

呉工業高等専門学校

研 究 報 告

第11巻 第2号 (通巻第17号)

昭和51年3月(1976)

目 次

1. 往復偏心楕円カムの研究—円弧従動節—糸 島 寛 典.....1
2. 揺動偏心楕円カムの研究(第1報)—円弧従動節—糸 島 寛 典.....13
3. スワールボックスの研究久保田 勲.....27
河 口 勇
4. 塑性加工の研究(第4報)—圧下力の検討—里 信 敏.....37
方 岡 行
永 島 利 治
5. 内歯車の円環近似に対する補正係数野 原 稔.....43
6. 写真による輝度測定と輝度パターンの作成原 田 一 彦.....49
7. 呉高専 FACOM 23028S システム村 上 滋 樹.....57
8. 呉高専電子計算機室会計編集プログラム“EDP・LOG”吉 野 信 行.....61
町 田 勝 吉
9. 減力時の剛性低下が地震応答性状に及ぼす影響門 前 勝 明.....69

往復偏心楕円カムの研究

— 円弧従動節 —

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Eccentric Elliptical Pitch Curve Cam with a Reciprocating Follower

— Circular Arc Follower —

Hironori ITOSHIMA

The pitch curve of the cam is an ellipse and the pivot of the cam is offset from the center of the ellipse. The reciprocating follower is a roller or a circular arc mushroom follower and is offset from the pivot of the cam. The profile of the cam is a curve with a constant distance from an ellipse and the curve of the cam is expressed in xy coordinates.

The motion (displacement, velocity and acceleration) of the reciprocating follower is analysed. The pressure angle, the offset and the specific sliding are examined.

If the lift of the follower, the pressure angle at the starting point and the semi-major axis of the ellipse are specified, then the eccentricity of the cam and the offset of the follower can be obtained, and if the accelerations of the follower at the starting point and the end point are specified, then can be decided the semi-minor axis of the ellipse. When the specific sliding at the end point is specified, the radius of the circular arc follower can be obtained. Consequently the best cam can be designed.

§ 1 緒 言

前報^{1) 2)}において楕円の中心を回転軸とする楕円カムにおける従動節の運動およびカムの設計について論じた。

本報告においては更に設計を容易にするため楕円の長軸方向に偏心した点を回転中心とし、かたより往復従動節のナイフェッジの先がこの楕円上にあるすなわち往復円弧従動節の場合は円弧の中心が楕円上にある場合の従動節の運動と押進め角、滑り率等を論じ、従動節のリフト、最大押進め角、カムの最大滑り率を指定して従動節の最大加速度ができるだけ小となるように楕円カムの寸法を設計する。

§ 2 記 号

a : 楕円カムの長軸の半径	e : 従動節のかたより量
b : 楕円カムの短軸の半径	r : 従動節の円弧半径
c : カムの偏心量	H : 従動節のリフト
δ : 楕円の長軸と接触点のなす角	ϕ : 押進め角
θ : カムの回転角	R_M : カムの回転中心と円弧の中心までの距離
θ_0 : 行き行程のカムの回転角	k : 従動節の最下点の高さ
θ_r : 戻り行程のカムの回転角	μ : 摩擦係数
$dh/d\theta$: 従動節の速度 $= \omega dh/d\theta$	ω : カムの角速度

$d^2h/d\theta^2$: 従動節の加速度 $= \omega^2 d^2h/d\theta^2$

ρ_M : 楕円上の点の曲率半径

σ_1 : カムの滑り率

σ_2 : 従動節の滑り率

§ 3 偏心楕円カムの機構

図1に示す偏心楕円カム機構において、楕円の長短軸の半径をそれぞれ a, b とし、長軸上に中心 O より c だけ偏心した点 A を楕円カムの回転中心とし、反時計回りに回転しているものとす。

A 点を原点とし長軸を x 軸、 A 点より x 軸に垂直に y 軸を取る。 A 点を原点として水平に ξ 軸、直角に η 軸を取り、 $x\xi$ 軸の交角を θ とすれば θ はカムの回転角となる。ナイフエッジ従動節は η 軸に平行に e だけ右にかたよらせて上下に往復運動しており、ローラあるいは円弧従動節の場合はナイフエッジの先端 M を中心とし半径 r の円弧である。 M 点を原点とし行程方向に Y 軸、それに直角に X 軸を取る。

円弧従動節の場合にはカムの輪郭は楕円でなく、楕円より r の距離にある曲線となる。この場合の接触点を T とする。長短軸が楕円の交点を図のように B, D, C, E とす。線分 AM の長さを R_M で表わし、 $\angle BAM = \delta$ とし、 δ をパラメーターとして運動を論ずる。 MT の延長が ξ 軸と交わる点を P とすれば MP は楕円の法線だから P 点はカム1と従動節2の瞬間中心 I_{12} となる。

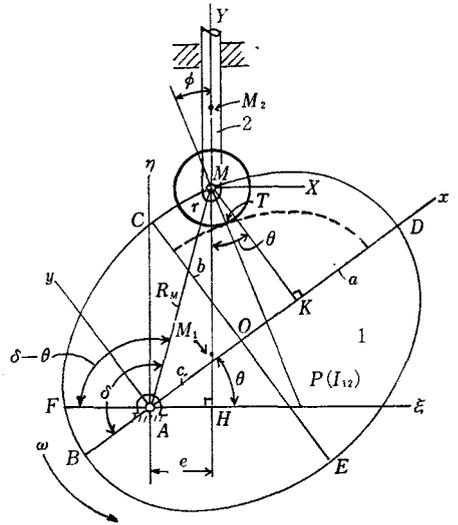


図1 偏心楕円カムの機構

M 点の xy 座標を x_M, y_M とすればカムのピッチ曲線は楕円だから次式が成立する。

$$\left(\frac{x_M - c}{a}\right)^2 + \left(\frac{y_M}{b}\right)^2 = 1, \quad b^2(x_M - c)^2 + a^2y_M^2 = a^2b^2 \quad \dots\dots(1)$$

$$x_M = -R_M \cos \delta, \quad y_M = R_M \sin \delta \quad \dots\dots(2)$$

式(2)を式(1)に代入して R_M を求めれば

$$R_M = b \times \frac{aE - bc \cos \delta}{A} \quad \dots\dots(3)$$

$$A = a^2 \sin^2 \delta + b^2 \cos^2 \delta, \quad E = \sqrt{A - c^2 \sin^2 \delta} \quad \dots\dots(4), (5)$$

となり、 R_M を δ で示すことができる。

3.1 楕円カムの偏心量の最小値とカムの回転角

図1の楕円カムにおいて偏心量 c が余りに小さいときは δ の増加に比して R_M が減少することがわかるので、 c の量に対してある制限が必要である。図1の楕円カムの運動の始点 B における曲率半径を ρ_B とすれば $\rho_B = b^2/a$ で $OB = a$ であるから次式が成立する。

$$c \geq a - \rho_B = (a^2 - b^2)/a \quad \dots\dots(6)$$

次に M 点の $\xi\eta$ 座標を ξ_M, η_M とすれば図1より $\angle FAM = \delta - \theta$ だから次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \xi_M = e = -R_M \cos(\delta - \theta) \\ \eta_M = x_M \sin \theta + y_M \cos \theta = R_M \sin(\delta - \theta) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(7)$$

$$\text{これから } \theta = \delta - \cos^{-1} \frac{-e}{R_M} \dots\dots\dots (8)$$

となる。図1において従動節が最低位置にくる場合は M 点が B 点と一致する場合で、この点が従動節の行き行程の始点となり、そのときの θ を θ_B で示せば $\delta=0, R_M=a-c$ から

$$\theta_B = -\cos^{-1} \frac{-e}{a-c} \dots\dots\dots (9)$$

となり、 M 点が D 点と一致する場合は従動節が最高の位置にくる必要があるので、これが行き行程の終点で、そのときの θ を θ_D で示せば $\delta=180^\circ$ から

$$\theta_D = 180^\circ - \cos^{-1} \frac{-e}{a+c} = \cos^{-1} \frac{e}{a+c} \dots\dots\dots (10)$$

となる。よって行き行程と戻り行程のカムの回転角をそれぞれ θ_o, θ_r とすれば次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \theta_o &= \theta_D - \theta_B = \cos^{-1} \frac{e}{a+c} + 180^\circ - \cos^{-1} \frac{e}{a-c} \\ \theta_r &= 360^\circ - \theta_o \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

3.2 従動節の変位

図1において運動の始点 B が行程線上にくる M 点の位置を M_1 とし、 $M_1H=k$ とすれば $AM_1 = a-c, AH=e$ から

$$k = \sqrt{(a-c)^2 - e^2} \dots\dots\dots (12)$$

となるので、従動節の M 点が M_1 軸からの高さすなわち変位を h とすれば従動節の変位は次式のようになる。

$$h = R_M \sin(\delta - \theta) - \sqrt{(a-c)^2 - e^2} \dots\dots\dots (13)$$

3.3 従動節の速度

カムの角速度を ω とすれば従動節の速度 $v = dh/dt = \omega \cdot dh/d\theta = \omega \cdot AP$ だから、式(13)を θ で微分すれば速度 v が求められるはずだが、そのためには $dA/d\theta, dE/d\theta, dR_M/d\theta$ を求める必要がある。式(4), (5)より

$$\frac{dA}{d\theta} = 2(a^2 - b^2) \sin \delta \cos \delta \frac{d\delta}{d\theta} \dots\dots\dots (14)$$

$$\frac{dE}{d\theta} = \frac{1}{2E} \left(\frac{dA}{d\theta} - 2c^2 \sin \delta \cos \delta \frac{d\delta}{d\theta} \right) = \frac{a^2 - b^2 - c^2}{E} \sin \delta \cos \delta \frac{d\delta}{d\theta} \dots\dots\dots (15)$$

が得られる。式(3)を θ で微分し、式(14), (15)を代入して整理すれば

$$\frac{dR_M}{d\theta} = F \frac{d\delta}{d\theta}, \quad F = \frac{\sin \delta}{A} \left[\frac{ab}{E} (a^2 - b^2 - c^2) \cos \delta + b^2 c - 2R_M (a^2 - b^2) \cos \delta \right] \dots\dots\dots (16), (17)$$

が得られる。 $d\delta/d\theta$ を求めるには式(7)の第1式を θ で微分すれば

$$\frac{dR_M}{d\theta} = R_M \tan(\delta - \theta) \left(\frac{d\delta}{d\theta} - 1 \right)$$

となるので、これらの式の左辺に式(16)を代入して $d\delta/d\theta$ を求めれば次式が得られる。

$$\frac{d\delta}{d\theta} = \frac{R_M \sin(\delta - \theta)}{G}, \quad G = R_M \sin(\delta - \theta) - F \cos(\delta - \theta) \quad \dots\dots\dots(18), (19)$$

よって、式(13)を θ で微分し式(16), (18)により従動節の速度は次式で求められる。

$$\frac{dh}{d\theta} = \frac{dR_M}{d\theta} \sin(\delta - \theta) + R_M \cos(\delta - \theta) \left(\frac{d\delta}{d\theta} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots(20)$$

$$\frac{dh}{d\theta} = \frac{FR_M}{R_M \sin(\delta - \theta) - F \cos(\delta - \theta)} = \frac{FR_M}{G} \quad \dots\dots\dots(21)$$

3.4 従動節の加速度

従動節の加速度 $d^2h/dt^2 = \omega^2 d^2h/d\theta^2$ だから、式(21)を θ で微分すればよいが、その前に $dF/d\theta$, $dG/d\theta$ を求める必要がある。式(17)を変形すれば

$$F = \frac{ab(a^2 - b^2 - c^2) \sin \delta \cos \delta}{AE} + \frac{b^2c \sin \delta}{A} - \frac{2R_M(a^2 - b^2) \sin \delta \cos \delta}{A}$$

となるので、これを θ で微分すれば

$$\begin{aligned} \frac{dF}{d\theta} = & ab(a^2 - b^2 - c^2) \frac{(\cos^2 \delta - \sin^2 \delta) AE \frac{d\delta}{d\theta} - \left(\frac{dA}{d\theta} E + \frac{dE}{d\theta} A \right) \sin \delta \cos \delta}{A^2 E^2} \\ & + b^2c \frac{\cos \delta A \frac{d\delta}{d\theta} - \frac{dA}{d\theta} \sin \delta}{A^2} \\ & - 2(a^2 - b^2) \left\{ \sin \delta \cos \delta \frac{dR_M}{d\theta} + R_M (\cos^2 \delta - \sin^2 \delta) \frac{d\delta}{d\theta} \right\} A - R_M \sin \delta \cos \delta \frac{dA}{d\theta} \quad \dots\dots\dots(22) \end{aligned}$$

となり、式(19)を θ で微分すれば

$$\begin{aligned} \frac{dG}{d\theta} = & \frac{dR_M}{d\theta} \sin(\delta - \theta) + R_M \cos(\delta - \theta) \left(\frac{d\delta}{d\theta} - 1 \right) \\ & - \frac{dF}{d\theta} \cos(\delta - \theta) + F \sin(\delta - \theta) \left(\frac{d\delta}{d\theta} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots(23) \end{aligned}$$

が得られる。式(21)を θ で微分して加速度を求めれば

$$\frac{d^2h}{d\theta^2} = \frac{\frac{dF}{d\theta} R_M + F \frac{dR_M}{d\theta} - \frac{dh}{d\theta} \frac{dG}{d\theta}}{G} \quad \dots\dots\dots(24)$$

となり、この式に式(22), (23)を代入すればよい。

3.5 行き行程の始点と終点の加速度

図1において円弧従動節の中心 M がカム上の B 点に接するときは行き行程の始点で $\delta = 0$, $h = 0$, $dh/d\theta = 0$ だから前述の各式に代入して複雑な計算の後に次式が得られる。

$$\delta = 0, \quad \frac{d^2h}{d\theta^2} = \frac{(a-c)^2(-a^2 + ac + b^2)}{b^2 \sqrt{(a-c)^2 - e^2}} \quad \dots\dots\dots(25)$$

M 点がカムの D 点に接するときは従動節は最高の位置に達し、行き行程の終点で、 $\delta = 180^\circ$, $dh/d\theta = 0$ となるので前述の式の計算の後に次式が得られる。

$$\delta = 180^\circ, \quad \frac{d^2h}{d\theta^2} = \frac{(a+c)^2(-a^2 - ac + b^2)}{b^2 \sqrt{(a+c)^2 - e^2}} \quad \dots\dots\dots(26)$$

§ 4 従動節のリフトとその値の指定

従動節の往き行程の始点と終点すなわち $\delta=0$ と 180° において従動節の変位 η_M は最低と最高になり

$$\eta_{M\min}=k=\sqrt{(a-c)^2-e^2}, \quad \eta_{M\max}=\sqrt{(a+c)^2-e^2} \dots\dots\dots(27), (28)$$

となるので、リフト H は次式のようなになる。

$$H=\sqrt{(a+c)^2-e^2}-\sqrt{(a-c)^2-e^2} \dots\dots\dots(29)$$

従動節の加速度を論ずるためには H を一定としなければならぬので、 H を指定するものとして偏心量 c を式 (29) より計算すれば次式が得られる。

$$c^2=\frac{H^2(4a^2-H^2)-4H^2e^2}{4(4a^2-H^2)} \dots\dots\dots(30)$$

$$e=0 \text{ のとき } c=H/2 \dots\dots\dots(31)$$

§ 5 押進め角と始点の押進め角の指定

図 1 において M 点におけるカムの法線 MP と行程線 Y 軸のなす角 ϕ はカムの押進め角であって、 ϕ はカムが高速回転する場合 30° 以下が望ましい。図から直角三角形 MHP において $AP=dh/d\theta$ から

$$\tan \phi = \frac{dh/d\theta - e}{\eta_M} = \frac{dh/d\theta - e}{R_M \sin(\delta - \theta)} \dots\dots\dots(32)$$

となる。最大押進め角を減ずるためには $\delta=0$ の始点の押進め角 ϕ_B を負の値にとり、それを指定すればよい。 $\delta=0$ のとき $\eta_M=\sqrt{(a-c)^2-e^2}$ から

$$\tan \phi_B = \frac{-e}{\sqrt{(a-c)^2-e^2}} = -\mu \dots\dots\dots(33)$$

となり、 ϕ_B が負の場合 ϕ_B を摩擦角とすれば $\tan \phi_B$ は摩擦係数となるので上式が得られる。これを變形して e を求めれば次式のようなになる。

$$e = \frac{\mu(a-c)}{\sqrt{1+\mu^2}} \dots\dots\dots(34)$$

c を与えなければ e が求められないので、この式を式 (30) に代入して c を求めれば次式が得られる。

$$c = \frac{H}{2} \times \frac{2\mu^2 Ha + (4a^2 - H^2)\sqrt{1+\mu^2}}{4a^2(1+\mu^2) - H^2} \dots\dots\dots(35)$$

この式により、 H, μ, a を指定して c を求め、式 (34) より e を求めることができる。

§ 6 カムの曲率半径と滑り率

図 1 において半径 r の円弧従動節の場合、接触点 T は MP 上にあり、 $\triangle MHP$ において $AP=dh/d\theta$, $MH=\eta_M$ から MP は次式のようなになる。

$$MP = \sqrt{\left(\frac{dh}{d\theta} - e\right)^2 + \eta_M^2} \dots\dots\dots(36)$$

橢円上の曲率半径 ρ_M は θ をパラメーターとするとき

$$\rho_M = \frac{\left\{ \left(\frac{dx_M}{d\theta} \right)^2 + \left(\frac{dy_M}{d\theta} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2x_M}{d\theta^2} \cdot \frac{dy_M}{d\theta} - \frac{dx_M}{d\theta} \cdot \frac{d^2y_M}{d\theta^2}}$$

なので、これに式(2)の $x_M = -R_M \cos \delta$, $y_M = R_M \sin \delta$ を θ で微分して代入すれば

$$\rho_M = \frac{\left\{ \left(\frac{dR_M}{d\theta} \right)^2 + \left(R_M \frac{d\delta}{d\theta} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{R_M^2 \left(\frac{d\delta}{d\theta} \right)^3 + 2 \left(\frac{dR_M}{d\theta} \right)^2 \frac{d\delta}{d\theta} + R_M \frac{dR_M}{d\theta} \frac{d^2\delta}{d\theta^2} - R_M \frac{d^2R_M}{d\theta^2} \frac{d\delta}{d\theta}}$$

となり、式(16)を代入すれば次式のようなになる。

$$\rho_M = \frac{(F^2 + R_M^2)^{\frac{3}{2}}}{R_M^2 - KR_M + 2F^2}, \quad \text{ただし } K = -\frac{dF/d\theta}{d\delta/d\theta} \dots\dots\dots(37)$$

カムと従動節の滑り率を σ_1, σ_2 とすればそれらは前報¹⁾より次式で与えられる。

$$\sigma_1 = \frac{\rho_M}{\rho_M - r} \cdot \frac{\overline{MP} - r}{MP}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_M}{r} \cdot \frac{\overline{MP} - r}{\rho_M - MP} \dots\dots\dots(38)$$

この種のカムでは常に $r < \rho_M$ で、 $\rho_M = \overline{MP}$ の所では σ_2 は無限大の値となる。

§ 7 カムの滑り率の指定と半径 r の決定

従動節の滑り率 σ_2 は行程中無限大の値をとるが、カムの滑り率も非常に大きくなることもある。特に行き行程の終点 D を少し過ぎた所で最大値となるので、終点 $\delta = 180^\circ$ のカムの滑り率を指定するのが望ましい。 D 点の曲率半径は b^2/a , $\overline{MP} = a + c$ なので式(38)の第1式より、終点のカムの滑り率 σ_1 は

$$\sigma_1 = \frac{b^2}{b^2 - ar} \cdot \frac{a + c - r}{a + c} \dots\dots\dots(39)$$

となり、これから r を求めれば

$$\delta = 180^\circ, \quad r = \frac{b^2(a+c)(\sigma_1 - 1)}{a(a+c)\sigma_1 - b^2} \dots\dots\dots(40)$$

となる。 r を求めるには σ_1 の他に b の値も必要となる。 b の値は任意に選定できるが、例えば行き行程の始点と終点の従動節の加速度を等しくすれば b が決定される。

§ 8 始点と終点の加速度を等しくする b の選定

始点と終点の加速度の式(25), (26)の絶対値を等しくすれば

$$\frac{(a-c)^2(-a^2+b^2+ac)}{b^2\sqrt{(a-c)^2-e^2}} = \frac{(a+c)^2(a^2-b^2+ac)}{b^2\sqrt{(a+c)^2-e^2}}$$

となり、これから b を計算すれば次式のようなになる。

$$b^2 = a \times \frac{(a-c)^3\sqrt{(a+c)^2-e^2} + (a+c)^3\sqrt{(a-c)^2-e^2}}{(a-c)^2\sqrt{(a+c)^2-e^2} + (a+c)^2\sqrt{(a-c)^2-e^2}} \dots\dots\dots(41)$$

式(35)より H, u, a を指定すれば c が求まり、式(34)より e が求まり、式(41)より b が求まり、更に $\delta = 180^\circ$ の σ_1 を指定すれば式(40)より r が求まりカムの諸元を決定することができる。ただし

図4は表1の $a=1.0, r_c=0.3441941$ の場合のデータで θ を横軸とし、変位の h , 速度の $d h/d\theta$, 加速度の $d^2 h/d\theta^2$, 押進め角 ϕ , カムの滑り率 σ_1 と従動節の σ_2 を示す。押進め角の最大値は行き行程で約 33° , 戻り行程で約 35° , 最大加速度の $d^2 h/d\theta^2$ は $\delta=65^\circ$ で 0.57 , $\delta=130^\circ$ で 0.63 となる。カムの滑り率 σ_1 の最大値は $\delta=110^\circ$ で $\sigma_1=1.2$, $\delta=240^\circ$ で $\sigma_1=1.25$ となり、ほぼ均一なことがわかる。

図5は表1のデータで $a=0.8, 1.2, 2.0$ とし, r は r_c を用いた場合の押進め角 ϕ と $d^2 h/d\theta^2$ を示す。始点と終点すなわち $\delta=0, 180^\circ$ の $d^2 h/d\theta^2$ を低くするには a を小さくすればよいが, 行程の途中で大きくなるので, $a=2$ の附近が良好である。また行き行程の ϕ_{max} も $a=0.8$ では 40° を超えるが $a=2.0$ では 11° となるのでよい。このカムは偏心円板カムに近くなる。

カムの大きさは $2(b-r)$ あるいは $2(a-r)$ で示されるので, r を r_c にとり, 表1の場合の $a=0.8\sim 2.0$ に対するカムの大きさを求めたものを図6に示す。図から a が $1.2\sim 1.4$ でカムの大きさは最大となるが, a の変化に対しカムの大きさは殆んど変わらない。 a, b, c を指定し, r を大とすればC点の σ_1 が増大し, またカムの大きさが小となるので注意する必要がある。

図7は表1の $H=1, \sigma_1=1.2, a=1.0$ のデータで図4に示された場合の始点の押進め角の $\mu=0.1$ と $\mu=0.4$ の場合の ϕ と $d^2 h/d\theta^2$ を δ を横軸として比較したものである。

$\mu=0.4$ の場合 $a=1.0, b=1.1070142, c=0.4877883, e=0.1902306, r_c=0.3854431$ となる。図において μ を大にすれば行き行程の押進め角は減少するのでよいが, $d^2 h/d\theta^2$ が戻り行程で大きくなる欠点がある。これは μ が増すと θ_r が減少するからである。 σ_1 については $\mu=0.4$ の場合 $\delta=250^\circ$ で $\sigma_{1max} \doteq 1.27$ となるので $\mu=0.1$ と大差ない。

C点の σ_1 を変えて大きくしてもカムの運動や押進め角に変化なく, r が大きくなるのでカムの大きさは小となり, 使用できなくなる場合が生ずる。

図8は図4のデータの場合の従動節の滑り率 σ_2 を従動節の円弧上に位置を示す ϕ を基準としてとったもので, 接触点の両端で無限大となり, 中央で $\delta=180^\circ$ のとき $\sigma_2 \doteq 18$ でくぼむ。

§ 9 行き行程の始点の加速度が零になる場合

従動節の行き行程の始点の加速度を零にするように b

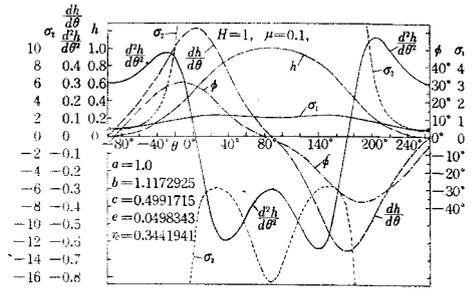


図4 等加速度のカムの運動と ϕ, σ_1, σ_2

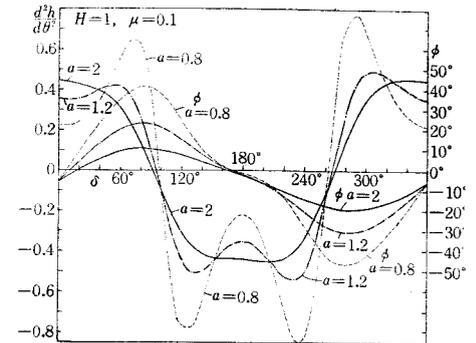


図5 表1の加速度のカムの各 a に対する $\phi, d^2 h/d\theta^2$

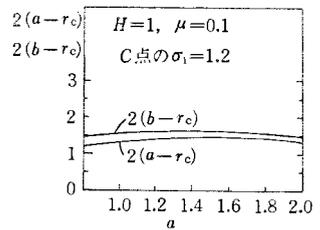


図6 H, μ, σ_1 を指定したカムの大きさ

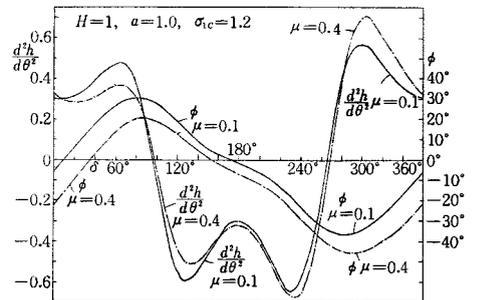


図7 H, a およびC点の σ_1 を指定し, μ を変化した場合の ϕ と $d^2 h/d\theta^2$

の長さを選ぶためには式(25)の右辺を零とおけば

$$b = \sqrt{a(a-c)} \dots\dots\dots(45)$$

が得られ、この場合の終点 $\delta=180^\circ$ の $d^2h/d\theta^2$ は式(26)の b に式(45)を代入すれば次式が得られる。

$$\delta=180^\circ, \frac{d^2h}{d\theta^2} = -\frac{2c(a+c)^2}{(a-c)\sqrt{(a+c)^2-e^2}} \dots\dots\dots(46)$$

H, μ, a 指定すれば式(35)より c , 式(34)より e , 式(45)より b が求められる。この場合 $a > b$ となるので、 $\delta=180^\circ$ の終点の σ_1 を指定すればよい。それには式(40)より次式が得られる。

$$r = \frac{(a-c)(a+c)(\sigma_1-1)}{(a+c)\sigma_1-(a-c)} \dots\dots\dots(47)$$

図9は $H=1, \mu=0.1, \delta=0, d^2h/d\theta^2=0$ の場合の $a=0.6\sim 3.0$ にした場合の各 a に対する c, e, b , および $d^2h/d\theta^2$ の値を縦軸にとったものを示す。図から a が増加しても c は殆んど変化せず、 e は僅かに増加する。そして常に $b < a$ となる。 $d^2h/d\theta^2$ は $a=0.6\sim 1.5$ までは激しいが、それ以上では僅かの減少となる。加速度のみ考えれば a を大きくするほどよいことはわかるが、 r を大きくせねばカムの寸法が大きくなる。 $\delta=180^\circ$ の $\sigma_1=1.2$ の場合の r と $a-r$ の値を図9に示した。図10は $H=1, \mu=0.1, \delta=180^\circ$ の $\sigma_1=1.2$ を指定した場合の各 a に対する b, c, e, r を求めた ($a=2, b=1.7329110, c=0.4985097, e=0.1494039, r=0.5012941$), ($a=3, b=2.7395841, c=0.4982263, e=0.2489358, r=1.0319889$), ($a=5, b=4.7444869, c=0.4979688, e=0.4479688, r=2.3623628$) の3通りの場合の押進め角 ϕ と $d^2h/d\theta^2$ を δ を横軸として示したもので、図から最大押進め角は a が大きい程減少するが+側の最大加速度は a に対して変わらず、-側の最大加速度は a が小さい程大となる。

図11は $a=2$ の場合の従動節の滑り率 σ_2 を円弧上にて ϕ によって示したもので、接触の両端と中央で $\sigma_2 = \infty$ の場合が存在する。

§ 10 行き行程の終点の加速度が零の場合

行き行程の終点すなわち $\delta=180^\circ$ の $d^2h/d\theta^2=0$ の場合の b は式(26)の右辺を0とおけば次式のようになる。

$$b = \sqrt{a(a+c)} \dots\dots\dots(48)$$

この場合 D 点の曲率半径は b^2/a なので、 AD の距

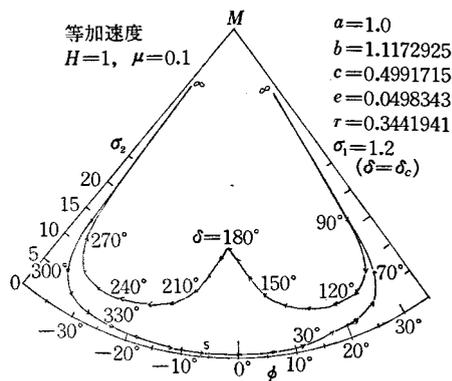


図8 図4の場合の円弧上の滑り率 σ_2

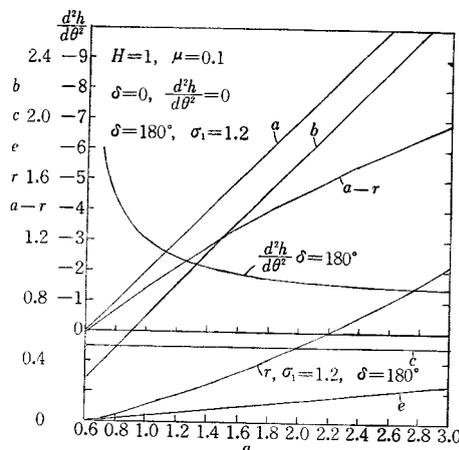


図9 $H=1, \mu=0.1$, 始点の加速度が零の場合の各 a に対する c, e, b と $d^2h/d\theta^2$

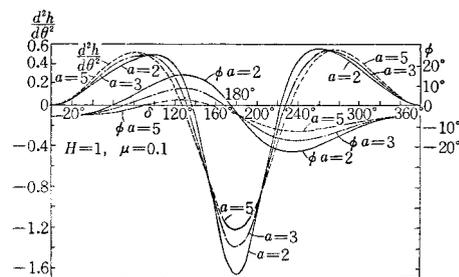


図10 始点の加速度を零とし、 H, μ, σ_1 ($\delta=180^\circ$) を指定した場合の ϕ と $d^2h/d\theta^2$

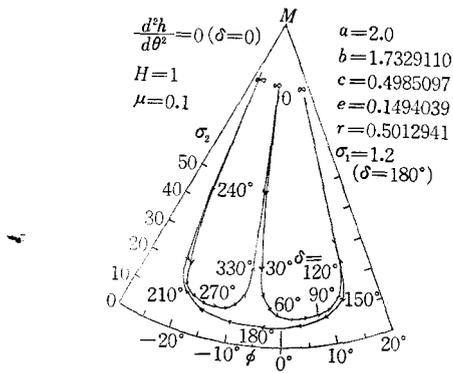


図11 従動節の滑り率 σ_2

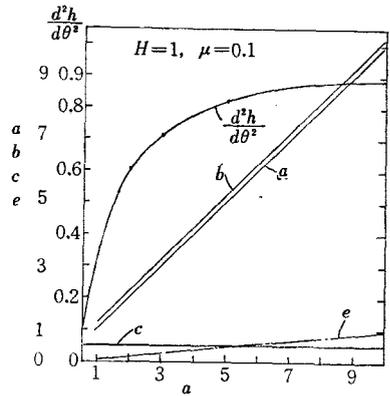


図12 H, μ を指定したときの各 a に対する c, e, b

離 $= a + c$, しかるに式 (48) より $a + c = b^2/a$ だから D 点の曲率中心は回転中心 A に一致することがわかる。

行き行程の始点 B すなわち $\delta = 0$ のときの $d^2h/d\theta^2$ は式 (25) に式 (48) に代入すれば次式が得られる。

$$\delta = 0, \quad \frac{d^2h}{d\theta^2} = \frac{2c(a-c)^2}{(a+c)\sqrt{(a-c)^2 - e^2}} \dots\dots\dots(49)$$

H, μ, a を指定すれば式(35)より c , 式(34)より e , 式(48)より b が求まる。図12は $H=1, \mu=0.1$ を指定し各 a に対する c, e, b と $\delta=0$ の $d^2h/d\theta^2$ を求めたもので、 $a=1\sim 10$ に対し、 c はほぼ一定、 e は僅かに増加し、常に $b > a$ となり、 $d^2h/d\theta^2$ は $a=1\sim 3$ の間に急変し、 $a > 5$ からは余り変らない。 $b > a$ から式(42)~(44)を使用して C 点の σ_1 を指定した場合の従動節の半径 r_c を求める。

今 $H=1, \mu=0.1, a=2, 3, 5$ とすれば前式より ($a=2, b=2.2354014, c=0.4985097, e=0.1494039$), ($a=3, b=3.2395492, c=0.4982263, e=0.2489358$), ($a=5, b=5.2430758, c=0.4979688, e=0.4479688$) が得られる。 C 点の $\sigma_1=1.2$ を指定すれば $a=2, 3, 5$ に対し $r_c=0.839439, 1.5766031, 3.2726572$ となるがカムの大きさをほぼ同じにするために $b-a$ の値が約0.24 とほぼ一定なので $a-r=1.5$ とすれば $r=0.5, 1.5, 3.5$ となるが前の r_c の値と余り違わないのでこれを用いて ϕ と $d^2h/d\theta^2$ を示したのが図13である。これから $a=2$ の方は行き行程で ϕ_{max} が他より大であるが 20° 以下であり、 $d^2h/d\theta^2_{max}$ は他より小である。カムの滑り率 σ_1 は $a=2$ と 5 で余り違わないが僅かに $a=2$ の方がよい。

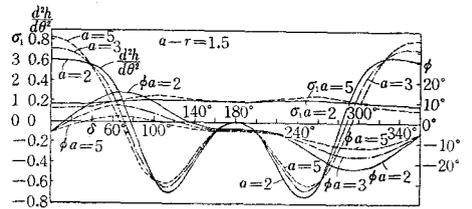


図13 始点の $d^2h/d\theta^2=0$ のときの各 a に対する $\phi, \sigma_1, d^2h/d\theta^2$

図14は $a=2$ の場合の従動節の滑り率 σ_2 を ϕ について求めたもので接触の両端と中央に $\sigma_2 = \infty$ の所が存在する。

§ 11 カムの輪郭と接触点の軌跡

図1においてカムのピッチ曲線は楕円で M 点の xy 座

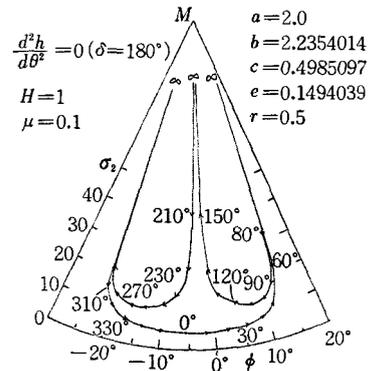


図14 従動節上の σ_2

標 x_M, y_M は式(2)より

$$x_M = -R_M \cos \delta, y_M = R_M \sin \delta \dots\dots\dots(50)$$

で示され、半径 r の円弧従動節の場合の実際のカムの輪郭は接触点 T の xy 座標 x_T, y_T とすれば図1より $\angle PMK = \theta - \phi$ から次に求められる。

$$x_T = x_M - r \sin(\theta - \phi), y_T = y_M - r \cos(\theta - \phi) \dots\dots(51)$$

次に接触点 T の軌跡は T 点の $\xi\eta$ 座標 ξ_T, η_T で示され、図1から次式のようなになる。

$$\left. \begin{aligned} \xi_T &= e + r \sin \phi, \eta_T = \eta_M - r \cos \phi, \\ \eta_M &= R_M \sin(\delta - \theta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(52)$$

ただし θ と ϕ はそれぞれ式(8)と式(32)から求める。

図15は図4の往き行程の始点と終点が等しい加速度の場合のデータによるカムと接触点の軌跡を示す。外側の曲線がピッチ曲線で楕円であり、内側がカムの輪郭であるが上下対称なので上半分示してある。接触点の軌跡はお米の形となる。

図16は図10に示す $\delta = 0, d^2h/d\theta^2 = 0$ の場合の $a = 2, \delta = 180^\circ$ の $\sigma_1 = 1.2, r = 0.5012941$ の場合であり、図17は図13に示す $\delta = 180^\circ, d^2h/d\theta^2 = 0$ の場合の $a = 2$ のとき $a - r = 1.5$ を指定し $r = 0.5$ とした場合のカムの輪郭と接触点の軌跡を示す。共にカムとして良好である。

§ 12 結 論

以上往復かたより円弧従動節をもつ偏心楕円カムの設計において次のような結論が得られた。(1)往復従動節のリフトと往き行程の始点の押進め角と楕円の長径を指定して楕円カムの偏心量を求めることができる。(2)その結果従動節のかたより量が求められる。(3)往き行程の始点における従動節の加速度を等しくしたり、始点の加速度を零に指定したりすることにより楕円の短軸の半径を求めることができる。(4)楕円の長軸上の滑り率を指定して従動節の円弧半径を求めるか、楕円のカムの大きさを指定して円弧半径を求めることができる。(5)楕円カムの大きさを大きくする程最大加速度、最大押進め角には有利であるが、楕円の長軸の半径はリフトの2倍程度で充分利用し得ることがわかった。

文 献

- 1) 糸島寛典：往復楕円カムの滑り率の研究(第2報) 呉高専研究報告 9-1 (1974) 39.
- 2) 糸島寛典：往復正楕円カムの研究(第1報) 呉高専研究報告 11-1 (1975) 33.

(昭和50年10月20日受付)

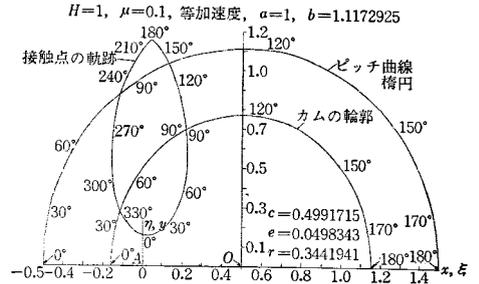


図15 等加速度の場合のカムの輪郭(図4)

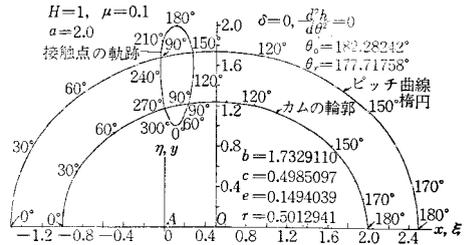


図16 始点の $d^2h/d\theta^2 = 0$ のカムの輪郭(図10)

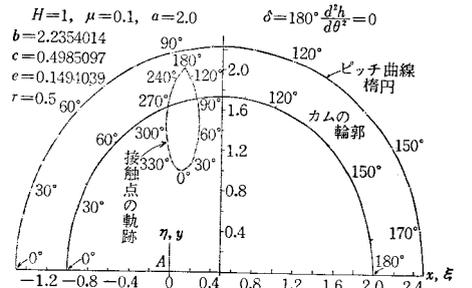


図17 終点の $d^2h/d\theta^2 = 0$ のカムの輪郭(図13)

揺動偏心楕円カムの研究(第1報)

—円弧従動節—

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Eccentric Elliptical Pitch Curve Cam with an Oscillating Follower (Report 1)

—Circular Arc Follower—

Hironori ITOSHIMA

The center of the circular arc or the roller with the oscillating follower traces on the elliptical pitch curve of the cam and the pivot of the cam is offset from the center of the ellipse.

The motion of the oscillating follower is analysed by the parameter and the rotating xy coordinates. The oscillating angle of the follower, the pressure angle and the specific sliding are examined.

If the distance from the axis of the cam to the axis of the follower, the oscillating angle of the follower, the pressure angle at the starting point and the length of the follower are specified, then the semi-major axis of the ellipse and the eccentricity of the cam can be obtained.

Next when the accelerations of the follower at the starting point and the end point are specified, the semi-minor axis of the ellipse can be decided. And then when the specific sliding at the end is specified, the radius of the circular arc follower can be obtained. The best cam size, the length of the follower and the radius of the arc are designed.

§ 1 緒 言

前報¹⁾においてピッチ曲線が楕円で、それを偏心して回転させた場合の往復円弧従動節の運動とカムの設計について論じた。

本報告は前報と同様にピッチ曲線が楕円で、楕円の長軸あるいは短軸上を楕円の中心から偏心した点を回転中心とするカムを考え、従動節の接触部は円弧かローラで揺動する場合の従動節の運動を解析し、揺動角、押進め角、角加速度、滑り率等を求め、更に逆に揺動角、最大押進め角、最大角加速度、カムの最大滑り率等を指定して最良のカム装置の各寸法の設計を行う。

§ 2 記 号

a : 楕円カムの長軸の半径	r : 従動節の円弧半径
b : 楕円カムの短軸の半径	l : 従動節の長さ
c : 偏心量	d : 軸間距離
δ : 長軸と円弧の中心とのなす角	ψ : 従動節の揺動角
R_M : カムの軸心から円弧の中心までの距離	μ : 摩擦係数

- θ : カムの回転角
- θ_0 : 行き行程のカムの回転角
- θ_r : 戻り行程のカムの回転角
- φ : 従動節の角変位
- $d\varphi_1/d\theta$: 従動節の角速度 $= \omega_1 d\varphi_1/d\theta$
- $d^2\varphi_1/d\theta^2$: 従動節の角加速度 $= \omega_1^2 d^2\varphi_1/d\theta^2$
- σ_1 : カムの滑り率
- ω_1 : カムの角速度
- ω_2 : 従動節の角速度
- ρ_M : 楕円の曲率半径
- φ_0 : 従動節の運動の始点の角変位
- φ_1 : 従動節が AB となす角
- σ_2 : 従動節の滑り率

§ 3 揺動偏心楕円カムの機構と運動

図1は揺動偏心楕円カムの機構を示す。図においてカム1のピッチ曲線は長短半径を a, b とする楕円で、回転中心 A は楕円の中心 O より c だけ長軸上に偏心しているものとし、 ω_1 の角速度で反時計回りに回転しており、揺動従動節2は A 点より d だけ離れた B 点の回りに時計回りに ω_2 の角速度で動き、ナイフエッジ従動節 $MB(l)$ の M 点は楕円に接触している。半径 r の円弧従動節の場合はカムの輪郭は破線で示すような曲線となる。

A 点を原点とし長軸を x 軸、 A を通り x 軸に直角に y 軸を考える。 x 軸と AB の交角を θ とすれば θ はカムの回転角となる。従動節 BM を Y 軸に、これと直角に X 軸をとり、 $\angle ABM = \varphi_1$ とすれば φ_1 は従動節の角変位である。

楕円と長軸の交点を C, E とし、短軸との交点を D, F とする。 $\angle CAM = \delta$ をパラメーターとし $AM = R_M$ とし、 M 点の xy 座標を x_M, y_M とすれば楕円の xy 座標は次式のようになる。

$$\left(\frac{x_M - c}{a}\right)^2 + \left(\frac{y_M}{b}\right)^2 = 1, \quad b^2(x_M - c)^2 + a^2 y_M^2 = a^2 b^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$x_M = -R_M \cos \delta, \quad y_M = R_M \sin \delta \dots\dots\dots (2)$$

式(2)を式(1)に代入して R_M を求めれば次式が得られる。

$$R_M = b \times \frac{aE - bc \cos \delta}{A} \dots\dots\dots (3)$$

$$A = a^2 \sin^2 \delta + b^2 \cos^2 \delta, \quad E = \sqrt{A - c^2 \sin^2 \delta} \dots\dots\dots (4), (5)$$

次に θ を求めるのに $\triangle ABM$ において $\angle BAM = 180^\circ - \delta + \theta$ だから、余弦の法則より

$$l^2 = d^2 + R_M^2 - 2R_M d \cos(180^\circ - \delta + \theta)$$

$$\therefore \theta = \delta - 180^\circ + \cos^{-1} \frac{d^2 - l^2 + R_M^2}{2R_M d} \dots\dots\dots (6)$$

また、角 φ_1 は $\triangle ABM$ より次式が得られる。

$$\varphi_1 = \cos^{-1} \frac{d^2 + l^2 - R_M^2}{2ld} \dots\dots\dots (7)$$

3.1 行きと戻り行程のカムの回転角と従動節の揺動角と角変位

従動節の運動の始点と終点では $\delta = 0, R_M = a - c, \delta = 180^\circ, R_M = a + c$ となるので、そのときの θ を θ_C, θ_E とすれば式(6)より

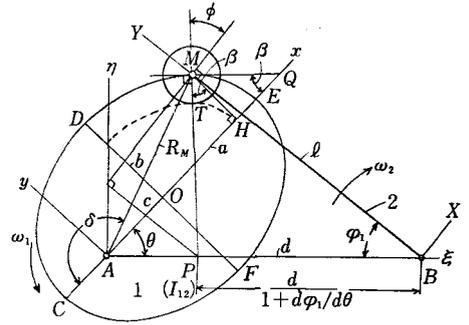


図1 揺動偏心楕円カムの機構

$$\theta_c = -180^\circ + \cos^{-1} \frac{d^2 - l^2 + (a-c)^2}{2d(a-c)}, \quad \theta_E = \cos^{-1} \frac{d^2 - l^2 + (a+c)^2}{2d(a+c)} \dots\dots\dots (8), (9)$$

となるので、往きと戻り行程のカムの回転角をそれぞれ θ_o, θ_r とすれば次式が得られる。

$$\theta_o = \theta_E - \theta_c = \cos^{-1} \frac{d^2 - l^2 + (a+c)^2}{2d(a+c)} - \cos^{-1} \frac{d^2 - l^2 + (a-c)^2}{2d(a-c)} + 180^\circ \dots\dots\dots (10)$$

$$\theta_r = 360^\circ - \theta_o \dots\dots\dots (11)$$

図1において従動節の運動の始点 $\delta=0$ における φ_1 を φ_0 とすれば $R_M = a-c$ から

$$\varphi_0 = \cos^{-1} \frac{d^2 + l^2 - (a-c)^2}{2ld} \dots\dots\dots (12)$$

となり、従動節の揺動角を ψ とすれば、往き行程の終点 $\delta=180^\circ$ においては $R_M = a+c$ から

$$\psi + \varphi_0 = \cos^{-1} \frac{d^2 + l^2 - (a+c)^2}{2ld} \dots\dots\dots (13)$$

$$\psi = \cos^{-1} \frac{d^2 + l^2 - (a+c)^2}{2ld} - \cos^{-1} \frac{d^2 + l^2 - (a-c)^2}{2ld} \dots\dots\dots (14)$$

となり、従動節の角変位 φ は次式のようになる。

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_0 = \cos^{-1} \frac{d^2 + l^2 - R_M^2}{2ld} - \cos^{-1} \frac{d^2 + l^2 - (a-c)^2}{2ld} \dots\dots\dots (15)$$

3.2 従動節の角速度

従動節の角速度 $d\varphi/dt = \omega_1 d\varphi_1/d\theta$ であるので式(7)あるいは式(15)を θ で微分すればよいが、そのために $dA/d\theta, dE/d\theta, dR_M/d\theta, d\delta/d\theta$ を求める必要がある。式(4), (5)より

$$\frac{dA}{d\theta} = 2(a^2 - b^2) \sin \delta \cos \delta \frac{d\delta}{d\theta} = F \cdot \frac{d\delta}{d\theta} \dots\dots\dots (16)$$

$$F = 2(a^2 - b^2) \sin \delta \cos \delta \dots\dots\dots (17)$$

$$\frac{dE}{d\theta} = \frac{(a^2 - b^2 - c^2) \sin \delta \cos \delta}{E} \frac{d\delta}{d\theta} \dots\dots\dots (18)$$

式(3)を θ で微分して式(16), (18)を代入すれば

$$\frac{dR_M}{d\theta} = \frac{b \sin \delta}{A} \left\{ \frac{a(a^2 - b^2 - c^2) \cos \delta}{E} + bc - \frac{2(a^2 - b^2)R_M \cos \delta}{b} \right\} \frac{d\delta}{d\theta} = G \cdot \frac{d\delta}{d\theta} \dots\dots\dots (19)$$

$$G = \frac{\sin \delta}{AE} [\{ ab(a^2 - b^2 - c^2) - 2(a^2 - b^2)ER_M \} \cos \delta + b^2 c E] \dots\dots\dots (20)$$

となる。次に $d\delta/d\theta$ を求めるには式(6)を θ で微分して式(19)を代入すれば次式が得られる。

$$\frac{d\delta}{d\theta} = \frac{R_M \sin(\delta - \theta)}{R_M \sin(\delta - \theta) - G \cos(\delta - \theta) - \frac{GR_M}{d}} \dots\dots\dots (21)$$

角速度を求めるには式(7)を θ で微分して式(19)を代入すれば次式のようになる。

$$\frac{d\varphi}{d\theta} = \frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{R_M}{ld \sin \varphi_1} \cdot \frac{dR_M}{d\theta} = \frac{R_M G}{ld \sin \varphi_1} \cdot \frac{d\delta}{d\theta} \dots\dots\dots (22)$$

3.3 従動節の角加速度

従動節の角加速度を求めるためには $d^2\varphi_1/dt^2 = \omega_1^2 \cdot d^2\varphi_1/d\theta^2$ だから式(22)を θ で微分し、それに式(22)を代入すれば

$$\frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = \frac{\left(\frac{dR_M}{d\theta}\right)^2 + R_M \frac{d^2R_M}{d\theta^2} - ld \cos \varphi_1 \left(\frac{d\varphi_1}{d\theta}\right)^2}{ld \sin \varphi_1} \dots\dots\dots(23)$$

が得られる。 $d^2R_M/d\theta^2$ を求めればよい、それには式(19)を θ で微分して

$$\frac{d^2R_M}{d\theta^2} = \frac{dG}{d\theta} \frac{d\delta}{d\theta} + G \frac{d^2\delta}{d\theta^2} \dots\dots\dots(24)$$

だから $dG/d\theta$, $d^2\delta/d\theta^2$ を求めなければならぬ。

式(20)を θ で微分すれば

$$\begin{aligned} \frac{dG}{d\theta} = \frac{1}{AE} & \left[ab(a^2 - b^2 - c^2) - 2(a^2 - b^2)ER_M \right] (\cos^2\delta - \sin^2\delta) \frac{d\delta}{d\theta} \\ & + b^2cE \cos \delta \frac{d\delta}{d\theta} + \sin \delta \left\{ b^2c \frac{dE}{d\theta} - 2(a^2 - b^2) \cos \delta \left(R_M \frac{dE}{d\theta} + E \frac{dR_M}{d\theta} \right) \right\} \\ & - G \left(E \frac{dA}{d\theta} + A \frac{dE}{d\theta} \right) \end{aligned} \dots\dots\dots(25)$$

となる。次に $d^2\delta/d\theta^2$ を求めるためには、式(21)において

$$H = R_M \sin(\delta - \theta) - G \cos(\delta - \theta) - \frac{GR_M}{d} \dots\dots\dots(26)$$

とおけば式(21), (26)を θ で微分して次式が得られる。

$$\frac{d^2\delta}{d\theta^2} = \frac{1}{H} \left\{ \frac{dR_M}{d\theta} \sin(\delta - \theta) + R_M \cos(\delta - \theta) \left(\frac{d\delta}{d\theta} - 1 \right) - H \frac{dH}{d\theta} \frac{d\delta}{d\theta} \right\} \dots\dots\dots(27)$$

$$\frac{dH}{d\theta} = \frac{dR_M}{d\theta} \sin(\delta - \theta) + R_M \cos(\delta - \theta) \left(\frac{d\delta}{d\theta} - 1 \right) - \frac{1}{d} \left\{ \frac{dG}{d\theta} R_M + G \frac{dR_M}{d\theta} \right\} \dots\dots\dots(28)$$

よって、角加速度の式(23)は次式のようになる。

$$\frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = \frac{1}{ld \sin \varphi_1} \left\{ \left(\frac{dR_M}{d\theta} \right)^2 - ld \cos \varphi_1 \left(\frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 + R_M \frac{dG}{d\theta} \frac{d\delta}{d\theta} + R_M G \frac{d^2\delta}{d\theta^2} \right\} \dots\dots\dots(29)$$

3.4 往き行程の始点と終点の角加速度

往き行程の始点と終点における角加速度は $\delta = 0, 180^\circ$ の場合に以上に示した各式を計算した結果次式のようになる。

$$\delta = 0, \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = \frac{2(a-c)^2 \{ b^2 - a(a-c) \}}{b^2 \sqrt{4l^2 d^2 - \{ d^2 + l^2 - (a-c)^2 \}^2}} \dots\dots\dots(30)$$

$$\delta = 180^\circ, \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = -\frac{2(a+c)^2 \{ a(a+c) - b^2 \}}{b^2 \sqrt{4l^2 d^2 - \{ d^2 + l^2 - (a+c)^2 \}^2}} \dots\dots\dots(31)$$

§ 4 揺動角の指定

従動節の角加速度を論ずる場合、揺動角 Ψ が一定でなければならぬので、 Ψ を指定した場合カムの寸法を計算する。式(14)において

$$\cos^{-1} A - \cos^{-1} B = \cos^{-1} [AB + \sqrt{(1-A^2)(1-B^2)}]$$

の公式を利用し、式(14)を変形すれば

$$\left\{ \frac{d^2 + l^2 - (a+c)^2}{2ld} \right\}^2 + \left\{ \frac{d^2 + l^2 - (a-c)^2}{2ld} \right\}^2 - 2 \left\{ \frac{d^2 + l^2 - (a+c)^2}{2ld} \right\} \left\{ \frac{d^2 + l^2 - (a-c)^2}{2ld} \right\}$$

$$\times \cos \Psi = \sin^2 \Psi \dots \dots \dots (32)$$

$$\text{となるので, } (a-c)^2 = x, (a+c)^2 = y \dots \dots \dots (33)$$

とおき上式に代入して y の 2 次式とすれば

$$y^2 - 2y\{x \cos \Psi + (d^2 + l^2)(1 - \cos \Psi)\} + x^2 + 2(d^2 + l^2)^2(1 - \cos \Psi) - 2(d^2 + l^2)(1 - \cos \Psi)x - 4d^2 l^2 \sin^2 \Psi = 0 \dots \dots \dots (34)$$

となり, y を求め, 吟味した結果次式が得られる。

$$y = (a+c)^2 = x \cos \Psi + (d^2 + l^2)(1 - \cos \Psi) + \sqrt{D_2} \dots \dots \dots (35)$$

$$D_2 = \sin^2 \Psi \{-x^2 + 2(d^2 + l^2)x - (d^2 - l^2)^2\} \dots \dots \dots (36)$$

今 Ψ, d, l が指定されたとき $x = (a-c)^2$ がわかれば式(36), (35)より $y = (a+c)^2$ が求められるので, a, c は次式で求められる。

$$a = \frac{1}{2}(\sqrt{y} + \sqrt{x}), \quad c = \frac{1}{2}(\sqrt{y} - \sqrt{x}) \dots \dots \dots (37)$$

§ 5 押進め角と滑り率

図1において, M 点における橢円の法線と AB の交点を P とすれば $\overline{AP}\omega_1 = \overline{BP}\omega_2$ だから $\overline{AP}d\theta/dt = \overline{BP}d\varphi_1/dt$ となり, $\overline{AP} + \overline{BP} = d$ から

$$\overline{AP} = d \times \frac{d\varphi_1/d\theta}{1 + d\varphi_1/d\theta}, \quad \overline{BP} = \frac{d}{1 + d\varphi_1/d\theta} \dots \dots \dots (38)$$

が得られる。さらに図1より, M 点より MB に垂線を立てれば MP となす角 ϕ は従動節の押進め角となるので, 図1から

$$\overline{MP} \sin \phi = l - \overline{BP} \cos \varphi_1, \quad \overline{MP}^2 = l^2 + \overline{BP}^2 - 2\overline{BP}l \cos \varphi_1$$

が得られるので, これを式(38)に代入すれば

$$\sin \phi = \frac{l - \left(\frac{d}{1 + d\varphi_1/d\theta}\right) \cos \varphi_1}{\sqrt{\left(\frac{d}{1 + d\varphi_1/d\theta}\right)^2 + l^2 - 2l\left(\frac{d}{1 + d\varphi_1/d\theta}\right) \cos \varphi_1}} \dots \dots \dots (39)$$

$$\overline{MP} = \sqrt{\left(\frac{d}{1 + d\varphi_1/d\theta}\right)^2 + l^2 - 2l\left(\frac{d}{1 + d\varphi_1/d\theta}\right) \cos \varphi_1} \dots \dots \dots (40)$$

が得られる。カムと従動節の滑り率 σ_1, σ_2 は円弧半径を r とし, M 点の曲率半径を ρ_M とすれば前報²⁾より次式で示される。

$$\sigma_1 = \frac{\rho_M}{\rho_M - r} \frac{\overline{MP} - r}{\overline{MP}}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_M}{r} \frac{\overline{MP} - r}{\rho_M - \overline{MP}} \dots \dots \dots (41)$$

ただし

$$\rho_M = \frac{(G^2 + R_M^2)^{\frac{3}{2}}}{R_M^2 - KR_M + 2G^2}, \quad K = \frac{dG/d\theta}{d\delta/d\theta} \dots \dots \dots (42)$$

曲率半径 ρ_M は前報¹⁾における F の値と本報における G の値が同一なので, 式(42)のように前報から導かれる。

次に $\tan \phi$ を求めるには図1より $\overline{BP} \sin \varphi_1 \tan \phi = l - \overline{BP} \cos \varphi_1$ が導かれるので次式が得られる。

$$\tan \phi = \frac{l - \left(\frac{d}{1 + d\varphi_1/d\theta}\right) \cos \varphi_1}{\left(\frac{d}{1 + d\varphi_1/d\theta}\right) \sin \varphi_1} \dots\dots\dots(43)$$

5.1 行き行程の始点の押進め角

行き行程の始点の押進め角を ϕ_c とし、これを負にとって $\tan \phi_c = -\mu$ とおけば、 $\delta = 0$ で $d\varphi_1/d\theta = 0$, $\varphi_1 = \varphi_0$ から式(43)と式(12)より

$$-\mu = \frac{l - d \frac{d^2 + l^2 - (a-c)^2}{2ld}}{d \sqrt{1 - \left(\frac{d^2 + l^2 - (a-c)^2}{2ld}\right)^2}} \dots\dots\dots(44)$$

となり、これを $(a-c)$ について整理すれば

$$(a-c)^4(1+\mu^2) - 2(a-c)^2\{d^2 - l^2 + (d^2 + l^2)\mu^2\} + (d^2 - l^2)^2 + \mu^2(d^2 + l^2)^2 - 4d^2l^2\mu^2 = 0 \dots\dots\dots(45)$$

となる。この式は $(a-c)^2$ の2次式なので、これを解き、吟味した結果次式となる。

$$(a-c)^2 = x = \frac{\{d^2 - l^2 + \mu^2(d^2 + l^2)\} - \sqrt{D_1}}{1 + \mu^2} \dots\dots\dots(46)$$

$$D_1 = 4\mu^2l^2\{(1 + \mu^2)d^2 - l^2\} \dots\dots\dots(47)$$

5.2 計 算 例

例えば $\Psi = 20^\circ, d = 1, \mu = 0.1$ を指定し、 $l = 0.4 \sim 0.95$ の各場合、式(47)より D_1 、式(46)より $(a-c)^2 = x$ を求め、式(36)より D_2 、式(35)より $y = (a+c)^2$ を求め、式(37)に代入して a, c が求められる。これ等の値を各 l に対して図示したものが図2である。実際の数値を表1に示す。 l の増加に伴ない c は漸増するが a は急激に減少する。

§ 6 行き行程の始点と終点の等角加速度

従動節の角加速度にある条件を与えることにより短軸の b が求められる。

例えば行き行程の始点 $\delta = 0$ と終点 $\delta = 180^\circ$ の $d^2\varphi_1/d\theta^2$ の絶対値を等しくすれば式(30)、(31)より

$$\frac{2(a-c)^2\{b^2 - a(a-c)\}}{b^2\sqrt{4l^2d^2 - \{d^2 + l^2 - (a-c)^2\}^2}} = \frac{2(a+c)^2\{a(a+c) - b^2\}}{b^2\sqrt{4l^2d^2 - \{d^2 + l^2 - (a+c)^2\}^2}} \dots\dots\dots(48)$$

となるので、これから b を求めれば b^2 に関する2次式が得られる。

$$b^4[(a+c)^4N - (a-c)^4M] - 2b^2[a(a+c)^5N - a(a-c)^5M] + a^2(a+c)^6N - a^2(a-c)^6M = 0 \dots\dots\dots(49)$$

ただし M, N は式(50)に示す。

これを解いて吟味すれば次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} b^2 &= \frac{a(a+c)^5N - a(a-c)^5M - 2ac(a-c)^2(a+c)^2\sqrt{MN}}{(a+c)^4N - (a-c)^4M} \\ M &= 4l^2d^2 - \{d^2 + l^2 - (a+c)^2\}^2 \\ N &= 4l^2d^2 - \{d^2 + l^2 - (a-c)^2\}^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(50)$$

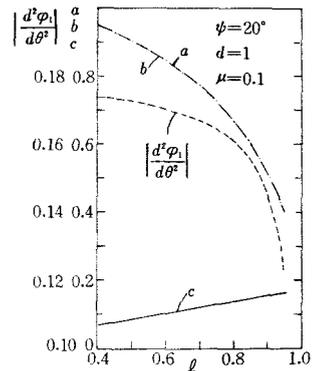


図2 Ψ, d, μ を指定したときの各 l に対する a, c の値

6.1 計 算 例

5.2のデータ $\Psi=20^\circ, d=1, \mu=0.1$ に等角加速度の条件により式(50)に代入して b を求め、式(48)より $d^2\varphi_1/d\theta^2$ を求めたものを図2と表1に示す。 b は a より僅かに大となる。 $d^2\varphi_1/d\theta^2$ は l の増加と共に急速に減少する。

表1に代表的なものの $l, a, b, c, d^2\varphi_1/d\theta^2$ を示す。

μ が一定な場合は l が大きい程、 l が一定の場合は μ が小さい程始点、終点の角加速度は小となる。

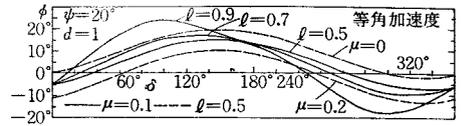


図3 推進め角 (表1)

表1 $\Psi=20^\circ, d=1$, 等角加速度, $\delta=180^\circ, \sigma_1=1.2$

μ	l	a	b	c	r	$d^2\varphi_1/d\theta^2$
0.1	0.5	0.9043249	0.9089591	0.0866235	0.6571895	0.17255
0.1	0.7	0.7691850	0.7793176	0.1213061	0.5040164	0.16693
0.1	0.9	0.5114912	0.5353794	0.1560504	0.3108692	0.14516
0.0	0.5	0.9517496	0.9567019	0.0857242	0.7043827	0.17228
0.2	0.5	0.8603067	0.8645164	0.0868056	0.6145167	0.17297
$\tan 10^\circ$	0.5	0.8703668	0.8746867	0.0868241	0.6241798	0.17285

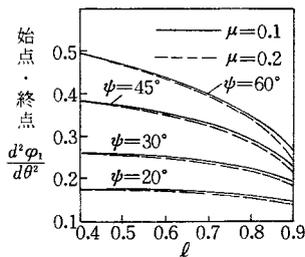


図4 Ψ, μ を指定したとき
各 l に対する始点と終
点の $d^2\varphi_1/d\theta^2$

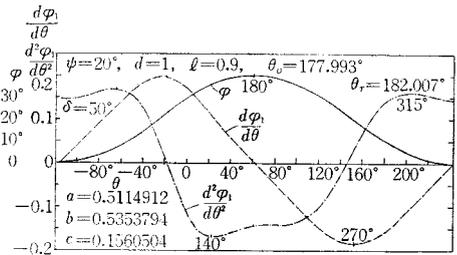


図5 Ψ, d, l を指定した始点と終
点の等角
加速度の場合の従動節の運動

表1のデータの場合の推進め角の変化を式(43)から求めたものを図3に示す。図から往き行程の最大推進め角は $\mu=0.1$ のときは $l=0.5$ の方が小さく、 $l=0.5$ の場合は μ が大きい程小となるが、 μ が余り大きいとその最大推進め角より始点の推進め角の方が大となるので、図の場合 $\mu=0.2, l=0.5$ のときが最良である。

図4は $\Psi=20^\circ \sim 60^\circ$ の場合、 $\mu=0.1, 0.2$ のときの始点、終点のときの始点と終点の等角加速度を各 l に対して求めたもので l が増す程角加速度は減少することがわかり、 $\mu=0.1, 0.2$ の間には l が大きいときのみ差がある。

図5は図3における $\mu=0.1, l=0.9$ の場合の従動節の運動をカムの回転角 θ を横軸にして求めたもので、最大推進め角は図3より 23.5° であるが角加速度には良好な結果を得る。

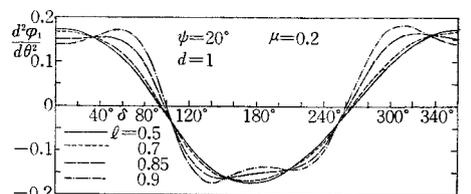


図6 $\Psi=20^\circ, \mu=0.2$ の各 l に対する $d^2\varphi_1/d\theta^2$

表2 $\Psi=20^\circ, d=1, \mu=0.2$

l	a	b	c	$d^2\varphi_1/d\theta^2$
0.5	0.8603067	0.8645164	0.0868056	0.17297
0.7	0.7114680	0.7215689	0.1215312	0.16662
0.85	0.5334092	0.5532349	0.1475791	0.15164
0.9	0.4500290	0.4761856	0.1562636	0.13880

表2は $\Psi=20^\circ, d=1, \mu=0.2$ の場合の各 l に対する a, b, c の値を示す。図6はこれらのデータの場合の $d^2\varphi_1/d\theta^2$ を示す。図から $l=0.85$ の場合が往き行程の始点、終点においてほぼ均一な角加速度をもつことがわかる。

§7 往きと戻りのカム回転角が等しい場合

カムの往きと戻りの回転角 θ_o, θ_r において $\theta_o=\theta_r=180^\circ$ の場合式(10), (11)より

$$\frac{d^2-l^2+(a+c)^2}{2d(a+c)} = \frac{d^2-l^2+(a-c)^2}{2d(a-c)}$$

より $d^2-l^2=a^2-c^2$(51)

が得られる。図7においてナイフエッジ従動節BMを考え、M点が始点C、終点Eで接する場合 $\theta_o=\theta_r$ ならば図のようになるので、B点よりAEの垂線 $BH=k$ とすれば $c=l \sin \Psi/2$, $k=l \cos \Psi/2$ が得られるので、 $a^2=d^2-k^2$ から

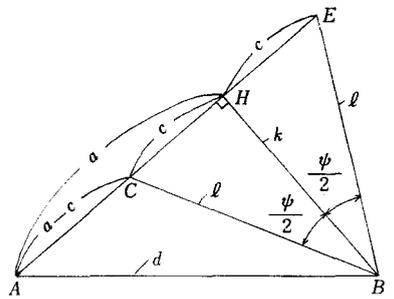


図7 $\theta_o=\theta_r$ のときのM点の位置

$$a = \sqrt{d^2 - l^2 \cos^2 \frac{\Psi}{2}}, \quad c = l \sin \frac{\Psi}{2}$$
.....(52)

が得られる。式(52)は式(51)を満足さす。 Ψ, d, l が指定されれば a, c が式(52)から求められる。

式(45)に式(51)を代入し、さらに式(52)を代入すれば

$$\mu = \tan \frac{\Psi}{2}, \quad \sin \frac{\Psi}{2} = \frac{\mu^2}{\sqrt{1+\mu^2}}$$
.....(53)

が得られる。よって $\Psi=20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ に従って $\mu=0.176327, 0.267949, 0.414213, 0.57735$ となり、 $\mu = \tan \Psi/2$ にとれば $\theta_o=\theta_r=180^\circ$ となる。

さらに $\delta=0, 180^\circ$ の $d^2\varphi_1/d\theta^2$ の絶対値を等しくするためには式(52)より

$$l = \frac{c}{\sin \frac{\Psi}{2}}, \quad d = \frac{\sqrt{a^2 \sin^2 \frac{\Psi}{2} + c^2 \cos^2 \frac{\Psi}{2}}}{\sin \frac{\Psi}{2}}$$
.....(54)

を求め、この値を式(50)の M, N に代入すれば

$$M = 4c^2 \cot^2 \frac{\Psi}{2} (a+c)^2, \quad N = 4c^2 \cot^2 \frac{\Psi}{2} (a-c)^2$$
.....(55)

となるので、式(50)の第1式に代入すれば

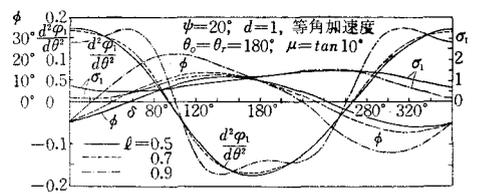


図8 $\Psi, d, \theta_o=\theta_r$ を指定した等角加速度(表3)の $\phi, d^2\varphi_1/d\theta^2$ と滑り率 σ_1

$$b = \sqrt{a^2 + c^2} \dots\dots\dots(56)$$

が得られるので、 Ψ, d, l が指定されれば式(53)より μ , 式(52)より a, c , 式(56)より b が求められる。

7.1 計 算 例

表3は $\Psi = 20^\circ, d = 1, \theta_0 = \theta_r = 180^\circ, \mu = \tan 10^\circ$ の始点と終点の等角加速度の場合の a, b, c の値を

表3 $\Psi = 20^\circ, d = 1, \theta_0 = \theta_r = 180^\circ, \mu = \tan 10^\circ, \delta = 180^\circ, (\sigma_1 = 1.2)$

l	a	b	c	r
0.5	0.8703668	0.8746867	0.0868241	0.6241798
0.7	0.7244138	0.7345411	0.1215537	0.4661237
0.9	0.4630599	0.4887218	0.1562834	0.2809606

示し、図8は表3のデータによる押進め角 ϕ と $d^2\varphi_1/d\theta^2$ を δ に対し示したもので、 l が大きいと最大押進め角が大きくなるが、 $d^2\varphi_1/d\theta^2$ には余り影響がない。

図9は Ψ がもっと大きい場合、 $\Psi = 45^\circ, d = 1, \mu = \tan 22.5^\circ$ で等角加速度の場合の $l = 0.5$ と 0.7 に対し、 a, b, c を求めて、 $\phi, d^2\varphi_1/d\theta^2$ を求めたもので、 l が大きいと ϕ_{max} も $d^2\varphi_1/d\theta^2$ も共に大となるので $l = 0.5$ に近い方がよい。

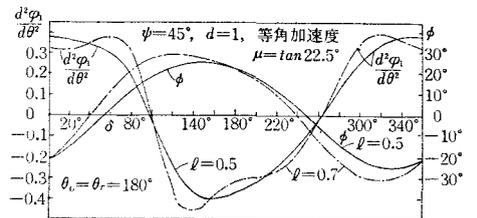


図9 $\Psi = 45^\circ, \theta_0 = \theta_r$ で等角加速度のときの ϕ と $d^2\varphi_1/d\theta^2$

§ 8 行き行程の始点の滑り率と円弧半径

従動節の円弧半径 r を決定するために行き行程の始点と終点 C, E すなわち $\delta = 0, 180^\circ$ におけるカムの滑り率 σ_1 はこのとき $d\varphi_1/d\theta = 0, \overline{MP} = a + c$ あるいは $a - c, \rho_M = b^2/a$ だから式(41)に代入すれば次のようになる。

$$\delta = 0, \sigma_1 = \frac{b^2}{b^2 - ar} \cdot \frac{a - c - r}{a - c} \dots\dots\dots(57)$$

$$\delta = 180^\circ, \sigma_1 = \frac{b^2}{b^2 - ar} \cdot \frac{a + c - r}{a + c} \dots\dots\dots(58)$$

図10は $\Psi = 20^\circ, d = 1, \mu = 0.1$ の表1のデータに対する $l = 0.5, 0.7, 0.9$ の場合の $r = 0 \sim 0.4$ に対する式(57), (58)より求めたカムの滑り率 σ_1 を示したもので、等角加速度の場合 l の値が大きい程、また r の値が大きい程、始点の σ_1 は小さくなり、終点の σ_1 は大きくなることからわかる。よって始点よりも終点のカムの滑り率を指定する必要がある。例えば $l = 0.5$ のとき $\sigma_1 < 1.2$ の必要がある。 r が小さい程 σ_1 は1に近づく。

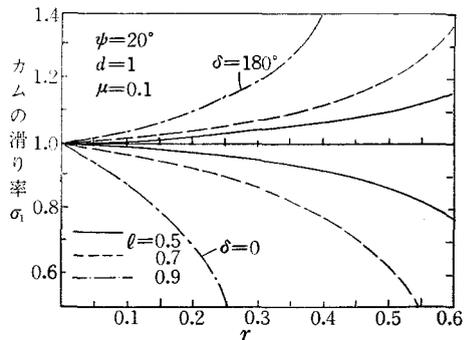


図10 $\Psi = 20^\circ, \mu = 0.1$ 各 r に対するカムの最大滑り率 σ_1

8.1 カムの滑り率の指定

カムの滑り率 σ_1 については $a > b$ のとき、行き行程の終点 E を少し過ぎた所が最大となるが、 E 点

の σ_1 を指定すればよいから、式(58)より r を求めれば

$$\delta=180^\circ, r = \frac{b^2(a+c)(\sigma_1-1)}{a(a+c)\sigma_1-b^2} \dots\dots\dots(59)$$

となる。そこで表1のデータの場合すなわち始点と終点の等角加速度の場合の各 l と $\sigma_1=1.2$ ($\delta=180^\circ$) に対する r を表1に示し、 r と $a-r$ を求めたものを図11に示す。図から l の増加と共に r は減少するが実際のカムの長軸の半径を示す $a-r$ はほぼ一定なので、 l の変化によるカムの寸法には大差はない。図8には $\delta=180^\circ$, $\sigma_1=1.2$, $l=0.5$ と 0.9 の場合の σ_1 曲線を式(41)より示す。始点と終点の等角加速度のため、 $b > a$ なる故カム上の F 点附近の σ_1 が最大になる可能性はあるが、 $\delta=180^\circ$ の E 点の σ_1 が低くおさえられているので、余り大きな値とはならぬ。

図12には図8の $\Psi=20^\circ$ の等角加速度で $\mu=\tan 10^\circ$, $l=0.5$ の場合の従動節の滑り率 σ_2 をその円弧上の位置を示す押進め角 ϕ によって示したもので、接触の両端で $\sigma_2 = \infty$ となるが途中ではほぼ一定ある。

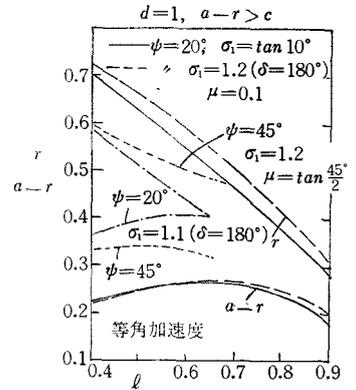


図11 表1の場合の σ_1 を指定した各 l に対する r と $a-r$

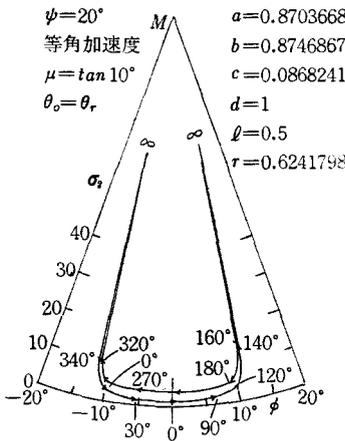


図12 $\Psi=20^\circ$ の従動節上の σ_2

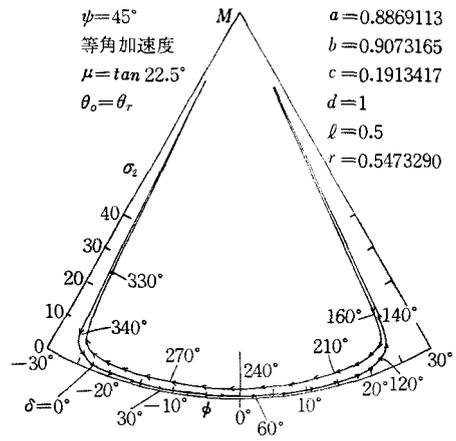


図13 $\Psi=45^\circ$ の従動節上の σ_2

図13は図9の $\Psi=45^\circ$, $\mu=\tan 22.5^\circ$, $l=0.5$ の場合の σ_2 を前と同様に示したもので、図12と同様な傾向にある。ただし接触範囲が広い。

§ 9 行き行程の終点の角加速度が零の場合

行き行程の終点の角加速度を零とすれば式(31)より

$$b = \sqrt{a(a+c)} \dots\dots\dots(60)$$

が得られるので、 Ψ, μ, d, l を指定すれば式(46), (47) から $x=(a-c)^2$ が、式(36), (35) から $y=(a+c)^2$ が式(37)から a, c が求められ、式(60)から b が得られる。図14, 15はそれぞれ表4のデータで ϕ と $d^2\varphi_1/d\theta^2$ を示したものである。 $\phi, d^2\varphi_1/d\theta^2$ については $l=0.5$

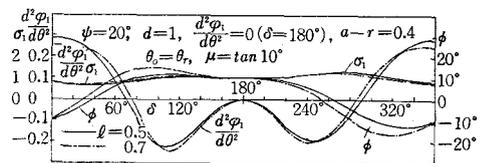


図14 終点の角加速度が零の場合

の方がよい結果を示す。

カムの大きさは $a-r$ の2倍であるので、終点のカムの滑り率 σ_1 を指定しないで、 $a-r$ を指定して $a-r=0.4$ とし、 r を求めて σ_1 を計算した結果を図14, 15に示す。 $l=0.5$ と 0.7 では殆んど等しいが僅かに $l=0.7$ の方が有利である。

図16, 17はそれぞれ図14, 15の $l=0.5$ の場合の σ_2 を円弧上に描いたもので両端で無限大となり内側の端で図のように変化するが他の場所ではほぼ一定となる。

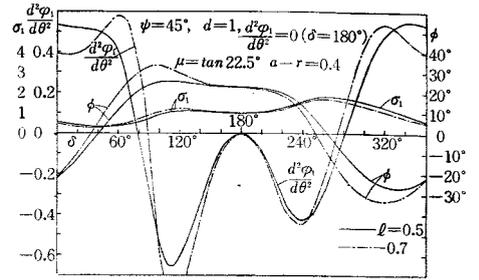


図15 終点の角加速度が零の場合

表4 $d=1, \theta_0=0, r=180^\circ, \mu=\tan \Psi/2, d^2\phi_1/d\theta^2=0 (\delta=180^\circ), a-r=0.4$

Ψ	l	a	b	c	r
20°	0.5	0.8703668	0.9127471	0.0868241	0.4703668
	0.7	0.7244138	0.7828349	0.1215537	0.3244138
45°	0.5	0.8869113	0.9779135	0.1913417	0.4869113
	0.7	0.7627312	0.8866104	0.2678784	0.3627312

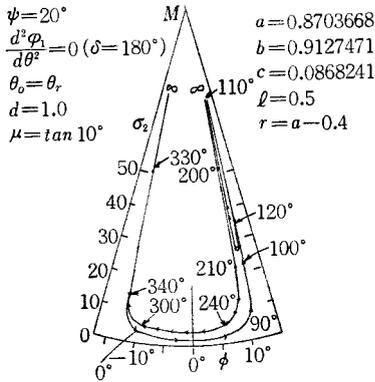


図16 従動節上の σ_2 (図14)

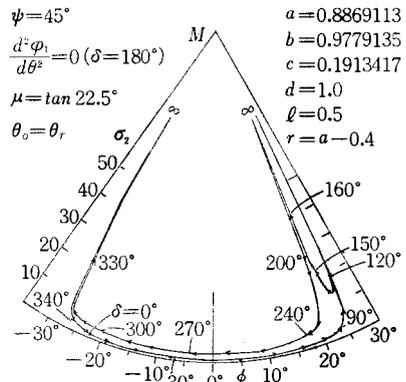


図17 従動節上の σ_2 (図15)

§ 10 行き行程の始点の角加速度が零の場合

行き行程の始点 $\delta=0$ の従動節の角加速度が零の場合は式(30)から

$$b = \sqrt{a(a-c)} \dots \dots \dots (61)$$

が得られるので、 Ψ, μ, d, l を指定すれば前節と同様式(46), (47)と式(36), (35), (37)から a, c が求められ、式(61)から b が得られる。さらに $\delta=180^\circ$ の σ_1 を指定して r を式(59)より求め、図18と表5に示す。

図18から c は l の増加と共に直線的に漸増するが、 $\delta=180^\circ$ の $d^2\phi_1/d\theta^2$ は急増するので $l < 0.7$ がよい。 r は l の増加と共に減少し、カムの大きさを示す $a-r$ は図から $l=0.6$ の所で最大となり、両側で減少する。 Ψ が大きい程 $a-r$ と c の値は大きい。とくに $d^2\phi_1/d\theta^2$ についてそれが

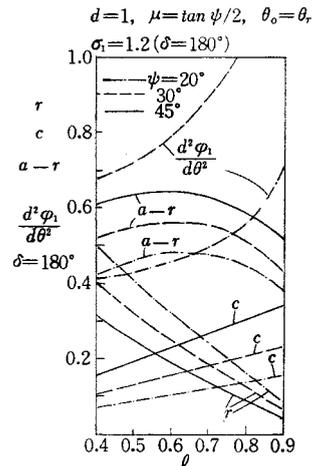


図18 始点の角加速度の零の場合の各 l に対する $c, r, a-r$ と終点の $d^2\phi_1/d\theta^2$

表5 $d=1, \theta_o=\theta_r=180^\circ, \mu=\tan \Psi/2, d^2\phi_1/d\theta^2=0 (\delta=0), \sigma_1=1.2 (\delta=180^\circ)$

Ψ	l	a	b	c	r
20°	0.5	0.8703668	0.8258145	0.0868241	0.4108617
	0.7	0.7244138	0.6608480	0.1215537	0.2473921
	0.9	0.4630599	0.3769031	0.1562834	0.087069
45°	0.5	0.8869113	0.7854352	0.1913417	0.2506961
	0.7	0.7627312	0.6143612	0.2678784	0.1374888

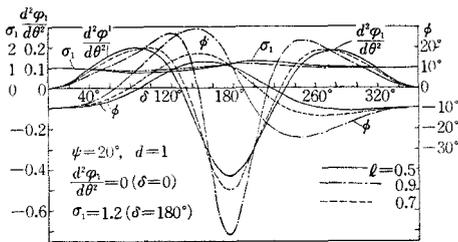


図19 始点の角加速度が零の場合の各 l に対する $\phi, \sigma_1, d^2\phi_1/d\theta^2$

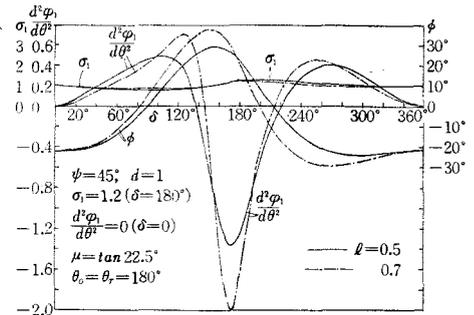


図20 $\Psi=45^\circ$ の場合の $\phi, \sigma_1, d^2\phi_1/d\theta^2$

云える。

図19は表5の $\Psi=20^\circ$ のデータで $\phi, d^2\phi_1/d\theta^2, \sigma_1$ を求めたもので、 l が大きいと ϕ_{max} と $d^2\phi_1/d\theta^2$ が大きくなりすぎる。 $l=0.5$ の場合がよい。

図20は表5の $\Psi=45^\circ$ のデータで $\phi, d^2\phi_1/d\theta^2, \sigma_1$ を求めたもので、図19と同様 $l=0.5$ の方がよい。

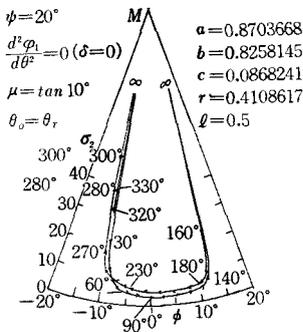


図21 従動節上の σ_2 (図19)

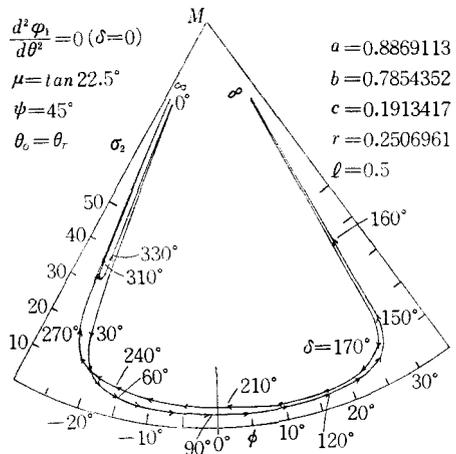


図22 従動節上の σ_2 (図20)

図21, 22は図19, 20の $l=0.5$ の場合の σ_2 を従動節の円弧上に ϕ に対し示したもので図16, 17と逆に外側の端で変化する。

§ 11 カムの輪郭と接触点の軌跡

カムのピッチ曲線は楕円であるが、円弧従動節の場合カムの実形は楕円でなく r の距離にある曲線と

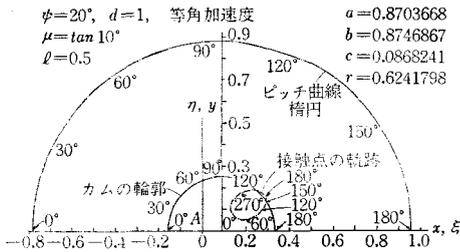


図23 カムの輪郭

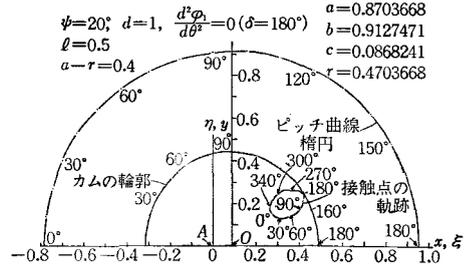


図24 カムの輪郭

なる。

ピッチ曲線は式(2)の x_M, y_M で求められ、カムの輪郭は図1から接点 T の座標 x_T, y_T で求められる。 M 点における接線と x 軸の交点を Q とし、 $\angle MQA = \beta$ とし、 M 点より x 軸に垂線 MH を下せば、 $\angle TMH = \angle MQA = \beta$ となり、 $AH = x_M, MH = y_M, MT = r$ から

$$x_T = x_M - r \sin \beta, y_T = y_M - r \cos \beta \dots\dots\dots(62)$$

式(1)を x で微分すれば β は次式で求められる。

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{b^2(x_M - c)}{a^2 y_M} = -\tan \beta \dots\dots\dots(63)$$

11.1 接触点の軌跡

接触点の軌跡は図1において A を原点と考え、 A より $\xi \eta$ 軸をとり、 M 点の座標 x_T, y_T を $\xi \eta$ 座標に変換すれば

$$\xi_T = x_T \cos \theta - y_T \sin \theta, \eta_T = x_T \sin \theta + y_T \cos \theta \dots\dots\dots(64)$$

ただし $\theta = \delta - 180^\circ + \cos^{-1} \frac{d^2 - l^2 + R_M^2}{2R_M d}$

となるので、これから ξ_T, η_T は求められる。

11.2 計算例

図23は図8の $l=0.5$ の場合を、図24は図14の $l=0.5$ の場合、図25は図19の $l=0.5$ の場合の a, b, c, d, l のデータを式(4), (5), (3), (2)に入れて x_M, y_M を求めピッチ曲線を描き、式(63), (62)より x_T, y_T を求めてカムの輪郭を描き、式(64)により接触点の軌跡を描いた。いずれも滑らかな曲線で使用し得る。

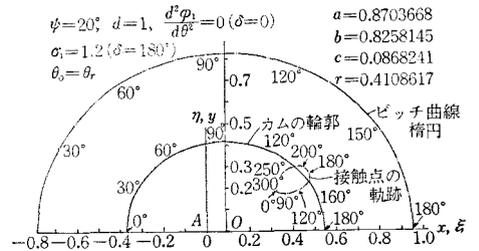


図25 カムの輪郭

§12 結論

以上により円弧の揺動従動節をもつ偏心楕円カムの設計において次の結論が得られた。

- (1) 往き行程の始点の押進め角と従動節の揺動角を指定し、従動節の長さを指定すれば、楕円の長径と偏心量が求められる。
- (2) 往き行程の始点の押進め角を負とし、揺動角の半分にとれば、往きと戻り行程のカムの回転角が等しくできる。
- (3) 従動節の角加速度を往き行程の始点と終点で等しくするか、終点で零にするかあるいは始点で零にするか等の指定により短軸の半径が求められる。
- (4) 長軸の端の滑り率を指定することにより従動節の円弧半径が決定され、それによるカムの滑り率は変化が小さい。
- (5) 従動節

の長さによりカムの大きさは余り変らない。(6)従動節の長さは短かい方が押進め角と角加速度の点でよい。

次報においては揺動平板従動節をもつ偏心橢円カムについて論ずる。

文 献

- 1) 糸島寛典：往復偏心橢円カムの研究—円弧従動節—呉高専研究報告, 11—2 (1976) 1
- 2) 糸島寛典：揺動橢円カムの研究(第1報)—円弧従動節—呉高専研究報告, 10—2 (1975) 25
- 3) 糸島寛典：揺動正橢円カムの研究(第1報)—円弧従動節—呉高専研究報告, 11—1 (1975) 45

(昭和50年10月20日受付)

スワールボックスの研究

(機械工学科) 久保田 勲

(機械工学科) 河 口 勇 治

A Study on Swirl Box

Isao KUBOTA

Yuji KAWAGUCHI

It is well known both theoretically and experimentally that the quantity of suction air increases owing to the ramming effect, resulted from the straight suction-pipe of the suitable length for the engine speed. The similar effect, we expect, will be acquired by use of a suction chamber (we temporarily name this "Swirl Box"), instead of a straight pipe, in which the air streams spirally. The characteristics of the air stream in the swirl box, of course, will be different from those in the straight pipe, the conventional theory of ramming effect not applied, especially due to centrifugal force joined.

Now, the theory apart, we investigate the quantity change of continuous air-flow generated by a vacuum cleaner under various conditions, first for the purpose of studying the basic properties of the swirl box. As the air-flow is pulsatile in the suction pipe of an internal combustion engine, the results of this experiment under the continuous flow may not be directly applied to practical engines, but will be a step toward it.

§ 1 緒 言

内燃機関を定速運転する場合、その回転数に対して適当な長さ l_0 の直管形吸気管を取りつけると、慣性効果によって吸入空気量が増加することは、理論的にも実験的にもよく知られている現象であるが、直管形吸気管の代りに吸気が螺旋状に流れる容器（これを仮にスワールボックスと吸ぶことにする）を使用し、その螺旋状吸気通路の総長を適当にえらべば、やはり吸入空気量の増加が得られるのではないかと考えられる。この予想が実現すれば、従来の直管を用いる場合よりも、機関室を小さくできるという実用面での利点も考えられる。

もちろん、スワールボックスにおける空気の流れは、直管の場合とは当然流れの特性が異なるであろうし、特に遠心力という要因が介入してくるので、従来の慣性効果の理論を適用することはできないであろうが、渦流というもの

が、やはり流量にかなりの影響をおよぼすものと推定される。その理論検討はさしおいて、まず実験的に調べてみることにした。

ただし今回の実験は、第一段階として、スワールボックスの基礎的性質を知ることを目的とし、真空掃除機を用いて連続的な空気流を発生させ、種々の条件のもとに、空気流量の変化を調べることにした。実際の機関では脈動気流であるから、本実験の結果が直ちに実機関への応用と結びつくものではないが、そのいとぐちにはなると考えられる。

§ 2 実験の概要

スワールボックスの機構を図1に示す。①は外筒、②は内筒、③は吸気流入管、④は流出管である。吸気は内外筒の間の空間を、一点鎖線で示すような螺旋状の軌跡をえがいて通過する。吸気の流動状態が観察できるように、外筒①と上下カバーおよび流入流出管③④は、すべ

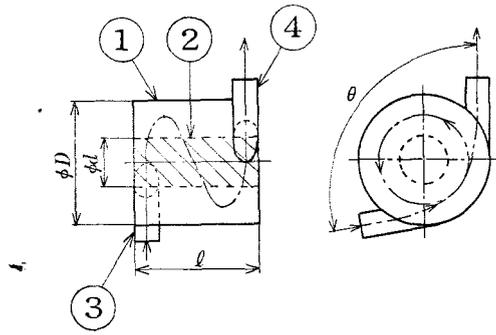


図1 スワールボックス

て透明なアクリル樹脂を用いることにした。内筒②は木製である。

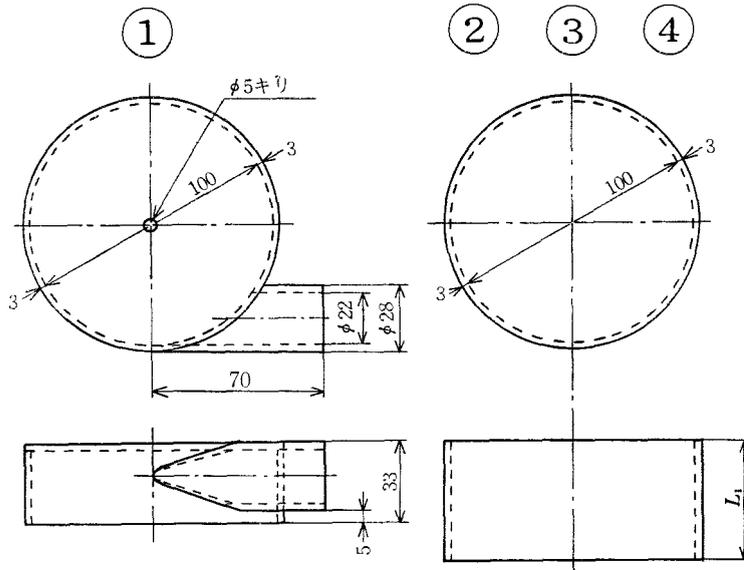
実験要領は次のとおりである。すなわち外筒径 D および流入流出管の寸法を一定とし、筒長 l と内筒径 d および流入角 θ を種々に変化させて、吸気の流量がどう変わるかを調べる。このために図2に示すように、外筒は胴筒と上下カバーで構成し、上下カバーにはそれぞれ流入管および流出管を接着剤で取りつけ、胴

筒は図の②③④の3種類の組合せで筒長 l を変えると共に、流入角 θ も自由に変化させることのできる構造とする。実験時は、組合せ外筒の継ぎ目には粘着テープを巻き、外気の流入を防ぐ。内筒径 d は 45, 70, 90mm の3種類に変化させ、上下カバーに木ねじで固定する。

上記の構造のもとに、表1に示すように、3種類の胴筒を組み合わすことによって、7種類の外筒が得られ、さらにこれを3種類の内筒と

表1 スワールボックスの組合せ

胴筒 (単一)	内径 D (mm)	$\phi 100$						
	No.	①	②	③				
	高さ L_1 (mm)	25	50	100				
胴筒 (組合せ)	組合せ	①	②	①②	③	①③	②③	①②③
	高さ l_2 (mm)	25	50	75	100	125	150	175
外筒	高さ l (mm)	91	116	141	166	191	216	241
内筒	外径 d (mm)	$\phi 45,$		$\phi 70,$	$\phi 90$			



	②	③	④
L_1	25	50	100

4	胴筒	アクリル	1		キ	
3	胴筒	アクリル	1		キ	
2	胴筒	アクリル	1		キ	
1	カバー	アクリル	2		キ	
部番	品名	材質	個数	重量	工程	記事

図2 スワールボックス部品図

組合せて、合計21種類のスワールボックスが得られるので、これについて実験をおこなうことにする。また吸気流量は、次節に述べる3つの数値を採用することにした。

§ 3 実験の詳細

吸入空気量は、ガソリン機関への応用を前提として、機関の全負荷、1/2負荷および無負荷時の吸気量を基準値とすることにした。すなわち、まず実験用4サイクルガソリン機関を運転し、定格回転数 3500 r.p.m. のもとに、定格出力 3.5 PS, 分力 1.75 PS およびアイドルの3条件で吸入空気量を測定記録する。測定にはノズルとマンメータによる差圧式流量計を使用した。測定結果は表2のとおりで、これが

表2 機関吸入空気量 (3500 r.p.m.)

出力 (PS)	0	1.75	3.5
差圧 (mmAq)	5.0	7.5	13.7
吸気量 (kg/sec)	12.4×10^{-4}	15.2×10^{-4}	20.9×10^{-4}

スワールボックスの効果判定の基準となる。すなわち、スワールボックスを用いた場合に、吸気量が表2の数値を上まわるかどうかを実験するわけである。

次に真空掃除機の吸込管を流量測定装置に接続して掃除機を起動し、吸入空気量が表2の各値と等しくなるように、吸込管の途中に絞りを入れたのち、図3に示すように、真空掃除機Aの吸込口とスワールボックスBの流出管とを接続し、流入管には流量測定装置をつなぎ、掃除

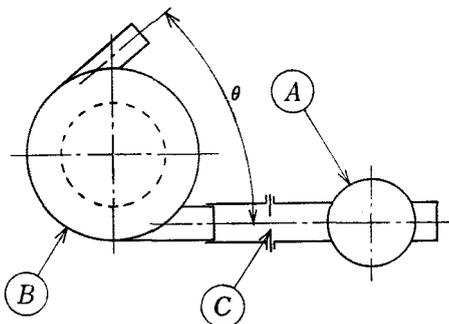


図3 真空掃除機による実験要領

機を起動してスワールボックスに気流を流す。図中Cが前記の絞りである。この条件のもとに流入角 θ を 30° ごとに变化させて、最大流量を示す θ を見出す。写真1はこの実験要領を示したもので、Aが掃除機、Bがスワールボックスで、C部に上記絞りが入っている。

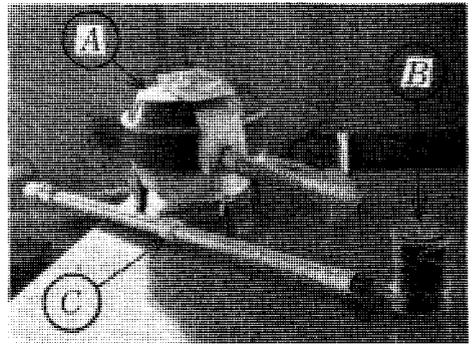


写真1 実験装置

§ 4 実験結果および考察

上記の要領で、前述の21種類のスワールボックスについて実験した結果を、流量 G_a と流入角 θ との関係にまとめて表わしたものが、図4~12である。スワールボックスを用いない場合の基準流量 G_{a0} (表2の値) は、図中に点線で

符号規定 (図4~図12共通)

- $l = 25 \text{ mm}$
- × $l = 50 \text{ mm}$
- $l = 75 \text{ mm}$
- △ $l = 100 \text{ mm}$
- ▲ $l = 125 \text{ mm}$
- $l = 150 \text{ mm}$
- $l = 175 \text{ mm}$

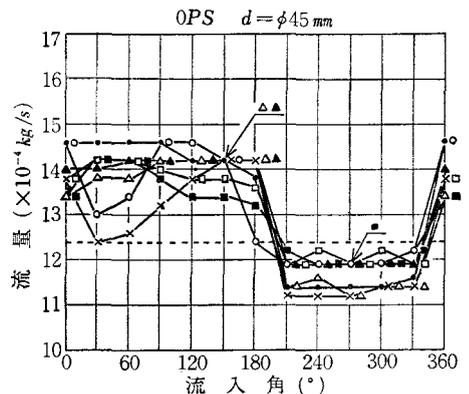


図4 流量と流入角との関係

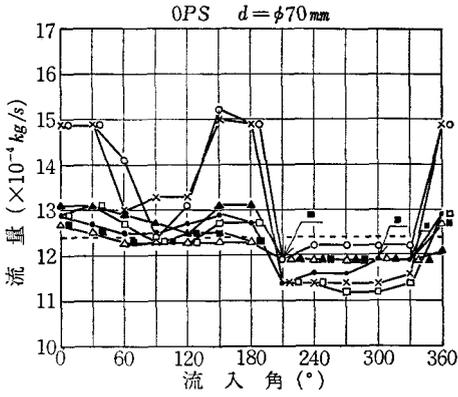


図5 流量と流入角との関係

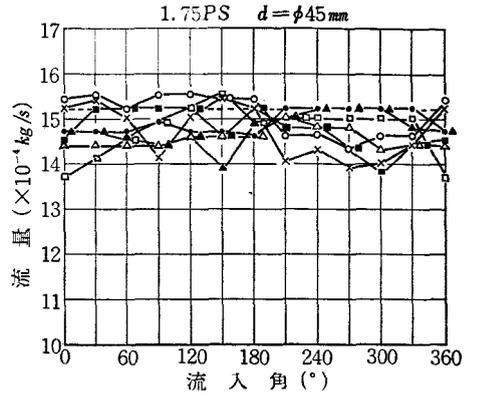


図7 流量と流入角との関係

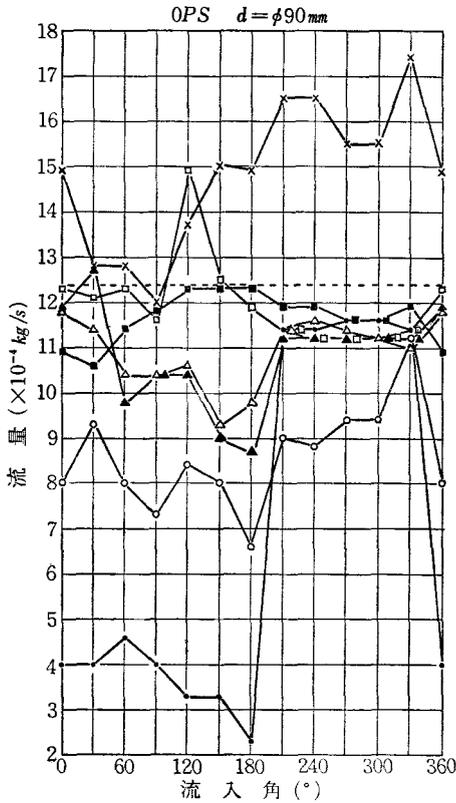


図6 流量と流入角との関係

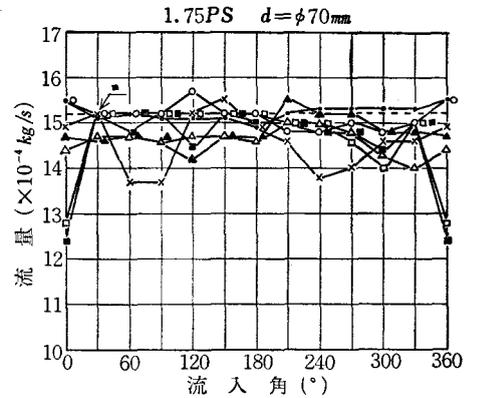


図8 流量と流入角との関係

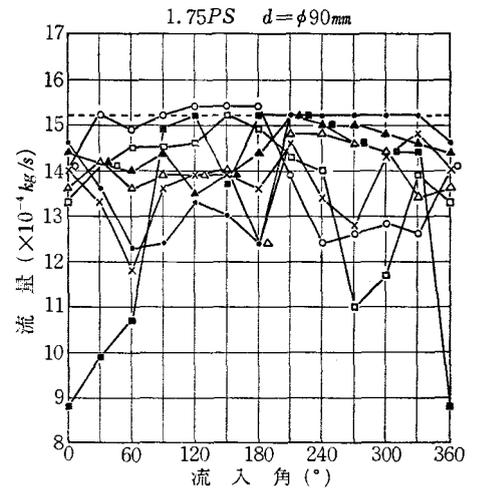


図9 流量と流入角との関係

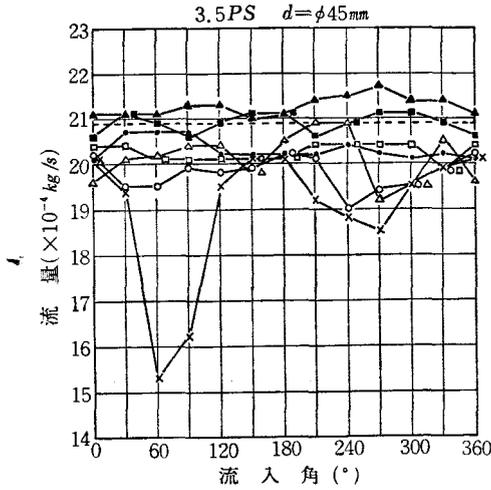


図10 流量と流入角との関係

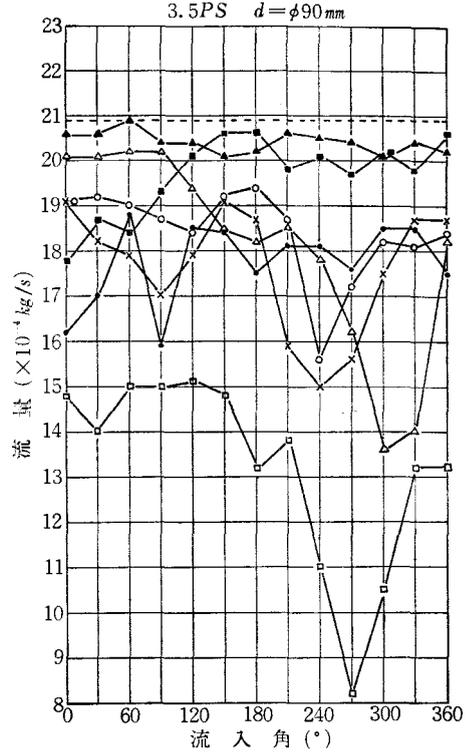


図12 流量と流入角との関係

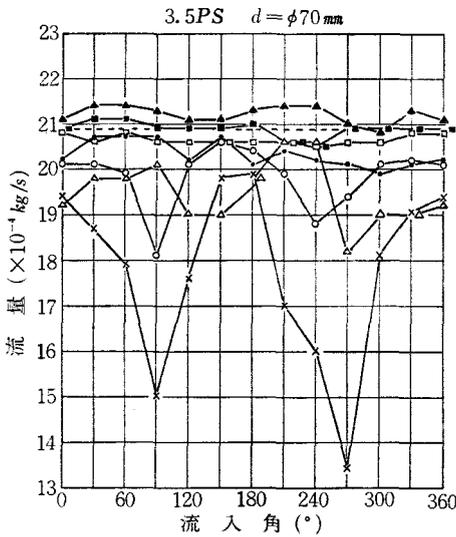


図11 流量と流入角との関係

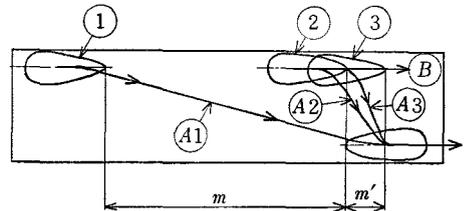


図13 流入口流出口との相対関係

示してある。これらの図で気をつくことは、 θ が 180° と 210° の間に、 G_a の急変点が存在するらしいことである。図4および図5では、その点を境に G_a が急激に減少しているのがはっきりと認められ、図6以下においても程度の差こそあれ、急減あるいは急増の傾向が共通して見られるようである。

これにはスワールボックスの流入口と流出口の相対位置が関係するのではないかと推定される。スワールボックスの外筒を展開して、流出口の相対位置を示したものが図13であるが、

流入口縁と流出口縁との距離を m とすると、 $\theta = 0^\circ$ では $m = \frac{\pi D}{2}$ で流入口は①の位置にあり、気流は(A1)で示すように、流入口から流出口への単一流を形づくると考えられるが、 $\theta = 180^\circ$ では $m = 0$ となって、気流は流出口に向う(A2)の外に、円周方向の(B)が生じはじめ、さらに θ が大きくなると $m = m'$ という円周方向における流出口の重なりが生じ、遂には(A)気流は消滅して(B)気流のみが、別側の半円周を回って流出口へ流れて行くことになる。 θ が 180° と 210° の間で G_a の不連続点が生じ

ているのは、これが原因ではないかと想像するのであるが、この推定が正しいかどうかは、勿論気流の可視化によって確認しなければならない。

図14~22は、 θ をパラメータにして、基準流量に対する流量比 $\mu = G_a / G_{a0}$ (%) と胴筒組合せ高さ L_2 との関係を示したものであるが、最小組合せ高さ $L_2 = 25\text{mm}$ の整数倍ごとに、 G_a

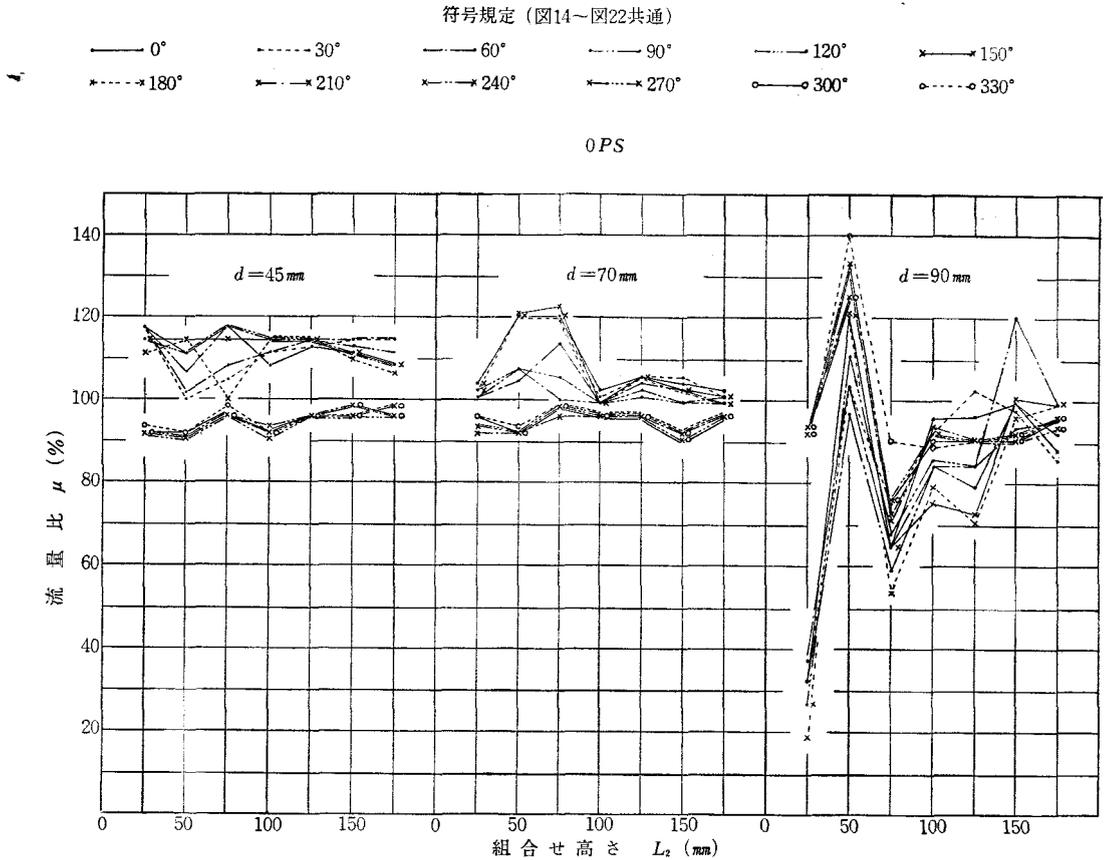


図14 流量比と組合せ高さとの関係 図15 流量比と組合せ高さとの関係 図16 流量比と組合せ高さとの関係

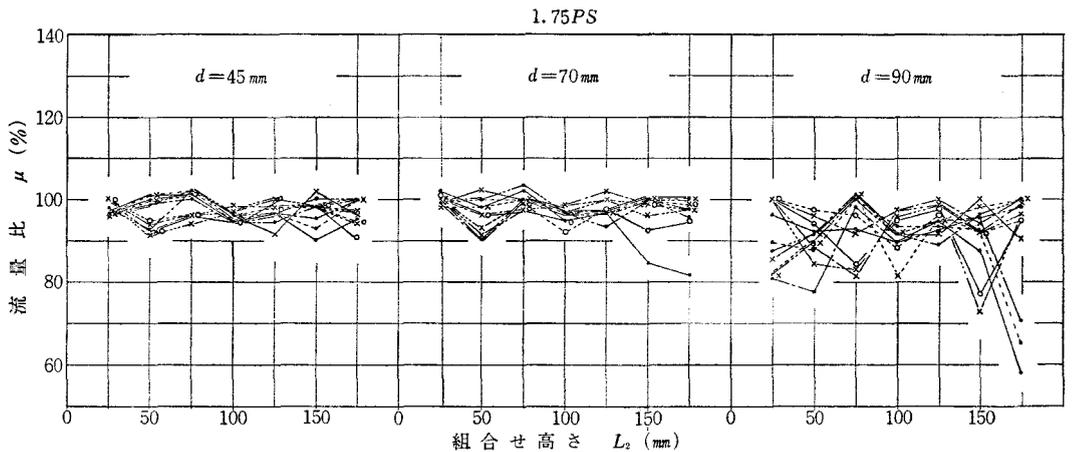


図17 流量比と組合せ高さとの関係 図18 流量比と組合せ高さとの関係 図19 流量比と組合せ高さとの関係

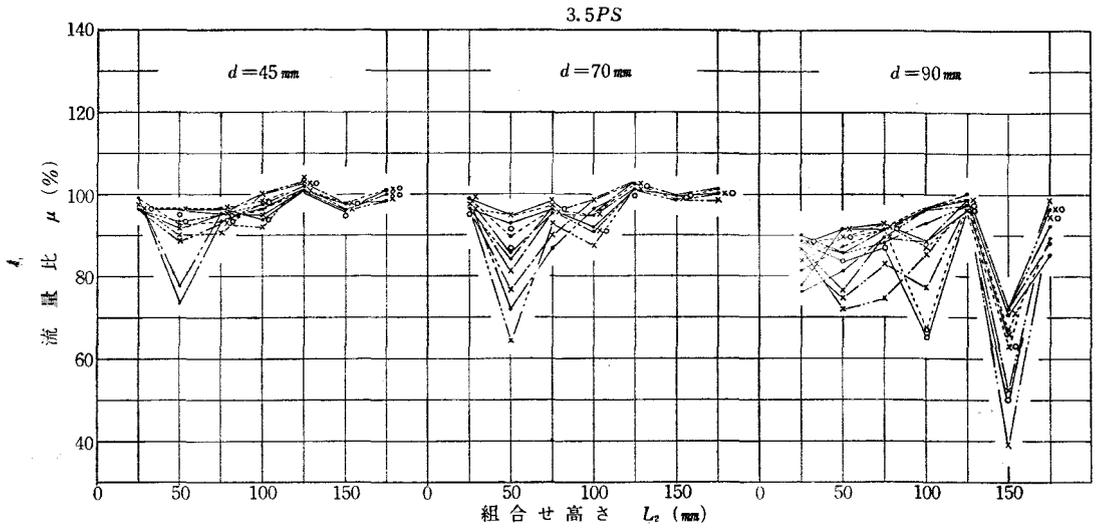


図20 流量比と組合せ高さとの関係

図21 流量比と組合せ高さとの関係

図22 流量比と組合せ高さとの関係

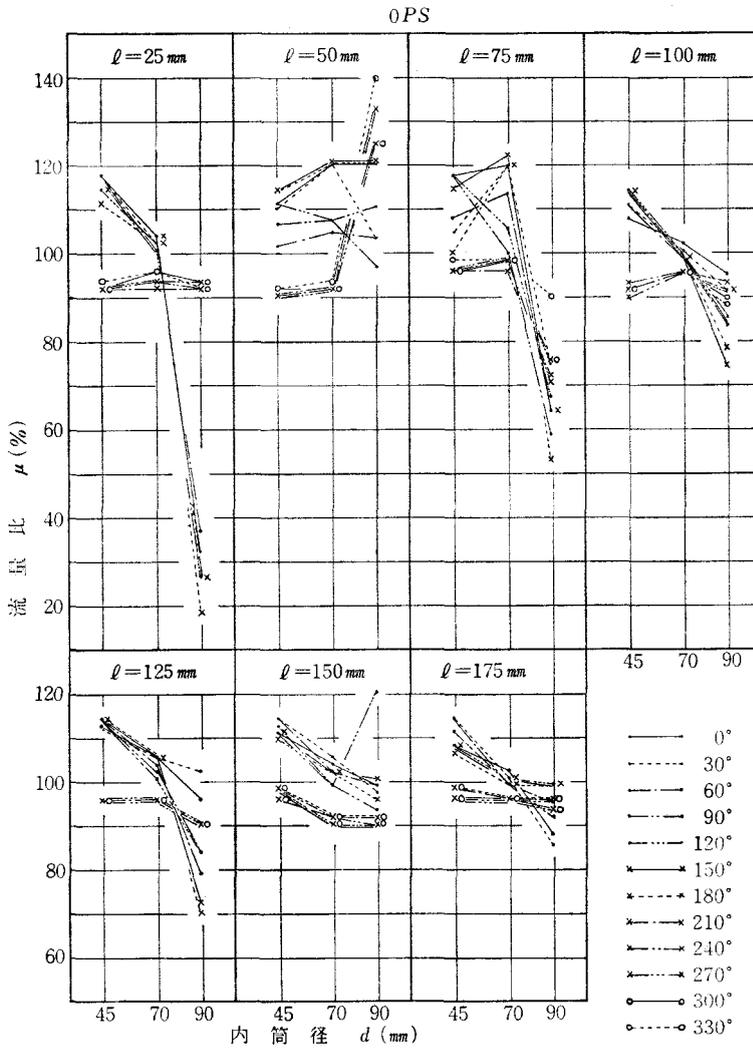


図23 流量比と内筒径との関係

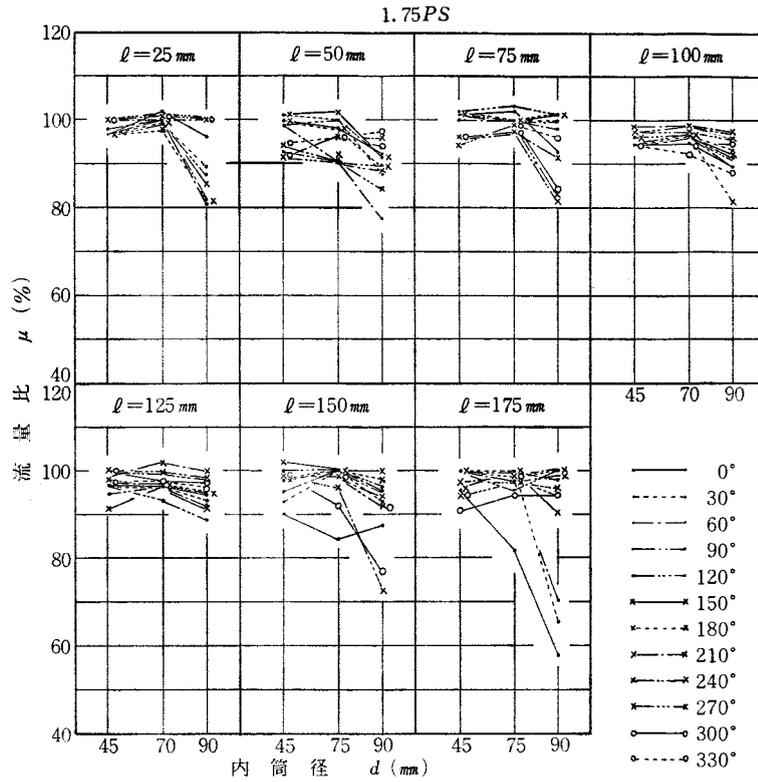


図24 流量比と内筒径との関係

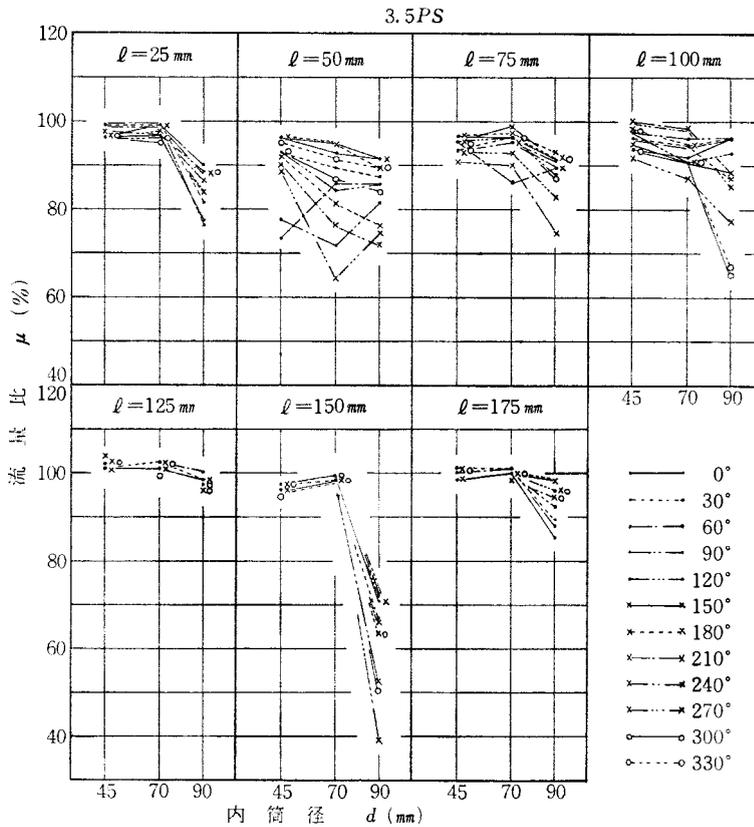


図25 流量比と内筒径との関係

の極大値あるいは極小値が交互にあらわれる傾向が、各条件において認められ、特に図16, 20, 21でははっきりと表われている。面白いのは、図16では偶数倍ごとに極大値が生じているのに対し、図21, 22では奇数倍ごとに生じていることである。何れにせよ、共振現象に似た効果の存在が予想される。

図23~25は、内筒径 d と流量比 μ との関係を図示したものである。図25で $l=125\text{mm}$ の場合は、流入角 θ および内筒径 d の影響は僅かで、流量変化は殆どないことがわかるし、同じく $l=150\text{mm}$ では、 $d=90$ になると μ は急減することなど興味深い。また図23, 24, 25を比較すると、本実験に用いたスワールボックスはOPSでは効果があるが、出力が増すにつれて

μ は低下し、定格3.5PSでは殆ど効果のない傾向を示している。高出力向きのスワールボックスが果して存在するかどうかは、今後の実験をまたなければならない。

§ 5 結 言

スワールボックスの特性を実験的に調べた結果は、流量特性は非常に複雑で、外筒長、内筒径、流入角、および基準流量等の要因の及ぼす影響が非常に大きいことがわかった。特に流入角には流量を急変させる値が存在するらしく、また外筒長は共振的な影響を与えるようである。その流れの機構の詳細は、気流の可視化によって更に追究してみたいと考えている。

(昭和50年10月28日受付)

塑性加工の研究(第4報)

—圧下力の検討—

(機械工学科) 里 信 敏 行
 (機械工学科) 方 岡 弁 司
 (パブコック日立) 永 島 利 治*

Studies on the Plastic Working (Report 4)

—Investigation of the Roll Force—

Toshiyuki SATONOBU
 Benji KATAOKA
 Toshiharu NAGASHIMA

The roll force is obtained by the definite integration of roll pressure. From the investigation of roll force, the author reached the following conclusions,

- (1) Roll force undergoes a serious influence according to the characteristics of the material.
- (2) The relation between the proviso for rolling and roll force is a linear one, which is under the influence of draft.

§ 1 諸 言

前報¹⁾までの塑性加工の研究は、塑性加工分野における情報処理教育を主目的として解析と処理をおこなったものであるが、これらの研究は、同時に技術的にも必要なことであり、ロール圧延においては、圧延圧力の検討から圧下力まで求めておくべきである。そこで、本報においては、Kármánの圧延方程式から数値解析した圧延圧力にもとづいて材料が加工硬化する場合も含めて圧下力を計算し検討したのでその結果について報告する。

§ 2 記 号

使用記号は前報²⁾に準ずる。

§ 3 計 算

3.1 圧延条件、プログラム

圧延条件は前報³⁾どおりとし、材料特性は、図1のごとく n 乗則にしたがって加工硬化する

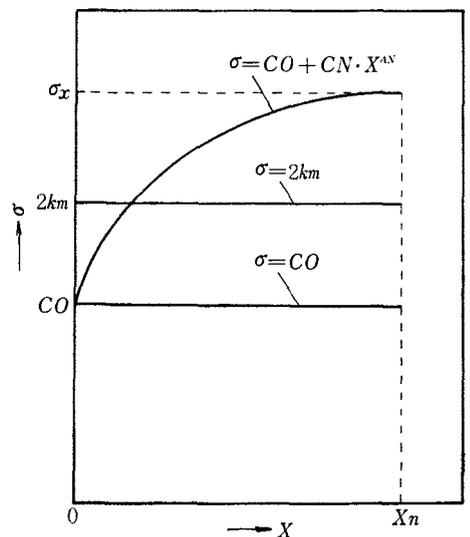


図1 材料特性曲線

*パブコック日立(株)呉工場製造部ボイラー製作課

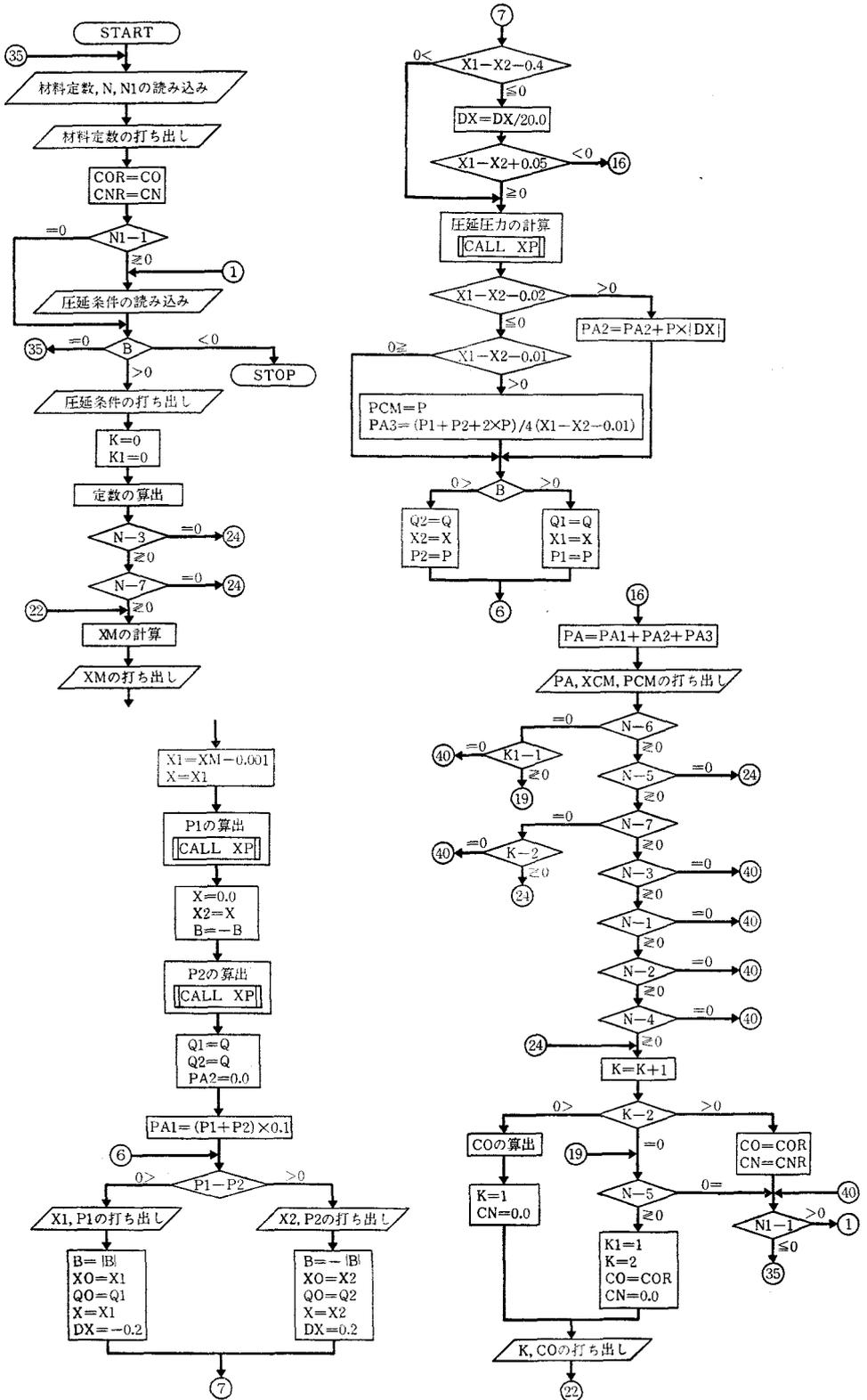


図2 フローチャート

場合を含めて計算し、比較検討した。すなわち、 $\sigma=CO$ は加工硬化しない場合、 $\sigma=2k_m$ は加工硬化する場合の変形抵抗を平均変形抵抗としておいた場合、 $\sigma=CO+CN \cdot X^{AN}$ は加工硬化が n 乗則にしたがう場合をそれぞれ示している。 $2k_m$ の決定は、ミーゼスの降伏条件より

$$X_n = \frac{2}{\sqrt{3}} l_n \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \dots \dots \dots (1)$$

X_n の値を $\sigma=CO+CN \cdot X^{AN}$ に代入し、このときの σ_x の値を求める。ゆえに

$$2k_m = (\sigma_x + CO) / 2.0 \dots \dots \dots (2)$$

CO, CN, AN は材料定数

また、加工硬化しない場合は、 $CN=0$ として $\sigma=CO$ の計算をおこなう。

数値解析のフローチャートならびにプログラムを図2、3に示す。プログラム中の CASE NO. ならびに RUIBETSU は表1によるもの

```

C: PROGRAM N106A
C: P NO M15AN (KAKO KOUKA, Y=CO+CN*X**AN, R-K)
35: READ(1,100)CO,CN,AN,N,N1
WRITE(1,500)N,CO,CN,AN
COR=CO
CNR=CN
IF(N1-1)1,36,1
1: READ(1,110)S,B,R,H1,H2
3: IF(B)4,35,5
5: WRITE(1,510)S,B,R,H1,H2
K=0
K1=0
C=H1-H2
SQ=2.0/SQRT(3.0)
IF(N-3)23,24,23
23: IF(N-7)22,24,22
22: O=S
XY=SQRT((4.0*R-C)*C)/2.0
WRITE(1,520)X
X1=X*-0.001
X=X1
CALL XP (X,G,SQ,B,R,H1,H2,CO,CN,AN,LK,F)
P1=DX+Q
X=0.0
X2=X
B=-B
CALL XP (X,G,SQ,B,R,H1,H2,CO,CN,AN,LK,F)
P2=DX+Q
Q1=Q
Q2=Q
PA2=0.0
PA1=(P1+P2)*0.1
IF(P1-P2)2,2,3
2: WRITE(1,530)X1,P1
B=ABS(B)
XO=X1
QO=Q1
X=X1
DX=-0.2
GO TO 7
3: WRITE(1,540)X2,P2
B=-ABS(B)
XO=X2
QO=Q2
X=X2
DX=0.2
7: IF(X1-X2-0.4)17,17,8
17: DX=DX/20.0
IF(X1-X2+0.05)16,8,8
8: CALL XP (X,G,SQ,B,R,H1,H2,CO,CN,AN,LK,F)
A1=DX*F
X=XO+DX/2.0
Q=QO+A1/2.0
CALL XP (X,G,SQ,B,R,H1,H2,CO,CN,AN,LK,F)
A2=DX*F
O=QO+A2/2.0
CALL XP (X,G,SQ,B,R,H1,H2,CO,CN,AN,LK,F)
A3=DX*F
X=XO+DX
Q=QO+A3
CALL XP (X,G,SQ,B,R,H1,H2,CO,CN,AN,LK,F)
A4=DX*F
O=QO+A4+2.0*A2+2.0*A3+A4)/6.0
CALL XP (X,G,SQ,B,R,H1,H2,CO,CN,AN,LK,F)
    
```

```

P=DX+Q
1: IF(X1-X2-0.02)12,12,13
12: IF(X1-X2-0.01)15,15,14
14: XCM=(X1+X2+2.0*X)/4.0
PCM=P
PA3=(P1+P2+2.0*Q)/4.0*(X1-X2-0.01)
GO TO 15
13: PA2=PA2+P+ABS(DX)
15: IF(B)10,10,9
9: Q1=Q
X1=X
P1=P
GO TO 6
10: Q2=Q
X2=X
P2=P
GO TO 6
1: PA=PA1+PA2+PA3
WRITE(1,550)PA,XCM,PCM
IF(N-6)25,39,25
39: IF(K1-1)19,40,19
25: IF(N-5)27,24,27
27: IF(N-7)29,38,29
38: IF(K-2)24,40,24
29: IF(N-3)30,40,30
30: IF(N-1)31,40,31
31: IF(N-2)32,40,32
32: IF(N-4)24,40,24
24: K=K+1
IF(K-2)18,19,20
18: CO=COR+CN*(SQ*ALOG(H1/H2)**AN/2.0
K=1
CN=0.0
GO TO 21
19: IF(N-5)33,40,33
33: K1=1
K=2
CO=COR
CN=0.0
GO TO 21
20: CO=COR
CNR=CN
40: IF(N1-1)35,35,1
21: WRITE(1,560)K,C
GO TO 22
100: FORMAT(3F,1)
110: FORMAT(6F)
500: FORMAT(5I,10H CASE NO =,I4,4X,3F7.2)
510: FORMAT(5I,5F7.2,3I,12HRUIBETSU= 0)
520: FORMAT(/,7,5X,1HX,8X,2HP1,10X,1HX,8X,2HP2,5X,3HX)=,F7.2)
530: FORMAT(/,F7.2,2F9.3)
540: FORMAT(/,20X,F7.2,F9.3)
550: FORMAT(2I,3HPA=,F8.2,3H HG,5X,3HXO=,F7.2,3H MM,5X,3HPM=,F7.2,9H RG/MM**2)
570: FORMAT(4I,9HRUIBETSU=,I3,5X,3HCO=,F7.2)
4: STOP

SUBROUTINE XP (X,G,SQ,B,R,H1,H2,CO,CN,AN,LK,F)
C1=SQRT(R*R-X*X)
HO=H2+2.0*(R-C1)
DK=SQ*(CO+CN*(SQ*ALOG(H1/HO)**AN)
F=(2.0*(DK*(X/C1-B)-Q*B))/HO
RETURN
END
    
```

図3 プログラム

表1 CASE NO., RUIBETSU

CASE NO.	内 容	RUIBETSU
1	$\sigma=CO+CN \cdot X^{AN}$ の計算	0
2	$\sigma=CO$ の計算	0
3	σ =平均変形抵抗の計算	1
4	$\sigma=CN \cdot X^{AN}$ の計算	0
5	$\left. \begin{matrix} \sigma=CO+CN \cdot X^{AN} \\ \sigma=平均変形抵抗 \end{matrix} \right\}$ の計算	0
		1
6	$\left. \begin{matrix} \sigma=CO+CN \cdot X^{AN} \\ \sigma=CO \end{matrix} \right\}$ の計算	0
		2
7	$\left. \begin{matrix} \sigma=平均変形抵抗 \\ \sigma=CO \end{matrix} \right\}$ の計算	1
		2
8	$\left. \begin{matrix} \sigma=CO+CN \cdot X^{AN} \\ \sigma=平均変形抵抗 \\ \sigma=CO \end{matrix} \right\}$ の計算	0
		1
		2

とし、本報における計算は CASE NO. 8, RUIBETSU 0, 1, 2 のそれぞれの場合についておこなった。

使用機種は HITAC 10, 使用言語は FTNA (FORTRAN) である。圧下力は、圧延圧力を積分することによって求められるが、圧延圧力はつぎの2式⁴⁾によって計算する。

$$\frac{d\sigma}{dx} = \frac{2 \left[\frac{2}{\sqrt{3}} \left\{ CO + CN \left(\frac{2}{\sqrt{3}} L_n \frac{h_1}{h} + c_4 \right)^n \right\} \right]}{h_2 + \frac{\left(\frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}} \pm \mu \right) \mp \sigma \mu}{2(R - \sqrt{R^2 - x^2})}} \dots\dots\dots (3)$$

$$p = \frac{2}{\sqrt{3}} \left\{ CO + CN \left(\frac{2}{\sqrt{3}} L_n \frac{h_1}{h} + c_4 \right)^n \right\} + \sigma \dots\dots (4)$$

(3)式より RUNGE-KUTTA 法によって数値計算して求めた σ の値を(4)式に代入して圧延圧力を p を決定する。

材料特性は、鋼の場合を想定して $CO=30$, $CN=53.5$, $AN=0.39$ とした。プログラムリストはつぎのとおり

インプットデータ

第1ブロック ($CO, CN, AN, N, N1$)

CO : 材料定数 (初期値)

CN : 材料定数 (比例定数)

AN : 材料定数 (指数)

N : CASE NO.

$N1$: RUIBETSU

第2ブロック ($S, B, R, H1, H2$)

S : 張力 B : 摩擦係数 R : ロール半径

$H1$: 入口の板厚 $H2$: 出口の板厚

アウトプット

X : 出口からの距離

$P1$: 入口側からの圧延圧力

$P2$: 出口側からの圧延圧力

XM : 接触長さ

PA : 圧下力

XC : 中立点位置

PM : 中立点圧延圧力

3.2 計算結果、考察

特定条件下における圧延圧力の分布を図4に示す。加工条件が同一であるから接触長さは変わらないが、材料特性が異なるため圧延圧力なら

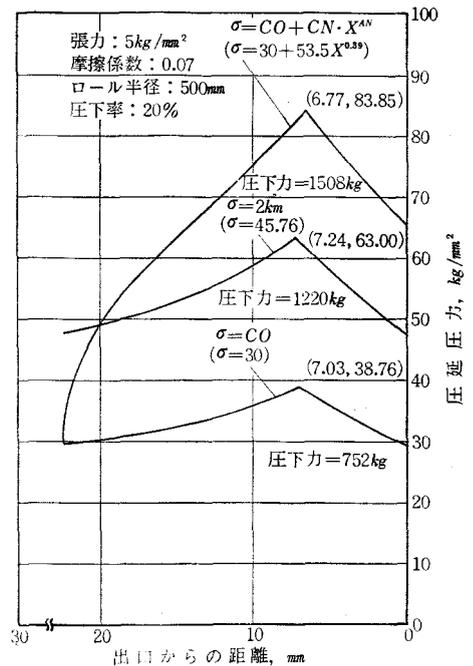


図4 材料特性と圧延圧力の分布

びに圧下力には相違がでてくる。同図より明らかかなように n 乗則にしたがって加工硬化する場合の圧延圧力が最も高く、圧下力も大きい。また、入口点においては加工硬化しない場合と同一圧延圧力であるが、その後加工硬化のため急激に増加する。特に、入口近傍においてその増加率が大きい。この入口近傍において、材料特性を平均変形抵抗とした場合が加工硬化する場合より圧延圧力が高いのは、平均変形抵抗 ($2k_m$) が初期値 (CO) より大であるためである。その差は、(2)式より $CN \cdot X^{AN} / 2.0$ となる。

つぎに、各圧延条件下における圧下力の計算値を表2に示す。参考値として接触長さ、中立点、最高圧延圧力も計算し併記する。圧下力を検討するため各圧延条件との関係を図5, 6に示す。図5より、圧下率, ロール半径が増加すれば圧下力も直線的に増大し、増加割合は、圧下率が変化する場合に加工硬化, 平均変形抵抗, 加工硬化なしの順に小さくなる。なお、いずれの場合も加工硬化する場合が平均変形抵抗におきかえた場合より大きくなるが、これは材料を鋼と想定して $\sigma = 30 + 53.5X^{0.39}$ とした特

表2 圧下力計算値

NO.	圧延条件		材料特性	接触長さ (mm)	圧下力 (kg)	中立点 (mm)	最高圧延圧力 (kg/mm ²)
1	共通圧延条件		$\sigma = CO + CN \cdot X^{AN}$	22.35	1508.58	6.77	83.85
			$\sigma = 2k_m$	〃	1220.90	7.24	63.00
			$\sigma = CO$	〃	752.59	7.03	38.76
2	圧下率	10	〃	15.80	910.49	5.54	66.90
			〃	〃	760.54	5.91	52.71
3	30	〃	〃	〃	520.68	5.83	36.05
			〃	27.37	2062.17	7.36	99.37
4	板厚	3.0→2.4	〃	〃	1635.48	7.81	72.29
			〃	〃	931.60	7.46	41.03
5	8.0→6.4	〃	〃	17.31	1244.28	5.82	92.95
			〃	〃	1009.59	6.28	70.73
6	ロール半径	400	〃	28.27	1821.70	7.46	77.86
			〃	〃	1470.80	7.84	57.80
7	600	〃	〃	〃	905.87	7.49	35.52
			〃	19.99	1321.36	5.71	80.79
8	摩擦係数	0.04	〃	〃	1068.07	6.06	60.35
			〃	〃	658.13	5.85	37.10
9	0.10	〃	〃	24.48	1683.97	7.74	86.72
			〃	〃	1364.19	8.30	65.46
10	張力	0.0	〃	〃	841.15	8.09	40.28
			〃	22.35	1373.73	4.30	72.05
11	10.0	〃	〃	〃	1104.82	4.27	52.60
			〃	〃	679.40	3.87	32.28
12	〃	〃	〃	22.35	1646.50	7.77	97.59
			〃	〃	1337.53	8.40	74.61
13	〃	〃	〃	〃	825.27	8.26	45.96
			〃	22.35	1647.53	7.06	91.10
14	〃	〃	〃	〃	1359.15	7.57	70.36
			〃	〃	890.99	7.57	46.13
15	〃	〃	〃	22.35	1369.04	6.43	76.60
			〃	〃	1082.01	6.82	55.60
16	〃	〃	〃	〃	613.01	6.23	31.33
			〃	〃	〃	〃	〃

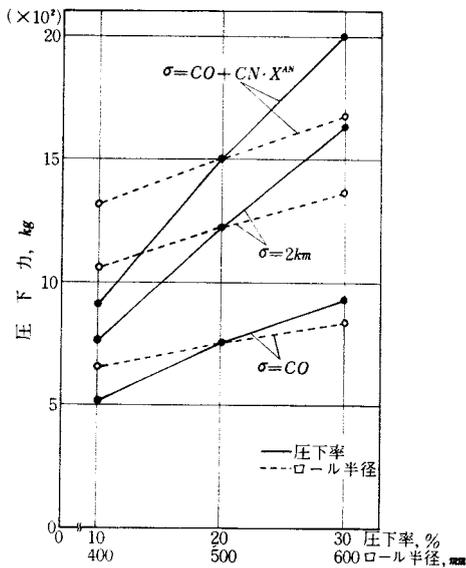


図5 圧延条件と圧下力 (1)

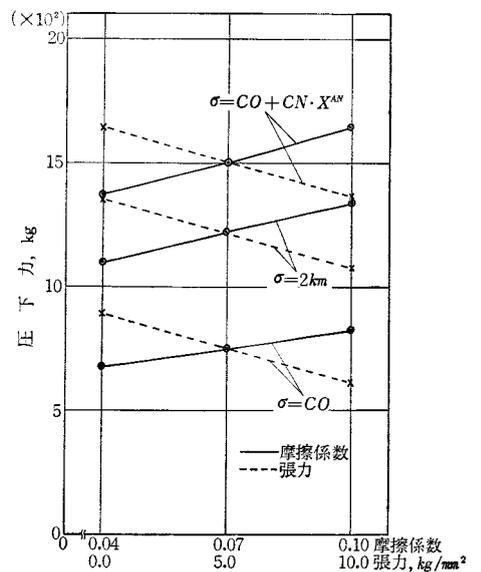


図6 圧延条件と圧下力 (2)

性曲線の状態とこれから平均変形抵抗を決定する方法によるもので、圧延材料の特性によって変化する。図6は、摩擦係数、張力と圧下力との関係を示す。同図より、摩擦係数の増加に対して圧下力も増大するが、張力との関係はその逆となる。また、このときの圧下力の変動は他の圧延条件の場合と同様に直線的であり、加工硬化する場合と平均変形抵抗におきかえた場合との比較検討も前述どおりである。

§ 4 結 言

板材のロール圧延における圧延圧力から圧下力を計算し、圧延条件との関係を検討したが、結論としてつぎのことがいえる。

- (1) 材料特性が圧下力に大きく影響する。
- (2) 圧延条件と圧下力との関係は直線的で、圧下率の影響が顕著である。

文 献

- 1) 里信：塑性加工の研究（第1報）、呉高専研究報告、9、1（1974）、75。
里信：塑性加工の研究（第2報）、呉高専研究報告、10、1（1974）、43。
里信：塑性加工の研究（第3報）、呉高専研究報告、11、1（1975）、57。
- 2) 1)の（第2報）
- 3) 2)と同じ

（昭和50年10月20日受付）

内歯車の円環近似に対する補正係数

機械工学科 野 原 稔

The Effect of Toothed-Ring on the Stiffness of Rim

Minoru NOHARA

It is profitable to determine the deformation of the toothed ring if the toothed ring can be replaced by a smooth ring of equivalent stiffness.

In this report, it was found the coefficient to take into account the influence of teeth on the rim stiffness.

1. 緒 言

円環形状を持つ機械要素は各種回転機械等に使用されているが、断面形状の複雑なものが多い。そこで断面形状の複雑な円環において、断面形状一定な円環に対すると同様な理論解が使用できれば有益である。

本報において扱う内歯車は断面形状が複雑であるため、円環に対する理論解をそのまま適用できない。いま内歯車を歯と円環とでできていると考え、歯の部分を円環の厚さに換算し、断面形状一定の円環とみなして計算できる係数を求める。しかし内歯車の形状が複雑で理論計算が困難であるため、任意の形状を扱える有限要素法を使用し、その結果を近似計算解として内歯車のたわみを求め係数を決定した。

2. 記 号

- r : リング中心半径 r_p : ピッチ円直径
- z : 歯数 m : モジュール
- E : 縦弾性係数 I : 断面二次モーメント
- A : 円環の断面積 h : 円環肉厚
- b : 円環幅 P : 荷重
- δ_1 : 半径方向最大たわみ (凸側)
- δ_2 : 半径方向最大たわみ (凹側)

3. 解析方法と要素分割

解析対称としている物体に、図1に示すような3節点三角形要素を用いる。

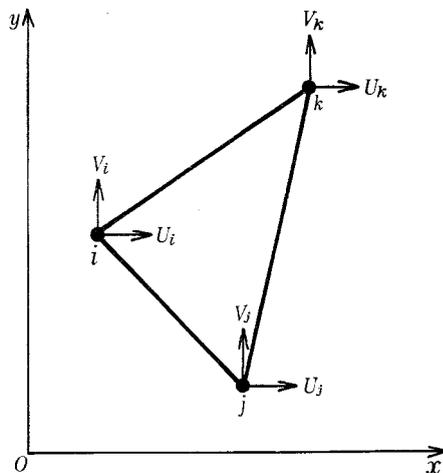


図1 三角形要素

この場合要素内変位は式(1)のように表わされ、要素内における歪は一定で隣接する要素との変位の連続性を満足している。

$$\left. \begin{aligned} u &= \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \\ v &= \alpha_4 + \alpha_5 x + \alpha_6 y \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 u は x 方向変位、 v は y 方向変位、 $\alpha_1 \sim \alpha_6$ は未知数である。式(1)によって物体全

部の変位を定義し、仮想仕事の原理を用いれば要素の剛性マトリックスが与えられる。要素の剛性マトリックスが求まれば変位の適合条件、力の平衡条件を満足するような物体全部の剛性マトリックスが得られる。したがって式(2)を得る。

$$\{F\} = [K] \cdot \{\delta\} \dots \dots \dots (2)$$

ここで $\{F\}$ は系全体に対する節点力の列ベクトル, $[K]$ は系全体の剛性マトリックス, $\{\delta\}$ は系全体の節点変位列ベクトルであり, 式(2)に荷重, 境界条件を与えることによって $\{\delta\}$ を得るが, 式(2)を解くことは多元連立一次方程式を解くことであり, この解法に消却法を使用した。次に要素分割法について述べれば, 円環の対称性からその $1/6$ を考えると充分であり, $h/r=1/10$ の円環に荷重を作用させた場合の要素分割数に対するたわみを求め, これを理論解と比較することによって分割の目安とした。いま図2に示すような円環に作用させる力につい

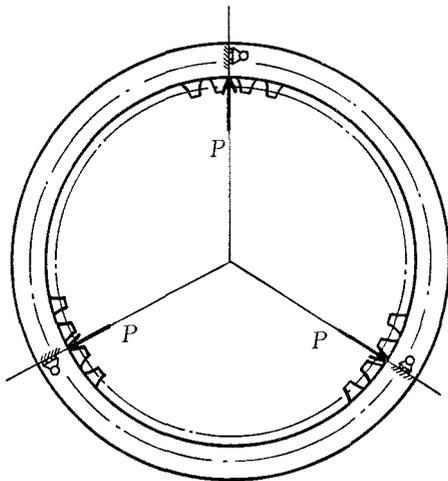


図2 計算モデル

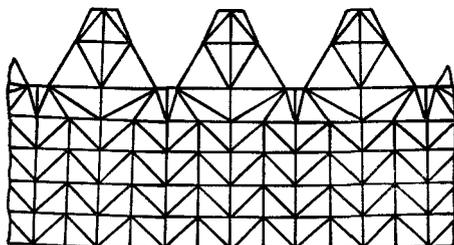


図3 要素分割

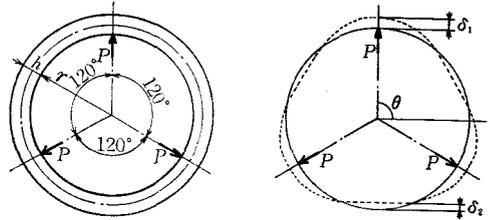


図4 たわみのとり方

て考える場合, 半径方向に対して自由で接線方向に動かないローラ端を考え, 3方向120°間隔で半径方向荷重を作用させた。

図3に内歯車的一部分を分割した状態を示しているが, 内歯車全体としての要素数は5040, 節点数は3150である。

4. 有限要素法による内歯車の計算精度

有限要素法は連続体の変形を単純な形に仮定して解を求める近似計算法であるため, その精度を検討しておく必要がある。

いま内歯の歯を除けば円環となり, これを分割して得られた結果と, 円環に対する理論解とを比較することによって計算精度を確かめることができる。ここで理論解を使用する場合, 薄肉理論と厚肉理論の二通りがあり, 解析対称としている内歯車の厚さ, Carman らの円環に対する実験式を考慮すれば厚肉理論を使用するのが妥当である。

図4に示すような状態において, $\theta=90^\circ$ に対するたわみを δ_1 , $\theta=-90^\circ$ におけるたわみを δ_2 とすれば, 厚肉理論によって求まるたわみは式(3), (4)に示すようになる。式中における最後の項すなわち $3\kappa/2(1+\kappa)\pi$ を除き $\kappa = I/Ar^2$ とすれば薄肉理論となる。

$$\delta_1 = -\frac{Pr}{EA\kappa} \left\{ \frac{3}{2\pi} - \frac{\pi}{9} - \frac{1}{4\sqrt{3}} - \frac{3\kappa}{2(1+\kappa)\pi} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

$$\delta_2 = \frac{Pr}{EA\kappa} \left\{ \frac{1}{2\sqrt{3}} - \frac{3}{2\pi} + \frac{\pi}{18} + \frac{3\kappa}{2(1+\kappa)\pi} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

$$\kappa = -\frac{1}{A} \int \frac{\eta}{Ar+\eta} dA$$

式(3), (4)を使用して得た結果と有限要素法に

表1 有限要素解の計算精度

単位 mm

h	有限要素 $ \delta_1 $	理論 $ \delta_1 $	有限要素 理論 (%)	有限要素 $ \delta_2 $	理論 $ \delta_2 $	有限要素 理論 (%)
8.75	0.1733	0.1931	89.7	0.1487	0.1672	88.9
17.5	0.0269	0.0281	95.6	0.0208	0.0223	93.3
24.0	0.0123	0.0123	100.0	0.0087	0.0089	97.5

よって得た結果を表1に示す。表より円環の薄い場合についてはもう少し精度の向上が望ましいが、厚い場合については充分であることがわかる。

5. 内歯車の厚さと歯の影響

いま円環における半径方向のたわみを δ 、内歯車における半径方向のたわみを δ_c とし、両方の比をとり、これを K とすれば式(5)を得る。

$$K = \frac{\delta}{\delta_c} = \frac{I_c}{I} = \frac{h_e^3}{h^3} \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 h_e は内歯車の歯の部分の円環厚みに置き換えるために、 m と A との積で表わしたものと、内歯車の歯の部分を除いた円環としての厚さ h を加えたもので式(6)となる。

$$h_e = h + Am \dots\dots\dots(6)$$

式(5)を式(6)に代入すれば式(7)となり、これを使用して補正係数を求めると表2に示すようになる。

$$A = (\sqrt[3]{K} - 1) h/m \dots\dots\dots(7)$$

表2において、内歯車の厚さが厚くなればバネ剛さが大きくなるために歯の影響は小さくなり、補正係数は小さくなるものと思われる。図5に K と h/m との関係を示すが、 h/m が大きくなれば K が小さくなり補正係数が小さくなることわかる。

表2 補正係数

厚さ mm h	円環のたわみmm			内歯車のたわみmm			補正 係数 A
	$ \delta_1 $	$ \delta_2 $	$ \frac{\delta_1 - \delta_2}{\delta_2} $	$ \delta_1 $	$ \delta_2 $	$ \frac{\delta_1 - \delta_2}{\delta_2} $	
8.75	0.1733	0.1487	0.0246	0.1367	0.1162	0.0205	0.270
17.5	0.0269	0.0208	0.0061	0.0235	0.0180	0.0055	0.244
24.0	0.0123	0.0087	0.0036	0.0111	0.0077	0.0034	0.236

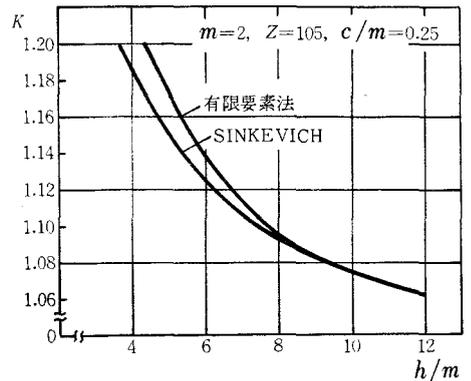


図5 K と h/m との関係

6. 内歯車の補正係数に関する実験方法と実験結果

先に述べた補正係数を確かめる意味において、内歯車に圧縮荷重を作用させるが、実験装置および力のバランス状態を考え、2方向圧縮荷重を作用させることによって圧縮試験を行なった。

表3 内歯車および円環の諸元

要目 分類番号	h	r	b	m	z	c	
内 歯 車	A 1	8.65	113.075	36.0	3	70	0.25
	A 2	8.65	113.075	30.0	3	70	
	A 3	14.65	116.075	30.0	3	70	
	A 4	20.65	119.075	30.0	3	70	
	A 5	9.95	112.475	30.0	2	105	
円 環	No.1	9.31	103.171	60.1			
	No.2	9.23	103.188	80.1			
	No.3	11.17	102.321	11.3			
	No.4	5.87	105.004	40.0			

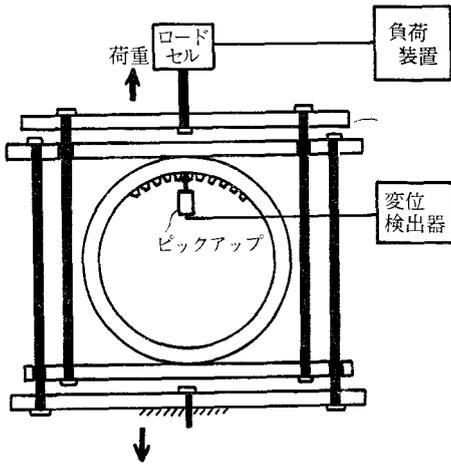


図6 圧縮装置

いま実験に使用する内歯車, 円環の諸元を表3に示すが, 円環についての圧縮試験は実験によるバネ剛さの精度を確かめるために行なったものである。

まず, 島津製作所万能試験機 (I S-5000形) に圧縮用の装置を図6に示すように取り付けられた。

次に内歯車に2方向圧縮荷重を作用させ, 図7に示すような結果を得た。図よりバネ剛さを求め補正係数を計算すれば, 表4に示すようになる。表4より円環厚さが厚くなれば補正係数は小さくなって行くことがわかる。また表に示す理論バネ剛さと実験バネ剛さとを比較すれば, 実験で求めたバネ剛さが理論バネ剛さに比

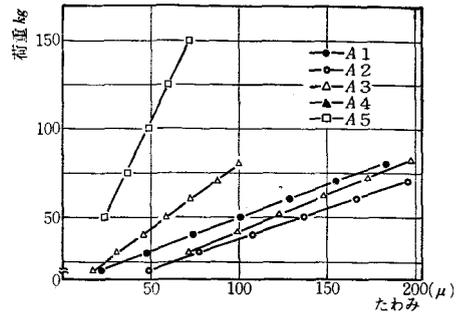


図7 内歯車のバネ剛さ

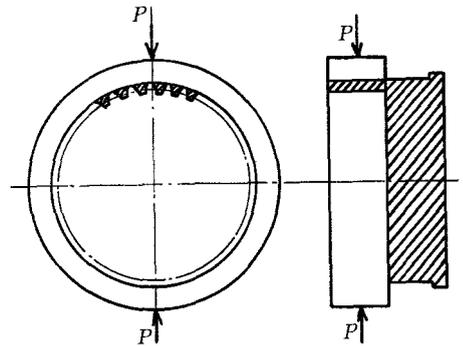


図8 実際の内歯車

べて大きくなっている。

これは図8に示すような実験に使用した内歯車のギャップリングと, 歯の部分(斜線部分)のあるためにバネ剛さが大きくなって表われたものと考えられる。また厚さの薄い内歯車ほど斜線部分の影響を受けることになり, 厚さの薄

表4 バネ剛さと補正係数

要目 分類番号	実験 (kg/mm) バネ剛さ	理論 (kg/mm) バネ剛さ	実験バネ剛さ 理論バネ剛さ (%)	A	
内	A 2	337	155	217	0.839
	A 3	731	520	141	0.586
歯	A 5	2143	1834	117	0.364
	A 1	368	186	198	0.717
車	A 4	400	242	165	0.894
	No.1	514	448	87	
円環	No.2	667	489	73	
	No.3	170	164	96	
	No.4	80	84	105	

い A_2 は円環に対する理論バネ剛さと比較して2倍以上の大きさとなっており、円環厚さが厚くなるにしたがって斜線部分の影響が小さくなって行くことがわかる。

円環に2方向圧縮荷重を作用させた場合の理論バネ剛さと実験バネ剛さを求め、表4に示しているが、実験によってバネ剛さを求める場合、円環幅が大きいと均一に荷重が作用しないため、正確にバネ剛さを求めることができていない。しかし実際に使用した内歯車の幅に対しては満足のできる精度である。

7. 結 言

以上内歯車に対し、有限要素法を使用して円環と同一な理論解が使用できる内歯車の歯に対する補正係数を求めた。

また円環厚さの増加にともない補係数が減少して行くことがわかった。ここで扱ったかぎりではある特定の範囲に限定されるので、さらにサンプル数を増やし K の一般式化を行う予定である。

おわりに本破究にあたり終始御指導いただいた広島大学工学部日高照見講師に感謝の意を表

します。

計算には大型計算機 HITAC 8700/8800 を使用した。

文 献

- 1) O.C. ツィエンキーヴィツ/Y.K. チューン, マトリックス有限要素法 (1970), 培風館.
- 2) 三本木茂夫・吉村信敏共著, 有限要素法による構造解析プログラム (1970), 培風館.
- 3) W. ウィーバー著・山本善之訳, 構造解析のプログラム (1968), 共立出版, 62
- 4) 瀬口・森田ほか7名, 第52回講習会教材, (昭和47-11), 19
- 5) 強度設計データブック委員会編, 強度設計データブック委員会編, 強度設計データブック (昭和46), 436, 裳華房.
- 6) Sinkevich, Yu. B. and Sholomov, N. M., Russian Engng. J., 51-6 (1971-6), 25.
- 7) S. Timos henko, 材料力学 (上巻), (1957), 東京図書.
- 8) 日高, 寺内, 野原, 機講論 (関西支部), (昭和50-6), 121,

(昭和50年10月20日受付)

写真による輝度測定と輝度パターンの作成

(電気工学科) 原 田 一 彦

Measurements of Luminance and Representation of the Luminance Pattern by Photograph

Kazuhiko HARADA

Luminance measurements and the luminance distribution in the visual field are the important elements of representing the characteristics of lighted environments.

Photographic photometry is one of the methods of luminance measurements. Luminance distribution shooting equipment of the ITV system and photographic photometry are generally used for representation of the luminance pattern.

In this paper, the author has studied measurements of luminance and representation of the luminance pattern from an ordinary photograph of the object using the X—Y recorder and the luminance photometer.

The following result have been obtained.

The correct luminance and luminance pattern were got from more normal photograph.

§ 1 緒 言

照明施設および設備の質を向上する目的で、照明学会では昭和39年に輝度測定法調査委員会を設置してその方法を審議し、その結果を昭和41年に「輝度測定方法指針」として報告した¹⁾。さらに JIS Z 9111 道路照明基準や JIS Z 9116 トンネル照明基準では、路面照度にかわって路面輝度を定めるようになった。このことは他の照明施設にも今後およぶものと予想される。このように照度中心から輝度を基準にする方向への転換は、人間の視感に直接関係があるのは輝度であることを考えれば当然のことであろう。輝度の測定と輝度パターンを作成することは、視覚はある広さの視野に対して働いており、明暗のパターンが視環境に大きく影響するので、快適な環境を作る条件を吟味するのに重要なことである。

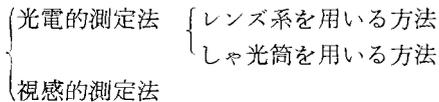
輝度を測定し、輝度パターンを作成するのに

は、光電式輝度計が一般によく使用されるが、この輝度計の視野を小さくして数多くの点を測定するいわゆる逐点測定法は、時間と労力の負担が無視できず、また、周囲の条件の変化で測定の前後で違った状態になることもあるので迅速に測定することが必要となる。さらに、後日に同一条件の状態を再現して測定することも不可能な場合が多い。既に発表されている写真測光法²⁾やITV方式^{3) 4)}を採用すれば、逐点測定法の欠点をかなりカバーすることができる。本実験は、写真測光法の一つで、測定視野の数ヶ所の輝度を測定し、さらに、普通の方法で写真撮影をし適当な暗室作業で仕上げた写真を資料として、輝度計で輝度を測定し、それをX—Yレコーダに記録させ、輝度値を校正して精度の高い輝度パターンを作成することを試みたものである。

§ 2 輝度の測定と輝度パターン作成法

2・1 輝度の測定法

輝度の測定方法は、次のように大別される。



視感的輝度測定器は以前はよく用いられたが、現在では光電的測定法がよく使用されている。

以上のほか、写真測光法を利用して測定することができる⁵⁾。この方法は、基本的にはある条件下で現像処理された写真感光乳剤の黒化の量が、対象物の輝度に依存するという事実に基づいている。適当な条件のもとで撮影、処理されたネガは、一種の輝度分布の記録であって、この黒さを測定し輝度で校正して正確な輝度値を得ようとするものである。

この方法は次のような利点がある。

- (1) 完全等輝度ダイアグラムが連続した形で得られ、高度の詳細な分析が可能である。
- (2) 使用する濃度計で目的に応じた精度の測定値が得られる。
- (3) カメラレンズの交換使用でカメラ位置を固定して、真の幾何学的関係を保つことができる。
- (4) 測定は多数の点の読み取りを必要とせず、ほとんど瞬時に記録されるから時間のかかる走査をしなくてよい。
- (5) 他の方法と比較して、肉眼の誤差あるいは写真感光装置の誤差にも無関係である。
- (6) ほとんどの作業が現場を離れて実験室でできる。
- (7) ネガは保存でき、いつでも再使用ができる。

2・2 輝度パターンの作成法

輝度パターンの表示方法としては、次の二つの方法がある。

- (1) 等輝度曲線表示
- (2) 段階表示

(2)の段階表示は、(1)の等輝度曲線表示の曲線間を低いほうの輝度に応じた濃度をつけて塗りつぶした形となり、(1)の曲線よりもシャープな境界線として見られ、もっともわかりやすい方法とされている⁶⁾。

作成方法としては、次のものがある。

- (1) 電算機による作画法

- (2) 輝度計による逐点測定法

- (3) 写真作画法

- (4) I T V方式

(2)の逐点測定法は、ほう大な時間と労力を必要とし、しかも周囲条件が変動する場合があるので、迅速に測定する必要があり、測定範囲や条件が限られることもある。

(3)の写真作画法は、露光条件を変えた重ね焼き、または、多重露出を基本としている。ある条件下の状態の記録として写真を撮ることは有意義で、写真そのものは輝度分布を表わしている。Kodakの技師や、東芝の藤井氏らの発表があるが、これには図1に示すような硬調フィルムが使用されている。輝度レベルの設定などに困難を伴うが、実用に耐え、暗い場所での低輝度の場合好都合であると報告されている。

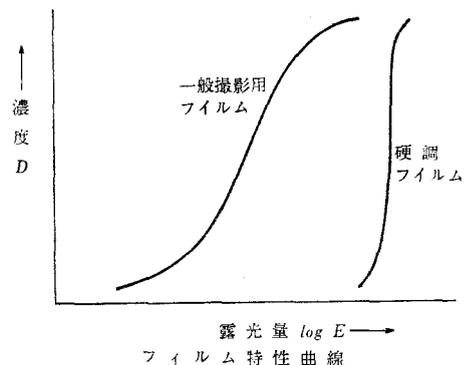


図1 写真測光法で使用されるフィルムと一般撮影用フィルムの特性曲線

I T V方式は、電気式部分が多いので便利であるが、精度、感度、安定度の面で問題を残している。しかし、近い将来、性能の向上した装置が開発されることが予想される。

§3 実験と考察

本校普通教室棟12号教室(階段教室)を測定場所とし、正面の輝度および輝度分布を測定することにした。この教室の大きさは16.21m×9.5m(154m²)で、正面の寸法は図2に示すようになっている。照明は、40W白色けい光ランプ×2灯用のH形器具が、正面に対して直角方向に3列、1列には4台が等間隔に天井に直付

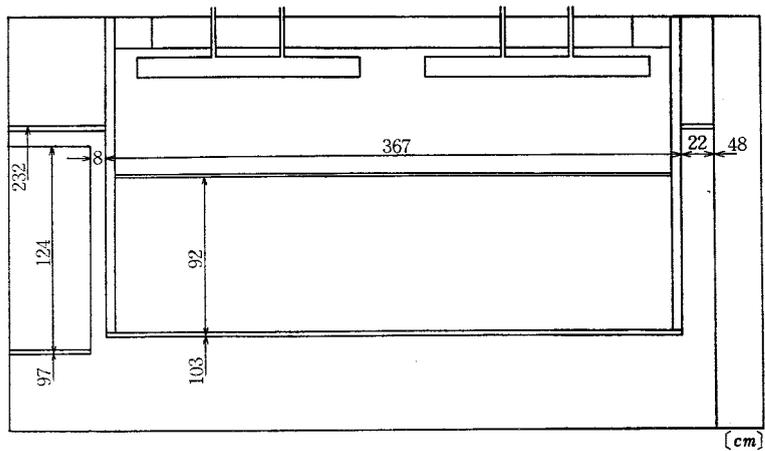


図2 測定した教室の正面

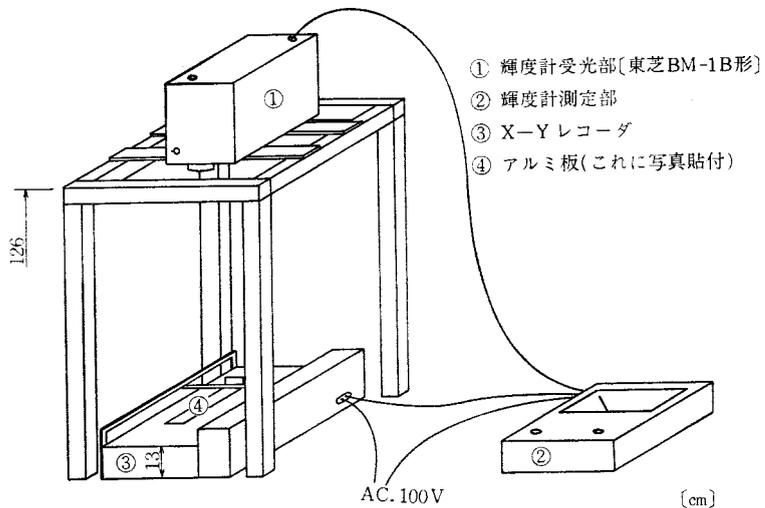


図3 資料写真の輝度測定とX-Yレコーダへの記録方法

けされている。また、黒板照明用として金属製反射笠付40Wけい光ランプ1灯用器具が図2のように2台取り付けられているので、合計50本のけい光ランプが使用されていることになる。

測定は、時間のかかる逐点法で行なうため自然光の入射を防ぐ目的で、夜間に暗幕を使用して人工光源だけの照明下ですることとした。輝度計（東芝BM-1B形）は、教室の中央で黒板から8.0mの位置に設置し、視野を最小にできる限り精密に測定するよう努めた。撮影に使用したフィルムは一般撮影用（富士ネopanSS）のもので、現像はマイクロファイン（富

士）を使用し、20°Cの温度で9分30秒と設定した。また、印画紙は、月光（三菱）中厚手、半光沢、滑面、純白のNR-2（中間調）、NR-3（硬調）およびNR-4（超硬調）を使用し、現像はコレクトール（富士）で20°Cの温度のもとに90秒間とした。

予備実験として、あらゆる露出で前記3種類の印画紙で引き伸ばした写真を、輝度計で輝度を測定し実際の値と比較した結果、適正露出で各トーンの調子が良い普通の写真として立派な写真が、忠実に輝度値を再現することを確かめた。したがって、再度次の適正露出の範囲で慎重に

撮影し、前記の印画紙で資料写真を準備した。

絞	F1.4	F2.8	F3.5	F4.5
シャッター スピード(秒)	1/30	1/15	1/8	1/4

資料写真は、図3に示すようにX-Yレコーダのキャリッジを利用して走査させるためと、輝度計のピント調節最短距離が1.0mであることから14.0cm×10.0cmの大きさとした。X-YレコーダのY軸のレンジを0.5V/cm、X軸は10sec/cmの一番遅い走査速度とし、輝度計を固定して写真の方を走査させたので、レコーダの記録と完全に同調させることができた。1回で写真の幅1.0cmが走査できるので、10回の繰り返しで1枚の写真について記録を取ることができた。写真の照明は、資料写真を置く位置に白紙を置いて拡散性けい光灯器具でムラなく

照明できるよう輝度計で確認しながら調節をした。

レコーダの記録と輝度の相対的關係は次のような直線的な特性となった。

Y軸の偏量(mm)	0	11	22	33	44
輝度(cd/m ²)	0	10	20	30	40

逐点法で測定して得た輝度パターンが図4である。

適正露出のネガからNR-2 (中間調)の印画紙に引き伸ばされた資料写真(写真1)は、コントラストの差が緩和されて一般に輝度値が低く、したがって輝度パターンは疎となり図4とは若干違ったものとなった。図5(b)は写真1からX-Yレコーダに輝度を記録させたもの

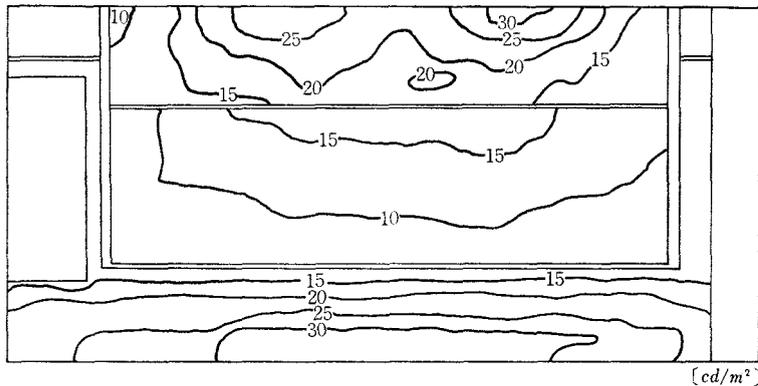


図4 逐点法による輝度パターン

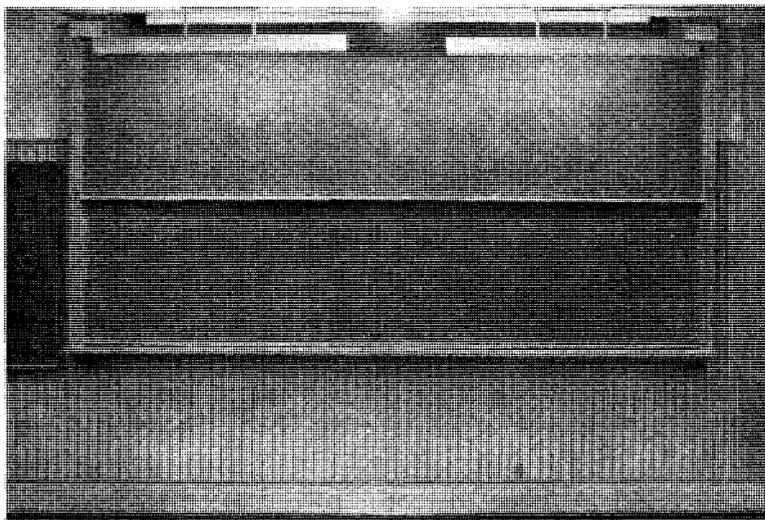


写真1 中間調印画紙で仕上げた資料写真

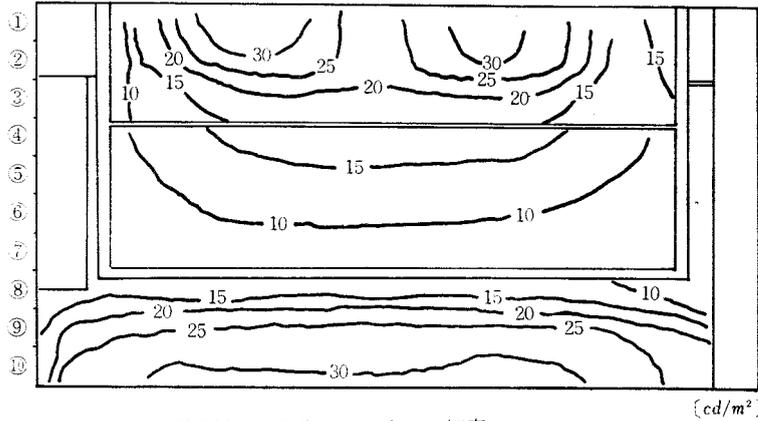


図 5(a) 写真 1 から求めた輝度パターン

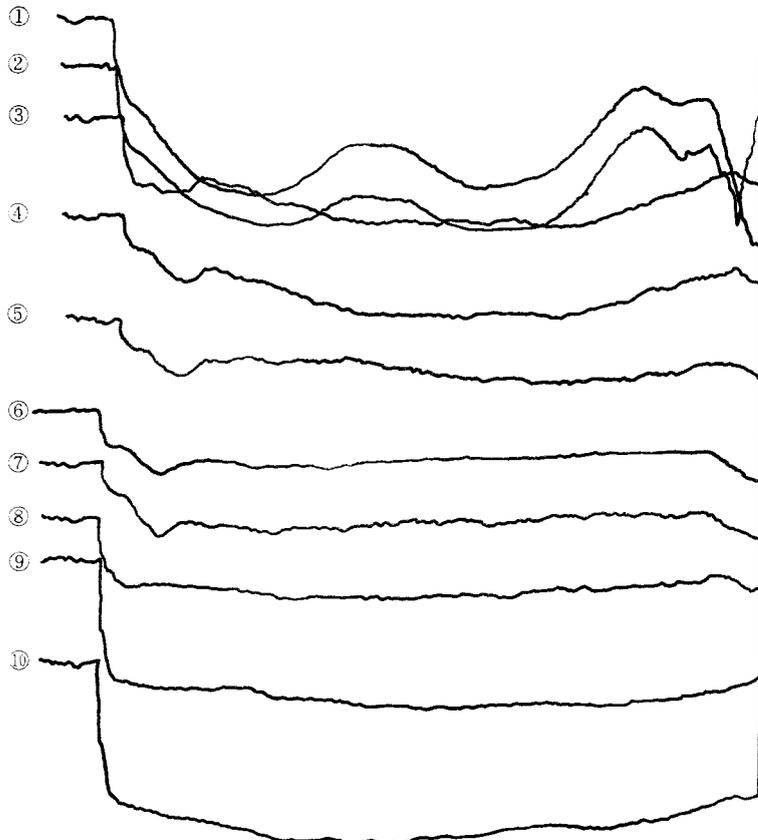


図 5(b) 写真 1 から X-Y レコーダに記録させた輝度値

で図 5(a) はそれから求めた輝度パターンである。

NR-4 (超硬調) で仕上げた資料写真 (写真 2) はコントラストが強く、明暗の差が必要以上に強調されているので、輝度パターンは図

6(a) のように密なものとなり、NR-2 の場合よりさらに実際のパターンと異なるものとなった。

写真 3 は、NR-3 (硬調) の印画紙で引き伸ばしたもので、普通の写真としても最も調子

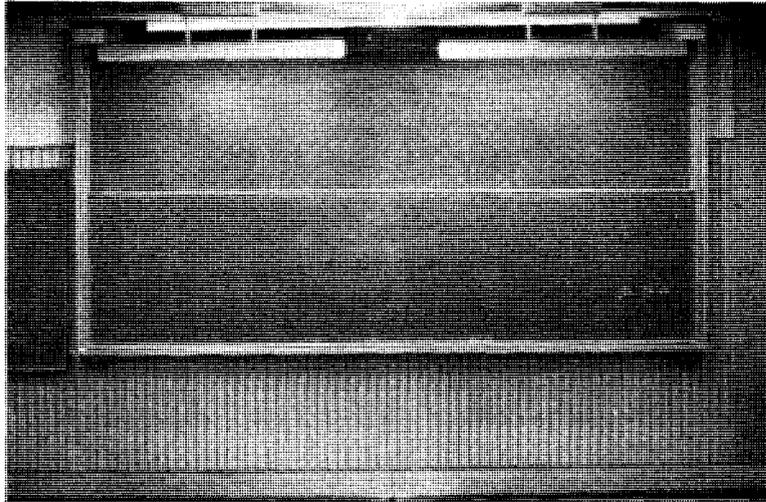


写真2 超硬調印画紙で仕上げた資料写真

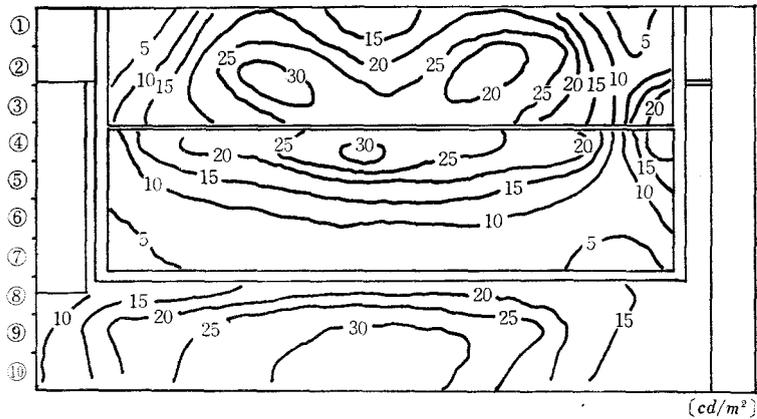


図6(a) 写真2から求めた輝度パターン

の良いものであって、輝度値の再現がかなり正確であった。したがって、これから作成された輝度パターンは図7(a)で、実測による図4のパターンに非常に類似している。この程度であれば、実用が供することができよう。X-Yレコーダより記録から写真への輝度値の記入、それによる等輝度曲線の作画は従来の方法で行なったので時間がかかったが、能率よく処理する工夫が今後の課題である。

§ 4 結 言

今回の実験では、普通の写真から輝度計で輝度値を測定し、X-Yレコーダにそれを記録し

輝度パターンを求めたが、写真は各トーンのしっかりした普通の写真として立派なものから正確な輝度値を再現できることがわかった。また写真の走査とX-Yレコーダの記録が完全に同調していたので、輝度値を確認しながらパターンを作成することができて好都合であった。この方法は、低輝度の場合有利な方法であるから良い結果が得られたが、晴天の屋外のような輝度が高く、しかもその差の大きい場合についても今後検討する必要がある。また、X-Yレコーダのキャリッジを利用して写真を走査させたので、その大きさが制限されたが、輝度計の指示は、その視野中の平均輝度であるから、写真

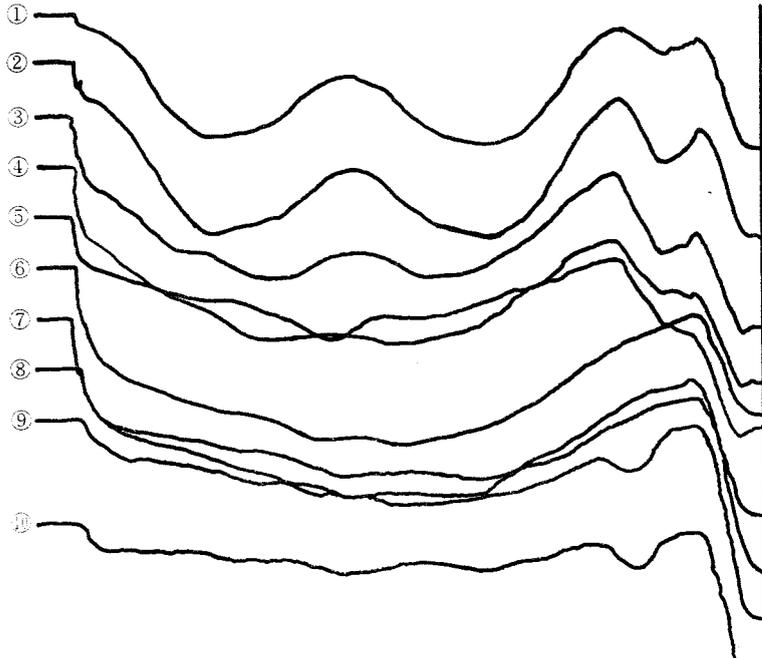


図 6 (b) 写真 2 から X-Y レコーダに記録させた輝度値

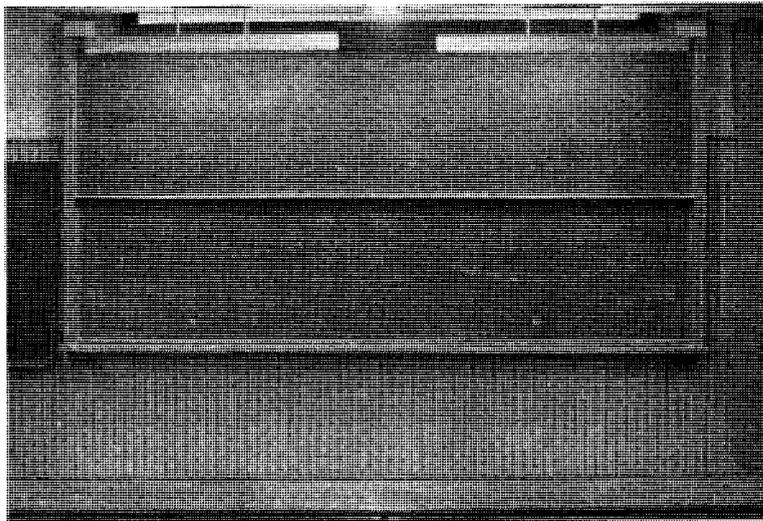


写真 3 硬調印面紙で仕上げた資料写真

は大きい程正確な結果が得られる。だから、写真をさらに大きくして測定する工夫が必要である。写真から輝度レベルの設定をすることは、困難な問題があるが、不可能ではないと考えられる。

最後に、卒業研究として測定に協力していた本校 7 期生の土井、小笠原、岡本、中西

の諸君に厚く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 委員会報告：輝度測定力指針 照学誌51—1(1967)
- 2) 藤井他：昭39照学東京支部大会講演論文 No.5 写真測光法
- 3) 藤井他：I T V 式輝度分布撮像装置とその応用例

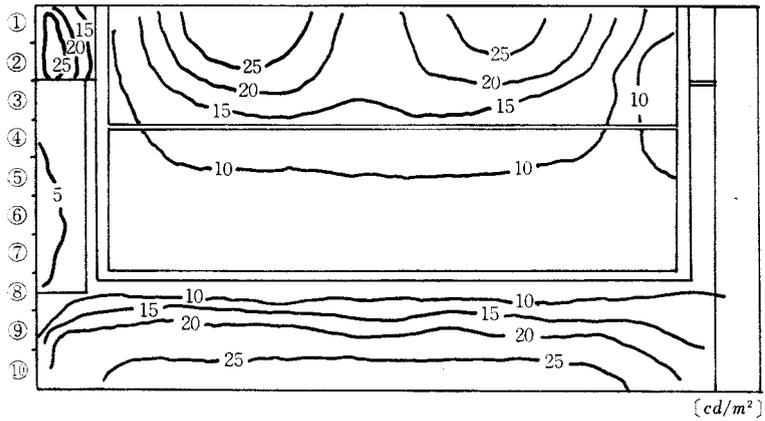


図7(a) 写真3から求めた輝度パターン

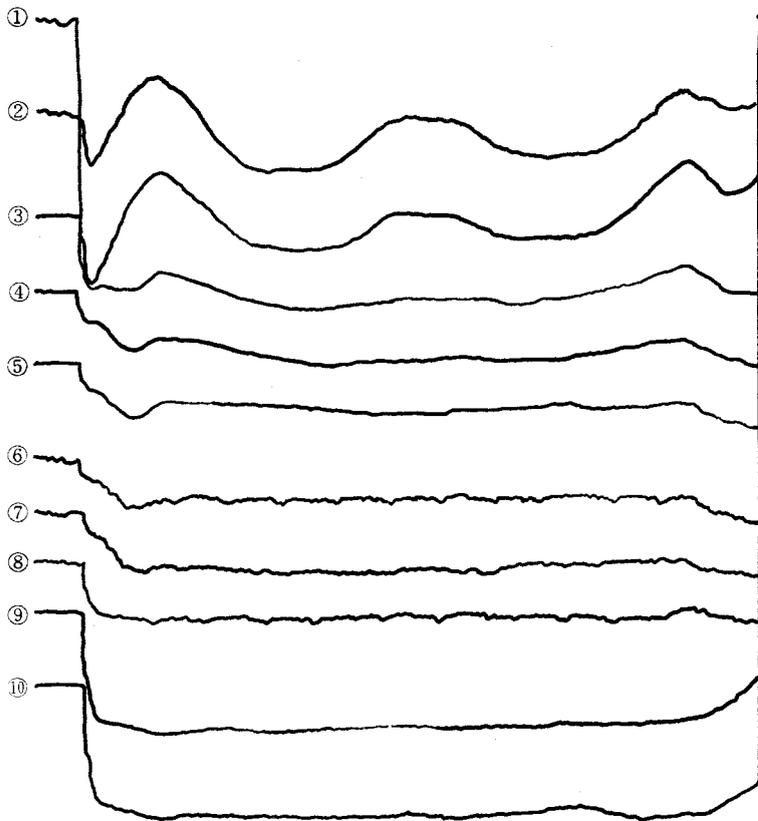


図7(b) 写真3からX-Yレコーダに記録させた輝度値

照学誌54-9 (1970)
 4) 藤井, 高橋: 輝度分布撮像装置と輝度パターン 東芝レビュー-25-10 (1970)
 5) I. Lewin & W. B. Bell: Luminance Measurement by Photographic Photometry ILL. Engng. 63-11

(1968)
 6) 寺村修: 輝度および輝度分布測定 照学誌 53-11 (1969)

(昭和50年10月20日受付)

呉高専 FACOM 230-28S システム

(電気工学科) 村上 滋 樹

FACOM 230-28S System of Kure Technical College

Shigeki MURAKAMI

The outline of the estimation on the computer system for educational use, and the feature of FACOM 230-28S system of Kure Technical College are described in this paper. Additionally, processing times on the arithmetic operations measured by FORTRAN programs are given. These values will be useful for effective programming.

1 はじめに

教育研究用中型電子計算機システムが昭和49年度設備費で導入され試用期間を経て、本格的に活用されるようになってきた。

システムをよりよく理解して頂くために、システム選定経過、システムの構成、特性及び運用の概要を紹介する。なお、演算処理速度の測定値を示したのでプログラミングの際には活用して頂きたい。

2 システム選定経過

昭和47年度当初より教育用計算機システムが近い将来導入されることを前提として、情報処理教育推進委員会において選定作業がすすめられ、選定基準、評価項目について一応の目安を得るとともにかなり具体的な評価が行なわれた¹⁾。

その後一年経過した昭和49年度に導入が実現することとなり改めて最終的な選定作業に入った。選定基準としては

- (1) 学生実習を主使用目的とし予算額内で導入可能なこと
- (2) 汎用性があること
- (3) 効率的なハードウェア構成でマークカード読取り可能であること

- (4) OS (オペレーティング・システム) が優秀であること
 - (5) 拡張性があること
 - (6) 操作性がよくオペレータの負担が少ないこと
 - (7) サービス体制が良好なメーカーのものであること
- を選んだ。

選定の対象となった機種は、OKITAC-4 300C (沖電気工業), TOSBAC 3400/31 (東京芝浦電気), HITAC 8250 (日立製作所) 及び FACOM 230-28S (富士通) の4機種で日本電気からは提案されなかった。

これらの中で HITAC 8250 は良いシステムではあるが価格の点で断念せざるを得なかった。FACOM 230-28S は昭和50年10月納入開始という新しいシステムではあるが過去かなりの実績をもつ230-25の改良機種であるため、汎用性では最も良く、仮想記憶 (VS) 機能がすぐれていること、入出力装置の速度もかなり早い、大容量ドラムをもっている。当面OSとしてBOSを使用するので虫が少ないなどの他、選定基準の詳細項目の多くについて他機種よりすぐれていたため、本校の計算機システムとして選定された。

3 システム

3.1 ハードウェアシステム

図1のような構成で28Sシステムとしては稼動可能な最小構成である。標準最小構成²⁾とするためには、データファイル用としてディスクバック装置1台かまたは磁気テープデッキ2台が必要であるが、バックベースでいく計画である。

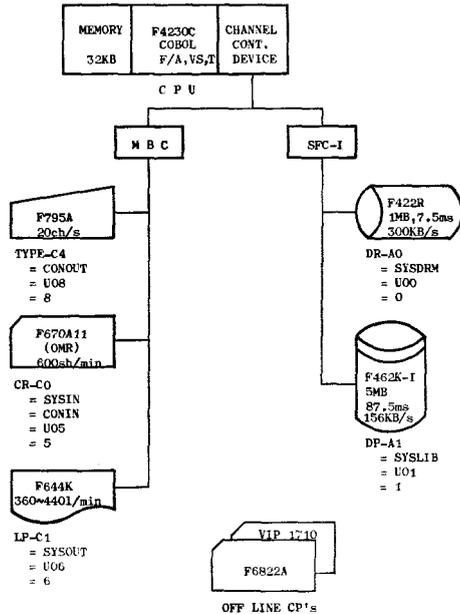


図1 呉高専 230-28S システム

3.1.1 CPU

基本、COBOL, FORTRAN/ALGOL の各モジュールと仮想記憶機構 (VS機構) とタイマーをもっている。VS機能はOSとしてBOSを使用しているのでその機能は活かされていない。汎用レジスタは8個あるが算術演算に使用されるのは4個で、他はインデックスレジスタ用と分岐命令アドレス格納用に用いられている。命令形式は1アドレス及び2アドレス方式がとられている。

CPUの処理速度を具体的に知るため算術演算の一部について測定し、併せて計算センターのものと比較してみたものが表1及び表2である。測定方法はDOループだけの時間を測り、次にDOループを含めた演算所要時間を測り正味の演算時間を算出する方法をとった³⁾。測定

表1 演算処理速度 [μ s] (その1)

システム 演算	FACOM 230-28S	FACOM 230-75	NEAC 2200/700
K=5	10.0	0.001	1.0
X=5.0	12.0	0.993	1.0
D X=5.000	24.0	0.002	1.6
J=K	10.0	0.001	1.1
J=X	606.0	3.23	22.1
J=D X	648.0	3.23	25.2
Y=K	553.0	0.991	6.2
Y=X	12.0	0.993	1.1
Y=D X	16.0	0.002	1.1
D T=K	562.0	0.994	6.7
D T=X	24.0	0.991	1.9
D T=D X	18.0	0.989	1.6

表2 演算処理速度 [μ s] (その2)

システム 演算	FACOM 230-28S	FACOM 230-75	NEAC 2200/700
N=6+4	12.0	0.001	1.5
N=6-4	14.0	0.004	1.5
N=6*4	62.0	0.001	2.7
N=6/4	58.0	0.001	6.6
N=6**4	678.0	0.001	4.5
X=10.0+2.0	26.0	0.993	1.7
X=10.0-2.0	28.0	0.994	1.6
X=10.0*2.0	68.0	0.991	2.4
X=10.0/2.0	108.0	0.990	3.4
X=10.0**2	590.0	0.990	2.3
X=10.0**2.0	5100.0	0.990	112.7
Y=EXP(X)	3200.	8.11	53.5
Y=ALOG(X)	2400.	10.5	43.0
Y=ALOG10(X)	2500.	.	57.5
Y=SQRT(X)	2400.	11.3	34.5
Y=ATAN(X)	2400.	13.6	56.5
Y=SIN(X)	2400.	12.5	36.1

用プログラムは図2及び図3の通りである。FORTRANを使用し、28Sの場合にはCLOCKMが使えないのでTIME (i, j, k) (ただしi時j分k秒)を利用し、230-75の場合にはCLOCKM (i) (ただしiミリ秒)を利用した。NEAC 2200/700についてはセンター・ニュース³⁾のものを流用させてもらった。

28Sについてはカタログデータに略等しい値

```

C
DOUBLE PRECISION DX,DT
CALL CLOCKM(I0)
DO 5 M=1,100
DO 5 I=1,10000
5 CONTINUE
CALL CLOCKM(IDO)
AO=IDO-I0
C
CALL CLOCKM(I10)
DO 10 M=1,100
DO 10 I=1,10000
K=5
10 CONTINUE
CALL CLOCKM(ITE)
A1=ITE-I10
AT=(A1-A0)*1.0E-6
WRITE(6,210) AT
210 FORMAT(1H0,10X,3HK=5,10X,E10,4,4H(MS))

```

図3 75 処理速度測定用プログラム

```

C
OPERATION TEST
DOUBLE INTEGER ITO,ITE
X=0.5
C
DO LOOP TIME
CALL TIME(KJ,KM,KS)
ITO=3600*KJ+60*KM+KS
DO 10 I=1,10000
10 CONTINUE
CALL TIME(KJ,KM,KS)
ITE=3600*KJ+60*KM+KS
A1I=ITE-ITO
AO=A1I*100.
C
DO AND OPERATION TIME
CALL TIME(KJ,KM,KS)
ITO=3600*KJ+60*KM+KS
DO 100 I=1,10000
Y=51N(X)
100 CONTINUE
CALL TIME(KJ,KM,KS)
ITE=3600*KJ+60*KM+KS
A1I=ITE-ITO
C
OPERATION TIME
AT=A1I*100.-AO
WRITE(6,110) AT
110 FORMAT(1H0,5X,8HY=51N(X),5X,F10,2,6H(MYUS))

```

図2 28S 処理速度測定用プログラム

が得られた。この方法で処理速度の概数値を得ることが実証されたと考えてよい。浮動小数点演算の場合には75は28Sの30~100倍の速度となっている。計算センター利用者が処理時間を概算する際の参考になると思う。

28Sの場合には、型変換（整数型→実数型など）、べき乗、基本外部関数の処理にはかなりの時間を要するので、プログラム作成時には充分考慮して処理時間のより少ないプログラムを作成すべきである。

主記憶は32KBの磁気コアメモリでサイクルタイムは2バイト当り1.5[μs]となっている。11月末には16KB増設して48KBとなるが、将来更に16KB増設して最大容量64KBに拡張する計画である。

3.1.2 補助記憶装置

システムファイルとして1MBのドラムをもっている。バック装置は15MBのもの1台より5MBのものを2台にすという構想の方が将来使い易くなるということで現在5MBのバック

ク装置1台をもっている。バックは4枚保有して居り、システムバックアップ用、常用、COLT用及び会計情報用に使い分けている。利用者ファイルは現状では割当てることが困難である。

3.1.3 入出力装置

マークカード読取り可能なカード読取機とカナ文字印字可能なラインプリンタ及び操作のコンソールタイプライタがある。自動製図機とオフライン連けいを行うため、紙テープせん孔出力装置をできるだけ早い機会に導入したい。

3.1.4 オフライン機器

カードせん孔機2台がありVIP 1710（沖電気工業製）はメモリ付でカナ文字せん孔可能である。12月末にはF6822Aがもう1台導入され計3台となる。

自動製図機は昭和50年度設備費により武藤工業製のシステム7011/A（HITAC10II, PTRつき）が導入される。テープせん孔出力装置導入実現後は28Sがホストコンピュータとして利用されることになる。

3.2 オペレーティングシステム（OS）

主記憶が32KBなので制御プログラムのメモリ常駐部を少なくしてユーザエリアを広くして使った方が有利であるとの観点をとってBOS（Batch Operating System）⁴⁾を使用している。メーカーは64KBに増設完了時にBOS/V S⁵⁾に移行すべきであると主張しているが、言語処理プログラムのレベルアップ、VS機構による処理速度の向上によるメリットとユーザエリアとの兼ね合いをどう解決するか目下検討中でBOSとBOS/V Sの併用も考えている。

3.2.1 制御プログラム

BOS MONITOR-II Edition 41 を使用している。会計機能、STACK ユーティリティ、会計情報編集（LOGEDIT）ユーティリティがあり運用上、利用上便利である。

会計情報の編集については、更にCOBOL、SORTを用いて利用者別、学科別に日毎、月毎、4半期毎（または通年）のデータを取り出すプログラムを開発している。⁶⁾

3.2.2 言語処理プログラム

(1)FORTRAN JIS水準7000と同一で、XYプロッタ用ルーチンなどが追加されてい

る。コンパイル時のエラーコードは FT nnnx (ただし n=0~9, X=WまたはYまたはZ) の形式でその数は 144, エラーメッセージは 9 種類ある。実行時のエラーコードは nnnn の形式でその数は 101 ありさらにコンソールタイプライタにもメッセージがでる。なお BOS/V S に移行すると FORTRAN S にレベルアップされ、最適化、外部記憶を意識しないでプログラムの作成が可能となる、デバッグ機能の充実、FORTRAN モジュールによる浮動小数点演算時間の短縮などが期待できる。

(2)COBOL COBOL 65のレベルである。BOS/V Sになると JIS COBOL が使える。

(3)その他 JIS水準 5060 の ALGOL, アセンブラの FASP, 事務用の RPG, FOCUS がある。

3・2・3 サービスプログラム

結合編集 (LIED), サポートユーティリティシステム編集, SORT/MERG, フレームユーティリティよりなっている。

3・2・4 教育用ユーティリティ (COLT)⁷⁾

COLT (Computer Language Training System) は情報処理マス教育用 OS で、演習担当者の作業の軽減を図り、ソースプログラム入力用にマークカードを使用して学級単位の一斉演習を可能とするとともに個人別エラー情報等の収集を可能としている。マーク作業は教室でも家庭でも可能なためカードせん孔機の台数が少くとも学生当りの演習量を多くすることができ教育効果を高めることができる。

個人別エラー情報等の解析については、メーカー提出のシステムは MT ベースのため使用できない部分もあるので、COBOL を用いて成績集計等を行うプログラムを作成中である。

3・2・5 アプリケーションプログラム

現在使用しているのは科学技術計算用サブルーチン (SSL) だけである。その数は約 260 本でパック #2 にオブジェクト形式で入れている。利用の際は結合編集時にオブジェクト形式で結合させる。

4 システム運用について

運用に関する基本的事項については情報処理

教育推進委員会で検討し、より具体的な細かい事項については電子計算機室できめている。電子計算機室には呉高専電子計算機室運営規程により、室長、室長補及び室員が配置され、現在は事務官 1 名が操作、事務処理及び他の業務を行っている。計算処理はクロズド利用を建前としているがオープン使用も漸次とり入れていく予定である。カードは利用者負担とし、学生演習の場合はマークカードを、卒業研究、教官研究の場合にはパンチカードを使用する。LP 用紙代は学科または教官に負担してもらっている。処理可能なジョブ数は処理時間 5 分以内のもので 1 日当たり 100 ジョブと見込んでいる。

5 むすび

呉高専 FACOM 230-28S システムの概要を紹介し、併せて問題点、拡張計画等についても述べたが、システム利用の際の参考にして欲しい。電子計算機室としては今後利用者啓発、システムの効率的活用、OS のレベルアップ、操作上の負担軽減に取り組んでいきたいと考えている。

教職員各位の深い御理解を頂き逐次システム強化が実現しつつあり感謝している。終りに今後の御協力をお願いし、システムの積極的利用を重ねてお願いしたい。

参 考 文 献

- 1) 村上：教育用小形計算機システムの評価について；呉高専研究報告第 8 巻第 2 号，昭和 48 年 6 月。
- 2) 富士通：FACOM 230-28S 解説；昭和 48 年 8 月。
- 3) 磯本：フォートラン 700 における算術計算の速度；大阪大学大型計算機センターニュース No.10，昭和 48 年 7 月。
- 4) 富士通：FACOM 230 BOS 解説編；昭和 48 年 10 月。
- 5) 富士通：FACOM 230 BOS/VS 解説書；昭和 48 年 8 月。
- 6) 吉野・町田：呉高専電子計算機室会計編集プログラム“EDP・LOG”；呉高専研究報告第 11 巻第 2 号，昭和 51 年 3 月。
- 7) 富士通：FACOM 230 BOS 教育用システム説明書；昭和 48 年 10 月。
- 8) 富士通：FACOM SSL 使用方法解説書；昭和 48 年 2 月。

(昭和 50 年 10 月 25 日 受付)

呉高専電子計算機室会計編集プログラム “EDP LOG”

(電気工学科) 吉 野 信 行
(電子計算機室) 町 田 勝 吉

An Approach to the Improvement of the LOG EDIT Program in
the Kure Technical College Computer Room “EDP LOG”

Nobuyuki YOSHINO
Masayoshi MACHIDA

In one of the Kure Technical College computer system's administrations, the LOG EDIT program in FACOM 230/25 BOS system has been used. If a monthly or yearly tabulation is desired, this program can not be used now. Then, we have tried to extend the LOG EDIT program and developed the EDP LOG program which can get a daily or monthly tabulation. In this paper, the EDP LOG flow chart is described in detail.

§ 1 緒 言

本校の電子計算機システム(FACOM 230/25 BOS)稼動状況管理には、会社から提供された LOGEDIT¹⁾ プログラムが使用されている。このプログラムの実行によって記憶された情報(SYS. LOG ファイル)は、非常に詳細であり、後処理に対しては、長所と考ふられるが、現状の SYS. LOG ファイルをそのまま日単位に記憶して行く場合、本校では、約15日分のジョブ処理でファイル領域がオーバーし、月或は年集計を取りたい時は無理である。又ラインプリンタに打出された情報もユーザのプログラム順に印字されているため、これらを再整理して日又は月の集計を取る必要が生じる。そこで筆者等は、SYS. LOG 領域の情報をジョブ単位に整理し日別ファイル(SYS. DAY)としてデスクに記憶させるプログラム(LOGDAY)を作成すると共に、SYS. DAY より日別及び月別集計を取るプログラム(EDP. LOG)を作成し

た。本文にはそれぞれのプログラムのフロチャートを示し、例として日別集された結果の表を載せた。

§ 2 処理工程フローの概要

図1に、処理工程フローを示す。図中A-1とA-2は、LOGEDITの処理を示す。A-3は、SYS. LOG ファイル内のCM及びUSレコードを除いたレコード(LO, JO, SO, SC, JC, LC 又はDY)を整理しSYS. DAY 領域に記憶させる LOGDAY プログラムを示す。A-4は、日別或は月別集計を得る場合に使用するソート機能²⁾を示す。集計の必要がない時は、日単位に、A-3の処理でSYS. LOG 領域に情報が記憶されていく。A-5は、ソートされたSYS. LOG ファイルの日別又は月別集計を取るためのEDP. LOG プログラムである。このプログラムでは、日別で2種類、月別で2種類の集計表が得られる。

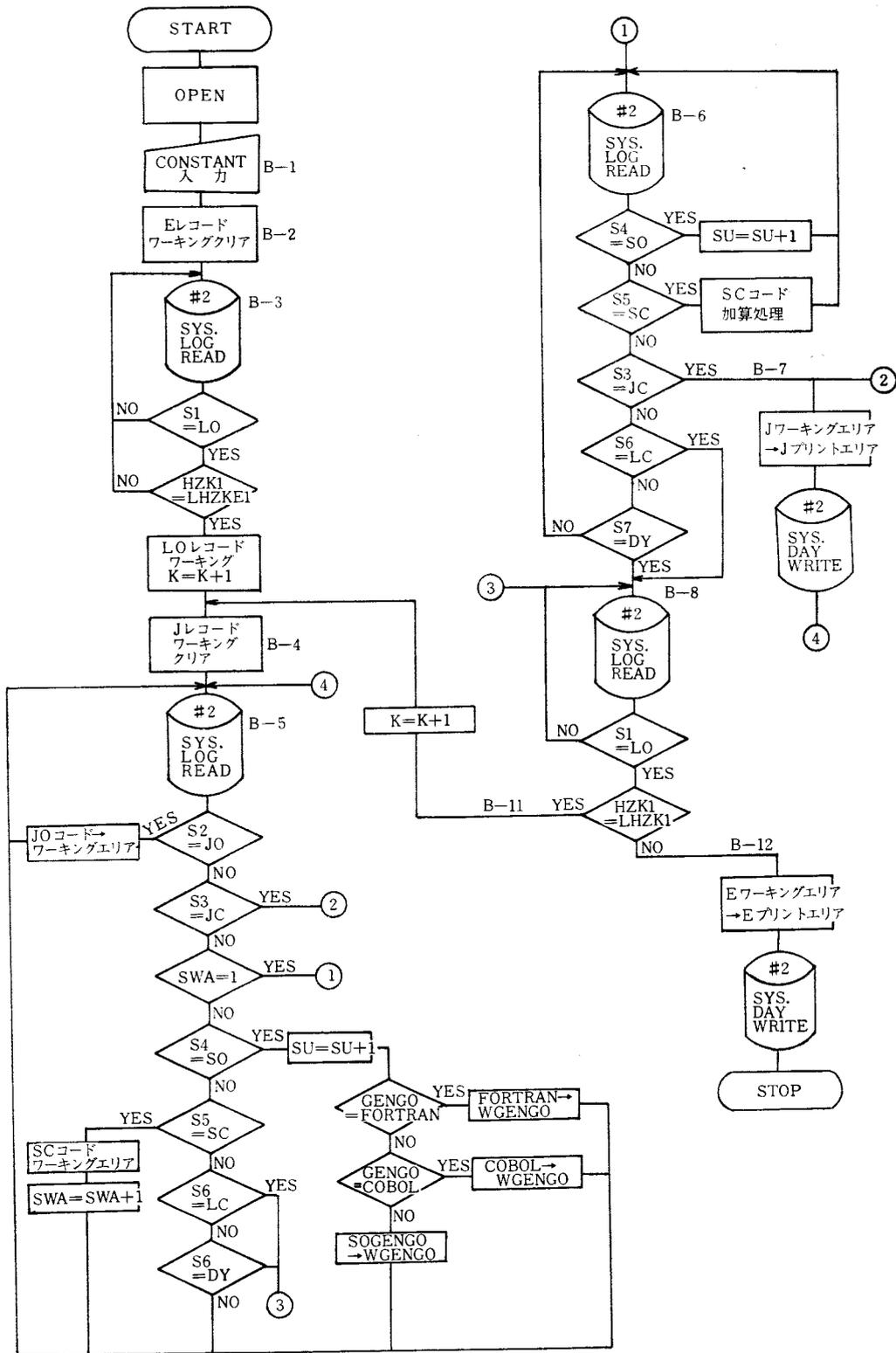


図3 LOGDAY フロチャート

説明する。一般にJOからJCレコードの並びには、JO, SO, SC, JCとJO, SO, SC, SO, …, SC, JCの2種類の並び方があるがどちらの場合も1ジョブとみなす。前者の方は、ユーザのプログラムのコンパイルの処理のみ、後者の方は、コンパイルした後実行の処理をする。後者の場合は、ループ1で、JO, SO, SCの処理がされた後SWA(スイッチ)処理により①にとび、次のSO, SC, JCのレコードの処理をし、SYS.DAYにJレコードを書いて、④に飛ぶ。前者に対しては、ループ1内の処理で1ジョブの処理をして②に飛びJレコードを書いて④に飛ぶ。B-5はSYS.LOGを読んで、JOレコードの場合、JONAMEとJOTIMEを作業領域(WJOTIME, WJONAM)に一時記憶させ、ジョブ数(KEN)のカウンタもする。SOレコードを読んだ場合、ステップ数(SU)のカウンタをし、GENGOをWGONGOに記憶させる。SCレコードを読んだ場合は、(SCLP, SCCPU, SCSORI)を(WSCLP, WSCCPU, WSCSORI)に記憶させ、SWAを1に設定させる。LC又はDYを読んだ場合については後述する。B-6でSOレコードを読んだ場合、ステップ数(SU)だけのカウンタをし、GENGOについては、処理しない。すなわち、ジョブ単位のGENGOは、最初に出て来たSOのGENGOを代表にした。SCレコードが読まれた場合は、B-5のSCで作業領域に記憶している(WSCLP, WSCCPU, WSCSORI, WLP, WSORI, WCPU)とSCレコード内のSCLP, SCCPU, SCSORIの加算処理及び、WKANE=WSCLP*3の計算処理をしてSYS.DAY領域のJレコードに記憶させて、次のジョブ処理のJOレコードを読みに行く。LC(DY)が読まれた場合は、システム終了かシステムダウンであるから、次のSYS.LOG領域を読みLOレコードが現われ、日付けの判定をおこなって条件にあわない時は、Eレコードに、システム開始時刻(WLOTIME)、システム終了時刻(WLCTIME)、ジョブ件数(KESU)、ジョブテップ(WSTEP)及びSCレコードの処理で総加算されたラインプリンタ枚数(WLP)、総実行時間(WCPU)、総処理

時間(WSORI)、システム開始回数を書き込んで終了する。B-8で日付けの判定で条件にあった場合は、システム開始回数をカウントして④に戻る。

§4 EDP.LOG プログラムフロー チャート

EDP.LOG プログラムを実行させる前にソート機能²⁾を必要とするのでSYS.DAYファイルのソートについて述べる。SYS.DAYファイルの並びは、J, J, ……、J, J, E, J, J, ……、J, E, J, ……、Eの順に並んでいる。ソートに使用するキーとして、第1キーをE、とJ、第2キーをジョブ名、第3キーを言語、第4キーを日付け及び第5キーを開始時間とし、上昇順に並ぶようにした。結果としては、E, E, E, ……、E, J, J, ……、Jの順になる。EDP.LOG プログラムにより、ソートされたSYS.TUKのレコードで、日別或は月別集計が取れる。図4にEDP.LOGプログラムのフロチャートを示す。C-1は、集計初日(HZK1)、集計終日(HZK2)、日別か月別集計かの指定(N, 1; 月, 0; 日)及びプリント指定(PRT, 1; 言語印字, 0; 言語印字なし)の定数をデータタイプライタにより入力する。C-2は、表紙にEDP.LOGの文字を印字させるためのサブルーチンを示す。Eレコードの処理に用いる(WEHZK1, WEHZK2, WSTIME, WEKENSU, WESTEP, WELP, WECPU, WSORI, WEETIME)のクリア処理を示す。C-4は、SYS.TUKを読んで、Eレコードが現われ、日付け(HZK1)と等しい場合、上記したワーキングにEレコードの内容を記憶させる。N=1、すなわち月別集計の場合は、C-6で、MONTHLYの文字を表紙にかかせ、Eレコード内のジョブ件数(KEN)、ジョブステップ数(STEP)、印刷枚数(TLP)、実行時間(TCPU)、処理時間(TSORI)集計をTASU1のサブルーチンで処理する。C-7は、処理時間の総計を時間、分、秒になおす処理をする。C-5で、N=0の時は、日別集計であるから、表紙にDAILYの文字をかくサブルーチンに飛び、後は、C-7の

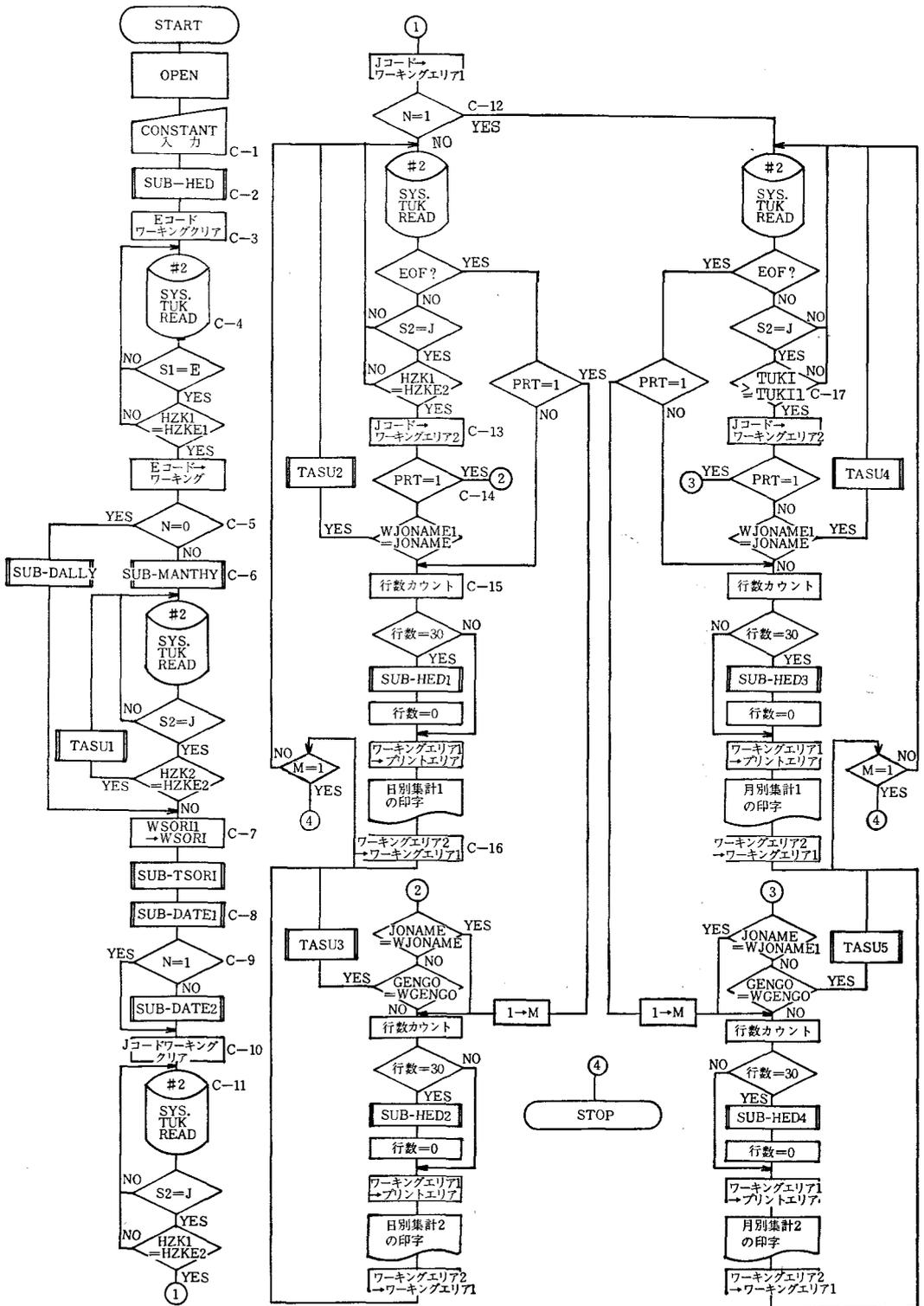
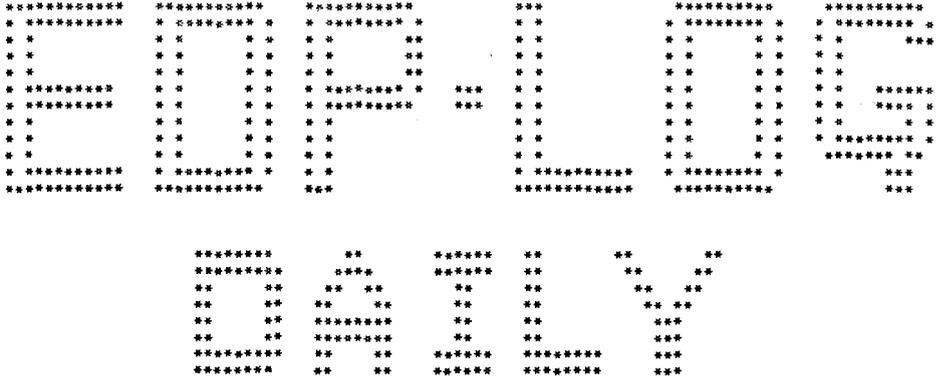


図4 EDPLOG フロチャート

処理をする。C-8は、§5の図5に示す表紙のDATEからLPSHEETまでを書くサブルーチンである。C-9は、N=0の時、表紙のSTART TIME (システム開始時刻)、END TIME (システム終了時刻)を書くサブルーチンである。C-10は、Jレコードの処理に用いる作業領域1 (WJONAME1, WGENGO1, WHZKE

12, WJOT11, WJOLP1, WJOLP1, WJSOR1, WJOT21, WKESU1), 作業領域2, (WJONAME2, WGENGO2, WHZKE22, WJOT12, WJOLP2, WJCPU2, WJSOR2, WJOT22, WGENKENSU1), 作業領域3, (WKINGAKU1, WKENNSU, LCTR(行数カウント)のクリア処理を行なう。C-11は、Jレコードを読みHZK1と、



```

DATE ..... 75:10:15
COMPUTER ..... FACOM 230-25
NUMBER OF JOB ..... 22
NUMBER OF JOB STEP ..... 48
TOTAL PROCESS TIME ..... 003:16:19
TOTAL CPU TIME ..... 6336.786
LP SHEET ..... 307
START TIME ..... 09:56:36
END TIME ..... 19:54:13
    
```

JOB NAME	GENGO	KENSU	SORI TIME	CPU TIME	LP=SHEET
	FORTKAN	1	000:00:05	0,462	2
A003MONZ	FORTKAN	1	000:07:23	400,392	6
C001KURO	FORTKAN	2	000:01:30	9,049	10
E002NOMU		1	000:00:46	0,029	0
E002NOMU	FORTKAN	12	001:51:46	1747,346	192
E007UOTA	FORTKAN	3	000:14:24	608,363	93
M002KYOM	FORTKAN	2	001:00:23	3571,145	4

図5 日別集計結果の一例

HZKE1 が等しい場合、J レコード内の情報を記憶させる。C—12で日別か月別かの判定をさせる。C—13は、J レコードを読み、HZK1, HZKE2 が等しい時は、J レコードの情報を作業領域2に記憶させる。C—14の判定は、プリント指定で、PRT=0 (言語なし) の時は、連続した同じジョブ名のJ レコード内の情報(JLP, JCPUT, JSORT, KAKE) を作業領域1 (WJOLP1, WJOCPUT, WJOSORI, KAKE) に加算処理をTASU2で行ない、ジョブ名が異なった場合は、作業領域1の内容をC—15以下で書かせる。C—16はC—11のJ レコードの作業領域への記憶と同じ処理に用いられる。C—14でPRT=1 (言語有り) の時は②に飛ぶ。②以下の処理については、言語の判定をする外、PRT=0の場合と同じ処理をする。N=1 (月別集計) については、C—17の日付けの判定が異なる外は、N=0と同じ処理をするので説明は省略した。

§ 5 印刷形式

図5は日別集計のプリント指定1の場合の結果である。表紙のDATEからEND.TIME又集計の内容もLOGEDITと同じ書式にした。月別集計の結果は示さなかったが、日別集計のLPSHEETの後に金額を付け加えた。金額としては、本校の場合、ラインプリンタ用紙

1枚につき、3円を個人負担としている。図中のJOBNAMEの所に空白があるのは、JOBのコントロールカードに、ジョブ名がなかった事を示す。GENGOの空白は、ジョブコントロールカードだけでユーザのプログラムがなかった場合を示す。

§ 6 結 言

本プログラムの実行は、デスクバック内のSYS.LOGファイルを利用しているため、LOGEDITの実行の失敗或は、計算機実行中SYS.LOG領域がオーバーした場合、システムダウンした場合は、正確な会計情報が得られない。これらの解決としては、ドラム内のSYS.LOGファイルを利用すれば良い。今後はドラム内のSYS.LOGファイルを使用出来るよう改良を試みたい。プログラムの作成にあたって、問題の提起及び便宜を計って頂いた電子計算機室長村上教授及び平素色々と御指導頂く広島大学太田教授、沖田講師、扶桑電子工業、久兼各位に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 富士通編 FACOM 230 BOS サポート・ユーティリティ文法編説明書 (1973)
- 2) 富士通編 FACOM 230 BOS リートノマージ文法編説明書 (1973) (昭和50年11月6日受付)

減力時の剛性低下が地震応答性状に及ぼす影響

(その1、正弦波による応答解析)

(建築学科) 門 前 勝 明

Effect of Stiffness-Degrading on Earthquake Response Behavior

(Part 1, Response Analysis of Sinusoidal Excitation)

Katsuaki MONZEN

This is a theoretical study on the effect of stiffness-degrading on earthquake response behavior. The steady-state response to sinusoidal excitation of a one degree-of-freedom structure with various stiffness-degrading properties is investigated with both the method of slowly varying parameters and the method of numerical integration of the equation of motion in order to obtain the resonant amplitude and frequency response curves.

The results of this study show that the loss of stiffness leads to increased amplitude displacements and that the above mentioned systems have conspicuously different response characteristics from the ordinary elasto-plastic systems, especially near the resonant point.

§ 1 緒 言

1968年の十勝沖地震で鉄筋コンクリート構造物が著しい被害を受けたことを契機に、鉄筋コンクリート構造物または構造部材の静・動的繰り返し実験結果や鉄筋コンクリート構造物を対象にした種々の復元力特性モデルによる地震応答解析結果は多数報告されているが未だ不明な部分が多く大地震に対する終極強度概念を与えるには充分であるとは言えない。

既報¹⁾で、鉄筋コンクリート骨組を対象に簡単な復元力特性モデルを設定し、地震波 (TAFT, EW) に対する応答解析結果を報告したが、本報告では正弦波に対する応答解析により挙動のメカニズムを検討しようというものである。

§ 2 復元力特性

従来行われた種々の鉄筋コンクリート構造部材及び骨組の静・動的繰り返し加力実験結果と応答解析結果を参考にして、図1に示す既報¹⁾の履歴モデルを使用する。減力時の剛性低下は次式で与える。

$$K_r = K (x_y / x_{max})^\alpha \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 K_r = 除荷時の傾斜
 K = 弾性バネ定数
 x_{max} = 最大変形
 x_y = 降伏変形
 α = 剛性低下定数

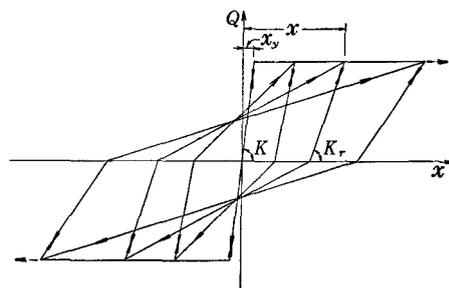


図1 復元力特性

このモデルの特徴は $\alpha=0$ の場合 R. W. Clough の提案する Degrading Stiffness Model²⁾ に対応し、 $\alpha=1$ の場合、原点指向型となる。

§ 3 解析方法

一質点系構造物が地震動をうけた場合、質点の運動方程式は次式で与えられる。

$$m\ddot{x} + C\dot{x} + Q(x) = -m\ddot{y}_0 \dots\dots\dots(2)$$

- ここで、
 x = 基礎に対する質点の変位
 m = 質量
 C = 減衰係数
 $Q(x)$ = 復元力
 \ddot{y}_0 = 地震加速度 = $A \sin \omega t$
 ω = 円振動数

(2)式はルンゲ・クッタ法で解くことができる。

一質点系の弾性固有周期は $T_0=0.5$ 秒とし、降伏せん断力は線形最大応答せん断力によって適当に変化させた。除荷時の剛性低下ファクター α は 0~1 までを 0.2 きざみの 7 種類とし、減衰常数 $h(C/2\sqrt{Km})$ は 2% と 5% とした。地動の最大加速度 $A=1g$ とし、円振動数 ω は固有振動数との比 $\lambda(\omega/\omega_0, \omega_0=2\pi/T_0)$ が 0.2~1.6 になるように変化させた。計算時間きざみは 0.01 秒とし、計算時間は10秒間とした。

§ 4 解析結果とその検討

4.1 応答の特性

図2に塑性率 $\mu(\mu=x_{max}/x_y)$ が丁度 3, 6 及び 10 になるような降伏せん断力係数 k_y (降伏せん断力/自重) と振動数比 λ の関係を示す。 $\mu=3$ (図2-1 参照) の場合、 α の大きさによる影響は λ が増

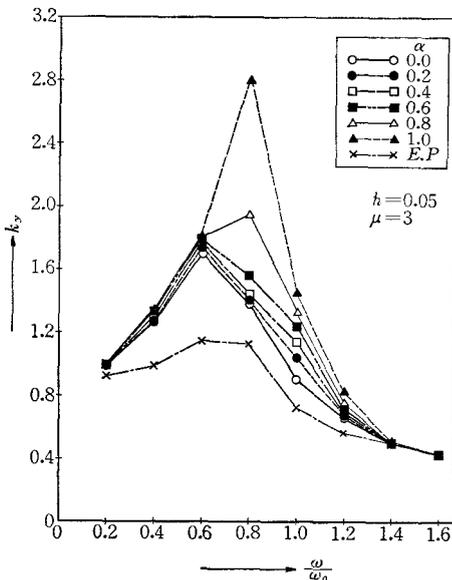


図2-1 $\mu = 3$ を与える降伏せん断力係数—振動数比

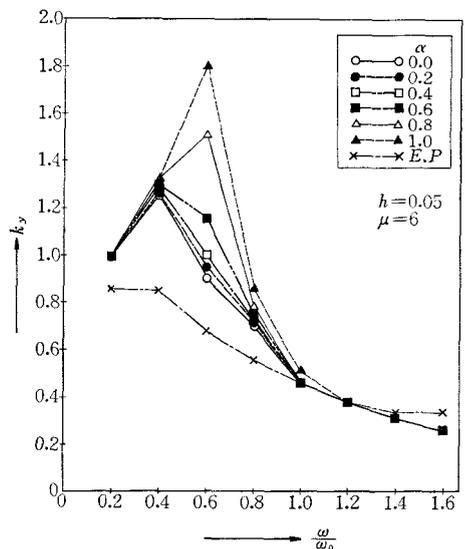


図2-2 $\mu = 6$ を与える降伏せん断力係数—振動数比

加するほど大きくなり、 $\lambda=0.8$ 付近で最大となった後に λ の増加と共に徐々に減少し、 $\lambda=1.6$ 付近ではほとんど影響がない状態になっている。 $\mu=6$ (図2-2 参照) の場合、全体の傾向は $\mu=3$ の場合と同様であるが、 $\lambda=0.6$ 付近でもっとも α の大きさによる影響が顕著になっている。 $\mu=10$ (図2-3 参照) の場合、 $\lambda=0.6\sim 0.8$ 付近でもっとも顕著に表われ、その後 λ の増加と共に急激に減少し、 $\lambda=0.8$ 以上ではほとんど影響がない状態になっている。全般的に、 α の大きさによる影響は $\alpha=0\sim 1$ の範囲で、 α が大きいほど顕著に表われている。以上の剛性低下の程度が最大変位にもっとも顕著に表われている λ の値が丁度共振点付近に相当することより、剛性低下の影響は共振状態付近で、 α が大きいほど (剛性の低下が著しいほど) 顕著に表われてくるものと予想される。図3に $\lambda=0.6$ (図3-1) と $\lambda=1.6$ (図3-2) の降伏せん断力係数 k_y と塑性率 μ の関係を示す。また図4に

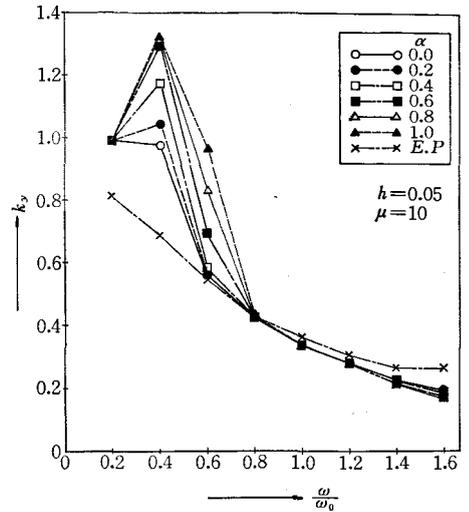


図2-3 $\mu=10$ を与える降伏せん断力係数-振動数比

降伏せん断力係数と最大変形の関係を示す。 $\lambda=0.6$ (図3-1, 図4-1 参照) の場合、完全弾塑性モデルと剛性低下モデルを比較すると、両者は著しく様相を異にしている。完全弾塑性モデルは降伏せん断力の減少に伴い徐々に変形が増加しているのに対し、剛性低下モデルは降伏せん断力がある値に達すると急激に変形が増加し、その後は降伏せん断力が減少しても最大変形はさほど増加しないで適当な変形量が保存される傾向にあるようである。急激な変形増加を与える降伏せん断力は α が大きいほど大きく、最大変形量も α が大きいほど大きい。 $\lambda=1.6$ (図3-2, 図4-2 参照) の場合、完全弾塑性モデルと剛性低下モデルはほとんど同じ様相を示している。

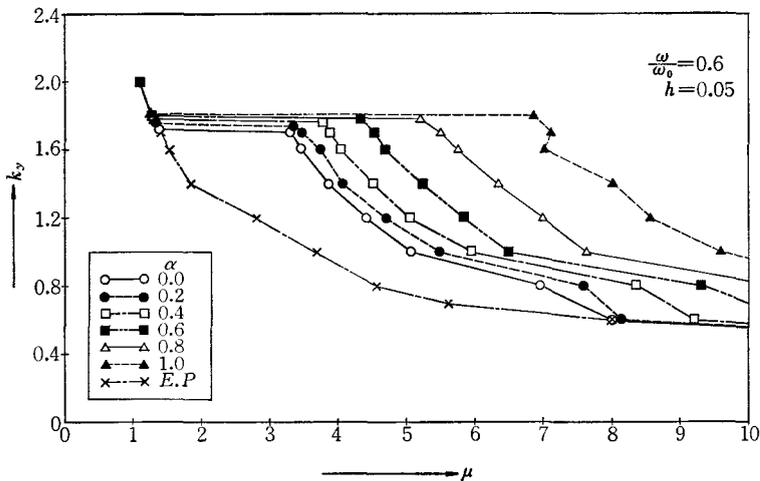


図3-1 降伏せん断力係数-塑性率曲線

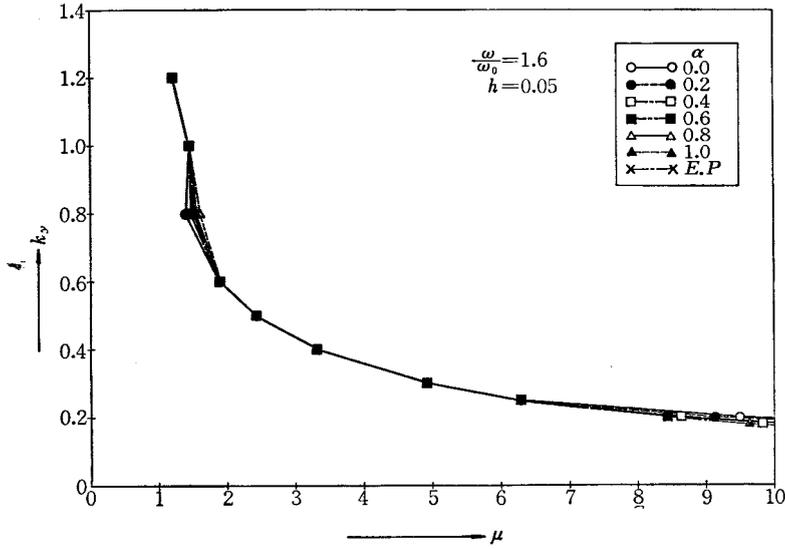


図3-2 降伏せん断力係数-塑性率曲線

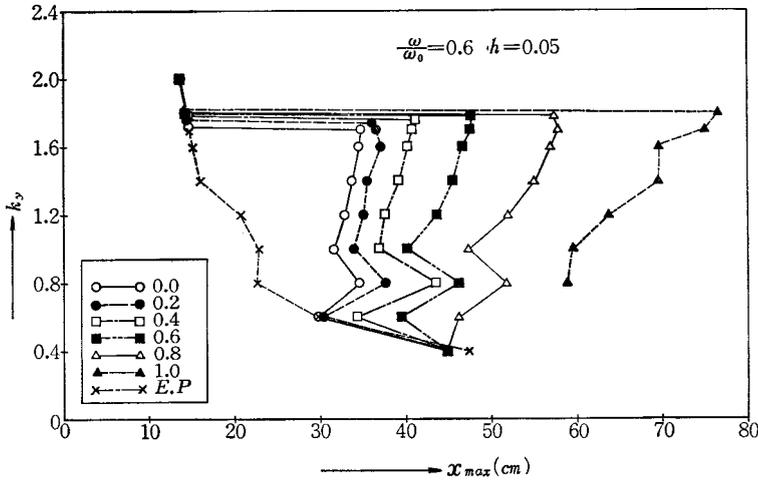


図4-1 降伏せん断力係数-最大変形曲線

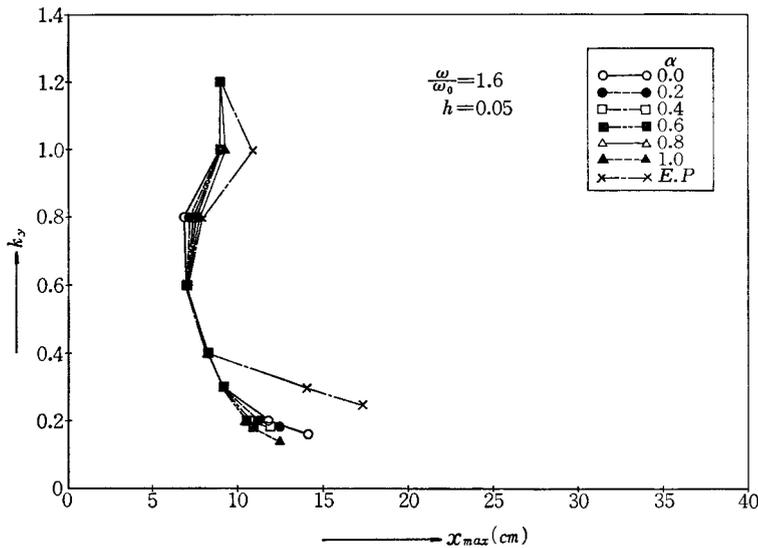


図4-2 降伏せん断力係数-最大変形曲線

4.2 応答波形の性質

図5に完全弾塑性モデル ($E \cdot P$) と剛性低下モデル ($\alpha=0.8$) の応答波形の比較を示す。 $\lambda=0.6$, $k_y=1.6$ (図5-1参照) の場合, 剛性低下モデルは過度振動で変形が徐々に増加する一種の共振状態

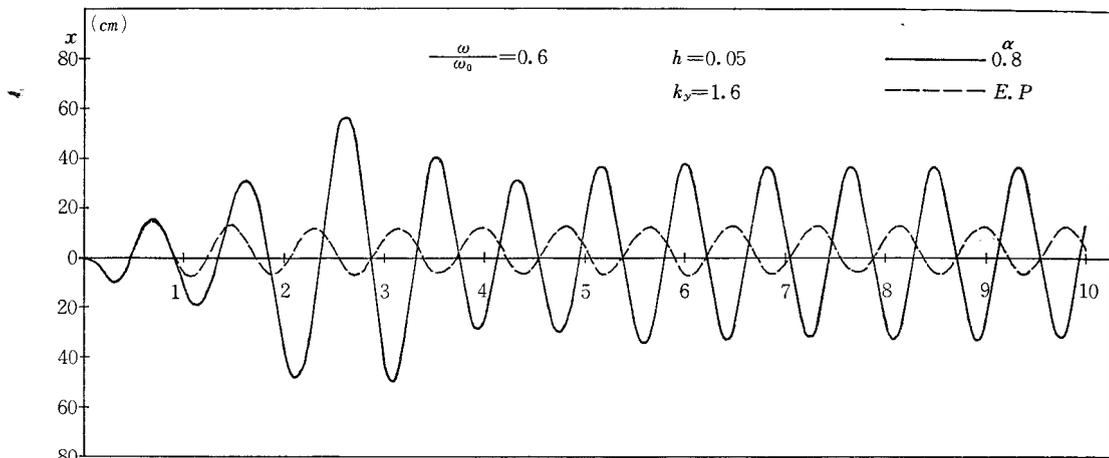


図5-1 変位-時間曲線

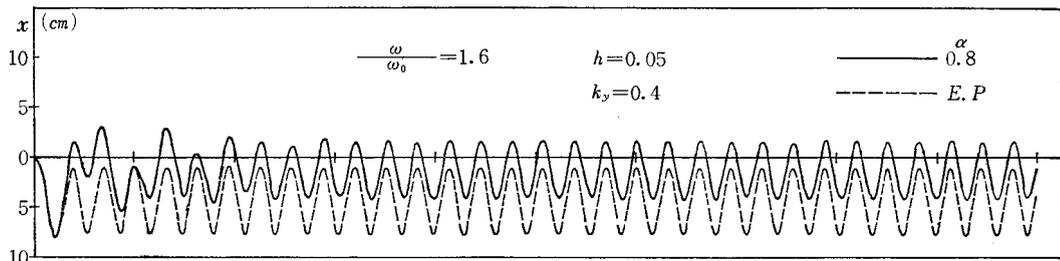


図5-2 変位-時間曲線

を起して最大変形に達し, 定常状態に移行している。定常状態において, 完全弾塑性モデルと剛性低下モデルの振動周期はほとんど一致しているが, 振幅は剛性低下モデルのほうがかなり大きく, この場合, 3倍以上になっている。 $\lambda=1.6$, $k_y=0.4$ (図5-2参照) の場合, 両モデル共最初の一波で最大変形に達しているため最大変形は相等しくなっている。定常状態において, 完全弾塑性モデルと剛性低下モデルの振動周期はほとんど一致しているが, 振幅は前例と逆に完全弾塑性モデルの方が少し大きくなっている。

§ 5 定常振動 (Slowly Varying Parameter)

5.1 定常振動解の基礎式

正弦波地動を受ける一質点系の運動方程式は次式で与えられる。

$$m\ddot{x} + C\dot{x} + KF(x, t) = -mP \cos(\omega t + \varphi) \dots\dots\dots (3)$$

図6で定常振動はAから始まってB, Cに至る半周期振動の繰り返しであると考えられる^{3,4,5)}。

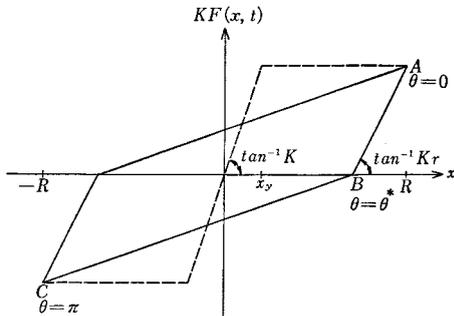


図6 定常状態の履歴特性

$$\begin{aligned}
 F(x, t) &= \left(\frac{x_y}{R}\right)^\alpha \left[x - \left\{ R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\} \right] & 0 \leq \theta \leq \theta^* \\
 &= \frac{x_y}{2R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha} \left[x - \left\{ R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\} \right] & \theta^* < \theta \leq \pi \dots\dots\dots(4)
 \end{aligned}$$

(3)式の解を近似的に正弦波とし、復元力関数 $F(x, t)$ をフーリエ級数に展開し一次項のみを取り上げれば次式が得られる。

$$x = R \cos \omega t \dots\dots\dots(5)$$

$$F(R \cos \theta, \theta) = R(C_1 \cos \theta + S_1 \sin \theta) \dots\dots\dots(6)$$

ここで $\theta = \omega t$

$$C_1 = \frac{1}{\pi R} \int_0^{2\pi} F(R \cos \theta, \theta) \cos \theta d\theta \dots\dots\dots(7)$$

$$S_1 = \frac{1}{\pi R} \int_0^{2\pi} F(R \cos \theta, \theta) \sin \theta d\theta$$

ここで θ^* は次式によって与えられる。

$$\theta^* = \cos^{-1} \left\{ \frac{R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha}{R} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

(4)式を(7)式に代入すれば、 C_1 と S_1 が得られる。

$$\begin{aligned}
 C_1 &= \frac{2}{\pi R} \left(\frac{x_y}{R}\right)^\alpha \int_0^{\theta^*} \left[R \cos \theta - \left\{ R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\} \right] \cos \theta d\theta \\
 &\quad + \frac{2}{\pi R} \frac{x_y}{\left\{ 2R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\}} \int_{\theta^*}^{\pi} \left[R \cos \theta - \left\{ R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\} \right] \cos \theta d\theta \dots\dots\dots(9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2}{\pi R} \left(\frac{x_y}{R}\right)^\alpha \left[\frac{R}{4} \sin 2\theta + \frac{R\theta}{2} - \left\{ R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\} \sin \theta \right]_0^{\theta^*} \\
 &\quad + \frac{2x_y}{\pi R \left\{ 2R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\}} \left[\frac{R}{4} \sin 2\theta + \frac{R\theta}{2} - \left\{ R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\} \sin \theta \right]_{\theta^*}^{\pi} \\
 &= \frac{2}{\pi R \left\{ 2R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\}} \left[\left\{ R \left(\frac{x_y}{R}\right)^\alpha - x_y \right\} \left\{ R\theta^* + \left(x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha - R \right) \sin \theta^* \right\} + \frac{1}{2} \pi R x_y \right] \dots\dots(10)
 \end{aligned}$$

$$= \frac{2}{\pi \mu (2\mu - \mu^\alpha)} \left[(\mu^{1-\alpha} - 1) \{ \mu \theta^* + (\mu^\alpha - \mu) \sin \theta^* \} + \frac{1}{2} \pi \mu \right] \dots\dots\dots(11)$$

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{2}{\pi R} \left(\frac{x_y}{R}\right)^\alpha \int_0^{\theta^*} \left[R \cos \theta - \left\{ R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\} \right] \sin \theta d\theta \\
 &\quad + \frac{2x_y}{\pi R \left\{ 2R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\}} \int_{\theta^*}^{\pi} \left[R \cos \theta - \left\{ R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\} \right] \sin \theta d\theta \\
 &= \frac{2}{\pi R} \left(\frac{x_y}{R}\right) \left[-\frac{1}{4} R \cos 2\theta + \left\{ R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\} \cos \theta \right]_0^{\theta^*} \\
 &\quad + \frac{2x_y}{\pi R \left\{ 2R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\}} \left[-\frac{1}{4} R \cos 2\theta + \left\{ R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\} \cos \theta \right]_{\theta^*}^{\pi} \\
 &= -\frac{2x_y}{\pi R^2} \left\{ R - x_y \left(\frac{R}{x_y}\right)^\alpha \right\} \dots\dots\dots(12)
 \end{aligned}$$

$$= -\frac{2}{\pi\mu}(1-\mu^2-1) \dots\dots\dots(13)$$

ここで $\mu=R/x_y$ (塑性率)

解(5)式および(11), (13)式を運動方程式(3)式に代入し, $\sin \omega t, \cos \omega t$ の係数を比較すれば次の関係を得る。

$$\begin{aligned} (KC_1 - m\omega^2)R &= -mP \cos \varphi \\ (-C\omega + KS_1)R &= mP \sin \varphi \dots\dots\dots(14) \end{aligned}$$

$$\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^4 + (4h^2 - 2C_1)\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 - 4hS_1\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) + \left\{C_1^2 + S_1^2 - \left(\frac{F}{\mu}\right)^2\right\} = 0 \dots\dots\dots(15)$$

$$\mu = F \frac{1}{\sqrt{\left\{C_1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right\}^2 + \left\{S_1 - 2h\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)\right\}^2}} \dots\dots\dots(16)$$

ここに $\omega_0^2 = K/m, F = P/x_y\omega_0^2$

共振時の最大応答変位量は(15)式と $d\mu/d\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) = 0$ より,

$$\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^3 + (2h^2 - C_1)\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) - hS_1 = 0 \dots\dots\dots(17)$$

から求めることができる。

5.2 応答結果

応答結果の例を図7に示す。図7-1は完全弾塑性モデルの、又図7-2, 図7-3は α の変化, F (外力レベル) の変化を塑性率と振動数比の関係で示したものである。図8は(17)式を利用して、共振状態における F と塑性率の関係を完全弾塑性系及び α をパラメーターに示したものである。定常応答に関するかぎり次の様なことがわかる。

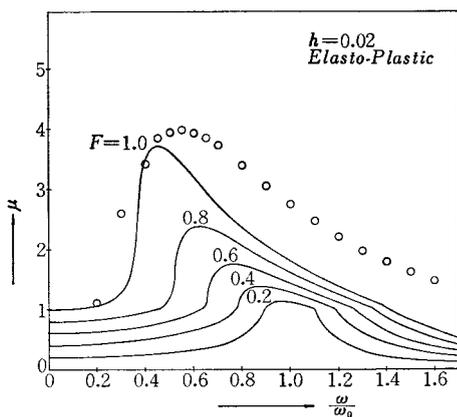


図7-1 共振曲線

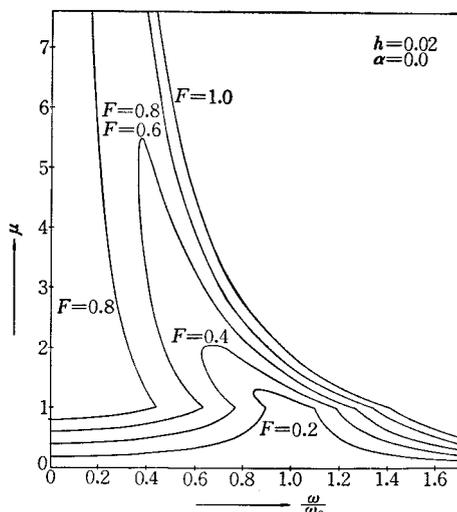


図7-2 共振曲線

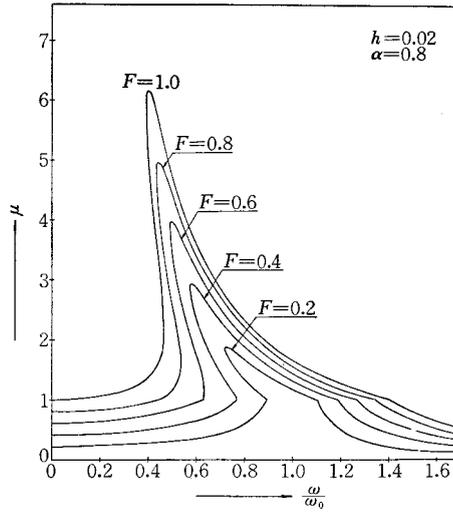


図7-3 共振曲線

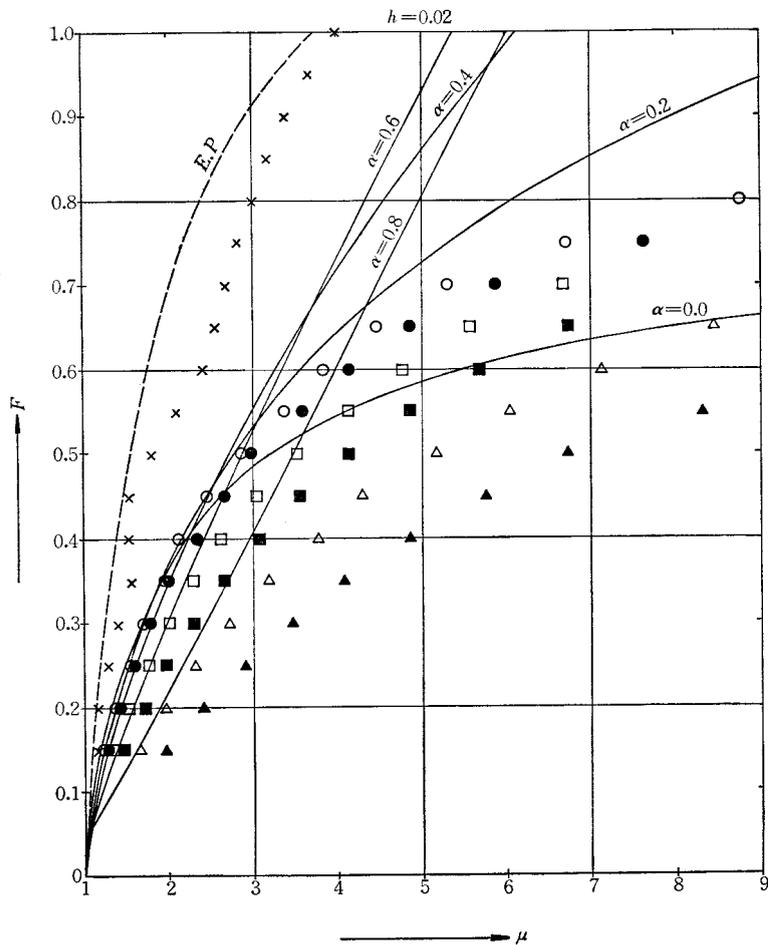


図8 共振状態における $F-\mu$ の関係

- (1) 共振状態付近で、剛性低下モデルの最大応答量は完全弾塑性モデルに比較し著しく大きい。
- (2) 剛性低下モデルはいわゆる応答のジャンプ現象が見られる。
- (3) 共振状態で、 α が大きいほど応答量が大きくなるとは限らない。

5.3 Slowly Varying Parameter による計算結果と数値計算結果の比較

Slowly Varying Parameter による計算結果の信頼性を検討するため前節で述べた数値計算結果との比較を図7-1と図8に示す。図7-1の白丸は完全弾塑性モデル、 $F=1.0$ の最大応答量を図示したものである。応答量は振動数比 $(\frac{\omega}{\omega_0})$ が共振点以上になると数値計算結果の方がかなり大きくなっている。これは、数値計算結果の場合、最大応答値は過度振動で生じているためで、定常振動部ではさらに

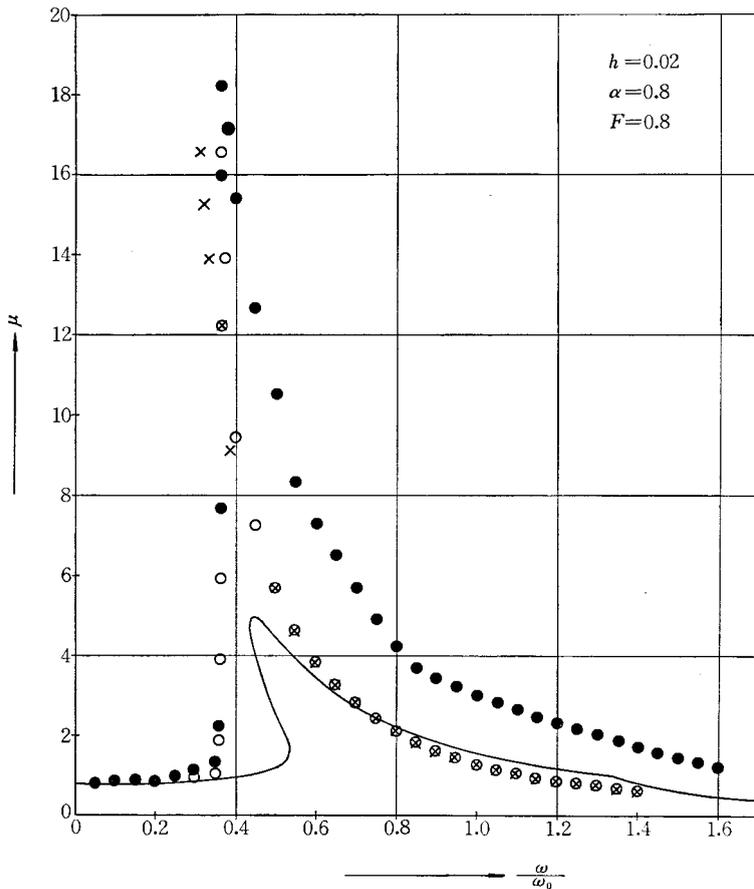


図9 共振曲線

よく一致するものと考えられる。図9に剛性低下モデル ($\alpha=0.8, F=0.8$) の両計算結果の比較を示す。図中実線は Slowly Varying Parameter による計算結果、黒丸は数値計算による最大応答量、白丸は定常部の応答量を示す。Slowly Varying Parameter による計算結果と数値計算結果に著しい相異があることがわかる。特に共振部で数値計算結果の方が著しく大きな応答量を示している。また数値計算結果の過度振動部の最大振幅と定常振動部の振幅を比較すると、過度振動が無視できないほど大きな応答量を示している。図8に共振状態における両計算結果の比較を示す。完全弾塑性モデルの場合両計算結果は比較的良好に一致しているのに比べ、剛性低下モデルの場合、両計算結果は応答量、応答傾向とも著しい相異がある。数値計算結果は α が大きいほど応答量も大きくなっているが、Slowly Varying

Parameter による定常振動計算結果は α による一定の傾向は見られない。

§ 6 結 論

以上鉄筋コンクリート骨組を対象に正弦波による応答解析によって減力時の剛性低下が応答性状に及ぼす影響について検討した結果、次の結論を得る。

1) 減力時の剛性低下ファクター α が応答に与える影響は振動数比 $\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$ によって異なるが、特に共振部で α が大きいほど最大変位も大きくなる。

2) 剛性低下モデルは降伏せん断力がある値に達すると急激に変形が増加する傾向がある。急激な変形増加を与える降伏せん断力は α が大きいほど大きい。

3) Slowly Varying Parameter による定常振動応答結果と数値計算応答結果を比較すると、完全弾塑性モデルの場合両者は比較的良好に一致するが、剛性低下モデルの場合、両計算結果は著しく様相を異にし、共振部で数値計算結果の方が著しく大きな応答量を示す。また剛性低下モデルの場合、過度振動を無視できない。

4) 剛性低下に伴う連続共鳴振動状態は α が大きいほど共鳴振動を起しやすい。

本報告の計算にあたり呉工業高等専門学校計算機室 FACOM 230-28S を使用した。関係諸氏に深謝します。

参 考 文 献

- 1) 門前勝明：鉄筋コンクリート骨組の地震応答，呉工業高等専門学校研究報告，第11巻第1号，昭和50年9月
- 2) R.W. Clough: Effect of Stiffness Degrading on Earthquake Ductility Requirement, 第2回日本地震工学シンポジウム, 1966
- 3) 田治見宏：耐震塑性設計における最適震度を求めるための近似計算法, Proceedings of Japan National Symposium on Earthquake Engineering, 1962, Japan
- 4) T.K. Caughey: Sinusoidal Excitation of a System with Bilinear Hysteresis, Journal of Applied Mechanics, Trans. ASME, Vol. 27, Series E, 1960
- 5) 田治見宏：建築振動学，コロナ社

(昭和50年10月22日受付)

編 集 委 員

糸	島	寬	典
石	嶋	篤	司
下	村		登
広	光	清 次	郎
竹	村	和	夫
藤	井		健

呉工業高等専門学校

研究報告

第11卷 第2号 (1976)

(通巻 第17号)

昭和51年3月印刷

昭和51年3月発行

編集兼
発行者 呉工業高等専門学校

〒737 呉市阿賀南2丁目2ノ11

電話 呉 (0823) 71-9121

印刷所 中本総合印刷株式会社

〒730 広島市大州五丁目1番1号

電話 (81) 4221 (代)

MEMOIRS

OF THE

KURE TECHNICAL COLLEGE

1. **Studies on the Eccentric Elliptical Pitch Curve Cam with a Reciprocating Follower —Circular Arc Follower—**Hironori ITOSHIMA..... 1
2. **Studies on the Eccentric Elliptical Pitch Curve Cam with an Oscillating Follower (Report 1) —Circular Arc Follower—**.....Hironori ITOSHIMA.....13
3. **A Study on Swirl Box**Isao KUBOTA and Yuji KAWAGUCHI.....27
4. **Studies on the Plastic Working (Report 4) —Investigation of the Roll Force—**
.....Toshiyuki SATONOBU, Benji KATAOKA and Toshiharu NAGASHIMA.....37
5. **The Effect of Toothed-Ring on the Stiffness of Rim**.....Minoru NOHARA.....43
6. **Measurements of Luminance and Representation of the Luminance Pattern by Photograph**Kazuhiko HARADA.....49
7. **FACOM 230 28S System of Kure Technical College**Shigeki MURAKAMI.....57
8. **An Approach to the Improvement of the LOG EDIT Program in the Kure Technical College Computer Room “EDP LOG”**
.....Nobuyuki YOSHINO and Masayoshi MACHIDA.....61
9. **Effect of Stiffness-Degrading on Earthquake Response Behavior (Part 1, Response Analysis of Sinusoidal Excitation)**Katsuaki MONZEN.....69