監視用流量計の試作*

浦田 咲三** 進藤 健一**

A New Design of a Flowmeter for Observation

Eizo Urata, Kenichi Shindo

Abstract

The purpose of this study is to develop a flowmeter in which flow indication is not affected by setting angle. Flow rate of fluid is observed by deflection angle of a vane sustained by a helical spring.

The principle of the flowmeter is as follows;

A partition is set in a transparent hollow cylinder, and the swivelling vane is supported at the cylinder center. Fluid flows into a space between the vane and the partition, then flows through clearance between the cylinder and the vane, and finally flows out from another space between the vane and the partition. A moment is generated on the vane by differential pressure generated from the fluid flow through the clearances. The vane is rotated to a certain angle where the moment balances with reaction moment generated from the mounted helical spring.

The experimental results indicated that as expected the characteristics of the testing flowmeter is not affected by setting angle. Flow coefficient in the flowmeter is almost constant over the Reynolds number ranging from 2.0×10^2 to 10^4 .

1. はしがき

従来の監視用流量計の代表的なものとして、テーバ管ロータメータ^{1) 2)}がある。これは構造が簡単であり、取り扱いも容易である。さらにテーバ棒ロータメータ³⁾ではエマルションなどの不透明な流体に対しても使用できるという利点がある。しかしこれらには、浮子の形状によって、流量表示特性が大きく左右され、粘性による影響も受けやすいという特性や、鉛直に設置しなければならないという制約がある。

さて、Fig.1 に示すように円筒内に固定隔壁を設け、揺動自由なベーンを円筒中心に支持する。ベーン先端

と円筒間のすきまが絞りとなるように流体を流す。流体が絞りを通過すると、絞りの前後に圧力差を生じることから、このベーンにはモーメントを生じる。流体圧力による、このモーメントにつり合うばねをベーンに備えつけば、ベーンはある角度で停止する。こうして生じたベーン回転角により流量を知ることができる。さらにベーンの重心が回転軸上にあれば、回転角は重力の影響を受けない。したがって設置角度は任意にとれる。以上の原理によって作動する流量計を差圧角変位式流量計と呼ぶことにする。

この流量計は従来のロータメータと同様に、油圧システムなどの戻り配管に設置し監視用流量計として利用できるものであり、製作が容易で、任意の設置角度をとることができる。

以下では上記原理によって試作した流量計の特性について報告する。

* 昭和61年2月7日 原稿受付

** 神奈川大学工学部機械工学科 (〒221 横浜市神奈川区六角橋3-27-1)

Fig. 1 Structure of Flowmeter

Fig. 2 Flow Area and Control Volume

2. 流量の計算式

流量とベーン角変位との関係を求める。Fig. 2のように検査面をとることとする。検査面をA-B-C-D-E-F-A, のようにしてモーメントのつり合いを考える。AB上を C_1 , BC上を C_2 , FA上を C_3 , EF上を C_4 とし、ベーンの奥行き(円筒軸方向長さ)を b , 回転軸の中心をO, OA = r_1 , OB = r_2 , OからCDの中点までの距離を R , 圧力を p , 摩擦応力を τ , 流体の密度を ρ , CD間を流れる流量を Q_1 , CD間の流速を v とすると,

$$\int_{C_1} b p r d r - \int_{C_2} b \tau r^2 d \theta - \int_{C_3} b \tau r^2 d \theta - \int_{C_4} b p r d r - \rho Q_1 v R = 0 \quad \dots\dots(1)$$

C_2 上および C_3 上での摩擦応力は小さいとして無視すると,

$$\int_{C_1} b p r d r - \rho Q_1 v R = \int_{C_4} b p r d r \quad \dots\dots(2)$$

$$\therefore \int_{C_4} b p r d r = \frac{b}{2} p_1 (r_2^2 - r_1^2) - \rho Q_1 v (r_2 - h/2) \quad \dots\dots(3)$$

ただし h はベーン先端と円筒間のすきまである。

CDから流出した流体の運動量は、CJ上の摩擦及びIJとの衝突により大部分が失われ、ベルヌーイの定理による圧力回復はないからC-D-G-H上の圧力は、一定値 p_2 と考えて良い。よってベーン一枚の受けるモーメント M_1 は、

$$\begin{aligned} M_1 &= \int_{C_4} b p r d r - \frac{b}{2} p_2 (r_2^2 - r_1^2) \\ &= \frac{b}{2} (p_1 - p_2) (r_2^2 - r_1^2) - \rho Q_1 v (r_2 - \frac{h}{2}) \end{aligned} \quad \dots\dots(4)$$

円筒とベーンとのすき間を流れる流量 Q_1 は、

$$Q_1 = c_v c_c h \cdot b \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}} \quad \dots\dots(5)$$

$$v = c_v \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}} \quad \dots\dots(6)$$

と書くことができる。ここで c_c は縮流係数、 c_v は速度係数、 Δp はベーン表裏での圧力差(= $p_1 - p_2$)である。Fig. 1のようにベーンが2枚ある場合には、流量 Q は、 $Q = 2 Q_1$, 全モーメント M は $M = 2 M_1$ である。以下ベーンが2枚ある場合について取り扱う。

式(5)式(6)を式(4)に代入すると、

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{b \cdot \Delta p}{2} (r_2^2 - r_1^2) - 2 c_v c_c^2 h b \Delta p (r_2 - \frac{h}{2}) \\ &= D (b/2) (r_2^2 - r_1^2) \Delta p \end{aligned} \quad \dots\dots(7)$$

である。ただし

$$D = 1 - 4 c_v c_c^2 h (r_2 - h/2) / (r_2^2 - r_1^2) \quad \dots\dots(8)$$

である。式(7), (8)から

$$\Delta p = \frac{2 M_1}{b (r_2^2 - r_1^2) D} \quad \dots\dots(9)$$

である。これを式(5)に代入し

$$Q_1 = c_c c_p h \sqrt{\frac{4 b M_1}{\rho (r_2^2 - r_1^2) D}} \quad \dots\dots\dots(10)$$

ここで θ をペーンの角変位, K をつる巻ばねのモーメントに対するばね定数として以下のように定める.

$$M = 2 M_1 = K \cdot \theta \quad \dots\dots\dots(11)$$

以上によって流量計を通る流量 Q は

$$Q = 2 Q_1$$

$$= \sqrt{\frac{c_c c_p}{1 - 4 c_c c_p^2 h (r_2 - h/2) / (r_2^2 - r_1^2)}}$$

$$2 h \sqrt{\frac{2 b k}{\rho (r_2^2 - r_1^2)}} \sqrt{\theta} \quad \dots\dots\dots(12)$$

である. $c_p \approx 1$, $c_c \approx c$ (c は流量係数) とおくと,

$$\left. \begin{aligned} Q &= \sqrt{\frac{c}{1 - 4 c h (r_2 - h/2) / (r_2^2 - r_1^2)}} B \sqrt{\theta} \\ B &= 2 h \sqrt{\frac{2 k b}{\rho (r_2^2 - r_1^2)}} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(13)$$

式(13)がこの流量計の流量を表す式である. 流量係数 c が一定ならば, 流量 Q は角変位 θ の平方根に比例することがわかる. なお, ペーン上下端の洩れは, すきまが微小なので, ここでは無視した.

3. 試作と実験結果

試作した流量計は, 流量の測定範囲を $0 \sim 100 \text{ l/min}$, 液温は常温で使用するものとし, 最大流量時の角変位を $\pi/3 \text{ rad.}$ とすることを目安とした.

Fig. 3 に試作した流量計の組立図を, Table 1 には諸元を示す.

Fig. 3 Structure and Dimensions of Flowmeter

流量測定に用いた流体は水および鉱物油(油圧作動油)である. 広範囲のレイノルズ数に対して流量測定

を行うために水と鉱物油の両方の流体を使用して実験を行った. 鉱物油の動粘度および密度の温度による変化はそれぞれ Fig. 4, Fig. 5 に示す.

Table 1. Dimensions of the Flowmeter

unit : mm

Center Shaft Radius	r_1	10
Inside Radius of Cylinder	r_2	40
Vane length	r_3	35
Vane depth	b	80

Fig. 4 Density of the oil used

Fig. 5 Kinematic viscosity of the oil used

Fig. 6 Experimental Rig for Water

Fig. 7 Experimental Rig for Oil

実験装置の回路図をFig. 6, Fig. 7に示す。Fig. 6は流体が水の場合である。地下水槽よりポンプでヘッドタンクにくみ上げられた水は、供試流量計を通過し、台ばかり上のタンクを経て地下水槽に戻る。流量測定は重量法で行った。

Fig. 7は、流体が鉱物油の場合である。鉱物油の場合、重量式では油中へ気泡が入りやすいので流量測定は容積式流量計（容積式流量計の精度は実験条件下で $\pm 0.5\%$ である）で行った。

供試流量計のベーンの角変位は目視により読み取り、流量計設置角度は水平、鉛直、斜め 45° の三方向とした。

流量特性をFig. 8, Fig. 9に示す。Fig. 8では、流体は水であり、供試流量計の設置角度を変えたデータをすべて記してある。これより実験点のばらつきは少なく、設置角度による影響は非常に少ないと言える。Fig. 9は鉱物油による流量特性であり、流量増加の場合と流量減少の場合について表わしている。鉱油での実験は油温約 50°C で行っている。流量増加の際と減少の際に角変位に差異が生じているが、これは試作したうず巻きばね固定部及び軸受の摩擦に起因するヒステリシスによるものである。

Fig. 8 Relation of flow rate to angle of rotation (water)

Fig. 9 Relation of flow rate to angle of rotation (Oil)

Fig. 8とFig. 9では、レイノルズ数は20倍程度異なるが、流量と角変位の特性はほとんど変わらない。このことは流量係数がレイノルズ数によって変らないことに起因すると考えて次の実験を行った。

円筒の側面に小孔を明け、 $\Delta p = p_1 - p_2$ を水銀柱マノメータで測定し、式(5)によって $c = c_0 c_0$ を求めた。

レイノルズ数 R_0 は、

$$\left. \begin{aligned} R_0 &= \left(\frac{Q_1}{hb} \right) \frac{4m}{\nu} \\ m &= \frac{hb}{2(h+b)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(14)$$

として算出した。ただし m は流体平均深さ、 ν は流体の動粘度である。

このようにして測定した流量係数をFig.10に示す。

Fig. 10 Relation of Flow coefficient to Reynolds number

レイノルズ数の大きい方の一群は水によるデータ、レイノルズ数の小さい方の一群は油によるデータである。角変位の小さいところに c が小さく出ているものがあるが、支持部の摩擦などの影響と考えている。図示のように、レイノルズ数の変化による c の変化はごく少

ない。このデータから $c = 0.66$ とし、角変位と流量の関係を式(13)により計算した曲線をFig. 8及びFig. 9中に並記してある。両図からわかるように設計段階で流量目盛が決定できるといえるであろう。

4. むすび

監視用流量計として差圧角変位式流量計を考案し、その流量公式を導き、流量表示の特性を明らかにした。

試作、実験の結果はかなり良好である。流量範囲0～100 l/minにおいて流体を水とした場合、油とした場合の両方とも式(13)からのずれ、つまり精度は、フルスケールの6%以内に納まっている。当初目標とした設置角度に制約がないという目的を達成した。また流量係数は、レイノルズ数が200～10⁴ではほぼ一定となり粘度の影響が少ないことがわかった。流量指示に若干のヒステリシスがある。その主な原因はすでに述べたが、構造上さらに次のようなことが考えられる。まず、軸受のクリアランスが0.2mmのため実際には偏心している筈である。偏心の防止と摩擦の減少という意味から、ピボット軸受にした方がさらによい結果が得られるであろう。

本流量計は加工が容易であり、うず巻きばねを変えることによって、流量範囲を自由に換えられ、さらに小形であるという利点をもつ。監視用流量計として十分実用に耐えるものと考えられる。

おわりに実験、作図を手伝っていただいた神奈川大学学生（当時）の種物谷忠恵君に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 川田：流量計, 日刊工業新聞社（昭44）
- 2) 川田, 他：流量計測ハンドブック, 日刊工業新聞社（昭54）
- 3) 浦田：浮子面積式流量計の新設計, 日本機械学会論文集, 45-389, 81/90, (1979)