

複水平振子傾斜計の試作について*

矢崎敬三**・竹山一郎***・田中康裕***

550. 343

On a Horizontal Double Pendulum Tiltometer

K. Yazaki

(Meteorological Instrument Plant)

I. Takeyama and Y. Tanaka

(Seismological section, C. M. O.)

We have been observing the tilting of the earth with a silica-tiltometer or a water-tube tiltometer. The former is unwieldy, for it is photo-recording and has very fine silica-wire (3μ in diameter), the latter must be set up at a definite station. Therefore, the writers produced and tested a mechanical recording tiltometer, as sensitive as a silica-tiltometer. As shown in Fig. 1, it is composed of two horizontal pendulums coupled with each other, so that the compound period of the pendulums becomes very long though the period of each pendulum is short. The data of the experiments are shown in Table 1 to 5 and Fig. 5 to 7. In Fig. 4 examples of the record are shown, the recording-mark being put in at each minute.

は し が き 地表面の傾斜変化を観測する傾斜計としては従来からシリカ傾斜計、水管傾斜計などが用いられている。シリカ傾斜計は小型で持運びでき、本体の材料であるシリカは温度の影響を受けることもほとんどないが、振子のつり糸が 3μ という細いシリカ線であるため、設置するときの操作が困難で、一度線を切ると修理も容易でなく、かつ写真記録であるために記象紙の後処理が必要である。水管傾斜計はスパンが大きいという特徴があるが、設置するのに場所を要し、かつ移動できない。それぞれ一長一短がある。ここに、筆者の一人矢崎は可搬で取扱容易、かつ、機械記録によって従来のシリカ傾斜計に劣らない倍率を得ることを目的として新しい傾斜計を試作し、竹山、田中はその機械について半年余りにわたって倍率試験を行った。

【I】傾斜計の試作****

§ 1.1 構造 複水平振子式傾斜計はすでに Dr. Heinz Lettau⁽¹⁾ によって試作され 0.6×10^5

* Received April 4, 1955.

** 気象測器工場

*** 中央気象台地震課

**** 矢崎敬三

(1) H. Lettau : Das Horizontal doppel Pendel, Zeitschrift für Geophysik 13 (1937), 25—33
(邦訳：地球物理学文献抄 1937年)

という高倍率をえて、これによる earth tide の観測が報告されている。しかし、これは大きさに ついてはつまびらかでないが、可搬的ではなく、記録には光学的方法が用いられている。

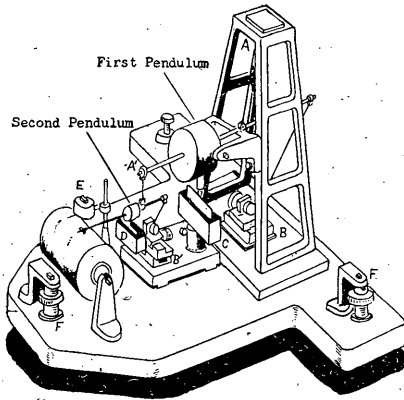


Fig. 1. Sketch of the tiltometer
 A, A'Fulcrum
 B, B'Adjustable fulcrum
 C, DOil damper
 EElectro-magnet for recording
 FAdjustable screw

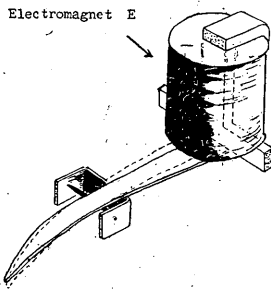


Fig. 2. Detail of the recording marker

Fig. 1 は新しい傾斜計の見取図である。第1振子は質量 3kg の黄銅製重錘を径 0.4mm のピアノ線 でつるした高さ 300mm のツェルナー振り振子から成り、第2振子は質量 20gr の重錘を径 0.1mm のピアノ線 でつるした高さ 150mm のツェルナー振り振子からなり、第2振子の先に記録ペンが付けられ、第2振子の回転軸からペン先まではやく 140mm である。傾斜は毎分打点式方法で、週巻きドラム上にまきつけられた煤煙紙上に記録される（ドラムの回転の速さは 2 mm/hr すなわち 48mm/day）。Fig. 1 中 A, B は第1振子のつり糸の支点で、B点は第1振子の周期を変えるために基台上を前後に、取付時の振子の方向を正すために左右に移動させることができる。かつ、A, B 支点はともに振子の姿勢を直すためつり糸を巻き上げ、またはほごすことができるように巻き取り装置になっている。第2振子の上部支点A'は第1振子軸に取り付けられ、組立調整の必要の際に自由に取外しができる。下部支点B'は第1振子のB点と全く同じ構造で、同じ運動ができる。第1振子の支柱ならびに基台は充分焼なまして、内部ひずみを除去した鑄鉄である。第1振子、第2振子ならびにこれらが取付けら

れる支柱は 62cm のスパンを持った三本の脚に支えられる基台上に取付けられ、頂脚と側脚の一つとは差動ねじで一回転 1mm の上下になる。C, Dは第1, 第2振子の自由振動をおさえるためのオイルダンパーの油つぼである。傾斜計では制振度をうんぬんすることはないから、油には軽油とスピンドル油とを混合して用いて適当であった。Eは記録ペンを操作するための電磁石である。記録は Fig. 2 のように尾部を重くしたペンを回転軸で支え、通常ペンは記象紙から離れている。電磁石で尾部を吸い上げ、記象紙に打点して記録する。

§ 1.2 倍率の静的理論 複合振子においては、第1振子の振動が第2振子の振動を誘起するばかりでなく、誘起された第2振子の振動が第1振子の振動に影響し、第2振子の運動によって、第

1 振子の回転のモーメントは減少させられる。これらの相互の影響によって、複水平振子の複合周期は増し、傾斜に対する感度は増大する。

基台が θ radian だけ傾くと、第 1 振子はその回転軸のまわりに

$$\theta_1 = \theta / i_1 \dots\dots\dots(1)$$

だけ回転する。ここに、 i_1 は第 1 振子の回転軸の鉛直よりの傾きである。

第 1 振子の回転によって生ずる第 2 振子の回転は、逆に第 1 振子の回転角を増加させる。したがって、各振子の回転角は基台の傾斜によって生ずる第 1 振子の回転角、あるいはこの第 1 振子の回転角による第 2 振子の回転角とは異なる。

基台が θ だけ傾き、第 1、第 2 振子が回転して静止したときの回転角をそれぞれ θ_1' 、 θ_2' とすると、傾斜計の倍率 n は次式で表わされる。

$$n = \theta_2' / \theta \dots\dots\dots(2)$$

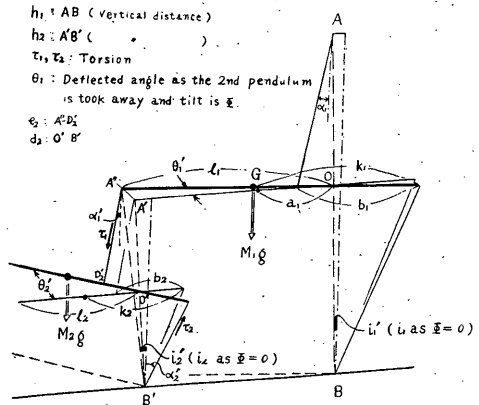


Fig. 3. Diagram of the tiltometer

Fig. 3 は基台が θ だけ傾き、振子が静止したときの関係を示すが、第 1、第 2 振子が静止したとき、これら振子の間の力のつりあいは、

$$a_1 M_1 g \sin i_1' \sin(\theta_1' - \theta_1) = l_1 \tau_1 \sin \alpha_1' \sin(\theta_2' - \theta_1') \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 i_1 、 θ_1 、 θ_1' 、 θ_2' はそれぞれ小さい角で、 $i_1' = i_1$ とみなしうるから、

$$a_1 M_1 g i_1 (\theta_1' - \theta_1) = l_1 \tau_1 \sin \alpha_1 (\theta_2' - \theta_1') \dots\dots\dots(4)$$

第 2 振子に働く力を考えると

$$\left\{ \begin{aligned} \tau_1 \sin \alpha_1' &= \tau_2 \sin \alpha_2' (=c) \dots\dots\dots(5) \\ M_2 g k_2 &= \tau_1 b_2 \cos \alpha_1' \dots\dots\dots(6) \\ M_2 g (k_2 - b_2) &= \tau_2 b_2 \cos \alpha_2' \dots\dots\dots(7) \end{aligned} \right.$$

$$\text{また、} (b_2 - \frac{h_2}{2} \tan \alpha_1' - \frac{h_2}{2} \tan \alpha_2') / h_2 = i_2' = i_2 \dots\dots\dots(8)$$

ここに、 i_2 は $\theta = 0$ のときの第 2 振子の傾斜角、

上記の各式から

$$\tan \alpha_1' = c b_2 / M_2 g k_2, \quad \tan \alpha_2' = c b_2 / M_2 g (k_2 - b_2)$$

(8) から

$$\frac{b_2}{h_2} - \frac{1}{2} \frac{c b_2}{M_2 g k_2} - \frac{1}{2} \frac{c b_2}{M_2 g (k_2 - b_2)} = i_2 \dots\dots\dots(9)$$

(9) から

$$c = \left(\frac{b_2}{h_2} - i_2 \right) k \dots\dots\dots (10)$$

ただし, $\frac{1}{k} = \frac{b_2}{2} \left\{ \frac{1}{M_2 g k_2} + \frac{1}{M_2 g (k_2 - b_2)} \right\}$

また, 傾斜角 ϕ にともなう第2振子の回転角は,

$$\theta_2' = \left(\phi + \frac{l_1 \theta_1'}{h_2} \right) / i_2 \dots\dots\dots (11)$$

第2振子の周期が小さい場合には ϕ/i_2 は $l_1 \theta_1'/h_2$ に較べて無視しうるくらいに小さいから,

(11) 式より

$$\theta_2' = l_1 \theta_1' / h_2 i_2$$

上の諸式と (4) より

$$\theta_1' = \frac{a_1 M_1 g}{a_1 M_1 g i_1 - \frac{c l_1^2}{h_2 i_2} + c l_1} \phi \dots\dots\dots (12)$$

$$\therefore \theta_2' = \frac{l_1}{h_2 i_2} \left(\frac{a_1 M_1 g}{a_1 M_1 g i_1 - \frac{c l_1^2}{h_2 i_2} + c l_1} \right) \phi \dots\dots\dots (13)$$

したがって倍率は,

$$n = \theta_2' / \phi = \frac{l_1}{h_2 i_2} \left(\frac{a_1 M_1 g}{a_1 M_1 g i_1 - \frac{c l_1^2}{h_2 i_2} + c l_1} \right) \dots\dots\dots (14)$$

また, この傾斜計が安定であるためには,

$$a_1 M_1 g i_1 - \frac{c l_1^2}{h_2 i_2} + c l_1 > 0$$

傾斜計組立後においては, (14) 式において, i_1, i_2 以外の値は定まり, 倍率は i_1, i_2 だけの函数となる. 第1, 第2振子の固有周期を測ることによって, i_1, i_2 は次式から計算でき, 倍率を決定できる.

$$T = 2\pi \sqrt{I / (\mu - M g a \sin i)} \dots\dots\dots (15)$$

ここに, Fig. 3 のような組立寸法において, 第1振子の慣性モーメント $I_1 = 5.72 \times 10^5 \text{ gr} \cdot \text{cm}^2$, 第2振子の慣性モーメント $I_2 = 148 \text{ gr} \cdot \text{cm}^2$, 第1振子の $i_1 = 0$ のときの周期

$$T_1 = 2\pi \sqrt{5.72 \times 10^5 / 2.94 \times 10^4} = 27.7 \text{ sec}, \text{ 第2振子の } i_2 = 0 \text{ のときの周期 } T_2 = 2\pi \sqrt{148 / 1.06 \times 10^4} = 7.4 \text{ sec}$$

§ 1.3 倍率の検定 基台の側脚の位置にダイヤルインディケーターを取付け, 側脚のねじを回転させてインディケーターの読みから基台の傾斜を計算し, 一方ペンのふれを測り, 双方から倍率を実測することができる. この, 計算したものは Table 1 のように実測ときわめてよく合う.

Table 1. Observed and calculated data

No.	1	2	3	4	5	6
T_0 (sec)	6.0	9.6	11.0	12.4	20.0	28.0
T_1 (sec)	—	—	—	6.9	7.5	8.0
T_2 (sec)	—	—	—	1.2	1.2	1.2
$n_{obs.}$ ($\times 10^3$)	0.93	2.94	3.60	3.78	9.9	30.2
Recorded displacement per 1°-tilt (mm)	0.6	—	—	2.58	6.71	20.5
Recorded displacement per 1/100 mm-tilt of side leg (mm)	—	—	—	9.8	25.5	78
i_1 (rad)	—	0.0152	0.0117	0.0113	0.0094	0.0082
i_2 (rad)	—	0.0935	0.0935	0.0935	0.0935	0.0935
c	—	634	634	634	634	634
$n_{cal.}$ ($\times 10^3$)	—	2.14	4.00	4.44	9.3	30.7

§ 1.4 試験観測結果 上記の倍率の検定を行いながらやく1か月半にわたって時計、記録機構などを試験するために当工場研究室の半地下室において観測を行った。その記象の一部を Fig. 4 に示す。たまたま、11月25日の房総沖地震ならびに余震がひん発したが、Fig. 4. 下図でみるように、地震による記録の断絶は極めて短い時間で、その後においてはなんら調整を施さなくても支障なく記録が続けられている。

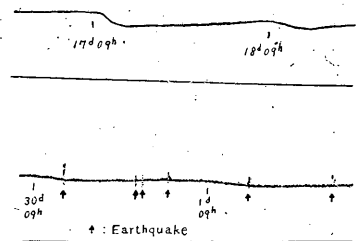


Fig. 4. Examples of the record

§ 1.5 結 び 以上を要約すると、新しく試作した傾斜計の利点は次のようである。

- (1) 可搬で機械的記録であるにもかかわらず、複水平振子式振子であるので倍率は高く、 3×10^4 倍まで実際に記録しえた。
- (2) 打点式記録なので、常時、摩擦のない自由な状態にあり、したがって確実に傾斜に追従しうる。
- (3) 基台の傾斜によって i_1 , i_2 が多少変化しても、各振子の周期はほとんど変化せず、したがって倍率に変化が生じない。

終りに製作を担当された測器工場諸兄に謝意を表す。

【II】傾斜計の試験*

§ 2.1 倍率試験 実験的に振子の周期と倍率との関係を求めた。その結果は Table 2, 3, 4 のようである。

* 竹山一郎, 田中康裕

Table 2. Experimental data—the periods and the magnifications of the 1st pendulum

T_1	4.30	4.50	4.80	5.13	5.40	6.06	6.5	7.3	8.3	9.3	11.0	15.2	20.1	25.2	28.2
$n_{(+)}$	59	41	46	52	59	74	91	123	140	186	249	494	851	1420	1520
$n_{(-)}$	30	45	44	55	58	72	108	114							

Table 3. Experimental data—the periods and the magnifications of the 2nd pendulum

T_2	1.00	1.11	1.20	1.30	1.40	1.48	1.58	1.70
$n_{(+)}$	6.2	6.8	8.0	10.1	12.9	—	16.1	19.1
$n_{(-)}$	—	7.9	9.2	12.2	13.0	15.8	15.5	20.7

Table 4. Experimental data—the periods and the magnifications of the compound pendulum

A_s $T_1=4.0$ (sec)	T_2	1.34	1.45	1.54	1.58	1.59	1.04	1.15	1.25	1.35	1.45	1.54	1.62	1.68	>1.68
	T_0	6.2	7.7	10.0	12.2	14.0	4.5	4.9	5.4	6.2	7.6	9.2	26.?	21	Unstable
	$n_{(+)}$ ($\times 10^3$)	1.4	2.3	5.0	6.1	12.?	0.4	0.6	0.9	1.1	2.2	3.5	$10 \sim 21$	35	—
A_s $T_1=5.0$ (sec)	T_2	1.19	1.24~ 1.25	1.30	1.32	1.34	1.36	1.38	1.37	1.38	1.38	1.38	1.38	1.39	
	T_0	7.6	8.9	10.1	12.0	14.1	16.0	17.3	18.8	20	25	32			
	$n_{(+)}$ ($\times 10^3$)	1.6	2.6	3.3	5.3	7.3	9.8	12.2	10.6?	16.3	27	47			
A_s $T_1=7.1$ (sec)	T_2	0.94	0.98	1.00	1.06	1.10	1.12	1.13	1.2						
	T_0	8.3	9.1	10.0	13.0	14.8	25	45	Unstable						
	$n_{(+)}$ ($\times 10^3$)	1.4	1.8	2.4	4.2	5.3	17.7	29	—						
A_s $T_1=7.9$ (sec)	T_2	0.92	0.96	1.00	1.03	1.05	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.10			
	T_0	9.2	10.0	12.2	14.1	15.8	17.2	18.8	20	26	32	Unstable			
	$n_{(+)}$ ($\times 10^3$)	1.6	2.1	3.5	5.4	6.7	8.0	9.8	12.0	20	40	—			
A_s $T_1=9.0$ (sec)	T_2	0.96	0.98	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03	1.04~ 1.05	>1.05					
	T_0	12.3~ 12.4	14.0	15.5~ 15.6	17.2~ 17.3	18.6	20	25	31	Unstable					
	$n_{(+)}$ ($\times 10^3$)	3.2	4.2	5.5	7.5	8.7	9.3	16.4	28	—					

記号説明

T_1, T_2, T_0 ……それぞれ第1振子, 第2振子, 複合振子の周期 (The proper periods of the 1st, 2nd and compound pendulum respectively) (sec).

n ……倍率 (magnification) (差動ねじ側脚のある側をもちあげたときの倍率を $n_{(+)}$, 逆にさげたときを $n_{(-)}$ とする).

実験結果を図に表わすと、振子の周期と倍率との関係は Fig. 5, 6, 7 のようになり、第1振子、第2振子だけについて考えると、振子の周期と倍率との関係について次の実験式が成立つ。

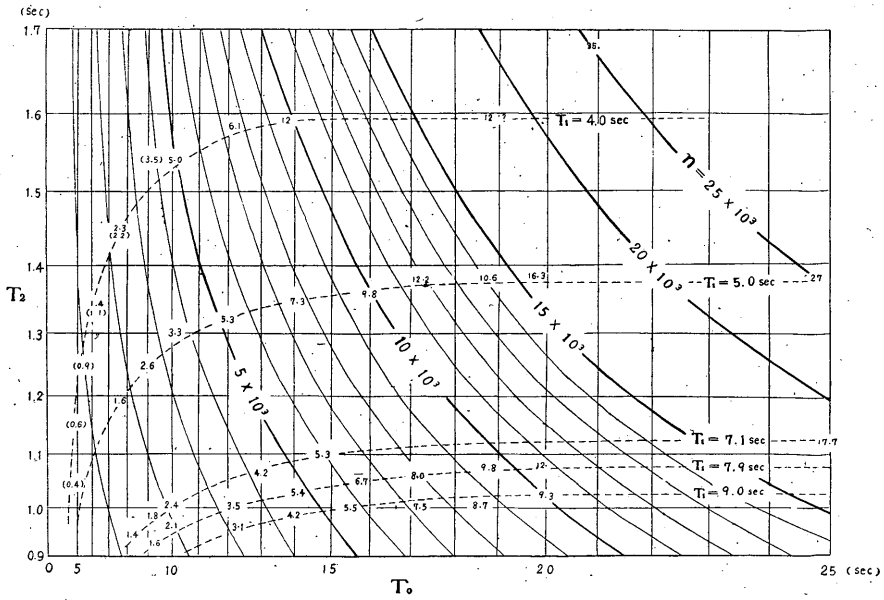


Fig. 5. T_0 (period of compound pendulum), T_2 (period of 2nd pendulum), n (magnification) - curve

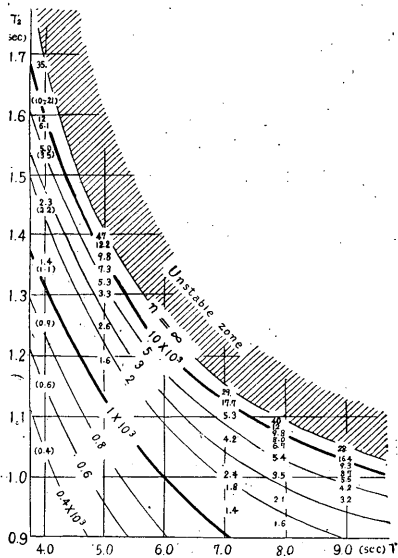


Fig. 6. T_1 (period of 1st pendulum), T_2 (period of 2nd pendulum), n (magnification) - curve

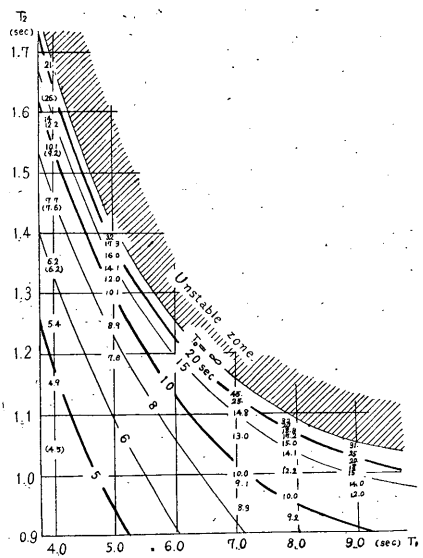


Fig. 7. T_1 (period of 1st pendulum), T_2 (period of 2nd pendulum), T_0 (period of compound pendulum) - curve

第1振子について $n_1 = 2.8 T_1^2 \dots\dots\dots (16)$

第2振子について $n_2 = 6.7 T_2^2 \dots\dots\dots (17)$

さらに、複合周期と倍率との関係については、

$$\left. \begin{array}{l} T_2 = 1.1 \text{ sec のとき} \quad n = 28 T_0^2 \\ T_2 = 1.3 \text{ sec のとき} \quad n = 37 T_0^2 \\ T_2 = 1.5 \text{ sec のとき} \quad n = 46 T_0^2 \\ T_2 = 1.7 \text{ sec のとき} \quad n = 59 T_0^2 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

(18) において、 $n = \alpha(T_2 T_0)^2$ として α を求めると、 $\alpha = 20 \sim 23$ となる。

§ 2.2 倍率の動的理論

すでに Lettau 氏や本論文 § 3 で傾斜計の理論がとりあつかわれているが、これらは問題を静的にあつかってあるので、筆者は振子の周期と倍率との関係を明らかにするため問題を動的に取扱った。

傾斜計の関係位置を Fig. 3; Fig. 8 (水平投影) に示す。この傾斜計は二つの振子が結合された連成振子である。まず、振子の結合部分について考える。第1振子を θ_1 だけかたよらせると、つり

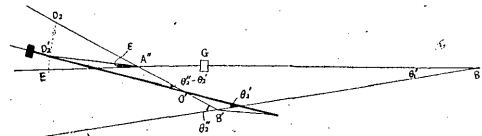


Fig. 8. Projection of pendulum on the horizontal plane

糸のねじれがきかないときは第2振子は $A'' B'$ を含む鉛直面上にかたよる。しかし、糸のねじれのためにかたよりの角はそれより小さく $O' D_2'$ の方向になる。また、 A'' 点に伝く糸の張力は第1振子のかたよりをさらに増す方向に作用する。このとき、第2振子によって第1振子に作用するモーメントは、

$$\tau_1 l_1 \sin \alpha_1' \cdot \varepsilon \dots\dots\dots (19)$$

ここに、 $(D_2' E)_H = (D_2 E)_H - (D_2 D_2')_H = (A'' D_2)_H \angle D_2 A'' E - (D_2 O')_H \angle D_2 O' D_2'$ であるから、
(H は水平距離の意)

$$\varepsilon = \theta_2'' - \theta_1' - \frac{(h_2 - d_2) i_2}{e_2 \sin \alpha_1'} (\theta_2'' - \theta_2') \dots\dots\dots (20)$$

次に、 θ_1' 、 θ_2' 、 θ_2'' の関係について考える。第2振子に作用する力は M_2 によるもの、つり糸のねじれによるもの。(上、下) であるから、これらがつりあっているときは、

$$\mu_3 (\theta_2'' - \theta_2') = \mu_4 (\theta_2' - \theta_1') + \mu_5 \theta_2' \dots\dots\dots (21)$$

$$\therefore \theta_2' = (\mu_3 \theta_2'' + \mu_4 \theta_1') / (\mu_3 + \mu_4 + \mu_5) \dots\dots\dots (22)$$

ここに、 μ_3 : 第2振子の重錘によるモーメント、

μ_4, μ_5 : 同振子それぞれ上下つり糸によるモーメント、

また、 $\theta_2'' = l_1 \theta_1' / h_2 \dots\dots\dots (23)$

$$\phi' = l_1 \theta_1' / h_2 \dots\dots\dots (24)$$

θ' …… 第2振子の傾斜角

すると、第1、第2振子の運動方程式は ($\frac{d}{dt} \equiv p$ とおく)

$$I_1 p^2 \theta_1' + \lambda_1 p \theta_1' + (M_1 g a_1 i_1 + \mu_{(1)}) \theta_1' - \tau_1 l_1 \sin \alpha_1' \cdot \varepsilon = M_1 g a_1 \theta \dots (25)$$

$$I_2 p^2 \theta_2' + \lambda_2 p \theta_2' + (M_2 g a_2 i_2 + \mu_{(2)}) \theta_2' = M_2 g a_2 \theta \dots (26)$$

$\mu_{(1)}$, $\mu_{(2)}$ は第1、第2振子それぞれにおいてつり糸のねじれによるモーメント。

(20), (22), (23), (24), (25), (26) を連立させて、これを解く。まず、(22), (23) を (20) に代入すると ε は θ_1' だけの函数となるから、これから (25) は、

$$I_1 p^2 \theta_1' + \lambda_1 p \theta_1' + (q_1 - q_2) \theta_1' = M_1 g a_1 \theta \dots (27)$$

ただし、 $q_1 \equiv M_1 g a_1 i_1 + \mu_{(1)}$, $q_2 = \tau_1 l_1 \sin \alpha_1' \left\{ \frac{(1+\xi)(\zeta \mu_3 + \mu_4)}{\mu} - \zeta \xi - 1 \right\}$

$$\xi = (h_2 - d_2) i_2 / e_2 \sin \alpha_2, \quad \mu = \mu_3 + \mu_4 + \mu_5, \quad \zeta = l_1 / h_2 i_2$$

このとき、 $q_1 > q_2$ はこの振子が安定なための条件である。この方程式の特解を求めると傾斜 θ に対する第1振子のかたよりの角 θ_1' が求められる。すなわち、

$$\theta_1' = \frac{M_1 g a_1 \theta}{q_1 - q_2} = \frac{M_1 g a_1 \theta}{M_1 g a_1 i_1 + \mu_{(1)} - \tau_1 l_1 \sin \alpha_1' \left\{ \frac{1}{\mu} (1+\xi)(\zeta \mu_3 + \mu_4) - \zeta \xi - 1 \right\}} \dots (28)$$

これを (22), (23) に代入して $\theta_2' / \theta = n$ を求めると、倍率 n が与えられる。

$$n = M_1 g a_1 (\mu_3 \zeta + \mu_4) / \mu (q_1 - q_2) \dots (29)$$

また、振子の周期は、

$$\text{第1振子} \dots T_1 = 2\pi \sqrt{I_1 / (M_1 g a_1 i_1 + \mu_{(1)})} \dots (30)$$

$$\text{第2振子} \dots T_2 = 2\pi \sqrt{I_2 / (M_2 g a_2 i_2 + \mu_{(2)})} \dots (31)$$

$$\text{複合振子} \dots T_0 = 2\pi \sqrt{I_1 / [M_1 g a_1 i_1 + \mu_{(1)} - \tau_1 l_1 \sin \alpha_1' \left\{ \frac{(1+\xi)(\zeta \mu_3 + \mu_4)}{\mu} - \zeta \xi - 1 \right\}]} \dots (32)$$

であるから、傾斜計の倍率を周期 T_0 , T_2 の函数として表わすと、 $m_2 g a_2 i_2 \gg \mu_{(2)}$, $\mu_3 \gg \mu_4$, $\mu_3 \gg \mu_5$ としたとき、

$$n \approx \frac{M_1 g a_1}{(2\tau)^2 I_1} \frac{M_2 g a_2}{(2\pi)^2 I_2} \frac{l_1}{h_2} (T_0 T_2)^2 \dots (32)$$

ここに、実験によって $I_1 = 48.2 \times 10^4 \text{ gr} \cdot \text{cm}^2$, $I_2 = 154 \text{ gr} \cdot \text{cm}^2$ であるから、 $T_1 = 4.0 \text{ sec}$ のとき、実験値と理論値とを比較すると Table 5 のようになり、実験値と理論値の両者は比較的よく合う。

Table 5. Observed and calculated data

T_0 (sec)	4.5	4.9	5.4	6.2	7.2	9.2
T_2 (sec)	1.00	1.15	1.25	1.35	1.45	1.54
$n_{\text{cal.}}$ ($\times 10^3$)	0.37	0.59	0.86	1.34	2.3	3.7
$n_{\text{obs.}}$ ($\times 10^3$)	0.44	0.61	0.88	1.1	2.2	3.5

§ 2.3 温度の影響 長周期振子の周期は温度の影響を受けやすい。傾斜計の場合、温度の影響を受ける部分としては次の二点が考えられる。(i) 温度によってフレームその他各要素の長さが変わり、それにつれて振子相互の関係位置が変わる。しかし、金属の膨脹係数は小さいので、振子の周期に影響を与えるほどの変形は起らないと見てよい。(ii) つり糸の弾性率が変り、それによって周期が変わる。この場合、短周期の振子については問題ないので、一応、周期の長い場合の振子として第1振子について考えると、

$$dT_1 = -\frac{T_1}{2(\mu_1 + \mu_2)} d\mu \dots\dots\dots (32)$$

であり、鋼鉄線の場合 $d\mu_2/dTe = 0.25 \times 10^{-9}$ (Te は温度) であるから、 $10 \sim 20^\circ C$ の温度変化に対して周期数秒くらいの振子ではその影響はほとんど現れない。

§ 2.4 考察ならびに結び 倍率検定の際、台の傾斜どそのときの指針の目盛を順次追跡した図を Fig. 9 に示す。図でわかるように、傾斜の方向を逆にしたとき、あるループを画く。この原因は明らかではないが、糸のつり点の構造上の欠点らしい。しかし、現業観測の際の必要な精度以内にあるので問題ないと思われる。

結論として、石本式シリカ傾斜計と同程度の感度のすず書き傾斜計を作ることが試作の目的であったが、実験によると、複合振子の周期 17.5sec のとき 1 sec の傾斜が大体 5 mm に拡大されるので (石本式では 15sec の周期のとき 1 sec の傾斜が 10mm になる)、所期の成果は一応得られたと思われる。

最後に、実験結果について種々御審議して頂いた地震課ならびに地震研究室の諸氏に対して謝意を表す。

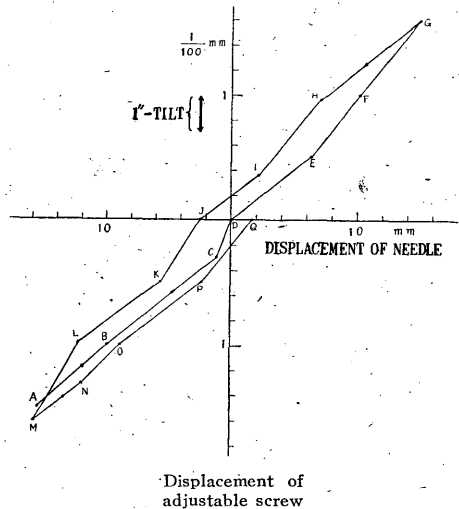


Fig. 9. Locus of displacement of needle against tilting