

No. 109.

(English Abstract from the Japanese Original.)

---

**Magnetic Pressure-Indicator for Internal-  
Combustion-Engines.**

By

Tatuo KOBAYASI, *Rigakuhakushi*,

Member of the Institute.

and

Sumio SAKUMA,

Research student in the Institute.

---

**Abstract.**

The applications of the inverse Wiedemann effect to torque measurements and to torque variation recordings were devised by the writer and the details of the experiments were published in the Reports, Vol. IV, No. 52 and Vol. V, No. 54. If a ferro-magnetic bar is furnished with a twisting arm, a force, or variations of a force, can be measured in the same way. The writer constructed a pressure indicator for an internal-combustion-engine and obtained satisfactory results.

---

## 磁力による内燃機用壓力計

所 員 理 學 博 士      小   林   辰   男

研 究 生                      佐 久 間 純 夫

### 1. 緒      言

筆者は先年「逆ウイデマン効果」即ち鐵、ニッケル等の如き強磁性體の丸棒に縦に電流を通じて、同時に之を振るとき、丸棒に起こる縦向きの帶磁を、回轉軸に働くトルクの測定及びトルクの變化を記録するに應用し得ることを、報告第五十二號に發表した。此の方法は、振り腕を着けて丸棒を振る様にすれば、トルクのみならず、一般の力の測定及び其の變化を記録するに利用し得られること勿論である。筆者は今度之を内燃機關の氣筒内の壓力變化を記録する壓力計に應用して見た。其の試験の結果をここに報告する。

逆ウイデマン効果が、トルク測定に使用して誤差が極めて小さいことの理由は、前の報告に詳述したが、ここに重ねて簡単に列記して見る。

1) ストレツスの變化による帶磁の變化には遅れ (Time lag) が無い。(同じ逆ウイデマン効果でも、トルクを一定にして置いて縦電流を變化するときには、帶磁の變化が完了するに比較的長い時間を要する。)

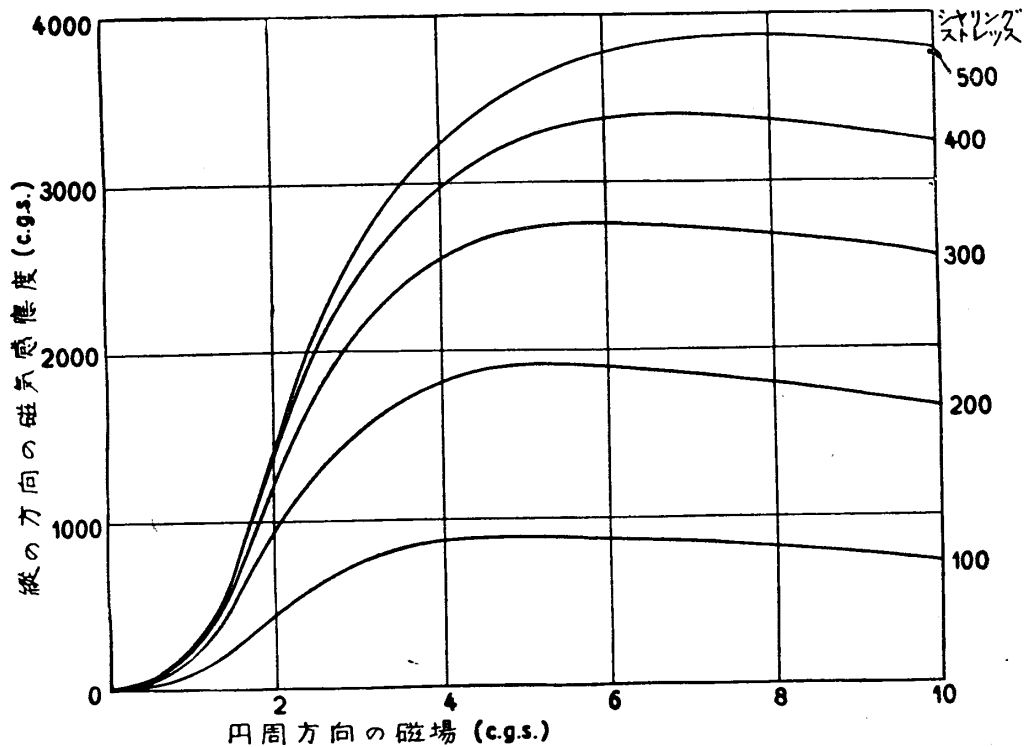
2) 逆ウイデマン効果による縦帶磁は極めて小さく、且つストレインの變化と同時に起こるから、磁氣ヒステレシスが極めて小さい。

3) 溫度が少し位變つても (例へば  $100^{\circ}\text{C}$  位になつても) 帶磁に影響は殆んど無い。

4) 第一圖で分る様に、縦電流による磁場が或る値以上になれば、トルクを一定にした曲線は平たくなり、電流が多少變化しても縦帶磁は變らない。

5) 第二圖に示す様に、トルクの或る範圍内では、トルクと縦帶磁との關係は殆んど直線的である。磁場が弱ければ曲線は早くから下に曲る。磁場が強過ぎれば初めの内上向きに曲る。磁場 4—6 位、シャー  $200\text{kg/cm}^2$  以内ならば完全な直線と見て差支ない。シャーの範圍を擴げるには、縦電流を増し磁場をもつと強くしなくてはならない。

ニッケルは、鐵よりも逆ウイデマン効果が大きく、磁化率が小さいから、ニツ



第 1 圖

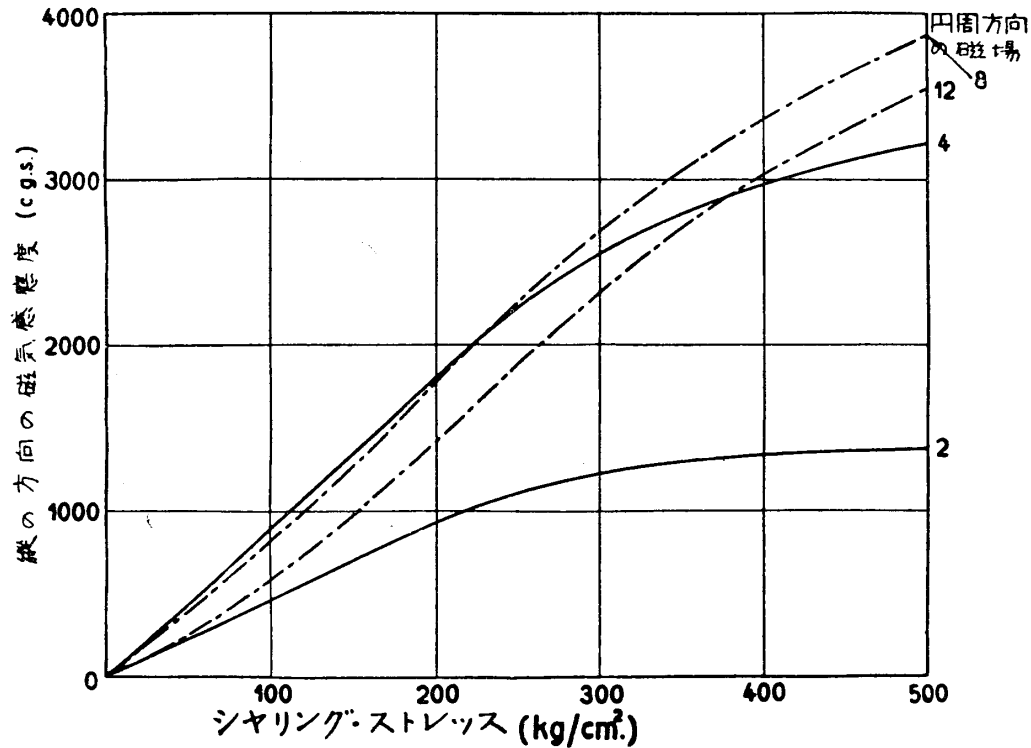
ケルを使用する方が鐵を使用するよりも性能が良くなるわけであるが、良質の材料を得ることが困難な爲め、軟鋼を使用した。

此の壓力計では、縦電流は直接に鐵棒中を通ぜず、トルクを受ける軟鐵棒は割り抜いて管狀にし、縦電流は管軸に沿うて挿し通した太い銅線の中を通した。若し鐵棒に直接に電流を通ずる様になると、鐵棒の一端を絶縁する面倒がある。

次の章に説明してある通り、壓力計は發動機の點火栓孔にねぢ着け、壓力計を通じて點火出来る様にしてあるから、發動機は勝手な處に据え着けたまゝ、點火栓の代りに壓力計を取着け電線をオツシログラフまで引つばつて記録を取ることが出来る。縦電流は常に 50 アンペアを通したが、電壓が低くゝてよいから、小さい蓄電池數個を並列にすれば十分である。

## 2. 構 造

第三圖は壓力計全體の外觀を示す。A は、第四圖で分る通り、外径 27mm.



第 2 圖

厚さ 5mm. の軟鋼管である。A の右端は眞鍮製の腕 D に固定せられ。左端は眞鍮管 H を軸としてボールベアリングで支へられた振り腕 C に取付けられて居る。猶ほ眞鍮管 H の中に、薄く絶縁した銅の棒 G を貫通し、縦電流を送る。

B なる部分は、第五圖で分る通り、中にピストンがある。ピストンの上端は振り腕 C に連結せられて居る。振り腕及びピストンは輕金屬で作つてあるが、ピストンの先端の、外管と接觸する部分は鐵にしてある。(これだけでは長く運轉して居るとピストンが堅くなつて遂には動かなくなる。故に長い間運轉した後記録を取る必要がある場合には、此の部分改造しなくてはならない。) K は注油孔である。

ピストンの中を石英管が貫通して居て、其の中を針金を通してあるから、之によつて點火を行ふことが出来る。E は點火々花間隙である。

J なる螺子で發動機の點火栓孔に取り着け、コイル F (20—200 巻) をオツシログラフにつなぐ。

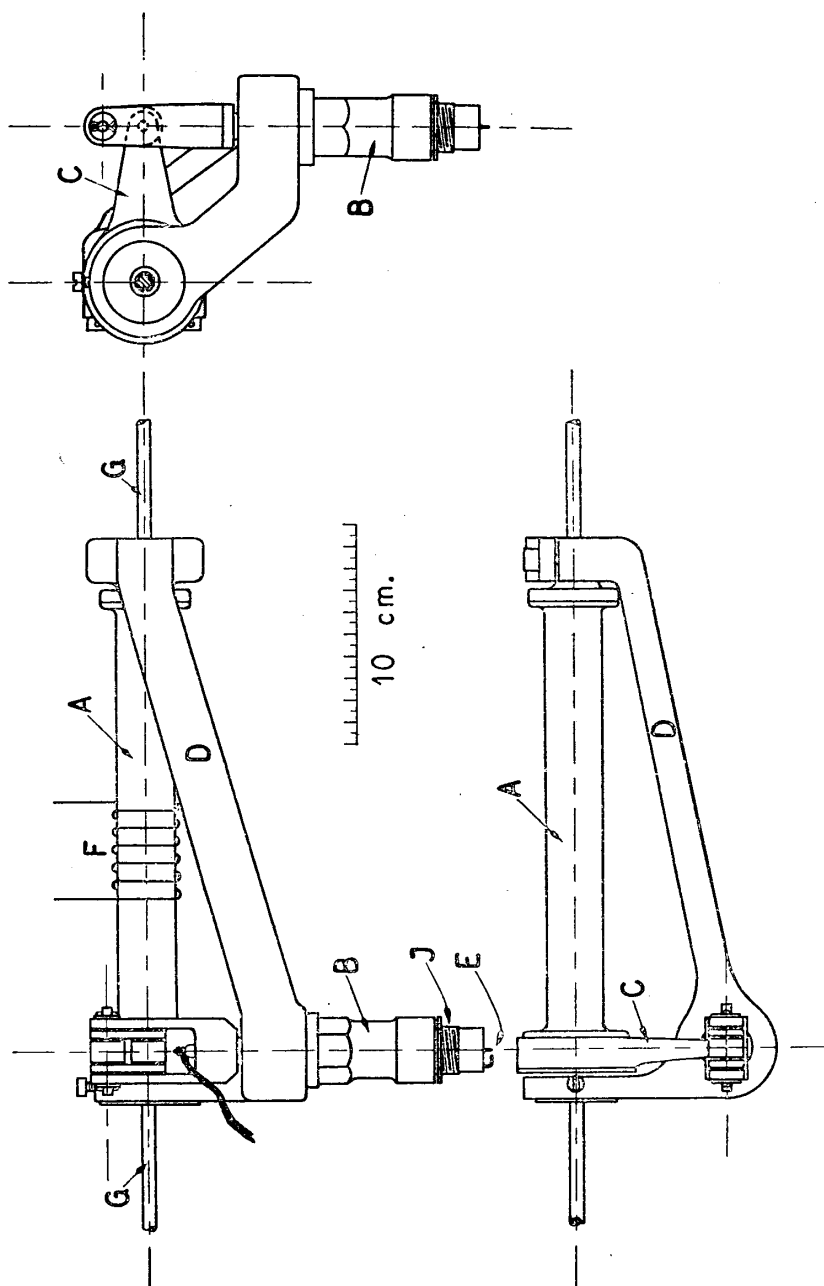
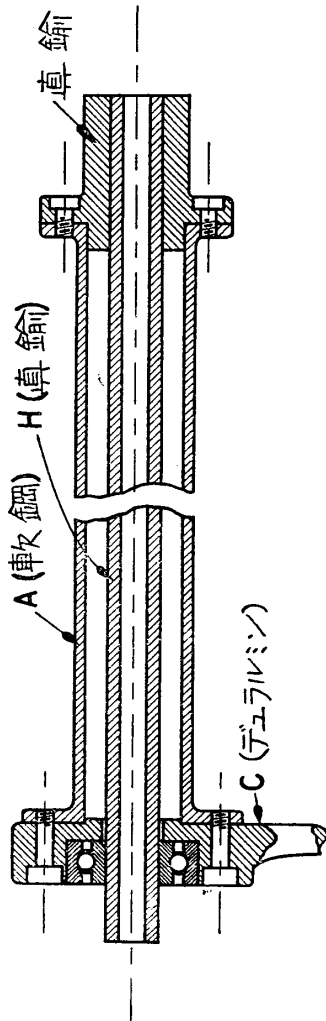


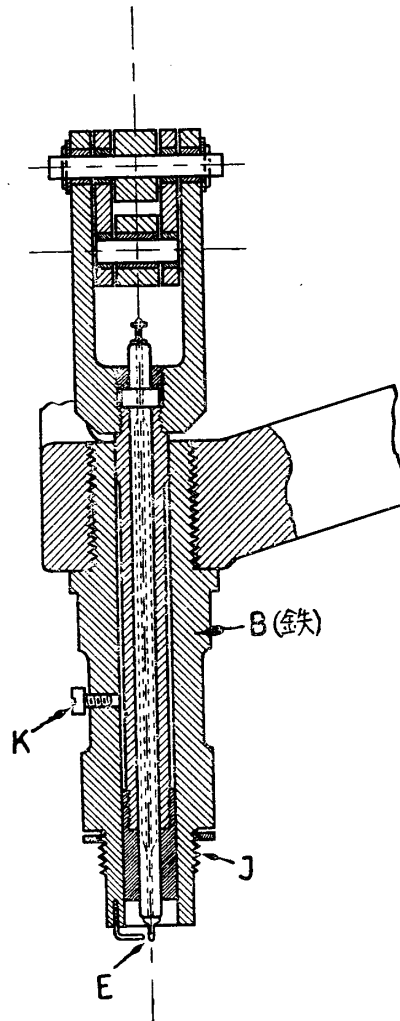
図 3

3

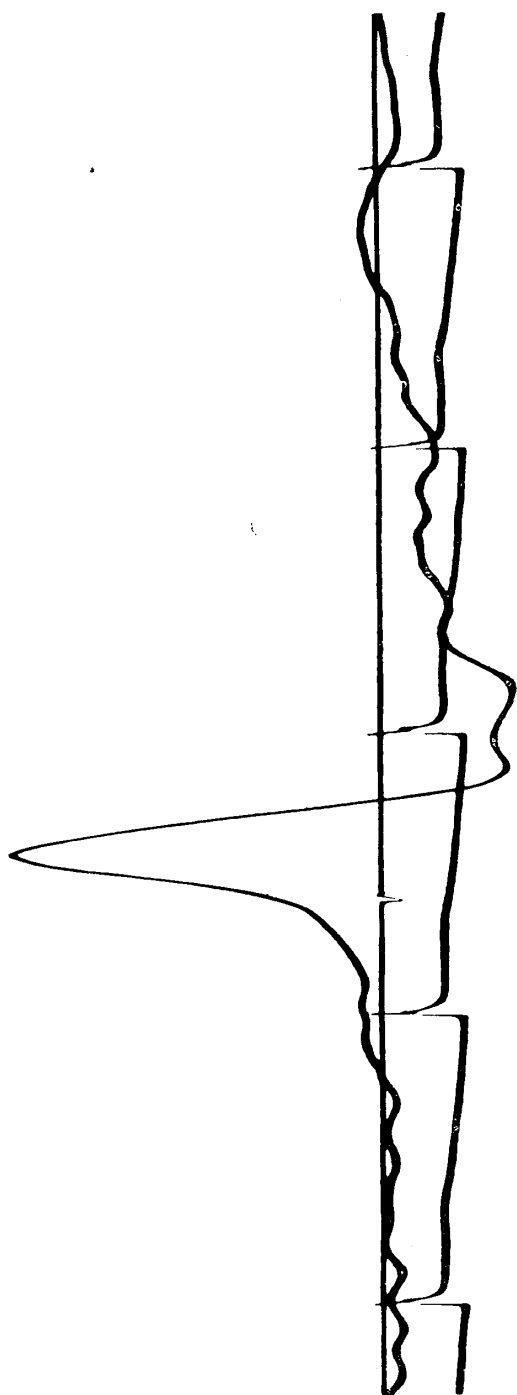
第



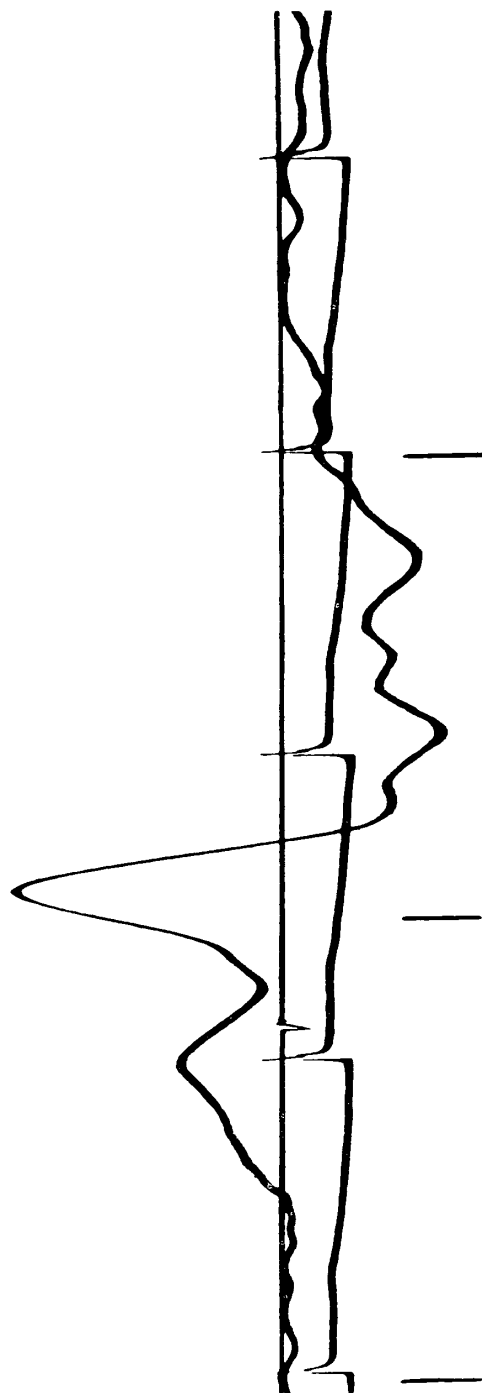
第 4 圖



第 5 圖



第 6 圖 Os. 三 I (原 尺)



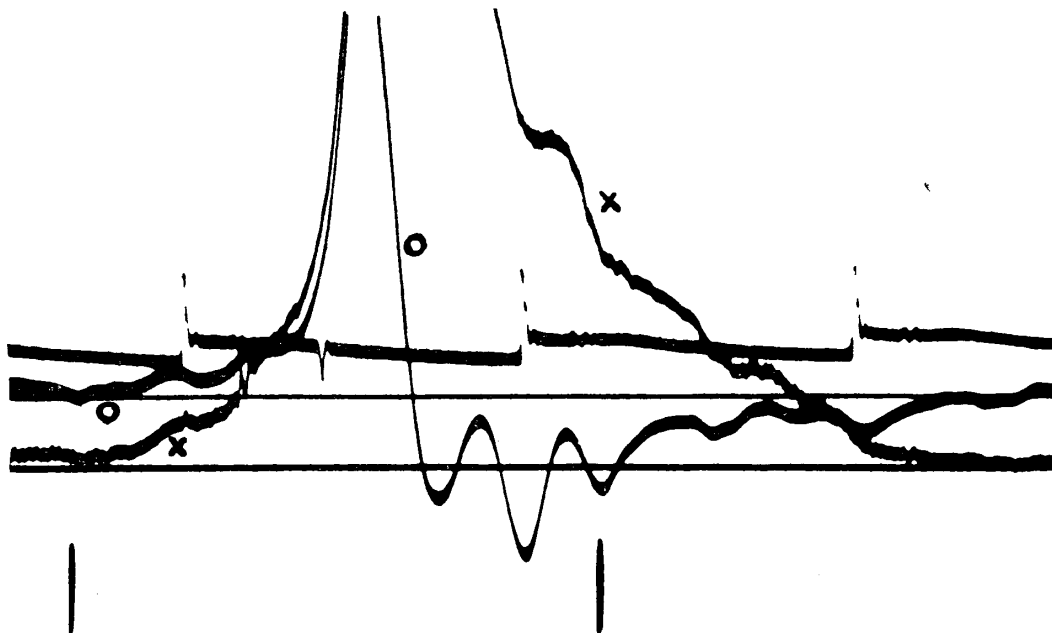
第 7 圖 Os. 2 (原 尺)

ピストンの運動は極めて僅かで、1mm. 以下である。固有振動数は、此の試作品では 700/sec. 位であるが、必要に應じ 1000 以上にすることは容易である。併かし数千に上げることは困難であらう。

### 3. 記 録 の 實 例

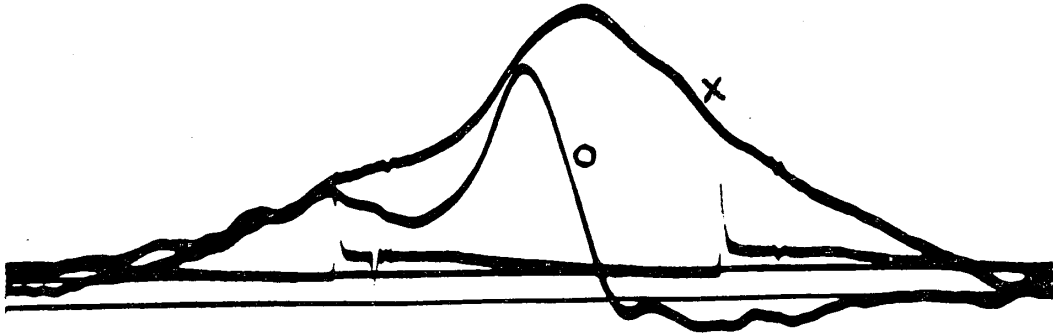
第六圖 Os. 1 及び第七圖 Os. 2 は記録の實例である。發動機は 50 馬力自動車用發動機、制動機は小さいプロペラである。(有り合せのプロペラで、少し小さ過ぎる爲め、1500 回轉で廻はすには半分位にスロットルしなくてはならない。) 記録の中心線に下向きの小さい突起のあるのは、壓力計を取り着けた氣筈に於ける死點の記録である。中心線の少し下にある規則正しい曲線は、點火感應コイルの一次電流を示すもので、約 3.5cm. 毎に上方に跳ねて居る處が、點火々花の飛んだ瞬間である。又其の下方の縦向きの短かい直線は時間の記録であつて、各直線の間隔は 1/50 秒である。第六圖は點火を極端に早くした場合、第七圖は極端に遅くした場合である。

又第八圖 Os. 3 及び第九圖 Os. 4 は、報告第五十二號第 436 頁に記述した方法により、壓力變化の速度 (○印) を電氣的に積分して、壓力を示す曲線 (×印) を同時に記録したものである。

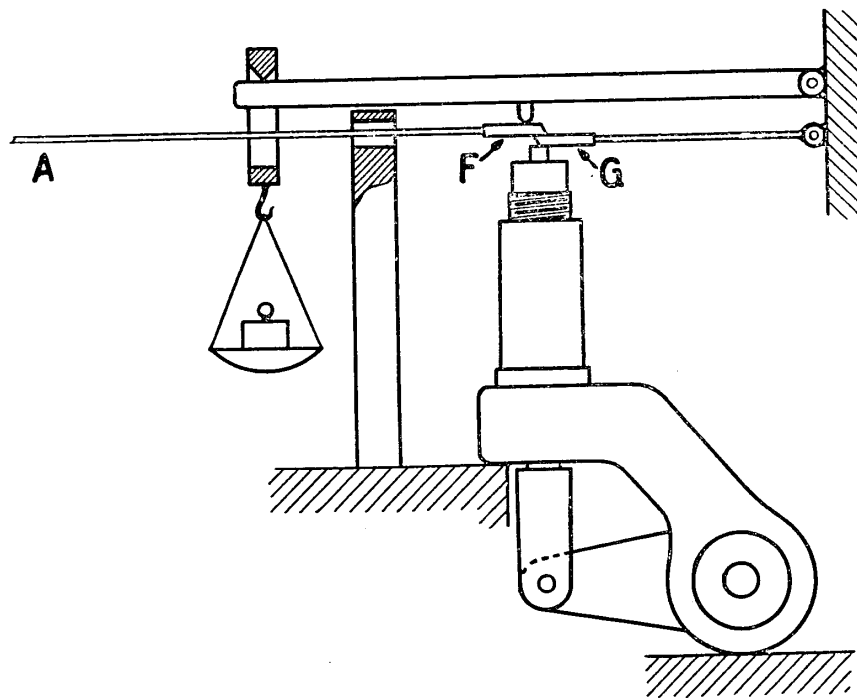


第 8 圖 Os. 3 (原 尺)

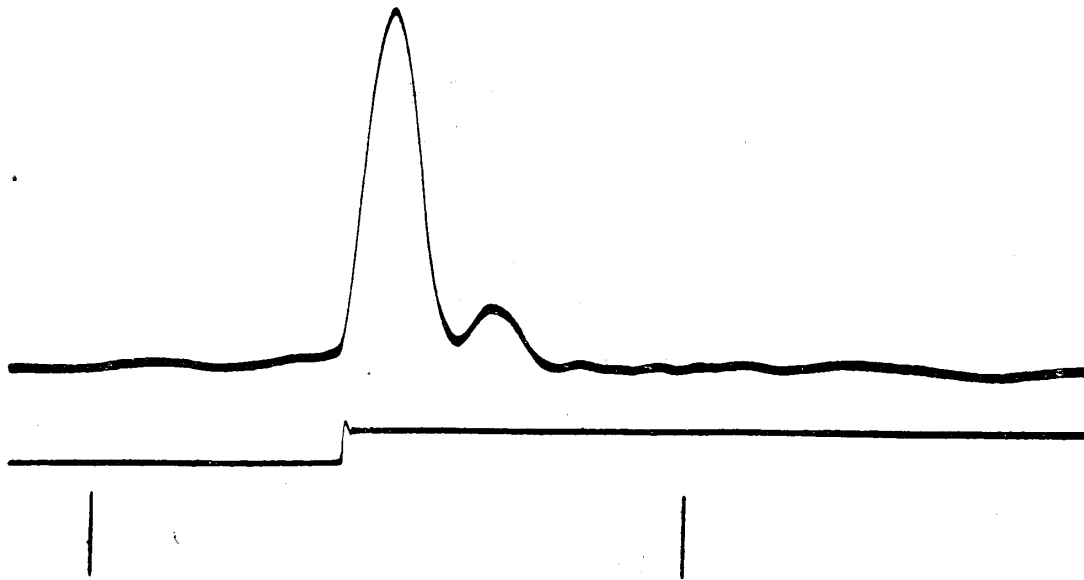




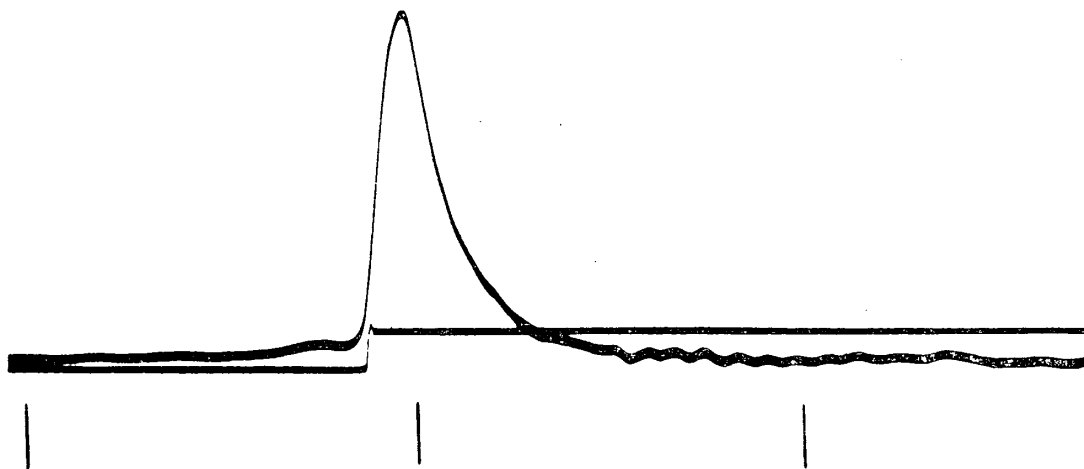
第 9 圖 Os. 4 (原 尺)



第 10 圖



第 11 圖 Os. 5 (原 尺)



第 12 圖 Os. 6 (原 尺)

#### 4. カリブレーション

此の圧力計をカリブレートするには、次の方法によるのが便利である。第十圖に示す様に圧力計を逆に置いて、Bの部分に適當な高さの枕をなし、圖に示す様な装置でピストンに荷をかける。縦電流は勿論初めから通じて置く。而して、オツシ

ロググラフのシャッターを開くと同時に、電磁石で A なる棒を左方に引いて、急にピストンの荷を取り去るのである。然るときは第十一圖 Os. 5 及び第十二圖 Os. 6 の様な記録が得られる。記録中、直線に一つの断層があるのは、第十圖の F と G とが離れた時、即ち荷が外づされた時刻を示すものである。又、縦向きの短かい直線の間隔は 1/50 秒であることは前と同様である。

軟鋼管 A の受けるトルクを  $T$ , 縦帯磁(管の中央部を通る縦の方向の磁気感應線全部を假に縦帯磁と呼ぶ。)を  $M$  とし、ピストンに働く力を  $F$ , 振り腕の長さを  $a$  とするときは、 $M$  が  $T$  に比例して變化する範圍では、

$$T = aF = kM + C \quad (1)$$

と置くことが出来る。式中、 $C$  は常數で、殘留磁氣に相當する。然るに此の壓力計を使用するには、 $M$  の實際の値を知る必要は無いのであるから、簡單の爲め、縦帯磁を表はすに  $F$  と同じ単位を用ふことにする。又、定常的に存在する殘留磁氣は、 $F$  の測定に無關係であるから、 $C$  も初めから省略して置く。然るときは(1)の式は

$$F = M \quad (2)$$

となる。

記録曲線の各點の、中心線(記録には出て居ない。記録曲線の左端と右端とを結ぶ直線である。)からのフレを  $D$  とすれば、

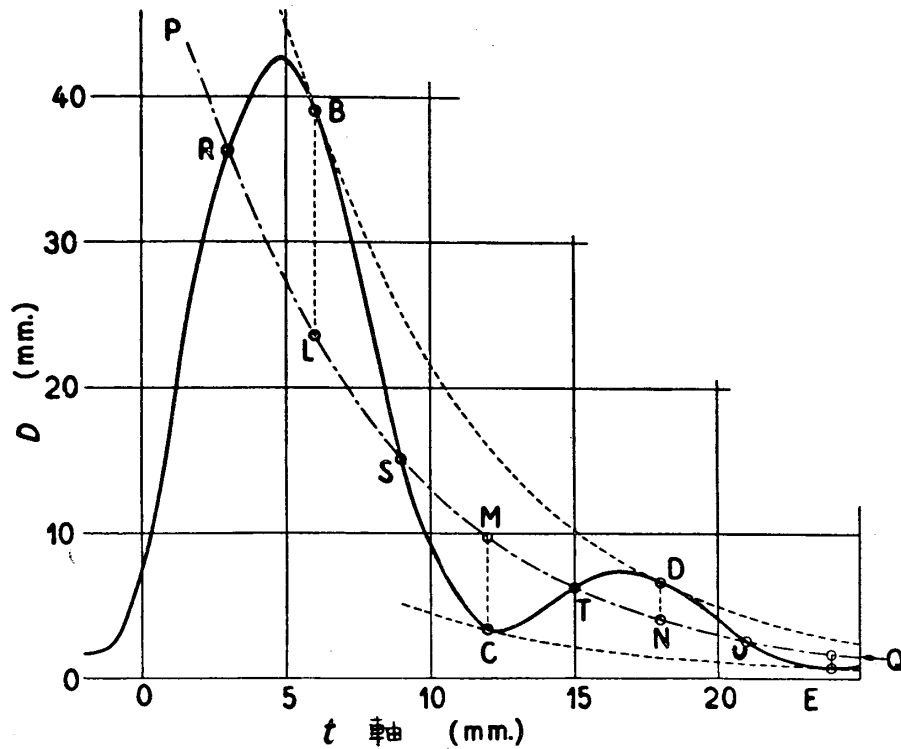
$$KD = \frac{dM}{dt} \quad (3)$$

と置くことが出来る。但し、 $K$  はコイル F の巻數と、オツシロググラフの感度とできまる定數である。先づ此の  $K$  の値を求めなくてはならない。ピストンにかゝる荷が  $F_1$  から  $F_2$  まで變つた場合には、(3) と (2) とから

$$K \int D dt = \int dM = [M_2 - M_1] = [F_2 - F_1] \quad (4)$$

となる。而して、左邊の  $\int D dt$  は、第十一圖又は第十二圖の記録の曲線と中心線との間の面積を表はすから、此の面積を測つて  $K$  の値を求めることが出来る。

第十一圖 Os. 5 は、ピストンの振動状態を明瞭に示す爲め、前章に述べた寸法よりも軟鋼管の直徑を小さくした壓力計による記録である。此の場合の自己振動數は 570/sec. である。Os. 5 を取つたときのコイル巻數 20, コイル-オツシロググラフ回路に直結挿入した抵抗 6 オーム、ピストンに掛けた荷重 20kg. であつた。此の記



第 13 圖

録を座標読取器で細かく測つて、廓大して畫くと第十三圖のようになる。

此の記録の  $t$  軸 1mm. 毎のフレの大きさを全部加へると 364.3 となる。即ち曲線と中心線との間の面積は 364.3mm<sup>2</sup>. である。然るに毎 1/50 秒を示す直線の距離が 68.6mm. になつて居るから

$$t \text{ 軸 } 1\text{mm.} = \frac{1}{3430} \text{ 秒}$$

である。故に (4) 式から

$$K \int D dt = K \frac{364.3}{3430} = [F_2 - F_1] = [0 - 20]$$

となる。符號は無視してよいから

$$K = \frac{20 \times 3430}{364.3} = 188.3 \text{ kg/sec.} \quad (5)$$

が得られる。即ち、1mm. のフレは 188.3kg/sec. の割合の負荷變化を表はす。

餘り精密を要せない場合には、第六圖又は第七圖の様な記録に對し、其等の記録を取つた時と同じ巻數、同じ抵抗で、同じバイブレーターを用ひ、上に述べた様な方法で  $K$  の値を求むれば、記録のフレから各瞬間の壓力變化の速度を知ることが出来る。従つて之を積分して各瞬間の壓力を知ることが出来る。

一層精密を要する場合には、次に述べる様な補正をする必要がある。トルクの變化が遅い場合には、軟鋼管の縱帶磁は(1)式の示す通りである。然るに、トルクの變化が速い場合には、コイルを流れる電流が相當に大きいから、軟鋼管は之によつて磁化せられ、トルク變化による  $M$  の變化が一部妨げられる。軟鋼管自身の中でも、外部の層の圓電流が内部の層の縱帶磁の變化を妨げる働をする。此の作用の中、コイルによるものはコイルを通る電流に比例し、従つて  $dM/dt$  に比例して居るが、鐵自身の中に起こるものは、 $dM/dt$  のみならず、考へて居る瞬間よりも以前のトルク變化の歴史が關係して來るわけである。此の歴史による部分は、勿論數式で表はすことは出来ないから、無視する外はない。此の作用は軟鋼管の厚みが厚い程大きくなるから、軟鋼管は成るべく薄く設計する方が良いわけであるが、實際に於ては、直徑 2cm. 位の鐵棒に直徑 5mm. 位の孔を明けてやつた場合でも、其の結果を見ると歴史による部分は全く無視して差支ないことが分る。

故に、トルクの變化の速い時には(2)の代りに

$$F - A \frac{dM}{dt} = M \quad (6)$$

なる形の式を用ひなくてはならない。式中  $A$  は、コイルと軟鋼實質と兩方の作用を併せた値であるが、歴史による部分は省略するから、一つの定數である。故に、第六圖又は第七圖の様な記録から、氣筒内の壓力を求めるには、 $K$  と  $A$  との二つの定數の値を知らなくてはならない。(此の場合でも、 $K$  を求める式は(4)と同じになる。)

そこで、第十三圖を調べて  $A$  を求めなくてはならない。同圖の曲線は波狀になつて居るから、ピストンは荷を外づされた後振動したことは明である。故に普通の減衰振動の式を用ひて、

$$F = F_0 \sec \xi e^{-pt} \cos(\omega t - \xi) \quad (7)$$

と置くことが出来る。但し  $\xi$  は

$$\tan \xi = p/\omega \quad (8)$$

で與へられる。

故に (6) 式は

$$A \frac{dM}{dt} + M = F_0 \sec \xi e^{-pt} \cos(\omega t - \xi) \quad (9)$$

となる。

此の方程式を解けば

$$M = \frac{F_0 \sec \xi \sin \eta}{A \omega} e^{-pt} \cos(\omega t - \xi - \eta) + C e^{-\frac{t}{A}} \quad (10)$$

となる。但し  $\eta$  は

$$\tan \eta = \omega / \left( \frac{1}{A} - p \right) \quad (11)$$

で與へられる。而して、 $t=0$  では  $M=F_0$  であるから、(10) の  $C$  を求めると

$$C = F_0 \left\{ 1 - \frac{\sin \eta \cos(\xi + \eta)}{A \omega \cos \xi} \right\} = F_0 \frac{\sin^2 \eta}{\cos^2 \xi} \quad (12)$$

となる。

故に  $M$  は

$$M = \frac{F_0 \sin \eta}{A \omega \cos \xi} e^{-pt} \cos(\omega t - \xi - \eta) + \frac{F_0 \sin^2 \eta}{\cos^2 \xi} e^{-\frac{t}{A}} \quad (13)$$

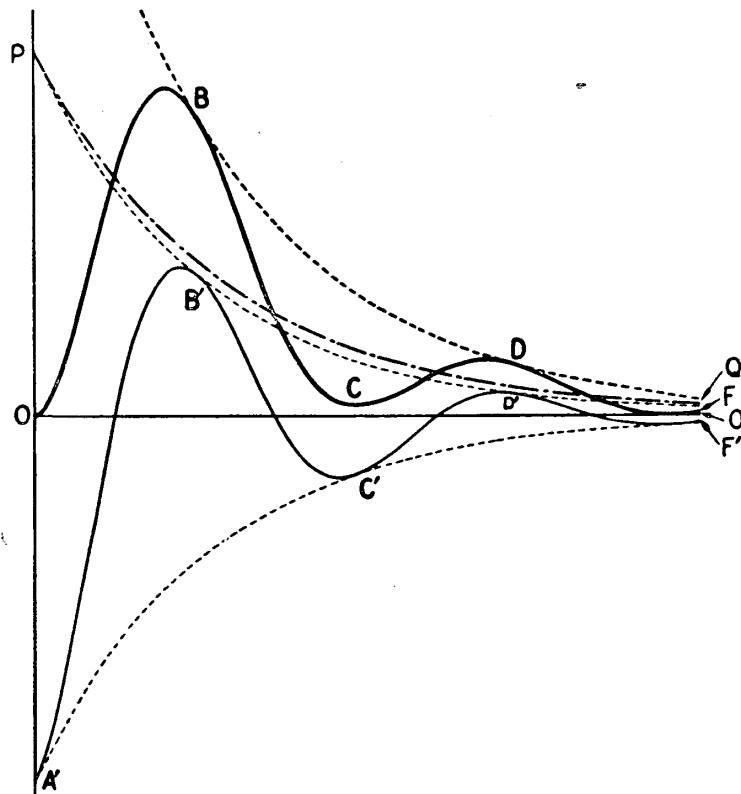
で與へられる。

之を微分して  $dM/dt$  を求めることが出来る。故に、記録曲線のフレは、(フレ  $D$  の符號は勝手にきめてよいから)

$$KD = -\frac{dM}{dt} = \frac{F_0 \sin \eta}{A \cos^2 \xi} \left\{ e^{-pt} \sin(\omega t - \eta) + \sin \eta e^{-\frac{t}{A}} \right\} \quad (15)$$

で與へられる。

此の式の右邊第一項は、第十四圖の細い實線曲線  $A'B'C'D'F'$  の様な、減衰振動を表はす曲線である。又、第二項は、同圖の太い鎖線曲線  $PQ$  の様な指數曲線である。故に全體としては、前者の中心線の各部を縦軸に並行に移動させて、後者と重なる位置まで持つて行くと、前者即ち減衰振動曲線が、同圖に於ける太い實線曲線  $ABCDE$  の様な位置まで押し上げられたものである。之が (15) 式即ちピストンの荷を急に外づしたときの記録に相當する曲線である。(第十四圖では



第 14 圖

$\eta$  が極めて  $90^\circ$  に近い値になつて居る。)

第十三圖に廓大した Os. 5 の曲線の兩側に、同圖に點線で示してある様に、之に接する曲線を引き、接點を B, C, D, E 等とすると、此等の點の  $t$  軸方向の距離は、丁度、6.0mm., 12mm., 18mm., 24mm. になつて居る。故に曲線の、3mm., 9mm., 15mm., 21mm. 等の點を、R, S, T, U 等とすれば、此等の諸點は、第十四圖の指數曲線 PQ の上にある。R, S, T, U 等の點の  $D$  を見ると、36.2, 15.1, 6.3, 2.6 である。此等の  $D$  の比を順次に求めると、

$$\frac{36.2}{15.1} = 2.397, \quad \frac{15.1}{6.3} = 2.397, \quad \frac{6.3}{2.6} = 2.423$$

となる。而して、 $t$  軸の 1mm. は  $1/3430$  秒であるから、

$$e^{\frac{6}{A \times 3430}} = 2.397$$

と置くことが出来る。之から  $A$  を求めると

$$\frac{I}{A} = 499.8 \doteq 500 \quad (16)$$

が得られる。

圧力計の記録から壓力を算出するには、(5) 及び (16) で與へられる  $K$  と  $A$  との値を知れば十分であるが、(15) 式と第十三圖との關係を、もう少し調べて見る。第十三圖の、BL, CM, DN 等の値を求めると、15.7, 6.35, 2.55 である。此等の値の比を順に求めると

$$\frac{15.7}{6.35} = 2.472, \quad \frac{6.35}{2.55} = 2.490$$

となるから、2.47 を採つて

$$\frac{p \times 6}{e^{3430}} = 2.47$$

と置けば、

$$p = 517 \quad (17)$$

が得られる。

又ピストンの振動週期  $\tau$  は、6/3430 秒であるから、

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau} = 3592 \quad (18)$$

である。

此等の値から  $\xi$  及び  $\eta$  を求めると、

$$\tan \xi = \frac{517}{3592} \quad \therefore \xi = 8^\circ 11'$$

$$\tan \eta = \frac{3592}{-17} \quad \therefore \eta = 90^\circ 16' = 1.575 \text{ rad.}$$

となる。

此等の値を (15) 式に入れると、

$$D = 54.20 \left\{ e^{-517t} \sin(3592t - 1.575) + e^{-500t} \right\} \quad (19)$$



となる。此の式を圖示したものが第十四圖の太い實線曲線である。之を第十三圖の曲線と比べて見ると、(第十四圖は  $D$  の寸法が半分になつて居る。)  $t=0$  の附近を除き殆んど一致する。

第十三圖又は Os. 5 を見ると、 $t=0$  よりも大分前からフレが初まつて居る。これは、荷の外づけ方が、全く一瞬に行はれない爲めであつて、第十圖に示す實驗装置の不完全によるのである。併かし、壓力計をカリブレートするには、(即ち  $K$  と  $A$  とを求めるには) 此の位で十分であるから、改造の必要を認めない。

(13) 式、従つて (15) 式は、 $t=0$  で  $M=F_0$  として求めたのであつて、 $dM/dt$  も自然  $t=0$  で 0 となつて居る。然るに Os. 5 を取るときの状態は之を満足して居ないのであるから、式の係数を、 $t=0$  の處できめる代りに、もう少し後の處、例へば、R 又は B の様な處で記録曲線と合致する様にきめる方が合理的である。若し B 點が一致する様に係数をきめると、

$$D = 38.9e^{-5.17t} \sin(3592t - 1.575) + 56.1e^{-5.00t} \quad (20)$$

となる。此の式は、 $t=0$  の附近を除き、第十三圖と完全に一致する。

次に記録が振動性を現はさない場合の例、即ち第十二圖 Os. 6 の記録を調べて見る。此の記録は、前章に述べたと同じ構造の壓力計を使用し、コイルの巻數 100, 挿入抵抗 4 オーム、ピストンに掛けた荷は 9kg. であつた。

此の記録では、 $t$  軸毎 1mm. の  $D$  の値の總和は 392.8 である。又、 $1/50$  秒は 44.6mm. になつて居るから、 $t$  軸 1mm. は  $1/2230$  秒に相當する。故に

$$K = \frac{9 \times 2230}{392.8} = 51.1 \text{ kg/sec.} \quad (21)$$

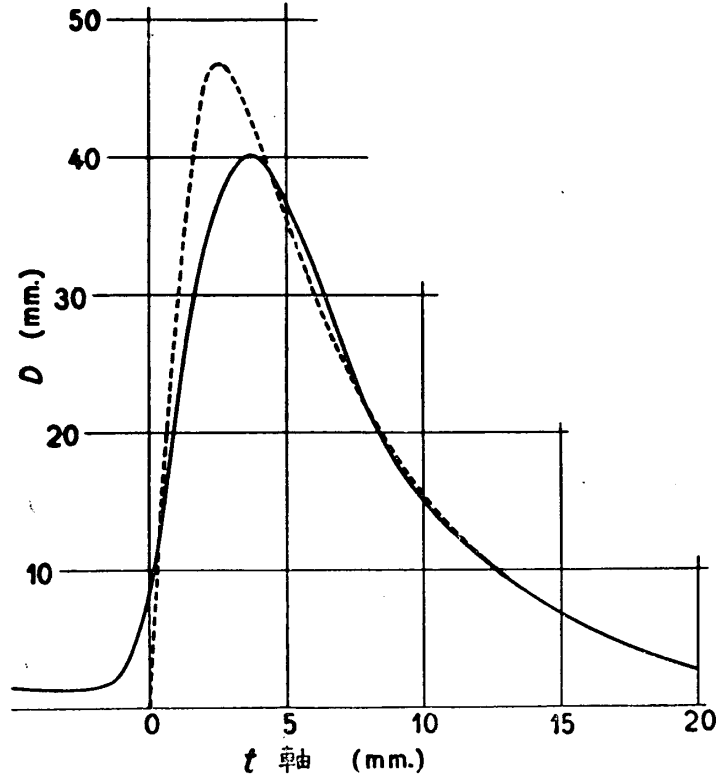
である。

第十五圖の實線曲線は、Os. 6 の記録を廓大したものである。此の場合にもピストンの運動は極めて僅かに振動的であるが、critical damping と假定して式を解いて見る。(減衰力が甚しく大きくなつてはいけないこと勿論であるから、非振動的の場合は一般に critical に近いと考へてよい。) 此の場合には、振り腕にかかる力  $F$  は

$$F = F_0 e^{-pt} (pt + 1) \quad (22)$$

と書くことが出来る。故に方程式は

$$A \frac{dM}{dt} + M = F_0 e^{-pt} (pt + 1) \quad (23)$$



第 15 圖

である。

此の方程式を解いて、 $t=0$  で  $M=F_0$  と置くときは、

$$M = \frac{F_0 e^{-pt}}{1-pA} \left( pt + \frac{1-2pA}{1-pA} \right) + \frac{F_0 p^2 A^2}{(1-pA)^2} e^{-\frac{t}{A}} \quad (24)$$

が得られる。故に

$$KD = \frac{dM}{dt} = \frac{F_0 p}{pA-1} e^{-pt} \left( pt + \frac{pA}{pA-1} \right) - \frac{F_0 p^2 A}{(pA-1)^2} e^{-\frac{t}{A}} \quad (25)$$

が求むる結果である。

此の式の右邊第一項が第二項に比べて、 $t$  の増加につれて 0 に近づくことが遙に急速であることは明である。(前の振動的の場合に、 $p$  と  $1/A$  とが略相等しかつたから、同じ壓力計を非振動的にすれば、 $p$  は遙に大きくなつて居る。) 故に第十五圖の曲線の頂上より右の方の落ち方を測つて  $A$  の値を求めることが出来る。(振動

性が少し加はつて居るから、廣い範圍の平均を取る必要がある。) 其の結果は次の様になる。

$t$ (mm.)	$D$	$D_n/D_{n+1}$	
8	21.6	1.200	平均 1.182
9	18.0	1.200	
10	15.0	1.154	
11	13.0	1.171	
12	11.1	.....	
(以下略)			

故に

$$e^{\frac{1}{A \times 2230}} = 1.182$$

から

$$\frac{1}{A} = 373 \quad (26)$$

が得られる。今度の場合は、前の場合に比べて、(軟鋼管の形も異なるが) コイルの巻数が多く、挿入抗抵が少ない爲め、 $K$  が小さく、 $A$  が大きく出るのである。

猶ほ、第十五圖の曲線を吟味する爲め、 $p$  の値を求める。(25) 式右邊第二項の係数を  $X$  と略記する。上の表によれば、 $t=8$  で  $D=21.6$  であるから

$$K \times 21.6 = X e^{-\frac{373 \times 8}{2230}}$$

と置くことが出来る。(第一項は此の邊では 0 と見てよい。)

故に、

$$X/K = 82.30$$

となる。同様にして、上の表の多數の  $t$  と  $D$  との値から  $X/K$  を求めて平均すれば、

$$X/K = 82.47$$

となる。故に、

$$\frac{F_0 p^2 A}{(pA - 1)^2} = 82.47 \times K \quad (27)$$

であるから、これに  $F_0$ ,  $A$ ,  $K$  の値を入れて解けば、

$$p = 197 \text{ 及び } 3470$$

が得られる。然るに  $p$  は  $1/A$  より大きいのであるから、3470 の方を採らなくてはならない。

これで  $F_0$ ,  $K$ ,  $A$ ,  $p$  が皆分つたから、(25) 式の係数其他の数値を求めて入れると

$$D = 73.61 e^{-3470t} (3470t + 1.1204) + 82.47 e^{-373t} \quad (28)$$

となる。此の式の表はす曲線は、第十五圖に點線で示してある。此の曲線が實際の記録即ち實線曲線と合致しないのは、前の場合と同様に、荷の外づけ方が完全に瞬間的でなかつたことも一つの原因であるが、猶ほ主要な原因は、此の場合にも、ピストンの運動は少し振動性を持つて居たことである。之れを critical damping と假定したから、 $p$  の値が實際よりも大きく出たのである。 $p$  の値を適當に小さく取れば、曲線は少し振動的になると同時に、頂上も低くなり、( $A$  の値は (26) 式のまゝで) 第十五圖の兩曲線は、 $t=0$  の附近を除き、全く相合致すべきことは、同圖を見れば明瞭である。

以上で、此の壓力計に依る記録は、負荷の變化が極端に急激なときでも、(6) 式即ち

$$A \frac{dM}{dt} + M = F$$

を用ひ、 $A$  を定數として計算して差支ないことが分る。

## 5. トルクの計算

前章に述べた方法によつて、 $K$  と  $A$  とを測定するときは、Os. 1 及び Os. 2 の様な記録から、氣笛内の壓力を計算することが出来る。第七圖 Os. 2 の記録曲線のフレ  $D$  を、 $t$  軸 1mm. 毎に讀取つた値は、第一表の第三列に示す通りである。

同表第一列は、壓力計を取り着けた氣笛に於ける死點の位置を起點として、前後に測つた  $t$  軸上の距離である。第二列は、記録の二つの點火點の間隔を  $120^\circ$  として、第一列の値から算出した、クランクの位置 (死點からの角度) である。

此の記録は、前章の第二の例と全く同じ状態を取つたのであつて、 $K$  及び  $A$  の値は前章で求めたものが直に用ゐられる。併し前章では、 $M$  を  $F$  の單位で表はして、靜的狀態では、 $M=F$  としたが、序でに  $M$  を氣笛内の壓力  $p$  (大氣の壓力を引いた値) の單位で表はして、 $M'=p$  とすれば

$$K'D = \frac{dM'}{dt} \quad (28)$$

が、前章の(3)に相当する。而して  $K'$  の値は、ピストンの直径が 1.215 cm., 従つて面積が 1.159 cm<sup>2</sup>. であるから、前章の  $K$  の値から

$$K' = \frac{51.1}{1.159} = 44.1 \text{ kg/cm}^2/\text{sec.}$$

となる。 $A$  の値は前章の通り

$$A = \frac{1}{373} = 0.00268$$

である。

此の場合には、(6) 式は

$$A \frac{dM'}{dt} + M' = p \quad (29)$$

となるから、(28) の関係を入れて、

$$AK'D + \int K'D dt = p + C \quad (30)$$

である。

Os. 2 では、1/50 秒は 53.4 mm. に出て居るから、 $t$  軸 1 mm. は 1/2670 秒に相当する。故に、 $t$  軸 1 mm. を  $\Delta t$  とし、

$$K' \Delta t = \frac{44.1}{2670} = 0.01652$$

を  $D$  に乗じたもの、 $K'D \Delta t$  が第一表第四列に列べてある。之を累加したものが  $M'$  であつて、第五列に出て居る。

次に、

$$AK' = \frac{44.1}{373} = 0.1182$$

を  $D$  に乗じたもの、 $AK'D$  が第六列に列記してある。

第五列と第六列との数値を加へたものが(30)により  $p + C$  である。表の第七列  $p'$  としてあるのが、それである。

以上各章に述べた方法では、オツシログラフによる記録が壓力の變化を示すのであるから、それから(30)式の  $C$  を求めることは出来ない。(後章に述べる交流による方法では、刻々の壓力が記録せられる。併し、精確度は上に述べた方法が遙に高い。) 故に、適當なところの壓力を基準として壓力を表はさなくてはならない。第一表によれば、クランクの位置  $229^\circ$  の邊から  $p'$  は殆んど一定で(多少の振動が現れて居る。) 最小の値を示して居るから、此の邊では外氣の壓力と同じ即ち  $p=0$  であると考へて差支ない。此の邊の  $p'$  は平均  $-1.127$  であるから、第七列の  $p'$  全體に  $1.13$  を加へると、第八列  $p$  が出る。

第 1 表 (Os. 2)

(回 轉 數 毎 分 1510  
點 火 點  $-3.5\text{mm.}$  即ち  $-11.9^\circ$ )

$t$ (mm.)	クランク の 位 置	$D$ (mm.)	$K'D\Delta t$ $\times 10^3$	$M'$ $\times 10^3$	$A \frac{dM'}{dt}$ $\times 10^3$	$p'$	$p$ (kg/cm <sup>2</sup> )
-21	$-70^\circ$	5	8	8	59	067	1.19
-20	$-66.7$	1.7	12	20	83	103	1.23
-19	$-63.3$	1.6	26	46	177	223	1.35
-18	$-60$	3.3	55	101	390	491	1.62
-17	$-56.7$	4.3	71	172	508	680	1.81
(中 略)							
-3	10	12.7	210	2306	1501	3.807	4.93
-2	6.7	11.7	193	2439	1383	3.882	5.01
-1	3.3	10.3	170	2669	1217	3.886	5.01
0	0	8.7	144	2813	1028	3.841	4.97
1	3.4	7.3	121	2934	863	3.797	4.92
2	6.8	5.9	97	3031	697	3.728	4.86
3	10.2	4.8	79	3110	567	3.677	4.80
4	13.6	4.1	68	3178	485	3.663	4.79
5	17.0	4.3	71	3249	508	3.757	4.88
6	20.4	5.2	86	3335	615	3.950	5.08
7	23.8	6.3	104	3439	745	4.184	5.31

第 I 表 (續)

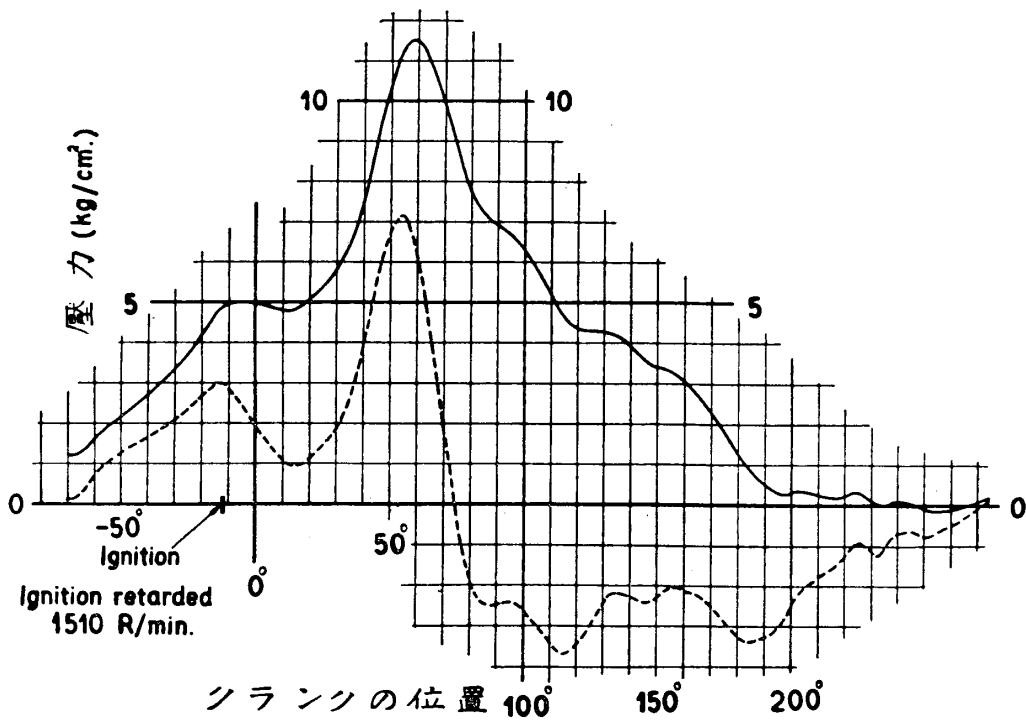
$t$ (mm.)	クランク の 位 置	$D$ (mm.)	$K'D\Delta t$ $\times 10^3$	$M'$ $\times 10^3$	$A \frac{dM'}{dt}$ $\times 10^3$	$p'$	$p$ (kg/cm <sup>2</sup> )
8	27°2'	7.3	121	3569	863	4.423	5.55
9	30.6	8.5	140	3700	1005	4.705	5.83
10	34.0	10.9	180	3880	1288	5.168	6.30
11	37.4	14.4	238	4118	1702	5.820	6.95
12	40.8	18.6	307	4425	2199	6.624	7.75
13	44.2	23.4	387	4812	2766	7.578	8.71
14	47.6	27.6	456	5268	3262	8.530	9.66
15	51.0	30.9	510	5778	3652	9.430	10.56
16	54.4	32.3	534	6312	3818	10.130	11.26
17	57.8	30.3	501	6813	3581	10.394	11.52
18	61.2	25.9	428	7241	3061	10.302	11.43
19	64.6	19.3	319	7560	2281	9.841	10.97
20	68.0	12.3	203	7763	1454	9.217	10.34
21	71.4	5.8	96	7859	686	8.545	9.67
22	74.8	— 1.2	— 20	7839	— 142	7.697	8.82
23	78.2	— 6.3	— 104	7735	— 745	6.990	8.12
24	81.6	— 9.8	— 162	7573	— 1158	6.415	7.54
25	85.0	— 11.1	— 183	7390	— 1312	6.078	7.20
(中 略)							
50	170.5	— 11.6	— 192	2492	— 1371	1.121	2.25
51	173.9	— 12.6	— 208	2284	— 1489	.795	1.92
52	177.4	— 13.9	— 230	2054	— 1643	.411	1.54
53	180.8	— 15.0	— 248	1806	— 1773	.033	1.16
54	184.2	— 15.3	— 253	1553	— 1808	— .255	.87
55	187.6	— 15.0	— 248	1305	— 1773	— .468	.66
(中 略)							

第 I 表 (續)

$t$ (mm.)	クランク の 位 置	$D$ (mm.)	$K'D\Delta t$ $\times 10^3$	$M'$ $\times 10^3$	$A \frac{dM'}{dt}$ $\times 10^3$	$p'$	$p$ (kg/cm <sup>2</sup> )
70	238°60	— 3.3	— 55	— 639	— 390	— 1'029	·10
71	241°8	— 3.0	— 50	— 689	— 355	— 1'044	·08
72	245°1	— 2.8	— 46	— 735	— 331	— 1'066	·06
73	248°4	— 3.3	— 55	— 790	— 390	— 1'180	— ·05
74	251°6	— 3.6	— 59	— 849	— 426	— 1'275	— ·15
75	254°9	— 3.1	— 51	— 900	— 366	— 1'266	— ·14

(以 下 略)

(前にも述べた様に、プロペラが小さ過ぎる爲め、半分以下にスロットルしてあるから、気筒内の圧力は全力のときより餘程小さい。)



第 16 圖



之を圖示すれば第十六圖の様になる。圖中、點線は Os. 2 の記録を廓大したものの實線は氣笛内の壓力を表はす。

第六圖に示した點火の早い場合の記録 Os. 1 は、コイルの卷數 50, 挿入抵抗 5 オームで取つたのであるから、其の状態で壓力計に 20kg. の荷を掛けて急に外したときの記録を取つて調べ、次の結果が得られる。

$t$  軸毎 1 mm. の  $D$  の總和は、553.43 となる。又、1/50 秒は 58.5 mm. に出て居るから、 $t$  軸 1 mm. は、1/2925 秒である。故に

$$K' = \frac{20}{1.159} \times \frac{2925}{553.4} = 91.2 \text{ kg/cm}^2/\text{sec.}$$

である。次に、前章でやつた様に、

$t$ (mm.)	$D$ (mm.)	$D_n/D_{n+1}$	
9	30.2	1.162	平均 1.152
10	26.0	1.166	
11	22.3	1.161	
12	19.2	.....	
(以下略)			

から、

$$\frac{1}{e^{A \times 2925}} = 1.152$$

従つて、

$$\frac{1}{A} = 414$$

が得られる。

Os. 1 では、1/50 秒が 50.3 mm. に出て居るから、 $t$  軸 1 mm. は 1/2515 秒である。故に、第四列の数値を得る爲めに  $D$  に乗すべき  $K' \Delta t$  は

$$K' \Delta t = \frac{91.2}{2515} = 0.03626$$

である。又  $AK'$  は

$$AK' = \frac{91.2}{414} = 0.2203$$

である。

又、 $p$  は、前と同じ理由により、 $p'$  に 0.40 を加へたものである。

Os. I を調べた結果は次の様になる。

第 2 表 (Os. I)

(回 轉 数 毎 分 1509  
點 火 點 -13.1 mm. 即ち -47.8°)

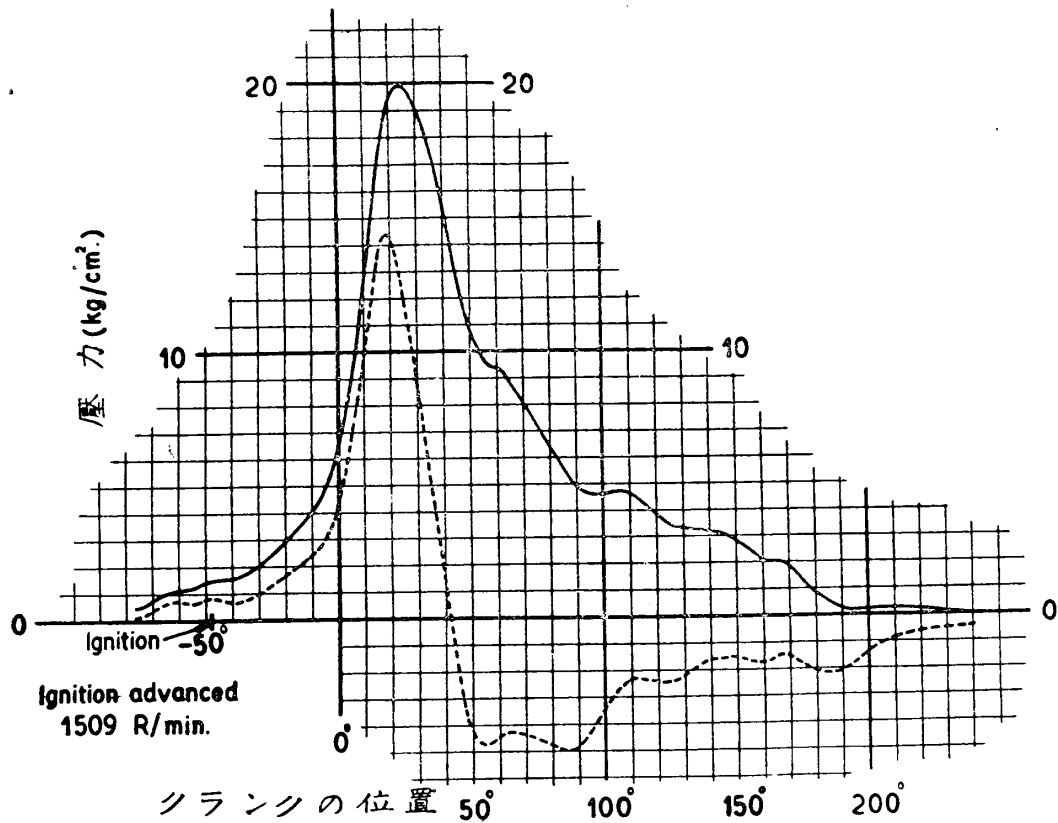
$t$ (mm.)	クランク の 位 置	$D$ (mm.)	$K'D\Delta t$ $\times 10^3$	$M'$ $\times 10^3$	$A\frac{dM'}{dt}$ $\times 10^3$	$p'$	$p$ (kg/cm <sup>2</sup> )
(前 略)							
- 5	- 18.2°	5.4	196	1435	1190	2.685	3.09
- 4	- 14.6	6.2	225	1720	1366	3.086	3.49
- 3	- 10.9	7.1	257	1977	1564	3.541	3.94
- 2	- 7.3	8.1	294	2271	1784	4.055	44.6
- 1	- 3.6	9.9	359	2630	2181	4.811	5.21
0	0	13.3	482	3112	2930	6.042	6.44
1	3.6	18.2	660	3772	4009	7.781	8.18
2	7.3	24.2	877	4649	5331	9.980	10.38
3	10.9	32.2	1168	5817	7094	12.911	13.31
4	14.6	39.3	1425	7242	8658	15.900	16.30
5	18.2	43.2	1566	8808	9517	18.325	18.73
6	21.9	41.3	1498	10306	9098	19.404	19.80
7	25.5	35.8	1298	11604	7887	19.491	19.89
8	29.2	28.5	1033	12637	6289	18.926	19.33
9	32.8	21.0	761	13398	4626	18.024	18.42
10	36.5	13.0	471	13869	2864	16.733	17.13
11	40.1	4.2	152	14021	925	14.946	15.35
12	43.8	- 3.7	- 134	13887	- 815	13.072	13.47
13	47.4	- 10.2	- 370	13517	- 2247	11.270	11.67
14	15.1	- 13.2	- 479	13038	- 2908	10.130	10.53
15	54.7	- 14.2	- 515	12523	- 3128	9.395	9.80

第 2 表 (續)

$t$ (mm.)	クランク の 位 置	$D$ (mm.)	$K'D\Delta t$ $\times 10^3$	$M'$ $\times 10^3$	$A \frac{dM'}{dt}$ $\times 10^3$	$p'$	$p$ (kg/cm <sup>2</sup> )
16	58.4°	-13.7	-498	12025	-3018	9.007	9.41
17	62.0	-12.9	-468	11557	-2842	8.715	9.32
18	65.7	-12.9	-468	11089	-2842	8.247	8.65
19	69.3	-13.0	-471	10618	-2864	7.754	8.15
20	73.0	-13.4	-486	10132	-2952	7.181	7.58
21	76.6	-13.8	-500	9632	-3040	6.592	6.99
22	80.3	-14.2	-515	9117	-3128	5.989	6.39
23	83.9	-14.5	-526	8591	-3194	5.394	5.79
24	87.5	-14.9	-540	8051	-3282	4.769	5.17
25	91.2	-14.2	-515	7536	-3128	4.408	4.81
26	94.8	-12.8	-464	7072	-2820	4.252	4.65
27	98.5	-11.3	-410	6662	-2489	4.173	4.57
28	102.1	-9.3	-337	6325	-2049	4.276	4.68
29	105.8	-7.9	-286	6039	-1740	4.299	4.70
30	109.4	-6.9	-250	5789	-1520	4.269	4.67
31	113.1	-6.9	-250	5539	-1520	4.019	4.42
32	116.7	-7.1	-257	5282	-1564	3.718	4.12
33	120.4	-7.3	-265	5017	-1608	3.409	3.81
34	124.0	-7.4	-268	4749	-1630	3.119	3.52
35	127.7	-7.1	-257	4492	-1564	2.928	3.33
36	131.3	-6.3	-228	4264	-1388	2.876	3.28
37	135.0	-5.6	-203	4061	-1234	2.827	3.23
38	138.6	-5.0	-181	3880	-1101	2.779	3.18
39	142.3	-4.4	-160	3720	-969	2.751	3.15
40	145.9	-4.2	-152	3568	-925	2.643	3.04

(以 下 略)

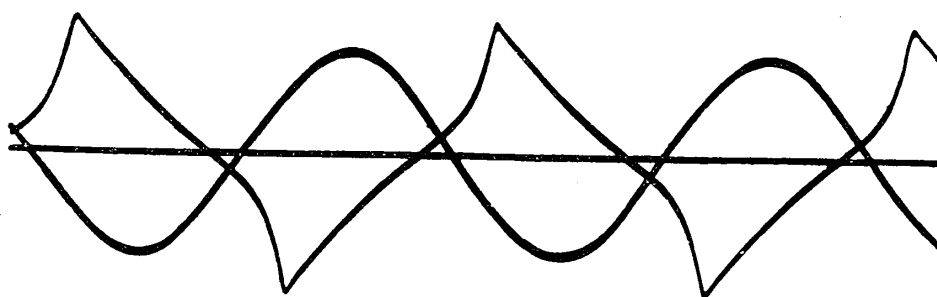
之を圖示すれば第十七圖の様になる。



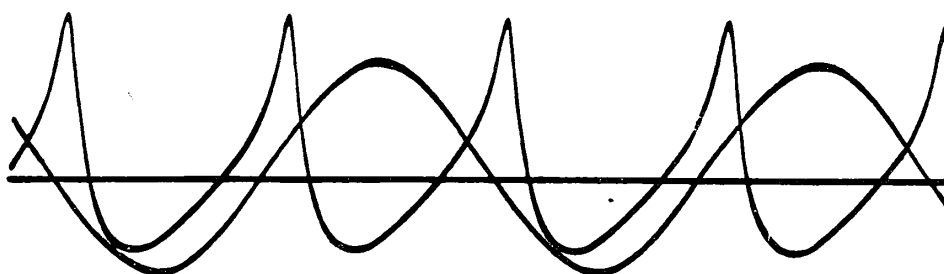
第 17 圖

## 6. 交流による記録

鐵棒に交流を通し、棒に捲いたコイルをオツシログラフにつないで記録を取るときは、若し棒にトルクが掛かつて居れば、第十八圖 Os. 7 の様な曲線となり、(正弦曲線は縦電流の位相を示す。)棒が縦の方向に帶磁せられて居れば、第十九圖 Os. 8 の様な曲線が現れる。而して第十八圖の波の幅はトルクに従つて増減する。故に、之を利用してトルクの記録を取ることが出来ることは、報告第五十四號に述べたところである。此の壓力計も、同様に交流を通じて使用し得られること勿論であつて、第二十圖 Os. 9 及び第二十一圖 Os. 10 は、軸の銅線に 600 サイクルの交流 50 アンペアを通じて取つた記録である。



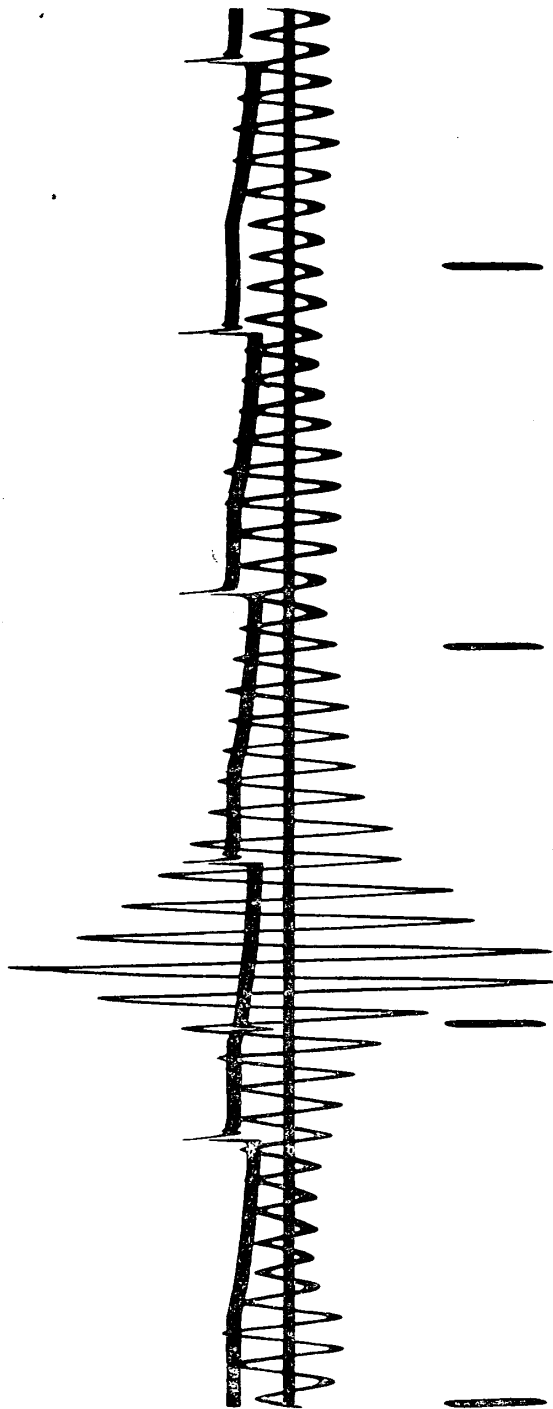
第 18 圖 Os. 7



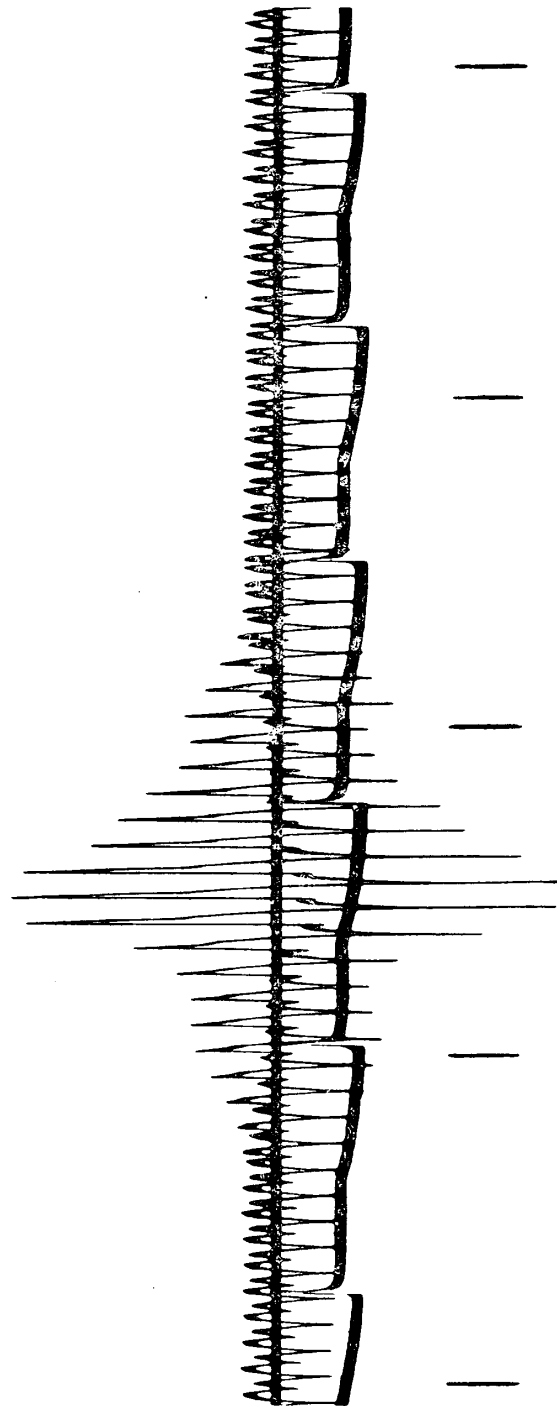
第 19 圖 Os. 8

交流による記録が何を表はすかを説明する爲め、縦帯磁  $M$  の変化の大體を數式を以て表はして見る。軸電流による軟鋼管の圓周方向の磁氣感應度を  $m$  とする。 $m$  が一定なときは、 $M$  はトルク  $T$  に比例すると考へて差支ないことは此れまでと同様である。次に  $T$  が一定なときの  $M$  と  $m$  との關係を調べなくてはならない。然るに軸電流による、圓周方向の磁場と  $M$  との關係は、第一圖によつて分つて居るから、軸電流と  $m$  との關係を測ればよい。軟鋼管の圓周方向の帶磁は、細い針金を、軟鋼管の中を通ほし、外を戻つて又中を通ほすと云ふ風に、數回捲いて、之をバリステック・ガルバにつなぎ、軸電流の方向を切り替へて測ることが出来る。此の様にして測つた結果は、管にトルクを掛けてあると無いとで、大分違ふから、 $M$  と比較する爲めには、 $M$  を測つたときと同じ大さのトルクを掛けて置いて測らなくてはならない。(軟鐵に對する此の様な測定の結果は、報告第四十號第八表に載せてある。

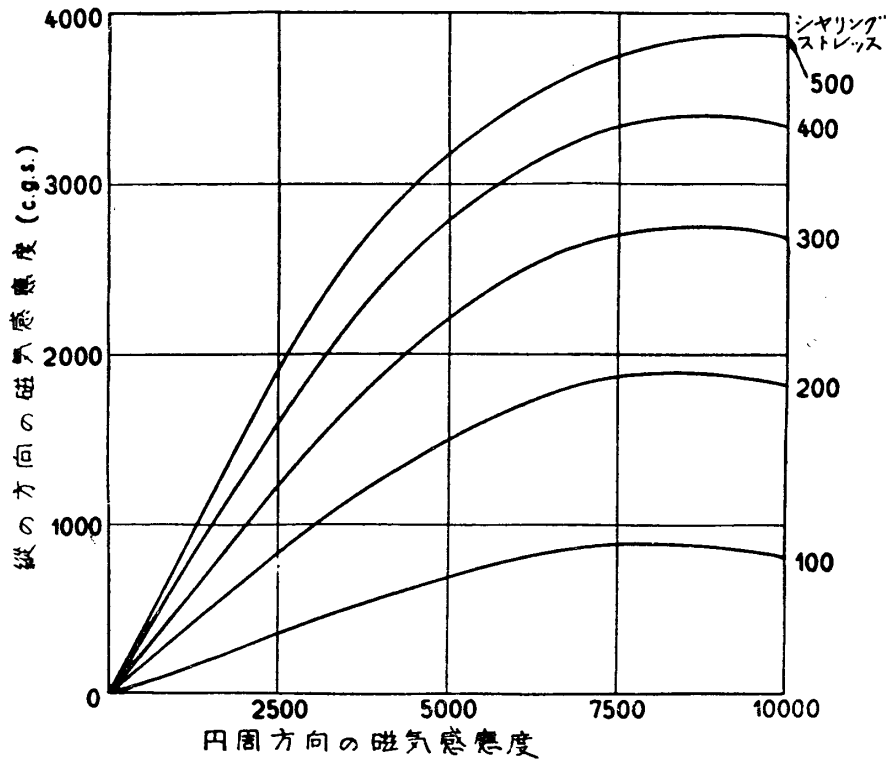
斯くして、トルク及び軸電流を色々に變へて測つた  $m$  の値を用ひて、第一圖の横軸を圓周方向の磁場から圓周方向の磁氣感應度  $m$  に引き直して見ると、第二十二



第 20 圖 Os. 9 (原尺)



第 21 圖 Os. 10 (原尺)



第 22 圖

圖のようになる。これによつて見ると、感應度 5000 位までは、殆んど直線であるから、(縦軸は  $M$  に比例する。)  $m$  が餘り大きくないときは、 $M$  は  $m$  に比例すると考へてよい。故に

$$M = C_m T \quad (31)$$

と置くことが出来る。但し、 $C$  は一つの常數である。之を微分して

$$KD = \frac{dM}{dt} = C_m \frac{dT}{dt} + CT \frac{dm}{dt} \quad (32)$$

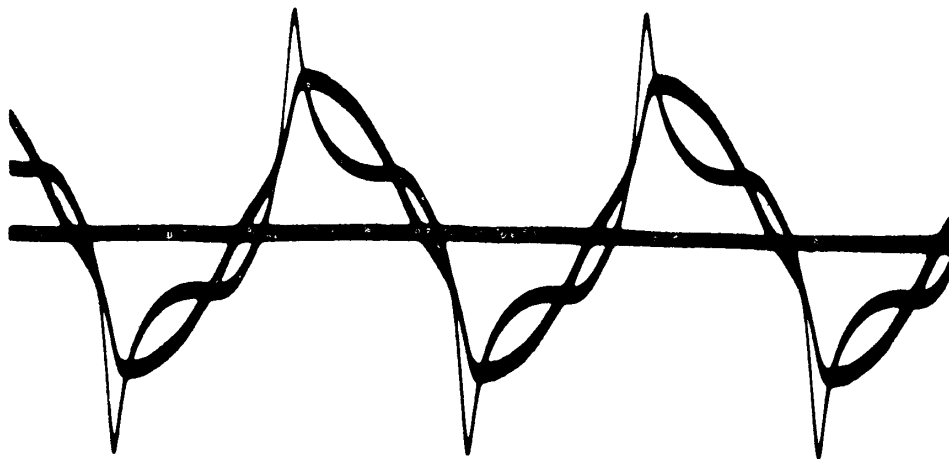
が得られる。

軸銅線に交流を通じて記録を取り、波形の各項點のフレを測つて、其の瞬間のトルクをきめる場合に、(32)式の右邊二項の中、第二項だけが著しく顯れて居ることは、記録を一見して分るのであるが、頂點の高さが、第一項によつて何の位影響せられて居るかを調べて置かなくてはならない。

軸電流（交流）が弱い場合には、 $m$  の変化は正弦曲線で表はされ、 $dm/dt$  が極大の瞬間には、 $m$  が 0 であるから、頂点は第一項の影響を受けない。軸電流が大きいときは、 $m$  の変化は正弦曲線にはならないが、普通ヒステレシス曲線から考へて、やはり  $dm/dt$  の極大は、 $m=0$  の近所にあることは明である。従つて記録の各頂点の高さ（中心線からの距離）は、其の瞬間のトルクに比例し、トルクが速に變化しつゝあつても、其の影響を受けないと考へることが出来る。

然かし、第二圖及び第二十二圖は靜的狀態での關係であつて、實際には  $m$  も  $M$  も軸電流の變化に伴う變化を完了するには、或る時間を要するから、上で述べた通りには行かない。第二十三圖 Os. 11 は、壓力計に或る大さの荷を掛けて置いて、軸に 50 サイクルの強い電流を通したときの記録であつて、頭の圓い方の曲線が、軟鋼管の中を通ほして捲いたコイルによる、 $dm/dt$  を表はす記録である。之によれば  $dM/dt$  の極大は、 $dm/dt$  の極大と殆んど一致して居るが此の點と  $m$  の 0 とは少し喰ひ違つて居る。併かし、600 サイクルの交流を通じて壓力計を使用する場合には  $m \frac{dT}{dt}$  の平均値は  $T \frac{dm}{dt}$  の平均値に比べて非常に小さいから、頂点のフレが各瞬間のトルクに比例すると考へて差支ない。第三章に述べた方法で、壓力計に掛けた荷を急に外づすときの記録を、交流を通じて取つて見ても、フレは殆んど正しく各瞬間のトルクを表はすことが分る。

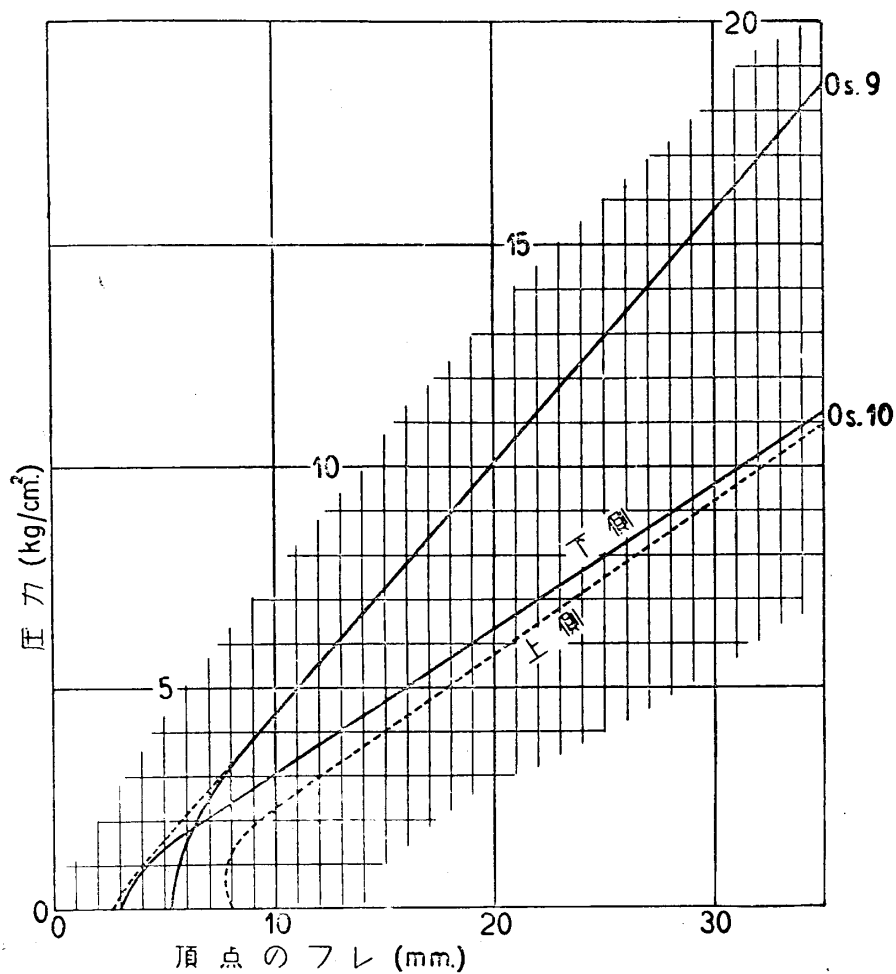
軟鋼管に縦向きの殘留磁氣があるときは、Os. 7, 8, 及び 11 を較べて見ても分る通り、トルクによる曲線の頂点の高さは其の影響を受ける。而して、頂点が上側に向いて居るときと下側に向いて居るときとで、其の影響が逆になる。従つてト



第 23 圖 Os. 11



・ルクが一定のとき、記録は中心線に對し對稱にならない。Os. 9 の記録は残留磁氣を殆んど無くして取つたものであるが、Os. 10 は残留磁氣の少しあるとき取つたので、其の影響が著しく見えて居る。壓力計を、直流を通じて使用した後は、常に多少の残留磁氣があるから、交流で使用する場合には、其の都度カリブレーションを行ふ必要がある。

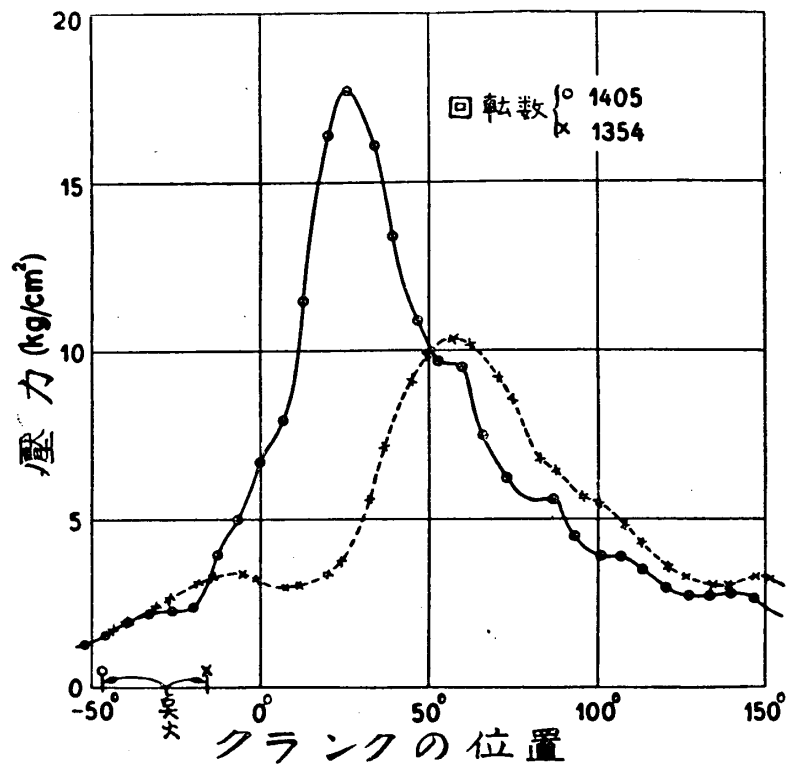


第 24 圖

第二十四圖は、Os. 9 及び Os. 10 を取つた直後カリブレーションをやつた結果である。縦軸はピストンにかゝる壓力に換算してある。此の圖を用ひて Os. 9 及び 10 の各頂點に相當する壓力を求め、圖の上に此等の點を取つて見ると第二十

五圖の様になる。

交流による方法は、直に壓力の出る利益があるが、精密度は直流による方法に



第 25 圖

及ばない。殊に壓力が 0 に近い（最大トルクに比べて非常に小さい）ところでは報告第四十號第八章に述べた様な残留効果が現れる爲め特に精密度が低い。これは、第二十四圖の曲線を見ても分る。