

松代における埋込式ひずみ計の観測について 第II報*

(地震動に対する応答)

泉 末 雄**

550.34(037)

On the Earth Strain of Bore-Hole Strainmeter Measured at Matsushiro Seismological Observatory

(Second paper: Responses from Seismic Waves)

S. Izumi

(*Seismological Observatory, J. M. A.*)

Comparison between records obtained by a bore-hole strainmeter and silica-strainmeter was made. The results obtained are as follows:

- (1) As the records obtained from both instruments resemble for seismic waves fairly well, it becomes evident from this examination that Benioff's theories of linear strainmeter for seismic waves can apply to bore-hole strainmeter as well.
- (2) Bore-hole strainmeters have good stability, namely;
 - (a) As the amplitude ratio of Bm to SS (silica-strainmeter) shows 1.3 and 1.0, with body waves and surface wave respectively, it can be seen that sensitivity of bore-hole strainmeter does not change during six years since its installation.
 - (b) Discrepancies of seismic wave forms between the bore-hole strainmeters of No. 1 and No. 2 (about 300 meters apart) are comparatively small.
 - (c) Movements of bore-hole strainmeter are nearly equal to horizontal areal-strainmeter.

§ 1. はじめに

埋込式ひずみ計は、もともと地殻ひずみの時間的変化の観測を目的とした測器であるが、同時に地震波動にも応答する。したがって、長周期の現象を対象とする測定系(DT)と、地震活動などのような短周期の現象を対象とする測定系(Bm)とを兼ね備えている。

一般にひずみ計を地震計として使用すれば、振り子をもたない地震計ということができ、地震観測にとって有効な測器の一つでもある。ひずみ計(伸縮計)の地震動に対する応答については H. Benioff (1935) の研究がある。さらに、この直交成分の加算を行うことによって、ラブ波が消去され、レーレー波は無指向性で検出されることを、H. Benioff ら (1952) や C. Romney (1964) が論じている。しかし、埋込式ひずみ計の地震動に対する

応答については、いままで、十分な研究がなされていない。

このため筆者は、地震観測所で常時連続観測している埋込式ひずみ計の地震波動に対する応答を、これと並行観測している石英管式ひずみ計(伸縮計)の資料との比較において調査を行なった。すなわち、ふたつのひずみ計に同時に良く記録された1977年1月6日15時19分のニューギニアの地震波形をタイムスケールを同一にし、波の対応の明らかなものだけについて、おのおの振幅、および周期を讀取り、比較した。

§ 2. 埋込式ひずみ計と石英管式ひずみ計による地震波動の比較

埋込式ひずみ計で観測されるひずみは、第I報(泉, 1978)で述べたように、面積ひずみか、もしくは水平面内に近い面積ひずみの変化に比例した量であり、石英管式ひずみ計のほうは南北と東西の水平2成分の合成値

* Received Feb. 25, 1977

** 気象庁地震観測所

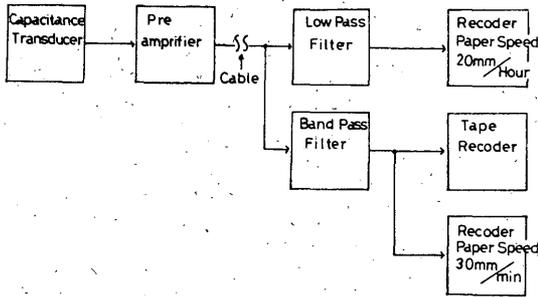


Fig. 1. Block-diagram of silica-strainmeter.

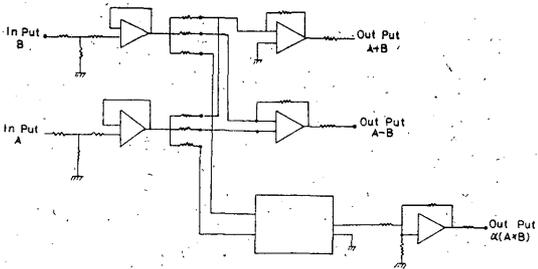


Fig. 2. Circuit-diagram for composing two records obtained by silica-strainmeters of N-S and E-W components.

(以下石英管式ひずみ計の値といひ SS で表わす) で、面積ひずみそのものに相当する。

Fig. 1 は、石英管式ひずみ計の概念図で、地震波動を観測する測定系は、B. P. F (Band Pass Filter) を通した部分であつて、今回の調査にはテープレコーダーでの記録を用いた。なお比較を容易にするため、テープ記録は再生の際に加算回路を通し合成値にしてある。

Fig. 2 は、演算に用いた回路図で、その演算誤差は5% 以内である。周波数特性は、石英管式ひずみ計では0.2 秒から約1000秒、埋込式ひずみ計では1 秒から約20 分までの範囲につき、フラットな特性をもっている。また記録の感度はそれぞれ、前者が $5 \times 10^{-10}/\text{mm}$ 、後者では $1.2 \times 10^{-10}/\text{mm}$ で、ここで用いた埋込式ひずみ計の資料は、No. 2 の Bm である (第 I 報参照)。

合成して得られた石英管式ひずみ計の地震記録 (SS) と埋込式ひずみ計の地震記録 (Bm) との比較の 1 例を Fig. 3 に掲げた。両者の記録は一目瞭然として良い波形を示し、P 波の開始から表面波の部分まで、おのおのの対応が容易に行なえる。記録の上部に付した黒丸は、両ひずみ計のそれぞれ対応する相の振幅比 (Bm/SS) で、その比は周期の短い実体波の部分で平均約 1.3、比較的周期の長い表面波の部分ではやや小さく約 1.0 になる。

次に Fig. 3 で示したような振幅比を、いくつかの地

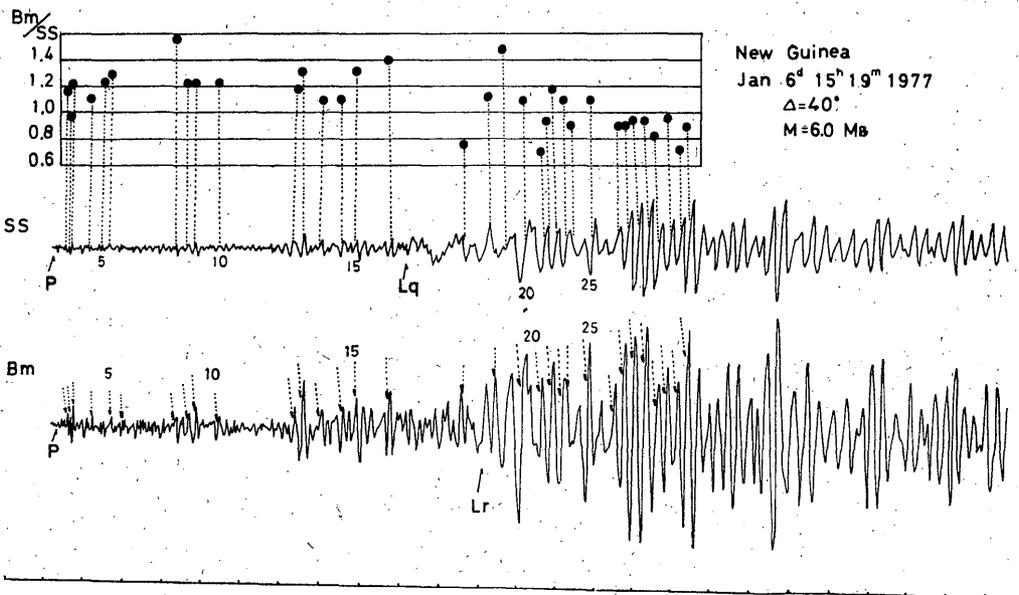


Fig. 3. Comparison between records obtained by bore-hole strainmeter and silica-strainmeter. upper: Bm/SS middle: SS lower: Bm

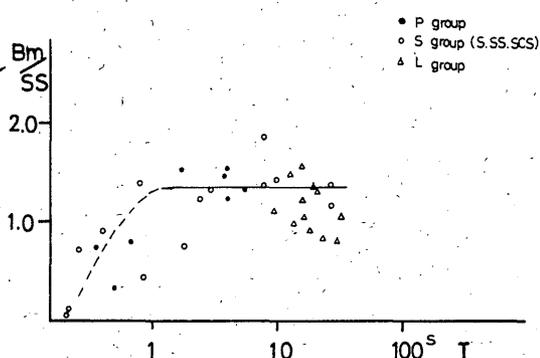


Fig. 4. Ratio of Bm to SS as a function of period of various seismic waves.

震について求めてみると、Fig. 4 のようになる。縦軸に振幅比、横軸にはそれぞれ振幅比を求めた波の周期をとってある。この場合、振幅比は一つの地震につきP波、S波および表面波の各群中の最大振幅を用いてある。資料には、近地地震も遠地地震も含まれているが、一般的に、周期の短いものは近地地震、長いものは遠地地震に相当する。この図によっても Fig. 3 と同様、振幅比は実体波で約 1.3、表面波で約 1.0 となる。なお周期 1 秒付近より短い部分で振幅比が急に小さくなっているのは、両ひずみ計の周波数特性の相違によるものと解釈される。

§ 3. 考察およびまとめ

(1) 埋込式ひずみ計と、石英管式ひずみ計とに記録される地震波形が良い類似を示すことから、埋込式ひずみ計の地震波動に対する応答を考える場合、互に直交している一般のひずみ計(棒状の伸縮計)の議論が適用できる。ひずみ地震計の特性についての H. Benioff (1935) の結果を用い、棒に平行な成分の地表でのひずみ St と、地動の水平変位 ξ との関係を表わすと、つぎようになる。すなわち、波の伝ば方向と棒との間の地表での角を α 、地表における見掛けの波の速度をと C すると、

$$\text{縦波では } St = -\frac{1}{C} \cos^2 \alpha \cdot \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad (1)$$

$$\text{横波では } St = \frac{1}{2C} \sin 2\alpha \cdot \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad (2)$$

となる。ここに、 ξ の符号は、縦波では波の伝ば方向、横波では α が増す方向の運動を、それぞれプラスにとつてある。 St はプラスが伸び、マイナスが縮みである。

ここで、東西および南北の直交 2 成分のひずみの加算を行うと

$$P \text{ 波および } SV \text{ 波では } St_{P, SV} = \frac{1}{C} \frac{\partial \xi}{\partial t}$$

$$SH \text{ 波では } St_{SH} = 0$$

となり、加算によって SH 波は除かれ、P 波および SV 波の成分だけが求められ、しかも無指向性で与えられる。

上の関係式から明らかなように、埋込式ひずみ計では P 波および SV 波だけが地震波動の速度を、見掛けの速度で割った値として記録されることになる。

したがって、通常の地震計で得られる記録と比較した場合、最も相違する点は S 波と表面波の部分で、埋込式ひずみ計による表面波はレーレー波のみとなり、ラブ波に乱されることがなく、また入射角度の相違による指向性も皆無となる。このため、表面波を用いてマグニチュード (M_s) を決めるとき、ラブ波の混入がないから大変有効な資料として活用される。

(2) つぎに、埋込式ひずみ計と、石英管式ひずみ計で得られた地震波動の振幅比について考えてみる。既に Fig. 3 および Fig. 4 に示したように、両者の振幅比は、比較的周期の長い表面波の部分で約 1.0 比較的周期の短い実体波の部分で約 1.3 の平均値としてそれぞれ得られている。もっとも、Fig. 3 でわかるように、表面波の部分は波形が単純で、しかも、振幅が大きく、相の対比や振幅の読み取りが容易であるのに対し、実体波の部分は波形が複雑で、振幅も小さいから、相の対比が難しく、読み取り誤差も大きいことが考えられる。その上、短周期の波を扱う場合、石英管式ひずみ計の長さや波の波長との関係も考慮しなければならない；などのこともあるから、定性的にみて表面波の部分で得られた値は、かなりバラツキを示してはいるが、両ひずみ計による振幅の比を代表しているものと考えられる。

全く機構の異なる二つのひずみ計の振幅比がほぼ同じであることから、つぎのことがいえる。

(a) 設置以来満 6 年、更正を行なわないで観測を続けてきた埋込式ひずみ計の感度に大きな変化はなく、器械の安定性が非常によい。

(b) 観測場所による測定値の相違が比較的少ない。

(c) 埋込式ひずみ計は、体積ひずみ計としてよりも面積ひずみ計に近い応答を示す、などの重要な観測結果が得られた。短周期の波に対する振幅比が平均約 1.3 で、表面波の部分の比より大きくなるのは、先に述べたような原因に基づくものと思われるが、波形が大変よい対応を示していることを考えると、ここで得られた程度の差は、地震観測を対象とした場合、大きな

欠陥にはならないであろう。

謝辞 本論文をまとめるにあたり、御指導御助力をいただいた、江田所長、末広参事官、柏原静雄、山岸登、北村良江、竹山一郎各技官をはじめ気象研究所地震火山研究部の方々に深く感謝いたします。

参 考 文 献

Benioff, H. (1935): A linear Strain Seismograph. Bull. Seism. Soc. Amer., **25**, 283-309.

Benioff, H. and B. Gutenberg. (1952): The Response of Strain and Pendulum Seismographs to Surface Waves. Bull. Seism. Soc. Amer., **42**, 229-237.

泉 末雄 (1978): 松代における埋込式ひずみ計の観測について 第I報験震時報. 42, 11-17.

Romney, C. (1964): Combinations of Strain and Pendulum Seismographs for Increasing the Detectability of P. Bull. Seism. Soc. Amer.; **54**, 2165-2174.