

# ソ 同盟地震観測所網の発展と 現用地震計について(その3)\*

古 田 美 佐 夫\*\*

550.34

## § 1. 一般型地震計 (続き)

### d) 試験結果

一般地震計の特性をさらに良く理解するために、実験室条件、ならびに地震観測所における試験記録結果を図示してみよう。

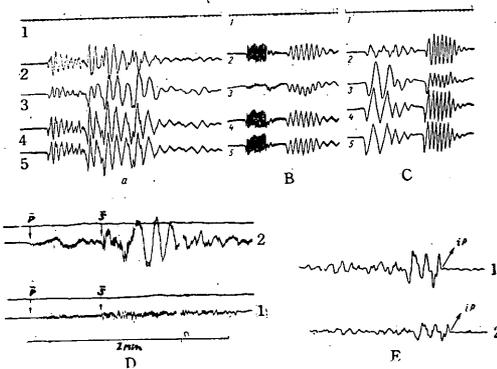


Fig. 1.

試験記録結果 (A~C): 1. time mark 2. ニキホロフ式  
3. ガリチン式 4. 一般型 5. 振動台  
観測所記録結果 (D~E): D. 近地地震;  
1. ニキホロフ式 2. 一般型  
E. 遠地地震;  
1. ガリチン式 2. 一般型

Fig. 1においてA~Cは、ガリチン式、ニキホロフ式(光学記録の地方型地震計、後述)、および一般型地震計を比較するために水平振動台上で得た記録例である。このうち1は毎秒の time mark, 2はニキホロフ式水平動 ( $T_1=2$  sec,  $D_1=0.6$ ,  $V_0=400$ ), 3はガリチン式水平動 ( $T_1=T_2=12$  sec,  $D_1=D_2=1$ ,  $V_{max}\approx 500$ ), 4は一般型水平動 ( $\bar{V}_1\approx 400$ ) の各記録で、5もまた400

\* M. Furuta: A Summarised Report on the Development of Seismological Observation Net and Seismographs in the Present Use in USSR (3) (Received May 14, 1959).

\*\* 気象研究所地震研究部。

倍に増幅された振動台記録である。この図においてAは近地地震時の地動と似ている。この図形およびB, Cにおいても、一般型地震計の記録が0.2~4 sec までの広い周期帯域での、近地地震時の地動をかなり正しく再現していることがわかる。他の2地震計記録はこれよりも歪みがみとめられる。

一般型地震計はまた近地および局地地震波の、初動に対応する短周期振動の第1振幅を他の地震計よりいつそう明らかに記録する。遠地震の場合も地震波の初動は(長周期振動の第1振幅)ガリチン式と同程度に、ニキホロフ式よりかなり良く記録する。この場合の記録比較例を示すと、Fig. 1 Dは近地地震記録で ( $\Delta=170$  km), 1はニキホロフ式 ( $V_0=600$ ), 2は一般型 ( $\bar{V}_1=600$ ) 各地震計の記録で、<スタリナバード>観測所で同時に記録したものである。Fig. 1 Eは遠地地震記録で、1はガリチン式上下動 ( $V_{max}=1,000$ ), 2は一般型上下動 ( $\bar{V}_1=340$ ) 各地震計を用い<モスクワ>観測所で記録したものである。

### e) 一般型地震計の改造

一般型地震計をより広範囲に使用し得るかどうかは、最も簡単な方法でその周波数特性を大きく変え得るかどうかである。このためにこの地震計は次のことが容易にできるように作られている。

- 1) 振子コイルおよび検流計可動系部分の取換え
- 2) 振子および検流計の基本常数値の調整

ここでは例として、(i) 主として近地、局地地震を記録させる地方型地震計、(ii) 脈動を記録させる地震計への改造について述べる。

#### (i) 地方型地震計への改造

これには  $G_2$ ,  $K_2$ ,  $T_2$ ,  $D_2$  の小なる検流計を用いることで行われる。すなわち、記象は検流計周期に近い周期をもつ振動が記録され、器械の最大増幅度が高められ、長周期振動が著しく衰える。かつ周波数特性、位相特性は検流計の  $T_2$  と  $D_2$  とのみによって決められるので、器械の同一化は正規の地方型地震計の場合より、きわめ

て簡単、確実に実現し得る。最大倍率は  $T_{\omega} \approx 0.3 \text{ sec}$  なる地動に対応せしめ、 $V_{\max} \approx 10^4$  である。常数値は  $T_1 \approx 10 \text{ sec}$ ,  $D_1 \approx 0.5$ ,  $T_2 = 0.3 \text{ sec}$ ,  $D_2 = 1$ ,  $\sigma^2 \ll 1$  で、これに対応する周波数特性を Fig. 2 に示す。

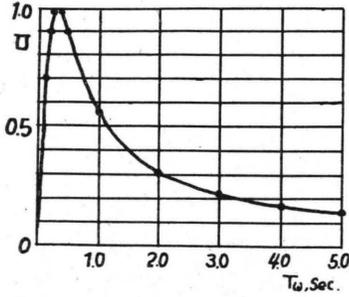


Fig. 2. 地方型地震計へ改造した場合の周波数特性

(ii) 脈動記録用地震計への改造

海洋上の Cyclone 経路の問題と関連し、約]4~6 sec の規則正しい脈動を解明する目的で一般型地震計を改造使用し得る。すなわち、記録速度をはやめ（正常の場合より5~10倍）、上記周期帯域で倍率を大ならしめる(5,000~7,000)。このために検流計としては<sup>ゲーゼーエス</sup>Γ3C-47型が用いられる。基本常数値は

$T_1 = 10 \text{ sec}$ ,  $D_1 = 0.3$ ,  $T_2 = 5 \text{ sec}$ ,  $D_2 = 0.5$ ,  $\sigma^2 \ll 1$  で、これに対応する周波数特性を Fig. 3 に示す。

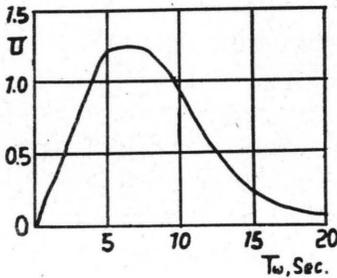


Fig. 3. 脈動記録用へ改造した場合の周波数特性

§ 2. 地方型地震計

地方地震観測所は互に近距離に配置された数観測所ネットで構成され、現在は主として北部天山地区、ガラム地区、スタリナバード市周辺、グルジャールアルメニヤ共和国のアハルカラキ山岳地帯でみられる。これら観測所で現用されている地震計は、1950~1951年、D. A. ハーリン (Д. А. ХАРИН) によって作られた動電型検流計記録地震計で、地震活動地帯における多数の、きわ

めて弱い局地地震を記録し、比較的狭い周期帯域で大なる倍率を確保している（数万倍まで可能）。基本常数値は

$T_1 = 0.6 \text{ sec} \sim 1 \text{ sec}$ ,  $D_1 = 0.6 \sim 1$ ,  $T_2 = 0.2 \text{ sec} \sim 0.4 \text{ sec}$ ,  $D_2 = 1.5 \sim 2$ ,  $\sigma^2 = 0.25 \sim 0.35$

で、倍率  $V$  と地動周期 $T_{\omega}$ との関係を Fig. 4 に示す。

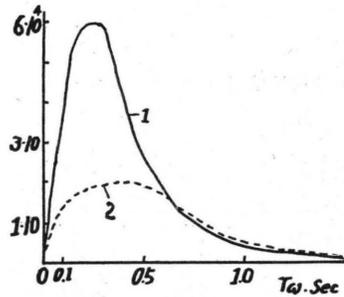


Fig. 4. 地方型地震計（ハーリン式）の周波数特性  
1:  $T_1 = 0.6 \text{ sec}$ ,  $T_2 = 0.2 \text{ sec}$ ,  $D_1 = 1$ ,  $D_2 = 0.8$ ,  $\sigma^2 = 0.5$   
2:  $T_1 = 0.7 \text{ sec}$ ,  $T_2 = 0.25 \text{ sec}$ ,  $D_1 = 0.6$ ,  $D_2 = 1.5$ ,  $\sigma^2 = 0.25$

このうち曲線1は  $T_1 = 0.6 \text{ sec}$ ,  $T_2 = 0.2 \text{ sec}$ ,  $D_1 = 1$ ,  $D_2 = 0.8$ ,  $\sigma^2 = 0.5$  であり、曲線2は  $T_1 = 0.7 \text{ sec}$ ,  $T_2 = 0.25 \text{ sec}$ ,  $D_1 = 0.6$ ,  $D_2 = 1.5$ ,  $\sigma^2 = 0.25$  の場合である。

次に各地震計の構成を概観してみよう。

(i) ハーリン式水平動地震計—<sup>ゲーエスハー</sup>ΓCX—器械総体を Fig. 5 に示す。これは真鍮円筒1からな

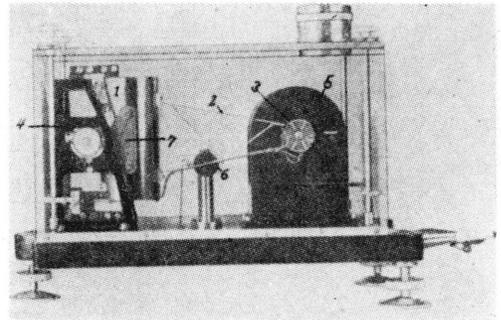


Fig. 5. ハーリン式水平動地震計

る振子で、アルミニウム締線2が円筒型誘導コイル3に走り、コイルのひとつは記録用、他は減衰調整用である。5は円筒空隙をもつ永久磁石、6はソレイドで、これを用いて振子に必要な衝撃や一定の偏りを与える。一般型地震計と同様に振子の端に指針、磁石上に特別なスケールがあって、常数決定の際の振子の位置を知ることができる。検流計は<sup>ゲーカー</sup>ΓK-VI型を用いるが、他の（より短周

期の懸垂系を使用する。記録の標準速度は 60 mm/min で、特別な場合 120 mm/min まで早めることができる。

(ii) ハーリン式上下動地震計— $\overset{\text{ツェーエスハー}}{\text{BCX}}$ —

器械総体を Fig. 6 に示す。真鍮円筒 1 (重さ 1.5 kg)

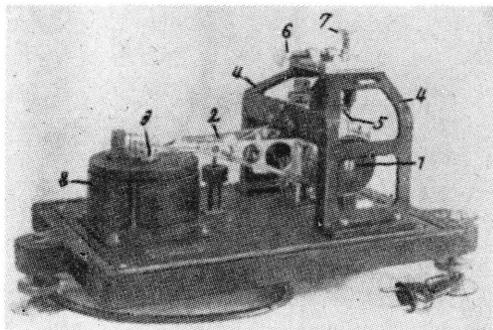


Fig. 6. ハーリン式上下動地震計

からなり、それに軽いアルミニウム腕 2 が固定され、誘導コイルをもつ。らせんバネ 5 によって振子を水平位置に保持し、ネジ 6 と 7 により振子の周期、均衡位置を調整するバネを変えることができる。他の構成は水平動と同じである。

現在、ハーリン式地震計は 20 か所の地方地震観測所に設置されている。

(iii) ニキホロフ式地震計

これは前記ハーリン式地震計が作られる以前、1949年頃まで用いられていた近地地震用光学記録地震計で、P. M. ニキホロフ (П. М. НИКИФОРОВ) によって製作された。現在は数観測所でみられるにすぎない。振子の慣性質量は真鍮または赤銅からなる円筒型で、その長さは 7.2 cm、重さは約 20 g である。標準常数值としては、 $T_1 = 2 \text{ sec}$ 、 $D_1 = 0.55$ 、電磁減衰で倍率は約 400 である。

### § 3. 強 震 計

1950年頃までのソ同盟地震観測所網の研究対象は、主として地震活動性、地殻構造、地球内部構造などの調査にむけられていた。この目的のために感度の大きな地震計が備えつけられていたが、その後、強地震時の地動を記録でき、特に耐震構造問題に対処するための器械が、すなわち、地震工学の諸問題を解決するための地震計が必要とされるにいたった。

上記観点から“強震計”と呼ばれる 2 種類の機械記録地震計が作られた。ひとつは、中等度 (震度 3~7) の地震、他は 7 以上の破壊地震を記録させるもので、以下そのおのおのについて述べてみよう。

(i) 強震計  $\overset{\text{ニエスエムエル}}{\text{CMP-II}}$

これは水平動地震計で電磁減衰、補助拡大テコがない機械記録で、主要常数值は次のとおりである；

$$T_1 \approx 5 \text{ sec}, V_1 = 5 : 1 (D_1 \approx 0.45), V_0 \approx 7.5$$

この常数に対応する周波数特性および位相特性を Fig. 7 に示す。機械記録の際はきわめて細い記録線が得られ

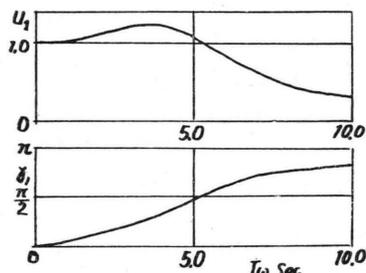


Fig. 7. 強震計 CMP-II の周波数特性、位相特性

(0.03~0.05 mm)、これの必要部分を写真拡大によって 9~10 倍に、従つて倍率を 70~75 倍にまでたかめることができる。それ故この地震計によって、周期  $T_0$  が 0.2~0.3 sec から 8~9 sec までのとき、0.05 mm から 10~15 mm までの振幅をもつ地動を記録できる。すなわち、震度 2~3 から 7 までの強さの局地、近地地震を記録し得ることになる。

器械の構造

器械総体を Fig. 8 に示す。主要部分は水平振子 I、

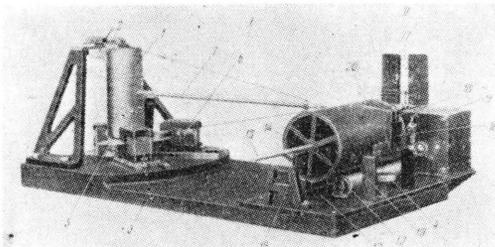


Fig. 8. 強震計 CMP-II

記録器 II、刻時装置 III である。真鍮の円筒型重錘 (約 12 kg) 1 をもつ水平振子は 4 枚の薄い鋼板 2 によって支柱につられている。振子周期の調整は水準ネジ 4 によって行われ、減衰は 2 つの永久磁石空隙中において、振子重錘と密接に関連している銅板 5 からなる電磁減衰器で行われる。磁石は小ぞり中を移動でき、これにより振子の減衰度を調整する。記録器は PC-II 型と呼ばれるもので、起動器 11、動軸 12、支え軸 13、ドラムからなる。17 は起動器の速度を調整するもので、ドラム表面の平均

線速度を約 30 mm/min に確保している。この速度のとき、記象紙は一昼夜にわたって記録を継続する。刻時装置は小支柱 19 に取り付けられた電磁石 18 からなり、その鉄片上にはテコ 20 がある。刻時はリレーをもつ標準常置用制御—配電盤を用いてこのテコによって行われる。

構成要素

振り概図を Fig. 9 に示す。M<sub>1</sub> は円筒型重錘の質量、m<sub>1</sub> は主要拡大テコ質量、m<sub>2</sub> は減衰板質量、m<sub>3</sub> は描針

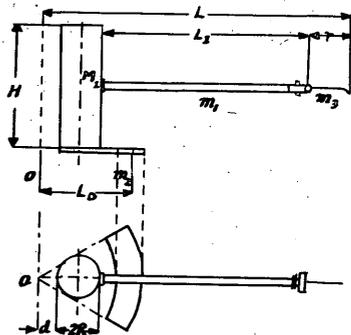


Fig. 9. 強震計 CMP-II 振り概図

をもつ叉状部質量、L は振り回転軸から描針端までの長さである。L=75 cm、V<sub>0</sub>=7.5 とすることで、相当振子の長さ  $l = V_0 : L \approx 10$  cm である。また M<sub>1</sub> ≈ 12 kg、2R ≈ 9 cm、H ≈ 22 cm、d ≈ 1.5 cm、L<sub>D</sub> ≈ 15 cm、L<sub>1</sub> ≈ 0 cm、m<sub>2</sub> ≈ 120 g、m<sub>3</sub> ≈ 10 g、m<sub>1</sub> ≈ 57 g とすることで、K<sub>1</sub> ≈ 7.7 · 10<sup>5</sup> g · cm<sup>2</sup>、MR<sub>0</sub> ≈ 7.7 · 10<sup>4</sup> g · cm である。描針の長さを 4.5 cm とすることで、 $L = L_1 + 2R + d + r \approx 75$  cm である。また必要な減衰を得るためには、間隙中の磁場の強さを H<sub>1</sub> ≥ 1,500 エルステッド、各磁石の間隙中の銅の容積を  $\bar{V} \approx 4$  cm<sup>3</sup> とする。

(ii) 強、破壊地震記録用地震計 C P 3—I

破壊地震を記録させるための地震計は Fig. 10 に示すような回路によって記録化が行われる。すなわち、記録ドラム 1 は特別な起動器 2 を用いるとき、表面線速度約

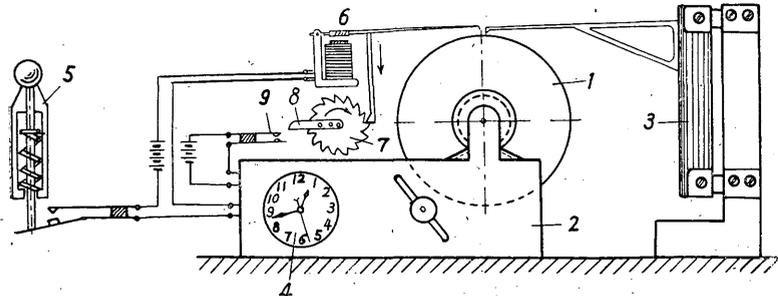


Fig. 10. 強震計 CP3-I 概図

5 mm/min で、前進運動をせずに連続回転している。地動状態が比較的平静のときは、振子は同じ線上に沿い零線をマークしている。特別な時計 4 は刻時接点 (3~5 sec に 1 回) を付与するが、しかし刻時回路は遮断されており、time-mark はしるされない。かなりの強さの地震があった時、感震器 5 が働き刻時回路を閉じ、それと共に記録に time-mark が付せられる。刻時電磁石の鉄片は、time-mark を付することにひとつの歯車とかみ合う特別制逆輪 7 と接続している。ドラムが完全に回転した後 (約 90 sec)、すなわち、制逆輪が一定のかみ合せ数を経た後に、制逆輪と接続する装置 8 は起動および時計の電磁調整ブレーキ回路中の接点 9 を閉じ、時計およびドラムの回転を止める。このとき時計の表示はドラムの停止時と一致する。time-mark が付せられた地震記象を調べること、その始まりの正確な時刻を容易に見出せる。観測者は 1 昼夜に 1 回、記録器の機構を注意し、親時計によって時刻を補整する。ドラム上の記録紙は月に 1 回とりかえる。

強震計 CP3—I の構成

CP3—I 型水平動地震計には長周期および短周期振動を記録させるため 2 つの振子からなり、上下動地震計には短周期振動用のただひとつの振子から構成されている。

長周期振動用振り概図を Fig. 11 に示す。これは垂直回転軸 0 をもつ水平振子で、2 個の鋼軸および球入軸受

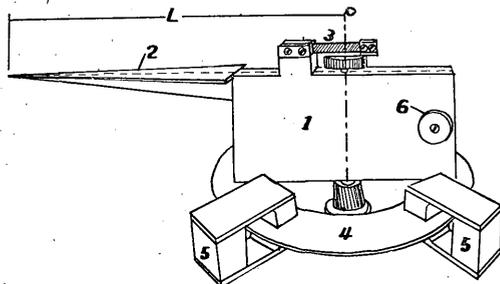


Fig. 11. 強震計 CP3—I. 長周期用振り概図

けによって作られている。振子の主要重錘は平行六面体 1 で、2 はジュラルミンの主要拡大テコである。振子の復元力は 1 端は振り、他端に台座にとりつけられた鋼板 3 によって行われる。かくて振子の固有周期は鋼板 3 の剛さによって決まる。振子の減衰は電磁減衰装置によって行われるが、それは赤銅の環管 4

と4個の磁石5からなる。重錘1の両側にある2つの補助重錘6は  $l$  値を、したがって基本倍率  $V_0$  を調整するためのもので、重錘の大きさをかえることで行われる。器械の計算に際しては次のデータから出発した;

$$V_0 = \frac{1}{4}, \quad L \approx 50 \text{ cm} \text{ すなわち } l = \frac{L}{V_0} = \frac{K_1}{MR_0} = 200 \text{ cm},$$

$$T_1 = 2 \text{ sec}, \quad D_1 = 0.4 \text{ すなわち } v_1 \approx 5:1$$

次に短周期振動記録用振子概図を Fig. 12 に示した。

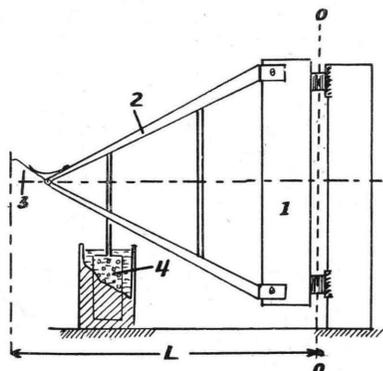


Fig. 12. 強震計 CP3-I. 短周期用振子概図

振子は真鍮の円筒型重錘1で、描針3をもつジュラルミン主要拡大テコ2、液体減衰器の平板4がある。計算データとしては

$V_0 = 5$ ,  $L = 25 \text{ cm}$ ,  $l = 5 \text{ cm}$ ,  $T_1 = 0.2 \text{ sec}$ ,  $D_1 = 0.4$  で、必要な減衰値  $D_1$  は温度影響が少い粘性係数をもつ特別な油液を選ぶことで可能である。

CP3-I型地震計の周波数特性を Fig. 13 に示す。曲

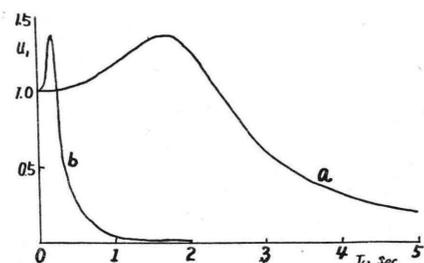


Fig. 13. 強震計 CP3-I の周波数特性  
a—長周期記録用 b—短周期記録用

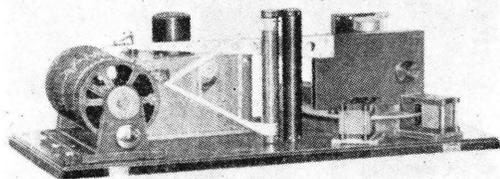


Fig. 14. 強震計 CP3-I (水平動)

線 a は長周期記録用、b は短周期記録用である。上記データによって作られた地震計総体を Fig. 14 (水平動)、Fig. 15 (上下動) に示す。

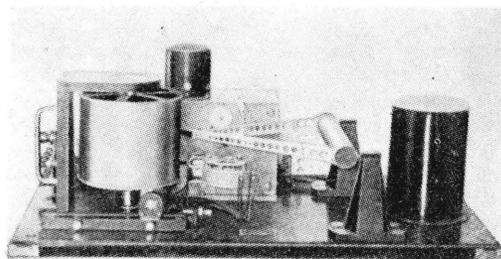


Fig. 15. 強震計 CP3-I (上下動)

ソ同盟地震観測所では前述の CMP-II 型地震計をすでに 16 か所に配置しているが、後述の CP3-I 型地震計はまだ試験段階のようで 2 か所に設置されているにすぎない。

その他の地震計について

以上、常置用地震計について概略を述べてきたが、その他  $\text{ЭМГ}$  と呼ばれる Electromagnetic Vibrograph が数か所に設けられている。これは水平面に対し  $45^\circ$  傾けられているもので、 $M \approx 1 \text{ kg} \sim 1.5 \text{ kg}$ ,  $l \approx 9.4 \text{ cm}$ ,  $K = 10^5 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$  というデータであるが詳細については知れてない。これら地震計とは別に、探査用地震計として数多くの器械が作られ、特に弱地震震源分布の詳細な研究法である  $\text{KMIZ}$  法に用いられている、換振器を傾けて観測する器械などはソ同盟で強く関心をもたれて研究されている。

最後に震度の計測の決定に用いられている震度計について述べてみよう。

#### § 4. 震度計

耐震構造および地震活動度地域区分の諸問題には、計測的方法による地震の強さの決定、等震度線図の作成が望まれている。

1951年 S. V. メドヴェージェフ (С. В. МЕДВЕДЕВ) は “СБМ” と呼ばれる震度計を製作した。これは地球物理研究所彙報 No. 21 (1953) で発表された地震活動度スケールに対応し、震度 5 から 10 までの範囲で地震の強さを評価するために用いられる。

器械の構成

器械の総体を Fig. 16 に示す。正三角截頭錐形で、高さ 62 cm、基底辺 44 cm である。器械の主要部は鋼軸 1 からなる弾性球面振子で、地震時の地動につれ水平振動を行う。振子の慣性質量は球面状凹面鋼盤 3 で、1 部は

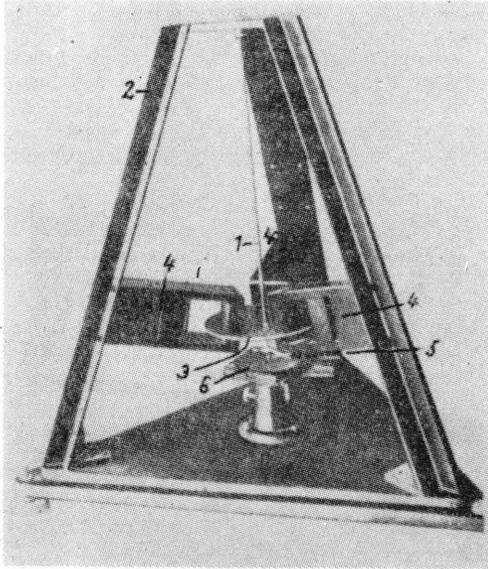


Fig. 16. 震度計

永久磁石4の空隙中におかれ、これにより必要な減衰を振子に与えている。振子の一端に描針があり、凹面のいぶし硝子6上に振子の運動を画く。この図取り用硝子は上下できる小卓5上にある。振子が運動する際の復元力はバネの弾性であるが、これは真直な鋼軸で直径6mm、上部は器械フレームにとりつけられ、下部は振子銅盤をバネ状に固く締めている。振子の固有周期は軸棒を上下に移動することで調整する。減衰を行う3個の磁石はフレーム側柱2に取りつけられ、これも上下に移動が可能である。硝子表面は描針のおし加減を一定にしておくため球面状凹面となっており、4個のネジにより小卓上に固定される。

#### 器械の働き

器械は地震観測所で地面の振動を記録するため、地下室または一階のコンクリート床にボルトで固定する。コンクリート床がないときは直接地面の上に置く。器械作動をすべて点検した後、球面状ガラスに油煙の層をのせてこれに記録を面かせ、印画紙によって写し取る。振子の固有周期は  $T=0.25$  sec, 減衰比  $v_1 \approx 1.28$  ( $D_1 \approx 0.0795$ ) である。記録は振子の質点のかたより  $K=1.1$  の比較により拡大率がわかる。記録上に測定された最大振幅  $x$  を根拠に、地震時の球面振子の最大変位  $x_0$  を得ることができる。すなわち、 $x_0 = \frac{x}{1.1}$  なる関係から得られた  $x_0$  によって、地震活動度スケールに対応する震度を定めることができる。換言すれば震度階による地震の強さは、弾性振子の最大相対変位値  $x_0$  の大きさである。いま  $x_0$

を mm で測定した場合の両者の関係を示せば次のとおりである。

震度 (バル)	震度の名称	$x_0$ (mm)	ロッシン・ フオレル 震度
1	Незаметное 無感	—	
2	Очень слабое 微弱	—	1~2
3	Слабое 弱	—	3
4	Умеренное 軽	<0.5	4~5
5	Довольно сильное 稍強	0.5~1.0	5~6
6	Сильное 強	1.1~2.0	6~7
7	Очень сильное 極強	2.1~4.0	8
8	Разрушительное 破壊	4.1~8.0	8~9
9	Опустошительное 荒廢	8.1~16.0	9
10	Уничтожающее 破滅	16.1~32.0	10
11	Катастрофа 変災	>32.0	
12	Сильная катастрофа 大變災	—	

現在これは地震活動が活発な地区の20か所余の観測所に設置されており、その効果は人工地震の試験結果によっても、他の震動効果とも大変良く一致することが明らかにされている。なお、振子の最大振幅方向が震央方位一観測点と一致しない欠点が指摘されている。

#### あとがき

以上3回にわけてソ同盟地震観測所網の発展、現用地震計などについて紹介した。もちろん意の尽せぬ点が多く、また、訳語の稚拙により御理解しにくい点もあると思うけれど、御寛容いただければ幸である。なお、本稿を記述するに際して、井上部長の適切な御助言をいただき、また木沢室長の温い御理解が得られたこと、さらに編集の労にあたられた地震課係員諸氏に厚く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) Д. П. КИРНОС;  
Некоторые Вопросы Инструментальной Сейсмологии. 1955  
(D. P. キルノース; 地震計測学の2, 3の問題)
- 2) Е. ф. Саваренский, Д. П. Кирнос;  
Элементы Сейсмологии и Сейсмометрии. 1955  
(Ye. F. サヴァレンスキー, D. P. キルノース; 地震学および地震計測学要綱)

- 3) E. ф. Саваренский ;  
Сейсмология и Сейсмическая служба  
в СССР за Сорок лет.  
извест. АН СССР. Сер. Геофиз. No. 11, 1957  
(Ye. F. サヴァレンスキー ;  
ソ同盟地震学および地震業務 40 年)
- 4) С. В. МЕДВЕДЕВ ;  
Сейсмометр для Определених Балльности  
Землетрясений.  
тру. геофиз. инстит. No. 36 (163), 1956  
(S. V. メドヴェージェフ ;  
震度決定用 Seismometer)

## 補 遺

前報 (験震時報第 23 卷 4 号) に記述した文中で, “初動の特性  $U_1$ ” (43 頁 2 段上から 10 行目) なる意味が不明確である点を指摘されたので, これを説明する.

$t = 0$  から突然始まる sin 型の地動 ;

$$X = X_m \sin \omega t$$

に対する記録の最初の maximum の振幅を  $Y_{mI}$  とすれば,  $\frac{Y_{mI}}{X_m} = V_1$  は最初の maximum についての器械倍率

で, それと総基本倍率  $V (= \frac{G_1}{G_2} \cdot \frac{2A}{l})$  との比 ;

$$\frac{V_1}{V} = U_1$$

を最初の maximum の周波数特性——初動の周波数特性という.