ペンデュラムダイナモメータ (連杆型) の機構に就て⁽¹⁾

(昭和 16 年 11 月 9 日 応用力学講演會に於て講演)

正 員 吉 澤 武 男⁽²⁾

緒 言

材料試験機には試験片に加へた荷重を測定する方法として零位法及び偏位法がある。前者では主として送錘と槓杆とが利用され、後者では主として圧力計や振子を用ひるペンデュラムダイナモメータが利用されてゐる。後者は測定法の性質上瞬間的に荷重を読取ることの出来るのが特徴であるから工業的試験に用ひられる試験機には大いに歓迎されてゐて、斯る理由から従来から零位法の代表的試験機であるオルゼン式等の槓杆型試験機で送錘及び目盛附槓杆をペンデュラムダイナモメータで置き換へてゐる例も少くない。併し構造の簡單であることは多くの場合堅牢であり且正確であり鋭敏である。複雑な機構のペンデュラムダイナモメータはこれを使用する試験機の性能を阻害する幾多の原因をもつてゐるので斯る点を充ち明らかにして避けることが必要である。

材料試験機はその使命上先づ良好な性能を具へてゐることが必要である。その正確さおよび鋭敏性を阻害するものとしては各部の摩擦抵抗や機構上の欠陥並に構成各部分の変形又は不正な組立等による構造上の欠陥を挙げることが出来る。

ペンデュラムダイナモメータの代表的なものはアムスラー式材料試験機に用ひられてゐる連杆型 (第 1 図) で試験荷重は槓杆又は測定用ピストンを経單一の連杆を通じて加へられ振子に傾斜を與へこの回轉角を利用して荷重を指示する機構である。松村式ペンデュラムダイナモメータもこれに属する。この外連杆の代りにベルトや鎖を利用した巻掛型 (第 2 図)、連杆を二つ用ひてゐる二重連杆型 (第 3 図) 等がある。前者の代表的なものはショッパース式で特に等分目盛を具へてゐるものに東衡式があり、後者は帝試式試験機に利用されてゐる。

ペンデュラムダイナモメータはその機構上目盛盤を等分目盛となし得るものと然らざるものがあり、正確さの点では前者が著しく優つてゐることは云ふまでもないことで機構上や構造上の欠陥から歎むを得ず不等分目盛としてゐる場合も少くない。

アムスラー式ペンデュラムダイナモメータの機構に関して又機構が誤差に及ぶ影響については前川正太郎君⁽³⁾や長澤弘道君⁽⁴⁾によつても研究が行はれ既に発表されてゐる。又基本式に関しては石田有義氏の著書⁽⁵⁾にも記載されてゐる。併しこれまでの発表はいづれもねち棒の運動方向が水平であり荷重の作用方向が鉛直である特別な場合を取扱つてゐる。従て押金具の位置の狂ひや連杆の影響も斯る場合を基としてをり誘導した結果も或ものは特別な場合のみであり或ものは概念的であり一般の場合に実際に役立てるには不充分であるやうに思はれる。著者も約 8 年以前よりこの問題を取扱つてをり一部は実際の試験機の矯正に役立てたこともあつた。この研究結果は第 1 図の如く一つの連杆と振子とを以て構成され押金具とねち棒とで荷重を指示する機構のものであれば主要寸法や相互関係などその他の条件の如何に拘らず應用することが

できる。即ち著者は斯る一般の場合に就て等分目盛の目盛盤を使用する場合に必要な構成各部分の正し相互関係位置を更に又起り得べき機構上の諸原因が性能に及ぶ影響を理論的に誘導し特に任意の試験荷重における原因と結果との量的関係を簡単に且明瞭にし更にこれを実際のダイナモメータに就て実測した結果と比較して確かめた。又実際の試験機では多くの場合に存在する最初荷重を考慮して眞の誤差率を求め更に誤差率の開き並に誤差率の矯正法を吟味し究局に於て悪影響を及ぶ事項を闡明にした。併し他の型式にも共通な事項も多く含まれてゐる。

ペンデュラムダイナモメータの構成部分は力と運動とを伴ふ部分即ち試験荷重と平衡を保つ部分 (「振子系」と呼ぶ) と運動のみを取扱ふ部分即ち平衡状態を目盛に表示する部分 (「指針系」と呼ぶ) 二つの部分に分けることができる。こゝでは振子系のみを取扱ふ。

記 号

P_0 ...最初荷重、 P ...試験荷重、 b ...固定回轉軸中心 O_1 と遊動回轉軸中心 O_2 との間隔即ち腕 B の長さ、 x ... P_0 が加はつたときのねち棒の変位置、 $x+x_0$... $P+P_0$ が加はつたときのねち棒の変位置、 wl ...固定回轉軸中心 O_0 の周りの振子系のモーメント、 m ...ねち棒 C の行程直線と固定回轉軸

(1) On the Mechanism of Pendulum Dynamometer (Single Connecting rod type). (2) Takeo YOSIZAWA, Member. The Tōkyō Imperial University. 東京帝國大学。

(3) 機械と材料、ペンデュラムダイナモメータが機構に及ぶ影響、77 卷 962 号 (昭 16-2)。 (4) 通信省船舶試験所第 1 回公開講演、アムスラー式荷重計測装置に依る荷重指示の誤差に就て。 (5) 実験機械工学。

[昭和 17 年 5 月]

中心 O_1 との間隔、 r_1 ... 押金具 D の接触直線と固定回轉軸中心 O_1 との間隔、 r_2 ... ねち棒 C の先端の球面の半径、 $K_0 = mb/(wl \cos \beta)$ 、 δ_0 ... 腕 B の中心線 $\overline{O_1 O_2}$ と押金具 D の接触直線とのなす角、 $\pi/2 - \beta$... $P + P_0 = 0$ のときの押金具 D の接触直線とねち棒の行程直線とのなす角、 $\pi/2 - \psi$... $P + P_0 = 0$ のときの腕 B の中心線 $\overline{O_1 O_2}$ と荷重の作用線の一定方向とのなす角、 θ ... $P + P_0$ が加はつたため振り系が回轉した角度、 $\gamma = \beta - \theta$ 、 γ_{P_0} ... P_0 のみ加はつた時の γ 、 ε (ε_1 , ε_2 , ε_3 等)... $x + x_0 = K_0(P + P_0)(1 + \varepsilon)$ で表はされる見掛の誤差率、 $(\varepsilon)_0$ ($(\varepsilon_1)_0$, $(\varepsilon_2)_0$, $(\varepsilon_3)_0$ 等)... $x = K_0 P(1 + (\varepsilon)_0)$ で表はされる眞の誤差率、即ち (指示荷重 - 試験荷重)/試験荷重、 E ... 見掛の誤差率の開き、 $(E)_0$... 眞の誤差率の開き。

1. 等分目盛を使用するための基本条件

第4図の如く一般にねち棒 C の行程直線が水平方向より β_1 だけ傾き且 O_1 を固定回轉軸とする振り系上の遊動回轉軸

第 4 図

O_2 に加はる荷重の作用線が常に一定で鉛直方向と β_2 をなすとき ねち棒の変位 $x + x_0$ は

$$(P + P_0)b \cos(\psi - \theta) = wl \sin \theta$$

$$x + x_0 = m\{\tan \beta - \tan(\beta - \theta)\} + (r_1 - r_2)\{\sec \beta - \sec(\beta - \theta)\}$$

$$= m \frac{\sin \theta}{\cos \beta \cos(\beta - \theta)} + (r_1 - r_2)\{\sec \beta - \sec(\beta - \theta)\}$$

なる関係を利用すれば

$$x + x_0 = m \frac{(P + P_0)b}{wl} \frac{\cos(\psi - \theta)}{\cos \beta \cos(\beta - \theta)} + (r_1 - r_2)\{\sec \beta - \sec(\beta - \theta)\} \quad (1)$$

で表はされる。故に $x + x_0$ と $P + P_0$ とが比例するためには

$$\left. \begin{array}{l} (a) \quad \psi = \beta \\ (b) \quad r_1 = r_2 \end{array} \right\} \quad (2)$$

第 8 卷 第 31 号 (第 4 部)

であればよい。然るとき

$$x + x_0 = K_0(P + P_0) \quad (3)$$

然るに $x_0 = K_0 P_0$ であるから

$$x = K_0 P \quad (4)$$

即ち目盛盤を等分目盛とすることが出来る。従て等分目盛とするための機構上の必要条件は次の通りである。

(a) $\psi = \beta$ であることは荷重の作用線の方角と腕の中心線 $\overline{O_1 O_2}$ とのなす角がねち棒 C の行程直線と押金具 D の接触直線とのなす角と常に相等しいことであるから、腕の中心線と押金具の接触直線とのなす角 δ_0 は次の関係を満足してゐることを要する。

即ち $\psi = \pi/2 - (\delta_0 + \beta_2) + (\beta + \beta_1)$ であるから

$$\delta_0 = \frac{\pi}{2} + \beta_1 - \beta_2 \quad (5)$$

即ち従来取扱はれてゐた場合は $\beta_1 = 0$, $\beta_2 = 0$ なる特別の状態であるから既に明かにされてゐるやうに斯る場合の必要条件は

$$\delta_0 = \pi/2$$

となる。

(b) $r_1 = r_2$ であることはねち棒先端の球面の中心を通り押金具の接触直線に平行に引いた直線が O_1 を横切ることによって β_1 や β_2 の如何にはよらない。

以上述べた必要条件の満足されるペンデュラムダイナモメータでは x 及び P に関して夫々次の関係が成立する。

$$P + P_0 = \frac{wl \cos \beta}{b} \times (\tan \beta - \tan \gamma) \quad (6)$$

$$x + x_0 = m(\tan \beta - \tan \gamma) \quad (7)$$

又

$$P = \frac{wl \cos \beta}{b} (\tan \gamma_{P_0} - \tan \gamma) \quad (8)$$

$$x = m(\tan \gamma_{P_0} - \tan \gamma) \quad (9)$$

となり、 P 及び x は夫々 $\tan \gamma$ の一次式で表はされる。

2. 補助錘の影響

(a) 振り系に補助錘を取付けた場合 ペンデュラムダイナモメータでは振子の下端に取外しの出来る補助錘を具へこの重錘を加減して或は振子の長さを変更して振り系のモーメント wl を試験機の各秤量に適當した大きさに変へたり又は最初荷重特に被試験物の重量に釣合せるために別に具へてゐる釣合錘の位置を移動させることが行はれる。

一般に第5図に示す様な固定回轉軸 O_1 の周りのモーメントの大きさが $w'l'$ で取付け以前の重心の方角と δ をなす補助錘をいくつか取付けたとき新重心の方角が旧重心の方角

第 5 図

と δ' をなしモーメントの結局の大きさが WL であるとする。然るとき

$$WL = wl \cos \delta' + \sum w'l' \cos (\delta - \delta')$$

$$wl \sin \delta' = \sum w'l' \sin (\delta - \delta')$$

なる関係が成立する故 WL 及び δ' は次式で求めることができる。

$$\begin{aligned} WL &= \frac{wl}{\cos \delta'} \\ &\times \left\{ 1 + \sum \frac{w'l'}{wl} \cos \delta \right\} \dots (10) \\ \tan \delta' &= \frac{\sum \frac{w'l'}{wl} \sin \delta}{1 + \sum \frac{w'l'}{wl} \cos \delta} \\ &\dots (11) \end{aligned}$$

故に新しい状態で $x+x_0$ と $P+P_0$ との関係は

$$\begin{aligned} x+x_0 &= m \frac{(P+P_0)\delta}{WL \cos (\beta+\delta')} \\ &= K_0 (P+P_0) \\ &\times \frac{wl \cos \beta}{WL \cos (\beta+\delta')} \\ &\dots (12) \end{aligned}$$

で與へられるから

$$\begin{aligned} x+x_0 &= \frac{K_0}{K} (P+P_0) \quad \text{即ち} \\ x &= \frac{K_0}{K} P \dots (13) \end{aligned}$$

と置けば

$$\begin{aligned} K &= 1 + \frac{\sum w'l' \cos (\beta+\delta)}{wl \cos \beta} \\ &= 1 + \sum \frac{w'l'}{wl} \cos \delta \\ &\quad - \tan \beta \sum \frac{w'l'}{wl} \sin \delta \dots (14) \end{aligned}$$

特に第5図の如く1箇の補助錘の場合には

$$\begin{aligned} K &= 1 + \frac{w'l' \cos (\beta+\delta)}{wl \cos \beta} \\ &= 1 + \frac{w'l'}{wl} \\ &\quad \times (\cos \delta - \tan \beta \sin \delta) \\ &\dots (15) \end{aligned}$$

で表はされる。故に補助錘の重さや取附位置が間違つてゐた場合や後に述べるやうに誤差率修正の目的で殊更に狂はせる場合には試験荷重の測定値には次式で示す見掛の誤差率 ϵ_1 即ち眞の誤差率 $(\epsilon_1)_0$ が加はることになる。

$$\begin{aligned} \epsilon_1 = (\epsilon_1)_0 &= \frac{1}{K} - 1 \\ &= - \frac{\sum w'l' \cos (\beta+\delta)}{wl \cos \beta} \dots (16) \end{aligned}$$

特に1箇の補助錘をつけた場合には次の通り。

$$\begin{aligned} \epsilon_1 = (\epsilon_1)_0 &= - \frac{w'l' \cos (\beta+\delta)}{wl \cos \beta} \\ &= - \frac{w'l'}{wl} (\cos \delta - \tan \beta \sin \delta) \dots (17) \end{aligned}$$

こゝで K と δ との関係を吟味してみよう。第15式より K が極値となる δ の値は $dK/d\delta = 0$ と置いて得られる。即ち $\sin (\beta+\delta) = 0$ であるから δ の値は

$$\delta = -\beta \quad \text{又は} \quad \pi - \beta \dots (18)$$

同様に $K=1$ となる δ の値は $\cos (\beta+\delta) = 0$ より

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{\pi}{2} - \beta \quad \text{又は} \\ &= -\frac{\pi}{2} - \beta \dots (19) \end{aligned}$$

となる。故に x と P との比例常数 K_0/K に最も大きな変化を與へるには特に第6図の如く $\beta_2 = 0$ である場合は腕 B の中心線 O_1O_2 と垂直をなす O_1n 上で補助錘の加減をすることで、又これに反し O_1O_2 又はこの延長線上で補助錘の加減や位置の変化を行つても比例常数の値は変わらない。従て第6図の如く釣合錘は斯る位置に取附けこの直線上で位置の移動を行ふべきである。如何となれば釣合錘なるものは振子系の位置を O_1 の周りに任意量だけ回転させ而も P と x との比例常数に影響を及ぼさないことが最も望ましい。然るとき被試験物や取附装置等に依て最初荷重に変化があつたために又は秤量の変更を行つた結果最初荷重の影響の度合が変化したために構造上の制限からねち棒と押金具との接触が不可能となり或は最大試験荷重まで使用出来なくなる懼のある場合には釣合錘の位置を移動して振子系を略々旧位置に復帰させて試験を行ふことができ而も指示荷重には何等の誤差を與へず最大試験荷重まで支障なく使用することが出来るのである。又一般に荷重の加はる方向が鉛直方向より傾いてゐて第7図の如く $\beta_2 \neq 0$ である場合にも x と P との比例常数に最大変化を與へる方向

及び比例常数に変化を與へない方向に関しては第18式及び第19式が成立することには間違ひなく従てかかる方向は $\beta_2 \neq 0$ であつても $\beta_2 = 0$ である場合に與へらるべき腕の位置 O_1O_2' と垂直をなす直線 O_1n 及び O_1O_2' である。即ち $\beta_2 \neq 0$ なる場合の腕 B の位置 O_1O_2 に対しては図に示すやうに夫々 $\pi/2 - \beta_2$ 並に $-\beta_2$ をなす方向である。

現存する試験機で斯る条件に適合してゐないものもあるが

第 6 図

第 7 図

第 8 図 (a)

斯るものでは釣合錘の調節を行へば必ず指示荷重に誤差が加はる。即ち釣合錘の調節される方向がこの理想の方向と $\Delta\delta$ をなしてゐるとすれば $\delta = \pi/2 - \beta + \Delta\delta$ であるから誤差率 ϵ_1 及び $(\epsilon_1)_0$ は第 17 式より

$$\epsilon_1 = (\epsilon_1)_0 = \frac{w'l'}{wl} \frac{\Delta\delta}{\cos\beta} \quad (20)$$

で表はされる。従て振り系に固定された補助錘の影響は各試験荷重に一定率の影響を及すもので、誤差曲線は荷重軸に対し平行移動するだけで傾向や傾斜には変化は起らない。

第 8 図は補助錘の取付け位置に依て K の値が変化する状態を表はす一例の図で、例として引用したペンデュラムダイナモメータは $\beta = 23^\circ 6'$ で $1 + w'l'/wl = 1/10, 1/5, 1/4, 1/2$ の場合及び $\beta = 28^\circ 29'$ で $1 + w'l'/wl = 2, 2.5, 4, 5, 10$ の場合である。又第 9 図は同一の例に就て求めた δ' 即ち振り系が $P + P_0 = 0$ の状態で補助錘を取付けたための回轉角 δ' の値を示す。

振り軸と腕との相互関係位置は最初荷重 P_0 のみ加はつてゐる場合秤量の変更を行ふために振り軸中心線上で補助錘の増減を行つても振り系の位置には変化の起らない方が指針の零点をその都度矯正する必要がなくなつたとへ必要であつても僅かの修正で済み、釣合錘の位置を移動しなくとも使用上差支が生じない。従て斯る事柄が満足されるためには最初荷重のみのとき振り軸中心線が鉛直線上にあることで、第 6 図に示すやうに振り軸中心線と腕 B の中心線 O_1O_2 とのなす角を $\pi/2 + \omega$ とすれば

$$\frac{\pi}{2} + \omega = \frac{\pi}{2} + \gamma P_0 + \beta_2 \quad (21)$$

であればよい。然るとき振り軸中心と重心の方向とは O_1 に対して $\beta - \gamma P_0$ だけの違ひがあるので斯る振り軸上で補助錘の増減を行ひ或は振子の長さの伸縮を行つた場合は $\delta = \beta - \gamma P_0$ に相當するので K の値は次の通りである。

$$K = 1 + \frac{w'l'}{wl} \frac{\cos\gamma P_0}{\cos\beta} \quad (22)$$

又誤差率は次式で與へられる。

第 8 卷 第 31 号 (第 4 部)]

第 8 図 (b)

第 9 図

$$\epsilon_1 = (\epsilon_1)_0 = -\frac{w'l'}{wl} \frac{\cos\gamma P_0}{\cos\beta} \quad (23)$$

即ち誤差率の絶対値は $w'l'/wl$ とはならない。

(b) 振り系に補助錘を巻掛けた場合 振り系へ補助錘を付ける方式に第 10 図の如きものがある。即ち固定回轉軸 O_1 を中心とする半径 l' なる車の周りに巻掛けた撓性節即ちベルト、ロープ、鎖等を仲介として重量 w' なる補助錘を吊下げる。ダッシュポットを具へてゐるペンデュラムダイナモメータはこの種の一例である。

この場合には $w'l'$ なるモーメントが振り系に加はるので $P + P_0$ なる状態で振り系は δ' だけ回轉して平衡する。

即ち

$$\sin\delta' = \frac{w'l'}{wl} \quad (24)$$

従て $P + P_0$ なる荷重が O_2 に加はつたときには

$$(P + P_0)\delta \cos(\beta + \delta' - \theta) = wl \sin(\theta - \delta') + w'l' \quad (25)$$

$$x + x_0 = m\{\tan(\beta + \delta') - \tan(\beta + \delta' - \theta)\} \quad (26)$$

故に

第 10 図

$$x+x_0 = m \frac{(P+P_0)l \sin \theta}{\{wl \sin(\theta-\delta') + w'l' \cos(\beta+\delta')\}} \quad \dots\dots\dots(27)$$

今第 13 式の如く $x+x_0 = (K_0/K)(P+P_0)$ と置けば

$$\begin{aligned} K &= \left\{ \frac{\sin(\theta-\delta')}{\sin \theta} + \frac{w'l'}{wl \sin \theta} \right\} \frac{\cos(\beta+\delta')}{\cos \beta} \\ &= \left\{ \sqrt{1 - \left(\frac{w'l'}{wl}\right)^2} + \frac{w'l'}{wl} \tan \frac{\theta}{2} \right\} \\ &\times \left\{ \sqrt{1 - \left(\frac{w'l'}{wl}\right)^2} - \frac{w'l'}{wl} \tan \beta \right\} \\ &\approx 1 - \frac{w'l'}{wl} \left(\tan \beta - \tan \frac{\theta}{2} \right) - \left(\frac{w'l'}{wl} \right)^2 \\ &\times \left(1 - \tan \beta \tan \frac{\theta}{2} \right) \quad \dots\dots\dots(28) \end{aligned}$$

$w'l'/wl$ が充分小さいときには更に

$$\begin{aligned} K &\approx 1 - \frac{w'l'}{wl} \left(\tan \beta - \tan \frac{\theta}{2} \right) \quad \dots\dots\dots(29) \\ &= 1 - \frac{w'l'}{wl} \left(\tan \beta - \tan \frac{\beta-\gamma}{2} \right) \quad \dots\dots\dots(30) \end{aligned}$$

となり振子の傾き θ が変化するに従て K の値は変つて来るからもはや x と P とは比例せず各試験荷重毎に受ける影響の程度は異なり、又同一試験荷重でも最初荷重の大きさが変つて来ると影響を受ける程度が異なつて来る。見掛の誤差率を ϵ_2 とすれば

$$\begin{aligned} \epsilon_2 &= \frac{1}{K} - 1 \\ &\approx \frac{w'l'}{wl} \left(\tan \beta - \tan \frac{\theta}{2} \right) \quad \dots\dots\dots(31) \\ &= \frac{w'l'}{wl} \left(\tan \beta - \tan \frac{\beta-\gamma}{2} \right) \quad \dots\dots\dots(32) \end{aligned}$$

第 11 図 $w'l'/wl=0.01$ とした場合の $\epsilon_2 - \tan \gamma$ 曲線

第 11 図は $w'l'/wl=0.01$

とした場合第 32 式で計算した ϵ_2 と $\tan \gamma$ との関係を表はす。更に β や θ が充分小さい範囲では極めて近似的に $\tan(\beta-\gamma)/2 \approx 1/2(\tan \beta - \tan \gamma)$ と考えることができるから

$$\epsilon_2 \approx \frac{1}{2} \frac{w'l'}{wl} \times (\tan \beta - \tan \gamma) \quad \dots\dots\dots(33)$$

$$= \frac{1}{2} \frac{w'l'}{wl} \left(\tan \beta + \tan \gamma P_0 - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right) \quad \dots\dots\dots(34)$$

第 11 図中の破線は第 33 式で計算した近似関係を表はす。即ち近似的には ϵ_2 は $w'l'/wl$ に比例し且 P の一次式で表はされる。

3. 押金具 D と腕 B とのなす角の影響

1. で求めた必要条件中の (a) が成立しない場合で

$$\delta_0 = \frac{\pi}{2} + \beta_1 - \beta_2 + 4\beta \quad \dots\dots\dots(35)$$

即ち押金具と腕とのなす角が正しい角度より 4β だけ大であるとする。この 4β なる誤差の生ずる原因としては次の二つが考えられる。

(a) 一つは第 12 図の如く腕 B の位置が狂つてゐると考へた場合で $P+P_0=0$ の状態で $\psi=\beta-4\beta$ で押金具 D の接触直線とねじ棒 C の行程直線へ固定回転軸 O_1 より下した垂線とのなす角は β であると考え。然るとき第 1 式より

$$\begin{aligned} x+x_0 &= K_0(P+P_0) \frac{\cos(\beta-4\beta-\theta)}{\cos(\beta-\theta)} \\ &= K_0(P+P_0) \frac{\cos(\gamma-4\beta)}{\cos \gamma} \\ &\approx K_0(P+P_0) \cos 4\beta (1 + \tan 4\beta \tan \gamma) \quad \dots\dots\dots(36) \end{aligned}$$

4β が充分小さければ、

[昭和 17 年 5 月]

第 13 图

第 14 圖

第 15 回

$$\cong K_0(R+P_0)(1+4\beta \tan \gamma) \dots\dots\dots(37)$$

故に見掛の誤差率 ε_3 は

$$\epsilon_s \doteq 4\beta \tan \gamma \dots\dots\dots (38)$$

然るに荷重 P は第 8 式の如く $\tan r$ の一次式で表はされるから

$$\varepsilon_3 \doteq \Delta\beta \left(\tan \gamma_{P_0} - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right) \dots\dots\dots (39)$$

即ち ϵ_3 は角度の狂ひ $\Delta\beta$ に正比例し且 $\tan \gamma$ 又は P のいづれも一次式で表はされる。

(b) 他は第 13 図の如く押金具 D の位置が狂つてると考へた場合で $P+P_0=0$ の状態で腕の位置に関する $\psi=\beta$ であるが押金具の位置に関する β が $\beta+\Delta\beta$ であると考へる。然るとき第 1 式より

$$\begin{aligned} x+x_0 &= \frac{mb}{wt}(P+P_0) \frac{\cos(\beta-\theta)}{\cos(\beta+\Delta\beta-\theta) \cos(\beta+\Delta\beta)} \\ &= K_0(P+P_0) \frac{\cos \beta}{\cos(\beta+\Delta\beta)} \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos(\gamma+\Delta\beta)} \end{aligned} \quad (40)$$

故に

$$x+x_0 \doteq K_0(P+P_0)\{1+(\tan \beta+\tan \gamma)A\beta$$

$$+(\tan^2 \beta+\tan^2 \gamma+\tan \beta \tan \gamma+1)(A\beta)^2\} \ldots(41)$$

故に $\Delta\beta$ が充分小さければ

$$x+x_0=K_0(P+P_0)\{1+\Delta\beta(\tan\beta+\tan\gamma)\} \dots(42)$$

従て見掛の誤差率 ϵ_3 は

$$\begin{aligned} \epsilon_3 &= \frac{\cos \beta}{\cos(\beta + \Delta\beta)} \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos(\gamma + \Delta\gamma)} - 1 \dots\dots\dots(43) \\ &\doteq \Delta\beta (\tan \beta + \tan \gamma) \\ &\quad + (\Delta\beta)^2 (\tan^2 \beta + \tan^2 \gamma + \tan \beta \tan \gamma + 1) \\ &\doteq \Delta\beta (\tan \beta + \tan \gamma) \dots\dots\dots(44) \end{aligned}$$

第 8 卷 第 31 号 (第 4 部)]

荷重 P との関係は

$$\begin{aligned} \varepsilon_3 \doteq & \Delta\beta \left(\tan \beta + \tan \gamma_{P_0} - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right) \\ & + (\Delta\beta)^2 \left\{ \left(\tan \beta + \tan \gamma_{P_0} - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right)^2 \right. \\ & \left. - \tan \beta \left(\tan \gamma_{P_0} - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right) + 1 \right\} \dots\dots\dots(45). \end{aligned}$$

$$\cong \Delta\beta\left(\tan\beta + \tan\gamma_{P_0} - \frac{Pb}{wl\cos\beta}\right) \dots\dots\dots(46)$$

となり、 $\Delta\theta$ が充分小さいときには ε_3 は角度の狂ひ $\Delta\theta$ に正比例し $\tan \gamma$ 又は P のいずれも一次式で表はされる。第 14 図は $\Delta\theta = +0.01 \text{ rad } (34.5')$ とした場合第 43 式で計算した ε_3 と $\tan \gamma$ との関係を表はす。尚第 44 式の近似式で計算した結果は図中に破線で表はす。

4. 押金具 D の位置の平行移動の影響

第 15 図の如く 1 で求めた必要条件中の (b) が成立しない場合で

$$r_1 - r_2 = r_3 \dots \dots \dots (47)$$

即ち押金具の位置が正しい位置よりねじ棒の動く方向と反対方向に r_3 だけ狂つてゐるとする。然るとき第 1 式より

$$x + x_0 = m \frac{(P + P_0)b}{wl \cos \beta} + r_3 \{ \sec \beta - \sec (\beta - \theta) \} \dots (48)$$

且 $(P+P_0)b/wl = \sin \theta / \cos (\beta - \theta)$ であるから

$$\begin{aligned} x + x_0 &= \frac{(P + P_0)b}{wl \cos \beta} \left\{ 1 + \frac{r_3}{m} \frac{\cos(\beta - \theta) - \cos \beta}{\sin \theta} \right\} \quad (49) \\ &= K_0(P + P_0) \left\{ 1 + \frac{r_3}{m} \frac{\cos \gamma - \cos \beta}{\sin(\beta - \gamma)} \right\} \\ &= K_0(P + P_0) \left\{ 1 + \frac{r_3}{m} \frac{\sin(\beta - \frac{\theta}{2})}{\cos \frac{\theta}{2}} \right\} \end{aligned}$$

$$=K_0(P+P_0)\left\{1+\frac{r_3}{m}\frac{\sin\left(\frac{\beta+r}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\beta-r}{2}\right)}\right\} \dots\dots(50)$$

故に見掛の誤差率 ϵ_4 は

$$\begin{aligned}\epsilon_4 &= \frac{r_3}{m} \frac{\sin\left(\beta - \frac{\theta}{2}\right)}{\cos \frac{\theta}{2}} \\ &= \frac{r_3}{m} \frac{\sin\left(\frac{\beta+r}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\beta-r}{2}\right)} \dots\dots(51)\end{aligned}$$

となり ϵ_4 は r_3/m に正比例する。

然るに β は一般に $0^\circ \sim 30^\circ$ 内の値であり r は $+30^\circ \sim -30^\circ$ 内を変化する値であるから r の相当大きい荷重での喰違ひを無視すれば次の近似式が得られる。即ち

$$\epsilon_4 = \frac{r_3}{m} \frac{\tan \frac{\beta}{2} + \tan \frac{r}{2}}{1 + \tan \frac{\beta}{2} \tan \frac{r}{2}} \dots\dots(52)$$

$$\begin{aligned}&\approx \frac{r_3}{m} \left\{ \tan \frac{\beta}{2} + \left(1 - \tan^2 \frac{\beta}{2}\right) \right. \\ &\quad \times \tan \frac{r}{2} \left. \right\} \dots\dots(53)\end{aligned}$$

又荷重 P と r との関係に就ても近似的には

$$\tan \frac{r}{2} \approx \frac{1}{2} \tan r - \frac{1}{8} \tan^3 r \dots\dots(54)$$

$$\approx \frac{1}{2} \tan r \dots\dots(55)$$

$$= \frac{1}{2} \left(\tan r P_0 - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right) \dots\dots(56)$$

と看做すことが出来るから

$$\begin{aligned}\epsilon_4 &\approx \frac{r_3}{m} \left\{ \tan \frac{\beta}{2} + \frac{(1 - \tan^2 \frac{\beta}{2})}{2} \tan r \right. \\ &\quad \left. + \tan \frac{\beta}{2} \frac{(1 - \tan^2 \frac{\beta}{2})}{4} \tan^2 r \right\} \dots\dots(57)\end{aligned}$$

$$\approx \frac{r_3}{m} \left\{ \tan \frac{\beta}{2} + \frac{(1 - \tan^2 \frac{\beta}{2})}{2} \tan r \right\} \dots\dots(58)$$

$$\begin{aligned}\therefore \epsilon_4 &= \frac{r_3}{m} \left\{ \tan \frac{\beta}{2} + \frac{(1 - \tan^2 \frac{\beta}{2})}{2} \left(\tan r P_0 - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right) \right. \\ &\quad \left. + \tan \frac{\beta}{2} \frac{(1 - \tan^2 \frac{\beta}{2})}{4} \left(\tan r P_0 - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right)^2 \right\} \dots\dots(59)\end{aligned}$$

$$\approx \frac{r_3}{m} \left\{ \tan \frac{\beta}{2} + \frac{(1 - \tan^2 \frac{\beta}{2})}{2} \left(\tan r P_0 - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right) \right\} \dots\dots(60)$$

となり、極近似的には ϵ_4 は $\tan r$ 又は P のいずれも一次式で表はされる。

第16図は $r_3/m=0.01$ とした場合第51式で計算した ϵ_4 と $\tan r$ との関係を表はす。

尚第58式で計算した近似関係は図中破線で示す通りである。

第16図 $r_3/m=0.01$ とした場合の $\epsilon_4 - \tan r$ 曲線

5. 連杆 F の影響

1. で基本条件を求める際に遊動回転軸中心 $\tilde{O}_2$ に加はる荷重 P の方向は常に一定方向で鉛直線と任意の一定角 β_2 をなすと考へたがこれは腕 B と測定用ピストン G 又は傾杆とを連結する連杆 F の長さが無限大の場合に相當する。然るに実際には有限であるから荷重が増減して振子系が回転すると共に連杆の傾きは變つて来る。

今第17図の如く記号を定める。

d...測定用ピストン又は傾杆を通じて連杆の一端に加はる荷重の作用線と固定回転軸中心 O_1 との距離。

f...連杆の有効長さ。

ϕ ...連杆端に加はる荷重の作用線と連杆の中心線とのなす角。

荷重 P と振子 wl との平衡に関しては次式が成立する。

$$(P+P_0)b \sec \phi \cos(r-\phi) = wl \sin(\beta-r) \dots\dots(61)$$

又ねじ棒の変位 x に関しては第7式がその儘成立するのでこれを利用すれば x と P との関係は

$$x+x_0 = K_0(P+P_0)(1+\tan r \tan \phi) \dots\dots(62)$$

となり見掛の誤差率 ϵ_6 は

第17図

第1表 実在のペンデュラムダイナモメータにおける γ と b/f の値

会社名	材料試験機の型式種類	$\gamma(P_0 \sim \gamma_m)$	b mm	f mm	b/f
明石製作所製	松村式 30 kt 万能試験機	約 $+9^\circ \sim -6^\circ$	10	360	0.028
東京衡機製造所製	アムスラー式 20 kt 万能試験機	約 $+22^\circ 5' \sim -22^\circ 5'$	70	1 027	0.068
東京衡機製造所製	アムスラー式 5 kt 万能試験機	約 $+26^\circ \sim -26^\circ$	40	925	0.043
アムスラー会社製	アムスラー式 5 kt 万能試験機	{ 抗張側約 $0^\circ \sim -26^\circ$ 抗圧側約 $26^\circ \sim 0^\circ$	37	935	0.040
明石製作所製	松村式 5 kt 万能試験機	約 $+9^\circ \sim -6^\circ$	55	760	0.072
アムスラー会社製	アムスラー式 300 kt 万能試験機	{ 抗張側約 $25^\circ \sim 0^\circ$ 抗圧側約 $0^\circ \sim -25^\circ$	56	430	0.130

$$\epsilon_5 = \tan \gamma \tan \phi \quad \dots\dots\dots (63)$$

で表はされる。然るに

$$\sin \phi = \frac{d - b \cos \gamma}{f} \quad \dots\dots\dots (64)$$

であるから ϕ が余り大きくないときには $\sin \phi \approx \tan \phi$ なる関係を利用して

$$\epsilon_5 \approx \frac{b}{f} \left(\frac{d}{b} - \cos \gamma \right) \tan \gamma \quad \dots\dots\dots (65)$$

特に γ が充分小さい範囲では

$$\epsilon_5 \approx \left\{ \left(\frac{d}{b} - 1 \right) + \frac{1}{2} \tan^2 \gamma \right\} \tan \gamma \quad \dots\dots\dots (66)$$

従て荷重との関係は

$$\epsilon_5 \approx \frac{b}{f} \left\{ \frac{d}{b} - \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\tan \gamma P_0 - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right)^2}} \right. \\ \times \left(\tan \gamma P_0 - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right) \quad \dots\dots\dots (67)$$

$$\approx \left\{ \frac{1}{2} \left(\tan \gamma P_0 - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right)^2 + \left(\frac{d}{b} - 1 \right) \right\} \\ \times \left(\tan \gamma P_0 - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right) \quad \dots\dots\dots (68)$$

で表はされる。

故に ϵ_5 は b/f に正比例するが $\tan \gamma$ 又は P との関係は簡単には表はされない。第1表は実在のペンデュラムダイナモメータにおける γ と b/f の値を、又第18図は $b/f=0.1$ とした場合第65式で計算した ϵ_5 と $\tan \gamma$ との関係を表はす。

第18図及び第65式から明らかであるやうに ϵ_5 曲線は $\gamma=0$ 点に対して対称であり且 $\epsilon_5=0$ となる γ の値は $\gamma=0$ と $d < b$ であれば $\phi=0$ となる γ 即ち $\cos^{-1}(d/b)$ とである。従て $d \geq b$ であれば ϵ_5 は γ の変化と共に漸次増加又は減少するが、 $d < b$ であれば ϵ_5 が極大又は極小となる点が $\gamma=0$ 点の前後で $\gamma = \cos^{-1}(d/b)$ 点との間に2箇所あり斯る場合の γ の値を γ_0 とすれば $d\epsilon_5/d\gamma = 0$ と置いて求めることが出来る。即ち第65式より

$$\left\{ \frac{d}{b} \sec^2 \gamma_0 - \cos \gamma_0 \right\} = 0$$

故に

$$\cos \gamma_0 = \left(\frac{d}{b} \right)^{1/3} \quad \text{即ち} \quad \gamma_0 = \cos^{-1} \left(\frac{d}{b} \right)^{1/3} \quad \dots\dots\dots (69)$$

第8巻第31号(第4部)]

第18図 $b/f=0.1$ とした場合の $\epsilon = \tan \gamma$ 曲線

斯る位置での極値を ϵ_{5m} とすれば第65式より

$$\epsilon_{5m} = \frac{b}{f} \left(\frac{d}{b} - \cos \gamma_0 \right) \tan \gamma_0 \\ = -\frac{b}{f} \sin^3 \gamma_0 \quad \dots\dots\dots (70)$$

従て $b=d$ であれば

$$|\epsilon_{5m}| \approx \frac{b}{f} \left(\frac{2}{3} \frac{b-d}{b} \right)^{2/3} \quad \dots\dots\dots (71)$$

である。

斯様に $d < b$ である場合には必ず ϵ_{5m} なる極値を示す γ_0 が存在する。故に $|\cos^{-1}(d/b)|$ より絶対値の大きい γ の範囲で誤差率の絶対値 $|\epsilon_5|$ が $|\epsilon_{5m}|$ と相等しくなる様な角度 (γ_m とする) までペンデュラムダイナモメータを使用することが使用範囲中の誤差率の最大絶対値が $|\epsilon_{5m}|$ を超えることなく而も振子の回轉角を最も大きくすることが出来る場合で、斯る γ_m は次の如く求めることが出来る。即ち

$$|\epsilon_{5m}| = |(\epsilon_5)_{\gamma=\gamma_m}|$$

故に第65式より

$$-d \tan \gamma_0 + b \sin \gamma_0 = +d \tan \gamma_m - b \sin \gamma_m \\ \therefore \frac{d}{b} = \frac{\sin \gamma_0 + \sin \gamma_m}{\tan \gamma_0 + \tan \gamma_m} \quad \dots\dots\dots (72)$$

或は

$$\sin^3 \gamma_0 = \frac{d}{b} \tan \gamma_m - \sin \gamma_m \\ \therefore \left(\frac{2}{3} \frac{b-d}{b} \right)^{3/2} = \frac{d}{b} \tan \gamma_m - \sin \gamma_m \quad \dots\dots\dots (73)$$

となり

$$x + x_0 = K_0(P + P_0) \frac{\cos \beta}{\cos(\beta + \delta')} \times \frac{\sin(\beta + \delta' - \gamma)}{\sin(\beta - \gamma) + \frac{Sm}{wl} \sec^2 \gamma} \quad (79)$$

で表はされる。従て見掛の誤差率 ϵ_6 は

$$\epsilon_6 = \frac{\cos \beta}{\cos(\beta + \delta')} \cdot \frac{\sin(\beta + \delta' - \gamma)}{\sin(\beta - \gamma) + \frac{Sm}{wl} \sec^2 \gamma} - 1 \quad (80)$$

故に近似的には

$$\epsilon_6 \approx \frac{Sm}{wl} \left\{ \sec^2 \beta \tan \beta + \frac{\sec^2 \beta \cos(\beta - \gamma) - \sec^2 \gamma}{\sin(\beta - \gamma) + \frac{Sm}{wl} \sec^2 \gamma} \right\} \quad (81)$$

特に $\sin(\beta - \gamma)$ が Sm/wl に比べて充分大きい範囲では

$$\epsilon_6 \approx \frac{Sm}{wl} \left\{ \sec^2 \beta \tan \beta + \frac{\sec^2 \beta \cos(\beta - \gamma) - \sec^2 \gamma}{\sin(\beta - \gamma)} \right\} \quad (82)$$

$$= \frac{Sm}{wl \cos \beta} \frac{(\sec^3 \beta - 1) - \sec^2 \gamma}{\tan \beta - \tan \gamma} \quad (83)$$

$$= \frac{Sm}{wl \cos \beta} \frac{1 + \cos \beta + \cos^2 \beta}{\cos \beta + \cos^2 \beta} (\tan \beta + \tan \gamma) \times \left\{ 1 + \frac{(2 + \cos \beta)(1 - \cos \beta)}{2(1 + \cos \beta + \cos^2 \beta)} \frac{\tan^2 \gamma}{(\tan^2 \beta - \tan^2 \gamma)} \right\} \quad (84)$$

然るに $\beta = 0^\circ \sim 30^\circ$ とすれば $(2 - \cos \beta - \cos^2 \beta)/2(1 + \cos \beta)$

第 22 図 $Sm/wl \cos \beta = 0.01$ とした場合の $\epsilon_6 - \tan \gamma$ 曲線

$+\cos^2 \beta$ は $0 \sim 0.0735$ 程度のものであるから特に $\tan^2 \beta \approx \tan^2 \gamma$ 即ち $\gamma = \pm \beta$ でなければ近似的には { } 内の第 2 項を省略することが出来る。然るとき

$$\epsilon_6 \approx \frac{Sm}{wl \cos \beta} \frac{1 + \cos \beta + \cos^2 \beta}{\cos \beta + \cos^2 \beta} (\tan \beta + \tan \gamma) \quad (85)$$

故に荷重 P との関係は

$$\epsilon_6 = \frac{Sm}{wl \cos \beta} \frac{1 + \cos \beta + \cos^2 \beta}{\cos \beta + \cos^2 \beta} \times \left(\tan \beta + \tan \gamma P_0 - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right) \quad (86)$$

となり ϵ_6 は $Sm/wl \cos \beta$ に正比例し且 β と γ とが余り接近した範囲でなければ $\tan \gamma$ 又は P のいずれも一次式で表はされる。

第 22 図は $Sm/wl \cos \beta = 0.01$ とした場合第 83 式で計

第 2 表 ペンデュラムガイナモメータの主要寸法例 (或製作図面より)

1. 最大試験荷重 (秤量) $P_m = 20 \text{ kt}$
但し振子の重さ及び長さを変更して秤量を 10 kt , 5 kt 及び 2 kt とすることができる。
2. 最初荷重 $P_0 = 285 \text{ kg}$
3. 主ラムの面積と測定用ラムとの面積の比 約 $75 : 1$
4. 腕の長さ $b = 70 \text{ mm}$, 連杆の長さ $f = 1030 \text{ mm}$, $b/f = 0.068$
5. 測定用ラム中心線と固定回転軸中心 O_1 との距離 $d =$ 不明瞭
6. ねち棒の行程直線と固定回転軸中心 O_1 との距離 $m = 115 \text{ mm}$, ねち棒の最大変位 $x_m = 100 \text{ mm}$
7. $P = 0$ のときの γ の値 $\gamma_{P_0} = 22^\circ 30'$, 従て $\gamma_m = -24^\circ 29'$
8. 又計算より wl 及び β の値は次の通り
秤量 20 kt の場合
 $wl = 23.33 \text{ kgm}$, $\beta = 23^\circ 6'$, $wl \cos \beta = 21.46 \text{ kgm}$
秤量 10 kt の場合
 $wl = 11.72 \text{ kgm}$, $\beta = 23^\circ 42'$, $wl \cos \beta = 10.73 \text{ kgm}$
秤量 5 kt の場合
 $wl = 5.914 \text{ kgm}$, $\beta = 24^\circ 53'$, $wl \cos \beta = 5.365 \text{ kgm}$
秤量 2 kt の場合
 $wl = 2.437 \text{ kgm}$, $\beta = 28^\circ 17'$, $wl \cos \beta = 2.146 \text{ kgm}$
9. 押着錘の重量 $S_1 = 85 \text{ g}$, ねち棒の重量 $S_2 = 322 \text{ g}$, 押着錘用車の有効直径 $r_1 = 13.5 \text{ mm}$, ねち歯車のピッチ円の直径 $r_4 = 32 \text{ mm}$.

第 3 表 $Sm/wl \cos \beta$ の値

秤 量	20 kt	10 kt	5 kt	2 kt
S_1 による場合				
$\beta_1 = 6^\circ 43'$ の場合	0.03×10^{-2}	0.05×10^{-2}	0.10×10^{-2}	0.22×10^{-2}
$\beta_1 = 45^\circ$ の場合	0.12×10^{-2}	0.24×10^{-2}	0.49×10^{-2}	1.22×10^{-2}
$\beta_1 = 90^\circ$ の場合	0.17×10^{-2}	0.35×10^{-2}	0.69×10^{-2}	1.73×10^{-2}

算した ϵ_3 と $\tan \gamma$ との関係を表はす。尙第 85 式で計算した近似関係は図中破線で示す。又第 3 表は第 2 表に示す主要寸法を有する実在のペンデュラムダイナモメータに就て普通使用してゐる押着錘の場合や ねち棒 を傾斜させた場合の $Sm/(wl \cos \beta)$ の値を示す。

次に $\sin(\beta-\gamma)$ が $(Sm/wl) \sec^2 \gamma$ に比べて些程大きくない場合や更に小さい場合には第 82 式より

$$\epsilon_3 = \frac{Sm}{wl} \left\{ \sec^2 \beta \tan \beta + \frac{\sec^2 \beta - \sec^2 \gamma}{(\beta-\gamma) + \frac{Sm}{wl} \sec^2 \gamma} \right\} \gamma \quad (87)$$

となり $\beta=\gamma$ のときには

$$\epsilon_3 = \sec^2 \beta \tan \beta \quad (88)$$

なる有限値である。然るに γ は最も大きいときでも 30° 位であるから一般に $\sec^2 \gamma$ は $1 \sim 1.4$ 程度の値である。従て $Sm/wl = 0.01$ とすれば $10^{-2} \sim 1.4 \times 10^{-2}$ となり、 $\beta-\gamma$ 即ち $\theta-\delta'$ がこれとは $\times$ 同程度の大きさになるのは $35' \sim 50'$ で、 $\theta-\delta' = 10^\circ$ では $\sin \beta-\gamma$ は $(Sm/wl) \sec^2 \gamma$ の $13 \sim 17$ 倍となるので実際の場合には第 82 式乃至第 86 式を利用し $\tan \gamma$ 又は P とは $\times$ 直線的な関係にあると考へて差支ない。

7. 見掛の誤差率と眞の誤差率

ペンデュラムダイナモメータでは一般に最初荷量 P_0 のみの状態で目盛盤上の指針の位置を零に合せて使用する。還言すればこれまでは $P+P_0=0$ のとき $x+x_0=0$ と考へたが実際の場合には $P=0$ のとき $x=0$ となるやうに調整が行はれるのである。従てこれまで取扱つた $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$ 等 (一般に ϵ と記す) はいづれも見掛の誤差率と呼ぶべきもので任意の試験荷重 P における眞の誤差率 $(\epsilon_1)_0, (\epsilon_2)_0, \dots$ 等 (一般に $(\epsilon)_0$ と記す) は次式で表はされる。但し ϵ_a は $P=0$ のときの見掛の誤差率を表はす。

$$(\epsilon)_0 = \frac{\epsilon(P+P_0) - \epsilon_a P_0}{P} \quad (89)$$

(a) 見掛の誤差率 ϵ が一般に次に示すやうに P の一次式

$$\epsilon = C_0 + C_1 \frac{P}{P_m} \quad (90)$$

で表はされる場合には

$$(\epsilon)_0 = C_0 + C_1 \frac{P+P_0}{P_m} \quad (91)$$

$$= \epsilon + C_1 \frac{P_0}{P_m} \quad (92)$$

となり眞の誤差率 $(\epsilon)_0$ も又 ϵ と同一傾向の P の一次式で表はされる。即ち任意の試験荷重における眞の誤差率は見掛の誤差率に一定値 $C_1(P_0/P_m)$ を加へた値である。或は ϵ を表はす一次式中の P の代りに $P+P_0$ と置いたものが $(\epsilon)_0$ を表はす一次式であると言ふことも出来る。 $\epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4, \epsilon_6$ はいづれも斯る場合に相當する。

例へば ϵ_3 の場合一定値 $C_1(P_0/P_m)$ の値は $-4\beta(\tan \beta - \tan \gamma P_0)$ であるから $(\epsilon_3)_0$ は第 38 式及び第 44 式より

$$(\epsilon_3)_0 = 4\beta(\tan \gamma P_0 - \tan \beta + \tan \gamma) \quad (93)$$

$$\text{又は} \quad 4\beta(\tan \gamma P_0 + \tan \gamma) \quad (94)$$

又第 39 式及び第 46 式より或は前式に $\tan \gamma = \tan \gamma P_0 - Pb/(wl \cos \beta)$ を代入すれば

$$(\epsilon_3)_0 = 4\beta \left(2 \tan \gamma P_0 - \tan \beta - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right) \quad (95)$$

$$\text{又は} \quad 4\beta \left(2 \tan \gamma P_0 - \frac{Pb}{wl \cos \beta} \right) \quad (96)$$

更に $P_m = wl \cos \beta / b(\tan \gamma P_0 - \tan \gamma_m)$ であることを利用すれば

$$(\epsilon_3)_0 = 4\beta(2 \tan \gamma P_0 - \tan \beta) - 4\beta(\tan \gamma P_0 - \tan \gamma_m) \frac{P}{P_m} \quad (97)$$

$$\text{又は} \quad 24\beta \tan \gamma P_0 - 4\beta(\tan \gamma P_0 - \tan \gamma_m) \frac{P}{P_m} \quad (98)$$

とも表はすことが出来て、夫々右辺の第 1 項は C_0 を第 2 項の P/P_m の係数は C_1 を表はす。又第 93 式、第 95 式、第 97 式は腕 B の位置の狂つた場合の式で第 94 式、第 96 式、第 98 式は押金具 D の位置の狂つた場合の誤差率を示す。(b) しかし然らざる場合には (例へば ϵ_5 の場合) 試験荷重 $P=0$ での ϵ が他の ϵ に比べて相當大きい絶対値であるときや最初荷重 P_0 に比べて試験荷重 P が余り大きくない範囲では (特に秤量を小さく変更した場合には) 第 89 式を利用して $(\epsilon)_0$ を求むべきであるが一般に $(\epsilon)_0$ 曲線の傾向は ϵ 曲線の傾向とは著しく異なつて来る。勿論 P が P_0 に比べて著しく大きい場合には $(\epsilon)_0 = \epsilon$ と考へて差支ない。

第 4 表は既に引用したところの第 2 表に示すペンデュラムダイナモメータに就て d/b を色々に仮定して計算したところの ϵ_5 及び $(\epsilon_5)_0$ の値を示す。この表より明らかであるやうに d/b の値によつて異なることは勿論のこと荷重が小さくなる程見掛の誤差率と眞の誤差率との違が大きくなつて来ることや γ_m の絶対値が γP_0 の値より僅か大きい場合でもこれがため秤量に近い荷重 (即ち $Q/Q_m = 1$) での誤差率が著しく大となることが了解できる。

このダイナモメータは $m=120.8 \text{ mm}$ と改め且 wl を修正することのみによつて使用範囲を $\gamma=22^\circ 30'$ から $\gamma_m=-22^\circ 30'$ までに変更し (而も $x_m=100 \text{ mm}$ には変りなく) て使用することが出来る。第 5 表は斯る場合の ϵ_5 及び $(\epsilon_5)_0$ を示す。この表によれば $P/P_m=0 \sim 0.8$ の範囲では第 4 表と大差がないが 0.9 以上では著しく違つてゐることが了解できる。この一例を以てしても又第 7 表と第 8 表とを比較してみても明らかであるやうに振子の傾き角の選択にはかなりの注意を要する。

$(\epsilon)_0$ は又図式解法を利用して $\epsilon-P$ 曲線より求めることも出来る。即ち第 23 図の如く $P=-P_0$ で $\epsilon=\epsilon_a$ を示す点を a , $P=0$ で $\epsilon=\epsilon_a$ を示す点を a , 又一般に $P=P$ で $\epsilon=\epsilon$ を示す点を b とする。然るとき ab に平行に ca を引き Pb 又はその延長線との交点を d とすれば d^* 点が眞の誤差率 $(\epsilon)_0$ を表はす点である。如何となれば作図上より (但し ϵ は上方向が正 P は左方向が正であるとする)。

[昭和 17 年 5 月]

第4表 ϵ_5 及び $(\epsilon_5)_0$ の値

b/d	P/P_m	ϵ_5	$(\epsilon_5)_0$			
			秤量 20 kt	秤量 10 kt	秤量 5 kt	秤量 2 kt
I の場合 $d=b$	0	0.22	0.20	0.18	0.15	0.04
	0.1	0.11	0.09	0.08	0.05	-0.05
	0.2	0.05	0.04	0.03	0	-0.07
	0.3	0.01	0	-0.01	-0.03	-0.09
	0.4	0	-0.01	-0.02	-0.03	-0.08
	0.5	0	-0.01	-0.01	-0.03	-0.06
	0.6	0	-0.01	-0.01	-0.02	-0.05
	0.7	-0.02	-0.03	-0.03	-0.04	-0.07
	0.8	-0.07	-0.08	-0.08	-0.09	-0.12
	0.9	-0.15	-0.16	-0.16	-0.17	-0.21
	1.0	-0.28	-0.29	-0.29	-0.31	-0.35
II の場合 $d/b = (\cos \gamma_{R_0})^{1/3} = 0.974$	0	0.14	0.12	0.11	0.08	-0.02
	0.1	0.05	0.04	0.02	0	-0.05
	0.2	0.03	0.02	0.01	0	-0.03
	0.3	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.09
	0.4	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.06
	0.5	0	0	-0.01	-0.02	-
	0.6	0.01	0	0	0	-
	0.7	0.01	0.01	0.01	0	-0.01
	0.8	0.02	0.02	0.02	0.01	0
	0.9	-0.09	-0.09	-0.10	-0.11	-0.12
	1.0	-0.20	-0.21	-0.21	-0.22	-0.25
III の場合 $d/b = 1/2(1 + \cos \gamma_{R_0}) = 0.962$	0	0.11	0.09	0.07	0.05	-0.04
	0.1	0.03	0.02	0.01	-0.01	-0.08
	0.2	-0.02	-0.03	-0.04	-0.06	-0.11
	0.3	-0.03	-0.04	-0.04	-0.06	-0.10
	0.4	-0.02	-0.03	-0.03	-0.04	-0.07
	0.5	0.01	0.01	0	0	-0.02
	0.6	0.02	0.02	0.02	0.01	0
	0.7	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01
	0.8	0.01	0.01	0.01	0	-0.01
	0.9	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.09
	1.0	-0.16	-0.16	-0.17	-0.18	-0.20
IV の場合 $d/b = (\text{第72式にて } \gamma_{R_0} = -\gamma_{R_0} \text{ とおく}) 0.942$	0	0.05	0.04	0.02	0	-0.08
	0.1	0	-0.01	-0.01	-0.03	-0.07
	0.2	-0.05	-0.06	-0.06	-0.08	-0.12
	0.3	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07	-0.01
	0.4	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.06
	0.5	0	0	0	-0.01	-0.01
	0.6	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	0.7	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	0.8	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	0.9	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.07
	1.0	-0.10	-0.10	-0.10	-0.11	-0.12
V の場合 $d/b = \cos \gamma_{R_0} = 0.926$	0	0	-	-	-	-
	0.1	-0.06	-0.07	-0.08	-0.09	-0.17
	0.2	-0.08	-0.09	-0.09	-0.10	-0.14
	0.3	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08	-0.10
	0.4	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05
	0.5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	0.6	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06
	0.7	0.08	0.08	0.08	0.09	0.10
	0.8	0.07	0.08	0.07	0.08	0.08
	0.9	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05
	1.0	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05

第5表 ϵ_5 及び $(\epsilon_5)_0$ の値

d/b	P/P_m	ϵ_a	$(\epsilon_5)_0$			
			秤重 20 kt	秤重 10 kt	秤量 5 kt	秤量 2 kt
I の場合 $d=b$	0	0.22	0.20	0.18	0.15	0.04
	0.1	0.11	0.09	0.08	0.05	-0.05
	0.2	0.05	0.04	0.03	0	-0.07
	0.3	0.01	0	-0.01	-0.03	-0.09
	0.4	0	-0.01	-0.02	-0.03	-0.08
	0.5	0	-0.01	-0.01	-0.03	-0.06
	0.6	0	-0.01	-0.01	-0.02	-0.05
	0.7	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.06
	0.8	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07	-0.10
	0.9	-0.11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.16
	1.0	-0.22	-0.22	-0.23	-0.25	-0.28
II の場合 $d/b = 0.974$	0	0.14	0.12	0.11	0.08	-0.02
	0.1	0.05	0.04	0.02	0	-0.05
	0.2	0.02	0.01	0	0.01	-0.07
	0.3	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.09
	0.4	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.06
	0.5	0	0	-0.01	-0.02	-0.03
	0.6	0.01	0	0	0	-0.04
	0.7	0.02	0.02	0.02	-0.01	-0.01
	0.8	0.02	0.02	0.02	0.01	0
	0.9	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.08
	1.0	-0.14	-0.14	-0.15	-0.16	-0.18
III の場合 $d/b = 0.962$	0	0.11	0.09	0.07	0.05	-0.04
	0.1	0.02	0.01	-0.01	-0.03	-0.11
	0.2	-0.02	-0.03	-0.04	-0.06	-0.11
	0.3	-0.03	-0.04	-0.04	-0.06	-0.10
	0.4	-0.02	-0.03	-0.03	-0.04	-0.07
	0.5	0.01	0.01	0	0	-0.02
	0.6	0.02	0.02	0.02	0.01	0
	0.7	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01
	0.8	0.02	0.02	0.02	0.01	0
	0.9	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.04
	1.0	-0.11	-0.11	-0.12	-0.12	-0.14
IV の場合 $d/b = 0.942$	0	0.05	0.04	0.02	0	-0.08
	0.1	0	-0.01	-0.01	-0.03	-0.07
	0.2	-0.05	-0.06	-0.06	-0.08	-0.12
	0.3	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07	-0.01
	0.4	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.06
	0.5	0	0	0	-0.01	-0.01
	0.6	0.03	0.03	0.06	0.03	0.03
	0.7	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	0.8	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05
	0.9	0	0	0	0	-0.01
	1.0	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06
V の場合 $d/b = 0.926$	0	0	-0.01	-0.02	-0.05	-0.12
	0.1	-0.06	-0.07	-0.08	-0.09	-0.17
	0.2	-0.07	-0.08	-0.08	-0.09	-0.12
	0.3	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08	-0.10
	0.4	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05
	0.5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	0.6	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	0.7	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08
	0.8	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08
	0.9	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07
	1.0	0	0	0	0	0

$$\frac{P}{P_0} = \frac{\varepsilon - \varepsilon_a}{(\varepsilon)_0 - \varepsilon}$$

であるから

$$(\varepsilon)_0 = \varepsilon + (\varepsilon - \varepsilon_a) \frac{P_0}{P} = \frac{\varepsilon(P + P_0) - \varepsilon_a P_0}{P}$$

即ち d 点は P なる試験荷重における眞の誤差率 $(\varepsilon)_0$ を示す。

又 ε と ε_a , P と P_0 との大小関係に依て ε と ε_a との絶対値の大小関係が如何やうになるかは次の如く諒解することが出来る。即ち第 89 式より

$$(\varepsilon)_0 = \varepsilon \left\{ 1 + \left(1 - \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon} \right) \frac{P_0}{P} \right\}$$

故に既に述べた如く

$$|P| > > |P_0|$$

であつて $\varepsilon - \varepsilon_a$ が余り大でなければ

$$(\varepsilon)_0 \doteq \varepsilon$$

次に

$$\varepsilon_a = 0 \quad \text{であれば} \quad (\varepsilon)_0 = \frac{P + P_0}{P} \varepsilon$$

$$\varepsilon_a = \varepsilon$$

であれば $(\varepsilon)_0 = \varepsilon$

$$-\frac{\varepsilon - \varepsilon_a}{\varepsilon} = \frac{P}{P_0}$$

であれば $(\varepsilon)_0 = 0$

$$-\frac{\varepsilon - \varepsilon_a}{\varepsilon_a} = 2 \frac{P}{P_0}$$

であれば $(\varepsilon)_0 = -\varepsilon$

その他

$$\left(1 - \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon} \right) \frac{P_0}{P} > 0$$

又は

$$\left(1 - \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon} \right) \frac{P}{P_0} < -2$$

であれば

$$|(\varepsilon)_0| > |\varepsilon|$$

$$0 > \left(1 - \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon} \right) \frac{P_0}{P} > -2$$

であれば

$$|(\varepsilon)_0| < |\varepsilon|$$

例へば P と P_0 が同符号である場合には

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_a}{\varepsilon} > \frac{P}{P_0}$$

又は

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_a}{\varepsilon} < -2 \frac{P}{P_0}$$

であれば

$$|(\varepsilon)_0| > |\varepsilon|$$

$$0 < \left(1 - \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon} \right) > -2 \frac{P_0}{P} \quad \text{であれば} \quad |(\varepsilon)_0| < |\varepsilon|$$

となる。従て $P=0$ 附近での ε の傾向が $0 > (1 - \varepsilon_a/\varepsilon) > -2(P_0/P)$ となるやうに原点を適當に選べば試験荷重が最初荷重に比べて余り大きくはない範囲の見掛の誤差率より眞の誤差率は小さくなり、更に適當に考慮すれば斯る範囲での見掛の誤差率がかなり大きくても眞の誤差率は充分小さくなるところの適當な原点を簡單に見出すことが出来る。即ち $P=0$ 附近での眞の誤差率 $(\varepsilon)_0$ は $\varepsilon - \varepsilon_a = \Delta\varepsilon$, $P = \Delta P$ と置けば

$$\begin{aligned} (\varepsilon)_0 &= \lim \left\{ \varepsilon + \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta P} \cdot P_0 \right\} \\ &= \varepsilon_a + \left(\frac{d\varepsilon}{dP} \right)_{P=0} \cdot P_0 \dots\dots\dots (99) \end{aligned}$$

従て $(\varepsilon)_0$ が零になるためには

$$\lim \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta P} = \frac{d\varepsilon}{dP} = -\frac{\varepsilon_a}{P_0} \dots\dots\dots (100)$$

を満足することが必要であることを利用すればよい。 $\varepsilon - P$ 曲線の傾向と $P=0$ 点の定め方によつての ε と $(\varepsilon)_0$ との関係が如何様に変化するかは第 23 図からも諒解することが出来る。

(c) 既に述べた如く ε を求め然る後第 89 式によつて $(\varepsilon)_0$ を求めるのが普通のやり方で如何なる場合にも実行可能な方法である。併し腕 B に作用する荷重の方向が常に一定方向であると仮定した場合や看做し得る場合には最初荷重 P_0 を振り系中の或る定点に置換へ振り系に固定された一質点と仮想することによつて $(\varepsilon)_0$ を直接求めることが出来る。斯る置換位置は β_2 の大きさの如何に拘らず第 7 図に示す O_2' 点である。即ち第 4 図で腕 B が $P + P_0 = 0$ の時水平方向となす角が $\psi + \beta_2$ であるとなれば荷重の方向を鉛直方向に変へても力の相互関係には変化を来さないために在るべき腕 (水平方向と ψ をなす) の位置での遊動回轉軸中心である。即ち連杆の長さが無限大であるとすれば P_0 が振子に與へる回轉モーメントと O_2' 点上の質点の重力 P_0 による回轉モーメントとは振子の如何なる回轉位置に於ても全く一致する。従てかかる置換重量 P_0 と振り系本来のモーメント wl との合成された相當モーメント $w_e l_e$ を用ひれば P_0 が附加されたために δ' だけ振り系の回轉した位置が $P=0$, $x=0$ の状態であることから 1, 2, 3(b), 4 及び 6 で論じた事柄は wl を $w_e l_e$ に、 β を γ_{P_0} に、 δ を $\delta + \delta'$ に、 $x + x_0$ を x に、 $P + P_0$ を P に置きかへても全くその儘成立するのでその結果 ε を $(\varepsilon)_0$ と置換へたものが眞の誤差率となるのである。即ち眞の誤差率は第 16 式、第 33 式、第 44 式、第 58 式及び第 85 式より

$$\left. \begin{aligned} (\varepsilon_1)_0 &= -\frac{\sum w' l' / (\gamma_{P_0} + \delta + \delta')}{w_e l_e \cos \gamma_{P_0}} \\ (\varepsilon_2)_0 &= \frac{1}{2} \frac{w' l'}{w_e l_e} (\tan \gamma_{P_0} + \tan \gamma) \\ (\varepsilon_3)_0 &= \Delta\beta (\tan \gamma_{P_0} + \tan \gamma) \dots\dots \text{但し (b) の場合} \\ (\varepsilon_4)_0 &= \frac{r_3}{m} \left\{ \tan \frac{\gamma_{P_0}}{2} + \frac{1}{2} \left(1 - \tan^2 \frac{\gamma_{P_0}}{2} \right) \tan \gamma \right\} \end{aligned} \right\}$$

第 23 図 $(\varepsilon)_0$ の図式解法

$$(\epsilon_6)_0 = \frac{Sm}{w_e l_e \cos \gamma P_0} \cdot \frac{1 + \cos \gamma P_0 + \cos^2 \gamma P_0}{\cos \gamma P_0 + \cos^2 \gamma P_0} \times (\tan \gamma P_0 + \tan \gamma) \quad (101)$$

となる。計算上必要な $w_e l_e$ は 2(a) で述べた方法に従ひ P_0 なるモーメントの補助錘が $\delta = -\pi/2 - \beta$ (一般的には $\delta = \pi/2 - \phi$) に取附けられたものと考へれば容易に求めることが出来る。又 $w_e l_e \cos \gamma P_0 = wl \cos \beta$ であり且 $\beta = \gamma P_0 + \delta'$ であることから前式中の $(\epsilon_1)_0$ は 16 式と全く同一のものである。更にこれ等に第 8 式を代入すれば

$$\begin{aligned} (\epsilon_2)_0 &= \frac{1}{2} \frac{w' l'}{w_e l_e} \left(2 \tan \gamma P_0 - \frac{Pb}{w_e l_e \cos \gamma P_0} \right) \\ (\epsilon_3)_0 &= \Delta \beta \left(2 \tan \gamma P_0 - \frac{Pb}{w_e l_e \cos \gamma P_0} \right) \\ (\epsilon_4)_0 &= \frac{r_3}{m} \left\{ \tan \frac{\gamma P_0}{2} + \frac{1}{2} \left(1 - \tan^2 \frac{\gamma P_0}{2} \right) \right. \\ &\quad \left. \times \left(\tan \gamma P_0 - \frac{Pb}{w_e l_e \cos \gamma P_0} \right) \right\} \\ (\epsilon_6)_0 &= \frac{Sm}{w_e l_e \cos \gamma P_0} \cdot \frac{1 + \cos \gamma P_0 + \cos^2 \gamma P_0}{\cos \gamma P_0 + \cos^2 \gamma P_0} \\ &\quad \times \left(2 \tan \gamma P_0 - \frac{Pb}{w_e l_e \cos \gamma P_0} \right) \end{aligned} \quad (102)$$

となる。従て第 11 図、第 14 図、第 16 図及び第 22 図中の β を γP_0 と置換へることによつていづれもその儘で夫々 $w' l' / w_e l_e = 0.01$ なる場合の $(\epsilon_2)_0 - \tan \gamma$ を、 $\Delta \beta = 0.01$ なる場合の $(\epsilon_3)_0 - \tan \gamma$ を、 $r_3/m = 0.01$ なる場合の $(\epsilon_4)_0 - \tan \gamma$ を及び $Sm/(w_e l_e \cos \gamma P_0) = \{Sm/(wl \cos \beta)\} = 0.01$ なる場合の $(\epsilon_6)_0 - \tan \gamma$ を表はすことになる。次に 3(a) の場合の $(\epsilon_3)_0$ に関しても同様に取扱つてもよいが $w_e l_e$ 中に誤差の原因たる $\Delta \beta$ の含まれてゐるために却つて手数がかかり従て ϵ_3 を経て $(\epsilon_3)_0$ を求める方が甚だ簡便である。最後に $(\epsilon_6)_0$ に就ては斯る簡便法は利用出来ない。

(d) 以上の結果と照合せて従来取扱はれてゐた論文のやうに最初荷重の存在を全く無視して $P_0 = 0, \beta = \gamma P_0$ とした場合の結果を $P_0 \neq 0$ である一般の場合にその儘當嵌めたと考へてみよう。特に従来論文では P_0 を振子系に置換して相當モーメントを利用することを明確に述べてゐないことを念頭に置いて吟味する。然るとき先づ $w_e l_e$ に無関係な押金具の角位置の狂ひによる誤差率 $(\epsilon_3)_0$ や平行移動による誤差率 $(\epsilon_3)_0$ 及び $(\epsilon_4)_0$ では結果に於ては一致するが、腕の角位置の狂ひによる誤差率 $(\epsilon_3)_0$ では $w_e l_e$ 中に $\Delta \beta$ の含まれてゐることを無視すれば違つた結果となり、又 $(\epsilon_1)_0, (\epsilon_2)_0$ 及び $(\epsilon_6)_0$ では $w_e l_e$ を wl と誤認すれば $wl/w_e l_e$ に相當する喰違ひを生ずる。又第 4 式の基本式に示す x と P との比例関係にも同一の影響を及ぼす。還言すれば斯様の最初荷重を無視して求めた比例定数は眞の比例定数の $\cos \beta / \cos \gamma P_0$ 倍

第 6 表 $\cos \beta / \cos \gamma P_0$ の値

秤 量	20 kt の場合	10 kt の場合	5 kt の場合	2 kt の場合
$\frac{\cos \beta}{\cos \gamma P_0}$	0.996	0.991	0.982	0.953

第 8 巻 第 31 号 (第 4 部)]

である。第 6 表は既に例に引用した第 2 表に示すペンデュラムダイナモメータにおける $\cos \beta / \cos \gamma P_0$ の値を示す。最後に連杆の影響に就ても同様で P_0 を無視しても誘導される誤差率は第 63 式の如く $\epsilon_5 = \tan \gamma \tan \phi$ で表はされるが $(\epsilon_6)_0$ がこれと如何やうに變つて来るかは前々項 (b) で述べた事から容易に諒解できる。

8. 誤差率の開き

2. で述べた如く振子系のモーメントを補助錘の増減や振子の長さの伸縮によつて任意に変更することが出来るも斯る取扱ひと共に第 16 式で表はされる一定誤差率が試験荷重の全般に亘つて加はることになる。従て誤差率を表はす各式中 θ, γ 或は P に無関係な一定項は斯る方法で適當に修正し消去することが出来るから實際問題としては各秤量毎に試験荷重の全範囲に亘つて生ずる誤差率の最大値と最小値の差違即ち誤差率の開き E を取扱へばよく箇々の誤差率の絶対値が大きいか小さいかはペンデュラムダイナモメータの性能を吟味する上には直接必要ではない。

従て誤差率を表はす式が θ, γ 又は P を含まない場合には誤差率の開きは零である。

又第 90 式及び第 91 式の如く誤差率が P の一次式で表はされる場合には $E = (E)_0 = \epsilon_P - P_m - \epsilon_{P=0} = (\epsilon)_0 P - P_m - (\epsilon)_0 P = 0$ であるから P/P_m の係数即ち $(-\tan \gamma) / (\tan \gamma P_0 - \tan \gamma_m)$ の係数 C_1 が誤差率の開きを與へる。従て斯る傾向のものである誤差率の開きを取扱ふ場合に見掛の誤差率で考へても眞の誤差率に就て考へても同一結果となる。例へば ϵ_3 の場合には (a)(b) いづれの場合でも

$$E_3 = (E_3)_0 = -\Delta \beta (\tan \gamma P_0 - \tan \gamma_m) \quad (103)$$

となる。又 ϵ_2, ϵ_4 及び ϵ_6 に就ても同様な取扱ひが出来る訳であるが、第 33 式の ϵ_2 、第 58 式の ϵ_4 及び第 85 式の ϵ_6 より夫々計算した E_2, E_4 及び E_6 と第 101 式の $(\epsilon_2)_0, (\epsilon_4)_0$ 及び $(\epsilon_6)_0$ より計算したものとの間には多少の喰違ひがあり前者の β を γP_0 と置き換へたものが後者に相當してゐる。これは以上用ひた第 33 式、第 58 式、第 85 式及び第 101 式がいづれも近似計算を行つた後の結果であるためで近似計算の行へる範囲にては β と γP_0 との差違は小さいから両者の結果に基づく誤差率の開きは近似的には同一値であると看做せる程度であるが誤差率の開きを計算する際には $(\epsilon)_0$ による結果によるがよい。即ち

$$\begin{aligned} (E_2)_0 &= -\frac{1}{2} \frac{w' l'}{w_e l_e} (\tan \gamma P_0 - \tan \gamma_m) \\ (E_4)_0 &= -\frac{1}{2} \frac{r_3}{m} \left(1 - \tan^2 \frac{\gamma P_0}{2} \right) (\tan \gamma P_0 - \tan \gamma_m) \\ (E_6)_0 &= -\frac{Sm}{w_e l_e \cos \gamma P_0} \cdot \frac{1 + \cos \gamma P_0 + \cos^2 \gamma P_0}{\cos \gamma P_0 + \cos^2 \gamma P_0} \\ &\quad \times (\tan \gamma P_0 - \tan \gamma_m) \end{aligned} \quad (104)$$

となる。又一般に任意の二つの試験荷重 P_1 及び P_2 における誤差率の差違は P_1, P_2 に対する γ の値を夫々 γ_1, γ_2 とすれば前式中右辺の $(\tan \gamma P_0 - \tan \gamma_m)$ の代りに $(\tan \gamma_1 - \tan \gamma_2)$ と置いたものになる。

表 7 第 誤差率の開き ($\gamma=22^\circ 30' \sim 24^\circ 29'$ の場合)

d/b	E_5	$(E_5)_0$ %			
		秤量 20 kt	秤量 10 kt	秤量 5 kt	秤量 2 kt
I の場合	0.50	0.49	0.47	0.46	0.39
II の場合	0.34	0.33	0.32	0.30	0.25
III の場合	0.27	0.26	0.25	0.23	0.20
IV の場合	0.15	0.15	0.15	0.16	0.17
V の場合	0.16	0.17	0.17	0.19	0.27

次に ϵ_5 の如く P の一次式では表はし得ない場合には先づ $P=0 \sim P_m$ 間での誤差率の最大値と最小値とを求めてその差を計算すればよい。

例へば第 4 表及び第 5 表に就て夫々 E_5 と $(E_5)_0$ を求めると第 7 表及び第 8 表で示す通りで、 d/b の値で異なるのみならず最初荷重の影響を受けて各秤量毎に異なる。又 $\gamma_m = -24^\circ 29'$ の場合は $\gamma_m = -22^\circ 30'$ の場合に比べて大きくなる。いづれの場合でも I の場合は他の四つの場合より大で II の場合はこれに次ぎ III と V は更に小さく IV の場合が最小である。又 I, II, III の場合には秤量の小さい程開きは小さく IV と V の場合には逆である。いづれの場合でも秤量の小さい程最初荷重の影響を受けるため更に IV と V の場合にはこの影響が大きすぎて却て大となるのである。この例からみても明らかであるやうに d/b と γ_m とを適宜に選べば誤差率の開きを著しく小さくすることが出来る。即ち IV の場合に適合する状態を與へてやればよいのである。

実際問題として $P/P_m=0 \sim 0.1$ の間は些程精密に測定することも出来ず又使用されないと見て差支ないからこの間の誤差を除外して考へてもよい。然るとき適当な d/b の値は $P/P_m=0.1 \sim 1.0$ 間の誤差率の開きを比較すれば見出せる。

9. 押金具の位置の移動による誤差矯正法

更に P の一次の項の表はす誤差率は 3 及び 4 で取扱つたところの押金具の位置を移動して生ずる誤差率と組合せるとき任意に矯正することも消去することも出来るので結局 P の二次以上の項の表はす残余の誤差率がペンデュラムダイナモメータの性能に悪影響を及すものと考へて差支ない。

押金具の位置を移動する方法には既に述べた如く二つある。押金具と腕のなす角を変更する場合と押金具を平行移動させる場合とであるが第 14 図と第 16 図を、又第 43 式と第 51 式とを比較して明らかであるやうに押金具と腕のなす角を変更する方が原因である $\Delta\beta$ と結果である誤差率及びその開きとの関係が簡単であり且 β の如何に拘らず一定であることや $\Delta\beta$, β 及び γ の廣範囲に亘つて ϵ と P とが直線的な関係が得られること、これに反して押金具の位置を平行移動させることは原因と結果との関係が β の如何によつて異なること而も原因として $\Delta\beta$ と同一大きさの γ_m/n を與へてもその結果への影響は小さく前者の 1/2 以下になること更に結果である ϵ と P との直線的関係は β や γ の選び方によつてはかなり近似的なものとなり斯る修正のために

第 8 表 誤差率の開き ($\gamma=22^\circ 30' \sim 22^\circ 30'$ の場合)

d/b	E_5	$(E_5)_0$ %			
		秤量 20 kt	秤量 10 kt	秤量 5 kt	秤量 2 kt
I の場合	0.44	0.42	0.41	0.40	0.32
II の場合	0.28	0.26	0.26	0.24	0.20
III の場合	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15
IV の場合	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13
V の場合	0.14	0.16	0.16	0.17	0.23

却て P の二次以上の項が新に誤差として加はる恐れがあること等によつて斯る修正には押金具と腕とのなす角を変更する方法の方が遙かに優れてゐる。

矯正法の一例として 5 で取扱つたところの連杆の影響による誤差を矯正する方法を説明する。

(a) 振子系の動く範囲が $+\gamma_m$ より $-\gamma_m$ であるとき先づ押金具と腕とのなす角を正しい関係位置から $\Delta\beta$ だけ移動させて連杆による誤差を矯正するには

$$\Delta\beta = -\frac{b}{f} \left(\frac{d}{b} - \cos \frac{\gamma_m}{n} \right) \dots\dots\dots (105)$$

と置く。但し n は任意に選び得る処の 1 より大きな数とする。然るとき $\Delta\beta$ に依て生ずる誤差率 ϵ_3 は第 44 式より

$$\epsilon_3 = -\frac{b}{f} \left(\frac{d}{b} - \cos \frac{\gamma_m}{n} \right) (\tan \beta + \tan \gamma)$$

であるが一定値 $-b/f(d/b - \cos \gamma_m/n) \tan \beta$ は更に振子の重さや長さを変更することにより第 17 式で與へられる処の

$$\epsilon_1 = -\frac{w'l'}{wl} \frac{\cos(\beta+\delta)}{\cos \beta} \quad \text{と組合せて}$$

$$-\frac{w'l'}{wl} \frac{\cos(\beta+\delta)}{\cos \beta} - \frac{b}{f} \left(\frac{d}{b} - \cos \frac{\gamma_m}{n} \right) \tan \beta = 0 \dots\dots\dots (107)$$

となるやうに修正するものとする。然るとき残余の項と第 65 式で與へられる $\epsilon_5 = b/f(d/b - \cos \gamma) \tan \gamma$ との和がペンデュラムダイナモメータに生ずる綜合誤差率である。即ち

$$\epsilon_1 + \epsilon_3 + \epsilon_5 = -\frac{b}{f} \left(\frac{d}{b} - \cos \frac{\gamma_m}{n} \right) \tan \gamma$$

$$+ \frac{b}{f} \left(\frac{d}{b} - \cos \gamma \right) \tan \gamma$$

$$= \frac{b}{f} \left(\cos \frac{\gamma_m}{n} - \cos \gamma \right) \tan \gamma \dots\dots\dots (108)$$

従て $\gamma = \gamma_m/n$ で $\epsilon_1 + \epsilon_3 + \epsilon_5 = 0$ であり、且 $d(\epsilon_1 + \epsilon_3 + \epsilon_5)/d\gamma = 0$ と置けば斯る条件を満足する γ の値 (γ_0 と記す) は

$$\cos \gamma_0 - \cos \frac{\gamma_m}{n} \sec^2 \gamma_0 = 0$$

即ち

$$\cos \gamma_0 = \left(\cos \frac{\gamma_m}{n} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (109)$$

となる。故に γ_m/n より大きい γ_m に就て

$$f_2(n) = |(\epsilon_1 + \epsilon_3 + \epsilon_5)_{\gamma=\gamma_0}| - |(\epsilon_1 + \epsilon_3 + \epsilon_5)_{\gamma=\gamma_m}| = 0$$

即ち

[昭和 17 年 5 月]

$$f_2(n) = \frac{b}{f} \left\{ \sin^3 \gamma_0 - \left| \sin \gamma_m - \cos \frac{\gamma_m}{n} \tan \gamma_m \right| \right\} = 0 \quad \dots\dots\dots(110)$$

を満足するやうに n を決定すれば斯る n の値を第 105 式に代入して得られる $\Delta\beta$ が総合誤差率の開きを最も小さくすることになる。又斯る場合の誤差率の開きは

$$E = 2 \frac{b}{f} |\sin^3 \gamma_0| \dots\dots\dots(111)$$

で與へられる。第 24 図はすでに引用した第 2 表に示す例 ($\gamma_m = -24^\circ 29'$) に就て求めた $f_2(n)$ と n との関係を表はす。

これより $f_2(n) = 0$

となる n の値を

求めると $n = 1.15$

で $f_3(n) = 1.98$

(b/f) である。

従て $\Delta\beta = -b/f$

($d/b - \cos 21^\circ 17'$)

で與へられる量だけ

押金具の位置を

修正すれば連杆に

よる誤差率との綜

合誤差率の開きは

d/b の如何に拘ら

ず $0.0198(b/f)$ で

あり $b/f = 0.068$ とすれば 0.14% となる。又修正を要する

値 $\Delta\beta$ は $b=d$ の場合には $-16'$ となる。第 25 図は修正

前後の誤差率と γ との関係を示す。

(a) $\gamma = 22^\circ 30' \sim 24^\circ 29'$

(b) $\gamma = 22^\circ 30' \sim 0^\circ$

第 25 図 誤差を消去した時の $(\epsilon_1 + \epsilon_3 + \epsilon_5) - \gamma$ 曲線
但し $b/f = 0.1$

次に押金具の位置を正しい位置から r_3 だけ平行移動させて連杆による誤差を矯正するには

$$\frac{r_3}{m} = \frac{-\frac{b}{f} \left(\frac{d}{b} - \cos \frac{\gamma_m}{n} \right)}{\frac{1}{2} \left(1 - \tan^2 \frac{\beta}{2} \right)} \dots\dots\dots(112)$$

第 8 卷 第 31 号 (第 4 部)]

と置く。但し n は任意に選び得る 1 より大きな数とする。然るとき斯る r_3/m に依て生ずる誤差率 ϵ_4 は第 58 式より

$$\epsilon_4 = -2 \frac{b}{f} \frac{\tan^2 \frac{\beta}{2}}{1 - \tan^2 \frac{\beta}{2}} \left(\frac{d}{b} - \cos \frac{\gamma_m}{n} \right) - \frac{b}{f} \left(\frac{d}{b} - \cos \frac{\gamma_m}{n} \right) \tan \gamma \dots\dots\dots(113)$$

となるが一定値

$$-2 \frac{b}{f} \frac{\tan^2 \frac{\beta}{2}}{1 - \tan^2 \frac{\beta}{2}} \left(\frac{d}{b} - \cos \frac{\gamma_m}{n} \right)$$

は更に振子の重さや長さを変更することにより第 17 式で與へられるところの誤差率 ϵ_1 と組合せて

$$-\frac{w'l' \cos(\beta + \delta)}{wl \cos \beta} - 2 \frac{b}{f} \frac{\tan^2 \frac{\beta}{2}}{1 - \tan^2 \frac{\beta}{2}} \times \left(\frac{d}{b} - \cos \frac{\gamma_m}{n} \right) = 0 \dots\dots\dots(114)$$

となるやうに修正する。然るとき残余の項と第 65 式で與へられる $\epsilon_5 = b/f(d/b - \cos \gamma) \tan \gamma$ との和が総合誤差率である。即ち

$$\epsilon_1 + \epsilon_4 + \epsilon_5 = -\frac{b}{f} \left(\frac{d}{b} - \cos \frac{\gamma_m}{n} \right) \tan \gamma + \frac{b}{f} \left(\frac{d}{b} - \cos \gamma \right) \tan \gamma = \frac{b}{f} \left(\cos \frac{\gamma_m}{n} - \cos \gamma \right) \tan \gamma \dots\dots\dots(115)$$

従て第 109 式と同一式で表はされる γ_0 を用ひ

$$f_2(n) = |(\epsilon_1 + \epsilon_4 + \epsilon_5)_{\gamma=\gamma_0} - |(\epsilon_1 + \epsilon_4 + \epsilon_5)_{\gamma=\gamma_m}| = 0 \dots\dots\dots(116)$$

即ち第 110 式を満足する n を決定すれば斯る n の値を第 112 式に代入して得られる r_3 が所要の値で、斯る場合の誤差率の開きはさきの場合と同様に $2(b/f) |\sin^3 \gamma_0|$ で與へられる。例へば $b=d$, $\beta = 23^\circ 6'$, $m = 115 \text{ mm}$ とすればすでに引用した例に就ては $\gamma_m = -24^\circ 29'$ であるから $n = 1.15$ となり従て $r_3 = -0.96 \text{ mm}$ 即ち約 -1 mm である。事実アムスラー會社製のペンデュラムダイナモメータに於ては $b=d$ で $r_3 = -1 \text{ mm}$ であること及び斯くすることによつて連杆の影響を最も小さく納めることが出来ることは既に長澤弘道氏によつて發表されてゐる。

(b) 振子系の動く範囲が $+\gamma_m$ より 0 までであるとき

$$-\Delta\beta = \frac{b}{f} \left\{ \frac{d}{b} - \cos \frac{\gamma_m}{n} \right\} \tan \gamma + c \dots\dots\dots(117)$$

とする。然るとき n 及び c を決定するには総合誤差

$$f_3(\gamma) = \frac{b}{f} \left\{ \frac{d}{b} - \cos \gamma \right\} \tan \gamma - \frac{b}{f} \left\{ \frac{d}{b} - \cos \frac{\gamma_m}{n} \right\} \tan \gamma - c = \frac{b}{f} \left\{ \cos \frac{\gamma_m}{n} - \cos \gamma \right\} \tan \gamma - c \dots\dots\dots(118)$$

に於て

$$\left. \begin{aligned} f_3(0) &= f_3(r_m) \\ f_3(0) + f_3(r_0) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (119)$$

である。但し r_0 は $df_3(r)/dr=0$ を満足する r の値で第 109 式と同一式で表はされる。 $f_3(0)=f_3(r_m)$ を満足するためには

$$-c = \frac{b}{f} \left\{ \cos \frac{r_m}{n} - \cos r_m \right\} \tan r_m - c$$

であることより $n=1$ となるべきである。更に $f_3(0)+f_3(r_0)=0$ を満足するためには

$$-c + \frac{b}{f} \left\{ \cos \frac{r_m}{n} - \cos r \right\} \tan r_0 - c = 0$$

であることより

$$c = \frac{1}{2} \frac{b}{f} \left\{ \cos r_m - \cos r_0 \right\} \tan r_0 \dots\dots\dots (120)$$

となり結局第 117 式は

$$\begin{aligned} -4\beta &= \frac{b}{f} \left\{ \frac{d}{b} - \cos r_m \right\} \tan r + \frac{1}{2} \frac{b}{f} \\ &\quad \times \left\{ \cos r_m - \cos r_0 \right\} \tan r_0 \dots\dots\dots (121) \end{aligned}$$

で誤差率の開きは $b/f \{ \cos r_m - \cos r_0 \} \tan r_0$ となる。第 25 図 b は斯る修正前後の誤差率と r との関係を示す。

(c) 従来一般に押金具は第 26 図及び第 27 図の如く腕 B の上面に又は側面にボルト付けとなつてゐる。従て押金具の傾きをかへ 4β を與へるためには多くの場合必然的に r_3 が生ずる。故にペンデュラムダイナモメータに加はる誤差は $\epsilon_3 + \epsilon_4$ で 4β と r_3 との関係は幾何学的に決定することが出来る。

既に述べた如く結局ペンデュラムダイナモメータの性能を阻害するものはこれまで取扱つた誤差率中より $\tan r$ 又は P に関して一定値の項及び一次の項を除外したものである。例へば

ϵ_3 に関しては第 43 式より

$$r_3 = (4\beta)^2 \tan^2 r \quad \text{又は} \quad (4\beta)^2 \left(\frac{Pb}{wl \cos \beta} \right)^2$$

ϵ_4 に関しては第 57 式より

$$\epsilon_4 = \frac{1}{4} \frac{r_3}{m} \tan \frac{\beta}{2} \left(1 - \tan^2 \frac{\beta}{2} \right) \tan^2 r \quad \text{又は}$$

$$\frac{r_3}{m} \tan \frac{\beta}{2} \frac{\left(1 - \tan^2 \frac{\beta}{2} \right)}{4} \left(\frac{Pb}{wl \cos \beta} \right)^2$$

ϵ_5 に関しては第 108 式や第 115 式より

$$\epsilon_5 = \frac{b}{f} \left(\cos \frac{r_m}{n} - \cos r \right) \tan r$$

ϵ_6 に関しては第 84 式より

$$\epsilon_6 = \frac{Sm}{wl \cos \beta} \frac{(2 + \cos \beta)(1 - \cos \beta)}{2(\cos \beta + \cos^2 \beta)} \frac{\tan^2 r}{\tan \beta - \tan r} \dots\dots\dots (122)$$

である。従てこれらの影響を避けるには 4β , r_3/m , b/f , $Sm/(wl \cos \beta)$ を充分小さく選ぶことである。

第 26 図

第 27 図

10. 実験結果

著者はこれまで誘導して来た理論が実際のペンデュラムダイナモメータに差支なく利用出来るか否やを調べるために実際に使用されてゐるペンデュラムダイナモメータに就てありの儘の状態では或は殊更に誤差の原因を與へ秤量を変更し且廣範圍の試験荷重を加へて生ずる誤差率を測定し他方理論式より算出した誤差率と比較しよく一致することより、これまで行つて来たところの略図に示すやうな幾何学的の相互関係が秤量を変更しても又試験荷重を廣範圍に亘つて増減しても狂ひを生ずることなく維持されること、従て斯る幾何学的の取扱いで求めた理論が実際のペンデュラムダイナモメータに差支なく使用出来ることを確かめた。

測定値 α はねち棒の変位を目盛附顕微鏡で読みとり P は連杆の下端に直接加へた重錘より測定した。連杆の下端は連杆の影響に関する測定以外の場合には抗束を與へないで荷重が常に逆動回轉軸に鉛直方向に加はるやうにした。その他

$$x_m = 100 \text{ mm}, \quad \theta_m = 45^\circ, \quad m = 118 \text{ mm}.$$

β は釣合錘の位置を変へて約 $22^\circ \sim 35^\circ$ の範圍に変更した。

$P_0 = 0$ 従て $\epsilon = (\epsilon)_0$ である。

P_m は振子の重さ及び長さを変更して 180.04 kg, 73.40 kg, 42.535 kg 及び 20.835 kg の 4 種を選んだ。従て P_m はこのペンデュラムダイナモメータが最大秤量 20 kt. の試験機に使用された場合には夫々秤量約 14 kt, 5.5 kt, 3.2 kt 及び 1.6 kt に相當するものである。

(a) 補助錘の影響に関する測定

実験に使用したペンデュラムダイナモメータでは釣合錘が正して理想的な位置になくて第 28 図及び第 9 表に示すやう

第 28 図

[昭和 17 年 5 月]

第 9 表 補助錘の位置及びモーメント

位 置	無	内	中	外
$w'l'$	0 kgm	0.523 4	0.650 2	0.776 9
$\Delta\delta' = \frac{x}{y}$	rad	0.025	0.031 5	0.36
	—	1° 20'	1° 50'	2° 10'

に僅か狂つてゐた。この儘の状態で釣合錘無き場合及び釣合錘の位置を内、中、外の 3 箇所に移動させて x を測定し或適當に定めた定数に対する誤差率を計算した結果が第 29 図に示すもので各秤量共補助錘の位置を変更するもいづれも同一傾向で互に平行な実線で示すやうな結果と考へられる。

第 29 図 (a) 補助錘の影響 $P_m = 180.04$ kg の場合

第 29 図 (c) 補助錘の影響 $P_m = 42.535$ kg の場合

第 30 図 (a) $\Delta\beta$ の影響
 $P_m = 180.04$ kg, $\beta = 23^\circ 47'$ の場合

第 10 表 ε_1 の値

P_m kg		内	中	外
180.04	{ 計 算	0.07%	—	0.17
	{ 実 測	0.10	—	0.15
73.4	{ 計 算	0.20	0.34	0.46
	{ 実 測	0.19	0.29	0.46
42.535	{ 計 算	0.34	0.59	0.79
	{ 実 測	0.40	0.60	0.78
20.835	{ 計 算	0.72	1.25	1.69
	{ 実 測	0.77	1.13	1.67

第 29 図 (b) 補助錘の影響 $P_m = 73.40$ kg の場合

第 29 図 (d) 補助錘の影響 $P_m = 20.835$ kg の場合

第 30 図 (b) $\Delta\beta$ の影響
 $P_m = 73.40$ kg, $\beta = 23^\circ 21'$ の場合

第 30 図 (c) $\Delta\beta$ の影響
 $P_m = 42.535$ kg, $\beta = 22^\circ 50'$ の場合

第 31 図 (a) $\Delta\beta$ の影響
 $P_m=40.535 \text{ kg}$, $\beta=33^\circ 8'$ の場合

第 31 図 (b) $\Delta\beta$ の影響
 $P_m=20.835 \text{ kg}$, $\beta=35^\circ 39'$ の場合

第 32 図 (a) r_3 の影響
 $P_m=180.04 \text{ kg}$, $\beta=23^\circ 47'$ の場合

第 32 図 (b) r_3 の影響
 $P_m=73.40 \text{ kg}$, $\beta=23^\circ 26'$ の場合

第 32 図 (c) r_3 の影響
 $P_m=42.535 \text{ kg}$, $\beta=22^\circ 58'$ の場合

第 32 図 (d) r_3 の影響
 $P_m=20.835 \text{ kg}$, $\beta=21^\circ 52'$ の場合

第 33 図 (a) r_3 の影響
 $F_m=42.535 \text{ kg}$, $\beta=33^\circ 6'$ の場合

第 33 図 (b) r_3 の影響
 $P_m=20.835 \text{ kg}$, $\beta=35^\circ 39'$ の場合

第 32, 33 圖中 γ_3 は誤り、 r_3 に訂正す。

[昭和 17 年 5 月]

第 34 図 (a) S_1 の影響
 $P_m = 42.535 \text{ kg}$, $wl = 3.800 \text{ kgm}$,
 $\beta = 22^\circ 55'$ の場合

第 34 図 (b) S_1 の影響
 $P_m = 20.835 \text{ kg}$, $wl = 1.859 \text{ kgm}$,
 $\beta = 21^\circ 46'$ の場合

第 35 図 (a) S_1 の影響
 $P_m = 73.40 \text{ kg}$, $wl = 6.935 \text{ kgm}$,
 $\beta = 29^\circ 23'$ の場合

第 35 図 (b) S_1 の影響
 $P_m = 42.535 \text{ kg}$, $wl = 4.163 \text{ kgm}$,
 $\beta = 33^\circ 8'$ の場合

第 35 図 (c) S_1 の影響
 $P_m = 20.835 \text{ kg}$, $wl = 2.101 \text{ kgm}$,
 $\beta = 35^\circ 39'$ の場合

従てこれより釣合錘無き状態を基準として求めた誤差率が第 10 表の測定値欄に示す値であり、第 9 表の $w'l'$ 及び δ' を使用し第 20 式で計算したものが計算値欄に示す値で測定値と大体一致してゐることがわかる。

(b) 押金具と腕とのなす角の影響に関する測定

$\Delta\beta$ の大きさは $+3^\circ 0'$, $+1^\circ 30'$ (又は $+1^\circ 35'$), 0° , $-1^\circ 30'$, $3^\circ 0'$ の 5 通りに調整し夫々 $\Delta\beta = 0^\circ$ の場合の測

第 8 巻 第 31 号 (第 4 部)]

定値を基準として誤差率 ϵ_s を測定した。第 30 図は $\beta = 22^\circ 30'$ 前後の場合又第 31 図は $\beta = 30^\circ$ 以上の場合の結果で破線は実測結果を又実線は第 43 式による計算結果を示す。

(c) 押金具の平行移動による影響に関する測定

普通使用されてゐる押金具を腕の上面で移動して任意の誤差 r_3 を與へた。 r_3 の値は 11.7 mm , 7.0 mm , 0 mm , -4.6 mm , -7.0 mm の 5 通りに調整し夫々 0 mm の場合の測定値を基準として誤差率 ϵ_4 を測定した。第 32 図は $\beta = 22^\circ 30'$ 前後の場合又第 33 図は $\beta = 30^\circ$ 以上の場合の結果で破線は実測結果を又実線は第 51 式による計算結果を示す。但し $m = 118 \text{ mm}$ である。

(d) 押着錘の影響に関する測定

普通使用されてゐる 85 g の押着錘の外に 175 g 及び 306 g のものを使用し夫々押着錘の無い場合の測定値を基準とし誤差率 ϵ_6 を測定した。第 34 図は $\beta = 22^\circ 30'$ 前後の場合又第 35 図は $\beta = 30^\circ$ 以上の場合の結果で破線は実測結果を又実線は第 80 式による計算結果を示す。但し $r_1 = 13.5 \text{ mm}$, $r_4 = 32 \text{ mm}$ で $wl \cos \beta$ の値は夫々表中に示す通りである。

第 36 図 連杆の影響
 $P_m = 180.04 \text{ kg}$, $\beta = 23^\circ 47'$ の場合

(e) 連杆の影響に関する測定

試験荷重 P が一定である場合連杆の傾斜角 ϕ が異なれば厳密には r の値も変つて来るがその違ひは僅かである。従て r が一定であるとすれば ϵ_s は d/b の一次式で表はされる。著者は連杆の下端に重錘を吊下げると共にその下端を長さ約 2 m の細き鋼索にて水平方向に牽引して連杆に傾斜を與へるも連杆の上下方向の運動には何等の抗束を與へないやうにして誤差率 ϵ_s を測定した。第 36 図は $P_m = 180.04 \text{ kg}$ の場合の ϵ_s と d/b との測定値 (破線) 及び第 65 式で計算した計算値 (実線) とを示す。但し $b = 70 \text{ mm}$, $f = 350 \text{ mm}$ である。

11. 結 論

既に述べたことを取纏めて列記する。

1. 連杆型ペンデュラムダイナモメータの振子系は荷重の作用線やねち棒の行程直線の方法の如何に拘らず第 2 式を満足する関係を與へられればねち棒の移動量が荷重に比例して

目盛盤を等分目盛とすることが出来る。

2. 振子系に固着した補助錘の影響は指示荷重の凡てに同一値の誤差率を與へる。特に第 19 式によつて釣合錘の理想的の位置が與へられる。

3. 振子系に巻掛けた補助錘の影響や、押金具と腕とのなす角の影響、押金具の平行移動による影響、押着錘の影響によつて指示荷重に加はる誤差率と荷重との関係はほぼ一次式で表はされる。従て振子系に固着した補助錘を加減し又は押金具の位置を移動してこれらの誤差を消去することが出来る。

4. 連杆による影響によつて指示荷重に加はる誤差率は前項の方法では充分に矯正することは出来ないが、腕と連杆との長さの比を充分小さくすることによつて目的が達成される。

5. 振子系以外の部分即ち指針系やペンデュラムダイナモメータ以外の部分の機構や構造上より生ずる誤差も第 2 項及

び第 3 項の考へを利用することによつて消去したり又はかなり小さくすることが可能である。

— 質 問 應 答 —

こゝに実験結果と申上げたのは実際の試験機に利用されてゐるペンデュラムダイナモメータに就き有りの儘の状態では又は押金具の位置を狂せるなど殊更に誤差の原因を與へて生ずる誤差率を測定した結果であります。軸受部分などでの力の加はり方や構成各部分の相互関係を略図に示したやうな幾何学的に取扱つて理論を誘導致しましたが、これが秤量の如何に拘らず又荷重が増減しても実際のダイナモメータにその儘應用出来るか否やは斯る実験結果と理論結果とを比較した上で始めて云へること、思ひます。

(昭和 17 年 2 月 24 日受付)

[昭和 17 年 5 月]