氣象集誌

第二輯 第十八卷 第四號

論文

長週期變位地震計の製作(第一報)*

和達清夫, 山本武夫

§1. 序言 本研究は曩に發表せる「長週期地震計の製作」⁽¹⁾に引續くものである。前者は、地震計の振子にコイルを付し、之を磁場内に置き、地震動によつて、コイルに誘起せらるゝ電壓變化に真空管増幅を施して、その最終段回路に挿入せる特殊電流計によつて、煙煙紙上に機械的に記象せしむるものであつた。従つて此の擴大装置による記象は、原則的に地震計母體の振子の速度に比例することになり、週期の大なる地動に對して、感度が著しく鈍る缺點があつた。今回の改良の主目的は、この缺點を除かんとする點にあるのであつて、即ち、地震計の振子の變位に比例した電壓變化を、真空管増幅法によつて、高倍率を付して、煤書に記象せしめんとする一つの試みである。この目的のためには、光電管を用ふるのも一つの方法であるが、筆者等は、先づ、次の如き方法を試みて見た。これは「液體抵抗ポテンチオメトリック法」とも呼ぶべきものであつて、一定微弱電流を通した液體の中に、地震計の振子より白金線を垂下して置くと、地震動によつて白金線が液中を移動する場合、白金線の電位の變化が、大體、その白金線が固定してある地震計振子の變位に比例することを利用する方法である。地震計母體としては、前回の場合をそのまま踏襲し、ガリチン式水平動振子型地震計であつて、現在用ひてゐる地震計の自己週期は 15 秒~20 秒のところである。真空管増幅器はプシフル二段、即ち真空管 4 個を使用する。

基本倍率は、500~1000 程度である。吾々はこの方法を日常觀測用として用ゐ多くの觀測例を得てゐる。

§2. 起電部分に就て この地震計の起電部分として用ゐる微弱電流を通ずる液體には、次の諸點が要求せられる譯である。

(i) 液體内の電位傾度が一定且大なること。

* K. Wadati und T. Yamamoto: Über den Aufbau des langperiodischen Seismometers.
之れは災害科學研究所第一部に於てなされたものである。

(1) 和達清夫, 川瀬二郎: 長週期地震計の製作(第一報), 氣象集誌. 第 2 輯, 第 14 卷, 第 8 號; 和達清夫, 桑野眞弓: 同(第二報), 同誌. 第 15 卷, 第 10 號。

(ii) 電解作用が著しくなく従つて恒久性を有すること。

(iii) 蒸發しないこと。

扱、吾々が現在用ゐてゐるものは、第 1 圖の如く、内徑 1 厘位のガラス管内に、約 3.5 厘距て

銀電極を置き、その電極の前 0.5 厘位のところへ、厚さ 1 耗乃至 2 耗の素焼の壁を、赤チャンでガラス管内壁に堅めて固定する。この素焼壁の内部には市販のグリセリン液、その外側即ち電極の部分には、グリセリンに極めて稀釋せる硝酸銀溶液を加へたものを充した。この電極

に加へる電壓は 24 Volt, 電流は 20×10^{-6} Amp. 程度である。液體として、蒸溜水、水道の水等は、微弱電流を通じて置くと氣泡を生じ液體內の電位傾度を急激に變化せしめるため不適當であつた。第 2 圖は、種々の液體を用ゐた場合、その電位分布を纖維電位計で測定して見た大體の結果を示したものである。猶素焼壁を作る代りに、電極の外側に更に高壓電極を設け、液體としては、グリセリンに硝酸銀稀釋液を加へたものを充した場合を試みた。かくすることによつて、内側の電極間の電位傾度を大きくすることは出来るが、恒久性といふ點に於て、前者に著しく劣る様である。以上述べて來た液體中に、地震計母體の振子より白金線を垂下するのである。白金線を固定する部分は、エボナイトで作り、之を地震計より絶縁してある。而して、之等の白金線は、増幅器の第一真空管のグリッド回路に連結せられる。白金線を固定せる點 W_1, W_2 の幾何倍率は、夫々 $\mathfrak{B}_1=3.5$, $\mathfrak{B}_2=3.1$ である。

第 1 圖 長週期地震計に液體抵抗を用ゐた増幅法を施し高倍率の機械記象を得る圖

第 2 圖 液體抵抗内の電位分布

- I: 稀硝酸銀溶液の素焼壁内にグリセリンを充たした場合
 II: 硝酸銀溶液+グリセリン
 III: グリセリン
 IV: 水道水

次に問題となるのは白金線の運動と液體粘性との関係である。白金線の運動に對する粘性抵抗を小さくするためには、出来るだけ細い白金線を用ふればよい。吾々が現在用ふる程度の自己週期で地震計を働かす場合、直徑 0.1 耗位ならよいが、直徑 0.4 耗なら相當液體の粘性抵抗が利いて来る。但し、直徑 0.1 耗以下では線が弱くて撓む恐れがある。然しこの場合、液體の粘性抵抗は、大體制振作用として働いてゐるので、摩擦としてでは無いやうである。(1)

§ 3. 増幅器及び記録装置に就て 増幅器記録装置は第 3 圖の配線圖に示す如くである。増幅器の第一真空管のグリッド回路に、起電部分の白金線を連結するのであるが、この際兩者の距離は相當離れてゐても差支へない。

然し導線にはシールド線を用ゐ、外部は地絡する必要がある。吾々が日常觀測を試みた場合は、地震計室に、地震計母體を置き、増幅器記録装置は之より約 8 米距つた實驗室に置いた。

電壓増幅器は抵抗結合ブシプル型二段増幅である。第一真空管のグリッド回路に蓄電器を入れたのは、地

第 3 圖

増幅装置配線圖

震計振子の零點が地盤傾斜等のため移動することがあるが、かゝる長い時間の零點移動を記録せず、單に地震等(週期が長くとも一分以内程度)の地動による電壓變化のみを記録せんとする工夫に基づくものである。使用球は第一段に Philips 228, 第二段に同 217 を用ひた。電源は第一段には蓄電池を用ゐ、第二段には、交流電源を用ゐた。自記電流計は前回に製作せるものと同一である。刻時は最終段の外部抵抗の一部を一分毎に時計によつて短絡することによつて自記電流計をして記象せしめること前回の場合と同一である。上述の起電及び増幅の機能が長期の使用に際して如何なる状態にあるかを檢するためには、鉛の散彈がガラス管を通つて一定の高さより落下し重錘の一部分に一定方向より衝突し、それによる振子の運動を、自記電流計が如何に記象するかを見る方法によつた。然しこの檢定方法は、事實上、極めて大略なもので、此の場合、振子の變位は、時に 1 割程度の偏差を伴ふ。

(1) 地震計の週期 13.5 秒、白金線直徑 0.4 耗の場合、自由振動をさせた場合に得る減衰比は、(1) 白金線を深く漬けた場合 1.35 位、(2) 深く入れた場合は 2.0 位で相次ぐ振幅より得る減衰比が略一定である。

§4. 振子の運動と記象との比較 地震計振子にアルミニウムの細い棒を固定し、鉛の散弾を重錘に衝撃せしめた場合の、其の尖端の變位を十倍の顯微鏡で読み取り、この讀取と、自記電流計 ($R_G=50K\Omega$ の場合) の振れによつて得られた記象とを比較すると第4圖の如くである。大體よく比例してゐると言つてよい。(觀測値省略)

第4圖 振子の運動と記象との比較する圖

[A] A 電流計の描針による記象
[B] 顯微鏡による振子の運動の讀取

次に振子の運動と記録電流計描針の運動との位相差を知るためには、鉛の散弾を衝突せしめた振子の運動を顯微鏡によつて見ながら、適時スイッチを手で押し、之によつて、増幅器最終段の回路の一部を短絡することによつて記象にしるしを入れ、之を顯微鏡で見た振子の運動と比較する方法を用いた。第5圖に於て、○、△は振子の振れの中央の位置 ($\theta=0$)、×、* は兩端の位置 ($\dot{\theta}=0$) である。之に就いて見ると、この場合は振子の運動に對して記象の方が少し lead してゐることが分る。

第5圖 記録電流計描針の運動の地震計振子の運動に對する位相差を示す圖

§5. 振動倍率及び相差の計算 地震動を次の如き正弦波と假定する。

$$f(t) = x_m \sin(pt + \delta). \quad (1)$$

(i) 地震計の運動を示す方程式は

$$\frac{d^2a}{dt^2} + 2\varepsilon_1 \frac{da}{dt} + n_1^2 a = -\mathfrak{B} \frac{d^2f(t)}{dt^2}. \quad (2)$$

こゝで a は液中に垂下せる白金線の變位、 $\mathfrak{B}$ は白金線を固定せる場所の動きに對する幾何倍率に相當するもの、 ε_1, n_1 は通常用ひらるゝ意味の地震計の常數であるが、制振係數 ε_1 には、白金線が垂下してゐる液體の粘性抵抗も含まれてゐる。上式の解は定常狀態に於て

$$\left. \begin{aligned} a &= \mathfrak{B} x_m W_1 \sin(pt + \delta - \alpha_1), \\ \text{但し} \quad \alpha_1 &= \tan^{-1} \frac{2\varepsilon_1 p}{n_1^2 - p^2}, \quad W_1 = \frac{p^2}{\sqrt{(n_1^2 - p^2)^2 + 4\varepsilon_1^2 p^2}}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(ii) 起電部分に誘起せらるゝ電壓 今液體の單位長の電氣抵抗を r_1 液中の電極の距離を L 、電極に加ふる電壓を V とし、微弱電流による逆動電力を無視すると、起電部分第1圖 P₁ 部の等價回路として第6圖の如きものを考へることが出来る。第6圖に於て、地震計振子の運動によつて液中に垂下せる白金線を流れる交流を複素數表示を用ゐて i_0 、液體抵抗に流入する電流を i_1 、液體抵抗より流出する電流を i_2 とし、今白金線の尖端 P が液體抵抗の中心より a だけ左に偏つてゐる

とすると、次の如き關係式が成立つ。

$$\left. \begin{aligned} i_1 r_1 \left(\frac{L}{2} - a \right) + i_2 r_1 \left(\frac{L}{2} + a \right) &= V, \\ i_1 r_1 \left(\frac{L}{2} - a \right) + i_g \left(R_g - j \frac{1}{c_g p} \right) &= \frac{V}{2}, \\ i_2 &= i_1 - i_g. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

上の三式より

$$i_g = \frac{V a}{R_g L} \frac{\left[1 + \frac{R_1}{R_g} \left\{ \left(\frac{1}{2} \right)^2 - \left(\frac{a}{L} \right)^2 \right\} \right] + j \frac{1}{c_g p R_g}}{\left[1 + \frac{R_1}{R_g} \left\{ \left(\frac{1}{2} \right)^2 - \left(\frac{a}{L} \right)^2 \right\} \right]^2 + \left(\frac{1}{c_g p R_g} \right)^2},$$

但し $r_1 L = R_1$ と置く。

$$\frac{a}{L} \ll 1 \text{ であるから} \quad i_g = \frac{V a}{R_g L} \frac{\left(1 + \frac{R_1}{4 R_g} \right) + j \left(\frac{1}{c_g p R_g} \right)}{\left(1 + \frac{R_1}{4 R_g} \right)^2 + \left(\frac{1}{c_g p R_g} \right)^2}.$$

従つて第一段真空管 V_1 の Grid leak に誘起せらるゝ電壓

$$v_g \text{ は} \quad v_g = i_g R_g \quad (5)$$

より求められる。

起電部分 P_2 部に就いては、第 6 圖に於て電極に加へる電壓 V の符號を逆にし、白金線の變位 a を a' に換へればよい。即ち第一段真空管 V_1' の前述のもの v_g' はかくして得られる。

諸 a, a' は夫々 $a = \mathfrak{Z}_1 x_m W_1 \sin(pt + \delta - \alpha)$,

$$a' = \mathfrak{Z}_2 x_m W_1 \sin(pt + \delta - \alpha)$$

であり、以上の起電部分の回路のために生ずる相差は

$$\beta_0 = \tan^{-1} \frac{1}{\frac{c_g p R_g}{\left(1 + \frac{R L}{4 R_g} \right)}} \text{ (lead)} \quad (6)$$

である。

(iii) 増幅器及び記録電流計増幅は第 3 圖に示す如く、抵抗結合二段プンプル型配線である。今第一段の真空管 V_1, V_1' のグリッド電位が、夫々、(5), (6) 式に従つて、 v_g, v_g' だけ變化した場合、最終段の記録電流計を含む分路を流れる電流は次式で示すことが出来る。

$$i_g = \frac{\mu_1 \mu_2 (v_g + v_g')}{z_2'} \left(\frac{z_1}{r_1 + z_1} \right) \left(\frac{z_2}{r_2 + z_2} \right). \quad (7)$$

第 6 圖 起電部分第 1 圖 A 部の等價回路

但し, μ_1 : 第一真空管の増幅率, r_1 : 第一真空管の内部抵抗 (V_1, V_1' を合せて考へる), z_1 : 第一真空管の負荷合成イムピーダンス ("), z_2 : 記録電流計を含む分路のイムピーダンス.

(第二段にも同一記號接尾數字を 2 に換へたものを適用する) (7) 式に於て

$$\left| \frac{z_1}{r_1 + z_1} \right| = \frac{R_1}{\sqrt{(r_1 + R_1)^2 + (r_1 R_1 c_1 p)^2}}, \quad \beta_1 = \tan^{-1} \frac{r_1 R_1 c_1 p}{r_1 + R_1}, \quad (\text{lag}) \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} \left| \frac{z_2}{r_2 + z_2} \right| &= \frac{R_2}{\sqrt{(r_2 + R_2 + r_2 R_2 R_G c_G^2 p^2 X)^2 + (c_G p r_2 R_2 X)^2}}, \\ \beta_2 &= \tan^{-1} \frac{c_G p r_2 R_2 X}{r_2 + R_2 + r_2 R_2 R_G c_G^2 p^2 X} \quad (\text{lag}), \\ \text{但し } X &= \frac{1}{1 + R_G^2 c_G^2 p^2}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\left| \frac{1}{z_2'} \right| = \frac{1}{\sqrt{R_G^2 + \frac{1}{c_G p^2}}}, \quad \beta_3 = \tan^{-1} \frac{1}{c_G p R_G} \quad (\text{lead}). \quad (10)$$

電流計の描針の動きを y とすれば, 運動の式は

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\varepsilon_2 \frac{dy}{dt} + n_2^2 y = ki. \quad (11)$$

但し, i は電流計を流れる振動電流で, この場合

$$i = |i_G| \sin(pt - \gamma)$$

で表はされるとすれば, (11) 式の定常解は

$$\left. \begin{aligned} y &= k|i_G|W_2 \sin(pt - \gamma - \beta_G), \\ W_2 &= \frac{1}{\sqrt{(n_2^2 - p^2)^2 + 4\varepsilon_2^2 p^2}}, \quad \beta_G = \tan^{-1} \frac{2\varepsilon_2 p}{n_2^2 - p^2}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

上式に於て, 係数 k は實驗的に求められる値である. (12) 式に上に求められた諸式を入れることにより, 地面の定常運動に對する記録電流計描針の運動の振幅 y_m 及び地動に對する位相の遅れ θ を, 夫々次の如くあらはすことが出来る.

$$\begin{aligned} y_m &= k|i_G|W_2 \\ &= kW_1 W_2 \mu_1 \mu_2 \frac{V}{L} (\mathfrak{B}_1 + \mathfrak{B}_2) \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{R_2}{4R_G}\right)^2 + \left(\frac{1}{c_G p R_G}\right)^2}} \frac{1}{\sqrt{R_G^2 + \frac{1}{c_G p^2}}} \\ &\quad \times \frac{R_1}{\sqrt{(r_1 + R_1)^2 + (r_1 R_1 c_1 p)^2}} \frac{R_2}{\sqrt{(r_2 + R_2 + r_2 R_2 R_G c_G^2 p^2 X)^2 + (c_G p r_2 R_2 X)^2}} x_m, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\theta = \alpha_1 - \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + \beta_G$$

$$= \tan^{-1} \frac{2\varepsilon_1 p}{n_1^2 - p^2} - \tan^{-1} \frac{c_G p R_G}{\left(1 + \frac{R_L}{4R_G}\right)} + \tan^{-1} \frac{r_1 R_1 c_1 p}{r_1 + R_1}$$

$$+ \tan^{-1} \frac{c_G p r_2 R_2 X}{r_2 + R_2 + r_2 R_2 R_G c_G^2 p^2 X} - \tan^{-1} \frac{1}{c_G p R_G} + \tan^{-1} \frac{2 \varepsilon_2 p}{n_2^2 - p^2} \quad (13)$$

現在用ゐつゝある地震計母體，増幅器，記録電流計の常數を用ひて，(12) 式 (13) 式を計算すると，本地震計の倍率曲線及び相差曲線が得られる。第 7 圖 (A), (B) に示す如くである。

第 7 圖 (A) 倍率曲線 ($T_G = 20^s$, $\nu = 5$)

第 7 圖 (B) 相差關係

次に，増幅機能が果して上述の計算値通りに實際に行はれてゐるかどうかを検定するために，前回⁽¹⁾と同じ方法によつて第一真空管のグリッドの電位を種々の週期を持つ正弦變化をなさしめ，かくの如くして實驗的に求めた曲線を計算値によつて得られた曲線と比較したものが第 8 圖である。大體よく一致してゐると云ふことが出来る。

§ 6. 倍率の變化 この地震計は長期間の使用に際して第 9 圖に示す如く徐々に倍率が低下

第 8 圖 増幅器及び記録電流計による増幅曲線及び位相差曲線の檢定を示す圖

(1) 前掲。

第 10 圖 ウキーヘルト地震計 (週期 6 秒, 倍率 95) 及び液体抵抗地震計 (1937 年 12 月 23 日 23 時頃の地震)

第 9 圖

する。之は、起電部分に於て、微弱電流によつて逆動電力を生じ、爲に發電能力が減するのに因る。勿論この變化は一つの地震の首尾に於て、その倍率が變るといふ如き急激なものではないが、この缺點は現在まで根本的に取除くことは出来なかつた。但し 1 日毎に起電部分の電源の方向を切換へることによつて、大體恒常の倍率で働かすことが出来る。

§7. 観測の實例 多數の観測例の中、中距離地震及び遠地震の例を夫々圖版第一 (I), (II) によつて示す。今之を、ウキーヘルト地震計による記象に比較して見るに、(I) に就いては、初動方向の明瞭に出てゐる點 (II) に於ては、本地震計が遠震に對して極めて威力を有することが明らかであると思ふ。

§8. 考察及び結語 以上記述し來つた結果を要約すると次の如くである。

- (1) 速度地震計でなく變位地震計に近い點は前回のマグネツトに依るものより良い。
- (2) 増幅器による少しの Phase lag は致し方ない。
- (3) 倍率の變化することは問題である。適當した何かよい化合物の選擇が必要である。この點御教示を仰ぎたいと思ふ。
- (4) 液體中の微弱電流が定常狀態に達するまでにかなり時間を要し、從つて set する迄直ぐに用ゐられないと云ふ缺點がある。

終りに臨み本實驗に御援助を賜りし桑野眞弓氏、圖表作製に御助力を與へられし若林氏、其の他諸氏に對して厚く感謝の意を表する。

颱風域内に於ける諸種氣象要素の分布*

高 橋 浩 一 郎

半年程前に筆者は颱風域内の氣壓分布、風速分布などに関し調査した結果⁽¹⁾を報告したが、今回はその後調査した結果、即ち降水量、気温、濕度などの分布、それ等の要素と颱風の力學的諸性質との間の關係などを此處に述べたい。猶、今回も勿論颱風は圓對稱と假定し、從つて各氣象要素は中心からの距離だけの函數とした。

1. 降水量の分布 颱風域内に於て降水量は中心に近い程多い事は良く知られた事實であり、その分布を表す實驗式として既に堀口博士の双曲線式がある。⁽²⁾ 元來降水量はいろいろの影響、例へば地形の影響などをひどく受けるから颱風だけの影響を精確に抽出する事は甚だ困難である。此處では極く一般的傾向を調べる爲、中心示度が 725 耗から 735 耗の颱風を撰び出し、各地の一日降水量と中心迄の距離との關係を圖示して見た。その結果が第 1 圖である。點はひどくばらつくが兎角中心より 250 耗以内では降水量が多く、その外では非常に少い。そして此の關係は略次の實驗式で表される。

$$m = \frac{m_0}{1 + (r/r_m)^2}, \quad (1.1)$$

但し、 m は一日の降水量、 r は颱風の中心から計つた距離、 m_0, r_m は或る常數である。なほ m_0 は颱風の中心に於ける降水量で、上例では 150 耗であり、 r_m は 220 耗である。此の (1.1) なる實驗式は中心示度が變化しても成立し、ただ常數 m_0 が違ふだけのようである。例へば中心示度が 720 耗前後の場合に就いても調べて見たが類似の結果を得た。

次に中心に於ける降水量 m_0 は中心示度に依つて異り、示度が深ければ深い程降水量は多いらしい。中心示度別に中心近くの地點の降水量の平均を作つた結果は次の表の如くである。

* K. Takahasi: Distribution of Various Meteorological Elements in a Typhoon. 中央氣象臺彙報.

(1) 本誌, 17, 417-421, 1939.

(2) Y. Horiguti: Life-history of the Typhoon on the End of March 1923. Mem. Imp. Mar. Obs. 2, No. 1, 1925.