

# 球型5孔ピトー管の特性に関する 若干の考察

菅井信夫\*・塚田吉昭\*・上田隆康\*

## Some Consideration on Characteristics of Five-Hole Spherical Pitot Tube

By

Nobuo SUGAI, Yoshiaki TSUKADA and Takayasu UEDA

### Abstract

In this paper, the experimental investigations into characteristics of a spherical five-hole pitot tube are described.

The pressure distributions around a sphere were measured by using a large sphere model having 260 mm diameter.

By making use of the experimental results and the theoretical calculation, the effect of diameter ratio of pressure hole to sphere on the calibration curves of a 5-hole pitot tube was made clear

### 1. ま え が き

3次元流場の計測に5叉管或は5孔ヨーメータが用いられるようになったのは、空気力学や水理学の分野では長い歴史を持つようであるが、船舶流体力学の実験関係では20数年前からであろう。かつて船型試験水槽やキャピテーション水槽での流場計測と言えば、船尾のプロペラ位置における、所謂、件流計測が大多数を占めていたが、最近では研究が多様化してきたため、多種のセンサーによって、詳細な船体周りの流場調査が行われるようになった。技術的に最も進んだセンサーはレーザー流速計であろう。レーザー流速計は水中の正確な位置における瞬時流速を無接触で計測できるという極めて大きな利点を有する。このために利用性が次第に拡大するものと思われるが、現時点ではまだかなり高価であり、装置全体も大きく、取扱いも容易でないことなどのため、まだそれ程普及していない。

このような状況から、流場計測では5孔管が依然として最も多く使用されているようである。水槽で使用

されている5孔管には、球型とNPL型(アローヘッド型とも呼ばれる)が代表的であり、今までにこれらの5孔管について特性調査<sup>1)</sup>や計測精度向上の研究<sup>2)</sup>がかなり行われてきた。しかしいずれの5孔ピトー管についてもその基本的な特性が既に十分調査されているとは言えない。3次元的に複雑な船尾流場は、大きな速度勾配を伴う剪断流<sup>3)</sup>であり、様々な乱れ成分も含まれているため、このような流場での5孔ピトー管の使用がはたしてどの程度まで許容されるのかと言った問題についてもまだ十分な答が出されていない。

最近境界層計測などの目的で壁面の近傍まで計測する、或は流場の攪乱を極力抑制するなどのため球直径が5mmの小型5孔ピトー管<sup>4)</sup>も使用されているが、この場合の球直径と圧力測定孔(以後測圧孔と略す)の直径比も、測圧孔の隔り角度とともにピトー管の特性上重要な要素であるとされている。

著者らは、船尾伴流を計測するための模型船用、実船用の球型5孔ピトー管を製作してきた。その際、上記の測圧孔の隔り角度は、流場における流れ角度の大きさ、測圧孔間の差圧の大きさ、測圧孔への流入角と測定圧力の安定範囲やはく離域の関係などを考慮しつつ決めてきたが、測圧孔の直径の決定は、加工限界や

\*推進性能部

原稿受付：昭和59年7月3日

圧力計測の時定数などに支配されてきた。球直径と測圧孔の直径比が5孔管の特性に如何に影響を及ぼすかについてもまだ詳細な調査が行われていないので、この点に焦点を絞って調査することにした。

本報告は、直径260mmの球模型による実験を行い、この実験結果を用いて球直径と測圧孔の直径比が5孔ピトー管の検定曲線に与える影響を調べたものである。

## 2. 球型5孔ピトー管の原理<sup>5)</sup>

球が一樣流中におかれたとき、球表面の圧力は次式で示される。

$$C_p = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho V^2} = 1 - \frac{9}{4} \sin^2 \beta \quad (1)$$

ただし、 $C_p$ は圧力係数、 $P$ は球面上のよどみ点から角度 $\beta$ だけ隔たった位置の圧力、 $P_0$ と $V$ は一樣流の圧力と速度、 $\rho$ は流体密度とする。

(1)式を Fig. 1 に示す球型5孔ピトー管の各測圧孔に適用する。ただし、Fig. 1 中に示す各記号は次の通りである。

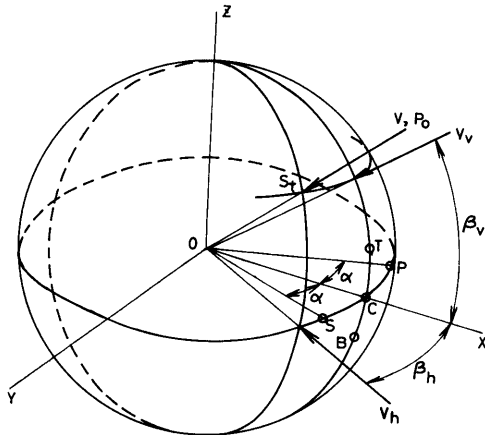


Fig. 1 Sphere and five holes

$S_t$ はよどみ点、 $V$ は一樣流の流速、 $V_h$ は $V$ の $XY$ 面への投影速度成分、 $V_v$ は $V$ の $XZ$ 面への投影速度成分、 $\beta_h$ は $X$ 軸と $V_h$ のなす角度、 $\beta_v$ は $X$ 軸と $V_v$ のなす角度、 $\alpha$ は $X$ 軸と各測圧孔とのなす角度(Apex angle)、即ち $C$ 孔と他の測圧孔との隔り角度である。

赤道上に並ぶ点 $S$ 、 $C$ 、 $P$ について(1)式を適用すると、次のような式を導くことができる。ただし、 $V_h$

が $C$ 点から $S$ 点側に寄っているときの $\beta_h$ を正とすると、 $\beta_h$ が正のとき、

$$f_{h1} = \frac{P_s - P_p}{2P_c - P_s - P_p} = \cot \alpha \cdot \tan 2\beta_h, \quad (2)$$

$$g_{h1} = \frac{P_c - P_p}{\frac{1}{2} \rho V_h^2} = \frac{9}{4} \sin \alpha \cdot \sin (2\beta_h + \alpha), \quad (3)$$

$$\frac{P_c - P_s}{\frac{1}{2} \rho V_h^2} = -\frac{9}{4} \sin \alpha \cdot \sin (2\beta_h - \alpha), \quad (4)$$

$$\frac{P_s - P_p}{\frac{1}{2} \rho V_h^2} = \frac{9}{4} \sin 2\alpha \cdot \sin 2\beta_h \quad (5)$$

ただし、 $P_s$ 、 $P_p$ 、 $P_c$ は点 $S$ 、 $P$ 、 $C$ における圧力とする。上記の4つの式は、右辺がいずれも $\alpha$ と $\beta_h$ だけの関数であることから、 $S$ 、 $P$ 、 $C$ における圧力が求まれば(2)式から $\beta_h$ が求まり、この $\beta_h$ を(3)~(5)のいずれかの式に代入することにより、 $V_h$ を求めることができる。ただし、(4)式は $\beta_h \neq \frac{\alpha}{2}$ のときに適用する。

$\beta_h$ が負のとき、

$$f_{h2} = \frac{P_p - P_s}{2P_c - P_p - P_s} = -f_{h1}, \quad (6)$$

$$g_{h2} = \frac{P_c - P_s}{\frac{1}{2} \rho V_h^2} = \frac{9}{4} \sin \alpha \cdot \sin (2\beta_h + \alpha), \quad (7)$$

$$\frac{P_c - P_p}{\frac{1}{2} \rho V_h} = -\frac{9}{4} \sin \alpha \cdot \sin (2\beta_h - \alpha). \quad (8)$$

次は同様に子午線上の $T$ 、 $C$ 、 $B$ については、 $V_v$ が $C$ 点より $T$ 点側に寄っているときの $\beta_v$ を正とすると、

$$f_{v1} = \frac{P_t - P_b}{2P_c - P_t - P_b}, \quad (9)$$

$$g_{v2} = \frac{P_c - P_b}{\frac{1}{2} \rho V_v^2} = \frac{9}{4} \sin \alpha \cdot \sin (2\beta_v + \alpha), \quad (10)$$

$$\frac{P_c - P_t}{\frac{1}{2} \rho V_v^2} = -\frac{9}{4} \sin \alpha \cdot \sin (2\beta_v - \alpha) \quad (11)$$

$\beta_v$ が負のとき、

$$f_{v2} = \frac{P_b - P_t}{2P_c - P_b - P_t} = -f_{v1}, \quad (12)$$

$$g_{v2} = \frac{P_c - P_t}{\frac{1}{2} \rho V_v^2} = \frac{9}{4} \sin \alpha \cdot \sin (2\beta_v + \alpha), \quad (13)$$

$$\frac{P_c - P_B}{\frac{1}{2} \rho V_V^2} = -\frac{9}{4} \sin \alpha \cdot \sin (2\beta_V - \alpha). \quad (14)$$

ここで、 $f_h$ ,  $f_v$  は角度を求める関数、 $g_h$ ,  $g_v$  は速度を求める関数であるから、以後これらをそれぞれ角度関数、速度関数と呼ぶことにする。

$V$  の  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  の 3 軸方向の速度式分を  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  とすると、これらは次式によって求められる。

$$V_x = V_h \cos \beta_h \quad \text{or} \quad V_v \cos \beta_v \quad (15)$$

$$V_y = V_h \sin \beta_h \quad (16)$$

$$V_z = V_v \sin \beta_v \quad (17)$$

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad (18)$$

### 3. 球模型と 5 孔管の実験

実験は大型球模型試験と球型 5 孔ピトー管の特性試験を、当所の長さ 150m の中型水槽で行った。試験に用いた計測システムを Fig. 2 に示す。圧力計としては、精度的に安定度の良好な差圧計 (容量 0.2kg/cm<sup>2</sup>) を使用した。

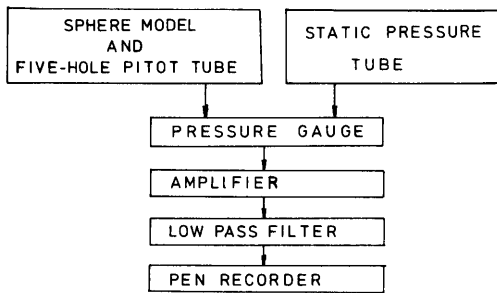


Fig. 2 Measurement system

#### 3.1 大型球模型表面の圧力分布調査

球表面の圧力分布を調査するために、Fig 3, Photo 1 に示す直径 260mm の耐食アルミニウム製球模型を製作した。圧力計測に際し、球模型の上下を支持し (Fig. 3), 測圧孔を含む水平面に球を回転させることによって圧力計測に対する自由表面の影響を避けた。また、測圧孔の直径を 3 種類に変化させ、球と測圧孔の直径比を変えられるようにした。Table 1 に各測圧孔の直径と球中心からこの半径をはさむ角度を

示す。球模型の取付方法を Fig. 4 に示す。球模型の抗力に耐え、かつ水中での振動を起さないように、十分な強度を持つプロペラ単独試験装置を利用してこれに球模型を取付けた。

3 種類の測圧孔に対し実験変数を次の通りとした。  
速度 = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 m/s

計測位置：球のよどみ点を 0° として 90° までの範囲を 5° 間隔

速度を変化させたのは、圧力係数に与えるレイノルズ数 ( $= D \cdot V / \nu$ ,  $D$  は球直径) の影響を調査するためである。球中心の深度は約 500mm とした。

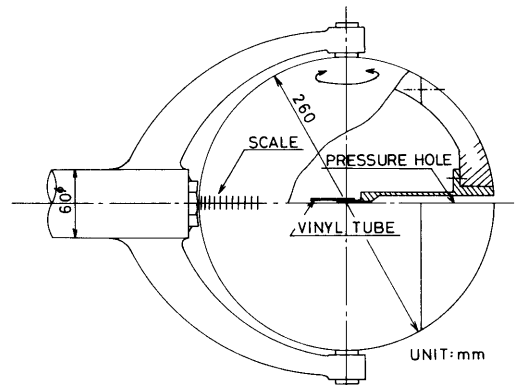


Fig. 3 Sphere model

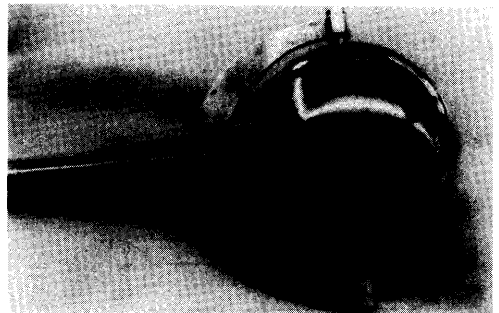


Photo 1 Sphere model

Table 1 Sphere model

SPHERE	DIAMETER(mm),D	260±0.05		
	ROUGHNESS	3-S(▽▽▽)*		
PRESSURE HOLE	NO.	1	2	3
	DIAMETER(mm),d	2.5	14.3	26.0
	d/D	0.0096	0.0550	0.1000
	$\theta(\text{deg.})=\tan^{-1}(d/D)$	0.6	3.1	5.8

\* JIS RULE

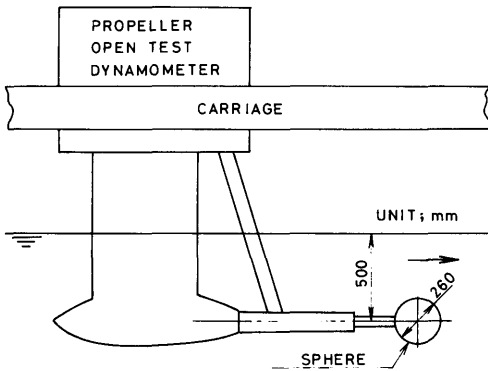


Fig. 4 Test arrangement of sphere model

### 3.2 球型5孔ピトー管の特性試験

Pien は5孔ピトー管の原理と共に、その検定例を文献5)に示しているのので、それにならって球型5孔ピトー管の特性試験を行うこととする。Fig. 5に球型5孔管を示す。試験の基準となる $0^\circ$ の設定は、S孔とP孔、T孔とB孔がそれぞれ等圧となるような角度を求め、これを $\beta_h = \beta_v = 0^\circ$ とした。

特性試験の角度は、 $\beta_h, \beta_v$ 共に $0^\circ \sim \pm 30^\circ$ の範囲を $5^\circ$ 毎に選び、また速度は $0.5 \sim 2.5 \text{ m/s}$ の間を $0.5 \text{ m/s}$ の間隔で行った。

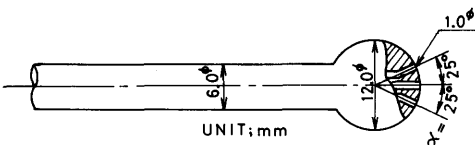


Fig. 5 Five-hole spherical pitot tube

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 球模型の表面圧力分布

球表面圧力分布の速度影響を3種類の測圧孔について調査した。(Fig. 6, 7, 8)。3種類の測圧孔とも $0.4 \text{ m/s}$ 以下の速度では、計測量が小さくバラツキが目立つ。特に、測圧孔の直径が $14.3 \text{ mm}$ のNo. 2と $26 \text{ mm}$ のNo. 3についてはそのバラツキが大きいため計測値の図示を省略した。

一定角度に対する圧力係数 $C_p$ の速度影響については、No. 1とNo. 2が比較的安定しているのに比べ、No. 3はかなり不安定になっている。この理由としては、測圧孔の加工性の違いが挙げられるが、確かめることはできなかった。

$V=0.5, 1.5, 2.5 \text{ m/s}$ のときに計測された圧力分布をFig. 9, 10, 11に示すが、Fig. 9, 10によると、計測値は速度が高くなるにつれて理論値に近づく傾向が見られる。この傾向は、 $\beta > 35^\circ$ の領域において特に明瞭である。また、計測値は測圧孔の直径が小さくなる程理論値に近づく傾向にある。この傾向に対し見方を変えれば、測圧孔の直径が大きくなる程測圧孔の中心よりもやや上流側の圧力が計測されていると見ることができる。圧力係数の理論値と計測値の関係を模式図の形にしてFig. 12に示したが、本図において設定角度、 $\beta_0$ と、計測された圧力、 $C_p$ を(1)式に代入して求めた角度、 $\beta_1$ との差( $\beta_0 - \beta_1$ )、及び球中心から測圧孔の半径をはさむ角度、 $\theta$ を比較してTable 2に示す。Table 2によると設定した角度と計測された圧力から計算された角度との差は、測圧孔の大きさが増加するに伴って大きくなるので、角度の検出感度はそれだけ悪くなってゆくことになる。球型5孔ピトー管の設計、或は使用にあたっては、この事実を充分認識する必要がある。

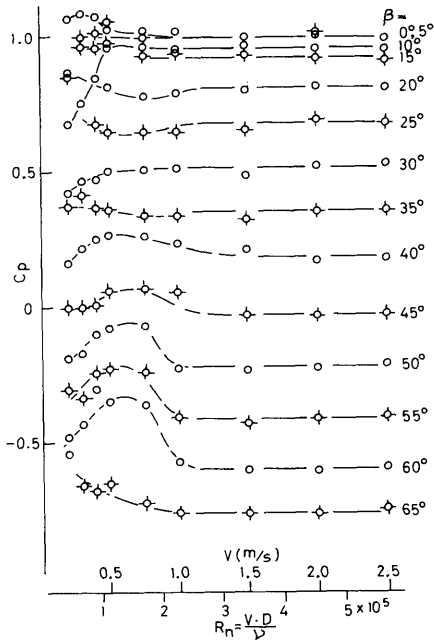


Fig. 6 Relationship between  $C_p$  and Speed (pressure hole; No. 1 type)

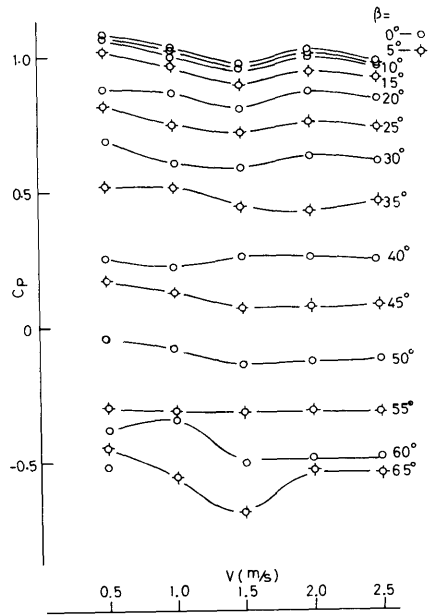


Fig. 8 Relationship between  $C_p$  and Speed (Pressure hole; No. 3 type)

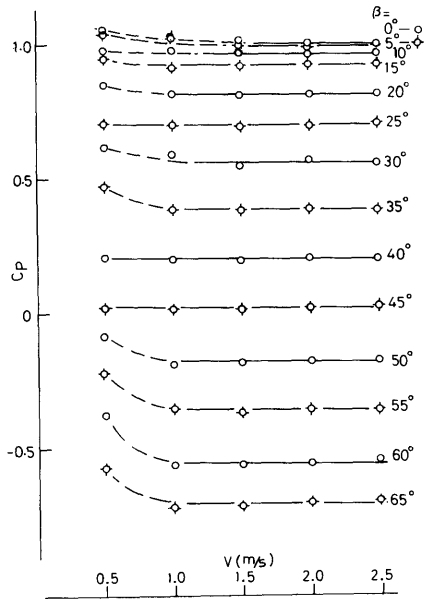


Fig. 7 Relationship between  $C_p$  and Speed (Pressure hole; No. 2 type)

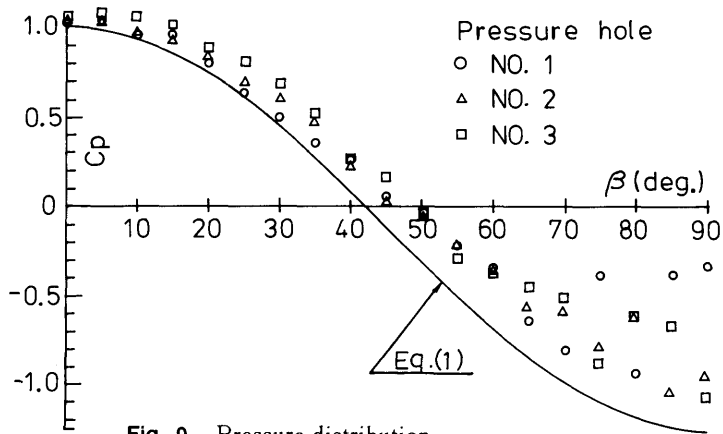


Fig. 9 Pressure distribution  
 ( $V=0.5\text{ m/s}$ ,  $Rn=1.14\times 10^5$ )

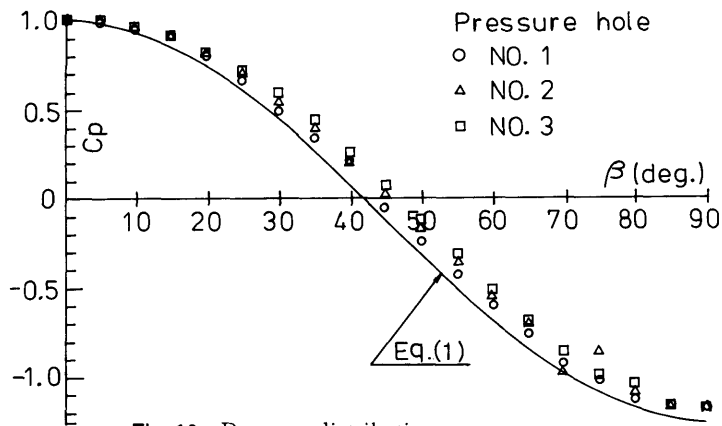


Fig. 10 Pressure distribution  
 ( $V=1.5\text{ m/s}$ ,  $Rn=3.42\times 10^5$ )

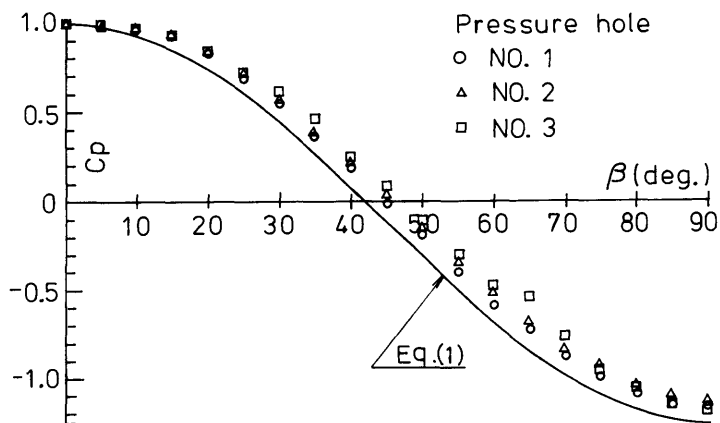


Fig. 11 Pressure distribution  
 ( $V=2.5\text{ m/s}$ ,  $Rn=5.71\times 10^5$ )

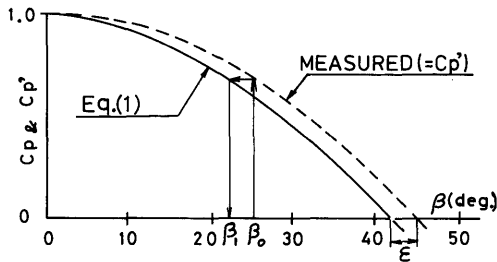
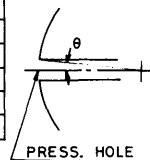
Fig. 12 Schematic expression of  $C_p$  and  $C_{p'}$ 

Table 2 Kinds of pressure hole

PRESS. HOLE	NO. 1	NO. 2	NO. 3
$\beta_h$ (deg.)*	25.0		
$C_p$ (MEASURED)	0.685	0.710	0.740
$\beta_1$ (deg.)*	22.0	21.0	19.9
$\beta_0 - \beta_1$ (deg.)	3.0	4.0	5.1
$\theta$ (deg.)	0.6	3.1	5.8

REMARK \*: SEE FIG. 12



#### 4.2 球型5孔ピトー管の特性試験結果

(1)~(14)式は、理論的には速度に無関係であるが、実際は球模型の実験結果に見られるように速度の影響を受ける。球型5孔ピトー管の角度関数と速度変化との関係を Fig. 13, 14 に示す。Fig. 13 において、 $V=0.8 \text{ m/s}$  以上、 $\beta_h=0^\circ \sim \pm 25^\circ$  の範囲で  $f_{h1}$  は速度変化の影響をほとんど受けず、任意の  $\beta_h$  に対し一定値を保っている様子が見られる。Fig. 14 の  $f_{v1}$  についてもほぼ同じ結果であるが、この実験では、角度関数が速度変化の影響を受けずに一定値を保つ傾向は  $\beta_v$  方向の方が良く現われている。

Fig. 15, 16 に速度関数と速度変化との関係を示したが、この関数が速度変化の影響を受ける度合は、角度関数の場合より大きいようである。この原因は、 $\beta_h > 0$  のとき ( $P_c - P_h$ ) の形で表わしており、このとき  $P$  孔は  $C$  孔の下流側にあるため (Fig. 1),  $C$  孔の開孔部のエッジの影響を受けるためと思われる。そこで、よどみ点をはさむ2点の測圧孔の圧力値を使って速度関数を表わしてみる。即ち例えば  $\beta_h > 0$  のときは ( $P_c - P_s$ )、 $\beta_v > 0$  のときは ( $P_c - P_T$ ) と言った形で表わすと、Fig. 17, 18 に示すように計測値のまとまりは比較的良くなる。

速度関数の表現に、 $C$  孔より下流側の圧力値を使う方法は、Fig. 15, 16 に示すように全て正の値をとり、取扱いが簡単である反面、速度変化に対し圧力値にバ

ラツキが現れ易くなるという欠点が見出された。

Fig. 19 に Fig. 13, 14 から作成した角度関数の特性曲線を示した。また Fig. 20 にはよどみ点をはさむ2点の測圧孔の圧力値、即ち Fig. 17 & 18 から作成した速度関数の特性曲線を、Fig. 21 にはよどみ点の下流側に位置する2点の測圧孔、即ち Fig. 15 & 16 から作成した速度関数の特性曲線をそれぞれ示した。Fig. 19 の角度関数は理論曲線とほぼ一致しているが、Fig. 20, 21 の速度関数は理論曲線とかなり大きな差となった。特に Fig. 21 の速度関数におけるこの差は、5 孔ピトー管の検定曲線に常時みられる特性である。この原因について球模型から得られた圧力分布を使って調査することにする。いま、Fig. 20 中の  $(P_c - P_s) / (\frac{1}{2} \rho V_h^2)$  について注目すると、 $\beta_h = 0$  の場合に  $P_c$  はよどみ点の圧力となり、 $P_c$  の圧力値は理論値とかなり一致する。しかし、 $P_s$  は  $C$  点より下流側へ  $25^\circ$  隔った位置での圧力であるが、測圧孔の直径の大きさなどの影響を受けて理論値よりも高くなっている。そこで  $P_c - P_s$  は当然理論値より小さくなる。 $\beta_h = \alpha/2$  ( $=12.5^\circ$ ) の位置では  $P_c$  と  $P_s$  は等しくなり、次いで  $\beta_h = 25^\circ$  の位置では今度は  $S$  孔がよどみ点の位置にきて、 $\beta_h = 0$  のときとは逆の位置関係となる。つまり、球表面で計測された圧力分布値はよどみ点では理論値にはほぼ等しいが、それより下流側では理論値よりも高くなるので、これが前述の速度関数に差の現われた原因となった訳である。

速度関数の表示は、今述べたように(イ)よどみ点から同一方向の下流側に位置する2つの測圧孔の圧力値を使う方法と、(ロ)よどみ点をはさむ2つの測圧孔の圧力値を使う方法があり、これらの特徴をまとめると、

(イ)では速度変化に対して計測値がバラツキ易い性格を持っているが、速度関数が全て正の値となるのでどの  $\beta$  についても速度を求めることが出来る。速度を求める精度については(ロ)の方法によるよりも劣るが、 $\alpha = 25^\circ$  の場合、 $\beta = \pm 30^\circ$  位までは大体同じ精度が保たれると言える。

(ロ)では速度変化に対して計測値のまとまりが良いことから、特性曲線(速度関数)の作成が容易である。この曲線を使って求める速度の精度は、(イ)の方法より良好である。ただし、 $\beta = \alpha/2$  付近では速度が計算不能であったり極端に悪くなる欠点がある。

以上のようなことから、一般には(イ)の方法が多く使われている。

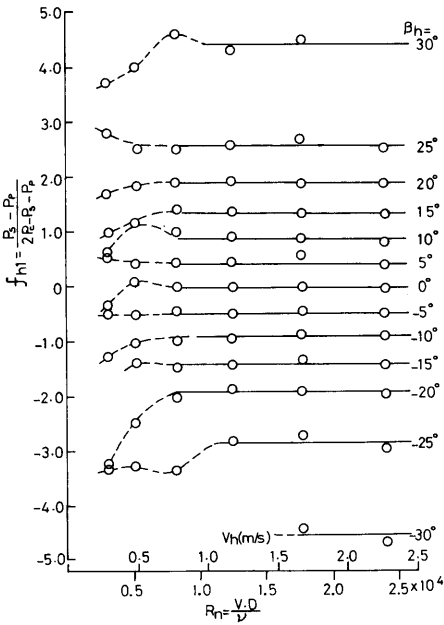


Fig. 13 Relationship between  $f_{h1}$  and  $V_h$

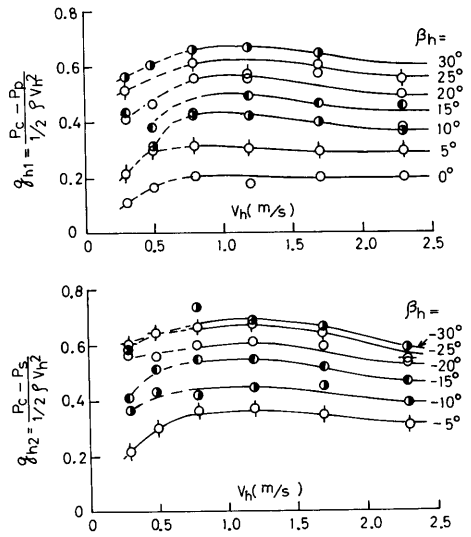


Fig. 15 Relationship between  $g_{h1}$ ,  $g_{h2}$  and  $V_h$

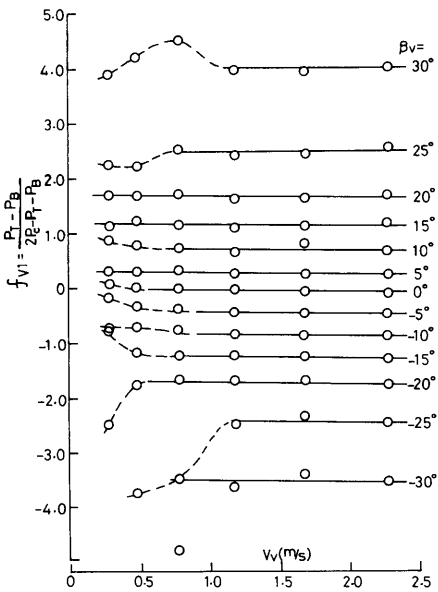


Fig. 14 Relationship between  $f_{v1}$  and  $V_v$

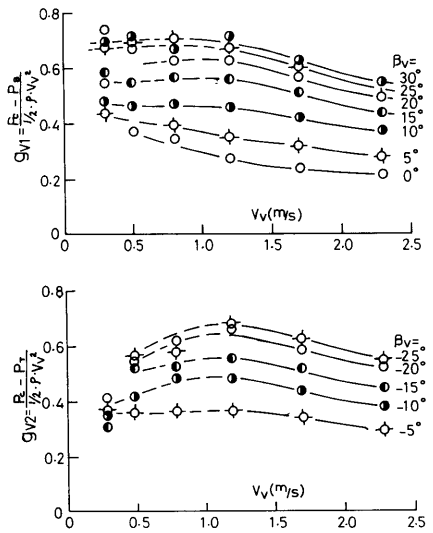


Fig. 16 Relationship between  $g_{v1}$ ,  $g_{v2}$  and  $V_v$



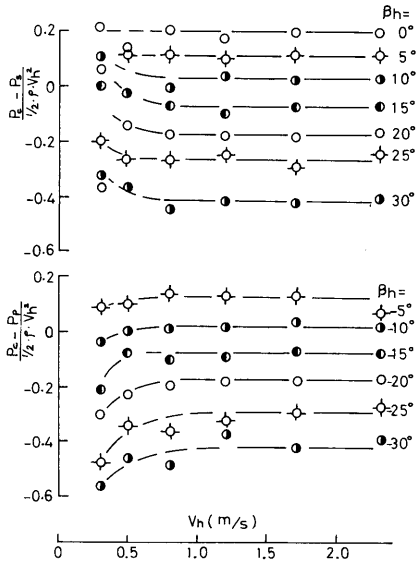


Fig. 17 Relationship between  $\frac{P_c - P_s}{\frac{1}{2} \rho V_h^2}$  and positive  $\beta_h$ ,  
 $\frac{P_c - P_r}{\frac{1}{2} \rho V_h^2}$  and negative  $\beta_h$

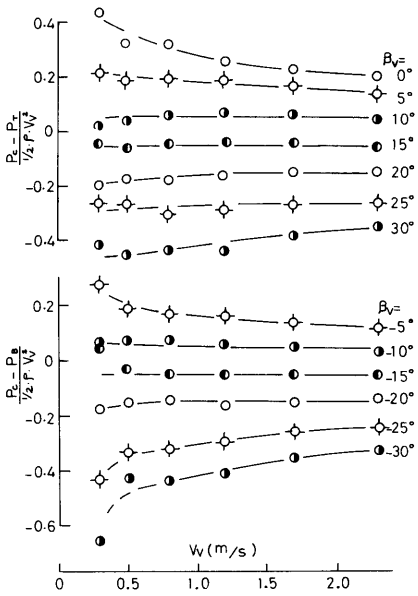


Fig. 18 Relationship between  $\frac{P_c - P_r}{\frac{1}{2} \rho V_v^2}$  and positive  $\beta_v$ ,  
 $\frac{P_c - P_s}{\frac{1}{2} \rho V_v^2}$  and negative  $\beta_v$

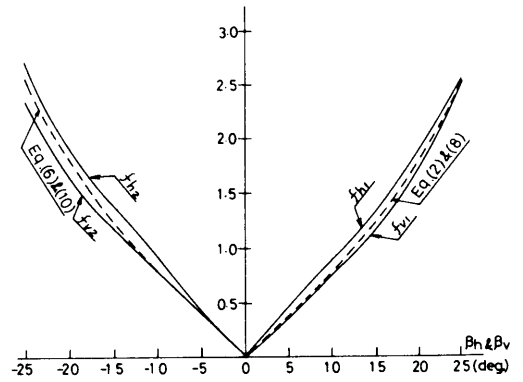


Fig. 19 Characteristics of  $f_{h1}$  etc.

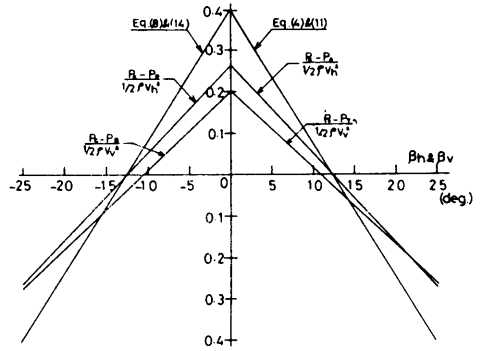


Fig. 20 Characteristics of  $\frac{P_c - P_s}{\frac{1}{2} \rho V_h^2}$  etc.

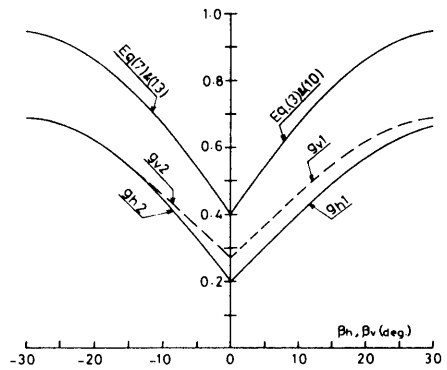


Fig. 21 Relationship between  $g_h$  and  $\beta_h$ ,  
 $g_v$  and  $\beta_v$

4.3 球模型による特性曲線

球模型による実験結果から、速度関数と角度関数の特性曲線を求め Fig. 22, 23に示した。速度関数についてみると、測圧孔の直径が一番小さいNo. 1が一番理論値に近く、No. 2, 3の順に離れており、測圧孔の直径が小さい程望ましいことは明らかである。この結果から実際の球型5孔ピトー管に適した測圧孔の大きさとしては、いま球の直径  $D$  を12mmとしたとき測圧孔の直径  $d$  は、No. 1の測圧孔 ( $d/D=0.0096$ ) にならうと0.1mmとなる。この値は製作および使用の両面から考えて、限界に近いものであろう。

No. 1とNo. 2の曲線の開きをみると、測圧孔の直径がNo. 1の  $d/D=0.0096$  からNo. 2の0.055へ約6倍になっているが、特性曲線における差はかなり少ないことから、 $d/D$ の値は実用の面からは0.06位で差し支えないように思われる。

本邦の各種水槽で使用されている球型5孔ピトー管のうち、小型の部類では  $D=5\text{mm}$ ,  $\alpha=43^\circ$ ,  $d=0.5\text{mm}^{(4)}$  で  $d/D=0.1$  であり球径に対して測圧孔の直径は大き目である。一方実船用伴流計測に使用された大型のものでは  $D=60\text{mm}$ ,  $\alpha=20^\circ$ ,  $d=3\text{mm}^{(6)}$  で  $d/D=0.05$  となっているので、妥当な設計のようである。

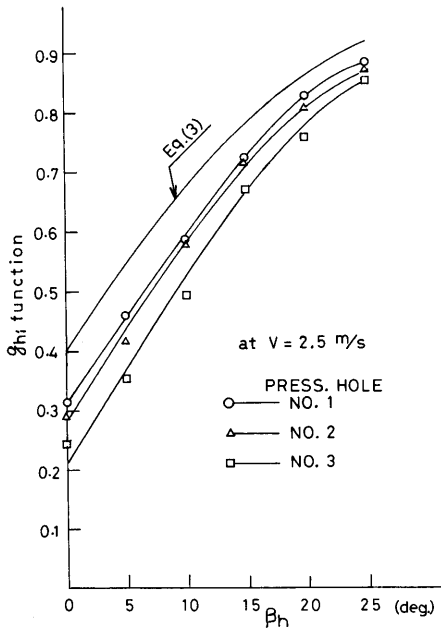


Fig. 22 Relationship between  $g_{h1}$  and  $\beta_h$  (from sphere test)

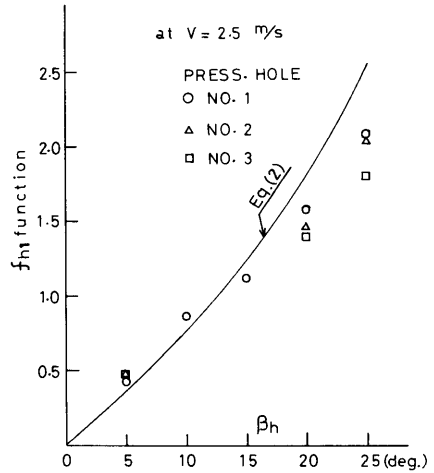


Fig. 23 Relationship between  $f_{h1}$  and  $\beta_h$  (from sphere test)

次に Fig. 23の角度関数についてみると、 $\beta_h = \alpha/2 = 12.5^\circ$  を境に実験値と理論値の大きさが逆転しているのが見られる。この原因について検討を加える。

球表面の圧力係数は、理論では(1)式で示されているが、計測された圧力係数を Fig. 12に示すように  $C_p$  として次式で表わせるものとする。

$$C_p' = 1 - \frac{9}{4} \sin^2(\beta - \epsilon),$$

ここで  $0 < \beta < \frac{\alpha}{2}$  のとき、 $\delta = \frac{\alpha}{2} - \beta$  とすると、

$$\text{C孔に対する流入角} = \frac{\alpha}{2} - \delta$$

$$\text{S孔に対する流入角} = \frac{\alpha}{2} + \delta$$

$$\text{P孔に対する流入角} = \frac{3\alpha}{2} - \delta$$

とおくと、

$$P_c - P_p = \frac{9}{8} \rho V^2 \{1 + \sin^2(\frac{3\alpha}{2} - \delta) - \sin^2(\frac{\alpha}{2} - \delta)\}$$

$$P_c' - P_p' = \frac{9}{8} \rho V^2 \{1 + \sin^2(\frac{3\alpha}{2} - \delta - \epsilon) - \sin^2(\frac{\alpha}{2} - \delta - \epsilon)\}$$

$(P_c - P_T)$  及び  $(P_c' - P_T')$  も同様に演算出来る。

これらより

$$f_{h1} = \frac{(P_c - P_p) - (P_c - P_s)}{(P_c - P_p) + (P_c - P_s)}$$

$$\text{及び } f'_{h1} = \frac{(P_c' - P_p') - (P_c' - P_s')}{(P_c' - P_p') + (P_c' - P_s')}$$

を求め、 $\alpha = 25^\circ$ 、 $\epsilon = 50$ 、(Fig. 11参照)、 $0 < \beta_n < \alpha/2$  に対して  $f'_{h1} - f_{h1} = \Delta f_{h1}$  を計算すると確かに  $\Delta f_{h1} \geq 0$  となる。

次に、 $\alpha/2 < \beta_n$  のときも、上記と同じようにして  $\Delta f_{h1}$  を計算すると、 $\Delta f_{h1} < 0$  となる。即ち、この逆転の原因は球模型において  $C_p' > C_p$  の関係が現われたためである。この現象は、球型5孔ピトー管の特性試験結果にも同じ傾向として現れている (Fig. 19参照)。

#### 4.4 5孔ピトー管の検定試験における Pien 方式<sup>9)</sup>と三菱方式<sup>2)</sup>の特徴について

5孔管の検定方式として2章で述べた Pien 方式のほか三菱方式がある。Pien 方式の検定では、ある一つの速度 ( $V = 3.0 \text{ m/s}$  程度) について  $\beta_n = 0$ 、 $\beta_v = \pm\beta$  と  $\beta_n = \pm\beta$ 、 $\beta_v = 0$  の組合せのみについて行うのに対し、三菱方式は  $\beta_n$  と  $\beta_v$  を組合せた角度で行うものである。三菱方式の優れている点は、精度の高いことと静圧が求められることであるが、一方検定に Pien 方式の10倍近い計測点が必要となり、また検定曲線及び電算処理が多少複雑となる。

Pien 方式及び三菱方式とも5孔ピトー管の特性に及ぼす速度の影響については、調査されていないようであるが、乾ら<sup>7)</sup>をはじめ本報告で述べたように、5孔管の検定に当って基本的な速度影響と角度の検出範囲についての調査は実施する必要があると思われる。

### 5. あとがき

球型5孔ピトー管の特性を調査する目的で大型球模型による表面圧力分布計測を行ったが、その結果、若干の興味ある特性を把握することができた。本報告で得られた主な結果をまとめると、次の通りである。

- (1) 球表面の圧力分布の計測値は、測圧孔の直径の大きさによる影響をかなり受けることが判明した。当然のことながら測圧孔の直径は十分に小さいことが望ましく、小さくする程理論値に近い値を得ることができる。
- (2) 計測された球表面の圧力分布は、測圧孔が大きくなるに伴い理論値より高い値を示し、正しい角度位

置の圧力が求めにくくなる。

- (3) 速度を求めるための特性曲線 (本文中では速度関数と呼ぶ) には、測圧孔の組合せによって3種類の曲線が考えられるが、その内2種類について検討してみると、C孔とC孔の下流側の測圧孔を使った曲線が伴流計測のデータ解析に便利のように思われる。
- (4) 角度を求めるための関数 (本文中では角度関数と呼ぶ) は計測値と理論値がほぼ一致するが、一方、速度関数の方は理論値よりも小さくなる。この原因は、球のよどみ点では圧力の計測値と理論値の一致が良好であるのに対し、下流側では計測値が理論値よりも高くなるためである。
- (5) 模型試験に使用する球型5孔ピトー管の球直径(D)と測圧孔の直径(d)の関係は、球模型による圧力分布計測結果によると、 $d/D = 0.06$  位が実用上妥当な値である。
- (6) 5孔管の検定曲線を作る場合、検定値が速度によってバラツキ易いので、速度変化を受けない検定値を見出すべきである。

なお、今回は球ヘッド内の測圧孔の深さと形状の影響については調査できなかったが、機会があれば実施したいと考えている。

最後に、本実験に当って協力を頂いた中山充氏 (当時芝浦工業大学学生) に深くお礼を申し上げる。

### 参考文献

- 1) 例えば、高橋肇、上田隆康、「5孔ピトー管の特性について」西部造船会々報、第39号、昭和45年3月
- 2) Fujita, T. "On the Flow Measurement in High Wake Region at the Propeller Plane" 日本造船学会論文集第145号、昭和54年5月
- 3) 徳永啓三「Shear flow 中における5孔ピトー管の特性」第53回JTTC 第1部会資料、昭和55年10月
- 4) 回流水槽懇談会「回流水槽計測器集」、第一分冊、昭和55年8月
- 5) Pien, P. C. "FIVE-HOLE SPHERICAL PITOT TUBE" D T M B Report No. 1229, 1958
- 6) 高橋肇他「実船における船尾流速分布の計測—主として計測法について—」西部造船会々報、第42号、昭和46年7月

7) 乾崇夫, 大越章三郎, 梶谷尚, 久住昇三「5孔管  
による小模型まわりの流場計測」関西造船協会誌,

第154号, 昭和49年9月