

マイハーク示圧計記録用ドラムの 動特性とその適用範囲について

山 口 功*

(昭和41年10月27日受理)

1. は し が き

マイハーク示圧計の示圧系の作動状態については、布施等により詳細な研究が行なわれ、その使用限界が指摘されているが、ピストン運動を縮小して記録用ドラムに与える型式のものについては、この系の動特性が示圧線図の精度に及ぼす影響及適用範囲についても検討してみる必要がある。従来これらの点について明確な指摘が欠けていた¹⁾ので、筆者はこの系の作動状況を知るため実験を行ない、その挙動を或程度明かにした。

本報告では理論的解析における計算結果とその後の実験結果とを比較し、運動伝達系を含めたドラムの、適用範囲に及ぼす諸因子について吟味すると共に、使用上の留意点を検討したものである。

2. 理論的考察

実験結果について吟味するに先立ち、記録用ドラムの運動について理論的解析を行なってみる。

I 必 要 条 件

第1図を参照して考えると、 x はピストンクランク機構の精度の範囲で完全に θ に支配されるが、 $x \sim \varphi$ はひもで伝達される故、 x の運動が正確に φ を制御するためには、ひもの引張りに対する伸びや横振れ等が生じないと考えても、運動力学上次の条件が必要である。

(a) ピストンがTDCよりBDCに動く場合

即ち $0 \leq \theta \leq \pi$ に対してピストン加速度は、ある θ で負になるから、 φ は慣性トルクによりピストン変位に先行することがおきる。故にこの場合常に次式が充されていることが必要である。

$$T_I(\text{慣性トルク}) < T_c(\text{粘性トルク}) + T_k(\text{ばねトルク}) \quad (1)$$

但しこの条件式はピストン加速度が負になる範囲の θ について考えれば充分である。

第1図より $\Delta S = x = R \cdot \Delta\varphi$ ($\varphi = \text{rad}_\varphi$)

$$\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0 = \frac{x}{R} \approx \frac{r}{R} \left\{ (1 - \cos \theta) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\theta) \right\}$$

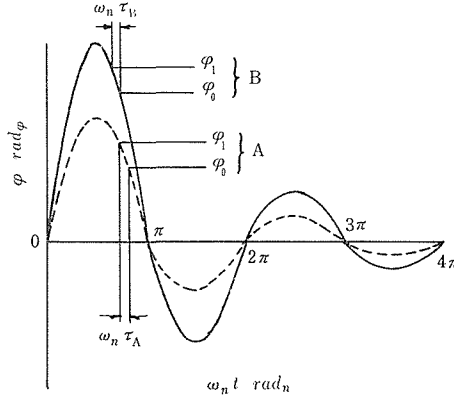
* 機械工学教室助教授

トン速度である。

ドラム I, c, k の自由振動の方程式は

$$\ddot{I}\varphi + c\dot{\varphi} + k\varphi = 0 \quad (5)$$

(5)式に対するディメンションは第2図の示す波形の縦、横軸を rad_φ , rad_n とすれば



第 2 図

$$\begin{aligned} \frac{kg \cdot cm}{rad_n^2 \cdot rad_\varphi / sec^2} \cdot \frac{rad_\varphi}{sec^2} \cdot rad_n^2 + \frac{kg \cdot cm}{rad_\varphi \cdot rad_n / sec} \cdot \frac{rad_\varphi \cdot rad_n}{sec} \\ + \frac{kg \cdot cm}{rad_\varphi} \cdot rad_\varphi = 0 \end{aligned}$$

(5)式において $2\varepsilon = \frac{c}{I}$, $p^2 = \frac{k}{I}$ とおけば

一般解は $t = 0$ で $\varphi = \varphi_1$, $\dot{\varphi} = 0$ より

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_1 e^{-\varepsilon t} \left[\frac{\varepsilon}{\sqrt{p^2 - \varepsilon^2}} \sin \sqrt{p^2 - \varepsilon^2} t + \cos \sqrt{p^2 - \varepsilon^2} t \right] \\ &= \varphi_1 e^{-\varepsilon t} \left(\frac{\varepsilon}{q} \sin qt + \cos qt \right) \end{aligned} \quad (6)$$

ここに $q = \sqrt{p^2 - \varepsilon^2}$

ドラムが $\varphi_1(t=0) \sim \varphi_0(t=\tau)$ 回転するに要する時間 τ は

$$\varphi_1 - \varphi_0 = \varphi_0 e^{-\varepsilon \tau} \left(\frac{\varepsilon}{q} \sin q\tau + \cos q\tau \right) \quad (7)$$

によって与えられる。

次に(6)式より u を求めると

$$\begin{aligned}
 \dot{\varphi} &= \varphi_0 e^{-\varepsilon t} \left\{ -\varepsilon \left(\cos qt + \frac{\varepsilon}{q} \sin qt \right) + (\varepsilon \cos qt - q \sin qt) \right\} \\
 &= \varphi_0 e^{-\varepsilon t} \left(-\frac{\varepsilon^2}{q} \sin qt - q \sin qt \right) \\
 &= \varphi_0 e^{-\varepsilon t} \cdot \left(-\frac{\varepsilon^2 + q^2}{q} \right) \cdot \sin qt \\
 &= -\varphi_0 \cdot \frac{\omega_n^2}{q} \cdot e^{-\varepsilon t} \sin qt \\
 \therefore u = R\dot{\varphi} &= -\frac{R\varphi_0 \omega_n^2}{q} \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin qt \quad (8)
 \end{aligned}$$

一方ピストン速度は

$$v = \dot{x} = r \left(\sin \theta + \frac{\lambda}{2} \sin 2\theta \right) \dot{\theta} = \omega r \left(\sin \theta + \frac{\lambda}{2} \sin 2\theta \right) \quad (9)$$

(4), (8), (9)より

$$\omega r \left(\sin \theta + \frac{\lambda}{2} \sin 2\theta \right) < -\frac{R\varphi_0 \omega_n^2}{q} \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin qt \quad (10)$$

$$\text{然るに } \left. \begin{array}{l} t=0 \\ \varphi=\varphi_1 \\ \theta=\pi \end{array} \right\}, \quad \left. \begin{array}{l} t=\tau \\ \varphi=\varphi_0 \\ \theta=2\pi \end{array} \right\} \text{より} \quad t = \left(\frac{\theta}{\pi} - 1 \right) \tau$$

$$\therefore \omega r \left(\sin \theta + \frac{\lambda}{2} \sin 2\theta \right) < -\frac{R\varphi_0 \omega_n^2}{q} \cdot e^{-\varepsilon \left(\frac{\theta}{\pi} - 1 \right) \tau} \cdot \sin q \left(\frac{\theta}{\pi} - 1 \right) \tau \quad (11)$$

II 計算結果

計算及実験に用いたマイハーク示圧計 M_8 型の諸数値は次の如くである。

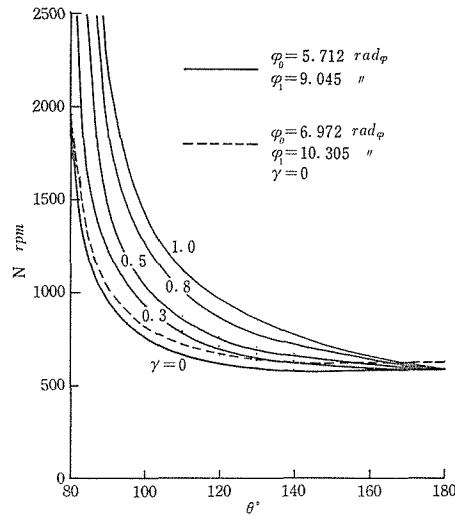
ばね定数 $k = 0.190 \text{ kg} \cdot \text{cm}/\text{rad}_\varphi$

慣性モーメント $I = 3.569 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{cm} / (\text{rad}_\varphi \cdot \text{rad}_n^2/\text{sec}^2)$

臨界減衰定数 $c_c = 2\sqrt{Ik} = 1.647 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{cm} / (\text{rad}_\varphi \cdot \text{rad}_n/\text{sec})$

$0 \leq \theta \leq \pi$ に対する条件式(3)を用い

$\varphi_0 = 5.712 \text{ rad}_\varphi$, $\varphi_1 = 9.045 \text{ rad}_\varphi$, $\gamma = c/c_c = 1.0, 0.8, 0.5, 0.3, 0$, 及び $\varphi_0 = 6.972 \text{ rad}_\varphi$, $\varphi_0 = 10.305 \text{ rad}_\varphi$, $\gamma = 0$ について計算した結果は第3図に示す通りである。



第3図 条件式(3)に対する計算結果

$\pi \leq \theta \leq 2\pi$ に対しては、先ず(8)式について同様な計算を行なうと次の如くである。

A. $\varphi_0 = 5.712 \text{ rad}_\varphi$, $\varphi_1 = 9.045 \text{ rad}_\varphi$

$$\gamma = 0, \text{ 従って } \tau = \frac{1}{\omega_n} \cdot \cos^{-1} \frac{\varphi_0}{\varphi_1} \text{ より } \tau = 0.0385 \text{ sec},$$

$$\therefore u = -313.00 \sin 0.888 \left(\frac{\theta}{\pi} - 1 \right) \quad \theta = \text{rad}_\varphi$$

$\gamma = 0.3$, 従って

$$0.6315 = e^{-6.921\tau} (0.314 \sin 22.01\tau + \cos 22.01\tau) \text{ より} \\ \tau = 0.0424 \text{ sec.}$$

$$\therefore u = -328.08 e^{-0.2935(\theta/\pi-1)} \cdot \sin 0.933 \left(\frac{\theta}{\pi} - 1 \right)$$

$\gamma = 0.5$, 従って

$$0.6315 = e^{-11.544\tau} (0.577 \sin 19.99\tau + \cos 19.99\tau) \text{ より} \\ \tau = 0.0456 \text{ sec.}$$

$$\therefore u = -361.23 e^{-0.5264(\theta/\pi-1)} \cdot \sin 0.9115 \left(\frac{\theta}{\pi} - 1 \right)$$

$\gamma = 0.8$, 従って

$$0.6315 = e^{-18.46\tau} (1.334 \sin 13.84\tau + \cos 13.84\tau) \text{ より} \\ \tau = 0.0510 \text{ sec.}$$

$$\therefore u = -521.74 e^{-0.9415(\theta/\pi-1)} \cdot \sin 0.7058 \left(\frac{\theta}{\pi} - 1 \right)$$

$\gamma = 1.0$, 従って

$$0.6315 = (23.07\tau + 1)e^{-23.07\tau} \quad \text{より} \quad \tau = 0.0558 \text{ sec.}$$

$$\therefore u = -402.93 \left(\frac{\theta}{\pi} - 1 \right) e^{-1.2873(\theta/\pi - 1)}$$

$$B. \varphi_0 = 6.972 \text{ rad}_\varphi, \varphi_1 = 10.305 \text{ rad}_\varphi$$

$$\gamma = 0, \text{ 従って } \tau = \frac{1}{\omega_n} \cos^{-1} \frac{\varphi_0}{\varphi_1} \text{ より } \tau = 0.0338 \text{ sec.}$$

$$\therefore u = -356.6 \sin 0.7798 \left(\frac{\theta}{\pi} - 1 \right)$$

$\gamma = 0.3$, 従って

$$0.6766 = e^{-6.921\tau} (0.314 \sin 22.01\tau + \cos 22.01\tau) \quad \text{より} \\ \tau = 0.0390 \text{ sec.}$$

$$\therefore u = -373.78 e^{-0.2699(\theta/\pi - 1)} \sin 0.858 \left(\frac{\theta}{\pi} - 1 \right)$$

$\gamma = 0.5$, 従って

$$0.6766 = e^{-11.544\tau} (0.5774 \sin 19.992 + \cos 19.992) \quad \text{より} \\ \tau = 0.0419 \text{ sec.}$$

$$\therefore u = -411.55 e^{-0.4839(\theta/\pi - 1)} \sin 0.8376 \left(\frac{\theta}{\pi} - 1 \right)$$

$\gamma = 0.8$, 従って

$$0.6766 = e^{-18.46\tau} (1.3338 \sin 13.84\tau + \cos 13.84\tau) \quad \text{より} \\ \tau = 0.0467 \text{ sec.}$$

$$\therefore u = -594.42 e^{-0.8620(\theta/\pi - 1)} \sin 0.6463 \left(\frac{\theta}{\pi} - 1 \right)$$

$$\gamma = 1.0, \text{ 従って } 0.6776 = (23.07\tau + 1)e^{-23.07\tau} \quad \text{より} \\ \tau = 0.0503 \text{ sec.}$$

$$\therefore u = -413.81 \left(\frac{\theta}{\pi} - 1 \right) e^{-1.1604(\theta/\pi - 1)}$$

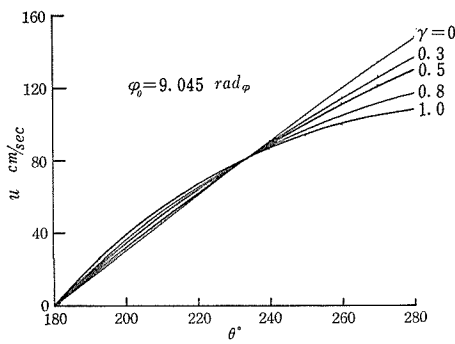
以上の結果を用い、各 θ に対する値を求めて図示すれば、第4, 5図となる。一方(9)式に対する計算結果は、第6図となるから、これ等を総括すれば条件式(11)に対して、第7, 8, 9図を得る。

Ⅲ 計算結果の考察

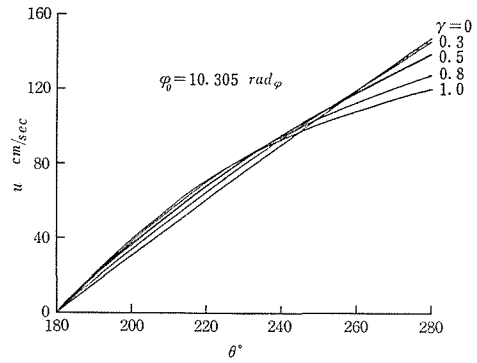
以上の計算結果によれば、 $0 \leq \theta \leq \pi$ に対しては

1) 使用範囲 $\omega(N)$ は、ドラムの固有振動数

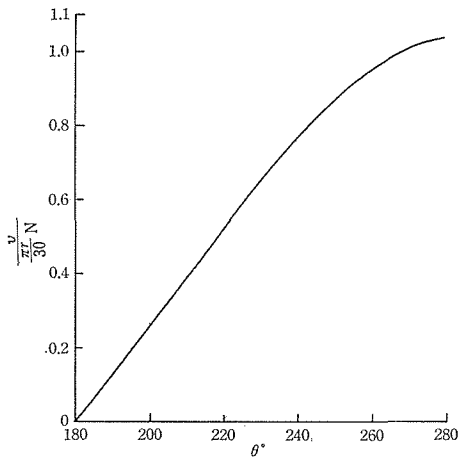
$\omega_n = \sqrt{k/I}$ によって制限されるが、引張り力の変化に対するひもの歪の変化の影響



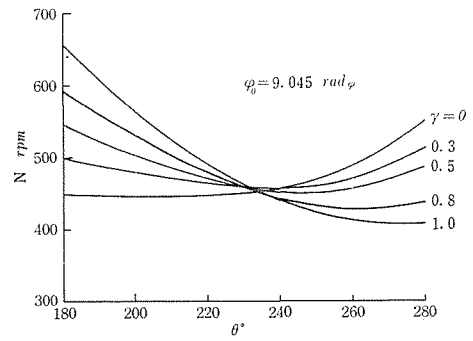
第4図 (8)式の計算結果—I



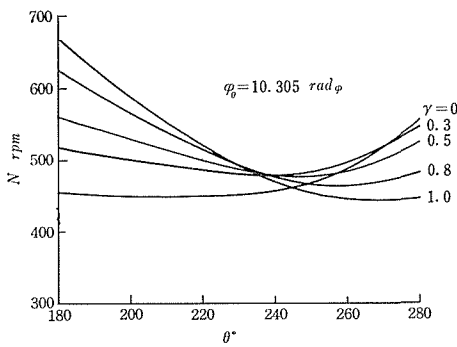
第5図 (8)式の計算結果—II



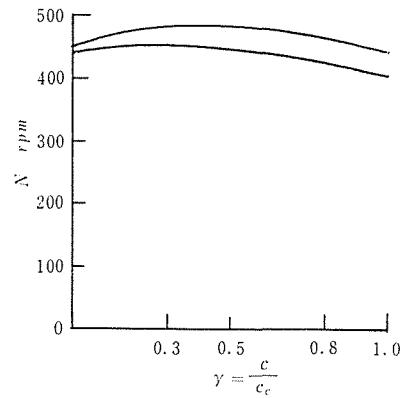
第6図 (9)式の計算結果



第7図 条件式(1)の計算結果—I



第8図 条件式(1)の計算結果—II



第9図 条件式(1)の計算結果—III

が大きい故、 k を大きくするよりも I を小さくして ω_n を高めた方がよい。

2) 粘性減衰は速度、加速度の変化に対して効果があるが、 BDC に近づくに従いその影響は少くなり、 $BDC(\theta = \pi)$ では無関係となる。

3) k の初張力 φ_0 を大きくすることは、 k を大きくすることと同様に ω は大きくなるがひもの歪の変化を考えると過大にすることは好ましくない。

$\pi \leq \theta \leq 2\pi$ に対しては

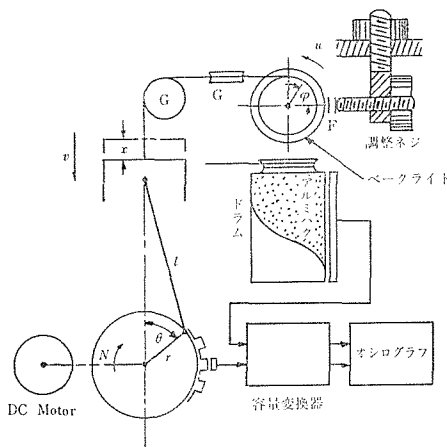
1) 初張力を与える φ_0 を大きくすることは、第3図において $\tau_A < \tau_B$ となり ω を可なり高めるから、ひもの伸びの変化を考慮して適当な初張力を与えることは有効である。

2) 粘性減衰は小さくする方がよいが、 $\gamma = 0.55$ 以下にしても使用範囲 ω は高くはならない。

3) ω_n を高くすることは、第3図において $\omega_n \tau$ を小さくすることになり、従って τ を小さくする故当然使用範囲は高くなる。

3. 実験装置及方法

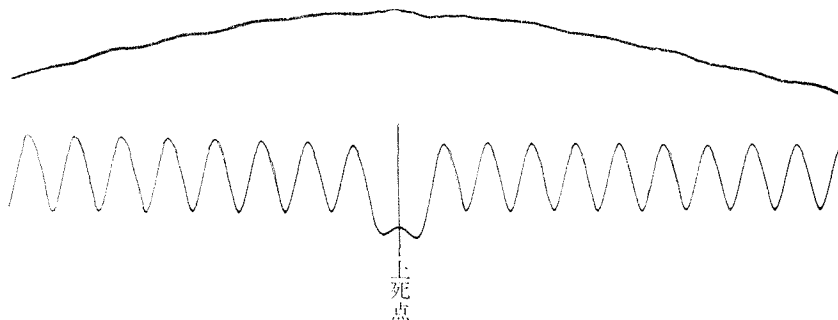
実験には第10図に示す装置を用い、クランク角 θ に対応する記録用ドラムの角変位 φ



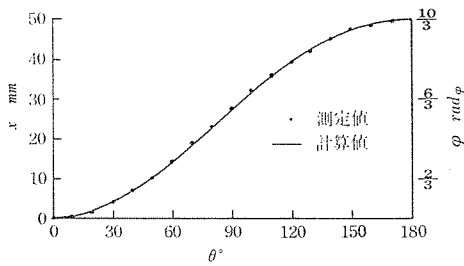
第10図 実験装置

は、ドラムをペークライト筒で絶縁し、この表面に φ に比例する三角形形状のアルミ箔を貼り、対向極との面積変化により容量変化を検出し、電流変化に変換して記録した。クランク角の変位位置と、軸の一回転中における速度変動の程度を知るため、はずみ車の一部に溝を切って対向極との容量変化を検出したが、その結果は第11図に示す如く、速度の変動は殆んど認められない。

実験は、 $\Delta\theta \sim \Delta x \sim \Delta\varphi \sim \Delta C \sim$ 記録、の静的較正值が計算値に充分近接する



第11図 回転の変動程度



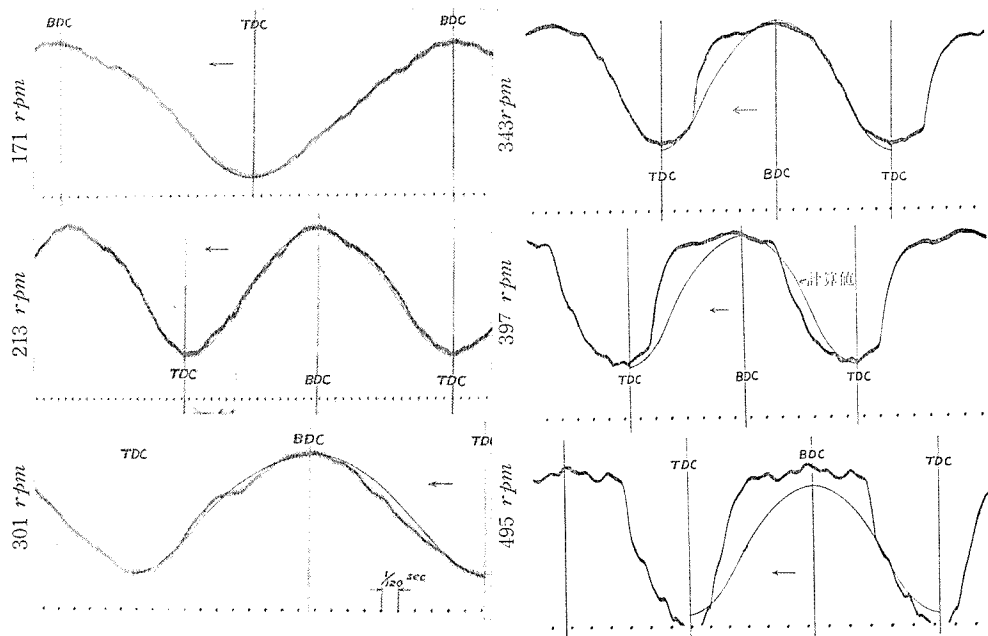
第12図 較正曲線

様対向極板を調整した後（第12図にその較正曲線を示す），回転数 $100 \sim 700$ rpm，記録用ドラムばね初張力 $\varphi_0 = 9.045 \text{ rad}_\varphi$ ， $\varphi_0 = 10.305 \text{ rad}_\varphi$ ，案内車 G の状態，ひもの種類等の諸因子を組み合わせて行った。

尚ピストンクランク機構は，2サイクル機関($S = 50 \text{ mm}$, $l = 100 \text{ mm}$)のヘッドを取りはずしてその儘用い，回転のむらをなくするため，更に余分のはずみ車を附加した。回転数は直流分捲電動機の界磁一定，電動子電流増減によって変えた。

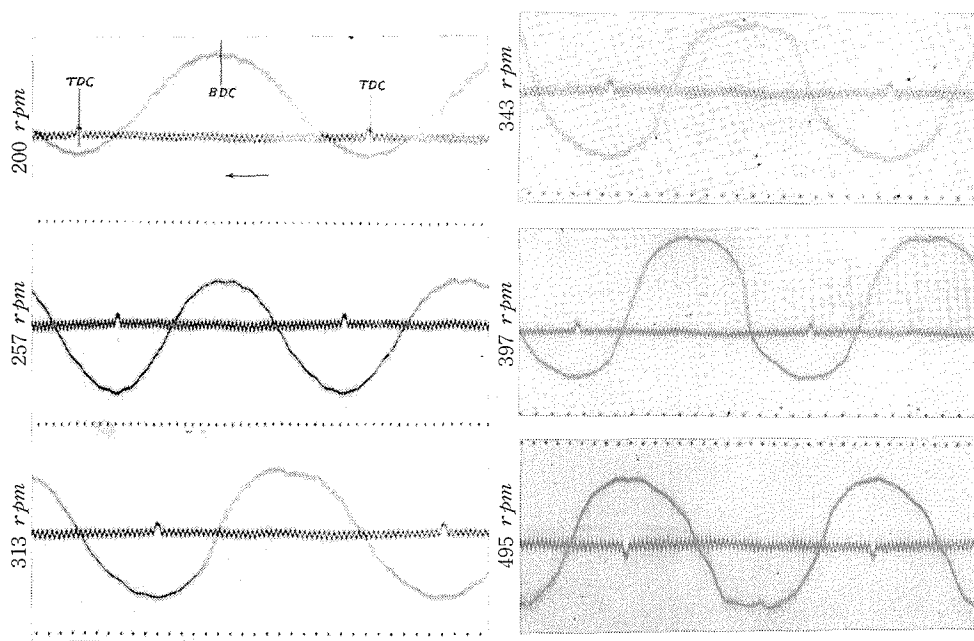
4. 実験結果

測定記録の一部を示すと，第13図では案内車の横振れ，偏心，木綿のひもの伸縮による影響が著しく認められる。第14図はひもは前者の儘のものを用い，案内車のみ球軸受を用ひ且つ横振れ，偏心のない様改造したものである。第15図は更にひもに配意し



第13図

て、木綿ひもを取りかえてギター 4 D 線を用いたもので、作動が非常に改善され使用範囲が計算結果に近づいている状況が明かに認められる。



第 14 図

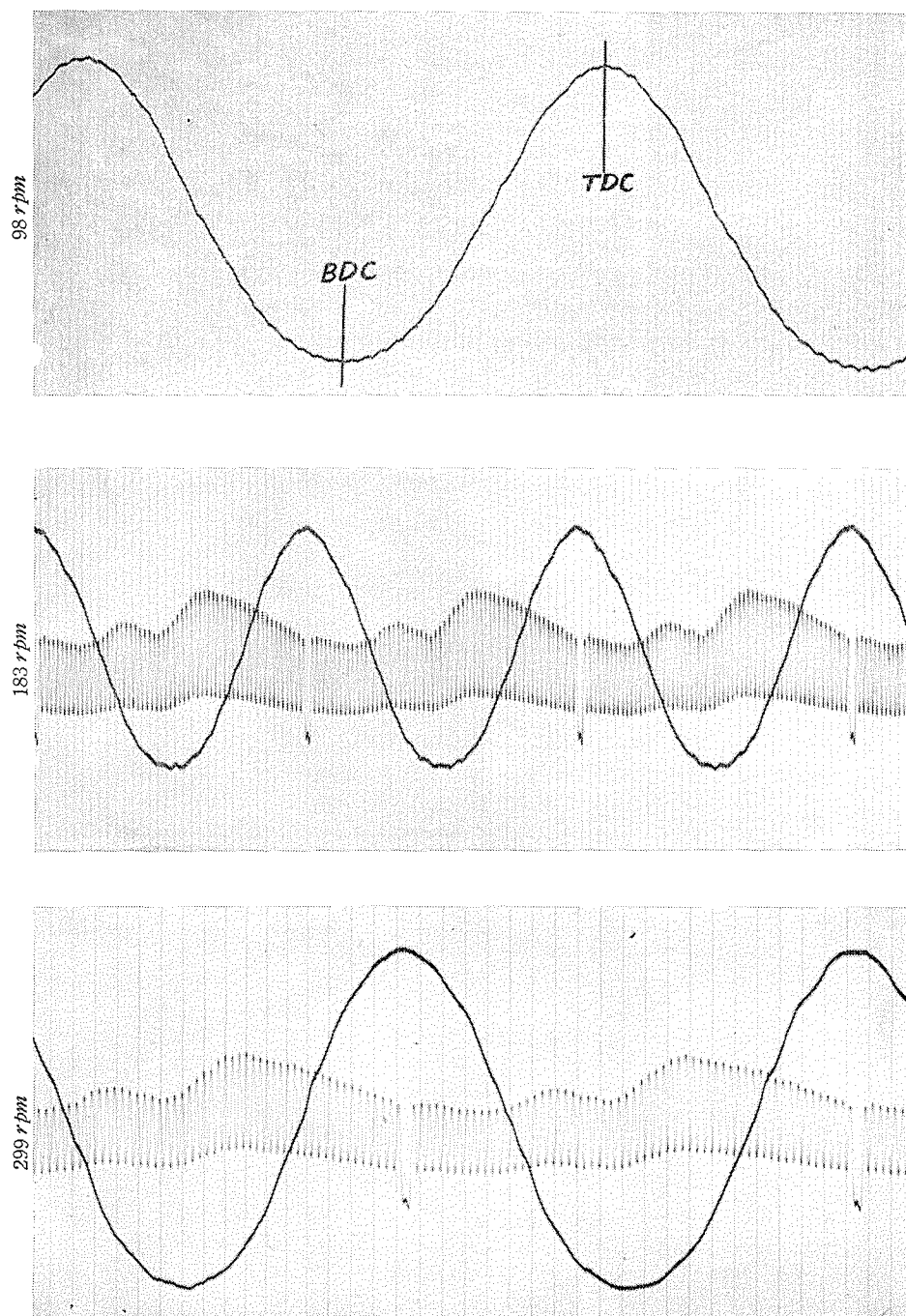
尚この状態で実際に空気圧縮機における示圧線図をとって、容量型示圧計による示圧線図（第16図）と比較してみたところ第17図となり、満足し得る結果を得た。

5. む す び

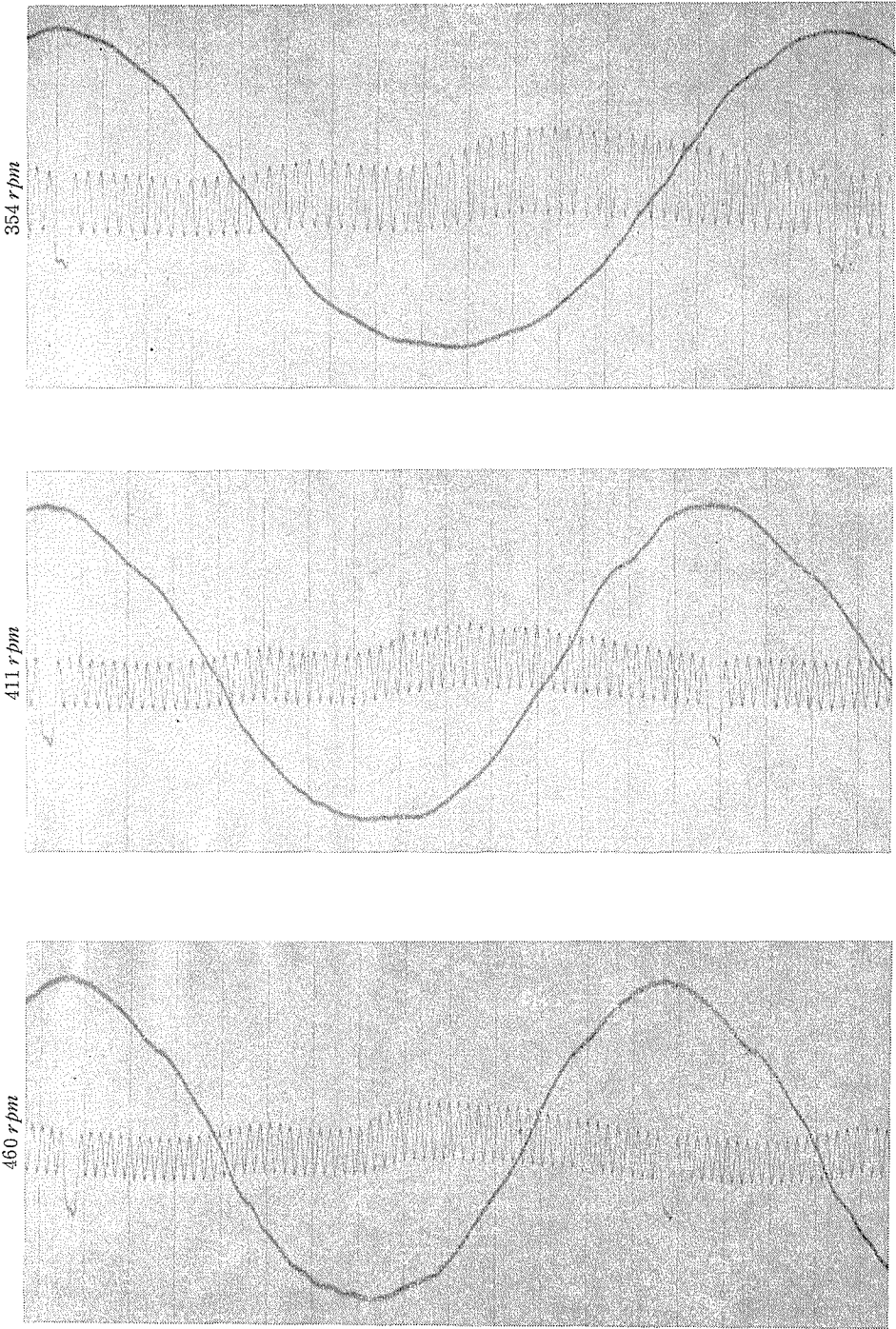
以上の理論的考察と実験結果を要約すれば、

- 1) マイハーク示圧計記録用ドラムがピストンの運動に正しく相似して作動するためには、運動を伝達するひも及びこの案内車に余計な運動の混入しないようにすることが、最も肝要である。
- 2) ドラム自体の固有振動数 ω_n を高める場合、ばね定数 k 及び慣性モーメント I を別々に考えて、 I は出来る限り小さくすることはよいが、 k はひもに引張り荷重として働くから、この荷重の変化に対する歪を出来る限り抑える様、ひもの初張力、材料、寸法に応じた値に撰定することが必要である。計算による許容値に達する迄は、このひもの状態が精度を全面的に左右する。
- 3) 粘性減衰は少い方が望ましいけれども $\gamma = 0.55$ 程度以内に抑えれば充分である。

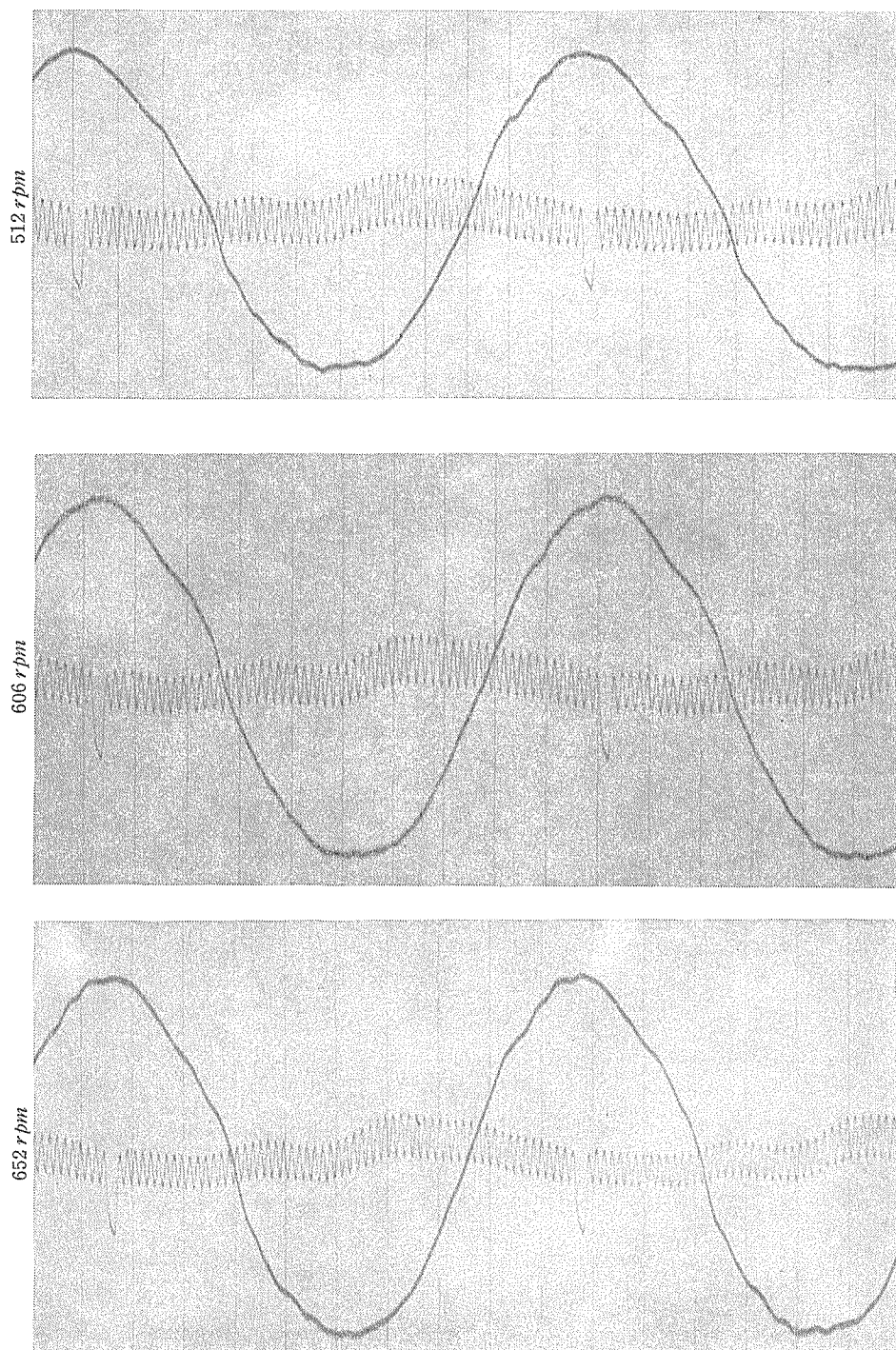
これらの点に留意すれば、布施等による M_3 型の示圧部に対する許容値 350 rpm と少



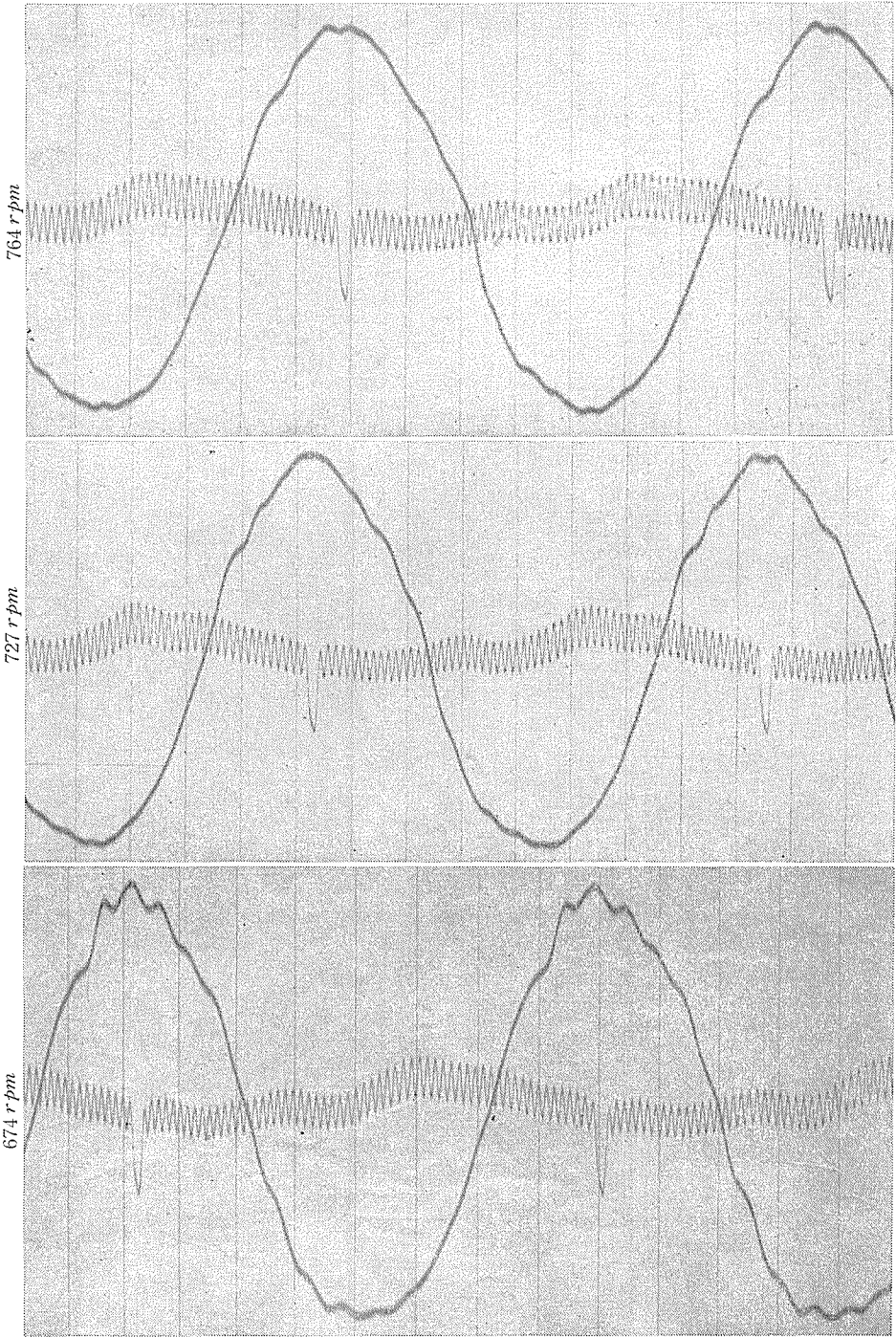
第15図—1



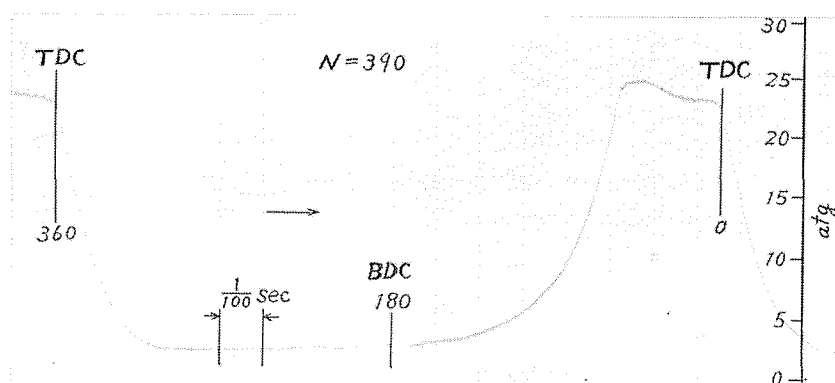
第15図—2



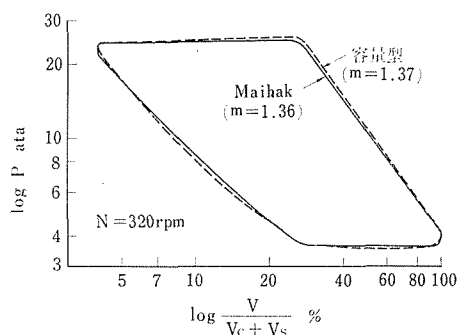
第15図— 3



第15図—4



第16図 容量型示圧計による空気圧縮機の示圧線図



第17図 容量型と比較した圧縮機示圧線図

くとも同じ限界にドラムの許容値を保つことが出来るが、この際駆動及び被駆動側以上に、両者を伝達する系統について注意を払わないと、示圧部の許容値以下になることは容易であるから、使用に際してはむしろ伝達系に対して十分な配慮が必要である。

尚同様に速度が問題になる運動伝達の他の場合、例えば機関における吸排気弁駆動系、ディーゼル機関における jerk-pump system 等の運動伝達系の媒質、構造、歪状況等が系全体の特性に及ぼす影響については、次の機会に譲りたい。

終りに、本研究に終始協力された卒研生 山岸範幸（日本鋪道）、川端康治（アイシン精機）両君の労を多とし、謝意を表します。

文 献

- 1) 布施・他2名：日立造船技報，Vol. 25，No3（1964）
- 2) 筆者：日本機械学会諏訪地方講演会前刷集（昭40）
- 3) 中西・佐藤：日本機械学会論文集，14巻，48号

- 4) 中西・亘理・佐藤：日本機械学会論文集，14巻，48号
- 5) 中西・佐藤・他3名：日本機械学会論文集，16巻，54号
- 6) 谷口：機械計測法，養賢堂（1956）
- 7) 谷口：機械力学，養賢堂（1955）
- 8) 荻原：振動測定，宝文館（1957）
- 9) Erhard Hübner : Technische Schwingungslehre, Spriger (1957)
- 10) Den Hartog : Mechanical Vibrations, McGRAW-HILL (1956)

Summary

Dynamic characteristics of recording drum of Maihak indicator, and its available limits.

Tsutomu YAMAGUCHI

(Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

From the necessity of study about the effect of dynamic characteristics of recording drum in Maihak indicator and its available limits, some experiments were tried to make clear the action of this system, and then calculated results in theoretical analysis were compared with experimental data.

From the discussion about the factors that have effect on the available limits of drum, including transmission system, I came to the following conclusions.

a) Since diagram accuracy is generally influenced by transmission system within the compass of calculated value, it is most important not to add unnecessary action in transmission cord and guide pulley.

b) The smaller moment of inertia I is, the better it is, but in order to save strain as much as possible for variable tension, it is necessary to select suitably spring constant k according to initial tension, material and dimension of cord.

Considering to these points, available value can be made to attain at least to the same compass 350 rpm as pressure system of M3 type, while this value reduces easily by want of care.