

平衡ベーン形ポンプ

大八木 光 治*

Balanced Vane Type Oil Pump

By Koji Ohyagi*

Synopsis: Respect to the balanced vane pump as in Fig. 3, the inside of the sine cam ring is contoured with the two cycle sine cam curve, as in Fig. 5, and the vanes in the rotor slots be numbered 6 per cycle of the said curve.

In the mechanism of the said pump, the calculated value of the displacement is held constant at a fixed revolution of the rotor.

In other words this pump must have an important characteristics of non-pressure pulsation.

The author has produced the sine cam ring as above mentioned that has equivalent sectional area to the cam ring in the one of the ordinary ready made vane pumps.

Subsequently in the first experiment, we put the said ready made pump to performance test and in the next experiment put the same pump that the ready made cam ring substituted with the said sine cam ring to performance test.

In this experimental results, especially the strongest correlation was observed between oil hydraulic and pressure pulsation.

It is the main subject of this paper to point out that using the sine cam ring, the said displacement is fixed in calculated results.

要旨：平衡ベーン形油圧ポンプのカムリング内周の輪郭として二サイクル単弦カム曲線を使用し、さらにロータ内のベーンの数を一サイクル当り6枚とする。このポンプの機構で、押しのけ容積の計算値は、ロータが一定回転で回れば一定となる。換言すれば脈動を伴わない特性がある。

著者は、既製のベーン形ポンプのカムリングと等しい断面積を持つ上述のサインカムリングを製作した。最初は上述の既製のポンプについて性能試験をし、次に、既製のカムリングを上述のサインカムリングと交換した同一ポンプについて性能試験をした。

実験結果は、ポンプ吐出圧力とその圧力脈動には強い相関が認められた。

本文の主目的は、サインカムリングの使用により上述の押しのけ量が計算上で一定になる点の指摘にある。

1. はじめに

公知の平衡ベーン型ポンプのカムリング内周のプロファイルは楕円状であって製作者により種々の形状がある。

たとえば、本実験の比較例として使用したカムリングでは、半径の異なる同心円の間を緩和曲線で結び合わせた閉曲線を採用している。

ポンプ軸が一回転する間に送出容積の変動を少なくして吐出圧力の脈動を少なくする試みは多くなされているので引例の必要はない程である。

併し乍らポンプ軸が一定回転速度を保つとき、その送

出容積が軸の回転角に関係なく一定となるような数学上の特性を有するカムリング内周プロフィール曲線は公知のものにない。筆者の特許¹⁾によれば二角単弦カム曲線を使用して、二個のベーンをもつロータを単位ポンプとする。この単位ポンプを同一軸上に位相差 $2\pi/3$ [rad] にタンデムに取り付けて仕切板を介し同一ケーシングに収容して吐圧、吸入ポートを共有するポンプでは、二角単弦カム曲線の性質から完全に脈動を消去し得る特性が証明されている。

併し一個のロータに二枚のベーンでは吐圧を大ならしめることは難しい。そこで二角単弦カム曲線を公知の平衡ベーン型ポンプのカムリングに使用した場合でも同様に吐出容積に変動がないことを証明し得た。

* 機械工学科 教授

Professor, Mechanical Engineering Division

これは、実用上から考えて有意義であり公知のポンプにない新規のカムリングである。

本文では、この二角単弦カムリングを使用したポンプと公知のポンプについて比較実験を実施して、吐圧容積と吐出圧力の相関について、上記の数学上の特性を認めたのでその結果について発表する次第である。

2. 理論吐出量の算定

図1は $-k$ を振幅とする余すの余弦曲線の θ 軸を k だけ下方に平行移動した $y = k(1 - \cos \theta)$ である。これを基礎曲線として r 半径の基礎円上に動径 ρ の回転角を 2θ とし加算すると、図2の二角単弦カムとなりその極方程式は

$$\rho = r + k(1 - \cos 2\theta) \quad (1)$$

である。任意の点 P において接線 T と法線 N を引くと、 φ は接線角(伝達角)、 α は圧力角である。また、

$$\begin{aligned} \varphi &= \tan^{-1}(\rho/\rho') \\ &= \tan^{-1}\{(r+k-k\cos 2\theta)/(2k\sin 2\theta)\} \end{aligned}$$

ここで、 $r/k = C$ とおくと

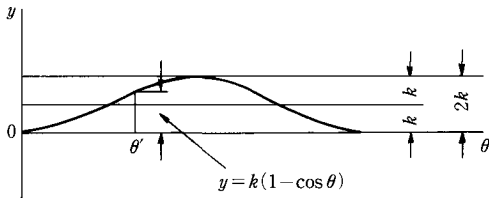


図1 単弦カム基礎曲線

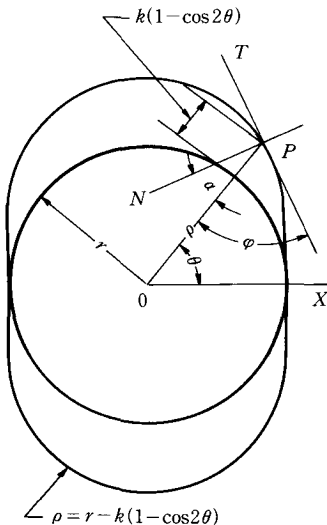


図2 二角単弦カム曲線の圧力角 α

$$\varphi = \tan^{-1}\{(C+1-\cos 2\theta)/2\sin 2\theta\} \quad (2)$$

式(2)は r, k を含まないから、 C が等しい曲線群は大小に関係なく相似である。この関係は、基礎曲線の θ を n 倍(n 周波)して加算した n 角単弦カム曲線でも同様に、

$$\varphi = \tan^{-1}\{(C+1-\cos n\theta)/n\sin n\theta\} \quad (3)$$

式(3)は r, k を含まないから、 $r:k$ の値が一定の値に関係なく相似である。したがって、 C を単弦カム曲線の相似定数と定義する。次に式(3)から

$$\varphi' = \frac{n^2 \sin^2 n\theta - (C+1-\cos n\theta)n^2 \cos n\theta}{n^2 \sin^2 n\theta + (C+1-\cos n\theta)^2}$$

上式の分子 $n^2 \sin^2 n\theta - (C+1-\cos n\theta)n^2 \cos n\theta = 0$ とおくと

$$\theta = \cos^{-1}\{1/(C+1)\}/n \quad (4)$$

式(4)の θ は、最小接線角 φ_{\min} に対する回転角であるから式(3)に代入して

$$\begin{aligned} \varphi_{\min} &= \tan^{-1} \frac{C+1-1/(C+1)}{n \sin \{\cos^{-1} 1/(C+1)\}} \\ &= \tan^{-1} \sqrt{C^2+2C}/n \end{aligned} \quad (5)$$

式(4)により、 n 角単弦カム曲線の最小接線角を求めることができる。図2の二角単弦カム曲線では、式(3)において、 $n=2$ とおき、接線角を最小ならしめる回転角すなわち動径の位置が定まるからその大きさは式(1)から求められる。また式(5)から最小接線角 φ_{\min} は、

$$\varphi_{\min} = \tan^{-1} \sqrt{C^2+2C}/2 \text{ となる。法線 } N \text{ と動径との}$$

なす角は φ_{\min} と余角をなすから

$$\alpha_{\max} = \pi/2 - \tan^{-1} \sqrt{C^2+2C}/2 \quad (6)$$

α_{\max} は二角単弦カム曲線の最大圧力角であり、 r, k の関数である。一般に n 角単弦カム曲線の最大圧力角を α_{\max} とおく

$$\alpha_{\max} = \pi/2 - \tan^{-1} \sqrt{C^2+2C}/n \quad (7)$$

となり、 r, k, C 中の何れか二つと n が定まれば求められる。また、 α_{\max} とベーンとカムリングの摩擦角 λ を与えて C を求め、 C と r, k の何れか二つを定めれば、所要の最大圧力角を持つ n 角単弦カム曲線が決定できる。つぎに単弦カムポンプの作動性について記述する。図3は、平衡ベーン型ポンプのカムリングのプロフィールを二角単弦カム穴とした場合の図である。ロータの回転は逆時計向きとする。右上の吸込口の窓の中心角は、 $\pi/3$ [rad]であるからベーン中心線が吸込窓の右端に達してから左端に達するまで吸込作動する回転角は、 $\pi/3$ [rad]である。ベーンの数 z は12枚で位相差は $\pi/6$ [rad]であるから隣り合う3枚のベーンで構成する作動室容積を、 V とすると、 $V_4 = v_4 + v_2$, $V_2 = v_3 + v_4$, $V_3 = v_5 + v_6$, となり V_1, V_2, V_3 の位相差は $\pi/3$ [rad]で回転する。この吸

込量を算出するために次の計算をする。一般に n 角単弦カム曲線 $\rho(\theta)$ 、で回転角 θ_1, θ_2 、の動径 $\rho(\theta_1), \rho(\theta_2)$ 、と曲線との包む面積を $[S]_{\theta_1}^{\theta_2}$ とすると、

$$\begin{aligned}
 [S]_{\theta_1}^{\theta_2} &= \frac{1}{2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \rho^2(\theta) d\theta = \frac{k^2}{2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} (C+1-\cos n\theta)^2 d\theta \\
 &= k^2/2 \cdot (C^2+2C+1.5)(\theta_2-\theta_1) \\
 &\quad - k^2/n \cdot (C+1)[\sin n\theta]_{\theta_1}^{\theta_2} + k^2/8n[\sin n\theta]_{\theta_1}^{\theta_2} \\
 &\quad (8)
 \end{aligned}$$

$k^2/2 \cdot (C^2+2C+1.5) = A$, $k^2/n \cdot (C+1) = B$, $k^2/8n = E$, おくと

$$[S]_{\theta_1}^{\theta_2} = A(\theta_2-\theta_1) - B[\sin n\theta]_{\theta_1}^{\theta_2} + E[\sin 2n\theta]_{\theta_1}^{\theta_2} \quad (9)$$

図3の場合は式(9)中の $n=2$ 、ベーンの中心線01と03, 03と05……とロータ外周、カムリング内周によって囲まれる作動室容積を V_1, V_2, \dots とすると前述のとおりその吸込量の位相差は $\pi/3$ [rad] となる。ロータの半

径を R とし、カムリングの厚さを l とすると、 $V_1 = (|S|_{\theta}^{\theta+\pi/3} - \pi R^2/6) \cdot l$ 、となるから式(9)により

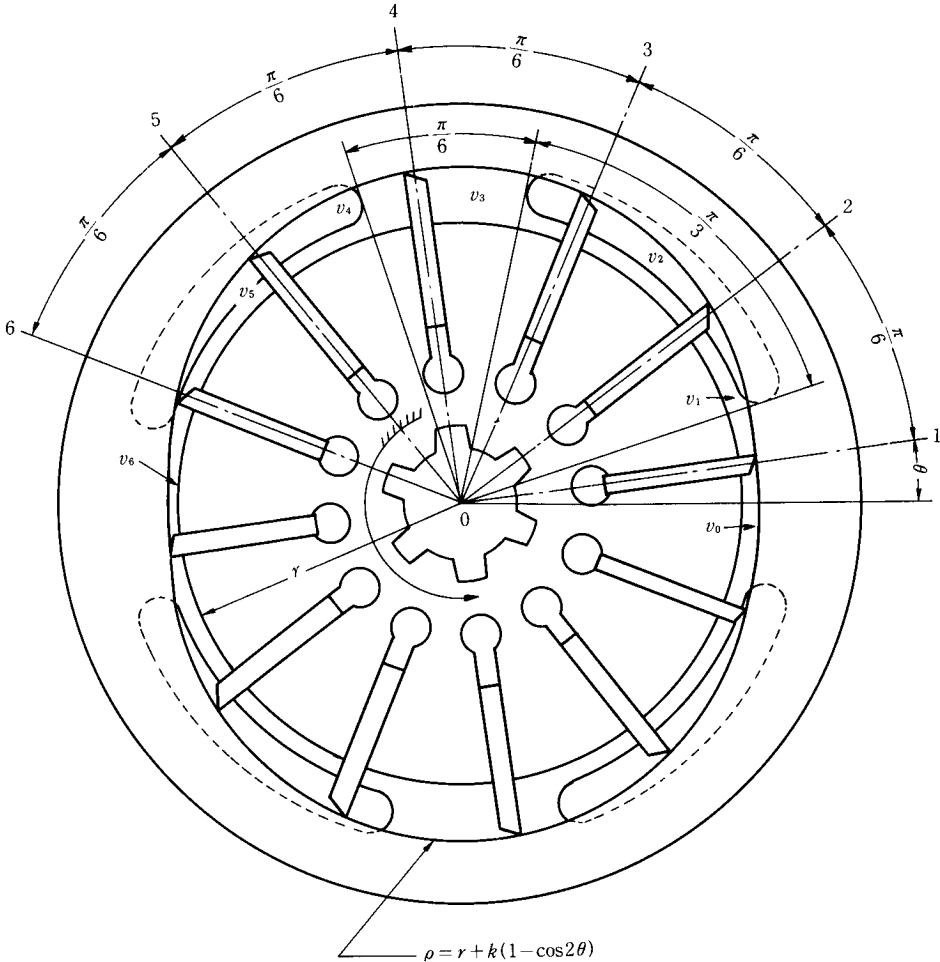
$$V_1 = l(A \cdot \pi/3 - B \sin 2\pi/3 + E \sin 4\pi/3) - l \cdot \pi R^2/6 \quad (10)$$

$$V_2 = l(A \cdot \pi/3 - B \sin 4\pi/3 + E \sin 2\pi) - l \cdot \pi R^2/6 \quad (11)$$

$$V_3 = l(A \cdot \pi/3 - B \sin 2\pi + E \sin 2\pi/3) - l \cdot \pi R^2/6 \quad (12)$$

ロータが半回転する間の吸込容積は、式(10), (11), (12)の和で $\sum_{n=1}^3 V_n$ である。各式右辺の正弦関数の対応項の位相差は $2\pi/3$ [rad] であるからそれらの和は0である。したがって $\sum_{n=1}^3 V_n = \pi l(A - R^2/2)$

すなわち、ロータの回転角に関係なく吸込容積は一定である。図3の下半分についても同様な式が成立するから、ロータ回転の吸込容積を V_s とすると、



(Fig. 3) 図3 二角単弦カムリングの送込容積の算定図

$$V_s = 4 \sum_{n=1}^3 V_n = 4\pi l(A - R^2/2) \\ = 2\pi l\{k^2(C^2 + 2C + 1.5) - R^2\}$$

つぎに作動室内で占める1個のペーンの容積を V_{vn} で表すと図4によりペーン1の容積 V_{v1} から6までの容積は式(14)~式(19)となる。ただし、厚さを w とする。

$$V_{v1} = l\{(r+k) - k \cos 2\theta - R\}w \quad (14)$$

$$V_{v2} = l\{(r+k) - k \cos (2\theta + \pi/3) - R\}w \quad (15)$$

$$V_{v3} = l\{(r+k) - k \cos (2\theta + 2\pi/3) - R\}w \quad (16)$$

$$V_{v4} = l\{(r+k) - k \cos (2\theta + 3\pi/3) - R\}w \quad (17)$$

$$V_{v5} = l\{(r+k) - k \cos (2\theta + 4\pi/3) - R\}w \quad (18)$$

$$V_{v6} = l\{(r+k) - k \cos (2\theta + 5\pi/3) - R\}w \quad (19)$$

式(14), (16), (18)と式(15), (17), (18)の余弦項の位相差は $2\pi/3$ [rad] であるから、その和は0となる。ロータが回転してペーンが作動室内に入出してもペーンの占める容積の和は回転角に関係なく

$\sum_{n=1}^6 V_{vn} = 6l(r+k-R)w$ で一定となる。ロータが一回転するときペーンの占める容積は上下対称であるから

$$\sum V_{vn} = 2 \times 2 \sum_{n=1}^6 V_{vn} = 24l(r+k-R)w \quad (20)$$

式(13)と式(20)から、ロータ回転の吸込量 Q_s は作動室容積の2倍となるから、

$$Q_s = 2l[\pi\{2(r+k)^2 + k^2 - 2R^2\} - 24(r+k-R)wN] \quad (21)$$

以上で二角単弦カムを使用したペーンポンプの計算式の説明を終える。 Q_s は理論吐出量 Q_{th} と同等である。

3. 比較実験結果について

本文では公知の平衡ペーン型ポンプのカムリングの形状を測定しその理論吐出量 Q_{th} を算出し、これと等量の二角単弦カム穴を持つカムリングを単弦カム創成加工機^{3), 4)}により製作し、同一ケーシングで公知のカムリングと単弦カムリングの各々を使用した場合について性能を比較試験する。図4は公知のカムリングである。ポンプの回転数を N [rpm] とすると、

$$Q_{th} = 2\pi Nl\{R_2^2 - R_1^2\} - zw/\pi(R_2 - R_1) \quad (22)$$

上式に図4の寸法を入れると、

$$Q_{th} \cong 24.37 \text{ [l/min]} \quad (23)$$

製作する単弦カム穴の寸法は式(21)で $r = R_1$ とおくと

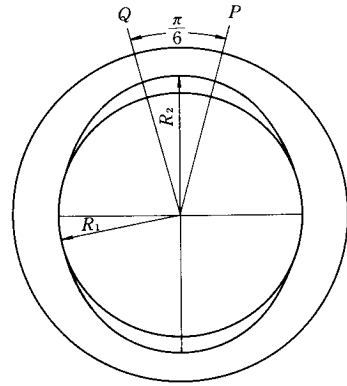
$$Q_s = 2Nl[\pi(4rk + 3k^2) - 24kw]$$

$$3\pi k^2 + \{(4\pi r - 24w)k - Q_s/2Nl\} = 0$$

r, w, l, N , は式(22)の値と共通として、 $Q_s = Q_{th}$ とおくと、 $k \cong 1.753$ を得る。

$$\therefore C = r/k = 28.45 \div 1.753 \cong 16.2$$

式(6)から



$$R_1 = 28.45 [\text{mm}]$$

$$R_2 = 31.90 [\text{mm}]$$

$$\text{ペーン数 } Z : 12$$

$$\text{リング厚さ } l : 14.00 [\text{mm}]$$

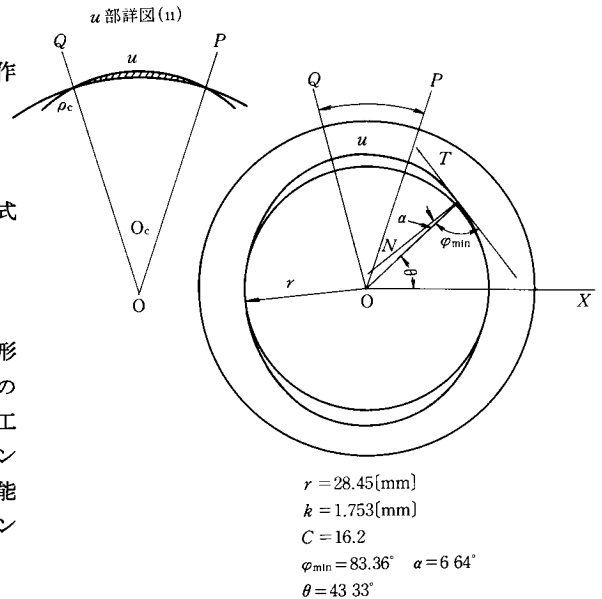
$$\text{ペーン厚さ } w : 1.800 [\text{mm}]$$

共通

"

"

図4 公知ポンプのカムリング断面図



$$r = 28.45 [\text{mm}]$$

$$k = 1.753 [\text{mm}]$$

$$C = 16.2$$

$$\varphi_{\min} = 83.36^\circ \quad \alpha = 6.64^\circ$$

$$\theta = 43.33^\circ$$

(Fig. 5) 図5 二角単弦カムリング断面図 (1)

$$\alpha_{\max} = 90^\circ - \tan^{-1}(\sqrt{16.2^2 + 2 \times 16.2/2}) \cong 6.64 [^\circ]$$

上記の結果からペーンとリング内周との摩擦を考えても C は適当と考える。故に二角単弦カム曲線 $\rho = r + k(1 - \cos \theta) = 28.45 + 1.753(1 - \cos \theta)$ となる。

図6は実験装置の回路図でポンプ吐出口に磁気抵抗変化型トランスデューサ R. T で吐出圧力の変動を検出し、差圧指示増幅計 (AMP) を介してラピコダーで記録する。ポンプ駆動用電動機には電源にワットメータ (WM) を結線して所要動力を計測する。吐出量 Q はばね秤 (S

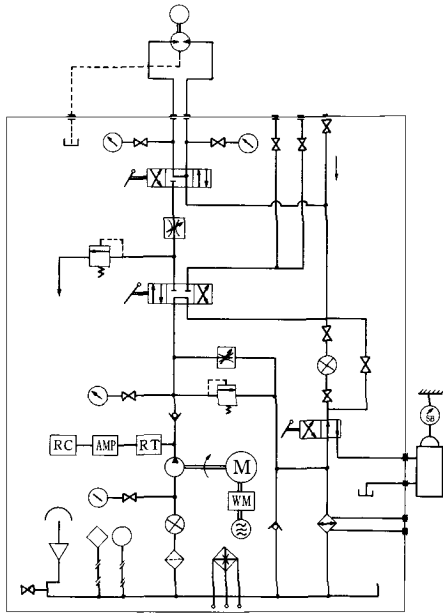


図6 性能試験装置回路図

B) を用い重量法で計測し、吐出圧力は圧力計 P で計測する。

図7は、0 から 25 [kg/cm²] までを、毎 5 [kg/cm²] に吐出圧力を設定した場合のラビコーダの記録で、左は公知のカムリングを、右は単弦カムリングを使用した場合の変動状態を示す。

図8は図7の吐出圧力の変動率を比較した図である。公知のポンプの変動率の最大付近は更に精密な実験をして精確を期したいと考える。

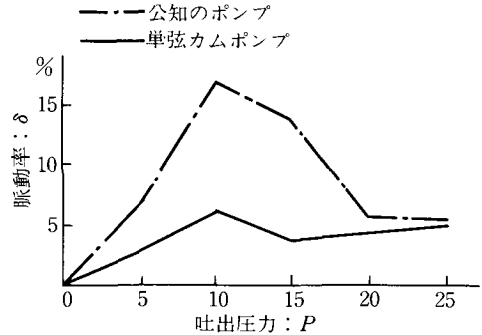


図8 吐出圧力—脈動率線図

4. 結果の考察

本文は一般に n 角単弦カム曲線をカムリング内周に採用するポンプの特性の記述を主眼とした。たとえば一角単弦カム曲線を可変吐出量ポンプに使用すると、ロータとカムの中心が一致する最大吐出量で吐出圧力の変動が最も少なくなる可能性がうかがえる。また三角単弦カム曲線を油圧モータに使用すると安定したトルクが得られると考える。一般に一角当りのベーンの数 $3n$ またはその偶数倍とし、吸込または吐出口の窓の中心角を $2\pi/3n$ [rad] とすると、回転角に関係なく一定吐出量のポンプが得られる。

この関係はケーシングを円筒とし、ロータ外周に、 n 角単弦カム曲線を採用したポンプ^{2),5)}でも成立する。

次に図9は既製ポンプの性能試験結果であり、図10、は製作したサインカムリングを既製ポンプのカムリング

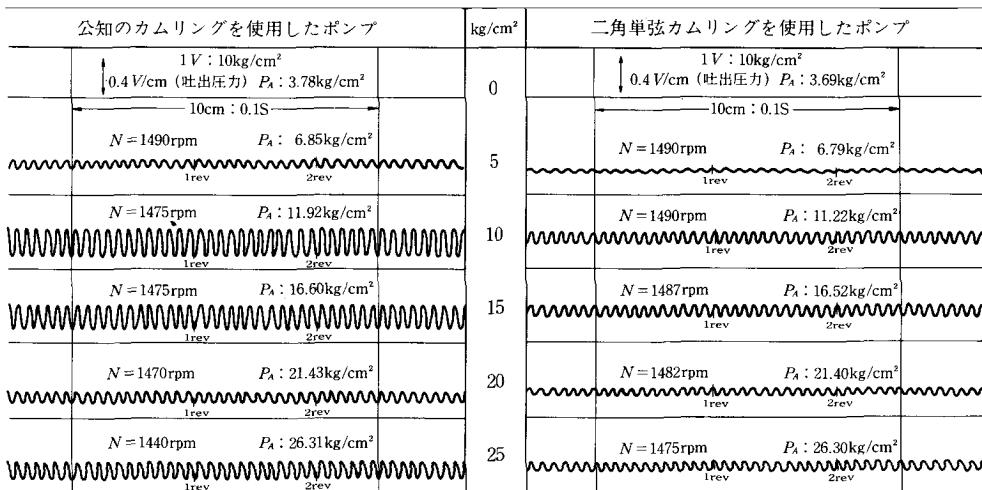


図7 吐出圧力の変動記録

100 [cm/s]

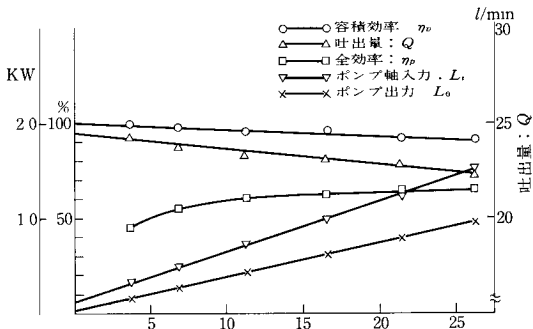


図9 既製ポンプの性能曲線

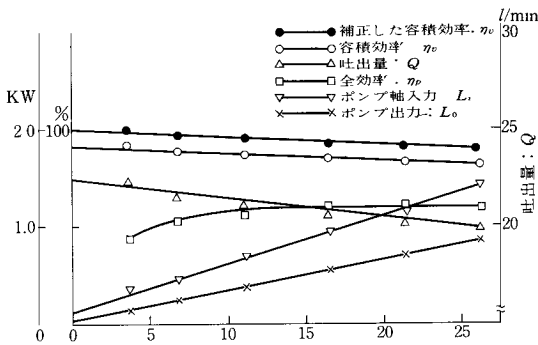


図10 二角単弦カムリング使用ポンプの性能曲線

と交換したポンプの性能曲線である。

吐出量に差が生じている。この原因は、図4と図5、のカムリング切断面について、 $\pi/6$ ラジアンを中心角は、ペーンの厚さを0と見做したときの、ペーンの作動室内の片面に吐圧が作用する範囲を示している。

供試本体の構造では吐圧が作用すると、ペーンは放射方向に移動できない。したがって、図4ではカムリング内周は円であるから、ペーン先端は内周に沿って移動し漏洩を生じない。

これに対し図5では、最大径 $p = r + 2k$ の点の曲率半径 $\rho_c < p$ である。すなわちペーンはOP線上でロータに固定されるため、ペーン先端は内周から離れて、漏洩 u を生じることになる。

この漏洩分を送出容積から差引いた容積を真の送 outputs

積として、容積効率を計算すると図10の修正した容積効率 η_v' を得る。この漏洩に基因する容積変動は吐出変動と周期を同じくすることから、図7の二角単弦カムリングを使用したポンプの吐圧の脈動は、上記の漏洩に基くものであると判定できる。ペーン底部に作用する圧力を適当に与えてペーン先端がカムリング内周を摺動し得るようにすればこの漏洩分は除去されて、完全に理論送出力一定と相関した吐圧無脈動のポンプが得られると思われる。

漏洩 u は公知のポンプの吐圧の脈動より小なる脈動を発生するので、これをそのまま逆用して、水衝撃に対するダンパとして利用する方法も考えられる。

漏洩部の容積は式(1)、式(9)を使用して計算し得るから最適計算が可能である。

5. まとめ

二角単弦カム曲線をカムリング内周に採用すると、ポンプ諸元の計算が容易であるばかりでなく、吐圧の圧力変動を除去する効果があり実験的にも実証できた。

従来はカムリング内周のカム曲線には円弧を結び合せ円弧と円弧の間を緩曲線で結び輪廓を形成する方法が多く使用されている。これに対して、本実験では、二角単弦カム曲線を使用する新規なカム輪廓を提唱して、位相差 $3/2\pi$ ラジアン の三正弦曲線の和は0である特性をポンプ吐出量に適用することにより完全無脈動の吐出量のポンプが得られる可能性を実証した。

今後更に実験を重ねて、この理論的特性を駆使してポンプ性能向上を期し度い所存である。

(原稿受付 昭和56年9月24日)

参考文献

- 1) 大八木光治：日本国特許 No. 196935
- 2) 大八木光治： " No. 204981
- 3) 大八木光治：機械と工具 Vol. 8, No. 5, 6, 7 1964年
- 4) 森田 鈞, 大八木光治：機械学会23期総会 '65 -4, No. 131-434
- 5) 大八木光治：国士館大学工学部紀要 第11号 昭和53年3月