リング渦流速計の試作[†]寺尾 吉哉*・高本 正樹*・亀本 喬司**
浅田 秀一***・大内 秀樹***

Characteristics of a Ring Vortex Shedding Velocimeter

Yoshiya TERAOKA*, Masaki TAKAMOTO*, Kyoji KAMEMOTO**,
Hidekazu ASADA***, Hideki OHUCHI***

1. はじめに

流れの中に渦発生体を設置し、その下流に規則的に発生する渦の周波数から流速・流量を算出する渦式流速計・流量計は、高レンジアビリティ、高安定性、流体の密度変化の影響をほとんど受けない、などの利点があり、すでに広く普及している。現在の渦式流速計・流量計は渦発生体に柱状物体を用いてカルマン渦を発生させるものであるが、これに対しリング状の渦発生体を用いてリング渦を発生させた場合には、①渦糸が閉じており、渦の不安定要因となる渦端が存在しない、②軸対称形状であるため管内流などの軸対称流れに対して適当である、などの長所があり、より広い Re 数の範囲でより安定な渦発生が期待できることが確認されている¹⁾。ここでは、リングを短管の内部に格納し²⁾、超音波により渦検出を行う可搬式流速計システムを試作し、特性試験を行った。

2. 構造

渦発生体として用いたリングを Fig. 1 に示す。リングの断面は、剥離点の変動を抑え、広い流速範囲で安定に渦を発生する形状となっている。既存の渦流量

Fig. 1 Dimensions of bluff body

計のように円管内に柱状の渦発生体を取りつけた場合、渦発生体の幅と円管内径の比は 0.2~0.3 が最適であると報告されている³⁾。ここではリング幅 W と流路幅 (約 21 mm) の比がそれぞれ約 0.2, 約 0.4 となる二つの渦発生体, Ring I ($W=4.5$ mm), Ring II ($W=9.0$ mm) を製作し、その特性を比較した。

これらのリングを Fig. 2 に示す流速計本体に装着した。リングは 3 本のサポートにより内筒に固定されている。サポートの後流がリング渦に与える影響を小さくするために、サポートは流線形に近い断面形状に加工され、またその幅はリング幅の半分以下の約 2 mm となっている。内筒は 3 枚のペーンにより外筒に取りつけられている。

Fig. 2 Description of vortex shedding velocimeter

† 第 24 回計測自動制御学会学術講演会で発表 (昭 60・7)

* 計量研究所 茨城県新治郡桜村梅園 1-1-4

** 横浜国立大学工学部 横浜市保土ヶ谷区常盤台 156

*** (株)東京計器 東京都大田区南蒲田 2-16

* National Research Laboratory of Metrology, Niihari-gun, Ibaraki

** Faculty of Engineering, Yokohama National University, Yokohama

*** Tokyo Keiki Co., Ltd., Ota-ku, Tokyo

(Received January 16, 1986)

(Revised April 7, 1986)

Key Words: vortex shedding flowmeter, flow velocimeter, vortex, vortex ring, ultrasonic sensor

Fig. 3 Block diagram of signal processing

渦を検出するために一対の超音波振動子がリング下流に設けられている。超音波（140 kHz、連続波）は内筒側から外筒側へ向かって発射される。リング渦が超音波ビームを横切る際の受信波の位相変化が渦検出信号として出力され、これを零交差カウンタに入力することにより渦発生周波数が求められる（Fig. 3）。なお、超音波ビームの中心とリング後端との距離 L は最も乱れの少ない渦検出信号が得られる値として、リング幅の約 3 倍に設定されている。

3. 特性試験とその結果

3.1 流速と渦発生周波数

本流速計を吹出形低乱風洞（流速範囲 1~33 m/s, 流速 33 m/s での乱れ強さ 0.025%, 測定部寸法 400×400 mm）内に設置し、特性試験を行った。Fig. 4 にピトー管により測定された主流流速 U に対する渦発生周波数 f を示す。比較のために Ring I を流速計から取りはずし単独で自由流中に設置した場合もあわせて示す。Ring I, II とともに流速 7 m/s 以上において直線的な特性を示し、この範囲では最小 2 乗法により求められた図中の直線で近似される。 f の再現性は 5 m/s 以上において 0.3% より良い。

Fig. 5 は同じ結果をレイノルズ数 $Re = U \cdot W / \nu$ (ν : 流体の動粘度) とストローハル数 $St = f \cdot W / U$ によって整理したものである。Ring I, II とともに Fig. 4 の近似直線が原点を通らないため、 St が一定

Fig. 4 Frequency characteristics against flow velocity

(a) Ring I

(b) Ring II

Fig. 5 Reynolds number versus Strouhal number

の領域は存在しない。Ring I は $Re = 2 \times 10^3$ 付近に St のピークが見られる。

3.2 流れに含まれる乱れの影響

柱状物体後流のカルマン渦については、流れの中に乱れが含まれている場合でも、乱れが顕著な周期的成分をもたない限り、渦発生周波数はほとんど変化しないことが知られている⁴⁾。リング渦についても同様のことが期待できる。ここでは流速計の上流に乱流格子を設置して流れに約 5% の乱れ強さを与え、この場合の渦発生の安定性を渦検出信号のスペクトルの広がりから評価した。Fig. 6 は渦検出信号の周波数スペクトルの半値幅 f_b を渦発生周波数 f (スペクトルのピーク周波数) で無次元化したものである。Ring I, Ring II とともに流れに乱れがあっても f_b/f は低流速部を除いてほとんど変化せず、渦の発生が安定に続いていることを示している。

3.3 迎え角に対する特性

本流速計が流れに対して迎え角 θ をもつ場合の

Fig. 6 Non-dimensional half-power point band width versus flow velocity. f_b : half-power point band width

Fig. 7 Effect of yaw angle. $f_0: f$ at $\theta=0$

Fig. 8 Velocity fluctuations detected by ultrasonic sensor and hot wire. Amplitude: arbitrary scale

f の変化を Fig. 7 に示す。 $U=5.4, 15, 31$ m/s で f の変化はいずれも同じ傾向を示し、 $\theta=10^\circ$ のとき f は $\theta=0$ のときの値に対し $0.8\sim 1.1\%$ 増加する。このような現象は、矩形断面のリングを自由流中に設置した場合にも観察されている⁵⁾。 Fig. 7 にはあわせてプラントル形ピトー静圧管の迎え角特性として、圧力係数 K^6 の平方根を示す。本流速計はピトー管とほぼ同じ迎え角特性を示すことがわかる。

3.4 渦の検出法

本流速計で採用した超音波センサによる渦検出信号と熱線流速計による渦の検出信号を比較した。熱線プ

ローブは流速計下流側からそう入し、リング下流の最も良好な信号が得られる点に固定した。それぞれ一般的な特徴を示す波形を Fig. 8 に示す。比較的流速の大きな場合では熱線による信号には流れの乱れに起因すると思われる高周波成分が見られるが、超音波による信号には見られない。これは、超音波により検出される流速変動は超音波の伝搬経路上の変動流速を積分したものであり、小さなスケールの乱れには影響を受

けにくいと考えられる。一方、低流速では超音波による信号に電氣的なノイズが生じているが、適切な対策により防止できると考えられる。

なお、ここで得られた信号を円管内での平板下流の渦検出信号¹⁾と比較すると、超音波、熱線による信号とも乱れが多少小さいといえる。

4. おわりに

リング状の渦発生体を用い、超音波により渦検出を行うリング渦流速計を試作し特性試験を行った結果、実用的な性能をもつことがわかった。

参考文献

- 1) 高本, 小宮, 泉: リングからの渦発生と渦流速計への応用, 計測自動制御学会論文集, 18-8, 814/820 (1982)
- 2) 亀本, ほか: カルマン渦流量計, 特開昭 58-77620 (1983)
- 3) H. G. Kalkhof: Der Wirbeldurchflußmessr im Vergleich mit Wirkluk-Durchflußmeßgeräten, PTB-Bericht, Me-47 (1983)
- 4) J. Donoso: Investigation of Wake Structure of Isolated and Intersecting Flat Plates, M. Phil. Thesis, University of London (1980)
- 5) M. Takamoto and K. Komiya: A Vortex Ring Shedding Flowmeter, ACTA IMEKO 1982, 87/96 (1982)
- 6) 小宮勤一: 流量計測ハンドブック (川田他), 280, 日刊工業新聞社 (1979)