

ウィーヘルト地震計について*

矢 崎 敬 三**

§ 1. は し が き

ウィーヘルト式地震計については既に鷺坂氏が実験にもとづいて、水平動成分の性能、特に週期の調整について論ぜられて居り⁽¹⁾、又本間氏が水平動成分の常数間の関係特に制振度並びに摩擦値と週期との関係ついて⁽²⁾、及び上下動成分の吊りばねの質量の影響について⁽³⁾論ぜられて居る⁽⁴⁾。

此処には、ウィーヘルト地震計をその構造の上から性能について検討して見る事とした。

§ 2. 水平動成分について

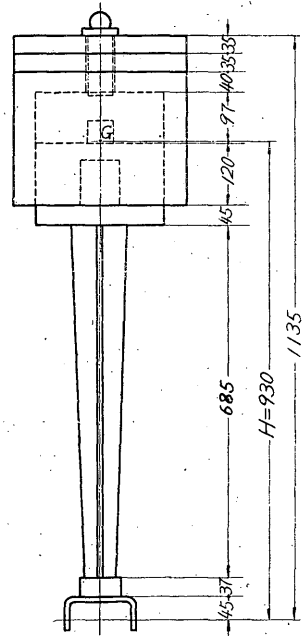
水平動成分には重錘の質量 1 ton のもの、200 kg のもの等があり、200 kg のものにも Göttingen 型といはれる輸入品と、国産品の Ares 型とがあり、殆んど似通よつては居るものゝ相異したところもあつて、一括して述べるわけにはゆかないが、此処には諸元を実測した Ares 型の 1 台に基いて述べる事にする。その重錘の構造は第 1 図に示してある。之から求められる諸元は次の通りである。

廻転軸から重心迄の高さ	$H = 93\text{cm}$
重錘の質量	$M = 200\text{kg}$
重錘のみの慣性モーメント	$I_0 = 1.74 \times 10^9 \text{ gr-cm}^2$

a. ばねの弾性とそれに伴う振幅の制限

先づばねの弾性に関連して、重錘はどれ程の振れ角まで許されるかを検べて見る。

第 2 図において、重錘が鉛直から θ_2 だけ傾くと、ばね S_1 及び S_2 には彎曲によつてその内部に bending stress を生ずる。此の応力はばねの中立面の片側では引張応力として、他の側では圧縮応力として働き、その値は次の式で表はされる。



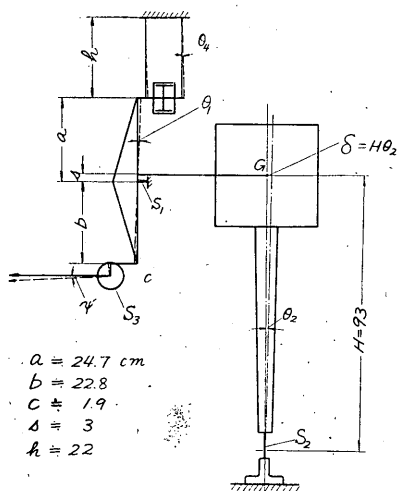
unit: mm

Fig. 1

** 気象測器工場

* 1952年10月気象研究発表会にて発表

- (1) 鷺坂清信：ウィーヘルト式地震計の週期の調整について、測候時報 第3巻 第34号
- (2) 本間正作：ウィーヘルト式地震計の常数間の関係、験震時報 第14巻 第1号
- (3) 同 上：上下動地震計の吊りばねの質量の影響、同 上
- (4) 尚ほ長宗留男：Ewing 型上下動地震計の補助重錘について、験震時報 第16巻 第3—4号がある。



$a = 24.7 \text{ cm}$
 $b = 22.8$
 $c = 1.9$
 $d = 3$
 $h = 22$

Fig. 2

$$\sigma_b = \frac{L}{I_s z}$$

L : 作用するモーメント

I_s : 主要軸の周りの断面の慣性モーメント

z : 中性軸から応力を求めようとする点までの距離

従つて $\sigma_b \text{ max.}$ は $z \text{ max.}$ の面, 即ち此処では板ばねの表面に生じ此の場合ばねの厚さを h とすれば,

$$z \text{ max.} = \frac{1}{2} h, I_s = \frac{1}{12} b h^3$$

b : ばねの幅

であるから

$$\sigma_b \text{ max.} = \frac{L}{I_s / z \text{ max.}} \quad (1)$$

さて, 振子が θ_2 だけ振れた時の釣合の式を書くと⁽¹⁾, 第3図より

$$EI_{s2} \frac{d^2 y}{dx^2} = L = P(l-x) + K\theta(l-x) - K(\delta-y) \quad (2)$$

之より

$$\theta_{2x} = \frac{P}{K} \{ \cosh ql - \cosh q(l-x) \}, \quad q = \sqrt{\frac{K}{EI_{s2}}}$$

$$x=l \text{ で } \theta_2 = \frac{P}{K} (\cosh ql - 1) \quad (3)$$

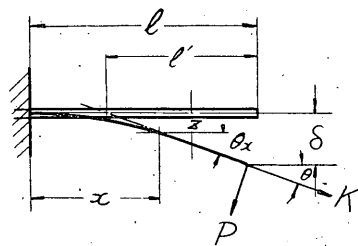


Fig. 3

が得られる。

$\sigma_b \text{ max.}$ は $L \text{ max.}$ の処に生じ, $L \text{ max.}$ は $x=0$ の処に生ずる。(2) 式より

$$L \text{ max.} = Pl + K\theta_2 l - K\delta \quad (4)$$

(1), (4) 式より

$$\sigma_{b2} \text{ max.} = \frac{L_2 \text{ max.}}{I_s / z \text{ max.}} = \frac{Pl + K\theta_2 l - K\delta}{I_s / z \text{ max.}} \quad (5)$$

且つ

$$\delta / \theta_2 = \frac{l \left(\cosh ql - \frac{\sinh ql}{ql} \right)}{\cosh ql - 1} \quad (6)$$

(5) 式に (3), (6) 式を代入し

(1) 萩原尊礼: 地震 第4巻 (昭7), 或は振動測定 p. 125

* I_{s2} 等の suffix はばね S_2 に関するものを示す。以下同様

$$\sigma_{b_2 \max.} = \frac{K \theta_2 l \left\{ 1 + \frac{1}{\cosh ql - 1} \frac{\cosh ql - \frac{\sinh ql}{ql}}{\cosh ql - 1} \right\}}{I_{s_2}/z_{\max.}} \quad (7)$$

さて、実測した板ばね S_2 の諸元は

	長さ l	幅 b	厚さ h in cm
ばね S_2	1.3	1.0	0.05

$K=50$ kg-wt. (4枚のばねに 200 kg-wt. が等分にかかる)

であるから、

$$I_{s_2} = \frac{1}{12} b h^3 = 1.04 \times 10^{-5} \text{ cm}^4$$

$$I_{s_2}/z_{\max.} = 0.416 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

$$q = \sqrt{\frac{K}{EI_{s_2}}} = 1.496$$

$$ql = 1.945$$

之等を (7) 式に代入し

$$\sigma_{b_2 \max.} = 107 \times 10^3 \theta_2 \quad (8)$$

板ばね用鋼に熱処理を施したものの弾性限 (elastic limit) は 90 kg/mm² 位に考えてよいか
ら⁽¹⁾、之を (8) 式に代入すれば弾性限内で作用すべき限界の振れ角度、即ち $\theta_{2 \max.} = \Theta_2$ は、

$$\Theta_2 = 8.4 \times 10^{-2} \text{ rad} (\approx 5^\circ) \quad (9)$$

となる。

従つて重錘の重心の displacement は

$$H \Theta_2 = 93 \times 8.4 \times 10^{-2} = 7.8 \text{ cm} \quad (10)$$

迄弾性限内で許される事になる。

次にばね S_1 について考えるに、振子が θ_2 だけ傾くと、ばね S_1 の曲り θ_1 は

$$\frac{H \theta_2}{s} = \theta_1 \quad (11)$$

の関係で表はされる。

ばね S_2 の場合と同様に

$$\sigma_{b_1} = \frac{L_1}{I_{s_1}/z_1} \quad (12)$$

(2) 式に相当して

$$EI_{s_1} \frac{d^2 y}{dx^2} = L = P_1(l-x) \quad (13)$$

之より

$$\theta_1 = \frac{P_1 l_1^3}{2EI_{s_1}} = \frac{L_1 l_1}{2EI_{s_1}} \quad (14)$$

(1) JES 金属 4801, バネ鋼第 3 種焼入焼戻の場合の値, その他より

(12), (14) 式より

$$\theta_1 = \frac{\sigma_{b1}(I_{s1}/z_1)l_1}{2EI_{s1}} = \frac{\sigma_{b1}l_1}{2Ez_1} = \frac{\sigma_{b1}l_1}{Eh_1} \quad (15)$$

ばね S_1 については

	l_1	b_1	h_1	in cm
ばね S_1	0.9	0.35	0.05	

之よりばね S_2 についてと同様に $\sigma_{b1 \max.} = 90 \text{ kg/mm}^2$ とし

$$\Theta_1 = \frac{\sigma_{b1 \max.} l_1}{Eh_1} = 7.71 \times 10^{-3} \text{ rad. } (\approx 4.6^\circ) \quad (16)$$

ばね S_1, S_2 を組合せた時、ばね S_1 が弾性限を越えないような振子の振れ、即ちばね S_2 の振れ角を Θ_2' とすると、(11) 式より

$$\Theta_2' = \frac{s}{H} \Theta_1 = 2.31 \times 10^{-3} \text{ rad. } (\approx 0.14^\circ) \quad (17)$$

となつて、先に求めた Θ_2 の値と比較すると、 Θ_2' の方が遙かに小さい。従つてばね S_1, S_2 の系に於て許される S_2 の振れ角は Θ_2' より小さくなくてはならない。此の振れを重心の displacement に直してみると、

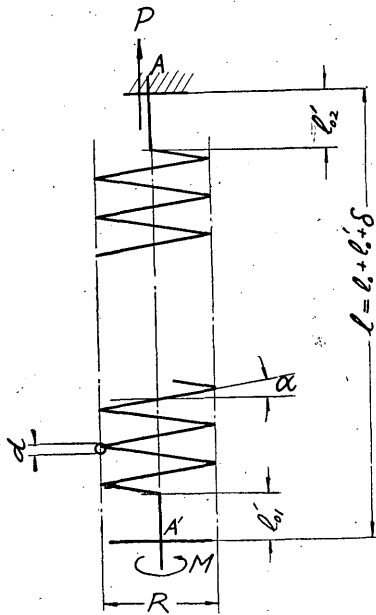
$$H \Theta_2' = 0.215 \text{ cm.}$$

になる。

此処で注意しなければならないのは、ばね S_1, S_2 は夫々それ自体で約 $4.6^\circ, 5^\circ$ の振れ角以上に曲げると、例え弾性限が永久歪 0.003% を生ずる応力として規定されて居るにもせよ、此の限界を越す事になり一度此の限界を越すと永久歪を生じ、再び元の形に戻らなくなる。従つて永久歪を生じたやうなばねを取り付けたのでは完全に対称な振動を期待する事は出来ないわけであるから、ばねの取扱いの際には此の点に充分留意しなければならない。

次に描針の廻転軸部分にある蔓巻ばね、所謂提灯ばねについて考えて見る事にする。

此のばねは第 4 図に示されて居る様に、小さな初張力 (initial force) な与えられて set されて居るもの



$$l_0 = nd$$

$$l'_0 = l'_{01} + l'_{02}$$

Fig. 4

を一定の長さに引伸して固定取付けし、此のばねのコイル中心線の周りに振り運動をさせる様に用いて居る。従つて使用状態では此のばねにはコイル中心線方向の張力と、中心線の周りの振り力とが働いて居る事になる。

ばねの常数を次の如く定める。

n : 巻数 L : ばね素線の全長

d : 素線径 α : 蔓巻角

R : コイル半径 P : 引張力

W : 振力 (ばねのコイル周上に tangential にかゝるものとする)

δ : コイル中心線方向へのばねの伸び

さて、引張荷重に依る内力は⁽¹⁾ (σ は引張応力、 τ は剪断応力)

$$\sigma_c = \frac{16PR}{\pi d^3} (1 + \sin \alpha) \tag{18}$$

$$\tau_c = \frac{16PR}{\pi d^3} \tag{19}$$

$$\delta_c = PR^2 L \left(\frac{\cos^2 \alpha}{G I_P} + \frac{\sin^2 \alpha}{EI} \right) \quad L = \frac{2\pi Rn}{\cos \alpha} \tag{20}$$

振力に依る内力は

$$\sigma_t = \frac{16WR}{\pi d^3} (1 + \cos \alpha) \tag{21}$$

$$\tau_t = \frac{16WR^2}{\pi d^3} \tag{22}$$

$$\delta_t = WR^2 L \left(\frac{\sin^2 \alpha}{G I_P} + \frac{\cos^2 \alpha}{EI} \right) \tag{23}$$

従つて使用状態ではばねの内部に生ずる応力は

$$\sigma = \sigma_c + \sigma_t \tag{24}$$

$$\tau = \tau_c + \tau_t \tag{25}$$

となる。

此の蔓巻ばねには燐青銅が用いられて居て、ばねの諸元は

d	R	n	l_0	l'_0	l	α	δ	L	in cm
0.03	0.6	8	0.25	2.65	4.1	約 11°	1.45	30.7	

$$\sin \alpha = 0.1908, \quad \cos \alpha = 0.9816$$

$$E = 1.22 \times 10^4 \text{ kg-wt/mm}^2$$

$$G = 0.445 \times 10^4 \text{ kg-wt/mm}^2$$

$$I_P = \frac{\pi}{32} d^4 = \frac{\pi}{32} \times 3^4 \times 10^{-8} \text{ cm}^4$$

(1) 以下蔓巻ばねの諸公式については 服部宗三：ばね に詳しい。

$$I = \frac{\pi}{64} d^4 = \frac{\pi}{64} \times 3^4 \times 10^{-8} \text{ cm}^4$$

之等の値を (20) 式に代入し、

$$P = 0.0044 \text{ kg}$$

$$(18) \text{ 式より } \sigma_e = \frac{16PR}{\pi d^3} (1 + \sin \alpha) = 5.93 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

ばねの弾性限を $\sigma_{\text{max.}} = 4.7 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$, $\tau_{\text{max.}} = 3.5 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ ⁽¹⁾ とすると (24) 式より

$$\sigma_{t \text{ max.}} = \sigma_{\text{max.}} - \sigma_e = 4.1 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

ばねの内部に生ずる応力が弾性限内にあるような範囲で、ばねにどの位の振り角が与えられるかを求めて見よう。(21) 式より

$$W_{\text{max.}} = 0.0183 \text{ kg}$$

ばねに振りモーメント $M = WR$ が働いたときばねの自由端が中心軸の周りに振れる角度は次の式で表はされる。

$$\psi' = LM \left(\frac{\sin^2 \alpha}{GI_P} + \frac{\cos^2 \alpha}{EI} \right) \quad (26)$$

(26) 式によつて $W_{\text{max.}}$ に相当する $\psi'_{\text{max.}}$ を求めて見ると、

$$\psi'_{\text{max.}} = 2.24\pi$$

実際の使用状態ではばねをこんなに振る事はないから使用に当つてはばねの内部に生ずる応力が elastic limit を越す事はないと考えられる。

しかし、実際に組立てる際には描針の free の位置を中心線 (neutral line) より略々 30° 外れた位置にして置き、アルミ杆の長さを調節して振子との間を連結し、ばね S_1 , S_2 の力と、約 30° のひねれによつて蔓巻ばね S_3 に生ずる振力とを丁度 neutral line の位置で釣合せて居る。従つて振子全体の系は此の非対称力を受け乍ら釣合の位置を保つて居るわけで、完全な中立の姿勢にはないわけである。

此の 30° の振れ角を重錘の重心の変位に換算して見ると、第 2 図の諸元から

$$\delta = c \times \frac{1}{6} \pi \times \frac{s}{b} = 0.13 \text{ cm}$$

之に相当するばね S_2 の振れ角は

$$\Theta_2' = \delta/H = 1.4 \times 10^{-3} \text{ rad.}$$

で Θ_2' の値に比較すると 60% に相当する。そして先づ、statical に考えて描針の動きが振子の振動に完全に追従する要件として、描針側とアルミ翼側とが常にアルミ杆を介して及ぼしあつて居る推力が 0 にならない事が一つにあげられるから、振子の振動の範囲は $1.4 \times 10^{-3} \text{ rad.}$ ($\approx 0.084^\circ$)

(1) JES 金属 6571 磷青銅線、引張強さ 85 kg/mm^2 に対し弾性限とこれの 55% 位に見込む。他の資料よりして大体妥当な値と思はれる。

以内であるべきである。之は重心の displacement に直すと、約 1.3 mm となる。此の許されるべき displacement の値から考えると、実際に地震の際にアルミ杆が落ちて、記象が得られなくなるのは、記象紙上の振幅は 1.3 mm × V (倍率) を 80 mm も 90 mm もの大きさには許せないので振れ止めねぢで displacement の大きさを 1.3 mm よりも小さくおさえてある。そのために之より大きい displacement のあつた時、振子は振れ止めへ当り、その時間に描針は慣性のために更に大きな振幅を描く方向に振れ、それが上記の 1.3 mm に相当するより大きなものになつて、アルミ杆が落ち、一種の安全装置になつて居ると考える事が出来る。

b. 週期について

次に上記のばねの系に依る振子の固有週期について考えて見る事にする。

水平動振子の振動に寄与する主な力としては、

- i) 重錘に働く重力の水平分力
- ii) 十字ばね S_2 の復元力
- iii) アルミ翼支点ばね S_1 の復元力
- iv) 蔓巻ばね S_3 の復元力
- v) ダンパーの復元力

が挙げられる。

先づ、 S_2 の様な薄い板ばねが角 θ_2 だけ曲つた場合に生ずる板ばねの復元力のモーメントは

$$k_2 \theta_2 = \frac{Kl \left(\cosh ql - \frac{\sinh ql}{ql} \right)}{(\cosh ql - 1)^2} \theta_2 \quad (27)$$

として表はされるから、単位角の振れによつて生ずる復元モーメントは

$$k_2 = \frac{Kl \left(\cosh ql - \frac{\sinh ql}{ql} \right)}{(\cosh ql - 1)^2} \quad (28)$$

となる。

S_1 のばねの復元モーメントは

$$k_1 \theta_1 = \frac{4}{3} \frac{E I_{s1}}{l} \theta_1 \quad (29)$$

から

$$k_1 = \frac{4}{3} \frac{E I_{s1}}{l} \quad (30)$$

となる。

蔓巻ばね S_3 の復元モーメントは (26) 式より

$$k_3 \psi' = \frac{1}{L \left(\frac{\sin^2 \alpha}{G I_P} + \frac{\cos^2 \alpha}{EI} \right)} \psi' \quad (31)$$

から

$$k_3 = \frac{1}{L \left(\frac{\sin^2 \alpha}{GI_P} + \frac{\cos^2 \alpha}{EI} \right)} \quad (32)$$

となる。

更に復元力を与えるものとしてはダンパーがある。第2図に示す様に、此のピストンは4本の細い隣青銅線で吊り下げられて居るが、1本の糸で吊り下げられた単振子と同様に考える事が出来る。此の単振子の復元モーメントは

$$mgh$$

となる。

次に θ_1 , θ_2 , ψ' , θ_4 等の間関係を見ると、同じく第2図より

$$c\psi' = b\theta_1$$

$$(11) \text{ 式より} \quad \psi' = (b/c) \theta_1 = \frac{b}{c} \cdot \frac{H}{s} \theta_2 \quad (33)$$

$$\text{又} \quad h\theta_4 = a\theta_1, \quad \theta_4 = \frac{a}{h} \theta_1 = \frac{a}{h} \cdot \frac{H}{s} \theta_2 \quad (34)$$

(28), (30), (32) 式と (11), (33), (34) の各式とを用い、之等の復元力を振子の廻転軸の周りの復元力のモーメントに換算すると、

$$\text{ばね } S_1 \text{ に依る復元モーメント} \quad 2k_1 \left(\frac{H}{s} \right)^2 \theta_2 \quad (35)$$

$$\text{ばね } S_2 \quad // \quad // \quad 2k_2 \theta_2 \quad (36)$$

$$\text{ばね } S_3 \quad // \quad // \quad k_3 \left(\frac{b}{c} \cdot \frac{H}{s} \right)^2 \theta_2 \quad (37)$$

$$\text{ダンパー} \quad // \quad // \quad mgh \left(\frac{H}{s} \cdot \frac{a}{h} \right)^2 \theta_2 \quad (38)$$

$$\text{重 力} \quad // \quad // \quad MgH \sin \theta_2 \approx MgH\theta_2 \quad (39)$$

依つて振子の固有週期は

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{2k_1 \left(\frac{H}{s} \right)^2 + 2k_2 + k_3 \left(\frac{b}{c} \cdot \frac{H}{s} \right)^2 + mgh \left(\frac{H}{s} \cdot \frac{a}{h} \right)^2 - MgH}} \quad (40)$$

として求められる。

既に掲げたばねの諸元を用い

$$(28) \text{ 式より} \quad k_2 = 1.78 \times 10^7 \text{ dyne-cm}$$

$$(30) \text{ 式より} \quad k_1 = 1.02 \times 10^7 \text{ dyne-cm}$$

$$(32) \text{ 式より} \quad k_3 = 1.53 \times 10^8 \text{ dyne-cm}$$

$$\text{ダンパーについては} \quad mgh = 6.5 \times 10^5 \text{ dyne-cm} \quad (m = 30\text{gr})$$

之等の値を (35), (36), (37) 及び (38) 式に入れて

ばね S_1 の復元モーメントは $2k_1\left(\frac{H}{s}\right)^2\theta_2=1.96\times 10^{10}\theta_2$ dyne-cm
 ばね S_2 の " " $2k_2\theta_2=3.56\times 10^7\theta_2$ dyne-cm
 ばね S_3 の " " $k_3\left(\frac{b}{c}\cdot\frac{H}{s}\right)^2\theta_2=2.12\times 10^8\theta_2$ dyne-cm
 ダンパーの " " $mgh\left(\frac{H}{s}\cdot\frac{a}{h}\right)^2\theta_2=7\times 10^8\theta_2$ dyne-cm

以上の値を比較して見ると、ばねそのものの生ずる復元モーメントは S_1 , S_2 で余り相違はないが廻転軸の周りに働くモーメントとしては、次の様な割合になる。

ばね S_1 によるもの	95.3%
ばね S_2 によるもの	0.2%
ばね S_3 によるもの	1.0%
ダンパーによるもの	3.5%

之から復元モーメントに寄与するところは殆んどがばね S_1 によるもので、ばね S_2 によるものは殆んどないといつて良く、それよりもむしろダンパーの復元力の方が大きい事がわかる。

更に重力に依るモーメントは $Mgh=1.82\times 10^{10}$ dyne-cm

となる。

又振子の慣性モーメントは重錘のそればかりでなく、アルミ翼等のそれも併せて考えなければならぬ。アルミ翼の慣性モーメントを I_1 とすると、之も含めての慣性モーメント I は

$$I=I_0+\frac{H^2}{s^2}I_1$$

で実測の結果では $I_1=1.2\times 10^4$ gr-cm²

従つて $I=1.75\times 10^9$ gr-cm²

之迄に得られた値を (40) 式に代入して

$$T=2\pi\sqrt{\frac{1.75\times 10^9}{2.06\times 10^{10}-1.82\times 10^{10}}}=2\pi\sqrt{\frac{1.75\times 10^9}{2.4\times 10^9}}=2\pi\sqrt{0.72}=5.3 \text{ sec.}$$

を得る。

さて、此の地震計で固有週期を変えるには次の何れかの方法に依る。

- i) 夫々のモーメントの腕の長さを変える。
- ii) ばね自体の復元力を変化させる。

先づ i) の方法に依るならば必然的に倍率の変化を伴う事になる。1 例として s を 3cm から 2 cm に変えると $\frac{H}{s}$ は 1.5 倍になり、週期は 1.57 sec となる。と共に倍率の方は b/s が同様に 1.5 倍となるから倍率も 1.5 倍となる。又 c の長さを変えても同時に b の長さが変り、倍率は週期に付随して変化する。

次に ii) のばねの復元力自体を変化させる事は、ばねの諸元を変える事になる。此の場合、復元モーメントの大きさの割合からいつて S_1 のばねの諸元を変える事が効果的であり、殆んど唯一の方法でもある。(30) 式に於いて

$$k_1 = \frac{4}{3} \frac{EI_s}{l} = \frac{4}{3} E \cdot \frac{bh^3}{12l}$$

であつて、 h 即ち厚さを変える事が最も得策である事は明かである。 l 即ち長さを変える事は出来上つたばねについては先づ困難であるし、 b 即ち幅を変える事も焼の入つて居る薄いばねでは難しく、結局油砥石で厚さをすり減らして週期を調節するのが最も能率的な方法のわけである。今 $h=0.05$ cm のを 0.005 cm 即ち 1 割だけすり減らした場合を考えると

$$1.96 \times 10^{10} \theta_2 \times \frac{4.5^3}{5^3} = 1.42 \times 10^{10} \theta_2 \text{ dyne-cm}$$

となり、之では重力によるモーメントに打ち勝てずに不安定となる。

§ 3. 上下動成分について

次に上下動成分の主な諸元は第 5 図の如くである。上下動成分も Göttingen 型と Ares 型とがあり、稍々諸元を異にして居るが、此処に示すのは Göttingen 型の 1 つである。

先づ振子の質量は

重 錘：(振子腕について居る重錘部分を含む) 78kg

振子腕：18 kg

補助重錘：18.6 kg

合 計：約 115 kg

振子の形状から近似的に求めた

重心位置：振子廻転軸 O より

537 mm

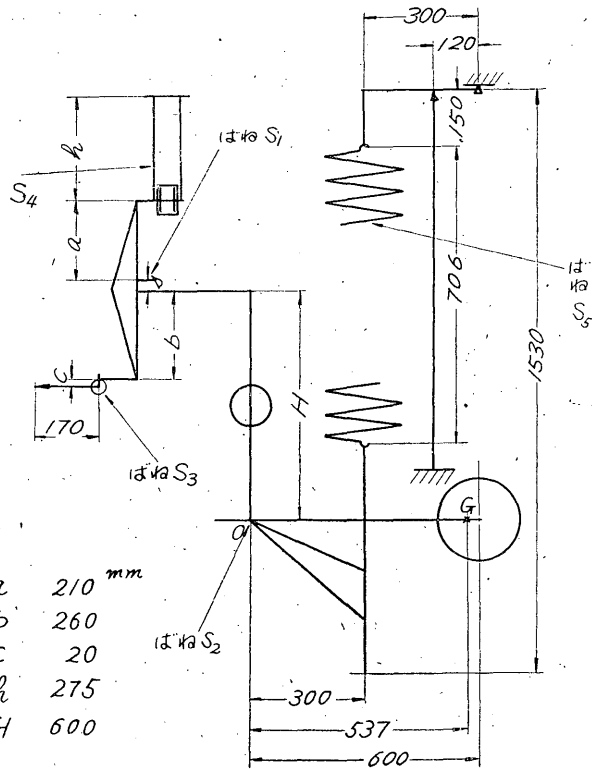


Fig. 5

第 5 図に示されて居る諸元から、蔓巻ばね S_5 にかかる張力は

$$P = (115.0 - 18.6) \times \frac{537}{300} = 173 \text{ kg} \quad (41)$$

此処に補助重錘は廻転軸 O に鉛直上方にあつて、蔓巻ばねには此の重さはかゝつて来ないので当然

除外してある。

a. 週期及びばねの弾性に伴う振幅の制限

先づ、上下動成分の外観上、大きな空間を占めて恰も主スプリングの観を呈して居る蔓巻ばね S_3

の性能について調べて見よう。

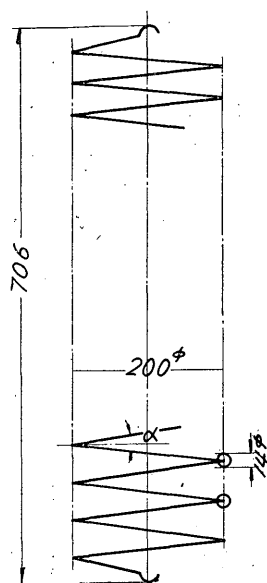


Fig. 6

此のばねの諸元は

素線の径： $d=14$ mm

コイルの径： $2R=200$ mm

有効巻数： $n=12$ (全巻数 12.5)

ばね内に生ずる引張応力 σ (kg/mm²), 剪断応力 τ (kg/mm²) を調べてみると、第6図より

$$\sigma = \frac{16PR}{\pi d^3} (1 + \sin \alpha) = 35.1 \text{ kg/mm}^2$$

$$\tau = \frac{16PR}{\pi d^3} = 32.1 \text{ kg/mm}^2$$

ばね鋼材の調質状態での抗張力は 100 kg/mm², 弾性限は充分 50 kg/mm² 位は見込んでも良いから⁽¹⁾, 上記の応力の値は充分 比例限度内にあるものと見られる。

従つて此のばねに荷重がかゝつた時の荷重と伸びとの関係は次の如くに表はされる。

$$\delta = PR^2 l \left(\frac{\cos^2 \alpha}{G I_p} + \frac{\sin^2 \alpha}{EI} \right) \quad (42)$$

此処に

δ : 伸び mm

P : 荷重 kg-wt

l : ばねを形造る素線の全長 ($=2\pi Rn$) mm

G : ばね材料の剛性率 kg-wt/mm²

E : ばね材料のヤング率 kg-wt/mm²

I : 断面 2 次モーメント $I = \frac{\pi d^4}{64} \text{ mm}^4$

I_p : 極断面 2 次モーメント $I_p = \frac{\pi d^4}{32} \text{ mm}^4$

従つて

$$\delta = \frac{PR^2 l}{I_p} \left(\frac{\cos^2 \alpha}{G} + \frac{2 \sin^2 \alpha}{E} \right) \quad (43)$$

実測値から

(1) JES 金属 3521, 弾性限を引張強さの 50% にとる。

$$l = 2\pi Rn = 2\pi \times 100 \times 12.5 = 7850 \text{ mm}$$

$$\cos \alpha = 0.996, \quad \sin \alpha = 0.093$$

$$I_P = \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi \times 14^4}{32} = 3.76 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

$$E = 2.1 \times 10^4 \text{ kg-wt/mm}^2$$

$$G = 7.5 \times 10^3 \text{ kg-wt/mm}^2 \quad (1)$$

よつて (43) 式より

$$\delta = 478 \text{ mm} \quad (44)$$

又さきの諸元と第 6 図とからばねの自由長は

$$l_0 = 30 \times 2 + 14 \times 12 = 228 \text{ mm}$$

従つて荷重のかゝつた時のばねの全長は

$$L = l_0 + \delta = 706 \text{ mm}$$

(41), (44) 式より単位長さの伸びを生ずるに必要な荷重を求めると

$$\beta = P/\delta = \frac{173}{478} = 0.36 \text{ kg-wt/mm} = 3.54 \times 10^6 \text{ dyne/cm} \quad (45)$$

之が所謂蔓巻ばねのばね常数といはれるものの値である。計算によつて求めたばねの全長は全く実測値に一致して居る。しかし之は偶然の一致で、兎も角此の計算に用いた各値は重心位置をはじめ E , G の値等実測値を用いたわけではなく、夫々妥当と考へられる値を採用したのに過ぎないのであるから斯様に実測値と寸分違はず得られたからといつて、それをそのまま信用は出来ないのであるが、兎も角逆に言へば、採用した各値が極めて妥当であつたと言ひ得るかも知れない。

さて第 5 図の諸元を用いて、ばね S_3 のみで此の振子が週期を持つて居るかどうかを検べて見る。之れは従前から言はれて居たことであつたが数量的に確められては居なかつた。

Ewing 型の振子では

$$\beta I^2 - Pk \left(1 - \frac{k}{L} \right) > 0 \quad (46)$$

なる時、週期は

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{\beta I^2 - Pk \left(1 - \frac{k}{L} \right)}} \quad (47)$$

で表はされる。

(46) 式の条件について当つて見ると

$$\beta I^2 - Pk \left(1 - \frac{k}{L} \right) = 3.54 \times 10^6 \times 30^2 - 173 \times 10^3 \times 9.8 \times 10^3 \times 40 \left(1 - \frac{40}{153} \right)$$

(1) 上記の値は鉄道省規格 $d \geq 13 \text{ mm}$ に対し $G = 7.5 \times 10^3 \text{ kg-wt/mm}^2$ を用いたもので、別に $10 \leq d \leq 20 \text{ mm}$ に対し $G = 7.7 \times 10^3 \text{ kg-wt/mm}^2$ の値もあるが兎も角 G の値は鋼線に於てはその線径によつて幾分の相違がある。

$$= 31.9 \times 10^8 - 50 \times 10^8 > 0$$

となり、此の振子は Ewing 型として蔓巻ばねの下部支点が重心より 40 cm 下方にあるため蔓巻ばね S_5 のみでは不安定で週期を持たない。

次に水平動成分の場合と同様に、振子にはばね類の弾性限内でどの位の振幅が許されるかを調べて見よう。

上下動成分に用いられて居るばね S_1, S_2, S_3 等の諸元は下表の通りである。

	長さ l	巾 b	厚さ t in cm
ばね S_1	0.9	0.35	0.03
ばね S_2	1.8	1.4	0.06
ばね S_3	水平動成分のものと同じ		

水平動成分の場合の (15) 式を用いて、ばね S_1 については

$$\Theta_1 = 1.29 \times 10^{-1} \text{ rad.} \quad (48)$$

ばね S_2 については、水平方向のばねには組立が完全であれば構造上から全く荷重は加はらないが、上下方向のばねには、振子の重心に働く重量に釣合ふべき張力が作用する。従つて、水平動成分のばね S_2 について考えたやうに、此处でもその張力を考慮に入れると、前と同様に

$$\sigma_{b2 \max.} = \frac{K \theta_2 l \left(1 + \frac{1}{\cosh ql - 1} + \frac{\cosh ql - (\sinh ql / ql)}{\cosh ql - 1} \right)}{I_s / z_{\max.}} \quad (49)$$

$$q = \sqrt{\frac{K}{EI_s}}$$

上式に $K = \frac{1}{2} \times 101 \times \frac{537 - 300}{300} = 40 \text{ kg.}$ $q = 0.871$

を代入し $\Theta_2 = 1.43 \times 10^{-1} \text{ rad.} \quad (50)$

そして、ばね S_3 は水平動成分の諸元通りであるから、結局上下動成分の場合にも、振幅はばね S_3 の許容振幅によつて決定される事になり、之をばね S_2 の振れ角に換算すると、

$$\Theta_2' = 2.23 \times 10^{-3} \text{ rad.} \quad (51)$$

振子の重心の変位にすると

$$\delta = 537 \times \Theta_2' = 1.198 \text{ mm}$$

となる。

先に蔓巻ばね S_5 のみでは振子は不安定で週期を持たない事が明かであるから、此の振子は S_1, S_2, \dots 等の復元力を総合して振動系となるわけである。之等の復元力を総合した系の週期を考へて見るに、先づ復元力を生ずる要素を挙げて見ると、

アルミ翼支点ばね S_1 の復元力

振子廻転軸の十字ばね S_2 の復元力

描針廻転軸部の蔓巻ばね S_3 の復元力

ダンパーの復元力

重錘を吊る蔓巻ばね S_5 の復元力

となる。

第5図よりばね S_1 の復元モーメントは

$$k_1\theta_1 = \frac{4}{3} \frac{EI_{s_1}}{l_1} \theta_1 \quad (52)$$

ばね S_2 の復元モーメントは

$$k_2\theta_2 = \frac{4}{3} \frac{EI_{s_2}}{l_2} \theta_2 \quad (53)$$

ばね S_3 の復元モーメントは

$$k_3\theta_3 = \frac{1}{M \left(\frac{\sin^2\alpha}{GI_P} + \frac{\cos^2\alpha}{EI} \right)} \quad \text{但し } M \text{ はモーメント} \quad (54)$$

ダンパーの復元モーメントは

$$k_4\theta_4 = mgh\theta_4 \quad (55)$$

ばね S_5 の復元モーメントは

$$k_5\theta_5 = \left\{ \beta l^2 - Pk \left(1 - \frac{k}{L} \right) \right\} \theta_5 \quad (56)$$

之等に θ_1 乃至 θ_4 の振れ角相互の間の関係を入れ、夫々を振子廻転軸の周りの復元モーメントに換算すると、

$$(52) \text{ 式より } \text{ばね } S_1 \text{ に依る復元モーメント} \quad 2k_1 \left(\frac{H}{s} \right)^2 \theta_2 \quad (57)$$

$$(53) \text{ 式より } \text{ばね } S_2 \text{ に } \quad // \quad // \quad 4k_2\theta_2 \quad (58)$$

$$(54) \text{ 式より } \text{ばね } S_3 \text{ に } \quad // \quad // \quad k_3 \left(\frac{b}{c} \cdot \frac{H}{s} \right)^2 \theta_2 \quad (59)$$

$$(55) \text{ 式より } \text{ダンパーに } \quad // \quad // \quad k_4 \left(\frac{a}{h} \cdot \frac{H}{s} \right)^2 \theta_2 \quad (60)$$

$$(56) \text{ 式より } \text{ばね } S_5 \text{ に } \quad // \quad // \quad k_5\theta_2 \quad (61)$$

之等を複合した振子の周期は

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{2k_1 \left(\frac{H}{s} \right)^2 + 4k_2 + k_3 \left(\frac{b}{c} \cdot \frac{H}{s} \right)^2 + k_4 \left(\frac{a}{h} \cdot \frac{H}{s} \right)^2 + k_5}} \quad (62)$$

として求められる。

例として実測したものについて週期を求めてみると、前に掲げた諸元から

$$(52) \text{ 式より } k_1\theta_1 = 2.4 \times 10^9 \theta_1 \text{ dyne-cm} \quad (63)$$

$$(53) \text{ 式より } k_2\theta_2 = 3.92 \times 10^7 \theta_2 \text{ dyne-cm} \quad (64)$$

$$(54) \text{ 式より } k_3\theta_3 = 1.53 \times 10^3 \theta_3 \text{ dyne-cm} \quad (65)$$

$$(55) \text{ 式より } k_4\theta_4 = 5.38 \times 10^5 \theta_4 \text{ dyne-cm} \quad (66)$$

$$(56) \text{ 式より } k_5\theta_5 = -18.1 \times 10^8 \theta_5 \text{ dyne-cm} \quad (67)$$

之等の値を (57) 乃至 (61) 式に入れて

$$\text{ばね } S_1 \text{ に依る復元モーメントは } 2k_1 \left(\frac{H}{s} \right)^2 \theta_2 = 1.92 \times 10^9 \theta_2 \text{ dyne-cm}$$

$$\text{ばね } S_2 \text{ に } \quad \quad \quad 4k_2\theta_2 = 1.57 \times 10^8 \theta_2 \text{ dyne-cm}$$

$$\text{ばね } S_3 \text{ に } \quad \quad \quad k_3 \left(\frac{b}{c} \cdot \frac{H}{s} \right)^2 \theta_2 = 10.35 \times 10^7 \theta_2 \text{ dyne-cm}$$

$$\text{ダンパーに } \quad \quad \quad k_4 \left(\frac{a}{h} \cdot \frac{H}{s} \right)^2 \theta_2 = 12.55 \times 10^7 \theta_2 \text{ dyne-cm}$$

$$\text{ばね } S_5 \text{ に } \quad \quad \quad k_5\theta_2 = 1.81 \times 10^9 \theta_2 \text{ dyne-cm}$$

又振子の慣性モーメントは近似的に

$$\begin{aligned} I &= 101 \times 53.7^2 + 18.6 \times 30^2 = 29.1 \times 10^4 + 1.7 \times 10^4 \\ &= 30.8 \times 10^4 \text{ kg-cm}^2 = 30.8 \times 10^7 \text{ gr-cm}^2 \end{aligned}$$

之等の値を (62) 式に代入し

$$\begin{aligned} T &= 2\pi \sqrt{\frac{30.8 \times 10^7}{1.92 \times 10^9 + 1.57 \times 10^8 + 10.35 \times 10^7 + 12.55 \times 10^7 - 1.81 \times 10^9}} \\ &= 2\pi \sqrt{\frac{30.8 \times 10^7}{49.6 \times 10^7}} = 4.94 \text{ sec.} \end{aligned}$$

之に対し実測した週期は 4.84 sec. であつた。

b. 温度補正について

ウィーヘルト式上下動の大きな欠点は地震計室の温度変化に伴つて振子の釣合位置が狂う事で、之を温度補正器 (compensator) が補正して居るわけであるが、此の温度変化を補正する筈の温度補正器が完全にその機能を發揮して居るものが殆どなく、その為め多くの測候所では常に補正重錘を増減して振子の釣合位置を正しく保つ事に苦心して居る。次に之等について検討してみよう。

(i) 温度補正器の曲りについて

温度補正が旨くゆかない原因の一つは温度補正器の曲りである。之は温度補正器の垂鉛棒に起るが一たん曲つてしまうと、温度が変化しても、それは垂鉛棒の曲りの曲率の変化にかわつて、温度補正器の働きをしなくなる。此の温度補正器の曲りは、挫屈の問題として取扱はれる。

今温度補正器が第5図に示されて居る様な位置に調節されてあつたとする。之は次項 (ii) で述

べる温度補正の実測を行つた際の実測値である。此の時温度補正器にかゝる圧縮力は

$$P_c = P \times \frac{300}{120} = 173 \times \frac{300}{120} = 432 \text{ kg}$$

従つて1本の亜鉛棒にかゝる圧縮力はこの1/2となり、216 kgである。

最も曲りを起し易いと考えられ、又実際にも曲りが生じて居るのは、先づ一番外側の亜鉛棒である。此の亜鉛棒は上端は中央の鋼棒と直角に交る板 AB にナツトで締めつけられて居るので、此の端は板 AB 内に植え込まれた (built-in end) ものと考えても差支えない。此の棒の下端は板 CD 内に入つて居るが、CD にあけられた孔とはゆるく入つて居るから此の端は球端 (hinged-end) とも考えられる。

此の棒に荷重がかゝつて挫屈を生ずる條件は⁽¹⁾

$$l/r \geq 90 \quad l : \text{棒の長さ}$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad I \text{ は断面2次モーメント, } A \text{ は断面積}$$

で且つ

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\frac{\pi^2 EI}{4l^2}}{\frac{1}{4} \pi d^2} = \frac{\pi^2 E}{4l^2} r^2 = \frac{\pi^2 E}{4} \left(\frac{r}{l} \right)^2 < \sigma_{zn} \quad (68)$$

σ_{zn} : 荷重により亜鉛棒に生ずる圧縮応力

である事である。

言い換えれば $l/r \geq 90$ の場合に棒にかゝる荷重 P が

$$P \geq P_{cr} = \frac{\pi^2 E}{4} \left(\frac{r}{l} \right)^2 A$$

の様な場合には挫屈を生ずるわけである。

さて、此の温度補正器について調べて見ると、

$l_1 = 870 \text{ mm}$	一番外側の亜鉛棒の長さ	}	何れも直径は $d = 20 \text{ mm}$
$l_2 = 810 \text{ mm}$	中間の " "		
$l_3 = 742 \text{ mm}$	一番内側の " "		

$$E = 8.450 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2 \quad (2)$$

(1) Euler's Equation z_n の Elastic limit of compression σ_e を 10 kg/mm^2 (抗圧力 17.2 kg/mm^2 , 後藤正治, 合金学) とすると、挫屈を起す critical となる l/r の値は $\sigma_e = \frac{P}{A} = \pi^2 E \left(\frac{r}{l} \right)^2$

より $l/r \geq \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_e}}$ より得られる。実際の l/r が上式より得られる値より小さい場合には挫屈より先に圧縮での降伏、破壊が起る。

(2) 亜鉛の弾性係数は鋳物について $7.750 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ が、圧延材につき $8.450 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ が与えられて居るが亜鉛棒は鋳物を棒に引いてあるので後者の値を用いた。

で、

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi \times 20^4}{64} = 7850 \text{ mm}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{d}{4} = 5 \text{ mm}, \quad l_1/r = 870/5 = 172$$

であるから (68) 式より

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{4} \left(\frac{r}{l} \right)^2 = 0.703 \text{ kg/mm}^2$$

$$P_{cr} = A \sigma_{cr} = 221 \text{ kg}$$

之に対し $P_c = 216 \text{ kg}$, $\sigma_{zn} = \frac{P}{A} = 0.69 \text{ kg/mm}^2$ であるから、一番外側の亜鉛棒は殆ど挫屈を生ぜんとする限界の荷重を受けて居ることになるから、荷重の加はり方が僅かでも偏心的であれば容易に挫屈を生ずるし、又支点の位置が僅かでも変れば腕の比如何によつても容易に挫屈を生ずると言う事は明かである。

次にその内側の亜鉛棒について考えると、上下両端ともナットで板に締めつけられて居るから、両端固定のものと考え、挫屈を生ずる限界荷重は

$$P_{cr} = \frac{4\pi^2 EI}{l^2}$$

で与えられるから、内側の亜鉛棒について挫屈のおそれはないと言う事が出来る。

全国殆どどのウィーヘルト式上下動の温度補正器が曲りを生じて居り、その原因は凡そ以上の処にあると考えられたので、最近此の問題を解決する為に、亜鉛棒の径を 1.4 倍即ち断面積では 2 倍にしたものを製作した。之によると

$$\sigma_{cr} = 1.4 \text{ kg/mm}^2$$

となり約 2 倍の安全率をとつた事になるから、挫屈の心配はまず無くなつたと言つて良いと思う。

(ii) 温度補正について

次に温度補正器の温度補正の機構について考えて見よう。

(43) 式に於て 0°C に於けるばねの長さ、ヤング率、剛性率等の値を夫々 l_0 , E_0 , G_0 とし、それ等の線膨脹係数及び温度係数を夫々 α_t , α_E , α_G とする。上記の各係数は全て $X = X_0 (1 + \alpha t + \beta t^2)$ の如く表されるべきものであるが、一般に室温の変化の範囲は夏冬を通じて $60^\circ\sim 70^\circ\text{C}$ 以上には出ないので、温度係数の高次の項は省略して差支えないものと考え一次の係数のみをとる。

さて此のばねに $t^\circ\text{C}$ で $P \text{ kg}$ の荷重が加はつた時の伸びは

$$\delta_t = PR^3 l_0 (1 + \alpha_t t) \left\{ \frac{\cos^2 \alpha}{G_0 (1 + \alpha_G t) I_P} + \frac{\sin^2 \alpha}{E_0 (1 + \alpha_E t) I} \right\} \quad (69)$$

となる。勿論 R 及び蔓巻角 α の値も荷重及び伸びに伴つて変化するわけであるが、此の変化量

も極めて小さいから之も省略する。

(69) 式を書き直すと、

$$\delta_t = PR^2 I_0 \left\{ \frac{\cos^2 \alpha}{G_0 I_P} \left\{ 1 + (\alpha_t - \alpha_G) t + (\alpha_G^2 - \alpha_t \alpha_G) t^2 + (\alpha_t \alpha_G^2 - \alpha_G^3) t^3 + \dots \right\} + \frac{\sin^2 \alpha}{E_0 I} \left\{ 1 + (\alpha_t - \alpha_E) t + (\alpha_E^2 - \alpha_t \alpha_E) t^2 + (\alpha_t \alpha_E^2 - \alpha_E^3) t^3 + \dots \right\} \right\} \quad (70)$$

$\alpha_t, \alpha_E, \alpha_G$ は夫々 10^{-3} 以下の order であり、且つ t も $\pm 30 \sim 35^\circ\text{C}$ 位であるから t^2 の項以下を省略し、

$$\begin{aligned} \delta_t &= PR^2 I_0 \left\{ \frac{\cos^2 \alpha}{G_0 I_P} \left\{ 1 + (\alpha_t - \alpha_G) t \right\} + \frac{\sin^2 \alpha}{E_0 I} \left\{ 1 + (\alpha_t - \alpha_E) t \right\} \right\} \\ &= PR^2 I_0 \left(\frac{\cos^2 \alpha}{G_0 I_P} + \frac{\sin^2 \alpha}{E_0 I} \right) + PR^2 I_0 \left\{ \frac{\cos^2 \alpha}{G_0 I_P} (\alpha_t - \alpha_G) + \frac{\sin^2 \alpha}{E_0 I} (\alpha_t - \alpha_E) \right\} t \quad (71) \end{aligned}$$

(71) 式の右辺第1項は温度 0°C の時ばねが荷重 P によつて伸びる量を表はし、第2項は此のばねが t° の温度変化によつて伸縮する量を示して居る。

従つて Δt の温度変化に伴うばねの伸びは

$$\Delta \delta_t = PR^2 I_0 \left\{ \frac{\cos^2 \alpha}{G_0 I_P} (\alpha_t - \alpha_G) + \frac{\sin^2 \alpha}{E_0 I} (\alpha_t - \alpha_E) \right\} \Delta t \quad (72)$$

(72) 式で明かな如く、温度変化の小さい範囲では、ばねの温度に依る伸びは温度変化と linear な関係にある。

次に温度変化に伴う温度補正器の伸びを考えて見る。垂鉛棒、鋼棒の夫々の長さを第7図の如く定め、垂鉛及び鋼の線膨脹係数を夫々 α_{zn}, α_{st} とすると、 Δt の温度変化に伴う温度補正器の伸び $\Delta \delta_c$ は次の如くなる。

$$\begin{aligned} \Delta \delta_c &= (l_1 \alpha_{zn} - l_4 \alpha_{st} + l_2 \alpha_{zn} - l_5 \alpha_{st} + l_3 \alpha_{zn}) \Delta t \\ &= \{ (l_1 + l_2 + l_3) \alpha_{zn} - (l_4 + l_5) \alpha_{st} \} \Delta t \quad (73) \end{aligned}$$

或いは $n = \alpha_{zn} / \alpha_{st}$ とすると、

$$\Delta \delta_c = \{ n(l_1 + l_2 + l_3) - (l_4 + l_5) \} \alpha_{st} \Delta t \quad (74)$$

従つて温度補正器の伸びも温度変化と linear な関係にある。

第5図に於て、ばねと温度補正器との支点からの腕の長さを夫々 a, b とし、 $k = a/b$ とすると温度補正の機能が完全に働く場合には

$$\Delta \delta_t - k \Delta \delta_c = 0 \quad (75)$$

でなければならない。

既に掲げた諸元を用いて $\Delta \delta_t, \Delta \delta_c$ を求めて見る。

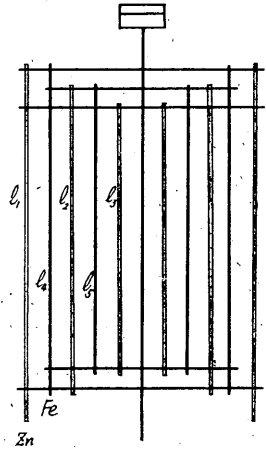


Fig. 7

$$G_0 = 7.5 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$$

$$E_0 = 2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$$

$$\alpha_t = 10.96 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \text{ (ばね鋼材につき)}$$

$$\alpha_{st} = \alpha_{zn} = -3.3 \times 10^{-4} \text{ (1)}$$

の値を (72) 式に代入すると、

$$\Delta\delta_c = 1.62 \Delta t \text{ mm} \quad (76)$$

又 $l_1 = 870, \quad l_2 = 810, \quad l_3 = 742, \quad l_4 = 835, \quad l_5 = 786$

$$\alpha_{st} = \alpha_t = 10.96 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}, \quad \alpha_{zn} = 2.976 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \text{ (2)}$$

$$n = \alpha_{zn} / \alpha_{st} = 2.7$$

の値を (74) 式に代入すると

$$\Delta\delta_c = 5.4 \times 10^{-2} \Delta t \text{ mm} \quad (77)$$

第5図より $k = 300/120 = 2.5$

従つて $\Delta\delta_c - k\Delta\delta_c = 1.49 \Delta t \text{ mm} \quad (78)$

よつて実測を行つた上下動成分では単温度度につき約 1.49mm が補正されずに残る事となる。又ばねの伸び量と温度補正器の補正量とをみると、伸びの約 8.3% が補正されて居るに過ぎない。

しかし上記に掲げた α_{zn} の値は脚註の文献より引用した圧延亜鉛材についての線膨脹係数であり、亜鉛は結晶主軸方向と之に直角な方向とで線膨脹係数は夫々 64×10^{-6} 、 13×10^{-6} と著しく異り⁽³⁾、従つて鑄造材と圧延材とでその値の異なるのは勿論、圧延等の加工度の大小によつても著しく値を異にする。従つて温度補正器の正確な機能を知る為には、少くとも用いられて居る亜鉛棒の線膨脹係数の値を知らなければならない。

更に言えば上述の如く線膨脹係数の幅の大きなばかりでなく、脆性その他機械的性質にも欠点のある材料を用いる事自体が避け得られるならば望ましい事である。

勿論ばね自体に温度補正を必要としない程、弾性係数の温度変化の小さな材料を用いる事が出来ればそれに越した良い事はないのであるが、約8米にも及ぶ太い線材をばねに巻くのであるから、素材の製作、加工及び強度等の点で検討しなければならない幾多の点があると思はれるので之はさて置いて、温度補正器について尙ほ暫らく検討して見よう。

温度補正器に用いられる2種類の金属としては、その線膨脹係数の差の大きいものの組合せが望ましいわけで、亜鉛—鋼の組合せもその一つであるが、前述の様な欠点のない別の組合せとして黄

(1) 辻 二郎：弾性実験法，実験工学講座 II—2 p. 7, 31

日本学術振興会編：金属材料 III p. 51

(2) 後藤 正治：合金学

(3) 後藤 正治：合金学

山口 珪次：金属の物理的実験法 実験工学講座 II—3 p. 32

驗 震 時 報

第 1 表

Time		Deflection	Deflection Difference	Temperature	Temperature Difference
(A)	h m	mm	mm	°C	°C
	9 02	- 10.1	0	26.25	0
	07	- 7.0	3.1	26.3	0.05
	12	- 3.2	6.9	26.35	0.1
	17	+ 0.7	10.8	26.4	0.15
	22	+ 4.0	14.1	26.45	0.2
	27	+ 7.0	17.1	26.5	0.25
	32				
(B)	9 35	+ 4.0	0	26.55	0
	40	+ 7.6	3.6	26.6	0.05
	45	+ 11.8	7.8	26.65	0.1
	50	+ 14.7	10.7	26.7	0.15
	55	+ 17.6	13.6	26.75	0.2
	10 00	+ 20.9	16.9	26.8	0.25
	05	+ 24.8	20.8	26.85	0.3
(C)	10 15	- 65.3	0	26.95	0
	20	- 62.8	2.5	26.98	0.03
	25	- 59.7	5.6	27.0	0.05
	30	- 56.9	8.4	27.05	0.1
	35	- 53.8	11.5	27.1	0.15
	40	- 50.0	15.3	27.2	0.25
	45	- 46.9	18.4	27.23	0.28
	50	- 43.5	21.8	27.3	0.35
	55	- 40.0	25.3	27.36	0.41
	11 00	- 34.8	30.5	27.4	0.45
	05	- 28.9	36.4	27.55	0.6
	10	- 21.8	43.5	27.65	0.7

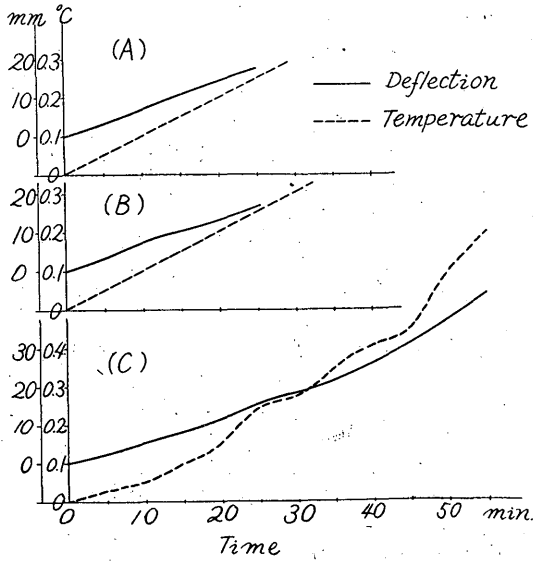


Fig. 8

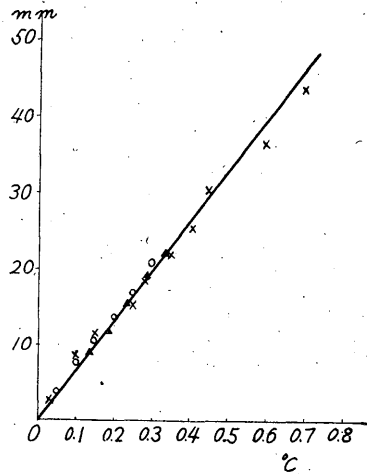


Fig. 9

銅インバールも考えられるが、黄銅、インバールの線膨脹係数は夫々

$$\alpha_{Br} = 19.2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{inv.} = 1.4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \text{ (Fe 64\%, Ni 36\%)}$$

であるから、前掲通りの寸法の温度補正器に用いると

$$\Delta\delta_c = 4.65 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

となる。従つてそのまゝの寸法では亜鉛—鋼の組合せより補正量は小さいが、亜鉛程に複雑な性質を持たないのが利点といえるであらう。

最後に実測に依る温度補正の例を掲げる。

実測した温度と伸び（記象紙上の変位）との関係は第1表の如くで之をグラフにプロットしたものが第8図、第9図でばねの伸びが温度に比例して居る事が明らかに見られる。

之から求められる単位温度変化によつて生ずる記象紙上のばねの伸びは

$$\Delta S = 78.5 \text{ mm}/^\circ\text{C} \tag{79}$$

となる。

第5図の諸元から実測を行つたものの幾何倍率を求めてみると、

$$V_G = \frac{260}{30} \times \frac{140}{20} = 73.6$$

となるから、之を計算によつて求めた補正されずに残る伸び（78）式によつて記象紙上の偏れとして求めて見ると

$$1.49 \times 73.6 = 110 \text{ mm} \tag{80}$$

となる。之を（79）式の実測値と比較すると、計算値は実測値の約1.4倍も大きく得られて居るが、之は既に述べた様に亜鉛の線膨脹係数が正確に知る事が出来ない為の差と考えて良いと思う。

§ 4. 結 び

以上を要約すると、

（1）水平、上下両成分の関節に用ひられて居る板ばねの曲りはそれによつて生ずる応力が弾性限内になければならない事から、振動角は夫々制限を受けるわけで、之を水平、上下両成分振子の廻転軸の周りの廻転角になほすと、夫々 $8.4 \times 10^{-2} \text{ rad}$ 、並びに $1.4 \times 10^{-1} \text{ rad}$ となる。

（2）水平動成分の振動系のばねの復元モーメントを夫々振子廻転軸の周りの値として求めると、その割合は

アルミ翼廻転軸板ばね	95.3%
振子廻転軸の十字ばね	0.2%
記録ペン軸蔓巻ばね	1.0%
制振器	3.5%

となる。

(3) 上下動成分では、振子と大きな蔓巻ばねとのみの組合せでは蔓巻ばねの復元力が足らず、振動計とはならない。ばねの中では水平動同様アルミ翼転軸のばねが復元力に寄与する処最も大きい。

(4) 上下動温度補正器の一番外側の亜鉛棒は殆ど挫屈の限界の荷重を受けて居るから、此の断面積をもつと増加した方がよい。

(5) 上下動の大きな蔓巻ばねの温度 1°C の変化に対する伸びは約 1.62mm 、ばね支点位置に換算して温度補正器の伸びは約 $0.135\text{mm}/^{\circ}\text{C}$ となる。之から現在の温度補正器はその機能を十分に發揮して居ない事が明かである。

On Some Characteristics of the Wiechert's Horizontal and Vertical Seismographs

Keizo YAZAKI

(*Meteorological Instrument Plant*)

In this paper, the author investigates the characteristics of the Wiechert's Seismographs from the view-point of their construction, and derives the following results:

(1) The bending of the plate springs being restricted within the elastic limit of the spring materials, the angles of oscillation of the centre of gravity of the horizontal and vertical components around the axis of rotation should be allowed within 8.4×10^3 rad. and 1.43×10^{-1} rad. respectively.

(2) The restitutive moments of the springs composing the oscillation system of the horizontal pendulum are as follows:

The restitutive moment

due to the plate springs of the aluminium wing-shaped lever :	95.3%
" due to the plate springs of the rotating axis of the pendulum :	0.2%
" due to the spiral spring of the recording-pen axis :	1.0%
" due to the air damper :	3.5%

(3) The combination of the large spiral spring and the mass of the vertical seismograph cannot compose the oscillation system, and among the springs those of the aluminium wing-shaped lever contribute most to the restitutive moment of the pendulum same as in the horizontal seismograph.

(4) The outer-side zinc bars of the temperature compensator are under the critical load of buckling, and it is advisable to increase the sectional area of the outer-side zinc bars.

(5) The axial deflection of the large helical spring per 1°C being about 1.62mm and the deflection of the compensator being about $0.135\text{mm}/^{\circ}\text{C}$ at the position of the hanging of the spring, it is obvious that the compensator does not discharge its function successfully.