

円筒ピトー管による速度測定

上野 五郎*・門脇 重道*・大江 清登**

Velocity Measurement with Cylindrical Pitot-tube

Gorō UENO, Shigemichi KADOWAKI and Kiyoto OOE

Abstract

An apparatus giving the revolution automatically to a cylindrical Pitot-tube was made. The revolution is given by an electric motor, and the revolutionary angle, caught by a synchronous control transmitter, comes out on Y-axis of the X·Y recorder. The static pressure, leaded to a strain gage transducer, draws a curve on X-axis of the X·Y recorder.

The velocity measurement of this apparatus is much quicker, and the treatment of one is a simple.

1. 緒 言

流体の流れに関する研究では、速度の測定は欠かすことのできないものである。流速測定の方法には、翼車の回転数より流速を測る流速計(カレントメーター)や空気やガス等の気体の流れに多く用いられる熱線型風速計等があるが、最も一般的に使用されるのがピトー管である。ピトー管等を用いてパイプや四面を囲まれた装置の中の流れを測定する時には、標準型ピトー管ではピトー管装入孔がピトー管径よりもいくらか大きなものとならざるを得なく、従って流体の漏れを防ぐためのパッキン等の装置が複雑となり、ピトー管の装入等に多くの労力を必要とするという欠点を持っている。またピトー管の構造上からも、流れが曲っている場合は、総圧孔と静圧孔の位置がはなれている標準型は不適当であり、渦等のように流れの方向が判明しにくい場合なども標準型では方向の検出が困難なことから速度測定が行えないこともおこってくる。

以上のような理由から、パイプや四面を囲まれた装置内の流れで、流れが曲っていたり、渦を含む場合の速度測定には、流れの方向も知ることができる円筒型ピトー管を用いることになる。円筒ピトー管には流れの方向を検出するための二つの静圧孔を持った二孔式のものや静圧と総圧を同時に測定するに便利な三孔式のものがあるが、これらは孔を精度よくあける技術や、二本・三本の細管を確実に測圧孔に接続する技術を必要とする上、ピトー管径も太くなるという難点を持っている。そこで流れに影響をなるべく与えないよ

う管径を小さなものにしたい時は、製作も比較的容易な単孔式のものを用いられることになる。

筆者らの実験室では、側壁付着形純流体素子の内部の流れを研究¹⁾する上において、モデル素子の内部の速度分布を明らかにする必要があり、モデル素子の大きさがノズル径で12mm, 6mmという小さなものであるので、ピトー管径もなるべく小さいものが要求される。そこで上に述べたような種々の条件を満足するものとして単孔式円筒ピトー管を用いることが適当である。

筆者らは当初この単孔式円筒ピトー管を手で回しながら測定を行っていた訳であるが、池森²⁾も述べているようにその静圧分布を得るためには、微小角度の変位を手で与えながら圧力を読みとり、正弦曲線に似た圧力分布からその方向と大きさを求めるという非常に手数のかかる作業を必要とする。特に圧力測定をマノメータで行なうならば、変位を与えて圧力が平衡するまで相当な時間をおかなければならないため、一点の静圧分布を得るのに長い時間かけなければならないという難点を持っている。

モデル素子の内部流れの速度分布を得るためには百数十点での速度を測定する必要があるため、円筒ピトー管による測定の時短縮と作業の簡便化が必要となった。そこで筆者らは、円筒ピトー管、歪計式差圧計、セルシンモータ、X-Yレコーダを組合せることにより、迅速かつ簡易な速度測定装置を製作した。圧力測定を歪計式差圧計で行なうことによって、圧力平衡までの時間を短縮し、X-YレコーダのX軸にいれ

* 機械工学科

** 三菱重工(株)

て自動記録を行えるようにした。またピトー管の回転はモータで与え、その角変位はセルシンモータで検出するとともに、X-YレコーダのY軸にいて、圧力、角度を同時に自動記録ができるようにした。

これにより、測定時間の短縮とともに、自動的に静圧分布曲線を記録させることができるためモデル素子内部の速度を多数の点で容易に測定できるようになった。この円筒ピトー管自動回転記録装置について以下に述べる。

2. 構造

円筒ピトー管自動回転記録装置はモデル素子の大きさに合せて三種類製作したが、ここではノズル径12mmの素子の内部流れの速度分布を知るために製作したものについて述べる。他のものも同様な構造をしている。ここで用いられた円筒ピトー管の構造は Fig. 1 に示す通りである。このピトー管の寸法の決定については沼知の論文³⁾を参照し、ピトー管端や孔の深さが静圧に影響を与えないようにした。この円筒ピトー管 P が Fig. 2 に示すようにモータ M から歯車で減速されて回転を与えられる。そしてマイクロスイッチの作動により、360度の回転で自動停止し、スイッチの操作で逆回転をする。これはピトー管から歪計式差圧計に接続されているビニールチューブにねじれを与えないためである。

自動回転装置の中にはピトー管の回転角度検出用のセルシンモータ S が内蔵されていて、X-Yレコーダに内蔵されたもう一方のセルシンモータと連動して、レコーダの Y 軸の送り量としてあらわされる。

上述のようにピトー管で生じた圧力は歪計式差圧計に導かれ、電気信号に変換されて X-Yレコーダの X 軸に送られる。円筒ピトー管自動回転記録装置の全体図を Fig. 3 に示す。

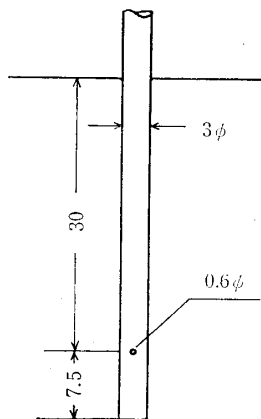


Fig. 1 Geometry of the cylindrical Pitot-tube
Vol.24 No.3 (1974)

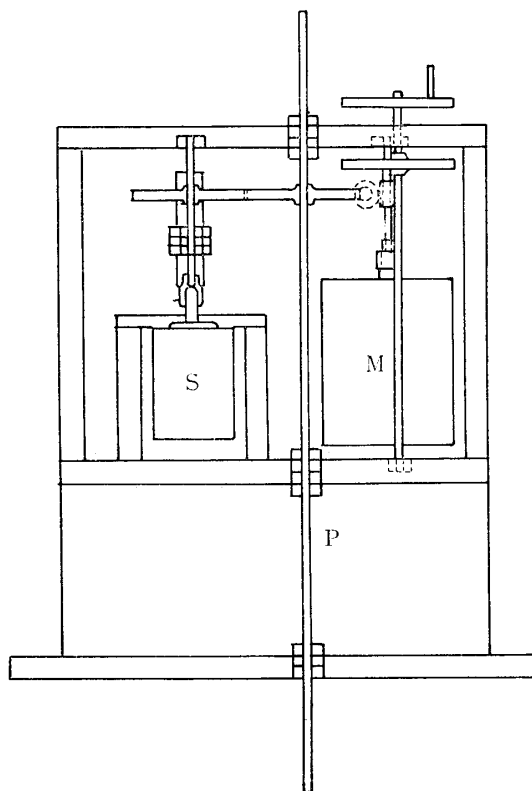


Fig. 2 Apparatus of the automatic revolution

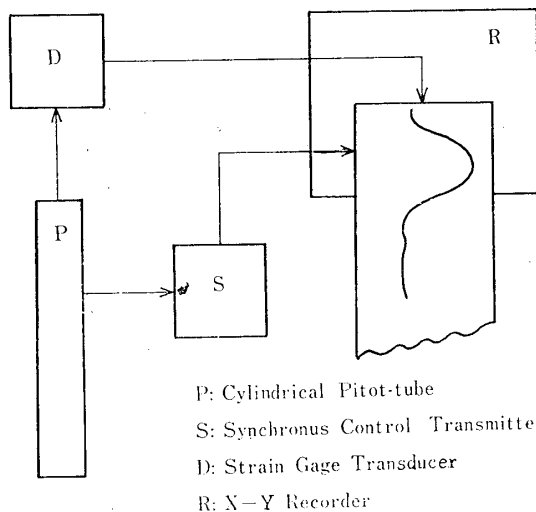


Fig. 3 Schematic diagram of the velocity measurement

3. 検 定

3.1 概 要

円筒ピトー管に手で微小角変位を与えて少し時間をおいて、すなわち圧力伝達の時間的な遅れを十分考慮して静圧分布を測定する方法では、時間遅れの項は考慮にいれる必要がないし、圧力の最大値の真の値との差はピトー管係数で処理できる。ところがこの円筒ピ

ト一管自動回転装置では、圧力伝達の遅れは回転角度の遅れとして表示され、圧力の最大値にも影響を与える。そこで圧力の最大値が回転、静止でどのように異なり、どのような条件ならば差のないものとして、使用しうるかを検定しておくことが必要である。

同様に圧力伝達の時間遅れについても検定が必要である。圧力伝達の遅れを生じる原因としては、圧力伝達用に使われているビニールチューブの圧縮性、チューブ中の気泡の圧縮性等が考えられる。

ここでつけ加えておくと、円筒ピトー管を用いれば理論的には総圧も静圧も測定しうる。しかし静圧の測定のためには臨界角度を予備実験で求めておく必要がある。臨界角度は R_e 数によっても異なってくるので、予備実験は使用 R_e 数の範囲で、種々行なう必要がある。その上、実際に測定を行なうためには、あらかじめ R_e 数を推定する必要もあり、流速が種々変化する場合には円筒ピトー管から静圧をとり出すのは困難である。この困難さは流れが乱流の場合には倍化される。ピトー管円周上の静圧分布は単純なカーブでなく、流れの変動成分による圧力変化が重ねあわされ、臨界角付近は静圧変化が急激でもあるので、圧力の読みとりには大きな誤差を含む。

このような理由から、本装置では総圧のみの測定を行ない、静圧は装置の上板、すなわち円筒ピトー管の装入孔での圧力を用いた。この静圧測定については、改良の余地がある。

3・2 ピトー管係数

製作した単孔式円筒ピトー管のピトー管係数を求めるには、ピトー管係数が既知のピトー管との比較を行なえばよいが、それには自由噴流の初期領域におけるコア内が適当である。使用 R_e 数の範囲で流速をかえて測定した結果、製作した円筒ピトー管のピトー管係数は1.0とみなしてよいことがわかった。

3・3 ピトー管測圧孔の方向検出

この検出も自由噴流の初期領域で行うとよい。すなわち噴流中心線の方法はノズルの方向と一致するので、ピトー管をコア内に設置したとき、圧力曲線の最大値を示す角度が噴流の方向であり、測圧孔の方向である。それがノズルの方向と一致する。

3・4 圧力の最大値の検定

3・4・1 概要

円筒ピトー管を連続的に回転させて得られる圧力分布(回転圧力)は、手で微小角変位を与える時に得られる圧力分布(静止圧力)と一致しない可能性がある

ことは既に述べた。ところで円筒ピトー管によって求めようとするのは圧力分布の最大値とその角度であるので、回転圧力と静止圧力の最大値を比較する。便宜上、回転圧力の最大値を P_R とし、静止圧力の最大値を P_S とすると、

$$P_S - P_R = \Delta P \quad (1)$$

この差圧はピトー管の回転速度によって生じるが、ピトー管のまわりの R_e 数によっても影響をうけるので

$$P_S - P_R = \Delta P(V, R_e) \quad (2)$$

V : ピトー管回転速度

となる。実験では V を一定として実験するから R_e 数を変化させて ΔP の変化を測定しておけば ΔP の補正が可能のようであるが R_e 数を直接知る方法がないので補正はできない。そこで円筒ピトー管を連続的に回転させても使用しうる条件としては

$$\Delta P(V \leq V_c, R_e) = 0 \quad (3)$$

V_c : ピトー管回転速度の限界値

である。従って(3)の条件を満たす V_c を求めればよい。

3・4・2 V_c の検出

V_c 検出のための実験は3・1と同様のコアで行なう。測定においてはピトー管回転速度の代りにモータ供給電圧 (V_r) を用い、 R_e 数の代りには圧力ヘッドの静歪量 (ε) を用いる。 P_S と P_R との差があるかないかの判定は次の方法によった。あるモータ供給電圧で、ある R_e 数の自由噴流内でのピトー管円周上の静圧はFig. 4のようにあらわされる。この図で示されるように、 P_R としては回転圧力最大値における変動の最大値と最小値を各々 ε_h , ε_l とし、 P_S としては静止圧力のある時間の範囲における最大値と最小値を各々 ε_h , ε_l とした。

ここで次の条件を満足する時 $\Delta P = 0$ であるとした。

$$\varepsilon_l < \bar{\varepsilon}_l < \bar{\varepsilon} < \bar{\varepsilon}_h < \varepsilon_h \quad (4)$$

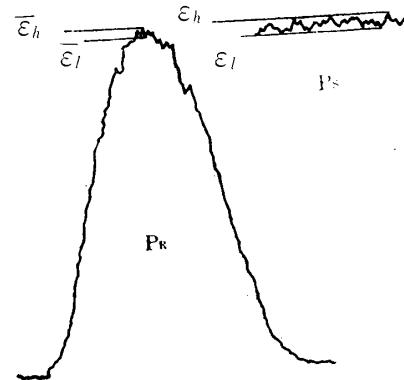


Fig. 4 Model of the range of fluctuation

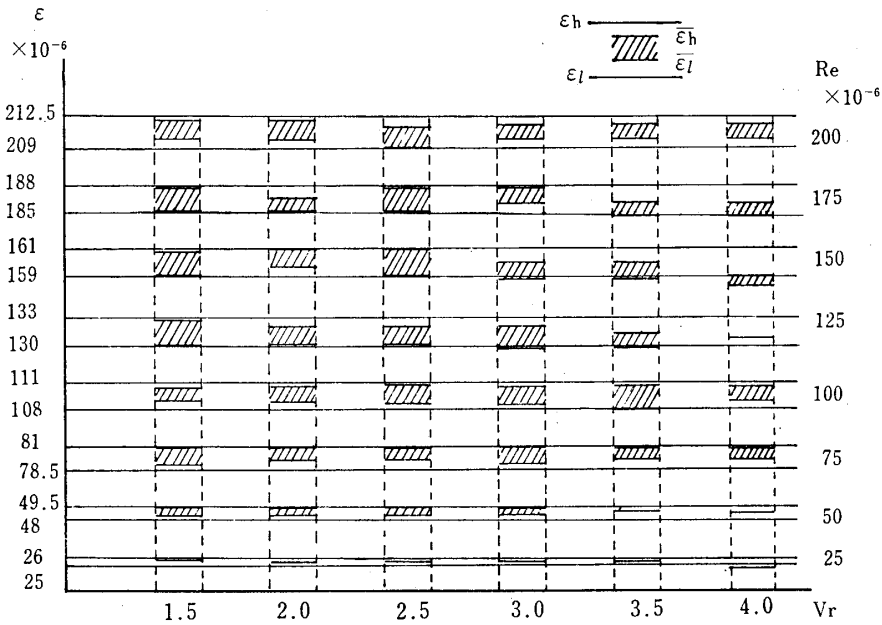


Fig. 5 Comparison the ranges of fluctuation got by two methods in various angular velocity and Re number

ここで ϵ は真の値である。実験の結果は Fig. 5 に示すとおりである。これより $V_c=2.5$ とすることができる。すなわち供給電圧が2.5ボルト(ピトー管周速0.142 mm/s)以下であれば使用 Re 数の範囲では圧力の最大値の補正は不必要であることがわかった。

3.5 圧力伝達の時間遅れの検定

3.5.1 概要

円筒ピトー管の回転角においても圧力伝達の時間遅れのため、静止圧力と回転圧力との間に角度差が生じる。すなわち圧力-回転角グラフが同じ Re 数において Fig. 6 のように静止圧力分布と回転圧力分布の二つの曲線でえがかれる。圧力の最大値の場合と同様に、圧力の最大値を示す角度が問題となり、Fig. 6 のように θ_s, θ_R を定めると、その角度差はピトー管回転速度と Re 数の関数となる。

$$\theta_R - \theta_s = \Delta\theta(V, Re) \quad (5)$$

圧力の場合と同じく(5)の $\Delta\theta$ は Re 数の変化に対して一定値でなければ、回転角度の補正はできない。よって

$$\Delta\theta(V \leq V_c, Re) = \text{const} \quad (6)$$

なる V_c を求めればよいことになる。

3.5.2 V_c の検出

実験は圧力最大値の時と同位置で行ない、測定においてはピトー管回転速度はモータ供給電圧で、 Re 数

は静歪量で表示する。

測定結果から $\Delta\theta$ が(6)の条件を満足するかどうかを判定する基準は次のように行なった。あるモータ供給電圧において Re 数を使用範囲内で変化させて得られた θ_R の内最大値を θ_h 、最小値を θ_l として次の条件を満足すること。

$$\theta_h - \theta_l < 1.5 \quad (7)$$

ここで1.5度を360度に対して許容誤差(0.42%)とした。従って(7)を満足する V_c を見出してそれに対応する $\Delta\theta$ を得るならば(5)より θ_R の補正を行なうことができる。実験結果は Fig. 7 に示す。また(7)の左辺を算出したものを Fig. 8 に示す。これらの結果から

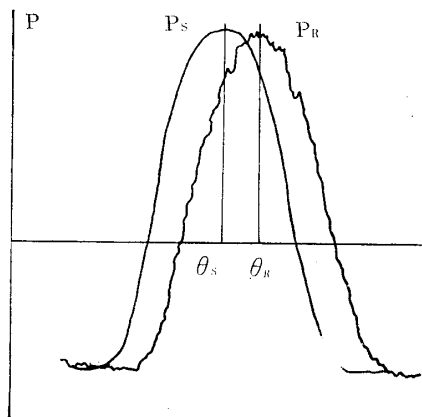


Fig. 6 Model of the differential angle

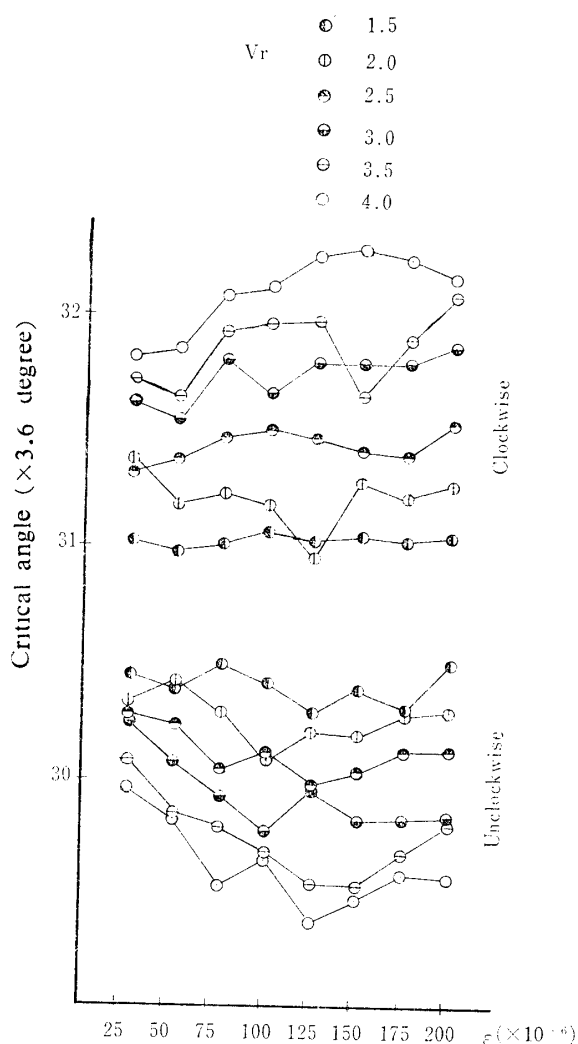


Fig. 7 Relation between the critical angle and the angular velocity in various R_e number

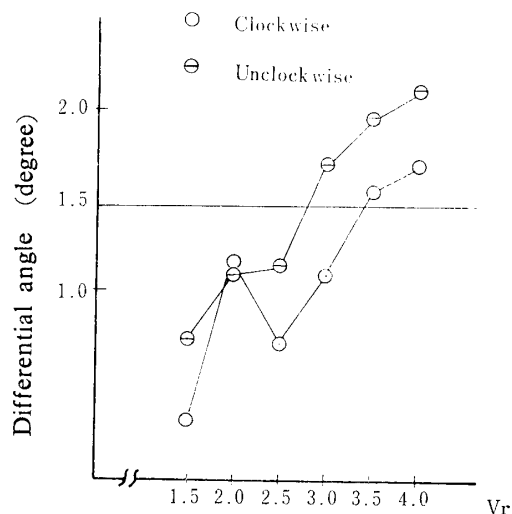


Fig. 8 Relation between the differential angle and the angular velocity

V_c は2.5ボルトと判明した。(6)の定数を求めてみると、Table 1 のようになる。 θ_s は噴流の方向を示す角度であり、 θ_R はある V_R における測定値を回転方向別に総計してその平均値を用いた。

時計回りと反時計回りとは少し値が異なるが、実際の実験には時計回りをを用いるので、圧力伝達の遅れから生じる角度差は $V_R=2.5$ ボルトの時 $\Delta\theta=4^\circ$ とすることができる。

Table 1 Value of the differential angle

Supply voltage		θ_R	θ_S	$\Delta\theta$
2.5	Clock wise	114	110	4
	unclock wise	108	110	-2

3・6 その他の検定

その他必要な検定としては、回転を自動停止するためにマイクロスイッチを用いているが、このスイッチでの自動停止がスイッチの場所で正確に停らず、慣性によって行きすぎる。そこでこの行きすぎ角度と、 360° より大きくなる全回転角度を正確に測定しておく必要がある。これはピトー管の回転の起点がこの行きすぎ角度に関係してくるからであり、またピトー管回転角速度を求める場合に必要である。このことの詳述はしない。

もう一つの留意すべき点としては、歯車による回転の伝達から生じるバックラッシュがある。特にピトー管とセルシンモータとの間のバックラッシュが問題となる。実際の実験では時計方向のみを使用するが、その場合でも回転の起点において反時計方向での自動停止によるバックラッシュがはこりうる。これはX-Yレコーダの紙送りの零点を適当に定めておき、ピトー管を手でまわしてX-Yレコーダで紙送りが開始されるまでの角度を読みとればよいことになるが、本装置では1度未満であり、無視しうる。

4. 結 語

パイプや四面を囲まれた装置内の渦を含んだ二次元流れの速度測定には円筒ピトー管が有効であるが、ピトー管を手で操作すると測定時間がかかり、操作にも多大の労力を必要とする。そこで円筒ピトー管をモータで自動回転させると同時に、回転角をセルシンモータで検出してX-XレコーダのY軸におくり、角度を記録紙の送り量としてあらわす。またピトー管の圧力は歪式差圧計に送り、測定時間の短縮をはかるとも

に X-Y レコーダの X 軸として自動記録させる装置を製作した。

この円筒ピトー管自動回転記録装置は検定の結果、ピトー管回転用のモータ供給電圧を 2.5 ボルト以下にするならば最大圧力値に対する補正は不必要であり、角度については回転角度に補正値を加減することで真の値が得られることが確認された。電圧 2.5 ボルトに対する時計回りの補正値は 4 度である。

本装置を用いることにより、測定時間が短縮され、自動測定ができることにより操作が容易になった。また測定値の処理も容易になった。

本装置による速度分布については別報¹⁾に示すが、

多数の点での速度測定が可能となった。

おわりに、この装置の製作および検定は昭和46年度の卒論生小谷邦宏、太田善博両君の労力におうことが多かったことを記して感謝します。

参 考 文 献

- 1) 上岡, 上野他: 山口大学工学部研究報告, 23, 89 (1972)
- 2) 池森亀鶴: 水力学, コロナ社 (1965) p. 214
- 3) 沼知福三郎: 日本機械学会論文集, 34, 986 (1931)
- 4) 上野, 門脇, 大江: 山口大学工学部研究報告, 24, 211 (1973)

(昭和48年12月15日受理)