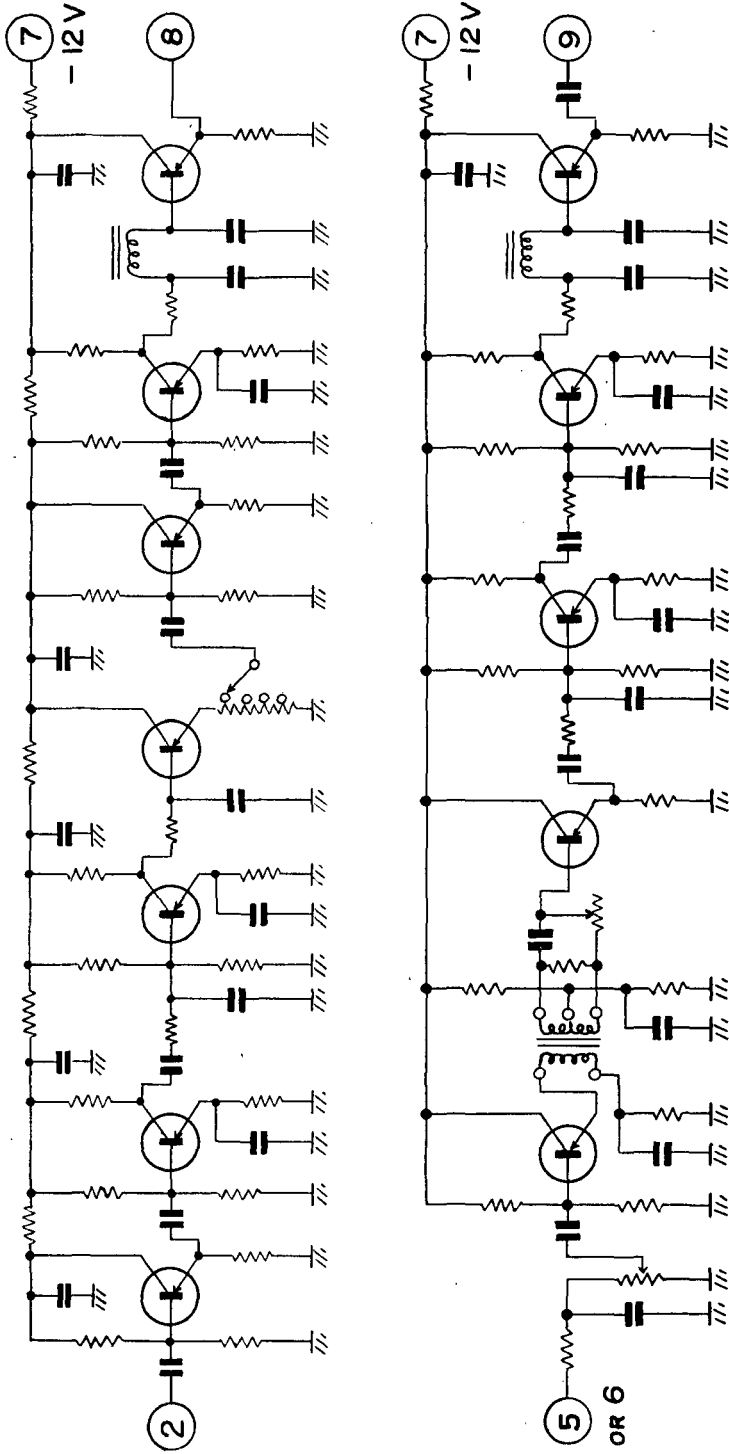
第4図に chopper 回路の配線図を示す。左の部分が駆動用の multivibrator であり、この場合の発振周波数は約 130 c/s である。この矩形波の周波数及び波形は増幅器全体の性能に大



MULTIVIBRATOR & CHOPPER

第4図 チョッパ回路

Fig. 4. Circuit diagram of multivibrator and chopper.



第5図 狭帯域増幅器部分の回路
Fig. 5. Circuit diagrams of two narrow band amplifiers.

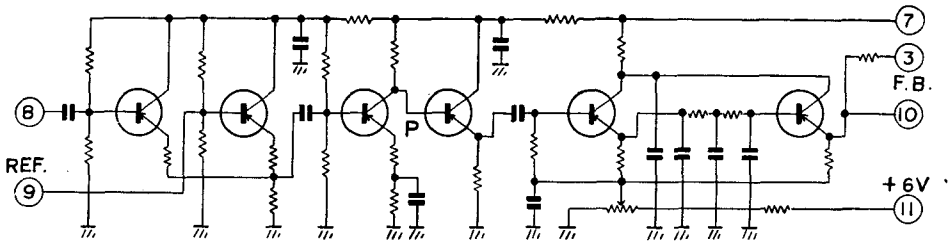
きな影響を及ぼす。⑤又は⑥における矩形波出力は p-p 約 1 V である。

第 4 図の右側は chopper であるがこれは WATT³⁾ が用いたものと類似の回路である。ここに用いる transistor は同一名のもので性能にかなり差があるので十分選んで使用する必要がある。Switching 作用の調整は 1 K Ω 及び 100 Ω の可変抵抗により行なう。

第 5 図に 2 つの狭帯域増幅器を示した。増幅度は attenuator で調整できるが、最大増幅度は 130 c/s で約 100 db である。各所に簡単な filtre が入っており全体としてはかなり狭帯域の周波数特性をもっているのでその出力は十分良い正弦波となっている。又、1, 2, 3 段目には低雑音用の transistor を用いてある。

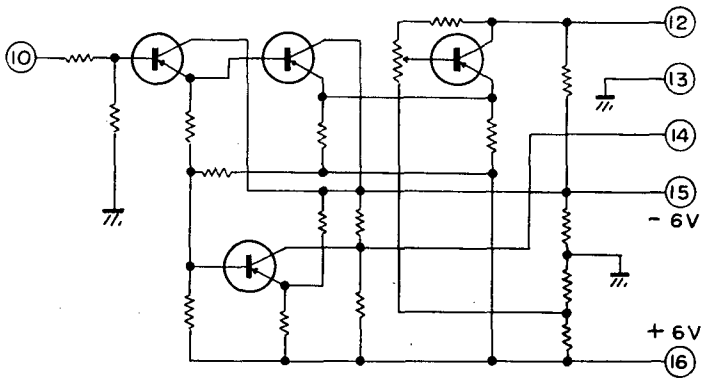
次に第 5 図下の回路は reference 電圧用の狭帯域増幅器である。1 石目と 2 石目の間には phase shift の回路が入っており、これによって signal ⑧ と reference ⑨ の phase を合わせる。

第 6 図は検波部である。まず 2 石目で signal ⑧ 及び reference ⑨ からの電圧が加え合わされ、さらに一段増幅した後 5 石目の transistor で検波される。次に CR 回路によって平滑された直流出力が得られるが、前述の如く ③ から chopper 部へ feed back される。5 石目の



第 6 図 検波部分の回路

Fig. 6. Circuit diagram of detector.



第 7 図 位相反転回路

Fig. 7. Circuit diagram of phase inverter.

3) P. A. WATT; The Application of a D. C. Amplifier to Seismic Recording, Bull. Seism. Soc. Amer. 50 (1960), 471.

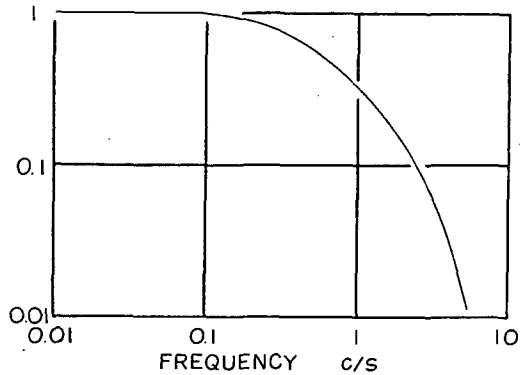
emitter 部にある可変抵抗は出力の零点を調節するためのものである。

第7図には最後の phase inverter の配線図を示した。出力 ⑫, ⑭ はさらに電力増幅器につながれて増幅される。

V. 直流増幅器の性能

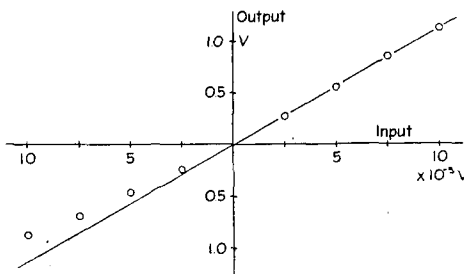
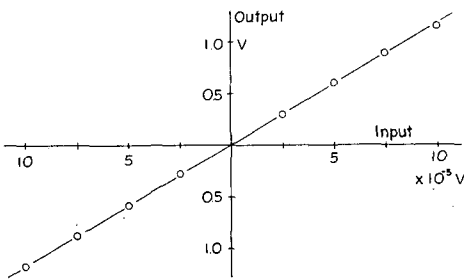
この直流増幅器の周波数特性は第8図の如くである。平滑回路の low pass filter により 0.1 c/s 以上では増幅度が低下している。増幅度は attenuator および feed back の切りかえにより 89 db から 60 db 程度まで変えることができる。入力 impedance は feed-back の度合いによって異なるが約 3 K Ω から 5 K Ω の範囲である。

この直流増幅器を使用する際、signal と reference の両正弦波の位相合わせには十分注意する必要がある、その良否は増幅器の直線性を大きく左右する。第9図はこの増幅器の感度の測定例であるが、上図は位相の良く合った場合で十分良好な直線性を有している。一方位相の合っていない場合は下図



第8図 直流増幅器の周波数特性

Fig. 8. Frequency characteristics of DC amplifier.



第9図 直流増幅器の直線性

Fig. 9. Linearity of DC amplifier.

の如く基だしく直線性は悪くなる。Feed back は直線性改善のために付けたのであるが、feed back を使用しなくても位相が良く合っていれば十分良好な直線性が得られる。

第1表はこれらの特性のうち feed back を用いない場合を示した。右端はこの増幅器に後述の電力増幅器及び galvanometer を接続した時の総合感度である。

Noise については、内部雑音は入力換算で 1

第 1 表

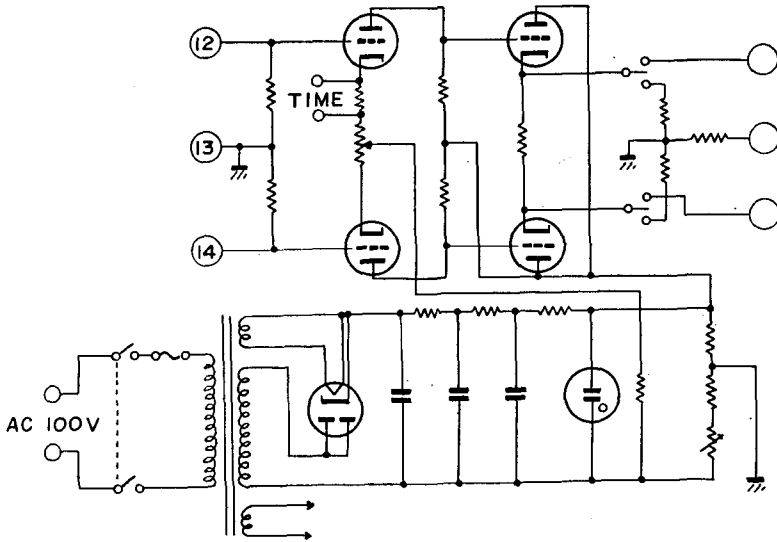
Table 1.

| Atte | Gain (db) | Input-imp. (K Ω) | Galva (μ V/mm) |
|------|-----------|--------------------------|---------------------|
| I | 89 | 3.8 | 1.3 |
| II | 82 | 3.2 | 3.6 |
| III | 72 | 2.8 | 11 |
| IV | 66 | 3.0 | 22 |

μV 以下の様である。Drift は一日の温度変化等で記録紙上少々零点がずれる程度であり、地震計用の直流増幅器としては十分実用になる。

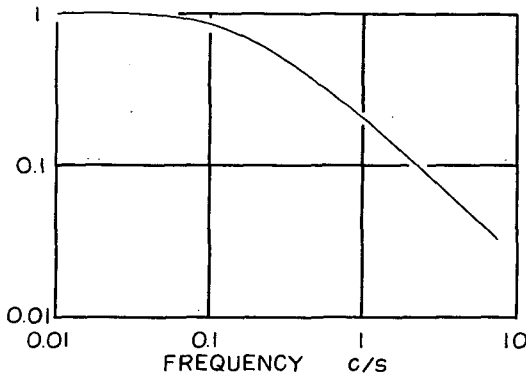
VI. 電力増幅器

第 10 図に電力増幅器の配線図を示した。初段には 6AQ8 を、二段目には 12AU7 を cathode follower で用いた直流増幅器である。初段の cathode に入っている可変抵抗は零点調整用のものであり、TIME と書かれた部分は電接時計に接続して time mark を付けるのに用いる。なおこの電力増幅器と次の galvanometer との間には $200\ \mu\text{F}$ の condenser が入っておりさらに短週期信号を cut する。これと galvanometer とを含めた周波数特性は第 11 図の如くである。



第 10 図 電力増幅器の回路

Fig. 10. Circuit diagram of power amplifier.



第 11 図 フィルター回路の特性

Fig. 11. Frequency characteristics of low pass filter.

VII. 測定装置の総合特性

以上の様な構成を持った地震観測装置全体の特性を2通りの方法で求めてみた。まず各部分での特性を計算又は実測により求めてそれらから総合特性を求めることを試みた。

地震計及び filter 部分は等価回路によって計算するのが便利である。田⁴⁾によれば、地震計はその定数によって定まる C_s , R_s , L_s の並列共振回路で表現され、その値は

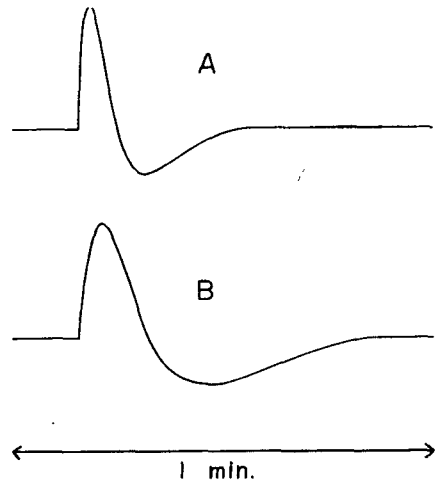
$$C_s = \frac{K}{G^2}, \quad R_s = \frac{G^2}{D}, \quad L_s = \frac{G^2}{U}$$

となる。ここで、 K は振子の慣性能率、 G は振子の電圧感度の係数、 D は振子の減衰係数、 U は復原力の係数を表わす。例えば、前述の地震計の振子の週期を 3.5 s とした時、 $C = 39.0 \mu\text{F}$ 、 $L_s = 6.5 \text{ KH}$ となり R_s は無視して差支えない。これと coil の抵抗、filter、直流増幅器の入力 impedance を組み合わせた等価回路で特性を計算することができる。総合特性はこの特性にさらに直流増幅器、電力増幅器及び記録装置の特性を加えて求める。

次に、一般に計器の impulsive response $B(t)$ と伝達函数 $Y(\omega)$ は相互に Fourier 変換の関係にある⁵⁾ことを利用して総合特性を求めることを試みた。

今、地震計の振子に電気的に impulsive な力を与えた場合、これは地震計に impulsive な加速度を与えたことと等価である。従ってその時の記録の Fourier 変換は計器全体の加速度に対する周波数特性を示す事になり、変位に対する特性はこれに ω^2 を乗じたものとして求めることができる。第 12 図はこの計器の impulsive response であるが、A は振子の週期 3.5 s, filter I, B は週期 5 s, filter II の場合である。

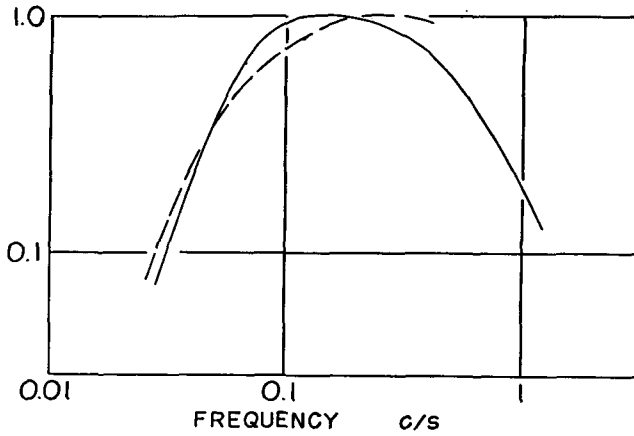
この様にして得られた特性を第 13 図及び第 14 図に示す。第 13 図は週期 3.5 s, filter I に、第 14 図は週期 5 s, filter II に対応し、図中いずれも実線は等価回路による計算、破線は impulsive response の方法で求めたものを示した。図に見られる両者の不一致は計算において用いた C 等の値の誤差や記録の読み取り間隔に原因があると思われる。



第 12 図 衝撃応答の例
Fig. 12. Impulsive responses.

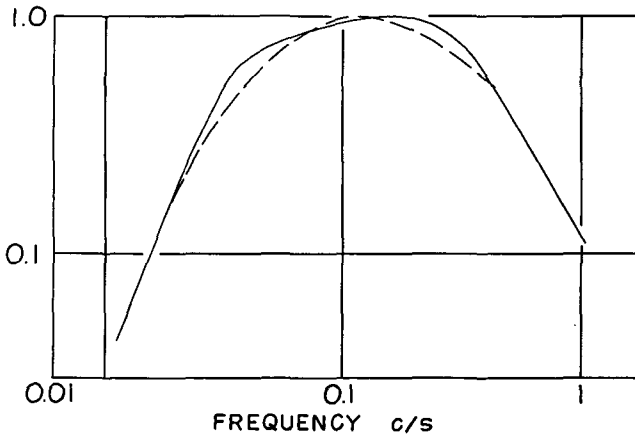
4) 田望; 地震観測用諸計器の試作, 北大地球物理学研究報告, 10 (1963), 143.

5) S. GOLDMAN; Information Theory (New York: Prentice-Hall, Inc., 1953).



第 13 図 総合周波数特性: $T_0=3.5$ s, Filter I.

Fig. 13. Overall characteristics: $T_0=3.5$ s, Filter I.



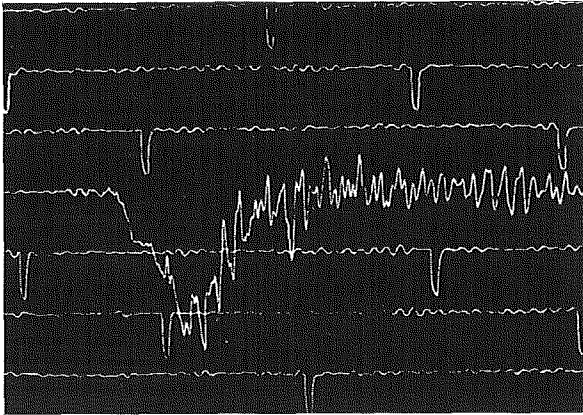
第 14 図 総合周波数特性: $T_0=5.0$ s, Filter II.

Fig. 14. Overall characteristics: $T_0=5.0$ s, Filter II.

VIII. 得られた記録の例

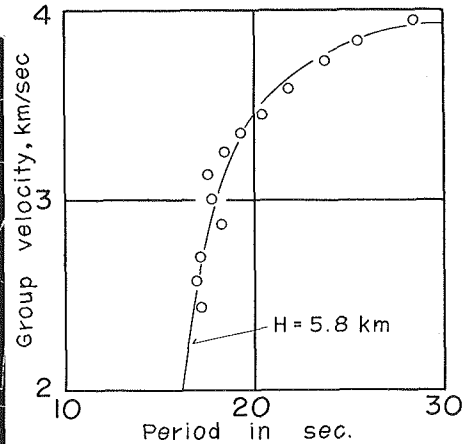
第 15 図はこの観測装置で得られた近地地震の例であるが、P 波の到達と同時に大きな長週期振動が見られる。1963 年 9 月、札幌で得られた水平動の記録で、震央距離は約 130 km である。所々に見られる pulse 状のものは time mark であり、一分毎に零点を移動する方法を用いている。脈動の少ない良好な記録で、最大の変位倍率は約 200 倍である。

第 13 図、第 14 図に見られる如く、この観測装置は長週期において十分な感度が得られないため表面波の観測等には必ずしも適していないが、週期数 10 秒までのものはしばしば観測される。第 16 図は 1963 年 9 月、サモア諸島付近で起った地震の Rayleigh 波の分散曲線の例である。実線は $\alpha_1=1.52$ km/s, $\alpha_2=7.95$ km/s, $\beta_2=4.56$ km/s, $\rho_2=2\rho_1$, $H_1=6.8$ km の二層構



第15図 近地地震の例

Fig. 15. Example of near-earthquake.



第16図 レイレイ波分散曲線の例

Fig. 16. Example of Rayleigh wave dispersion curve.

造に対する理論曲線⁶⁾である。

IX. ま と め

以上に述べた地震観測装置は現在使用されて有用な記録を数多く得ている。いずれにしろこの地震計の特性には直流増幅器の良否が大きく影響する。全 transistor のこの増幅器は noise 及び drift の点で心配であったが十分に実用になるものが得られた。直流増幅器の gain を上げることによって最大変位倍率 1000 倍程度にまではできるのであるが、脈動その他の点を考えて 200 倍程度におさえて使用している。

小型で持ち運びが便利なのがこの装置の特徴で、特に余震観測等には有用であろう。これらの点を考え、電力増幅器の transistor 化も計画している。しかし携帯性を重視するあまり、特に長週期において十分な倍率が得られないのは今の所いたしかたない。この問題の解決にはもっと大型の週期の長い換振計をしっかりと設置することが必要であろう。

謝 辞

終りに、終始御指導下さった北海道大学田望助教授に感謝いたします。又、昭和 37 年度、石原亨氏の当教室卒業論文による所が多かった。合わせて感謝します。

6) M. EWING, W. JARDETZKY and F. PRESS; Elastic Waves in Layered Media (New York: McGraw-Hill, 1957).

8. Portable Long Period Seismograph

By Toshikatsu YOSHII

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

In order to record near-earthquakes, a portable long period seismograph was fabricated. The system of this seismograph is composed of five blocks as shown in Fig. 1; the pickup, the filter, the DC amplifier, the power amplifier and the short period galvanometer. The pickup is small type and the natural frequency of it can be changed in the range between 0.2 c/s and 0.3 c/s. The DC amplifier operates with a transistor chopper and circuit diagrams of this amplifier are shown in Fig. 4–Fig. 7. Overall frequency characteristics of this seismograph was shown in Fig. 13 and Fig. 14, which were obtained from the calculations of the equivalent circuits and from the Fourier transformations of the impulsive responses.