

51. 直視記録方式による長周期地震計 第1報

地震研究所 辻 浦 賢

(昭和35年12月20日発表—昭和37年9月29日受理)

§ 1. は し が き

無線式遠隔記録地震計をもちいた集中記録方式により微小地震の多点観測がおこなわれ、いくつかの観測結果^{1,2)}がまとめられている。

この方法は、1観測所の周辺に配置された多数の地震計の記録、あるいは、100 km 程度はなれた、ことなつた観測所の地震計の記録を、同時に、同一記録紙上に、必要に応じた記録速度で再生出来る点において、きわめてすぐれた観測法である。

このような無線地震計系による集中記録式観測法を、さらに発展させるためには、現在の FM 多重方式による短周期3回線無線地震計 RTS-II^{3,4)}に長周期地震計系もくわえた多重伝送をおこない、短周期から長周期までの広帯域伝送、つまり、近地地震から遠震まで、一連の集中観測をおこなうことがのぞましい。このことは観測精度の向上と、能率化のために非常に有効であり、また、割当電波の効果的使用を可能ならしめるものである。

以上のことから、長周期地震計系の開発を計画した。まず、これにもちいる専用回線は、現在の RTS-II 型無線地震計に採用している周波数分割による多重方式をもちいれば、割当電波の許容周波数偏移の範囲内において、さらに、長周期伝送回線の増設が可能である。そこで、長周期無線地震計系を完成するために、まず、地震計振子の開発と、長周期の微小な振動を伝送に必要なレベルまで安定に増巾する Electronics の開発を目的とした。

長周期電磁地震計に関しては、Press-Ewing Seismograph⁵⁾をはじめ、すでに優秀な地震計が実用化されている。しかし、これらはすべて検流計との直結方式である。したがって、これを直接、無線地震計にもちいるためには、「光-電気」変換装置をもちいる必要があり、装置として、相当複雑となり、高価なものとなる。したがって、ここでは、検流計のかわりにもちいるべき、Electronics の開発をおこなつた。地震計はまた、随時の観測のため移動できる可搬型とし、記録はインクがきによる直視記録方式を採用した。そし

- 1) K. AKI and M. TSUJIURA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **37** (1959) 207~232.
- 2) S. MIYAMURA and M. TSUJIURA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **37** (1959) 359~374.
- 3) S. MIYAMURA and M. TSUJIURA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **35** (1957) 381~394.
- 4) M. TSUJIURA and S. MIYAMURA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **37** (1959) 193~206.
- 5) F. PRESS and M. EWING, *Trans. Am. Geophys. Union*, **39** (1958) 106~108.
- 6) J. COULOMB, *Mesures*, **179** (1952) 221~224.
- 7) H. BENIOFF, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **50** (1960) 1~13.

Table 1. Development plan for long and ultra-long period seismographs.

	Block Diagram	Period range	Magnification
1		1 ~ 50 sec.	100 ~ 500
2		10 ~ 100 sec.	100 ~ 1000
3		50 ~ 500 sec.	100 ~ 500
4	Radio Tele - Recording		

A SYSTEM of Long Period Seismographs

て、まず、対象とする周期を1秒から500秒までとし、Table 1 にしめす3種類の地震計でこれをカバーすることにした。ここにのべる水平動地震計は No. 1 にしめす周期50秒までを対象としたもので、まず、単独の地震計として完成し、地震研究所地下1階実験室において、数ヶ月の連続観測をこころみ、安定度、ならびに、特性について実験をおこなった。この結果、長期にわたって安定に動作し、一応、長周期表面波の観測に成功した。したがって、第1報として、地震計の構成ならびに特性について簡単に報告する。

§ 2. 地震計の構成

地震計の構成は、Table 1 の No. 1 にしめしたごとく、地震計振子にダンピング、および周期のひきのばしをあたえる可動線型変換器と、変位に比例した出力をうる変位型換振器とがあり、この出力を増巾し、インクがき記録電流計によって記録をとる方式である。振子は機構的に安定な短周期の振子を設計した。第1図はその側面図をしめす。倒立振子の質量 (200 gr) は回転軸の上部にあり、うすい板ばねOによってささえられその固有周期は1秒から2秒のあいだで調節可能である。質量の両側には、変位型換振器のためのコア、および、ダンピングをあたえるためのコイルがあり、重量は夫々15 gr でひとしく平衡がたもたれている。Tにしめす変位型換振器は3段型の差動変圧器式のもので、1次コイルと2組の2次コイルからなり、巻わくを3分して中央が1次上下が2次の3段型にまきこまれる。そして回路的には第1図の下図にしめすごとくあらわされ、折半された2次コイルは逆極性に直列に接続される。したがって、1次コイルに一定交流電圧 E_p をくわえると、生じた磁束が各2次コイルと鎖交し、起電力 E_{s1} , E_{s2} の差 E_s を2次電圧としてとりだすことができる。対称性からかんがえて明瞭なごとく、コアが中心位置

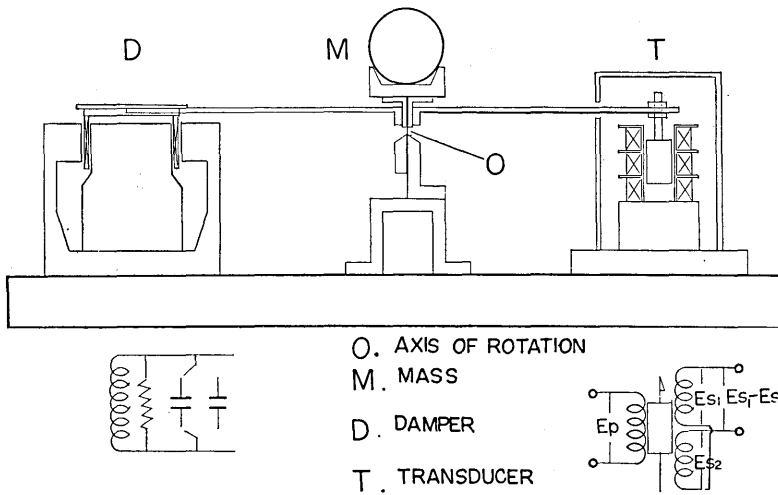


Fig. 1. Side view of the pendulum.

にあれば $E_{s1} = E_{s2}$ となり、2次電圧 $E_s = 0$ となる。コアが上下にうごくことによつて $E_{s1} \geq E_{s2}$ となり、零点近傍において2次電圧 E_s は直線的に変化し、その感度はコア 1 mm の変位にたいして約 1 Volt である。実際の測定値を第2図にしめす。コアの変位に対する2次電圧変化の直線関係は一般に変圧器全長の1/5であり、ここでは ± 2 mm にわたつてほぼ直線性がえられた。同図Cはその周波数特性をしめす。周波数の増加にしたがつて1次コイルの Q がたかくなり感度が上昇する。しかし 3 kc 以上においては、ほとんど変化のない飽和特性をしめす。したがつて差動変圧器の励振周波数を 4 kc にえらび、

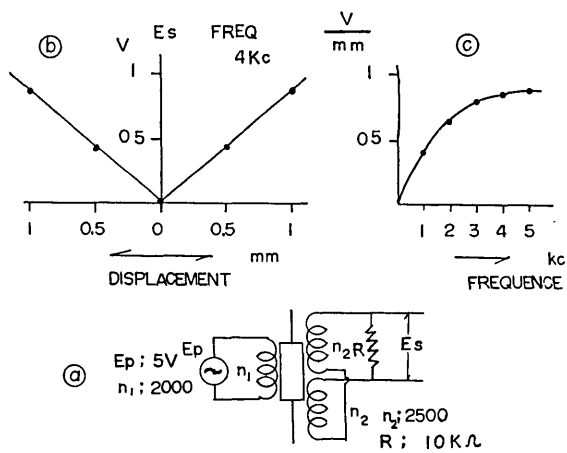


Fig. 2. Characteristics of displacement transducer.

- a) Circuit.
- b) Displacement characteristic of the transducer when the frequency of primary coil current is 4 kc and the voltage is 5 volt.
- c) Characteristic of the transducer when the frequency of primary coil current is varied at a voltage of 5 volt.

Transistor および Thermistor による CR 発振器でこれを構成した。

長周期地震計をつくる方法として、電磁地震計の振子の可動線輪に並列容量を利用する方法がある。この理論は Coulomb (1952)⁶⁾ によつてあたえられた。すなわち、検流計に

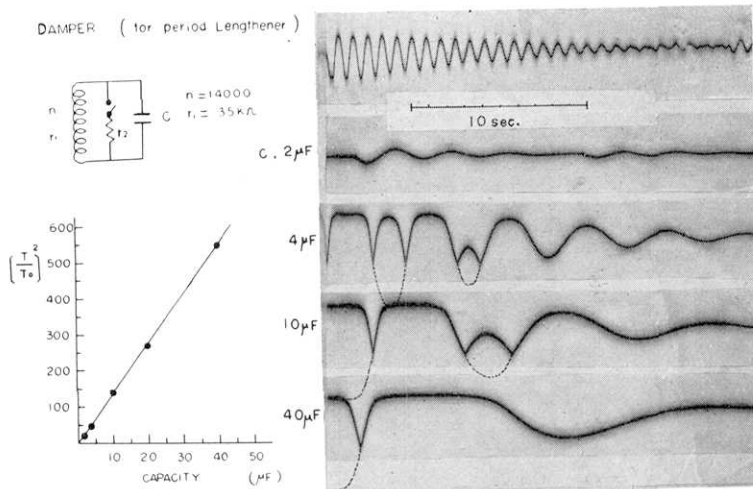


Fig. 3. Characteristics of a pendulum when the period is lengthened by a shunt capacitance.

並列容量を接続することにより、検流計の周期が増加したことがのべられている。その後、Benioff (1960)⁷⁾ がこれを Press-Ewing seismograph の振子に適用しその実用化に成功している、筆者もほぼおなじころ、この方法による実験を周期約 1 秒の振子についておこなった。その結果を第 3 図にしめす。もちいたマグネットは内磁型のもので、従来 1 秒の水平動地震計につかわれていたものを利用した。そして、そのコイルには直径 0.02mm のエナメル線を 14,000 回まいたものをもちいその内部抵抗を 35 k Ω とした。第 3 図の右図は、このコイルに種々の容量を接続し、振子に外力をあたえたときの振子の運動をしめす。これは第 2 図にしめした変位型換振器の働作点を V 字型特性の片側直線部の中央にえらび、外力をあたえることによつてえられた 4 kc の減衰振動を振巾検波し、えられた電流の記録である。したがつて、振巾の大きいところでは飽和ならびに V 字型特性となり、同図の 4 μF 以上の容量を接続したときには、点線でしめす図とは逆に実線でしめす 180 度位相のずれた波形をしめす。いずれにしても、振子の周期は容量に比例し 40 μF の容量を接続することにより、約 24 秒にのぼすことができた。第 3 図の左図は振子の固有周期に対するみかけの周期のこの 2 乗を容量に対してプロットしたものをしめす。この図はまた、並列容量の増加にしたがつてダンピング定数の増加をもしめし、それにともなつて当然短周期に対して振子の感度を低下する。ただし今回の実験において 10 μF 以上の容量に電解コンデンサーを使用した。したがつて、その漏洩抵抗のため、長周期でのダンピングをおおきくしている。したがつて、この目的のためにもちいる容量には漏洩抵抗のすくない Mylar Condenser が有効である。

第 4 図に地震計の Electronics 構成図をしめす。記録電流計を励振する電力増巾器のぞいてはすべて Transistor で構成され、同一筐体内にくみこまれる、差動変圧器を励振

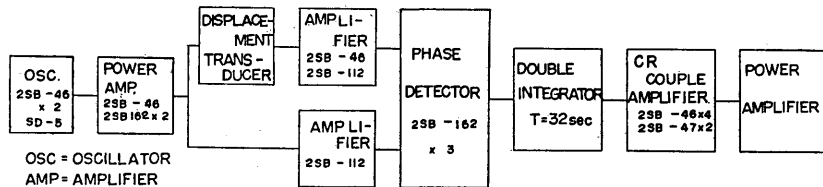


Fig. 4. Schematic diagram of the seismograph system.

する発振器は 2SB-46 および Thermistor SD-5 により安定化された CR 発振器を構成し、2SB-162 の push pull によつてえられた出力は変位型変換器の 1 次側にくわえられる。一方、変換器の可動部として振子に直結されているコアは上下に調整可能で出力電圧の最小点で固定される。かくして、変換器 2 次コイルにえられた出力は 2SB-46 および 2SB-112 により約 60 db 増巾され、つぎの 2SB-162 にくわえられる。ここで発振器から直接増巾された 4 kc の搬送波によつて位相検波をうけ、もとの変位に比例した信号がとりだされる。この出力はつぎの夫々ひとしい時定数 ($T=2\pi RC=32 \text{ sec}$) をもつ 2 段の積分回路にくわえられ、短周期成分が Cut される。これをつぎにしめす 2SB-46, 2SB-47 による $2\pi CR=120 \text{ sec}$ の時定数をもつ CR 結合増巾器にくわえられる。かくして振子をふくむ総合倍率は最高約 500 倍、第 5 図にしめすごとき特性をえた。倍率の検定はおなじ地震について、おなじところに設置した大森式変位計 ($T_0=46 \text{ sec } V=16.5$) の記録と比較しておこなつた。

観測は地震研究所地下 1 階の実室験においておこなつたが、倍率 500 倍の観測においては、夜半の数時間をのぞいて交通、その他による人工的 Noise がおおきく、したがつてルーチン観測は 100 倍におとした。第 6 図にえられた記録の 1 例をしめす。b) はおなじ地震における大森式変位計の記録である。

以上で地震計の機構ならびに特性の概要について述べたが、要するにこの地震計の目的とするところは、振子の固有周期をみじかくし Drift のすくない、機構的に安定な振子をもちいた点である。これは無線地震計として無人観測所に設置するうえにおいて、きわめて有利な条件である。また、地震計の倍率を 500 倍とするならば、振子の固有周期の 30 倍まで、ほぼ平坦特性をもつ長周期地震計をつくるのが可能であり、また、積分回路の時定数をかえることによ

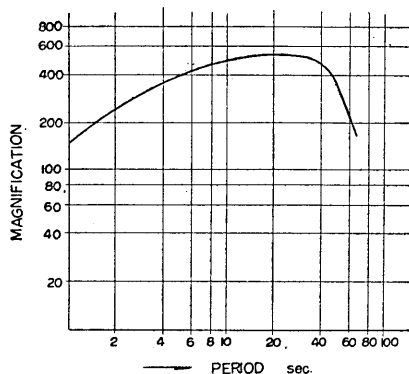


Fig. 5. Period response characteristic of the seismograph with condenser shunted pendulum, displacement transducer, double integrating RC network and RC coupled amplifier ($T=RC=20 \text{ sec}$).

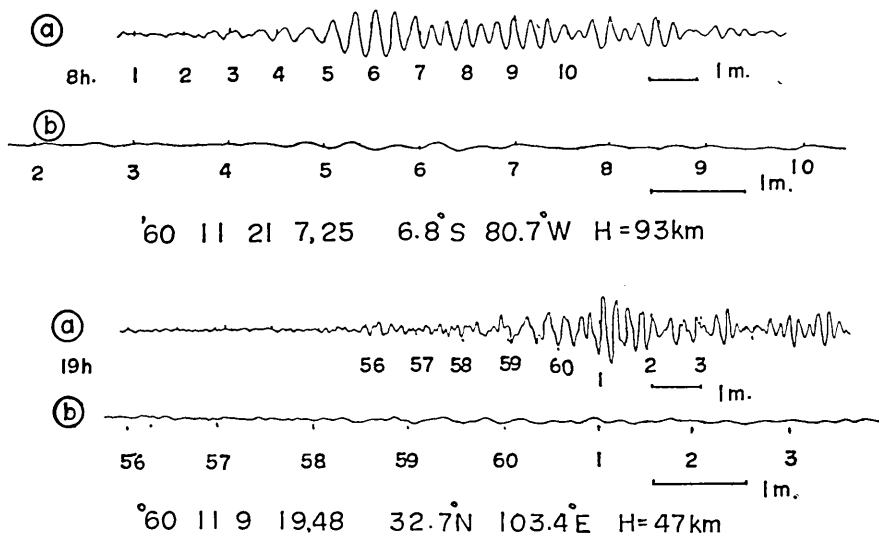


Fig. 6. Comparison of seismograms obtained by our seismograph (trace a) with those by Omori displacement seismograph (trace b) having a pendulum period of 46 sec and a static magnification of 16.5.

り、簡単に周期特性をかえうることも特徴のひとつであるとおもわれる。

謝 辞

長周期地震計の開発にあたり御指導御激励をたまわつた研究室主任宮村助教授および同室の安芸敬一博士にふかく感謝する。また地震計振子の製作に御協力をいただいた前地震研究所新井技官にあつく感謝する。宮村研究室細実氏、松本英照氏には本研究中たえず協力をえた。しるして謝意を表したい。

51. A Pen-Writing Long-Period Seismograph.

Part 1.

By Masaru TSUJURA,
Earthquake Research Institute.

We are developing long-period seismographs to add to our radio tele-recording seismograph system. The whole plan for long-period seismograph development is shown in Table 1. A horizontal seismograph of type No. 1 in the table was designed and constructed.

This seismograph has a high sensibility displacement transducer, shunt capacitance for lengthening period of pendulum, and high gain R-C coupled amplifier. The records are made by an ink writing galvanometer of 0.03 sec period.

The magnification of seismograph is approximately 500 for a period of 30 sec., while its response covers periods from 1 to 50 sec. (cf. Fig. 5)

The appearance of the pendulum is shown in Fig. 1. The free period of the pendulum is 1.5 seconds, and the mass is 200 gr. The boom is 10 cm. long, the weight of both booms is 15 gr., and they are balanced.

Characteristics of the displacement transducer are shown in Fig. 2. It is a variable inductance type with high frequency oscillator (4 kc), and acts as a differential transformer (by a secondary winding connected for differential). The sensitivity of this transducer is about 1 v/1 mm when the source signal is supplied with 5 V. The output signal of the transducer is 4 kc amplitude modulated wave.

Fig. 3 shows characteristics of a pendulum of which period is lengthened by shunt capacitance. Fig. 4 is a diagram of electronic part of the system.

Typical seismograms recorded at Tokyo by this seismograph and the Ōmori Displacement seismograph (lower trace) with constants $T_0=46$ sec magnification=16.5 are shown in Fig. 6. At every 15 mm minute marks are made by a crystal clock.