

ソ同盟地震観測所網の発展と 現用地震計について(その2)*

古田 美佐夫**

550.34

2 現用地震計について

現在、ソ同盟で用いられている地震計は、その多くは検流計記録方式によるもので、機械記録方式は主として地震工学を主とする強震計についてのみである。

地震計は各観測所の設置目的に応じて、それぞれ適応するものが配置されていることは前述したとおりで以下各地震計の器械性能、構成、計算要素、その他について概略を述べる。なお、ガリチン型地震計については、良く知られているので省略する。

§ 1. 一般型地震計

a) 器械性能

ソ同盟での一般地震観測所は、地震活動を広い範囲で研究するために、普遍的な器械の設置が要望された。すなわち、広い周期帯域で地動を記録でき、立ちあがりかめいりょうで、また倍率が大きく得られ、さらに地震波方位、射出角を確実に決められるよう各観測所地震計の良好な同一化が可能であることが要求された。このためには十分簡単な方法で、自由に周波数特性および位相特性の形をかえられるような器械が、すなわち、検流計記録による動電式 (Electrodynamic) 地震計¹⁾が最良であるという観点から、この一般型地震計が作られた。これは 1945~1947 年に科学アカデミー地球物理研究所の、D. P. キルノース (Д. П. КИРНОС) によって設計されたもので、水平動には $\langle C \Gamma K \rangle$ 、上下動には $\langle C B K \rangle$ なる略称がつけられている。

近地ならびに遠地地震をも良く記録できるように、

周波数特性 U は地震波の周期帯域 0.2 sec. から 9~10 sec までの広い範囲で一定で、次のような基本常数値を持っている。

$$T_1 = 12.5 \text{ sec}, D_1 = 0.45 \quad \sigma^2 \approx 0 \quad (\sigma^2 \leq 0.1)$$

$$T_2 = 1.0 \text{ sec}, D_2 = 6$$

(D_1 は普通用いられている h_1 のことである；

$$D_1 = \frac{\epsilon_1}{n_1})$$

これに対応する周波数特性 U および位相特性 τ を Fig. 1 に実線で示す。また初動のための特性 U_1 を

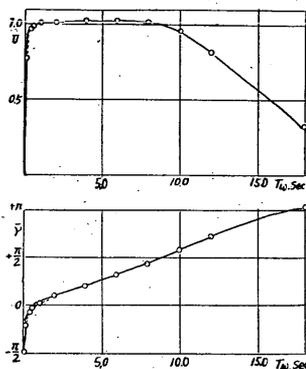


Fig. 1. 周波数および位相特性

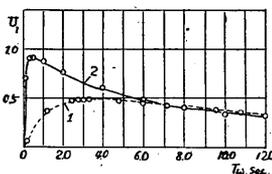


Fig. 2. 初動の周波数特性

* M. Furuta: A Summarised Report on the Development of Seismological Observation Net and Seismographs in the Present Use in USSR (2) (Received Jan. 20, 1959).

** 気象研究所地震研究部

1) ソ同盟では検流計記録による地震計を、Electrodynamic および Electromagnetic 地震計に分ける。前者は動コイル方式、後者は変磁束方式である。

Fig. 2 に示す。Fig. 2 において曲線 1 は、常数 $T_1=T_2=12 \text{ sec}$, $D_1=D_2=1$, $\sigma^2=0$ なるガルイチン型地震計の U_1 である。曲線 1 と 2 の比較から明らかなことは、地震波の初動記録は一般型地震計の場合、 $T_0 < 8 \text{ sec}$ (ことに短い周期の場合)、ガルイチン型地震計では $T_0 > 8 \text{ sec}$ のとき、よりめいりょうなことである。

多くの観測所では最良の倍率を 1,000 として用いている。これは地震波の周期帯域 0.2 sec から 3~4 sec までの、すなわち、近地地震の地動を良く記録できるようにになっている。

振子の常数 $T_1=12.5 \text{ sec}$, $D_1=0.4$ をそのままにしておくとき、検流計常数 T_2 と D_2 とは次の等量関係がある。

T_2	0.9	1.0	1.1	1.2	(sec)
D_2	6.5	6.0	5.5	5.0	

Fig. 1 では $T_2=1.2 \text{ sec}$, $D_2=5.0$ の場合の等量特性を点線と小円で示した。なんらかの理由で基本常数値が得られないときは、この等量関係を用いることができる。もちろん、この場合三成分の常数値は同じでなければならない。一般地震観測所では、 $T_2=1.2 \text{ sec}$, $D_2=5.0$ なる等量関係を用い、これを標準としている。

CFK 振子とこれに用いられる検流計 GK-VI 型は次のような基本構成データをもっている。振子の質量 $M \approx 5 \times 10^3 \text{ g}$, 慣性モーメント $K_1 \approx 2.6 \times 10^6 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$ 相当振子の長さ $l \approx 27 \text{ cm}$, コイルの動電常数 $G_{1I} = G_{1II} \approx 1.6 \times 10^8 \text{ CGSM}$; 検流計スプールの慣性モーメント $K_2 \approx 3 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^2$, 動電常数 $G_2 \approx 4 \times 10^5 \text{ C GSM}$, 検流計の内部抵抗 $r_g \approx 53 \Omega$ である。

このようなデータのとき、この地震計の総基本倍率 V (振子と検流計が直接結びついた場合) は、光学で $A=100 \text{ cm}$ のとき次のようになる。 $V = \frac{G_1 \cdot 2A}{G_2 \cdot l} \approx 2.960$ 。このような倍率および器械性能のときは、脈動を顕著にあらわしてしまうので、倍率を少くとも $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ に減らさねばならない。これは検流計、振子コイルの回路中に Fig. 3 で示すような抵抗 R と r を入れることで可能である。総基本倍率に対し β 分の一だけ倍率を減らすとき、検流計の外部抵抗をかえないでおくことが必要で、この条件のとき抵抗 R と r は次の関係によって決められる；

$$R = (\beta - 1) R_s, \quad r = \frac{\beta}{\beta - 1} R_s.$$

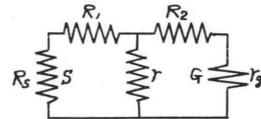


Fig. 3.

ここで R_s は振子コイルと振子から倍率縮小抵抗までの導線の総抵抗 (この抵抗を仮に振子抵抗と呼ぶ) で一般観測所では $R_s=26.5 \Omega$ である。

以上の構成データのとき $D_2 \approx 6.45$ であるが、磁気分路板を用いて $D_2=5$ にまで下げねばならない。このとき動電常数は $G_2 \approx 3.5 \times 10^5$ まで、すなわち、 $V = 2960 \times \frac{4}{3.5} \approx 3,400$ まで高められる。しかし一般に (振子磁石の性能いかんによって), $V = 2,000 \sim 3,000$ までの範囲にあり、一般地震観測所では先に述べたとおり、 $\beta = 2$ として、すなわち、作動倍率 $V_1 = 1,000$ として用いる。このとき $R = R_s = 26.5 \Omega$, $r = 2 R_s = 53 \Omega$ である。

一般型地震計を常時用いている観測所では、倍率縮小回路は検流計とならんでとりつけられた“特別標準パネル”の内部に組立てられている。倍率の変更はスイッチの切換によって行われ、パネル内部には $\beta = 1$ (総倍率), $\beta = 2$, $\beta = 5$ の回路がそう入されている。また、このパネルには一般型地震計の常数値決定に必要な回路があり、自動的にその切換を行うことができる。

b) 器械構造

水平動地震計 <CFK-2 >

器械の総体を Fig. 4 に示す。これは水平振子 1 からなり、2 枚の鋼板 2 および針金 3 によって、台座 5 に

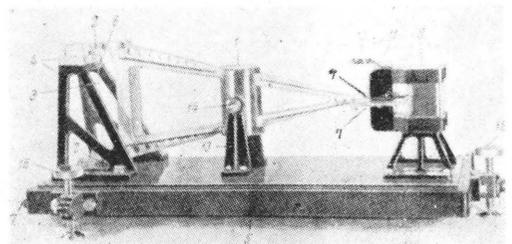


Fig. 4. キルノース型水平動地震計

取りつけられた支柱 4 につられている。針金 3 の軸は振子の回転軸に沿って張られ、下端は振子に密着し、上端は支え上のネジ 6 に連り、このネジによって引張りの長さを変えることができる。振子の端に取りつけ

られた銅わく7の中に、これと絶縁された2個の平型誘導コイルがある。これは銅線(径 $d_0=0.25$ mm)で巻かれ、巻数 $N_1=400$ 、各コイルの抵抗は約25 Ω である。コイルのひとつは振子の運動を記録するためのもので、他は振子の減衰を調整する役割を果す。誘導コイルの中央部は、永久磁石8の空隙中にある(場の強さ H_1 は2,000~2,500 エルステッド)。振子の銅わくの前部には、mm で区分されたスケール9があり、これの上方には細く平たい指針と拡大レンズ12が磁石にとりつけられ、レンズを通してスケール上の指針位置を0.1~0.2 mm までの精度で読みとる。振子の主要重錘の両側には、止めネジ14をもつ小支柱がありまた台座には3個のすえ付ネジ15、16がとりつけられている。2個の側面のネジは振子と均衡位置におくためのもので、このとき指針はスケール中央にある。ネジ16により振子の固有周期を調整する。器械は透明な有機ガラスでおおわれている。

上下動地震計<CBK—2>

器械の総体をFig. 5に示す。振子1は2組の相互に垂直な薄い鋼板2で支柱3につられている。振子の回転軸は懸垂板の交差線と一致している。ジュラルミン腕6の間には、円筒型重錘7と8があり、重錘9は振

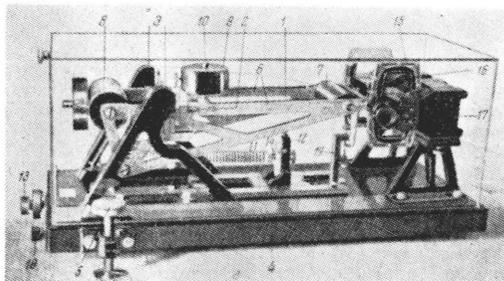


Fig. 5. キルノース型上下動地震計

子の重心を回転軸と同一水平面上におくためのものである。振子の重量は約10 kgで、 l は約80 cmである。エリンパールからなるらせんばね11が振子を水平位置に保持している。このばねの一端は振子と結合し他端は小支柱12と連なる。13は頭ネジで小支柱12を移動させるためのもので(スライド内で)、すなわち、振子の均衡位置を調整する。固有周期は小支柱に沿うmicrometerのネジによって、ちょうつがい14を上下に移動させる。一般に T_1 は7 sec~25 secの範囲で容易に調整できる。他の部分の構造は水平動地震計と

同一である。

l の長さが大きく、エリンパールからなるばねを用いたことにより、この器械に対する温度影響はほとんどとるにたらない。また、総基本倍率 V は水平動のそれより小さく、1,000~1,500であるが、他の常数值は両者同じである。

検流計<ГK—VI型>

一般型地震計用に特別作られたもので、総体をFig. 6に示す。永久磁石1の極間に細い銅のパイプ2がある。そしてその中に特別な差し込みがあって(Fig. 7)

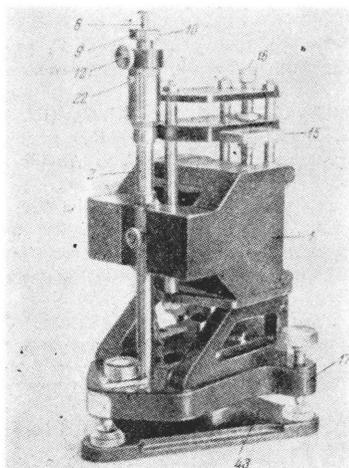


Fig. 6. 検流計 ГK—VI型

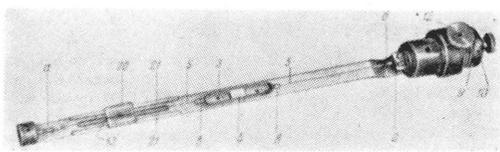


Fig. 7. 検流計可動系

検流計の可動系となっている。この中はコイル3を2本のつり線5が引張っており、コイルの中心部に薄い鏡がある。小プリズム13をもつ滑り金20はスライド21中を移動し、これによって下の引張りの長さを、したがって T_2 をかえることができる。 T_2 の変化帯域は0.9 sec から1.3 sec までである。差し込みはネジ22によって締められ、軸棒6上ではネジ10により、プラグ9が締められている。これは軸棒およびスプールの垂直面に関し一定の位置に保持し、止めネジ12によってスプールの均衡位置を調整する。検流計の空隙中

の場の強さ H_2 は約 1,800~2,000 エルステッドである。15 は磁気分路板で頭ネジ 16 を回すことで場の強さを、したがって D_2 をかえる。外部抵抗が 26.5Ω (R_s と同じ) である検流計の場合、 D_2 を 6~7 から 4 までの範囲で変えることができる。検流計の静的常数は約 $2 \times 10^{-8} \frac{\text{a}}{\text{mm/m}}$ である。この器械の主要欠点の一つは、周期 T_2 と磁場の強さ H_2 との関連性で、磁場の外で決められた周期は、磁場中で決められたそれより著しく大きくみとめられる (20%)。これはスプールの巻いている導線の磁化がその原因である。これとともに磁場の不均一性はスプールが回転するとき n_2 値を増す補足的復元モーメントがあらわれる。この影響を除くためには放射状の磁場を与える磁気系が用いられねばならない。

c) 2, 3 の理論式と主要常数値の決定

一般型地震計の常数値決定に必要な計算式について述べる。初めに検流計記録地震計の運動方程式について簡単に触れておこう。

動電式の場合、普通考えられる復元力、減衰力、慣性変位力などのモーメントのほか、また次のようなモーメントを考慮に入れる必要がある。すなわち、

M_{I_1} —振子磁石の磁場と振子コイル中の電流 I_1 との相互作用、

M_{I_2} —検流計磁石の磁場と検流計スプール中の電流 I_2 との相互作用、

以上で、次のような関係がある。

$$M_{I_1} = -G_1 I_1, \quad G_1 = \mathfrak{M} L_k = N_1 H_1 \bar{a} L_k$$

ここで G_1 は振子の動電常数、 $\mathfrak{M} = N_1 \frac{d\Phi}{dx}$ で、いわゆる電気機械結合係数、 L_k は磁場中におかれたコイル巻線の中心から振子回転軸までの距離、 N_1 は巻線の数、 H_1 は振子磁石空隙中の磁場の強さ、 \bar{a} は磁場中の導線の長さ (1 巻線の) である。同じように

$$\bar{M}_{I_2} \approx G_2 I_2, \quad G_2 = N_2 S_2 H_2$$

である。ここで G_2 は検流計の動電常数、 N_2 は検流計スプールの巻線の数、 H_2 は検流計磁場の強さ、 S_2 は検流計スプール巻線の平均面積。かくて振子の偏れの角 θ 、検流計スプールのそれ φ が小さな場合、連立運動方程式は次のようになる。

$$\begin{aligned} K_1 \ddot{\theta} &= -b_1 \dot{\theta} - C_1 \theta - MR_0 \ddot{X} - G_1 I_1, \\ K_2 \ddot{\varphi} &= -b_2 \dot{\varphi} - C_2 \varphi + G_2 I_2 \end{aligned} \quad (1)$$

ここで K_1, K_2 は振子および検流計スプールの各慣

性モーメント、 $b_1 \dot{\theta}, b_2 \dot{\varphi}$ は減衰力モーメント、 $C_1 \theta, C_2 \varphi$ は準弾性力復元モーメント、 M は振子質量、 R_0 は振子重心から回転軸までの距離で、 $MR_0 \ddot{X}$ は慣性的変位モーメントである。 I_1 と I_2 値を先に示した Fig. 3 回路から決定し、振子コイル中に生ずる起電力を $e_s = G_1 \dot{\theta}$ 、また検流計スプール中の逆起電力を $e_g = -G_2 \dot{\varphi}$ であることを考慮に入れることで、周知の連立微分方程式;

$$\ddot{\theta} + 2\varepsilon_1 \dot{\theta} + n_1^2 \theta = -\frac{\ddot{X}}{l} + k \frac{K_2}{K_1} \dot{\varphi} \quad (2)$$

$$\ddot{\varphi} + 2\varepsilon_2 \dot{\varphi} + n_2^2 \varphi = k \dot{\theta}$$

が得られる。ここで

$$\begin{aligned} 2\varepsilon_1 &= \frac{b_1}{K_1} + \frac{G_1^2}{K_1} \frac{r_g + R_2 + r}{R_s + R_1 + r}, \\ 2\varepsilon_2 &= \frac{b_2}{K_2} + \frac{G_2^2}{K_2} \frac{R_s + R_1 + r}{Q^2}; \end{aligned} \quad (2a)$$

$$Q^2 = (R_s + R_1)(r_g + R_2) + (R_s + R_1)r + (r_g + R_2)r;$$

$$n_1^2 = \frac{C_1}{K_1}, \quad n_2^2 = \frac{C_2}{K_2}; \quad (2b)$$

$$l = K_1 : MR_0;$$

$$k = \frac{G_1 G_2}{K_2} \cdot \frac{r}{Q^2} \quad (k \text{ は検流計記録の伝達常数}) \quad (2c)$$

$k \frac{K_2}{K_1} \dot{\varphi}$ は振子に対する検流計の逆の reaction をあらわしている。

検流計記録理論に関する多くの論文で用いられている式は

$$\begin{aligned} k \frac{K_2}{K_1} &= \frac{G_1 G_2}{K_1} \cdot \frac{r}{Q^2} = 2\varepsilon_1 \sigma_1, \\ k &= \frac{G_1 G_2}{K_2} \cdot \frac{r}{Q^2} = 2\varepsilon_2 \sigma_2 \end{aligned}$$

である。ここで σ_1 と σ_2 は dimension のない係数である。いわゆる Coupling 係数は

$$\sigma^2 = \sigma_1 \sigma_2 = k^2 \frac{K_2}{K_1} \frac{1}{4 \varepsilon_1 \varepsilon_2}$$

で、(2a) と (2c) 式を用いることで

$$\sigma^2 = \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_{10})(\varepsilon_2 - \varepsilon_{20})}{\varepsilon_1 \varepsilon_2} \cdot \frac{r^2}{(R_s + R_1 + r)(r_g + R_2 + r)};$$

$$\varepsilon_{10} = \frac{1}{2} \frac{b_1}{K_1}; \quad \varepsilon_{20} = \frac{1}{2} \frac{b_2}{K_2}$$

であることがわかる。このことから $0 < \sigma^2 < 1$ が得られる。

さて一般型地震計は後に触れるように、常数値をかえることで、地方型地震計、脈動記録用地震計などに容易に改造し得るし、また、本地震計常数値間の関係がどのような意図から決定されたかを知るために、器械の周波数特性とその変形の式、地面変位の記録をあ

らわす式などをあげてみよう。

先の (2) 式にフーリエ積分を用いることで、記録の縦座標は

$$y = 2A_2\varphi = -k \frac{2A_2}{l} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{(i\omega)^3}{H(i\omega)} S(\omega) e^{i(\omega t + \varphi)} d\omega$$

としてあらわせる。ここで

$$H(i\omega) = \{ [(i\omega)^2 + 2\varepsilon_1 i\omega + n_1^2] \times [(i\omega)^2 + 2\varepsilon_2 i\omega + n_2^2] - 4\sigma^2 \varepsilon_1 \varepsilon_2 i\omega \}$$

である。常数值決定に必要な器械の複素周波数特性と呼ばれるものは (独立変数の一周波数 ω と器械パラメーターの一函数である)

$$\frac{(i\omega)^3}{H(i\omega)} = W(\omega) e^{i\bar{\gamma}}$$

である。ここで

$$W(\omega) = \frac{\omega^3}{\sqrt{\{\omega^4 - \omega^2 [n_1^2 + n_2^2 + 2\varepsilon_1 \varepsilon_2 (1 - \sigma^2)] + n_1^2 n_2^2\}^2 + \{2\omega [\varepsilon_2 n_1^2 + \varepsilon_1 n_2^2] - 2\omega^3 (\varepsilon_2 + \varepsilon_1)\}^2}} \quad (3)$$

$$\text{tg } \bar{\gamma} = \frac{\omega^4 - \omega^2 [n_1^2 + n_2^2 + 4\varepsilon_1 \varepsilon_2 (1 - \sigma^2)] + n_1^2 n_2^2}{2\varepsilon_1 (\varepsilon_2 n_1^2 + \varepsilon_1 n_2^2) - 2\omega^3 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} \quad (3a)$$

である。 $u_1 = \frac{n_1}{\omega}$, $u_2 = \frac{n_2}{\omega}$ とすることで

$$W(\omega) = W_0(\omega) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \xi}} = \frac{1}{2\varepsilon_2} U_1$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \xi_2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_1}}; \quad (4)$$

$$\text{tg } \bar{\gamma} = (1 + \delta) \text{tg } \bar{\gamma}_0$$

が得られる。ここで

$$W_0(\omega) = \frac{1}{\omega} U_1 U_2 = \frac{1}{n_2} U_1 u_2 U_2$$

$$= \frac{1}{2\varepsilon_2} U_1 \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_2}} = \frac{1}{2\varepsilon_1} \bar{U}_0;$$

$$U_2 = \frac{1}{\sqrt{(1 - u_2^2)^2 + 4D_2^2 u_2^2}}; \quad \xi_2 = \frac{1}{4D_2^2} \left(\frac{1}{u_2} - u_2 \right)^2;$$

$$\bar{U}_0 = U_1 \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_1}};$$

$$\text{tg } \bar{\gamma}_0 = \frac{1 + u_1^2 u_2^2 - (u_1^2 + u_2^2 + 4D_1 D_2 u_1 u_2)}{2(D_2 u_2 u_1^2 - D_1 u_1 u_2^2) - 2(D_1 u_1 + D_2 u_2)}$$

$$= \text{tg } (\gamma_1 + \gamma_2);$$

$$\text{tg } \gamma_1 = \frac{2D_1 u_1}{1 - u_1^2}; \quad \text{tg } \gamma_2 = \frac{u_2^2 - 1}{2D_2 u_2}; \quad (4a)$$

$$\xi = \sigma^2 + \frac{2(1 - u_1^2 - u_2^2 - 4D_1 D_2 u_1 u_2 + u_1^2 u_2^2)}{[(1 - u_1^2)^2 + 4D_1^2 u_1^2] \times [(1 - u_2^2)^2 + 4D_2^2 u_2^2]}$$

$$\delta = \sigma^2 \frac{4D_1 D_2 u_1 u_2}{1 + u_1^2 u_2^2 - (u_1^2 + u_2^2 + 4D_1 D_2 u_1 u_2)}$$

である。以上の関係から

$$y = k \frac{2A_2}{l} \int_0^\infty W(\omega) S(\omega) \sin(\omega t + \varphi + \bar{\gamma}) d\omega$$

が得られる。

(3) および (3a) 式、あるいは (4) および (4a) 式の関係から常数 $n_1, n_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2$, あるいは u_1, u_2, D_1, D_2 は周波数特性式の中で全く同じ形が入っていることがわかる。それ故特性、したがって器械の性能は (記録の拡大率を除外して) 振子および検流計の常数値を相互におきかえてもかわらない。たとえば、振子常数 $n_1 = a, D_1 = b$, 検流計常数 $n_2 = c, D_2 = d$ を有する器械は、その性能に関しては $n_1 = c, D_1 = d, n_2 = a, D_2 = b$ なる常数をもつ器械と同である。

次に器械常数間どのような関係があるとき、器械の記録が地面の変位;

$$X(t) = \int_0^\infty S(\omega) \sin(\omega t + \varphi) d\omega$$

に対応するかを調べてみよう。前述の (4) 式から

$$W_0(\omega) = \frac{1}{n_2} U_1 u_2 U_2 = \frac{1}{2\varepsilon_2} U_1 \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_2}} = \frac{1}{2\varepsilon_2} \bar{U}_0$$

記録の縦座標 $y = \bar{V}_1 \int_0^\infty \bar{U}_0 S(\omega) \sin(\omega t + \varphi + \bar{\gamma}_0) d\omega$

$$\left(\text{ここで } \bar{V}_1 = \frac{k}{\varepsilon_2} \frac{A_2}{l}; \quad \bar{\gamma}_0 = \gamma_1 + \gamma_2 \right)$$

であることがわかる。与えられた地震波周期区間において $\xi_2 \ll 1$ ならば、すなわち検流計が振子の運動を正しく記録し、のみならず、振子が地面の変位を正しく再現しているならば、すなわち

$$U_1 \approx 1, \quad \gamma_1 \approx 0$$

であるとき

$$\bar{U}_0 \approx 1, \quad \bar{\gamma}_0 \approx 0$$

なる関係は正しく、したがって

$$y \approx \bar{V}_1 \int_0^\infty s(\omega) \sin(\omega t + \varphi) d\omega = \bar{V}_1 X(t)$$

である。すなわち器械の記録は \bar{V}_1 倍で地面の変位と一致する。

$\xi_2 \ll 1$ の条件から検流計の好ましい T_2 値は与えられた区間 T_ω の幾何学的平均値、すなわち、 $T_2 = \sqrt{T_{\omega \max} \cdot T_{\omega \min}}$ であることが結論される。ここで $T_{\omega \max}, T_{\omega \min}$ は与えられた区間の最大および最小周期である。 D_2 値決定の条件は \bar{U}_0 が小さな値 m で U_1 とほとんど差異がないとき (与えられた区間 ω で)、(4a) 式から

$$D_2 = \frac{1}{\sqrt{8m}} \left(\frac{1}{u_{2 \min}} - u_{2 \min} \right) = \frac{1}{\sqrt{8m}} \left(u_{2 \max} - \frac{1}{u_{2 \max}} \right)$$

であることがわかる。

これらの条件を守るとき γ_2 は、与えられた区間 T_ω 全般にわたって小さいことがわかる。

かくてこの方法においては、周期と減衰は次のよう

な関係が用いられる。

$$T_1 \gg T_\omega; \quad T_1 \gg T_2;$$

$$D_2 \gg D_1; \quad D_1 < 1.$$

主要常数の決め方

振子と検流計の運動方程式 (1) 式から次のような一般式が結論され、それによって検流計記録地震計の常数値が決定できる。

$$n_1^2 = \frac{C_1}{K_1}, \quad n_2^2 = \frac{C_2}{K_2}; \quad (2b)$$

$$a_{11} = \frac{G_{11}^2}{2K_1 n_1^2};$$

$$a_2 = \frac{G_2^2}{2K_2 n_2^2}$$

そのほか (1) 式から振子コイルを通じ直流 \bar{I}_1 が、他方検流計コイルを通じ直流 \bar{I}_2 が流れるとき次の関係があることは先にも触れた。

$$C_1 \bar{\theta} = -G_{11} \bar{I}_1$$

$$C_2 \bar{\varphi} = G_2 \bar{I}_2$$

ここで $\bar{\theta}$ と $\bar{\varphi}$ はそれぞれ電流 \bar{I}_1 および \bar{I}_2 による振子ならびに検流計スプールの Static deviation である。以上の諸式から次の関係が得られる。

検流計について

$$G_2 = \frac{2a_2 \bar{I}_2}{n_2 \bar{\varphi}} = 4A_2 \cdot \frac{a_2}{n_2} P_{2A2} = 400 \cdot \frac{a_2}{n_2} P_2;$$

$$C_2 = \frac{G_2^2 \bar{I}_2^2}{\bar{\varphi}^2} = 2A_2 G_2 \cdot P_{2A2} = 200 \cdot G_2 \cdot P_2$$

$$K_2 = \frac{C_2}{n_2^2} = \frac{1}{2} \frac{C_2}{a_2 n_2}$$

ここで $P_{2A2} = \bar{I}_2 : 2\bar{\varphi} A_2$ は光学で A_2 のときの検流計の静的常数、 P_2 は $A_2 = 100 \text{ cm}$ のときの静的常数である。

振子については同じように

$$G_{11} = 2L \frac{a_1}{n_1} P_{1L};$$

$$C_1 = L \cdot G_{11} \cdot P_{1L};$$

$$K_1 = \frac{C_1}{n_1^2};$$

ここで $P_{1L} = \bar{I}_1 : \bar{\theta}$ は振子コイルの電流の強さで、磁石上指針の振子スケールへの偏れが $y_m = 1 \text{ mm}$ である。 L は回転軸から振子端にとりつけられたスケール中央部までの距離である。 $T_1, T_2, a_2, a_{11},$

l, P_2, P_{1L} の数値を経験的に決めてから、 G_{11}, G_2, K_1, K_2 量を算出する。また

$$\bar{V}_{1P} = \frac{G_1}{G_2} \frac{2A_2}{l} \frac{1}{1 + \frac{\epsilon_{20}}{\epsilon_{21}}} \frac{r}{R_s + R_1 + r} = \bar{V}_{1P} \frac{1}{\beta_1}$$

(ここで $\bar{V}_{1P} = \frac{G_1}{G_2} \frac{2A_1}{l_0} \frac{1}{1 + \frac{\epsilon_{20}}{\epsilon_{21}}}$ は総基本倍率

と呼ばれるもので、 β_1 は倍率縮小係数と呼ばれる)

および

$$\sigma^2 = \sigma_1 \sigma_2 = k^2 \frac{K_2}{K_1} \cdot \frac{1}{4\epsilon_1 \epsilon_2}$$

を用いることで V_n と σ^2 が決められる。さらに減衰常数は次の式から得られる。

振子の減衰常数は次式であらわせる。

$$D_1 = D_{10} + D_{12} + D_{11},$$

$$D_{11} = \frac{a_{11}}{R_{sII} + R_D},$$

$$a_{11} = \frac{G_{11}^2}{2K_1 n_1^2},$$

ここで D_{10} は機械的過程 (空気に対する振子の摩擦、懸垂中の内部摩擦など) による振子の運動エネルギー吸収結果による減衰部分 (しかし、無視し得るほど小さい)、 D_{12} は振子コイル中の電流とその磁石磁場との相互作用による減衰部分で、 $a_1 = \frac{G_{11}^2}{2K_1 n_1^2}$ のとき、

$D_{12} = \frac{a_1}{R_s + r_b}$ である。ここで r_b は記録する際振子が閉ぢられている時の抵抗である。また G_{12} は 2 次コイルの動電常数、 R_{sII} は 2 次コイルの抵抗、 R_D は D_1 量を調整する 2 次コイルの外部抵抗である。

以上の関係から $K_1, n_1, G_{11}, R_s, r_g, R_1, R_2, r$ が与えられたとき、 G_{12}, R_{sII}, R_D が検討でき、したがって D_1 値を得る。

検流計の場合は同様に (2a) 式より、

$$D_2 = D_{20} + \frac{a_2}{r_g + r_{b2}},$$

$$a_2 = \frac{G_2^2}{2K_2} \frac{1}{n_2},$$

の関係式が得られる。ここで r_{b2} は記録する際検流計が閉じている時の抵抗で、また D_{20} は無視し得るほど小さく、したがって

$$D_2 \approx \frac{a_2}{r_g + r_{b2}}$$

と考えることで、検流計減衰値が得られる。(つづく)