寄 書

L-4C型短周期地震計の固有周波数とダンピング定数の検定

東北大学理学部地震予知・噴火予知観測センター
西村 太志

Calibration for the Natural Frequency and Damping
Constant of the L-4C Short Period Seismometer

Takeshi NISHIMURA

Observation Center for Prediction of Earthquakes
and Volcanic Eruptions, Faculty of Science, Tohoku
University, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, 980

(Received January 8, 1990;

Accepted March 30, 1990)

§ 1. はじめに

L-4C型短周期地震計(Mark Products社製)は、小型・軽量で設置が容易なため、臨時の微小地震観測や火山地域での地震・微動観測に於て頻繁に使用されている。この地震計は、運搬に際しては、出力線を短絡し電氣的にクランプし本体を鉛直下方に向けておけば、振子を機械的にクランプする必要がないという大きな特徴がある。しかしながら、機械的なクランプがないために運搬中に小さな衝撃を受けると振子がストッパーに衝突し、バネ系にかなりの力がかかっていることは十分に予想される。また、この地震計は完全密閉型のために一般には内部を開けることができない。そのため、コイルやバネの状態の目視確認が困難である。そこで、オシロスコープ等で電氣的動作を確認した後、固有周波数の調整をしないで観測に用いる場合が多い。今回は同型の新しい地震計を購入したのを契機に、地震計の定数(固有周波数とダンピング定数)の個体間のばらつき、新しい地震計と古い地震計の比較から運搬や使用頻度の定数への影響の有無、設置状態による定数への影響を調べてみた。

§ 2. 検定方法

検定に用いたL-4C型地震計の定数の公称値は、上下動・水平動とも固有周波数 $f_0=1.00\pm0.05$ Hz(傾斜角

5度以内)、開放ダンピング定数 $h_0=0.28$ である。

固有周波数(f_0)とダンピング定数(h_0)は、まず検定コイルに既知のパルス電圧(5 Volt, パルス幅0.17秒)を与えて振子を自由振動させ、出力波形を理論的な自由振動波形と合わせることで測定した(Fig. 1)。この時、波形はサンプリング周波数50 Hz, 12 bitの分解能でA/D変換した。また、地震計設置の際の傾斜による影響を調べるため3点支持の検定台で任意の傾斜面を作り、その面に地震計を設置し、同様の方法で検定を行った。検定台の水平(傾斜角0度)は市販の気泡式水準器で決定した。

§ 3. 検定結果

今回は、購入したばかりの地震計(上下動14台、水平動25台)と既に野外で何回か使用した古い地震計(上下動8台、水平動6台)を検定した。以下簡便のため、購入したばかりの新しい地震計を“新地震計(Unused Seismometer)”, 古い地震計を“旧地震計(Used Seismometer)”と呼ぶことにする。

Fig. 1 Natural frequency (f_0) and open damping constant (h_0) are measured by fitting the theoretical waveform of free oscillation for the observed signal. The observed one is made by giving a pulse with 5 volt and 0.17 sec width to the calibration coil of seismometer. (a) Comparison of the observed signal (solid line) and best fit theoretical one (dotted line). In this case, the best fit values of f_0 and h_0 are 0.97 Hz and 0.28, respectively. (b) Same as (a) for different theoretical curve with $f_0=1.02$ Hz and $h_0=0.28$. (c) In the case of $f_0=1.07$ Hz and $h_0=0.28$.

Fig. 2 Relation between the natural frequency (f_0) and the open damping constant (h_0) for the vertical L-4C seismometers which are set on the horizontal plane. Open and solid circles mean "unused" and "used" seismometers, respectively.

Table 1. Mean values and standard deviations of f_0 and h_0 for the seismometers which are set on the horizontal plane.

	$\bar{f}_0$	σ_f	$\bar{h}_0$	σ_h
Unused Vertical	0.98	0.01	0.28	0.01
Used Vertical	1.17	0.10	0.23	0.03
Unused Horizontal	1.03	0.06	0.27	0.02
Used Horizontal	1.08	0.07	0.26	0.02

f_0 , h_0 の検定の精度は、各々 0.03 Hz, 0.01 以下で求められている (Fig. 1 (a) (b) (c) 参照).

(1) 上下動地震計を水平面上に設置した場合の f_0 と h_0 の検定

Fig. 2 に新地震計 14 台と旧地震計 8 台の測定された f_0 と h_0 の関係を示す。また、それらの平均値 ($\bar{f}_0$, $\bar{h}_0$) と標準偏差 (σ_f , σ_h) を Table 1 にまとめた。新地震計の f_0 は全て公称値内にある。一方、旧地震計の f_0 は公称値内に収まらず有意に高周波側にシフトしている。また旧地震計の h_0 は、新地震計に比べてばらつきが大きく、 f_0 と負の相関がある。

このような f_0 と h_0 の変化から、旧地震計のバネ定数が正常な時に比べて大きくなっていると考えられる。そこで、この原因を調べるため、振子の動きが極端におかしい地震計 (今回の実験には含まれていない) を開け内部の状態を調べたところ、バネが変形し曲がっていることが確認された。バネの変形はバネ定数に複雑に影響を及ぼしていると考えられるが、例えば変形した部分に自由振動を抑制するような力が働いていると考えればこのような f_0 と h_0 の変化を説明できるであろう。従って、旧地震計の定数が公称値から有意にずれているのは、運搬中などにバネが衝撃を受けバネに永久的変形が生じた

Fig. 3 Same as Fig. 2 for the case of horizontal L-4C seismometers.

ためではないかと考えられる。

(2) 水平動地震計を水平面上に設置した場合の f_0 と h_0 の検定

新地震計 25 台と旧地震計 6 台の結果を Fig. 3 と Table 1 にまとめた。旧地震計の f_0 は、新地震計に比べてばらつきは大きく、やや高周波側にシフトしている傾向がある。また、 h_0 も旧地震計の方が若干小さい値の方にシフトしている傾向がある。この様に、旧水平動地震計も旧上下動地震計と同様な定数の公称値からの変化傾向を示した。しかし、未使用の地震計でも水平動は上下動と比較するとばらつきが大きく、その約 1/3 は f_0 が公称値からずれていた。また、 f_0 と h_0 の間には負の相関が認められる。

(3) 上下動地震計に対する設置傾斜角が及ぼす影響について

説明書によると傾斜角 5 度以内で f_0 の公称値を保証している。そこで、0~6 度の範囲で 1 度ずつ地震計の姿勢を傾斜させた場合の f_0 と h_0 を測定した。新地震計 8 台と旧地震計 7 台の結果を Fig. 4 に示す。また、ひとつひとつの地震計に関する傾斜角 0~6 度での f_0 と h_0 の最大値と最小値の差を各々 δ_f , δ_h として、新・旧でまとめたものを Table 2 に示す。新地震計は、傾斜角にはほとんど依存せず、6 度の傾斜角内においても公称値通りの値を示す。一方、旧地震計は新地震計に比べて f_0 の傾斜角依存性が大きくなっている。また h_0 に関して、旧地震計の方が傾斜による影響が大きい。この原因は明かではないが、旧地震計のバネの永久変形のためコイルがもともとわずかに傾斜している結果、設置傾斜角が微妙な影響を与えるためと思われる。

(4) 水平動地震計に対する設置傾斜角が及ぼす影響について

水平動地震計を振子の振動方向に ± 0.25 度傾斜させて、傾斜に対する定数への影響を調べた ($-0.25 \sim 0.25$ 度の傾斜角は、水平動地震計付属の設置用台に付いてい

Fig. 4 The variation of f_0 and h_0 due to the slope angle for the vertical seismometers. (a) "unused" seismometers. (b) "used" ones.

Fig. 5 The variation of f_0 and h_0 due to the slope angle for the horizontal seismometers. (a) "unused" seismometers. (b) "used" ones.

Table 2. Variations of f_0 and h_0 for the vertical seismometers which are set on the slope with angles from 0 to 6 degrees.

	δ_f	δ_h
Unused Vertical	0.02~0.04	0.01~0.02
Used Vertical	0.03~0.20	0.02~0.03

Table 3. Variations of f_0 and h_0 for the horizontal seismometers which are set on the slope with angles from -0.25 to 0.25 degrees.

	δ_f	δ_h
Unused Horizontal	0.12~0.27	0.03~0.07
Used Horizontal	0.06~0.36	0.02~0.06

る気泡式水準器の気泡が基準線内にある時に相当する)。Fig. 5 に新地震計 6 台、旧地震計 6 台の結果を、Table 3 に $-0.25 \sim 0.25$ 度の f_0 と h_0 の変化量 δ_f と δ_h を示す。新・旧地震計とも、 f_0 と h_0 は設置傾斜角によって大きく変化し公称値から大きくずれている。新地震計 6 台の f_0 は、傾斜角が大きくなるにつれ f_0 が小さくなる変化パターンが認められる。一方、旧地震計 6 台は、傾斜角 0 度の時に f_0 が公称値内にある 3 台とそれ以外の 3 台のグループに分けられる。公称値内にあるグループの変化パターンは新地震計の変化パターンと類似している特徴が認められるが、公称値内にないグループは逆の傾向

を示す。

§ 4. ま と め

以上の検定結果を要約する。

(a) 上下動地震計：購入したばかりの新地震計は、水平面に設置した場合だけでなく 5 度以内の傾斜角の場合にも、公称値通りの結果を得た。一方、数年前に購入し数回観測に用いた旧地震計は、 f_0 は公称値より高周波側に、 h_0 は小さい値へずれる傾向が認められた。また、傾斜角による影響も大きい。

(b) 水平動地震計：新・旧地震計とも、正規に設置し

た場合でも公称値より大きくずれるものが少なくない。また、 f_0 と h_0 がわずかな設置傾斜角の変化で大きく変化することも明かとなった。この傾斜角の定数への影響は、地震計の個体間のばらつきや使用頻度による影響に比べてはるかに大きい。

L-4C 型地震計は、上下動は何回か使用した地震計に特に問題があり、水平動は設置傾斜角に大きく影響を受けることが明らかになった。また、それらの定数のばらつきの程度は無視できないほど大きい。例えば、 $\pm 10\%$ の固有周波数のずれは、1 Hz の波に対しての位相差に

すると約 ± 7 度、時間差にすると約 ± 0.02 秒になる。これは 1 Hz 付近の波の卓越する波動（例えば火山微動）を、小アレイ観測から見掛け速度や到来方向を推定する際や、3 成分観測により波動軌跡を解析する際には大きな誤差を生む原因となる。従って、当然のことではあるが、設置状態を保持したまま地震計の定数を測定する事が不可欠である。また、旧地震計の定数の変化がバネ系の永久変形に起因すると考えられることから、運搬には細心の注意が必要であることを指摘しておきたい。