

2. 小型可搬長周期地震計*の開発(その1)

地震研究所 小型長周期地震計開発プロジェクトチーム**

1. まえがき

振動測定の測定装置としては、広い振巾範囲と広い周波数帯域にわたり現象を忠実に収録し、一つの換振器出力からより多くの情報を抽出しうるように装置を構成することがのぞましい¹⁾。

しかし振動測定一般の現状は、現象中の周波数成分の分布と、記録器の限られた振巾範囲との関連で、観測者が対象とする現象抽出に適合した特性をもつ装置を構成し、混在する優勢な対象外成分による擾乱をさけ、S/Nをたかく処理がすすめられるように測定が実施されている。例えば短周期地震計、中周期地震計、長周期地震計などがその例である。

このように対象とする振動現象毎に用意された装置は、かなり多方面で便利に使用され研究、調査が推進されているが、一面このような装置の使用目的による細分化は、独立に得られた資料の互換性、あるいは装置の谷間にあたる周波数域におけるS/Nの問題、それに疎外され調査のおくれる周波数域をつくりだす事等に悪弊をもたらしているようである。観測所における定常的な観測や机上の研究に比し、おこなわれている分野としては、野外の長周期地震観測あるいは構造物の長周期振動の測定等、短期間に移動し測定を積み重ねていく形式の観測分野がある。これらの分野では広周波数帯域、特に研究調査のおこなわれている低周波域の現象を忠実に収録できる、可搬型の装置の開発を望む声が、近年とくにたかまってきている。

直線運動の速度量あるいは加速度量、それに変位量を測定するには、振子の原理を利用した換振器が、操作が容易で購入費用も他の原理を利用したものにしる廉価のようであるから、振動計一般に最も多く採用されているようである。

そこで検討の対象を限定し、低周波域の特性がよい振子を利用した可搬型換振器が、どうして今まで開発されなかったかを分析し、その分析にもとづいて装置開発にとりくむことにした。

2. 装置開発の背景

振子を長周期化するには、単位変位あたりの復元力を小さくし、しかもその復元力と変位量との比例関係を厳密に保持する工夫を、振子構成の基本とすればよいのである²⁾。

しかしながら復元力を大巾に減じることは、固体摩擦によって振子の運動が妨害される程度をつよめ、装置の強靱さを消失させることにつながるため、可搬性にすぐれた長周期振動計の製作は、特別な技術開発なしでは困難であると思われる。

このような理由から技術開発の一面として、比較的大きな復元力をもち安定で強靱な構造で

* Portable Easy-operation Long-period Seismometer の頭文字と、1973年度発表の意味をこめて PELS Type 73 と命名する。

** 浅野周三(爆破地震学研究部門)、安藤誠一(技術部)、太田 裕(当時応用地震研究部門)、大工原保(技術部)、堀 実(当時地震活動研究部門)、松本英照(地震活動研究部門)。

製作しうる短周期の換振器を使用し、電子回路で低周波域の感度を補償する方法も開発されているが⁹⁾、装置全体としての安定性と S/N にまだ問題があると思われる。従って我々は換振器の長周期化を指向することにした。

従来国内の振動計メーカーは、小型化に対する技術開発なしに、大型換振器で採用していた部品と技法を踏襲した製品を、観測者に提供してきたようである。そのために低周波域振動計の利用者は、安定性を含む操作および調整の面で、装置に対する信頼感をうしない、自らの観測をためらうようになっていたようである。

そこで我々は、装置の小型化に関する基本的な技術開発から手がけ、装置に対する不信感をとりはらうに足る性能の振動計を開発し、おくれをとっている野外における低周波域振動の測定の実進をはかるためチームを結成し、1972年から試作に着手した。

§ 試作の方針

米国あるいはソ連においては月面地震計を含む、高性能小型長周期地震計の開発が報告されている⁹⁾。しかしながら我々の大型長周期地震計製作あるいは使用経験から得ていた知識だけでは、小型化に対する基礎的な技術についての的確な情報を、それらの論文から得ることはできなかった。

復元力と固体摩擦を小さな量におさえ、しかも構成した振子の機械強度をそこなわないための振子支点としては、従来は薄い板バネを適当な巾と長さで使用して十字バネを構成し回転軸としていた。しかしながらこの方法では組立の面から小型化をはたすことは困難で、その上バックリングを含む副次的振動を発生しやすいので、支点に関する技術開発を第1の課題とした。

ついで、便利でつかいやすい装置にまとめあげることが、装置に対する信頼の回復につながる。振子の特性に悪影響を与えない限り、換振器の附帯能力を追加することも開発の課題とした⁹⁾。

3. 構造および諸元

上述のような試作方針にもとづき、部品の検討を実施した結果、支点部品としては Bendix 社 (U. S. A.) のピボットベアリングの使用が有効であることと、変位変換器としてはマグネセンサ (Sony) が装置の組立、調整を簡便にし、電子回路をすくなくすることに貢献するものであることを確認した。

振子の吊りかたとしては安定域がひろく、小型化に適合する型として、水平動成分には Paschwitz 型、上下動成分には Kirnos 型を撰択し、零レンジバネを使用した。

そして小型化の目標として片手可搬な範囲に重量をとどめるべく、基本設計を実施し試作した。

上述の手続を経て完成した試作品の外観を Fig. 1 に、構造を Fig. 2 に示す。

今回の試作品は上下動、水平動の両成分とも、基盤の水平角度を、基盤三点支持の支柱の出し入れで調整することにより、振子周期を5秒から15秒まで安定にかつ容易に設定できる。また外蓋を除去しなくても付加回路の活用により、検定および振子位置設定が可能である。

このことは、従来の大型長周期地震計に比較して、未経験者の使用を容易ならしめ、かつ移動後の設置をも容易ならしめる点で、可搬型に構成したことを強調できる、本装置の特長といえよう。

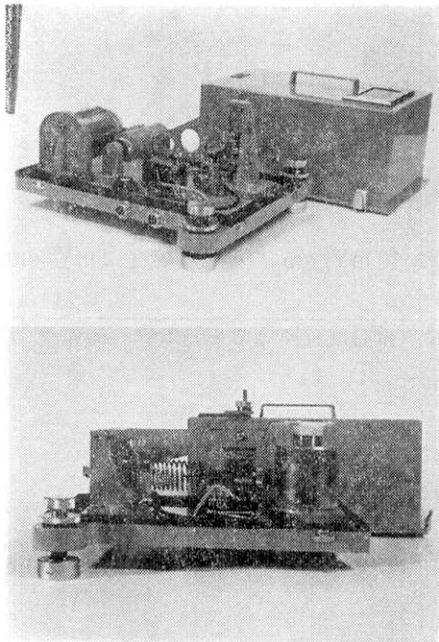


Fig. 1. Appearance of the horizontal (upper) and vertical (lower) transducers.

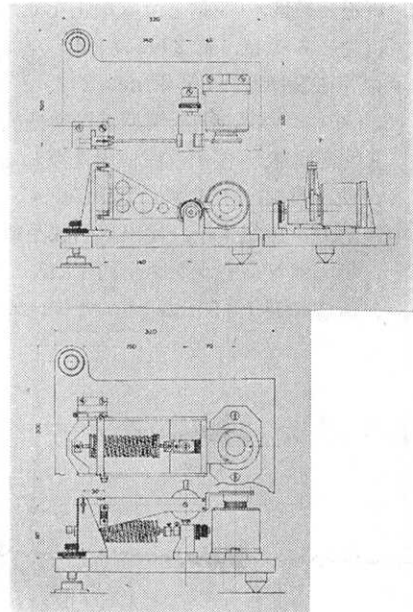


Fig. 2. Schematic view of the transducers.

次に試作器の諸元を記載するが、これらの諸量は、まだ手なおしを必要とする部分もあるので、最終的な量として固定されたものではない。

ただこの諸元内で、安定、簡便でしかも特性のよい長周期振子を使用した換振器が製作できることを確認し、併せてより小型で軽量の換振器が将来製作されるであろうことを明示するものである。

試作器の諸元は次のとおりである。

a. 振子部

イ、寸法、横 20 cm. 高さ 20 cm. 縦 32 cm.

ロ、重量、上下動換振器、約 9 kg.

水平動換振器、約 8 kg.

ハ、相当振子長、上下動振子、13 cm.

水平動振子、15 cm.

ニ、振子の慣性能率.

上下動振子、 $2.33 \times 10^5 \text{ gcm}^2$

水平動振子、 $2.35 \times 10^5 \text{ gcm}^2$

ホ、振子の固有周期.

5 秒から 15 秒まで可変.

ヘ、振子位置の温度特性（上下動成分）

$1_0 \times 10^{-5}$ 以下. (1_0 とは周期から換算したバネ長)

b. 電磁変換部, (制動と位置矯正を兼ねる)

イ, コイル抵抗, 約 $2000 \Omega \times 2$

ロ, 電磁変換度, $1 \text{ V/kine} \times 2$

ハ, ダンピング, 振子周期と制動抵抗器で変化.

c. 変位変換部, (振子位置検出を兼ねる)

イ, 使用電源, $+12 \text{ V}$, 10 mA .

ロ, 感度, 磁気素子, 検出素子間距離 0.5 mm で $10 \text{ mV}/\mu\text{m}$. (換振器感度 $2 \text{ mV}/\mu\text{m}$)

ハ, 出力インピーダンス, 約 $1 \text{ k}\Omega$.

ニ, 直線範囲, 0.5 mm クリアランスで $\pm 1 \text{ mm}$. (重心位置換算で $\pm 5 \text{ mm}$)

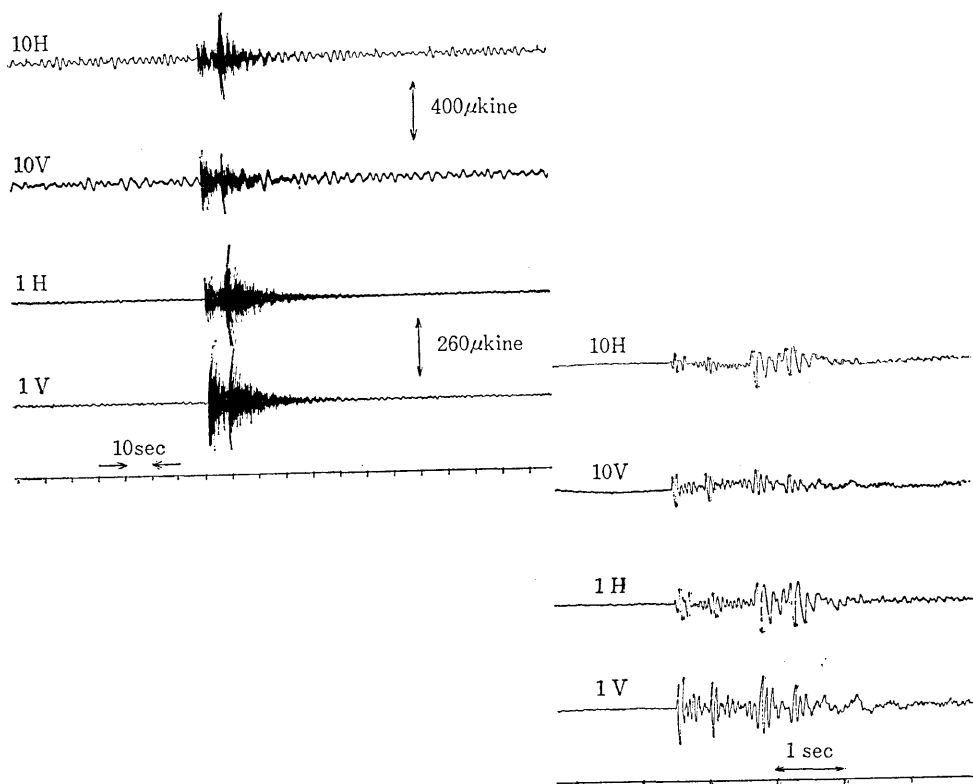


Fig. 3. Comparison of seismograms registered by the present seismometers (10 H and 10 V), and those by the ordinary 1 Hz seismometers (1 H and 1 V).

4. むすび

今回開発した換振器は, 可搬型の長周期地震計としては安定度がたかく, 周波数特性は従来の大型長周期地震計に比較し, たいへんすぐれているといえよう.

今後に応用の開発への宿題を残してはいるが、開発目的の第一歩は果し得たと考えられる。本装置の実用試験は、設置環境に特別な条件を必要としないこと、二次振動が記録に擾乱を与えないこと、大加速度による振子連動の擾乱の有無について実施された。

Fig. 3 にこの装置によって得られた記録例を示す。短周期地震計によって得られた小地震の記録と本装置を10秒周期で使用した時の、同時記録が示されているが、かなり高い周波数域まで二次振動による擾乱はみられず、広い周波数域の換振器として本装置が使用可能なことが示されている。

また本装置は、長周期地震計の使用条件としてはかなり酷な条件といえる、橋梁の列車通過による変形測定実験にも使用され、そのすぐれた特性を実証することができた。

今後はこの装置が普及し、多くの人々がよい観測とよい研究を推進されることを念願するものである。

本開発は、地震研究所47年度プロジェクト研究費によって支持され、筑波観測所における自然地震の観測、および土木学会主催の橋梁試験等の実用テストを経て完成された。

実用テストとして他の測定器と比較できる機会を与えて下さった、土木学会橋梁試験委員会の諸氏に御礼を申しあげる。

また、試作に従事された、地震研究所技術部の諸氏にもここに併せて謝意を表すものである。

文 献

- 1) I. S. SACKS. A Broad-band Large Dynamic Range Seismograph. *The Earth Beneath the Continents. Geophys. Monograph. No. 10, AGU, pp. 543-553, 1966.*
- 2) 萩原尊礼. 振動測定. 昭和20年 宝文館.
- 3) 梅田康弘. 短周期振子を用いた可搬型長周期地震計. 地震学会講演予稿集, 昭和46年度春季, 118.
- 4) G. LATHAM, M. EWING, F. PRESS and G. SUTTON: The Apollo Passive Seismic Experiment. *Science. Vol. 165, 1969, pp. 241-250.*
- 5) M. J. TUKER: An Electronic Feedback Seismograph. *Journal of Scientific Instrument. Vol. 35, 1958, pp. 167-171.*
- 6) 安芸敬一, 安藤誠一, 松本英照: 初めの長さ零のバネの巻き方. 地震18巻1号 pp. 43.

2. *Development of the Portable Easy-operation Long-period Seismometer.* (PELS Type 73) Part 1

By Project Team for the Development of Small-size
Long-period Seismometer,

Earthquake Research Institute.

To those who concern with observational seismology and earthquake engineering a portable long period seismometer which can be operated with high stability and reliability, is one of the most important tools for the measurements of long period natural and artificial

oscillations, however, at present, we have no available seismometer to meet the above purpose.

In this circumstance, we intended to device a portable long-period seismometer which has less retardation force with small solid friction than usual short or long period seismometers.

For the suspension of pendulum, Paschwitz type for horizontal seismometer and Kirnos-type for vertical seismometer are adopted.

Two kinds of signals are available which are proportional to velocity and displacement of the foundation respectively. Out put signal proportional to the velocity is derived from the ordinary moving coil while that proportional to the displacement is offered from the built-in Magnesensor (SONY).

The followings are the main factors of the newly devised seismometer.

Natural period	: 5 sec~15 sec
Dimension	: 200×200×320 (Width×Height×Length in mm)
Weight (with cover)	: 8 Kg for horizontal seismometer 9 Kg for vertical seismometer
Moving coil	
resistance	2000 Ω × 2
sensitivity	1 V/kine × 2
Magnesensor	
power	+12 V, 10 mA.
sensitivity	10 mV/ μ m (0.5 mm clearance)

The natural period of the pendulum can be varied from 5 sec. to 15 sec., by changing the inclination of the base.

The damping coefficient and the position of the pendulum, also can be varied by an additional winding of the moving coil from distant place.

Total performance of the present seismometer was found to be satisfactorily as the results of the comparison simultaneous observation of micro-earthquake and deformation of the bridge pier with ordinary short period seismometer.

So, we conclude that newly devised seismometer is usefull for the field observation of long-period phenomena, and development of the application with the present transducer is highly desirable in the different field of science and technology.