

超長周期ガルバノメーターの試作*

深野 茂**・島 坦***・荒川義則***

550.341

Evaluation of the Performance of an Ultra-Long-Period Galvanometer

S. Fukano

(The Institute of Physical and Chemical Research)

H. Sima and Y. Arakawa

(Matsushiro Seismological Observatory)

Abstract

Lehner (1959) reported previously on an ultra-long-period seismograph galvanometer. A similar galvanometer was manufactured for the purpose of installation of long period seismographs at Matsushiro. A discussion about its construction, testing, and operation is given.

§ 1. ま え が き

最近の地震観測において長周期の地震波の研究については急速な進歩をとげてきているが、我々もこの分野の開拓について関心を集める必要があるように思われる。将来松代において周期30秒程度の長周期地震計あるいは strain seismometer を設置するよう計画中であるが、長周期の地震波の観測にあたる手始めとして超長周期 galvanometer を試作した。既にこの種の galvanometer については Lehner (1959) の報告があり、周期480秒のものを製作し長周期地震計と結合して実際に観測を行い成果をあげている。現在松代においてもようや

く作動できる状態になつたので、その galvanometer のあらましについて述べてみたいと思う。

§ 2. 特性および構造

galvanometer の外観は Fig. 1 に示されるとおりで従来の周期100秒のものより少し高さが大きくなった程度で、みかけはほとんど変わらない。Lehner の galvanometer は高さが約1mくらいだと思われるのでそれに比べると約3分の1の高さで非常に小さく、扱いは便利である。galvanometer の特性については Lehner の製作したものと比較して Table 1 に示してある。

Fig. 2 にこの galvanometer を自由に振動させたとき

Table 1. Characteristics of galvanometer stated in this paper and that reported by Lehner.

Reference	Lehner	Fukano, Shima and Arakawa
Period	480 sec.*	220 sec
Current sensitivity	4×10^{-12} A/mm/m	2.21×10^{-12} A/mm/m
External R for critical damping	25,000 ohms**	190,000 ohms
Coil resistance	20,000 ohms**	17,075 ohms
Magnetic field strength	25 gauss	3,500 gauss

* corrected for damping due to friction of the air.

** measured at about 10^{-4} mm Hg.

の記録を示してある。この場合の周期は約 220 秒出ている。この記録より減衰定数 h を求めると約 0.18 になるが、air damping による周期の伸びを補正して自然周期を求めても上記の周期とほとんど変わらない。ここに述べている galvanometer ではこの程度の周期に対して air damping の影響はほとんどきいてこないが、Lehner の galvanometer のように周期 480 秒程度に長くなると問題が出てこよう。周期について 220 秒以上に延ばすことは可能であるが、安定に作動させるにはかなり日数をかけて作動状態で放置し自然に慣れさせることが必要である。現在のところ約 250 秒程度まで周期を延ばして安定に作動させることが可能である。これ以上周期を延ばすことは、極めて地盤が安定し、かつ温度変化の少ない密閉した個所におかなければ多少無理がある。松代における記録暗室では周期 250 秒が限度で、それ以上の周期を出すとは、熱的变化その他に建物の伸縮および傾斜や、暗室内の温度変化（人間の出入による温度変化や気温の日変化等）によって零位置がずれて終にはひっかかってもとに戻らなくなることがある。長周期の galvanometer の懸垂線の torsion constant の小さいために現在の場所ではいかに長い周期を出そうにも限度があるようである。

次に galvanometer と並列に抵抗 500 k Ω および、1 M Ω を入れた回路で得られた damped oscillation を Fig. 3 に示す。実際の観測では地震計 ($T_0=10$ sec), と galvanometer とを結合する途中に直列に 80 k Ω の抵抗を入れているが、今その回路で地震計を clamp して微小の電流を流し直ちに切ったときの記録を Fig. 4 に示しておく。galvanometer の resulting damping は約 1.8 となっている。

次に galvanometer の構造について記してみよう。用いられた線輪は 0.025 mm のポリウレタン銅線を 2500 回巻いた。その大きさは約 14 mm \times 33 mm の長方形で重量は約 2.4g である。線輪の下部には慣性能率を大ならしめるためにバランスウェイトが取付けられている。いわゆるダルツンボール型の可動体であるこの線輪は、原形 0.0065 mm 厚、0.815 mm 幅のストリップを研磨した吊線によつて、アームコ鉄を用いて作られた吊線軸上に中心を有する円筒状鉄心をはさんで中心に向つて対面する 2 個の極片によつて作られた放射状の磁場の空隙内に吊り支えられている。実際にはこの吊線は鏡を支えるために線輪に付属している銅板の引き出し端にハンダ付けされている。

線輪の下部は電氣的には、0.0034 mm 厚、0.52 mm

幅の銅製ストリップ 85 mm を長さ約 20 mm、直径約 2 mm になるように巻いたらせん状コイルによつて接続されている。

零点調整は上部吊線軸に取付けられているツマミによつて容易にでき、線輪のクランプねちも上部に取付けられている。線輪の製作中、非磁性体であると考えられている銅線を用いた線輪が極めてわずかながらの磁性を帯びていて、その方向が變つて零点を狂わすことがしばしばあった。線輪用の銅線はもちろん、吊線、らせん、および線輪用の接着剤と溶剤も充分吟味して製作した。また上の各線が完全な非磁性体であっても線輪下部に取付けられているバランスウェイトの左右の非磁性体の重錘がバランスをとれていないと、零点の狂いを生じ不安定となる。このバランスが超長周期 galvanometer を製作する上において一つの要素となっている。このバランスをとる方法として、線輪を外気と遮断されたガラス箱の中に直径 0.01 mm の石英糸によつて吊り支えられ、このガラス箱の外側にある顕微鏡の目盛によつて左右の重錘の距離を加減しバランスを保つように調整した。

常温常圧の下で周期を 200 秒以上にするため、吊線は銅、金、燐青銅など種々の材質を使って実験してみた。その結果のあらましを述べてみる。第一に 0.0065 mm 厚、0.815 mm 幅、115 mm 長（各吊線の長さは同一とする）の銅の吊線を使用すると、実験の結果周期は 80 秒であった。第二番目に 0.003 mm 厚、0.75 mm 幅の金 (24-K) の吊線を使用してみた。金はハンダ付けの技術がむずかしく次の方法で接続した。まず Zapon rakka で接着し電氣的に接続させるためにその上に aquadog を塗布し接続させた。このようにして吊った吊線も試験の際、規定電流を流し数 10 回振らせると吊線の中程で断線してしまつた。その際、周期は約 180 秒でた。次に 0.0065 mm 厚、0.815 mm 幅の燐青銅の吊線を使用した。このままの吊線では周期は 67 秒でた。この吊線を No. 150 のカーボラダムで研磨してみた。研磨の方法はこのカーボラダムを水に溶かし親指と人さし指の間に付着させ、その間に吊線をはさみ入れ、上より下へ研磨する。その時に力を必要以上に入れてはさむと吊線は切断されてしまふ。研磨された吊線の断面は長方形でなく多少楕円形となる。まず約 500 回研磨して実験した結果、周期は 255 秒に延びた。一度に数多く研磨すると周期は長くなるが零点が不安定となるため、これ以上の周期を出すためには数 10 回程研磨しその都度ハンダ付けをして実験する。最終的には吊線を約 1000 回研磨してみた結果、周期は 320 秒となり零点も安定で 24 時間放置して

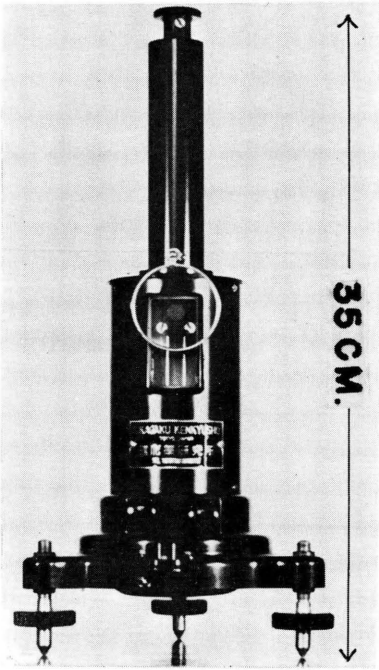


Fig. 1 An ultra-long-period galvanometer.

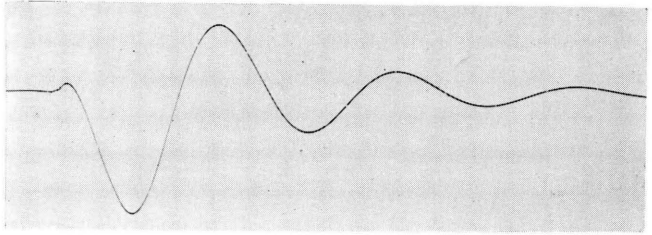


Fig. 2 Free oscillation.

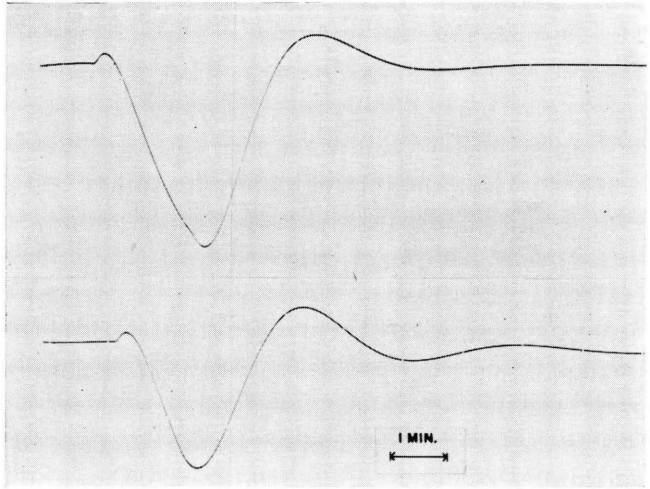


Fig. 3 Damping test of galvanometer.
upper : resistance 500 kΩ.
lower : resistance 1 MΩ.

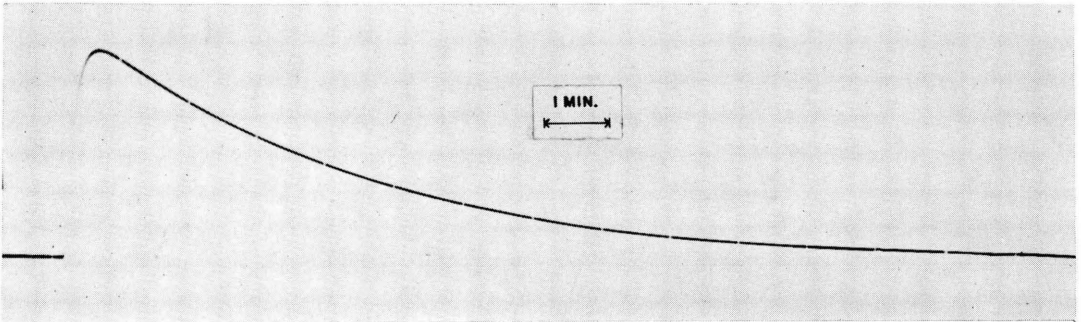
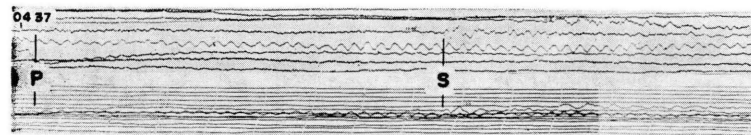
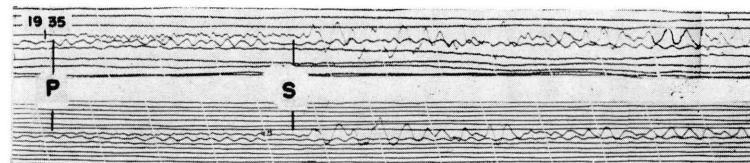


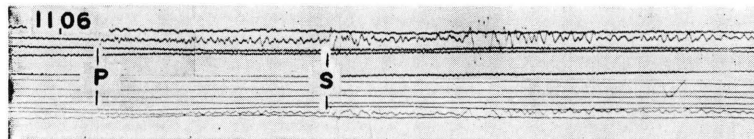
Fig. 4 Resulting damping of ultra-long-period galvanometer at atmospheric pressure.



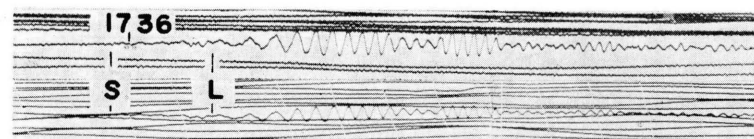
a) Earthquake of Hawaii Is., June 28, 1962; 04h 27m 18.4s (GMT);
20.0 N, 155.6 W; $H=25$ km; $M=5^{1/4}-5^{1/2}$; $\Delta=6500$ km.



b) Earthquake near coast of Luzon, P.I., June 30, 1962; 19h 29m
51.0s (GMT); 16.5 N, 122.0 E; $H=40$ km; $M=5^{1/2}-5^{3/4}$;
 $\Delta=2900$ km.



c) Earthquake of Celebes Sea, Dec. 17, 1962; 11h 00m 16.0s(GMT);
2.1 N, 122.9 E; $H=393$ km; $M=5^{3/4}$; $\Delta=4200$ km.



d) Earthquake of Ningsia Province, China, Dec. 17, 1962; 17h 25m
40.8s (GMT); 38.0 N, 106.1 E; $H=33$ km; $M=5^{3/4}$; $\Delta=2900$ km.

Fig. 5 Comparison of seismograms written on seismograph with ultra-long-period galvanometer (upper) with those on Galitzin seismograph (lower)

- a) and b) : E-W component.
c) and d) : N-S component.

おいて変動がなかった。一定電流を流した場合の左右の振れの誤差もほとんど問題とならない程わずかであった。またこれ以上の周期を出すよう実験してみたが、周期だけを考えれば可能であるが非常に不安定であった。以上の実験によると現在の構造では Lehner の galvanometer におけるような 480 秒という周期を出すことについては種々の面において研究する余地が大いにあると思われる。

§ 3. 記 録 例

元来この程度の長い周期の galvanometer には長い周期の地震計、たとえば Press-Ewing 型の地震計を用いて作動させるべきであるが、現在松代にはないので手持ちの周期 10 秒の水平動地震計と直結して或時は E-W 方向に、或時は N-S 方向において記録を得た。それらの記録を routine work で同時に得られている Galitzin seismograph による記録と比較して示そう。

実際の地震記録をとった例として Fig. 5: a), b), c), d) にそれぞれ

1962 June 28, 04 27 18. 4 (GMT) Hawaii Is., 20. 0 N., 155. 6W.

$H=25\text{ km}$, $M=5^{1/4}-5^{1/2}(\text{Mat})$, $\Delta=6500\text{ km}$.

1962 June 30, 19 29 51. 0 (GMT) Near coast of Luzon, 16. 5N., 122. 0E.

$H=40\text{ km}$, $M=5^{1/2}-5^{3/4}(\text{Mat})$, $\Delta=2900\text{ km}$.

1962 Dec 17, 11 00 16. 0 (GMT) Celebes Sea, 2. 1 N., 122. 9E.

$H=393\text{ km}$, $M=6^{1/2}(\text{Mat})$, $\Delta=4200\text{ km}$.

1962 Dec 17, 17 25 40. 8 (GMT) Ningsia Province, China, 38. 0N., 106. 1E.

$H=33\text{ km}$, $M=5^{3/4}(\text{Mat})$, $\Delta=2900\text{ km}$.

の地震について示してある。各図の記録で、上がここに述べた galvanometer を用いた場合ですなわち、 $T_0=10\text{ sec}$., $T_g=220\text{ sec}$. (T_0 : 地震計の周期, T_g : galvanometer の周期) で、下が Galitzin seismograph による記録ですなわち $T_0=15\text{ sec}$., galvanometer の周期は N-S 成分が $T_g=100\text{ sec}$., E-W 成分が $T_g=115\text{ sec}$. である。なお Fig. 5: a), b) は E-W 成分で、c), d) は N-S 成分の記録である。Fig. 6 にはそれぞれの seismograph の特性曲線が図示されている。この図からわかるように周期 10 秒の地震計との直結では、この種

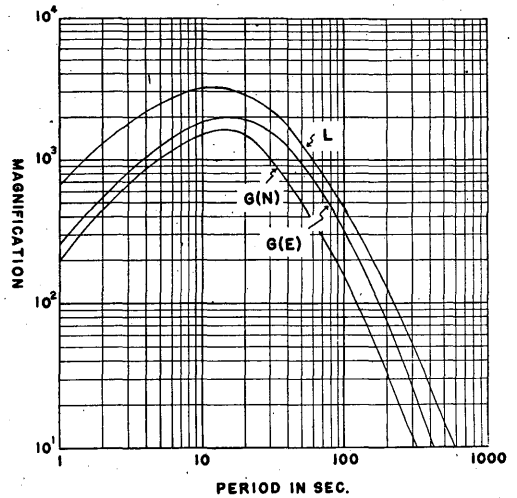


Fig. 6

の長い周期の galvanometer を用いる効果はうすく、したがって極めて長い周期の地震波は記録されなかったの、単にこの galvanometer が正常に作動しているということしか示されなかった。しかし周期 30 秒程度の地震計が設置されれば、感度の点を考慮しても充分にかなり長い周期の波を記録しうことは明らかである。振幅については全体的にみて Galitzin seismograph に比して感度は約 2~3 倍である。phase lag についての詳細はここでは略するが、各記録を比較してみても明らかなように、各波の山谷の出現そのものについてはよく対応している。

以上のように今回試作された超長周期の galvanometer のあらましであるが、作動状態については極めてよい結果が得られた。今後長周期地震計あるいは strain seismometer が設置された場合に、この種の galvanometer-が大いに役立つことが期待される。

謝辞——この galvanometer の試作にあたって激励いただいた California 大学の F. E. Lehner 氏に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

Lehner, F. E.: An Ultra-Long-Period Seismograph Galvanometer, *B. S. S. A.*, **49**, 399-401, 1959.