 研 究

浮子面積式流量計の研究 (第5報)

森 康 夫* 中 島 由 高*

On the Float-area-type Flow Meter (5th Report)

Yasuo MORI, Yoshitaka NAKAJIMA

The purpose of this report is to clarify the influence, that the rotation of a float and the grooves on the float surface have on the performance of the float-area-type flow meter. This influence cannot be theoretically studied, so we investigated it by the experiment. The performance of floats of various kinds of grooves was tested. The experiment introduced an empirical formula about the relation between the groove area of the float and the correction factor of the length of its cylindrical part. It also proved that the rotation of a float gives a negligible effect to the performance of this flow meter.

An electrical indicating device for automatically recording the flow rate was designed. Its performance was tested and found to have a linear range of about 50 mm for float displacement.

1. 緒 言

第1¹⁾, 2²⁾報においては, 浮子面積式流量計のテーバ管のテーバが小さい場合について理論的, 実際的研究を行い。さらに第3³⁾, 4報³⁾においてはテーバの大きい場合について論じた。また第4報においては, 理論解析の困難な因子すなわち浮子先端部の影響, テーバ管が鉛直線より傾いた場合の影響について実験的に検討を加えた。本報告においてはまず, 浮子に回転をあたえその安定をよくし, 液体中の気泡が浮子に付着しないようにするために浮子の側面に付ける切込および浮子の回転が流量特性に対しても影響について実験的に検討した。次に浮子面積式流量計を用いた流量の指示, および自記記録に関する研究を行った。大流量の自記記録はすでに電子管式自動平衡計器などにより行なわれているので, 本研究においては増幅器を用いない回路により, 小流量にまで使用でき, かつ広い直線性の範囲をもつ自記記録および指示方法に関する研究を行った。

2. 切込および回転の流量特性に対する影響

2-1 実験装置および実験方法

(1) 実験装置 本研究では作動流体として水を用いた。実験装置は第2, 4報に用いたものと同様であり,

図1に示してある。水はギヤポンプにより循環し, オーバーフローによって水位を一定に保たれたヘッドタンク

図1 実験装置

よりテーバ管に流れ込む。流量 Q は 500cc~1 l 流れるために要する時間を測定して求めた。この他に浮子の位置 (テーバ管の内径分布は既知であるから浮子とテーバ管の間隙が求まる), 水温, 浮子の重量, 浮力を測定した。

浮子円柱部の直径を d (cm), 円柱部長さ l (cm), 水の密度 ρ ($\text{g} \cdot \text{S}^2/\text{cm}^4$), 浮子とテーバ管の最小間隙 $c_0 = 2m_0$ (cm), 最小間隙における流速を U_{m_0} (cm/s)

* 東京工業大学 正会員

とすれば、第3報でのべたように、浮子の抵抗係数 C_D および特性数 η は次のように表わせる。

$$C_D = \frac{(W-F)}{(\rho/2)U_{m0}^2(\pi/4)d^2} \quad \eta = \frac{l\nu}{m_0^2 U_{m0}}$$

テーパ管はアクリル樹脂製、長さ 380mm、テーパ（両端の半径差÷長さ） 3.5×10^{-3} 、平均直径 15.5mm のものを用いた。

(2) 浮子および切込、浮子は図2に示すようなアルミニウム製のものであり、これに各種の切込をつけた。この実験においては3通りの切込をつけたが、これを図2および表1に示す。浮子の寸法および切込の寸法は万能測長器を用いて測定した。また浮子の重量および浮力は化学天秤を用いて測定した。

図2 浮子および切込

表1 切込の種類

切込の種類	番号	切込個数	切込面積* mm ²
A. 同一方向切込	1	4	3.5
	2	〃	7.0
	3	〃	16.7
	4	〃	23.8
	5	〃	24.3
B. 交互方向切込	6	〃	1.8
	7	〃	8.4
	8	〃	15.3
	9	〃	23.8
	10	〃	25.8
C. 垂直方向切込	11	〃	8.7
	12	8	15.1
	13	12	22.2

* 切込面積とは、切込によつて減少する浮子の円柱部の側面積

2・2 実験結果

(1) 切込の影響 各種の切込をつけた浮子について、抵抗係数 C_D と特性数 η の関係を実験的に求めた。 C_D と η の関係は第1～4報において報告したものと同様な傾向をもつが、切込がないものよりも C_D が小さくなる。しかしこれは円柱部の長さ l を補正して l_e と考えれば、前報までにのべた $\eta \sim C_D$ 関係と一致する(図3)。すな

図3 l の修正

わち切込をつけた場合には、円柱部の見かけ上の長さが実際の長さ l よりも短い l_e になったと考えればよいことがわかった。これを修正係数 $\phi = 100(l-l_e)/l$ (%)で表わし、表1に示した浮子についての実験結果を図4

図4 切込面積と修正係数

に示した。ここで S (mm²)は円柱部側面の切込部分の面積である。これより ϕ は切込面積 S のみにより定まり、切込の個数および形にはよらないということがわかった。 ϕ と S の関係は実験式として

$$\phi = 6\sqrt{S}$$

で与えられる。この実験結果においては、交互切込の場合の実験値のばらつきがいちじるしいが、実際に使用す

る切込は同一方式の切込であるから、この実験式はかなりよくあてはまると考えられる。

(2) 回転の影響 先に述べた3種類の切込のうち、同一方向の切込をつけた浮子は回転するが、交互方向および垂直方向の切込をつけた浮子は回転しない。図4よりあきらかなように、切込をつけた場合の流量特性の変化は切込面積のみにより定まり、回転にはよらない。ただしこの実験における浮子の回転による周辺速度の最大値は6.3cm/sであり、そのときの浮子とテーパ管の最小間隙部の流速 $U_{m0}=38.4\text{cm/s}$ であった。この種の切込により浮子の安定性を増すため回転運動をあたえることがよく行なわれる。液体を作動流体とするときは、切込に気泡が付着しやすく、また切込の不釣合のために偏心して回転したりあるいはみそすり運動を行うこともあるので、切込が浮子の性能により結果をもたらすとはかぎらないと考えられる。

3. 流量の指示および自記記録

3.1 実験装置および実験方法

実験装置は前章の場合とほとんど変りはないが、テーパ管の下方に浮子の位置を検出して流量を指示あるいは自記記録させるためのインピーダンス変換器を設けた。自記記録は一般に電子管式自動平衡計器を用いて行なわれているが、本研究においては増幅器を用いず、インピーダンスの変化を直接ブリッジ回路の不平衡電流として取出し、簡単な回路で広い範囲にわたって流量の指示お

よび自記記録ができるようにした。ブリッジ回路は図5に示してある。

電源は100V、50c/sである。流量の変化にしたがつて浮子に直結した鉄心の位置が変化したインピーダンス変換器の2つのコイル L_1 、 L_2 のインピーダンス Z_1 、 Z_2 が変化して不

図5 ブリッジ回路

平衡電流を生ずる。この際この回路においては、4個のセレン整流器を用いて直流の出力を得るようにしてあり、変位の量のみではなく変位の正負をも知るようになっているから使用可能な範囲は著しく広い。コイル L_1 、

L_2 はそれぞれ、径0.26mmのエナメル銅線を使用し、ボビン径12mm、外径50mm、長さ50mm、巻数11000であり、鉄心が入っていない場合および鉄心がコイルの中央に入った場合のインピーダンスはそれぞれ450 Ω 、1100 Ω である。

浮子は前章の実験に用いたものと同じアルミニウム製のものであり、先端に鉄心を連結するためのフックをつけた。鉄心の材料は硬鋼および軟鋼であり、この実験で用いた鉄心の種類を表2にまとめて示してある。なお浮子と鉄心は細糸により連結した。

表2 鉄心の種類

番号	形状	材質	外径 mm	内径 mm	長さ mm
1	中実	軟鋼	4.5	—	60
2	〃	硬鋼	5	—	100
3	〃	〃	4	—	80
4	〃	〃	3	—	〃
5	中空	軟鋼	4.7	2.7	〃
6	〃	〃	4	1.3	〃
7	〃	〃	4	3	〃

実験に際してはコイル中の浮子に直結した鉄心の変位 X 、ブリッジ回路へ加わる電圧 E 、ブリッジ回路の不平衡電流 I を測定しインピーダンス変換器の変位～出力特性などをしらべた。またコイルを流れる電流から鉄心が受ける吸引力 $\Delta W'$ を図7のように滑車と分銅を用いて測定した。滑車の回転部分にはミネチュアボールベアリングを使用しており、ベアリングの内径は1mm、滑車の外径は約6mmである。

3.2 実験結果

(1) 変位～出力特性 流量の指示および自記記録に際して、広い範囲の流量を測定しうするためには、鉄心の変位の広い範囲にわたって、出力電流が鉄心の変位に対して比例して変化することが必要である。そこで中実の鉄心を用いて、その長さおよび2つのコイルの中心間の距離を変化させて、鉄心の変位 X と出力電流 I の関係をしらべた。この結果、一般に鉄心の長さを長くすれば、電流と変位の関係が直線的である範囲は増すが、ある程度以上は変化せず、またコイルの間隔を大きくすれば直線範囲は増すが、ある程度以上になると逆に2つのコイルの中央付近において非直線範囲をもつようになる。すなわちコイルの長さ a (cm)、コイルの中心間の距離 b (cm)、鉄心の長さ c (cm) とすれば、出力の直線範囲 A (cm) は $b \leq 2a$ 、 $c \geq 3b/4$ であれば、ほぼ

$$A=b/2$$

であることがわかった。

図6 変位—出力特性

(2) 電源電圧変動の出力に対する影響 図5において、コイル L_1 , L_2 のインピーダンスをそれぞれ Z_1 , Z_2 セレン整流器の整流抵抗を r_s , 逆流抵抗を ∞ , 電流計の内部抵抗を r , ブリッジ回路の両端 ab に加わる電圧を E , また $R_1, R_2=R$ とする。また各部を流れる電流を図5のように定めれば

$$E = i_1(Z_1 + r_s) + i_3 R$$

$$i_1(Z_1 + r_s) - I r = i_2(Z_2 + r_s)$$

$$I r + i_3 R = i_4 R$$

$$i_1 + I = i_3$$

$$i_2 = I + i_4$$

となり、これより $i_1 \sim i_4$ を消去して I を求めれば

$$I = R(Z_2 - Z_1)E / [R(R+r)(Z_1 + Z_2 + 2r_s) + (2R+r)(Z_1 + r_s)(Z_2 + r_s) + R^2 r]$$

をうる。これより鉄心の位置が一定、すなわち Z_1, Z_2 が一定であれば I は E に比例する、すなわち I の変動率は E の変動率に等しいと考えられるが、実験的に $E \sim I$ の関係を求めてみると、ほぼ $I = CE^{1.3}$ (C は定数) の関係がある。すなわち $\Delta I/I = 1.3 \Delta E/E$ となり電流の変動率は電圧の変動率の1.3倍になっていることがわかる。これはセレン整流器の抵抗およびコイル L_1, L_2 の相互インダクタンスのためであると考えられる。

(3) 鉄心に働く吸引力 コイルの中に鉄心が入つていれば、コイルを流れる電流によって鉄心に吸引力が働

$b > 2a$ または $c < 3b/4$, すなわちコイル間隔が大きすぎたり、鉄心の長さがコイル間隔に比して短かすぎる場合には、コイル中央点付近において変位—出力特性は非直線性を示すようになる。この実験に用いたコイルは長さ $a = 5$ cm であり、図6に示すように $b = 10$ cm, $c = 8$ cm において $A =$ 約 5 cm の直線範囲が得られた。

く。図7に示すように滑車と分銅を用い、鉄心は径5 mm, 長さ80 mmの硬鋼を用いてこの吸引力を測定した。鉄心の位置 X および吸引力 $\Delta W'$ の関係をグラフに画けば、滑車の静摩擦のため、その曲線はある幅を有することになる。この幅は滑車の静摩擦力のほぼ

図7 吸引力の測定法

2倍に等しいので、この幅の midpoint が実際の吸引力の値であると考えられる。空気中で測定した吸引力を図8に示してあり、吸引力は2つのコイル L_1, L_2 それぞれの中心

図8 吸引力の変化

および2つのコイルの中央点において0となり、その間に最大と最小とがあることがわかる。この吸引力 $\Delta W'$ によつて浮子系の有効重量 $W' = W - F$ が変化し、流量特性もかわるので、 $|\Delta W'|$ の最大値 $|\Delta W'|_{\max}$ をなるべく小さくする必要がある。図9に示すように $|\Delta W'|_{\max}$ は電圧 E のほぼ2乗に比例している。

図9 ブリッジ電圧と吸引力

(4) 鉄心寸法の影響 出力 I および鉄心に働く吸引力 $\Delta W'$ に対する鉄心の寸法の影響をしらべるために、中

実および中空の鉄心について、 $X \sim I$ および $X \sim \Delta W'$ の関係を実験的に求め、それぞれの場合の感度 $\Delta I / \Delta X$ を求め図 10 に示す。これによれば、感度は鉄心の断面積に

図 10 鉄心の寸法と感度

比例して増加し、また材料の影響が大きい。一方吸引力は断面積に対してあまり変化せず、また材料によっても変化しないことがわかった。

(5) 流量特性 実際に浮子と鉄心を連結し水を流して、テーパ管につけた目盛から読む浮子の位置 X (すなわち鉄心の位置) と流量の関係は $E = 12.5 V$ の場合について求めたものを図 11 に示す。 $X \sim Q$ の関係は $E = 0$

図 11 流量特性

V の場合とはほとんど変わらず、 Q は X に比例して変化している。一方ブリッジ回路の出力電流は、インバーダンス変換器の 2 つのコイルの中央点を中心として上下に約 5 cm の範囲において、鉄心の変位 X に比例するので、この場合 14 cc/s ~ 25 cc/s の間で流量の指示、自記録が可能であり、感度 $\Delta I / \Delta Q = 0.26 \text{ mA/cc/s}$ である。勿論測定する流量範囲は、テーパ管とコイルの相対位置を変えれば変化させることができる。ブリッジ回路に

加える電圧 E を大きくすれば感度 $\Delta I / \Delta Q$ は大きくなるが、この際先に述べたように、吸引力 $\Delta W'$ が E の 2 乗に比例して増加し、このため浮子系の有効重量 $W' = W - F$ が変化して $X \sim Q$ の関係が直線的にならない。したがって出力電流 I は流量 Q に比例して変化しないことになる。たとえば $E = 50 V$ の場合の流量特性を図 12

図 12 吸引力による流量特性の変化

に示す。ここで吸引力 $\Delta W' = 0$ となる点、すなわち 2 つのコイルの中央の点およびそれぞれのコイルの中心においては、 $E = 0 V$ の場合の流量特性と一致しているが、その間では流量が $E = 0$ の場合に比して増しあるいは減っていることがわかる。この流量変化はまた次のようにして理論的に計算することもできる。すなわち $E = 0 V$ の場合の流量を $Q (\text{cc/s})$, S を最小間隔部の環状面積 $\pi \cdot c_0 (d + c_0) (\text{cm}^2)$, W' , C_D , η , l , d , c_0 , m_0 , U_{m0} , ρ , ν を前出の通りとすれば、抵抗係数に関する定義より

$$W' = C_D \frac{\rho}{2} U_{m0}^2 \frac{\pi}{4} d^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

また

$$\eta = \frac{l \nu}{m_0^2 U_{m0}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$Q = S \cdot U_{m0} \quad \dots\dots\dots (3)$$

(1) を W' で微分すれば

$$1 = \frac{\pi \rho d^2}{8} \left(\frac{\partial C_D}{\partial W'} U_{m0}^2 + 2 C_D U_{m0} \frac{\partial U_{m0}}{\partial W'} \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

また(3)を W' で微分して

$$\frac{\partial Q}{\partial W'} = S \frac{\partial U_{m0}}{\partial W'} \quad \dots\dots\dots (5)$$

をうる。

さらに(2)より

$$\frac{\partial C_D}{\partial W'} = \frac{dC_D}{d\eta} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial W'} = \left(-\frac{l\nu}{m_0^2} \right) \frac{1}{U_{m_0}^2} \frac{\partial U_{m_0}}{\partial W'} \dots\dots\dots (6)$$

(1)(6)を(4)に代入し、(3)(5)を用いれば

$$\Delta Q = \frac{\Delta W'}{\frac{2W'}{Q} - \frac{\pi \rho d^2 l \nu}{8Sm_0^2} \frac{dC_D}{d\eta}} \dots\dots\dots (7)$$

ここで $dC_D/d\eta$ は第1, 3報の抵抗係数 C_D と特性数 η に関する理論式より求めることができる。この式によって計算した ΔQ を用いた流量特性を図12にあわせて示してあるが、実験値とよく一致している。

4. 結 論

(1) 浮子の回転は流量特性に影響を与えない。

(2) 浮子を回転させるために浮子に切込をつけることがよく行われる。この切込の流量特性に対する影響は浮子の円柱部の長さ l の修正係数 $\phi = 100 (1 - l_e)/l$ (%) で表わすことができる。この ϕ は切込面積 S (mm²) のみにより定まり、切込の個数、形にはよらない。 ϕ と S は実験式

$$\phi = 6\sqrt{S}$$

の関係を持つている。

(3) 流量の指示および自記記録のため、インピーダンス変換器を用いた直線範囲の広い装置を試作し、所期の性能のものがえられた。またこの装置の特性について詳しくしらべ、次のような結果をえた。

(a) 鉄心の変位へブリッジ回路出力電流の直線範囲 A は、コイルの長さ a 、コイルの間隔 b 、鉄心の長さ c とすれば、 $b \leq 2a$, $c \geq 3b/4$ であるかぎりほぼ

$$A = b/2$$

である。

(b) ブリッジ回路へ加える電圧が12.5V 程度以下であれば、流量と指示電流は直線的に変化するが、これ以上電圧を増せば非直線の関係を示す。

(1959, 3月31日受付)

文 献

- 1) 森康夫：精密機械，23巻，1957年，No.3.
- 2) 森康夫：精密機械，23巻，1957年，No.5.
- 3) 森康夫，新美泰彦：精密機械，24巻，1958年，No.11.

型鍛造カサ歯車の研究 (第1報)*

—— 型鍛造スグバカサ歯車の実用性について ——

成瀬 政男** 泉沢 正郎** 松本 二郎***

Studies on the Forged Gears (Part 1)

—— On the Practicabilities of the Forged Straight Bevel Gears ——

Masao NARUSE, Masaro IZUMIZAWA and Ziro MATUMOTO.

This paper offers a manufacturing method of the straight bevel gears by the forging process.

In our forging process we used an upper die insert manufactured by the die sinking method.

We investigated the strength and the accuracy of the forged straight bevel gears, and compared these results with that of the machined straight bevel gears.

Furthermore, we tested those gears for the practical power transmitting parts of a certain equipment for 2 years.

Consequently, we verified the practicabilities of the forged gears as the machine parts.

* 昭和33年11月7日 精機学会仙台地方講演会において講演

** 東北大学工学部精密工学科 正会員

*** 東北特殊鋼株式会社 正会員

1. 緒 言

各種カサ歯車を製作する方法としては、現在のところ、グリーンソン社，クリンゲルンベルグ社，ハイデンラ