

吸気管内ガスの共鳴振動による 容積効率の變化 (第一報)

—— 單氣筒發動機の場合 ——

技 師 高 月 龍 男
雇 西 山 新 一 郎

概 要

音波の速度に對して空氣の速度を無視し、空氣密度の變化を非常に小さいものとして一定と置いた時の波動方程式 $\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$ からの解法で、單氣筒發動機に就て容積効率と回轉數との關係を調べた。吸気管に於ける空氣の共鳴振動により容積効率は常に著しく低下する。計算では $3\frac{1}{2}$ 次まで求めた。實驗結果と比較してみると、共鳴回轉數は計算と實驗とではかなりの開きがあり、實驗では殆どすべての場合、計算よりも回轉數の低いところで現はれるが、共鳴回轉數はよく一致した。又容積効率變化の絶對値は實驗では計算の約 10% 内外となり、かなりの相違があるが、計算法が面倒なため不完全であり、減衰等を考へてゐないから當然である。

目 的

發動機の吸気管に於けるガスの流れは定常的ではなく、振動しつつ流れてゐる。このような振動的な流れのために、發動機の吸込む空氣の量が影響を受けて、ある場合には定常の流れとした場合よりも多くを、又ある場合には少く吸入する譯である。即ち定常的に流れるとした場合の平均速度を \bar{v}_0 とし、振動的流れの場合の平均速度を v_0 とすれば、

$$v_0 = \bar{v}_0 + \Delta v_0$$

で、この Δv_0 が回轉數に對してどうなるかを求めるのが本報告の目的である。

本報告では、九四式 450 馬力 9 氣筒空冷發動機を單氣筒發動機に改造したものについて計算し、實驗を行つた。

(I) ガスが振動しながら流れる場合の平均速度と、定常的に流れてゐる場合の平均速度との差 (一般論)

この問題に就ては O. Lutz ⁽¹⁾ が既に取扱つてゐるが、紹介の意味をも含めてこの一般論を述べることにする。

第 1 圖でガスは左から右に流れるとする。 $x=l$ から流れが收縮し、弁を通つて壓力 p な

る部屋の中に流れ込み、弁の通過面積が週期的に変化する場合の平均速度を考へる。

簡単のために密度 ρ を一定とすれば

$$f_r v_i = f \cdot v \dots\dots\dots (1)$$

従てベルヌイの定理から

$$v_i = f / \sqrt{f_r^2 - f^2} \cdot \sqrt{2/\rho \cdot (p_i - p)} \dots\dots\dots (2)$$

こゝに v_i, f, p_i, p は共に時間と共に變動する値であるから次式に示す様に置く

$$v_i = \bar{v}_0 (1 + \Delta v / \bar{v}_0) \dots\dots\dots (3a)$$

$$f = f_0 (1 + \Delta f / f_0) \dots\dots\dots (3b)$$

$$p_i = p_{i0} (1 + \Delta p_i / p_{i0}) \dots\dots\dots (3c)$$

$$p = p_0 (1 + \Delta p / p_0) \dots\dots\dots (3d)$$

(3) によつて (2) を書きなほすと

$$\bar{v}_0 + \Delta v = \frac{f_0 (1 + \Delta f / f_0)}{\sqrt{f_r^2 - (f_0 + \Delta f)^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{i0} - p_0 + \Delta p_i - \Delta p)}$$

f_0 は f_r に比して小さいから

$$\begin{aligned} \bar{v}_0 + \Delta v &\doteq \frac{f_0 (1 + \Delta f / f_0)}{\sqrt{f_r^2 - f_0^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{i0} - p_0 + \Delta p_i - \Delta p)} = \frac{f_0}{\sqrt{f_r^2 - f_0^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{i0} - p_0)} \\ &\quad + \frac{f_0}{\sqrt{f_r^2 - f_0^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{i0} - p_0)} \cdot \frac{\Delta p_i - \Delta p}{2(p_{i0} - p_0)} + \dots\dots\dots \\ &\quad + \frac{\Delta f}{\sqrt{f_r^2 - f_0^2}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{i0} - p_0)} \left\{ 1 + \frac{\Delta p_i - \Delta p}{2(p_{i0} - p_0)} + \dots\dots\dots \right\} \dots\dots\dots (4) \\ \frac{f_0}{\sqrt{f_r^2 - f_0^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{i0} - p_0)} &= \bar{v}_0 \dots\dots\dots (4)' \end{aligned}$$

とすれば (4) から

$$\Delta v = \bar{v}_0 \cdot \frac{\Delta p_i - \Delta p}{2(p_{i0} - p_0)} + \frac{\bar{v}_0}{f_0} \cdot \Delta f + \frac{\bar{v}_0}{f_0} \cdot \Delta f \cdot \frac{\Delta p_i - \Delta p}{2(p_{i0} - p_0)} + \dots\dots\dots (5)$$

上に出て來た \bar{v}_0 は吸氣管内に振動がない、即ち定常的な流れの場合に於ける平均速度を示すものであつて、

v_0 を振動を考へた時の平均速度 } とすれば
 Δv_0 を振動による平均速度の變化 }

$$v_0 = \bar{v}_0 + \Delta v_0 \dots\dots\dots (6)$$

である。

さて、この Δv_0 は如何なるものであるかを考へると、(5) 式に於て、第1項、第2項は速度の變動のみを表はす式であつて1週期に就て積分したものは零である。第3項は第2次の微小項であつて流れの面積に、吸氣管内と氣管内との壓力差を乗じたものであるから、振動

(1) O. Lutz: Resonanzschwingungen in den Rohrleitungen von Kolbenmaschinen; Berichte aus dem Laboratorium für Verbrennungskraftmaschinen der Technischen Hochschule Stuttgart; Heft 3, 1934 に理論に関する長文の報告があり、最近 Luftfahrtforschung にその中の幾部分が發表されてゐる。

による平均速度の變化を示すことになる。

即ち

$$\text{速度の變化} \quad \Delta v = \frac{\bar{v}_0}{f_0} \cdot \Delta f + \frac{\bar{v}_0}{2(p_{i0} - p_0)} \cdot (\Delta p_i - \Delta p) \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{平均速度の變化} \quad \Delta v_0 = \frac{\bar{v}_0}{2f_0 \cdot (p_{i0} - p_0)} \cdot \Delta f \cdot (\Delta p_i - \Delta p) \dots\dots\dots(8)$$

となる。念のため蛇足を加へると

$$v_i = (\bar{v}_0 + \Delta v_0) + \Delta v$$

である。

振動の問題を取扱ふのに複素數で考へると便利であるから次の様に置く。

$$\left. \begin{aligned} \Delta v &= \sum_1^n \mathfrak{B}_{in} e^{in\omega t} \\ \Delta f &= \frac{f_0}{v_0} \sum_1^n \mathfrak{F}_n^* e^{in\omega t} \\ \Delta p_i &= \rho a \sum_1^n \mathfrak{P}_{in}^* e^{in\omega t} \\ \Delta p &= \rho a \sum_1^n \mathfrak{P}_n^* e^{in\omega t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

こゝに、 a ：音波速度、 n ：次數、 ω ：角速度で、 \mathfrak{F}_n^* 、 \mathfrak{P}_{in}^* 、 \mathfrak{P}_n^* は共に速度の dimension になつてゐる。

この様に置くと (7) 式は

$$\mathfrak{B}_n = \mathfrak{F}_n^* + \epsilon (\mathfrak{P}_{in}^* - \mathfrak{P}_n^*) \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{こゝに} \quad \epsilon = \frac{\rho a \bar{v}_0}{2(p_{i0} - p_0)} = \frac{a f_0^2}{(f_i^2 - f_0^2) \bar{v}_0}$$

(8) 式の Δv_0 を 1 週期に就て積分すれば

$$\Delta v_0 = \frac{\epsilon}{\bar{v}_0} \cdot \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0 = \frac{2\pi}{\omega}} \left(\sum_1^n \mathfrak{F}_n^* e^{in\omega t} \right) \left(\sum_1^n (\mathfrak{P}_{in}^* - \mathfrak{P}_n^*) e^{in\omega t} \right) dt \dots\dots\dots(11)$$

(11) を積分するに先づ各次に就て考察すれば、 n 次は

$$\Delta v_{0n} = \frac{\epsilon}{\bar{v}_0} \cdot \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0 = \frac{2\pi}{\omega}} \mathfrak{F}_n^* e^{in\omega t} \sum_m (\mathfrak{P}_{in}^* - \mathfrak{P}_m^*) e^{im\omega t} dt$$

\mathfrak{F}_n^* 、 \mathfrak{P}_{in}^* 、 \mathfrak{P}_m^* は共に實數値をとるのであるから

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{F}_n^* &= F_n^* \cos(n\omega t + \varphi_n), \quad F_n^* \text{ は振幅, } \varphi_n \text{ は位相角} \\ \mathfrak{P}_{in}^* &= P_{in}^* \cos(m\omega t + \psi_m), \quad P_{in}^* \text{ は } " , \psi_m \text{ は } " \\ \mathfrak{P}_m^* &= P_m^* \cos(m\omega t + \theta_m), \quad P_m^* \text{ は } " , \theta_m \text{ は } " \end{aligned} \right\}$$

従て

$$\begin{aligned} \Delta v_{0n} &= \frac{\epsilon}{\bar{v}_0} \cdot \frac{1}{t_0} \int_0^{2\pi/\omega} F_n^* \cos(n\omega t + \varphi_n) \sum_m \{ P_{in}^* \cos(m\omega t + \psi_m) \\ &\quad - P_m^* \cos(m\omega t + \theta_m) \} dt \end{aligned}$$

$n \neq m$ の時は積分値は 0 であつて、 $n = m$ のときのみとなり、

$$\Delta v_{0n} = \frac{\epsilon}{2\bar{v}_0} \{ F_n^* P_{in}^* \cos(\varphi_n - \psi_n) - F_n^* P_n^* \cos(\varphi_n - \theta_n) \}$$

この $F_n^* P_{ln}^* \cos(\varphi_n - \psi_n)$ は \mathfrak{F}_n^* と \mathfrak{P}_{ln}^* とのスカラ乗積であるから、結局 Δv_{on} は

$$\Delta v_{on} = \frac{\epsilon}{2\bar{v}_0} \mathfrak{F}_n^* (\mathfrak{P}_{ln}^* - \mathfrak{P}_n^*)$$

$$\therefore \Delta v_0 = \sum \Delta v_{on} = \frac{\epsilon}{2\bar{v}_0} \sum_1^n \mathfrak{F}_n^* (\mathfrak{P}_{ln}^* - \mathfrak{P}_n^*) \quad \dots\dots\dots(12)$$

又は (10) 式を入れて

$$\Delta v_0 = \sum \Delta v_{on} = \frac{1}{2\bar{v}_0} \sum_1^n \mathfrak{F}_n^* (\mathfrak{B}_n^* - \mathfrak{F}_n^*) \quad \dots\dots\dots(12)'$$

(II) 発動機に於ける振動的流れの場合の壓力並に速度の變動の關係⁽²⁾

(I) で述べた所は振動がある場合の平均速度の變化に関する一般論であつて、發動機の吸氣作用を論ずる場合には \mathfrak{P}^* を支配するものとして、ピストンの運動を考慮に入れなければならない。

第1圖にてピストンのある位置に於ける氣箭容積を J とし、その時のガスの溫度を T とし、 G を氣箭内のガスの重量とすると

$$\rho = \frac{G}{J} \quad \dots\dots\dots(13)$$

から

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{dG}{G} - \frac{dJ}{J} \quad \dots\dots\dots(14)$$

又 p と ρ との關係を adiabatic とすれば

$$\frac{dp}{p} = \gamma \frac{d\rho}{\rho} \quad \dots\dots\dots(15)$$

であるから

$$\frac{dp}{p} = \gamma \frac{dG}{G} - \gamma \frac{dJ}{J} \quad \dots\dots\dots(16)$$

これの時間に對する變化を求めると

$$\frac{1}{p} \frac{dp}{dt} = \gamma \frac{1}{G} \frac{dG}{dt} - \gamma \frac{1}{J} \frac{dJ}{dt} \quad \dots\dots\dots(16)'$$

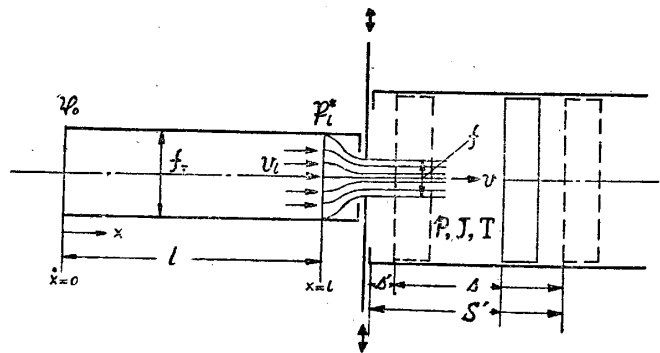
然に

$$pJ = GRT \quad \dots\dots\dots(17)$$

$$\text{であるから} \quad \frac{dG}{dt} = \rho \frac{dJ}{dt} + \frac{\rho}{\gamma p} \cdot J \cdot \frac{dp}{dt} \quad \dots\dots\dots(18)$$

となる。 $dG/dt = \rho f_r v_i$ であるから

$$\rho f_r v_i = \rho \frac{dJ}{dt} + \frac{\rho}{\gamma p} \cdot J \cdot \frac{dp}{dt}$$



第 1 圖

(2), (II), に関しては、脚註(1)の Lutz の報告では v_i はピストンの速度に等しいとした場合に就て言及してあつたので、本報告のやり方を考へたところ、最近 Luftfahrtforschung, Bd. 17, Nr. 4, にもこれと同じ結果である彼の方法が發表された。従て記號も彼の報告と同じにしておいた。然し (IV) の $\Delta \bar{v}_0$ の計算式は異り、彼の式では非常に面倒である。

$$\begin{aligned}\therefore v_i &= \frac{1}{f_r} \cdot \frac{dJ}{dt} + \frac{1}{\gamma p} \cdot \frac{J}{f_r} \cdot \frac{dp}{dt} \\ &= \frac{dS}{dt} + \frac{1}{\gamma p} \cdot S \cdot \frac{dp}{dt} \quad \dots\dots\dots (S = \frac{J}{f_r}) \quad \dots\dots\dots (19)\end{aligned}$$

こゝに S は氣管内徑を吸氣管内徑とした時のピストン變位を示す値で週期的に變動する値であるから、前の v_i, p_i 等の様に次の様に置く

$$\left. \begin{aligned} S &= S_0(1 + \Delta S/S_0) \\ C &= \frac{dS}{dt} = C_0(1 + \Delta C/C_0) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (20)$$

従て (19) 式は

$$v_0 + \Delta v = C_0 + \Delta C + \frac{S_0}{\gamma p_0} \frac{1 + \Delta S/S_0}{1 + \Delta p/p_0} \cdot \frac{d(\Delta p)}{dt}$$

$\Delta S/S_0 \cdot \Delta p/p_0$ は 2 次の微小項であるから無視すれば

$$v_0 + \Delta v = C_0 + \Delta C + \frac{S_0}{\gamma p_0} \left(1 + \frac{\Delta S}{S_0} - \frac{\Delta p}{p_0}\right) \frac{d(\Delta p)}{dt} \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$\therefore \Delta v = \Delta C + \frac{S_0}{\rho a^2} \frac{d(\Delta p)}{dt} \quad \dots\dots\dots (\gamma p_0 = \rho a^2) \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$v_0 = C_0 + \frac{1}{\rho a^2} \Delta S \cdot \frac{d(\Delta p)}{dt} + \frac{S_0}{\rho a^2 p_0} \Delta p \frac{d(\Delta p)}{dt} \quad \dots\dots\dots (23)$$

(22) から

$$\sum \mathfrak{B}_{in} e^{in\omega t} = \sum \mathfrak{C}_n e^{in\omega t} + \frac{S_0}{\rho a^2} \rho a \sum in\omega \mathfrak{P}_n^* e^{in\omega t}$$

$$\text{即ち} \quad \mathfrak{B}_{in} = \mathfrak{C}_n + \frac{in\omega S_0}{a} \mathfrak{P}_n^* \quad \dots\dots\dots (22)'$$

(III) 吸氣管内に於ける速度の變動, \mathfrak{B}_{in}

第1圖に示す様な單管發動機の Δv_0 を (12)' 式から求めるに、 \mathfrak{F}_n^* は弁の開口面積と時間とが與へられると分る値で、結局 \mathfrak{B}_{in} を求めればよい。同圖で示した4個の未知數 $\mathfrak{P}_{in}^*, \mathfrak{P}_m^*, \mathfrak{B}_{in}, \mathfrak{B}_{on}$ を解くためには4個の方程式が要る譯である。その中の2は既に (10), (22)' の兩式がある。他の2は吸氣管内の條件から決まるもので、この2つの式の求め方は附録に示しておいたから、そちらを参照されたい、

$$\mathfrak{B}_{in} = \mathfrak{F}_n^* + \epsilon(\mathfrak{P}_{in}^* - \mathfrak{P}_n^*) \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$\mathfrak{B}_{in} = \mathfrak{C}_n^* + i \frac{n\omega S_0}{a} \mathfrak{P}_n^* \quad \dots\dots\dots (22)'$$

$$\mathfrak{P}_{in}^* = -itg \frac{n\omega l}{a} \cdot \mathfrak{B}_{in} \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$\mathfrak{B}_{on} = \frac{1}{\cos \frac{n\omega l}{a}} \mathfrak{B}_{in} \quad \dots\dots\dots (25)$$

これ等4式から \mathfrak{B}_{in} を求めると

$$\begin{aligned} \mathfrak{B}_{in} = & \left[\left(1 - n \frac{S_0}{l} \cdot \varphi \cdot \operatorname{tg} n\varphi \right) \mathfrak{C}_n + \frac{n^2}{\beta^2} \left(\frac{S_0}{l} \cdot \varphi \right)^4 \mathfrak{C}_n^* \right. \\ & \left. - i \left\{ \frac{n}{\beta} \left(\frac{S_0}{l} \cdot \varphi \right)^2 (\mathfrak{C}_n - \mathfrak{C}_n^*) + \frac{n^2}{\beta} \left(\frac{S_0}{l} \cdot \varphi \right)^2 \operatorname{tg} n\varphi \cdot \mathfrak{C}_n^* \right\} \right] \\ & \div \left[\left(1 - n \frac{S_0}{l} \varphi \cdot \operatorname{tg} n\varphi \right)^2 + \frac{n^2}{\beta^2} \left(\frac{S_0}{l} \varphi \right)^4 \right] \dots\dots\dots (26) \end{aligned}$$

こゝに

$$\varphi = \omega l / a$$

$$\beta = \varepsilon \frac{\omega S_0}{a}$$

(IV) Δv_{on} の計算式

(26) と (12)' とから,

$$\begin{aligned} \frac{\Delta v_{on}}{\bar{v}_0} = & \frac{1}{2C_0^2} \left[\left(\frac{1}{n^2} - \frac{S_0}{l} \varphi \cdot \frac{\operatorname{tg} n\varphi}{n} \right) C_n F_n^* \cos(\delta_{cn} - \delta_{fn}) \right. \\ & \left. + \frac{1}{\beta^2} \left(\frac{S_0}{l} \varphi \right)^4 F_n^{*2} - \frac{1}{n\beta} \left(\frac{S_0}{l} \varphi \right)^2 C_n F_n^* \sin(\delta_{cn} - \delta_{fn}) \right] \\ & \div \left[\left(\frac{1}{n} - \frac{S_0}{l} \varphi \cdot \operatorname{tg} n\varphi \right)^2 + \frac{1}{\beta^2} \left(\frac{S_0}{l} \varphi \right)^4 \right] \dots\dots\dots (27) \end{aligned}$$

こゝに C_n, F_n^* ; δ_{cn}, δ_{fn} は夫々 $\mathfrak{C}_n, \mathfrak{C}_n^*$ の振幅と位相であつて、又 (27) 式は平均速度の變化を振動のない場合の平均速度 \bar{v}_0 に對する割合で示してある。而してこの \bar{v}_0 なる平均速度は、氣筒内徑を吸氣管内徑で置きかへた場合のピストンの平均速度 C_0 に等しいとした。即ち振動のない場合は、吸氣管内のガスの流れの速度はピストンの速度と同じ速度になるものと考へた譯である。

(V) 數 値 計 算

(i) 供試發動機の主要寸法:—

型 式 : 九四式 450HP, 9 氣筒空冷を單氣筒に改造せるもの

内徑×行程: 146mm×160mm

壓 縮 比 : 5.5 : 1

λ =連接桿の長さ l / クランク半徑 r : $\lambda = 316/80 = 3.95$

吸氣始め : 上死點前 5°

吸氣終り : 下死點後 43°

(排氣弁の開閉の影響は本問題では考へなかつた)

吸氣弁の開口面積: 第 6 圖参照

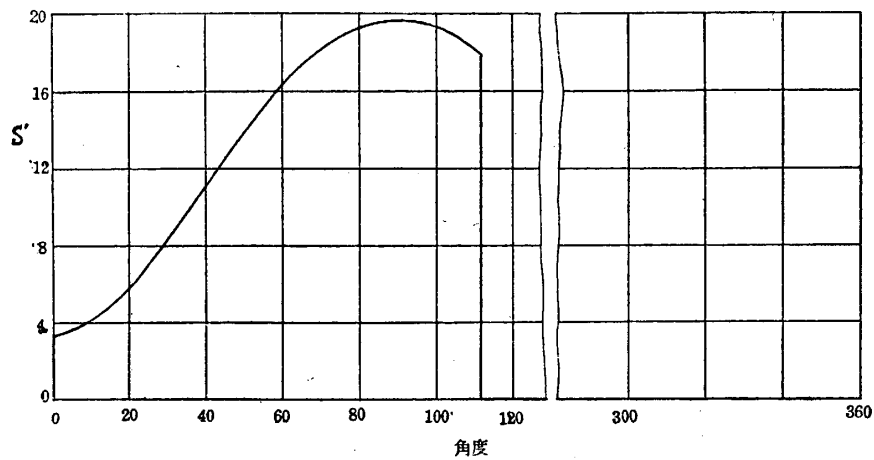
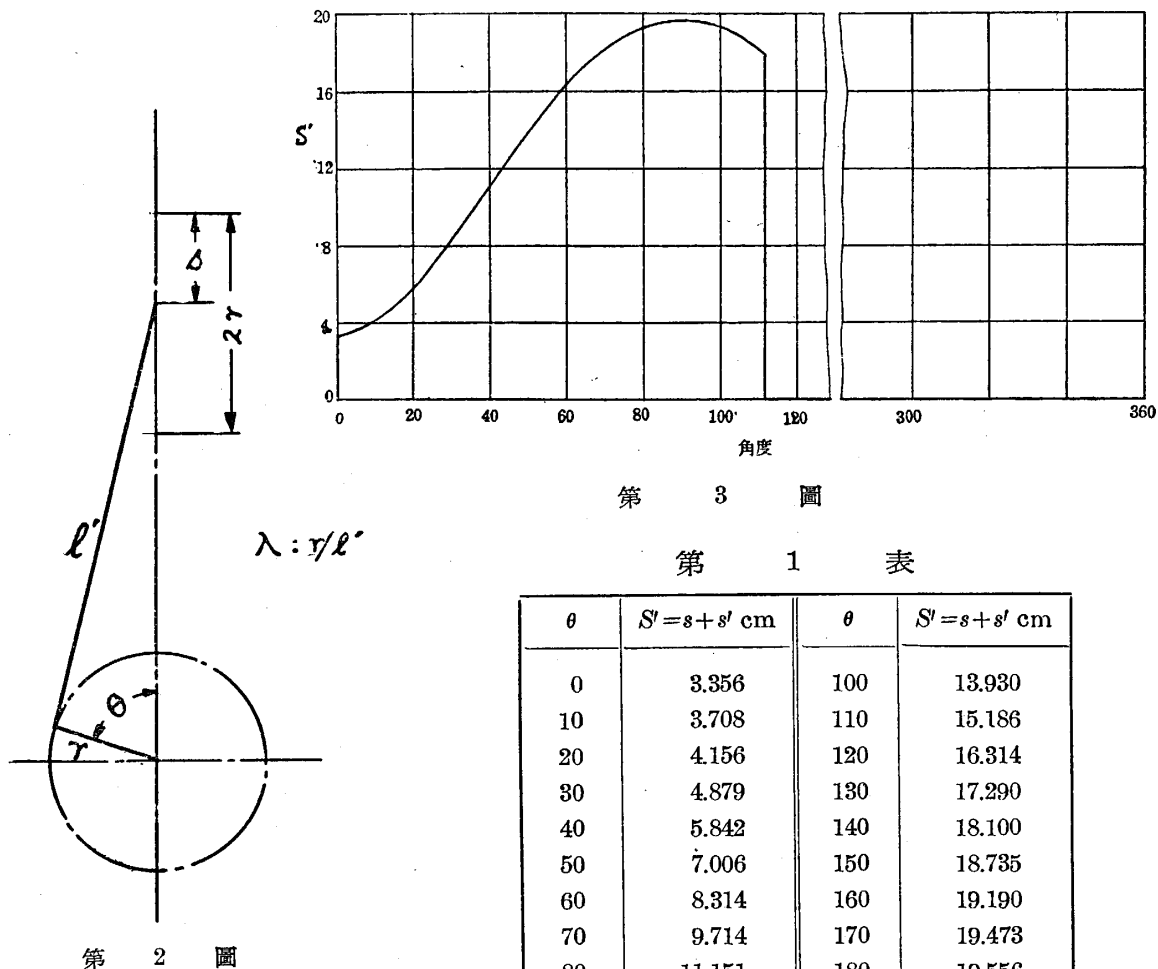
吸氣管の長さ l : 1,220mm

吸氣管の内徑: 66.7mm

(ii) 音波速度は標準溫度 15°C をとり, round number の 340m/sec にとつた。

(iii) ピストン變位の Fourier 級數への展開:—

第 2 圖でピストン變位を s とすれば



第 1 表

θ	$S' = s + s' \text{ cm}$	θ	$S' = s + s' \text{ cm}$
0	3.356	100	13.930
10	3.708	110	15.186
20	4.156	120	16.314
30	4.879	130	17.290
40	5.842	140	18.100
50	7.006	150	18.735
60	8.314	160	19.190
70	9.714	170	19.473
80	11.151	180	19.556
90	12.572		

註 $s' = 16.0 / (\epsilon_v - 1) = 16.0 / (5.5 - 1) = 3.556 \text{ cm}$
 ϵ_v : 壓縮比

$$s = r(1 + \lambda - \sqrt{\lambda^2 - \sin^2 \theta} - \cos \theta)$$

この變位に、間隙容積の相當長さ s' (第 1 圖参照) を加へた値 S' を第 1 表第 3 圖に示す。第 3 圖では、恰度上死點で吸氣弁が開くことになつてゐる。實際は上死點前 5° で吸氣弁が開くから、本圖にても $-5^\circ/2 = -2.5^\circ$ のところから始まるべきであるが、簡單のためさうしたのである。これはピストン速度、弁開口面積の場合も亦然りである。

(19) 式にて $J = \pi/4 \cdot 16.0^2 \times S'$ であるから

$$S = \frac{\pi/4 \cdot 16.0^2}{\pi/4 \cdot 6.67^2} S'$$

となる。この S を Fourier 級數に展開すると

$$\begin{aligned} S = & 0.1960 + 0.3585 \cos(\omega t - 69^\circ 39') - 0.2440 \cos(2\omega t + 36^\circ 28') \\ & - 0.1251 \cos(3\omega t - 52^\circ 00') + 0.0706 \cos(4\omega t + 8^\circ 14') \\ & - 0.0605 \cos(5\omega t + 75^\circ 14') - 0.0424 \cos(6\omega t - 37^\circ 04') \\ & + 0.0445 \cos(7\omega t + 16^\circ 36'); \text{ 單位: m} \\ \therefore S_0 = & 0.1960 \text{ m} \end{aligned}$$

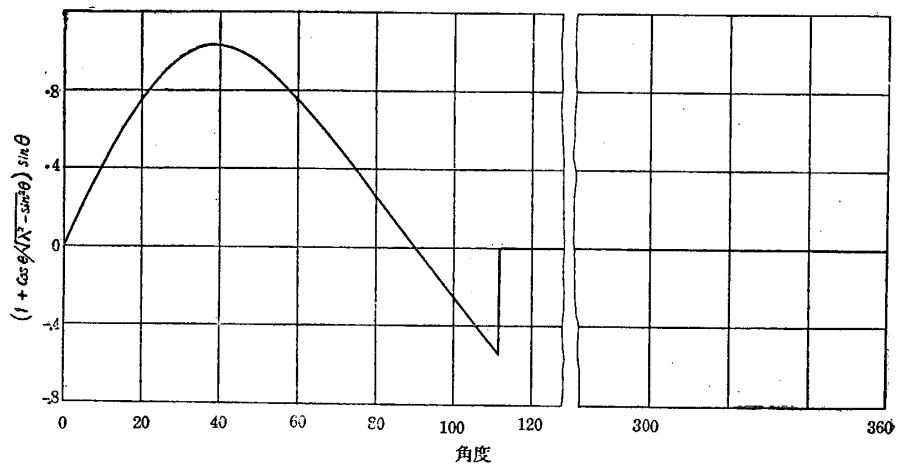
(iv) ピストン速度の Fourier 級数への展開:—

$$u = r\omega \left\{ \frac{\cos\theta}{\sqrt{\lambda^2 - \sin^2\theta}} + 1 \right\} \sin\theta$$

{ } 内の値を第2表に示す. u を S' と同様, 氣笛内徑を吸氣管内徑に換算した時の C の値にして分析すれば (第4圖参照)

第 2 表

θ	$\left(1 + \frac{\cos\theta}{\sqrt{\lambda^2 - \sin^2\theta}}\right) \sin\theta$	θ	$\left(1 + \frac{\cos\theta}{\sqrt{\lambda^2 - \sin^2\theta}}\right) \sin\theta$	θ	$\left(1 + \frac{\cos\theta}{\sqrt{\lambda^2 - \sin^2\theta}}\right) \sin\theta$
0	0	70	1.0223	140	0.5181
10	0.2164	80	1.0289	150	0.3910
20	0.4226	90	1.0000	160	0.2614
30	0.6091	100	0.9407	170	0.1308
40	0.7675	110	0.8571	180	0
50	0.8913	120	0.7613		
60	0.9706	130	0.6407		



第 4 圖

$$C = \{0.0549 + 0.1220\cos(\omega t - 47^\circ 54') - 0.0890\cos(2\omega t + 88^\circ 55') \\ - 0.0609\cos(3\omega t + 59^\circ 40') - 0.0417\cos(4\omega t + 34^\circ 06') \\ - 0.0309\cos(5\omega t - 3^\circ 17') - 0.0135\cos(6\omega t - 63^\circ 17') \\ + 0.0089\cos(7\omega t - 66.38')\} \times \omega ; \text{ 單位 m/sec.}$$

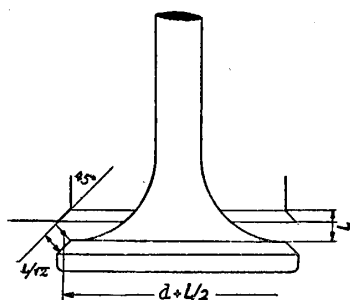
$$C_0 = 0.0549 \times \omega \quad \text{m/sec.}$$

(v) 弁開口面積の Fourier 級数への展開:—

吸氣弁の寸法を第5圖に, 弁揚程と開口面積との關係を第3表に示す. 第6圖に就て分析すれば

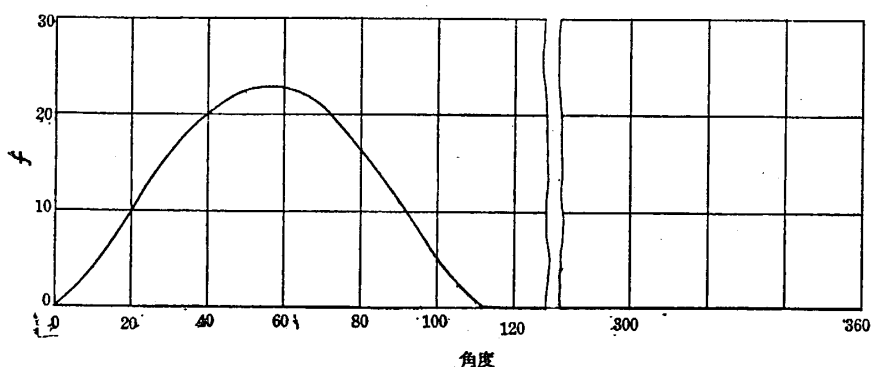
第 3 表

揚程 L mm	弁開口面積 cm^2	揚程 L mm	弁開口面積 cm^2	揚程 L mm	弁開口面積 cm^2
0	0	6	8.93	12	18.67
1	1.43	7	10.50	13	20.35
2	2.89	8	12.08	14	22.08
3	4.36	9	13.70	14.4	22.79
4	5.87	10	15.33		
5	7.39	11	16.99		



$$\text{Area} = \pi(d+L/2)L/2$$

第 5 圖 吸気弁



第 6 圖 弁開口面積

$$f = 4.161 + 7.733 \cos(\omega t - 55^\circ 30') - 5.992 \cos(2\omega t + 68^\circ 20') \\ - 3.800 \cos(3\omega t + 12^\circ 10') - 1.736 \cos(4\omega t - 42^\circ 30') \\ - 0.287 \cos(5\omega t - 81^\circ 36') - 0.393 \cos(6\omega t + 19^\circ 00') \\ - 0.469 \cos(7\omega t - 31^\circ 20'); \text{ 単位 } \text{cm}^2$$

$$f_0 = 4.161 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

(9) 式から

$$F = \frac{C_0}{f_0} f = 1.3194 \times 10 f; \text{ m}^2$$

であるから

$$F = \{0.05490 + 0.010203 \cos(\omega t - 55^\circ 30') \\ - 0.07906 \cos(2\omega t + 68^\circ 20') - 0.05014 \cos(3\omega t + 12^\circ 10') \\ - 0.02291 \cos(4\omega t - 42^\circ 30') - 0.00379 \cos(5\omega t - 81^\circ 36') \\ - 0.00519 \cos(6\omega t + 19^\circ 00') - 0.00619 \cos(7\omega t - 31^\circ 20')\} \times \omega \\ \text{単位 } \text{m/sec.}$$

(vi) その他の数値:—

$$\text{角速度 } \omega = 2\pi \cdot N/2 \cdot 1/60; \quad N: \text{ r.p.m.}$$

$$S_0/l = 0.1960/1.22 = 0.1606$$

$$\beta = \varepsilon \cdot \frac{\omega S_0}{a}$$

$$= \frac{f_0}{f_r^2 - f_0^2} \times \frac{a}{C_0} \times \frac{\omega s_0}{a}$$

$$= 0.0534$$

$$\bar{v}_0 = C_0 = 0.0549 \times \omega \text{ m/sec.}$$

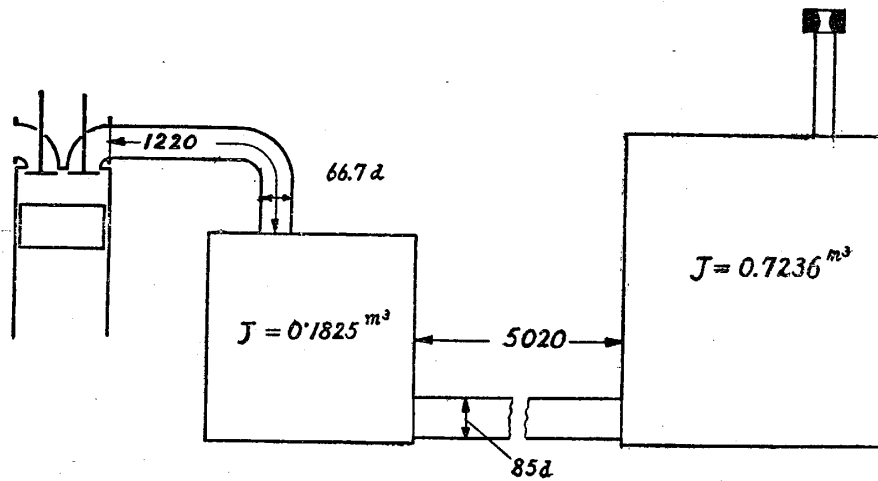
(vii) $\Delta v_0/\bar{v}_0$ の計算結果:—

結果を第4表第8圖に示す. 各次の共鳴回轉數は右表の通りである.

n (クランク軸に就ては $n/2$ 次)	共鳴回轉數 r.p.m.
1	—
2	—
3	—
4	1798
5	1447
6	1204
7	1045

(VI) 實 験

第7圖に實驗裝置の略圖を示す. 空氣流量計には1930年型標準ノズルを用ひた.



第7圖 實驗裝置略圖

實驗は總て吸氣管を全然絞つてゐない場合に就て, 發火運轉を行はず, 電動機運轉を行つた. 従て, 氣笛溫度は $40 \sim 60^\circ\text{C}$ であつたから, 弁開閉時期はこの溫度の狀態で規定になる様, 弁間隙を調整した.

實驗結果のまとめ方:—

計算によると, $n=7$ (クランク軸では $n/2$ 次) の共鳴回轉數が 1045 r.p.m. で, 1000 r.p.m. 以下では $\Delta v_0/\bar{v}_0$ は殆ど零である, 即ち振動のない定常的流れと同じであるので, この部分に相應する回轉數に於ける容積効率を標準にとり (η_0), これに對する差異 $\Delta\eta = \eta - \eta_0$ を計算し, $\Delta\eta/\eta_0$ を以て $\Delta v/\bar{v}_0$ の實驗値とした.

實驗で, 回轉數 900 r.p.m. 附近より下では, ノズルは限界レーノルズ數以下にあるため精度が不良である上, 900 r.p.m. 以下でも曲線は平でなくて山がある様なので, 實際實驗結果から η_0 を求めるには苦心を要するし, 日々の實驗結果をみると實驗した日によつて多少の差異がある. 従て毎回の實驗毎に η_0 を求めた. それ等の値は第5表に示してある. 大體 $\eta_0 = 82.0\%$ であつた.

尙は實驗裝置の圖に示した様に, 吸氣管と空氣流量計との間には2個の空氣槽があり, 特に吸氣管に接續した空氣槽の影響で, 吸氣管内の振動條件は當然異なるべきで, (24), (25) 式

では不適當であるが、空氣槽を考慮に入れると解法は極めて複雑となり簡単な計算式では求められないので省略し、吸気管の端は大氣に直接出てゐるものと考へて計算を進めたのである。

實驗結果に於ける、共鳴回轉數を右表に示す。

實驗結果を第5～17表に示す。

n (クランク軸に就ては $n/2$)	共鳴回轉數 r.p.m.
1	—
2	—
3	—
4	1554
5	1344
6	1169
7	1112

(VII) 結 果

計算と實驗の結果を第8圖に示す。共鳴回轉數は、實驗の場合、 $n \equiv 7$ を除いては常に低いところで現はれるが、共鳴回數はよく一致した。又絶対値をみると、實驗値は計算値の10%見當で、かなりの差があるが、曲線の形はかなりよく一致してゐる。

絶対値が非常に違つてゐるのは、何分計算法が不完全で、空氣の速度を音波速度に對して無視し、密度を一定とし、減衰を考へてゐないので當然であらう。

末筆乍ら御指導を賜つた田中所員に篤く御禮申上げると共に、實驗をやつていただいた須原忠藏、鈴木市郎、浦田武、西村甲子郎の諸君に感謝の意を表する次第である。

附 録

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \dots\dots\dots (1)$$

又は

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \rho a^2 \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots (3)$$

より

$$v = v_0 + \sum_n (\mathcal{A}_n e^{i \frac{n \omega x}{a}} + \mathcal{B}_n e^{-i \frac{n \omega x}{a}}) e^{i n \omega t} \dots\dots\dots (4)$$

$$p = p_0 - \rho a \sum_n (\mathcal{A}_n e^{i \frac{n \omega x}{a}} - \mathcal{B}_n e^{-i \frac{n \omega x}{a}}) e^{i n \omega t} \dots\dots\dots (5)$$

境界條件を考へるため t の項を除外して、

$$\mathcal{B}_n = \sum (\mathcal{A}_n e^{i \frac{n \omega x}{a}} + \mathcal{B}_n e^{-i \frac{n \omega x}{a}}) \dots\dots\dots (6)$$

$$\mathcal{B}_n^* = \sum (-\mathcal{A}_n e^{i \frac{n \omega x}{a}} + \mathcal{B}_n e^{-i \frac{n \omega x}{a}}) \dots\dots\dots (7)$$

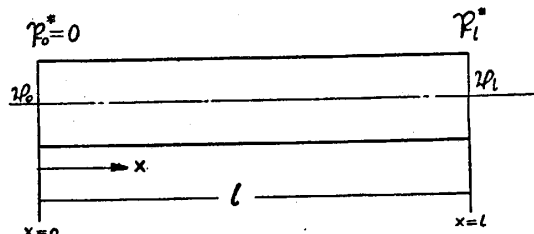
(\mathcal{B}_n^* は本文(5)式の第2項を ρa で除したもので速度の dimension になつてゐる)

に就て考へることとする。

第9圖の如き吸気管を考へれば、左端 $x=0$ は大氣であるとすれば

$x=0$ にて

$$\mathcal{B}_0 = \sum_n \mathcal{B}_{0n} = \sum_n (\mathcal{A}_n + \mathcal{B}_n) \dots\dots\dots (8)$$



第 9 圖

$$\mathfrak{P}_0^* = \sum^n \mathfrak{P}_{0n}^* = \sum^n (-\mathfrak{U}_n + \mathfrak{B}_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

$x=l$ にて

$$\mathfrak{B}_l = \sum^n \mathfrak{B}_{ln} = \sum^n (\mathfrak{U}_n e^{i\frac{n\omega l}{a}} + \mathfrak{B}_n e^{-i\frac{n\omega l}{a}}) \quad \dots\dots\dots (10)$$

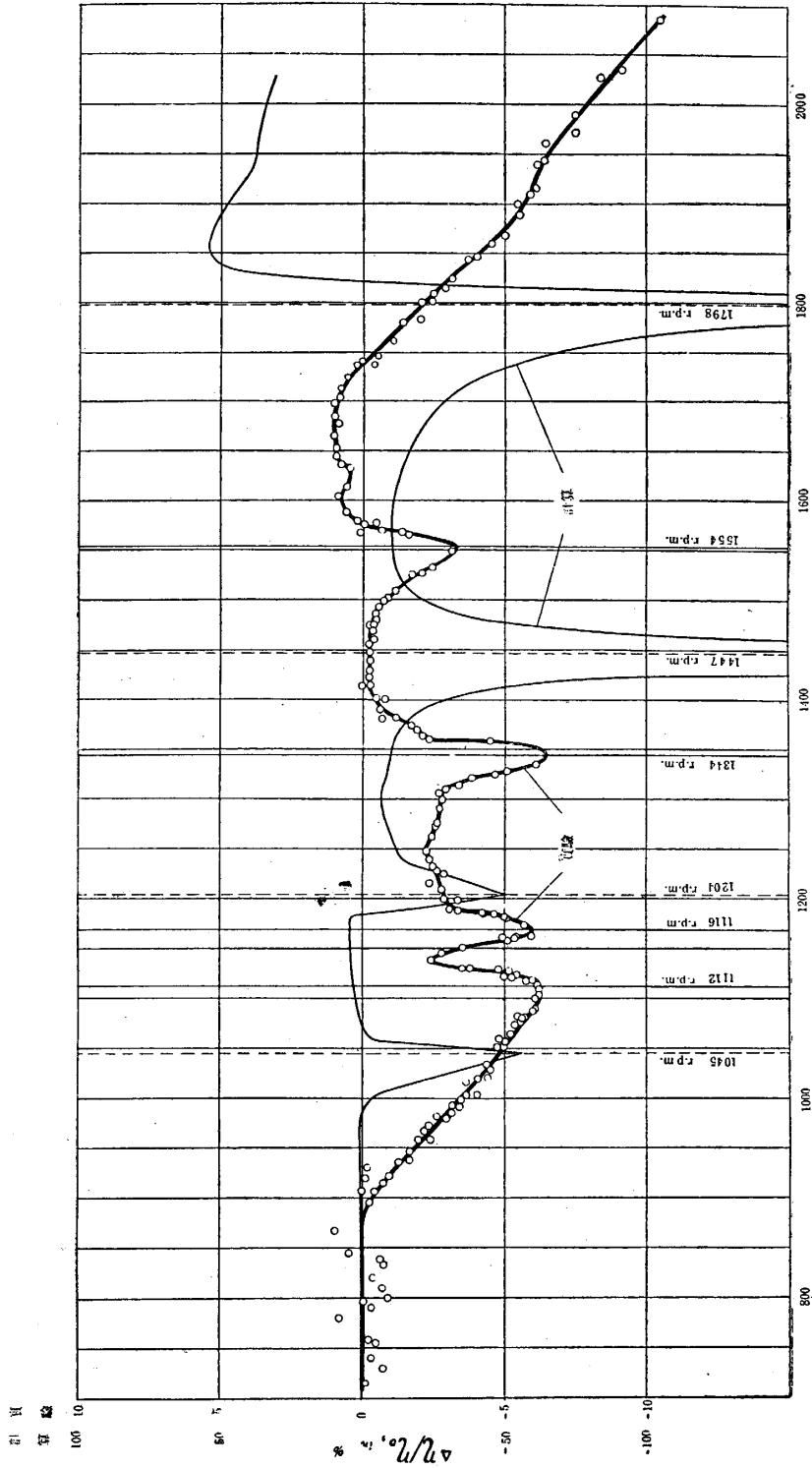
$$\mathfrak{P}_l = \sum^n \mathfrak{P}_{ln}^* = \sum^n (-\mathfrak{U}_n e^{i\frac{n\omega l}{a}} + \mathfrak{B}_n e^{-i\frac{n\omega l}{a}}) \quad \dots\dots\dots (11)$$

(9) より $\mathfrak{U}_n = \mathfrak{B}_n$

$$\text{従て (8) より } \mathfrak{U}_n = \frac{1}{2} \mathfrak{B}_{0n} \quad \dots\dots\dots (12)$$

これから (10), (11) を解けば

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{B}_{ln} &= \frac{1}{\cos \frac{n\omega l}{a}} \mathfrak{B}_{0n} \\ \mathfrak{P}_{ln}^* &= -i \operatorname{tg} n\varphi \cdot \mathfrak{B}_{ln} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (13)$$



果 結 圖 8 第

第 4 表 $\Delta v_0/\bar{v}_0$ の計算値 (1)

N r.p.m.	$\Delta v_{01}/\bar{v}_0$ %	$\Delta v_{02}/\bar{v}_0$ %	$\Delta v_{03}/\bar{v}_0$ %	$\Delta v_{04}/\bar{v}_0$ %	$\Delta v_{05}/\bar{v}_0$ %	$\Delta v_{06}/\bar{v}_0$ %	$\Delta v_{07}/\bar{v}_0$ %	$\frac{\Delta v_0/\bar{v}_0 = \sum_{i=1}^7 \Delta v_{0i}/\bar{v}_0}{\%}$
600	0.60	0.91	-0.11	-0.75	-0.18	0.14	-0.12	0.49
20	0.64	0.98	-0.12	-0.81	-0.19	0.16	-0.13	0.53
40	0.68	1.04	-0.13	-0.87	-0.21	0.17	-0.13	0.60
60	0.72	1.11	-0.14	-0.93	-0.22	0.19	-0.15	0.58
80	0.77	1.58	-0.15	-0.99	-0.24	0.20	-0.16	0.61
700	0.81	1.25	-0.16	-1.06	-0.25	0.22	-0.18	0.63
20	0.86	1.33	-0.17	-1.13	-0.27	0.25	-0.19	0.68
40	0.91	1.41	-0.17	-1.20	-0.29	0.27	-0.21	0.72
60	0.96	1.49	-0.18	-1.28	-0.31	0.29	-0.24	0.73
80	1.01	1.57	-0.19	-1.36	-0.33	0.32	-0.27	0.78
800	1.06	1.66	-0.20	-1.44	-0.35	0.35	-0.29	0.79
20	1.12	1.75	-0.21	-1.53	-0.37	0.38	-0.33	0.81
40	1.17	1.84	-0.22	-1.62	-0.40	0.42	-0.37	0.82
60	1.23	1.93	-0.23	-1.71	-0.42	0.47	-0.43	0.84
80	1.29	2.02	-0.24	-1.81	-0.45	0.51	-0.50	0.82
900	1.35	2.12	-0.25	-1.91	-0.48	0.54	-0.60	0.77
20	1.41	2.23	-0.27	-2.03	-0.51	0.63	-0.75	0.71
40	1.48	2.33	-0.28	-2.14	-0.54	0.71	-0.96	0.60
60	1.54	2.44	-0.29	-2.26	-0.58	0.79	-1.40	0.24
80	1.61	2.55	-0.30	-2.38	-0.62	0.88	-2.31	-0.57
1000	1.69	2.67	-0.31	-2.52	-0.67	1.00	-5.09	-3.23
20	1.74	2.78	-0.32	-2.66	-0.71	1.12	-26.00	-24.05
40	1.82	2.90	-0.34	-2.80	-0.77	1.30	-55.71	-53.60
60	1.89	3.01	-0.35	-2.96	-0.83	1.54	-4.47	-2.17
80	1.96	3.15	-0.36	-3.12	-0.89	1.80	-1.42	1.12
1100	2.04	3.28	-0.37	-3.29	-0.97	2.17	-0.65	2.21
20	2.11	3.41	-0.39	-3.47	-1.06	2.63	-0.22	3.01
40	2.19	3.55	-0.39	-3.67	-1.16	3.29	-0.28	3.53
60	2.28	3.68	-0.41	-3.84	-1.28	4.15	-0.27	4.31
80	2.35	3.83	-0.42	-4.09	-1.40	4.34	-0.22	4.39
1200	2.43	3.97	-0.43	-4.32	-1.58	-44.40	-0.21	-44.54
20	2.51	4.12	-0.45	-4.55	-1.80	-33.30	-0.21	-33.68
40	2.60	4.29	-0.46	-4.80	-2.08	-12.68	-0.21	-13.34
60	2.69	4.44	-0.47	-5.10	-2.43	-9.10	-0.23	-10.20
80	2.77	4.61	-0.48	-5.39	-2.91	-5.55	-0.23	-7.18
1300	2.87	4.77	-0.49	-5.72	-3.59	-4.42	-0.24	-6.82

第 4 表 $\Delta v_0/\bar{v}_0$ の計算値 (2)

N r.p.m.	$\Delta v_{01}/\bar{v}_0$ %	$\Delta v_{02}/\bar{v}_0$ %	$\Delta v_{03}/\bar{v}_0$ %	$\Delta v_{04}/\bar{v}_0$ %	$\Delta v_{05}/\bar{v}_0$ %	$\Delta v_{06}/\bar{v}_0$ %	$\Delta v_{07}/\bar{v}_0$ %	$\frac{\Delta v_0/\bar{v}_0}{\sum_{n=1}^7 \Delta v_{0n}/\bar{v}_0} =$ %
20	2.96	4.95	-0.50	-6.07	-4.57	-4.45	-0.26	-7.94
40	3.05	5.11	-0.52	-6.45	-6.20	-3.16	-0.27	-9.44
60	3.14	5.30	-0.53	-6.86	-8.90	-2.82	-0.28	-10.95
80	3.24	5.49	-0.55	-7.33	-14.82	-2.55	-0.30	-16.81
1400	3.34	5.67	-0.55	-7.80	-27.18	-2.34	-0.32	-29.18
20	3.44	5.87	-0.56	-8.34	-76.39	-2.17	-0.33	-78.48
40	3.53	6.06	-0.57	-9.04	-401.29	-2.02	-0.34	-403.67
60	3.64	6.25	-0.57	-9.61	-165.21	-1.92	-0.36	-167.78
80	3.75	6.46	-0.58	-10.38	-41.65	-1.82	-0.38	-44.60
1500	3.85	6.69	-0.59	-11.24	-17.72	-1.84	-0.39	-21.24
20	3.96	6.91	-0.60	-12.20	-9.56	-1.73	-0.41	-13.63
40	4.07	7.12	-0.60	-13.37	-6.27	-1.61	-0.43	-11.09
60	4.17	7.35	-0.60	-14.70	-4.53	-1.56	-0.44	-10.31
80	4.28	7.59	-0.60	-16.03	-3.41	-1.54	-0.47	-10.18
1600	4.40	7.83	-0.59	-18.10	-2.74	-1.48	-0.48	-11.16
20	4.52	8.07	-0.58	-20.30	-2.06	-1.45	-0.50	-12.30
40	4.64	8.32	-0.57	-23.33	-2.04	-1.41	-0.52	-14.91
60	4.76	8.58	-0.56	-24.50	-1.11	-1.39	-0.54	-14.76
80	4.89	8.85	-0.54	-32.10	-1.69	-1.36	-0.56	-22.51
1700	5.01	9.12	-0.54	-38.70	-1.59	-1.34	-0.58	-28.62
20	5.14	9.41	-0.51	-49.6	-1.52	-1.32	-0.61	-39.01
40	5.26	9.71	-0.49	-66.7	-1.44	-1.30	-0.62	-55.58
60	5.39	9.80	-0.46	-96.8	-1.43	-1.29	-0.65	-85.45
80	5.52	10.30	-0.41	-170.0	-1.40	-1.28	-0.67	-158.0
1800	5.65	10.60	-0.36	-263.0	-1.39	-1.27	-0.70	-250.5
20	5.78	10.91	-0.29	-38.6	-1.38	-1.26	-0.72	-25.56
40	5.92	11.30	-0.23	37.9	-1.39	-1.25	-0.74	51.51
60	6.06	11.58	-0.14	40.7	-1.40	-1.24	-0.77	54.80
80	6.22	12.16	-0.04	35.55	-1.35	-1.23	-0.80	50.51
1900	6.34	12.28	-0.09	32.20	-1.42	-1.23	-0.82	47.30
20	6.48	12.63	-0.23	27.50	-1.44	-1.23	-0.85	42.90
40	6.62	13.00	-0.41	23.05	-1.46	-1.22	-0.88	38.70
60	6.77	13.38	-0.61	21.46	-1.49	-1.22	-0.91	37.38
80	6.91	13.77	-0.85	19.30	-1.52	-1.21	-0.93	35.47
2000	7.08	14.18	-1.16	17.58	-1.55	-1.21	-0.97	33.95

第 5 表

實驗番號 1

昭和15年7月25日

 $p_a = 758.5 \text{ mmHg}$
 $t_a = 32.0^\circ\text{C}$

クランク 軸回轉數 r.p.m.	η_0 %	η %	$\Delta\eta/\eta_0$ %	氣筒温度 °C
926	82.5	81.1	-1.7	40
982		79.4	-3.3	〃
988		79.7	-3.4	〃
1024		79.5	-3.6	〃
1110		77.4	-6.2	〃
1212		80.7	-2.2	〃
1252		80.3	-2.7	〃
1302		79.8	-3.3	〃
1310		79.7	-3.4	〃
1376		81.0	-1.8	〃
1240		80.9	-1.9	50
1184		79.0	-4.2	〃
1128		79.6	-3.5	〃
1140		80.5	-2.4	〃
1160		77.9	-5.6	〃
1118		78.2	-5.2	〃
1110		77.4	-6.2	〃
1076		78.1	-5.3	〃
930		82.4	0	〃
980		80.0	-3.0	〃

第 6 表

實驗番號 2

昭和15年7月25日

 $p_a = 758.9 \text{ mmHg}$
 $t_a = 33.0^\circ\text{C}$

クランク 軸回轉數 r.p.m.	η_0 %	η %	$\Delta\eta/\eta_0$ %	氣筒温度 °C
986	82.8	80.7	-2.6	40
1000		79.9	-3.6	50
1112		78.0	-5.9	〃
1178		78.7	-5.0	〃
1202		80.1	-3.3	〃
1230		80.6	-2.7	〃
1274		80.5	-2.8	〃
1334		77.8	-6.1	〃
1322		79.7	-3.8	〃
1186		79.1	-4.7	〃
1162		78.8	-4.9	〃
1122		77.7	-6.2	〃
1088		77.9	-6.0	〃
1062		78.6	-5.1	〃
1054		78.1	-5.8	〃
1002		79.9	-3.6	〃
970		81.1	-2.1	〃
954		80.8	-2.5	〃

第 7 表

實驗番號 3

昭和15年7月26日

 $p_a = 763.6 \text{ mmHg}$
 $t_a = 30.0^\circ\text{C}$

クランク 軸回轉數 r.p.m.	η_0 %	η %	$\Delta\eta/\eta_0$ %	氣筒温度 °C
920	82.4	82.4	0	45
948		81.1	-1.6	〃
1076		77.7	-5.7	50
1104		77.0	-6.6	〃
1150		79.5	-3.5	〃
1186		79.9	-3.0	〃
1314		80.1	-2.8	〃
回 轉 計 破 損				

第 8 表

實驗番號 4

昭和15年7月27日

 $p_a = 760.0 \text{ mmHg}$
 $t_a = 28.0^\circ\text{C}$

クランク 軸回轉數 r.p.m.	η_0 %	η %	$\Delta\eta/\eta_0$ %	氣筒温度 °C
906	81.5	81.2	-0.4	40
934		81.1	-0.5	〃
1020		78.2	-4.1	42
1060		77.4	-5.1	45
1100		77.5	-4.9	〃
1120		76.6	-6.0	48
1160		77.0	-5.5	〃
1186		78.8	-3.3	〃

實驗番號 5

昭和15年7月29日

 $p_a = 761.0 \text{ mmHg}$
 $t_a = 26.0^\circ\text{C}$

クランク 軸回轉數 r.p.m.	η_0 %	η %	$\Delta\eta/\eta_0$ %	氣筒温度 °C
958	82.0	80.5	-1.8	25
1002		79.7	-2.8	35
1078		77.3	-5.7	〃
1128		77.7	-5.2	40
1228		79.6	-2.9	45
1362		80.3	-2.1	50
1376		81.5	-0.6	〃
1448		81.9	-0.1	55
1478		81.5	-0.6	〃
1498		81.1	-1.1	〃
1526		81.3	-0.9	〃

第 9 表

實驗番號 6

昭和15年7月29日

 $p_a = 760.5 \text{ mmHg}$
 $t_a = 28.0^\circ\text{C}$

クランク 軸回轉數 r.p.m.	η_0 %	η %	$\Delta\eta/\eta_0$ %	氣筒温度 °C
916	82.0	81.4	-0.7	35
950		81.1	-1.1	35
1002		78.4	-4.4	38
1022		78.1	-4.8	38
1052		77.8	-5.1	40
1132		78.1	-4.8	45
1180		77.7	-5.0	45
1202		79.0	-3.7	48
1238		79.7	-2.8	48
1262		79.9	-2.6	50
1306		79.9	-2.6	50
1384		81.0	-1.2	50
1436		82.0	0	52
1452		81.5	-0.6	55
1488		81.7	-0.4	58
1496		81.6	-0.5	58
1566		82.2	+0.2	58
1580		83.2	+1.5	55

第 1 1 表

實驗番號 8

昭和15年7月30日

 $p_a = 761.0 \text{ mmHg}$
 $t_a = 29.0^\circ\text{C}$

クランク 軸回轉數 r.p.m.	η_0 %	η %	$\Delta\eta/\eta_0$ %	氣筒温度 °C
758	81.6	81.2	-0.5	35
796		81.8	-0.1	40
836		80.2	-0.9	40
844		82.4	+0.6	40
936		80.6	-1.2	45
982		79.1	-3.1	45
992		79.1	-3.1	45
1032		78.0	-4.3	48
1056		77.6	-4.6	48
1080		77.1	-5.5	48
1084		77.6	-4.9	50
1114		78.4	-3.9	50
1134		78.5	-3.8	50
1154		77.4	-5.1	50
1176		78.2	-4.2	50
1208		79.2	-2.9	50
1248		80.2	-1.7	50
1290		80.2	-1.7	50
1312		79.3	-2.8	50
1380		81.1	-0.5	54
1402		81.5	-0.1	55
1426		81.7	+0.1	55
1454		81.8	+0.2	58
1470		81.6	0.0	58
1528		80.2	-2.1	58
1540		81.9	+0.4	58
1580		81.5	-0.1	60
1614		82.3	+0.9	60
1632		82.2	+0.7	60

第 1 0 表

實驗番號 7

昭和15年7月30日

 $p_a = 762.1 \text{ mmHg}$
 $t_a = 27.2^\circ\text{C}$

クランク 軸回轉數 r.p.m.	η_0 %	η %	$\Delta\eta/\eta_0$ %	氣筒温度 °C
758	82.7	82.5	-0.2	38
780		83.5	-1.0	38
798		81.8	-1.1	38
868		83.6	+1.1	40
896		82.5	-0.2	40
908		82.8	+0.1	40
922		82.0	-0.9	40
1084		77.3	-6.5	45
1120		77.7	-6.1	48
1140		80.5	-2.7	50
1170		78.0	-5.7	50
1360		79.0	-4.5	52
1426		82.0	-0.9	54
1460		82.3	-0.5	55
1498		82.2	-0.6	58

第 1 2 表

實驗番號 9

昭和15年7月31日

 $p_a = 762.9 \text{ mmHg}$
 $t_a = 26.4^\circ\text{C}$

クランク 軸回轉數 r.p.m.	η_0 %	η %	$\Delta\eta/\eta_0$ %	氣筒温度 °C
1576	82.5	82.5	0.0	55
1636		83.2	+0.9	55
1668		83.8	+1.6	55
1686		83.9	+1.7	58
1736		82.1	-0.5	58
1762		81.6	-1.1	58
1746		82.9	-0.5	60
1844		79.2	-4.0	60
1888		77.9	-5.6	60
1904		78.3	-5.1	60
1942		77.5	-6.1	60

第 1 3 表

實驗番號 10

昭和15年8月19日

 $p_a = 760.1 \text{ mmHg}$
 $t_a = 28.2^\circ\text{C}$

クランク 軸回轉數 r.p.m.	η_0 %	η %	$\Delta\eta/\eta_0$ %	氣筒温度 °C
715	81.0	80.9	-0.1	35
730		80.3	-0.9	〃
740		80.7	-0.4	〃
820		80.6	-0.5	40
1475		80.9	-0.1	55
1490		80.6	-0.5	〃
1500		80.5	-0.6	〃
1700		81.9	+1.1	〃
1740		81.2	+0.3	60
1780		79.9	-1.4	〃
1800		79.4	-2.0	〃
1825		78.5	-3.1	〃
1860		77.3	-4.6	65
1900		76.7	-5.3	〃
1970		74.8	-7.7	〃
2000		75.5	-6.8	〃

第 1 5 表

實驗番號 12

昭和15年8月21日

 $p_a = 761.1 \text{ mmHg}$
 $t_a = 29.1^\circ\text{C}$

クランク 軸回轉數 r.p.m.	η_0 %	η %	$\Delta\eta/\eta_0$ %	氣筒温度 °C
790	81.0	80.7	-0.4	35
809		80.3	-0.9	〃
838		80.4	-0.7	〃
925		79.4	-2.0	45
938		79.6	-1.7	〃
971		79.3	-2.1	〃
1017		77.4	-4.4	〃
1058		77.6	-4.2	50
1122		76.1	-6.1	〃
1162		76.1	-6.1	〃
1199		78.7	-2.8	〃
1248		79.2	-2.2	〃
1275		78.8	-2.7	〃
1300		78.7	-3.0	55
1323		77.0	-4.7	〃
1370		79.4	-2.0	60
1412		81.1	+0.1	〃
1471		81.2	+0.3	〃
1523		80.5	-0.6	〃
1568		80.5	-0.6	〃
1588		81.5	+0.6	〃
1678		81.6	+0.7	〃
1712		81.7	+0.8	〃

第 1 4 表

實驗番號 11

昭和15年8月20日

 $p_a = 759.7 \text{ mmHg}$
 $t_a = 28.1^\circ\text{C}$

クランク 軸回轉數 r.p.m.	η_0 %	η %	$\Delta\eta/\eta_0$ %	氣筒温度 °C
983	81.5	78.6	-3.6	45
1000		78.1	-4.2	〃
1030		77.8	-4.5	〃
1050		77.7	-4.7	50
1088		76.5	-6.1	〃
1105		76.4	-6.3	〃
1148		76.9	-5.6	〃
1182		78.9	-3.2	〃
1232		79.5	-2.5	〃
1308		79.9	-2.0	55
1360		79.6	-2.3	〃
1390		81.0	-0.6	60
1419		80.5	-0.6	〃
1509		80.6	-1.1	〃
1528		80.2	-1.6	〃
1569		80.3	-1.5	65

第 1 6 表

実験番号 13

昭和15年8月30日

 $p_a=761.1\text{mmHg}$
 $t_a=25.2^\circ\text{C}$

クランク 軸回転数 r.p.m.	η_0 %	η %	$\Delta\eta/\eta_0$ %	気筒温度 $^\circ\text{C}$
1076	82.5	77.3	-6.3	40
1092		76.9	-6.8	45
1328		78.3	-5.1	50
1414		82.3	-0.2	52
1422		82.4	-0.1	〃
1402		81.7	-1.0	〃
1476		82.1	-0.4	55
1440		82.3	-0.2	〃
1502		81.9	-0.7	〃
1652		83.2	+0.9	60
1666		83.4	+1.1	〃
1684		83.4	+1.1	〃
1725		83.0	+0.6	〃
1739		81.6	-1.1	〃
1779		80.8	-2.1	〃
1800		80.3	-2.7	〃
1800		80.5	-2.4	〃
1810		80.1	-2.9	〃
1865		78.4	-5.0	〃
1845		79.6	-3.5	〃
1909		77.6	-5.9	〃
1945		77.3	-6.3	〃
1989		76.3	-7.5	〃
2032		74.9	-9.2	〃
2085		73.8	-10.6	〃
2194		69.1	-16.4	〃

第 1 7 表

実験番号 14

昭和15年9月2日

 $p_a=760.5\text{mmHg}$
 $t_a=27.0^\circ\text{C}$

クランク 軸回転数 r.p.m.	η_0 %	η %	$\Delta\eta/\eta_0$ %	気筒温度 $^\circ\text{C}$
1532	83.0	81.0	-2.4	50
1550		80.5	-3.0	〃
1564		81.8	-1.5	〃
1578		83.1	+0.1	55
1604		83.8	+1.0	〃
1702		83.6	+0.7	60
1740		63.1	+0.1	〃
1810		81.0	-2.4	〃
1909		78.0	-6.0	62
1962		77.7	-6.3	65
2028		76.1	-8.3	68
1644		83.9	+1.1	〃

正 誤 表

航空研究所彙報 195號(昭和15年11月發行)記載;高月:吸氣管内ガスの共鳴振動による容積効率の變化(第一報)

(i) 395 頁上より 10 行目

誤 v_0

正 \bar{v}_0

(ii) 395 頁 下より 6, 7, 8 行目の式左邊

誤 δ_n^* , β_{lm}^* , β_m^*

正 $\delta_n^* e^{in\omega t}$, $\beta_{lm}^* e^{im\omega t}$, $\beta_m^* e^{im\omega t}$

(iii) 398 頁 (IV) Δv_{0n} の計算式 (27) 式

$$\begin{aligned} \text{誤} \quad \frac{\Delta v_{0n}}{\bar{v}_0} = & \frac{1}{2C_0^2} \left[\left(\frac{1}{n^2} - \frac{S_0}{l} \varphi \cdot \frac{\operatorname{tg} n \varphi}{n} \right) C_n F_n^* \cos(\delta_{cn} - \delta_{fn}) \right. \\ & + \frac{1}{\beta^2} \left(\frac{S_0}{l} \varphi \right)^4 F_n^{*2} - \frac{1}{n\beta} \left(\frac{S_0}{l} \varphi \right)^2 C_n F_n^* \sin(\delta_{cn} - \delta_{fn}) \Big] \\ & \div \left[\left(\frac{1}{n} - \frac{S_0}{l} \varphi \cdot \operatorname{tg} n \varphi \right)^2 + \frac{1}{\beta^2} \left(\frac{S_0}{e} \varphi \right)^4 \right] \dots\dots\dots (27) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{正} \quad \frac{\Delta v_{0n}}{\bar{v}_0} = & \frac{1}{2C_0^2} \left[\left(\frac{1}{n^2} - \frac{S_0}{l} \varphi \cdot \frac{\operatorname{tg} n \varphi}{n} \right) C_n F_n^* \cos(\delta_{cn} - \delta_{fn}) \right. \\ & + \frac{1}{\beta^2} \left(\frac{S_0}{l} \varphi \right)^4 F_n^{*2} - \frac{1}{n\beta} \left(\frac{S_0}{l} \varphi \right)^2 C_n F_n^* \sin(\delta_{cn} - \delta_{fn}) \Big] \\ & \div \left[\left(\frac{1}{n} - \frac{S_0}{l} \varphi \cdot \operatorname{tg} n \varphi \right)^2 + \frac{1}{\beta^2} \left(\frac{S_0}{e} \varphi \right)^4 \right] - \frac{F_n^{*2}}{2C_0^2} \dots\dots\dots (27) \end{aligned}$$

(iv) 403 頁 附 録 (1) 式

$$\text{誤} \quad \frac{\partial^2 v}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}$$

$$\text{正} \quad \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}$$