可逆オリフィス流量計

芝 亀 吉*・一 瀬 正*・山 口 隆 久*

Reversible Orifice Flowmeter

Kamekichi SHIBA*, Tadashi ICHINOSE* and Takahisa YAMAGUCHI*

1. は し が き

絞り機構による流量計は、最もよく使用されている流量計であり、オリフィス流量計、Venturi 管流量計、ノズル流量計などがあるが、いずれも流れの向きを一方方向としての流量測定を行うものである。

ここで報告する可逆オリフィス流量計は、流れの向きに関係なく流量測定ができるものである。可逆オリフィスは、前に報告した新オリフィス流量計¹⁾を改造したものであり、両端面に同じ丸味を有し、圧力取出口をオリフィス板自体の中央円筒部に設けたものである。このような形状によって、絞り機構としての可逆流量計を構成することが可能であると考えられる。

2. 測定原理

Fig. 1 に示すような、両面が対称的に丸められたオリフィス板の中央断面にタップCを設け、タップCから管径だけ離れた両位置にタップA₁, A₂をつけた流量計を構成すると、可逆流量計となる。

2.1 上流側タップをA₁またはA₂とする場合

両タップA₁, A₂の上流側となったほうは流れの向きによって使用し、下流側となったほうは使用しないとすれば、流れの向きによらず流量測定ができる。

管の直断面積をS_A、オリフィス孔の直断面積をS_Cとするので、絞り面積比は $\beta^2 = S_C/S_A$ である。また、A₁, A₂の下流側となっているタップで取出される圧力をp_A, Cで取出される圧力をp_Cとすると、Bernoulliの式と連続方程式より、体積流量Qは、

$$Q = \frac{\alpha S_C}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{\frac{2(p_A - p_C)}{\rho}} \quad (1)$$

* 東洋大学工学部 川越市鯨井中野台 2100

* Faculty of Engineering, Toyo University, Kawagoe
(Received August 24, 1984)
(Revised November 8, 1984)

Key Words: notwithstanding the flow direction, equally rounded on both sides, a tap in the middle of the cylinder

で与えられる。 α は流量係数である。

2.2 A₁, A₂の平均圧力を用いる場合

流れの向きによってA₁, A₂のいずれか一つだけを使用するのでは完全に可逆であるとはいえないと考えられなくもない。また、流れの向きが変わるときに不便な場合がある。

つぎのような方式にすれば完全に可逆となる。A₁, A₂で取出される圧力p_{A1}, p_{A2}の平均 $\bar{p}_A = 1/2(p_{A1} + p_{A2})$ と圧力p_Cとの差を差圧とする。すなわち、

$$(\bar{p}_A - p_C) = \frac{1}{2} \{ (p_{A1} - p_C) + (p_{A2} - p_C) \}$$

となり、このときの体積流量Qを与える式は、

$$Q = \frac{\alpha^* S_C}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{\frac{2(\bar{p}_A - p_C)}{\rho}} \quad (2)$$

となる。 α^* は流量係数であり、(1)式の α に等しくない。

(2)式によって、流れの向きを知る必要のある場合には、

- i) $p_{A1} - p_C > p_{A2} - p_C$, あるいは $p_{A1} > p_{A2}$ ならば、
A₁ から A₂ への向き、
- ii) $p_{A1} - p_C < p_{A2} - p_C$, あるいは $p_{A1} < p_{A2}$ ならば、
A₂ から A₁ への向き

である。このちがいは、オリフィスを通過した後の圧力回復が100%でないことによる。

以上の2種の差圧方式によって流れの向きに関係なく流量測定を行うことができる。流量係数 α, α^* は、粘性が無視されないなどによる誤差を補正するために

Fig. 1 Construction of reversible orifice flowmeter (Rounded type orifice)

導入される係数で、実験的に定めなければならない。
また、 p_{A1} と p_{A2} とは、上流側となったほうが大きいので、常に $\bar{p}_A < p_A$ であり、等しい Q については常に $(p_A - p_c) < (\bar{p}_A - p_c)$ であるから $\alpha^* > \alpha$ である。

3. 実験

両端に丸みのついた可逆オリフィスによって、

- i) 流れの両方向について差圧 $(p_A - p_c)$, $(\bar{p}_A - p_c)$ と流量 Q の関係
- ii) 流量係数 α, α^* と Reynolds 数の関係
- iii) 互換性

の特性を知ることを目的として実験を行った。

3.1 試作可逆オリフィス流量計の形状、大きさ

試作オリフィス板は、厚さ 5.0 mm の黄銅製で、その形状および寸法は Fig. 2 に示されている。外径は 15.0 mm, オリフィス孔径は (I) 7.0 mm, (II) 5.0 mm, (III) 4.0 mm の 3 種とし、両端面の丸み半径 r は前報¹⁾ の実験結果を考慮に入れて定めた。

3.2 実験装置および実験方法

実験装置の概略は Fig. 3 に示す。同形同大のオリフィス 2 個①を一樣な直円管でシリーズに連結し、各オリフィスの両端面より管径だけ離れた両位置にタップをつけ、U 字管差圧計②で測定を行う。管路から流出する液体を容器④で受け、質量を測定し、流出時間と液体の密度とによって体積流量 Q を求める。

Fig. 2 Profiles of trial reversible orifices

Fig. 3 Schematic view of apparatus for experiments

Fig. 4 Results of experiments with reversible orifices (I) of contraction ratio $\beta^2 = 0.49$

管路の下流側と下流側とに熱電温度計の測温接点⑤を付けてある。なお、流れの向きを逆にした実験を行うには、Fig. 2 の両オリフィスを含む管路部分を逆向きに付け替え、同様の操作を行う。

4. 実験の結果

試作した 3 種類 6 個の可逆オリフィスを用い、絞り面積比 β^2 が異なるとき、両方向の (水温度 $23^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$) の定常流で得られた流量と差圧 $(p_A - p_c)$, $(\bar{p}_A - p_c)$ とを測定し、その関係を両対数グラフで表わし、それをもとに、流量係数 α, α^* と Reynolds 数 Re_D との関係を求める。

(1) オリフィス (I). (絞り面積比は $\beta^2 = 0.49$)

測定結果を Fig. 4(a) に示す。いずれのオリフィスでも測定点が流れの向きによらず、それぞれ一直線上にあり、互換性のよいことを示している。また、差圧 $(p_A - p_c)$, $(\bar{p}_A - p_c)$ の直線部の傾斜は 0.50 を示すが、測定点のばらつきは、 $(\bar{p}_A - p_c)$ が多少ある。これは、オリフィス通過後の圧力回復が一定であるとはみられないことを示している。したがって、 $(p_A - p_c)$ を用いるほうがよいと考えられる。

Fig. 5 Results of experiments with reversible orifices (II) of contraction ratio $\beta^2 = 0.25$

Fig. 4(b)は、流量係数と Reynolds 数との関係を流れの向きによらず両オリフィスの平均をとって表わした。 α は実験された Reynolds 数の範囲では一定で、 $\alpha = 0.930$ であり、下限 Reynolds 数は $R_D = 3000$ よりかなり小さい。 α^* もだいたい一定の値であるとみられるが、一定である精度は α よりもかなり悪い。

(2) オリフィス(II) (絞り面積比は $\beta^2 = 0.25$)

測定結果を Fig. 5(a) に示す。両オリフィスの測定点は、それぞれ一直線上にあり、互換性のよいことが認められる。なお、 $(p_A - p_C)$ の傾斜は 0.50 であるのに対して、 $(\bar{p}_A - p_C)$ の傾斜多少小さく 0.46 であり、しかも、差圧が小さいほどばらつきが大きい。これは、圧力 (p_{A2}) の取出し位置までの圧力損失が大きいことによると考えられる。

Fig. 5(b)は、流量係数と Reynolds 数との関係を示す。 α は一定で、 $\alpha = 0.890$ であり、下限 Reynolds 数は 2,000 以下である。これに対して、 α^* は同じ Reynolds 数の範囲で、ほぼ一定であるとみられるが、その範囲でも R_D の小さい領域では最大 2% 程度直線から離れており、 α に比べて精度が悪い。

(3) オリフィス(III) (絞り面積比は $\beta^2 = 0.16$)

測定結果を Fig. 6(a) に示す。結果は、(I)、(II)と同様に、測定点が一直線上にあり、互換性がよい。また、傾斜は、 $(p_A - p_C)$ は 0.50 であるのに対して、

Fig. 6 Results of experiments with reversible orifices (III) of contraction ratio $\beta^2 = 0.16$

$(\bar{p}_A - p_C)$ は 0.49 であり、しかも、差圧 2 cm H₂O 以下になると、測定点は直線より下になる傾向を示す。

Fig. 6(b)は、流量係数と Reynolds 数との関係を示す。 α の値は $R_D = 2000$ 以下で一定で、(I)と同じように $\alpha = 0.930$ である。しかし、 α^* は (I)、(II) に比べて直線に近いが、 α よりも直線性が悪い。

5. む す び

可逆オリフィスによって、流れの向きに関係なく流量測定ができることは、実用上有用であると考えられる。また、この可逆オリフィスは、流量係数 α が $R_D \geq 2000$ の範囲内で一定とみられ、絞り面積比および丸み半径によって多少異なるが、従来のものよりも大きく 0.88~0.93 であり、しかも、小形でも製作が容易で互換性もよい。なお、この可逆オリフィス流量計の特徴は、2 タップ方式および 3 タップ方式で差圧測定が行われることである。3 タップでの流量係数 α^* は、2 タップの流量係数 α に比べて、一定とみられる精度が悪く、2 タップ方式のほうが優れている。

参 考 文 献

- 1) 芝, 一瀬, 山口: 新オリフィス流量計, 応用物理, 38-8, 749/755 (1969)