HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	球頭四孔ピトー管による直角彎曲 : デフューザ内の水流の測定
Author(s)	佐野, 新三郎; 山口, 弘; 岸田, 徹郎
Citation	北海道大學工學部研究報告, 12, 25-34
Issue Date	1955-06-15
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40567
Type	departmental bulletin paper
File Information	12_25-34.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

球頭四孔ピトー管による直角彎曲デフューザ内の水流の測定

佐野新三郎
山口弘
岸田徹郎

(昭和30年3月1日 受理)

Measurement of Water Flow in a Curved Diffuser by means of a Spherical-head Four Pressure-holes Pitot-tube

Shinzaburo SANO
Hiroshi YAMAGUCHI
Tetsuro KISHIDA

Abstract

The characteristics of a spherical-head four pressure-holes Pitot-tube are calibrated in a horizontal piping which has 120 mm I. D., using the N. P. L. revised type Pitot-tube as the standard instrument. Experimentations are carried out precisely in the range of flow velocities between 2 to 5 m/sec, and the oblique angles are between $-35°$ to $+35°$.

Next the water flows are measured in a curved diffuser. three-dimensionally, by means of this calibrated Pitot-tube.

The experimental results show that the symmetricities of the meridian velocities and static pressure distributions in the measured sections are slightly deviated from those of the parallel bends.

But the existence of secondary flow in this diffuser is shown clearly at the curved portions.

目　　次

1. 緒　言 …… 2
2. 球頭四孔ピトー管の構造と検定 …… 2
2-1. ピトー管の構造 …… 2
2-2. ピトー管の検定装置 …… 3
2-3. ピトー管による水流の測定方法 …… 4
3. 直角彎曲デフューザ内の水流の測定 …… 6
3-1. 実験装置 …… 6
3-2. 実験結果 …… 7
4. 結　言 …… 10
文　献 …… 10

1 緒　　言

三次元の流動における静圧及び速度の大きさと方向とを測る計器としては球頭五孔ピトー管があつてその性能は良好である[1].

筆者はこれを球頭四孔式に改造したものを試作し[2], なるべく寸法を小にして流動の妨害を減じ, 取扱いの容易な計器ならしめようと企図した.

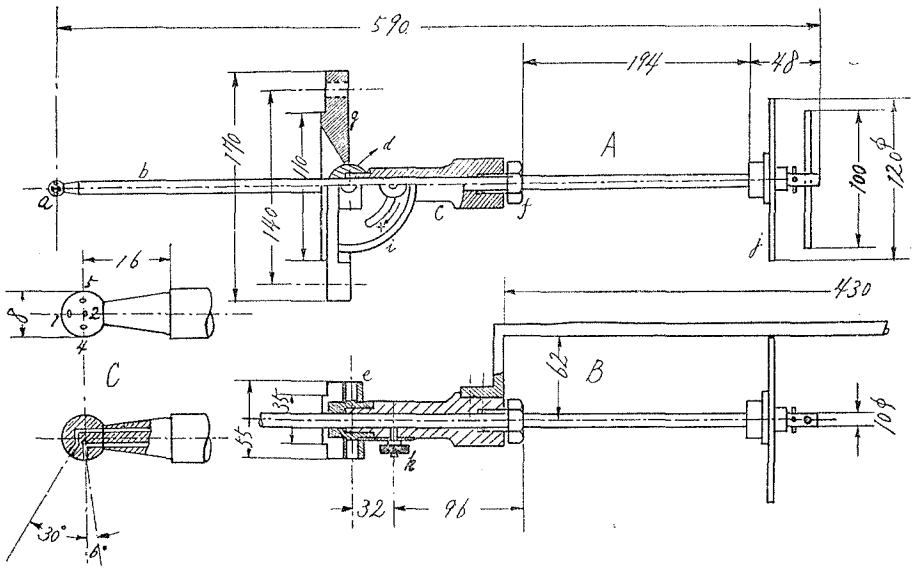
然しこのピトー管を使用して三次元の流動を測るには, 予め厳密な検定を行つて, そのピトー管の特性が既知でなければならないから比較的簡易な検定装置によつて検定を行つた.

次にこの検定済みのピトー管を使用して直角彎曲デフューザ内の水流について静圧と三次元の速度を測定した結果を報告する.

2 球頭四孔ピトー管の構造と検定[3]

2-1 ピトー管の構造

第1図に於てフランジ（g）にてピトー管を壁に固定し, ローラー（d）によつてピトー軸



第 1 図　ピトー管構造図

（b）を約 ±60° 左右に傾斜出来る. この傾斜角は目盛板（i）に切つた. ピトー軸は支柱（c）内にて軸方向に 39 cm ほど出入出来る.

故に流路の子午線に垂直なる平面内に於て任意の一点に球頭（a）を合す事が出来る.

球頭は直径 8 mm で四孔（1, 2, 4, 5）を有し, 四孔ともにピトー軸内を通る四本の連絡管（内

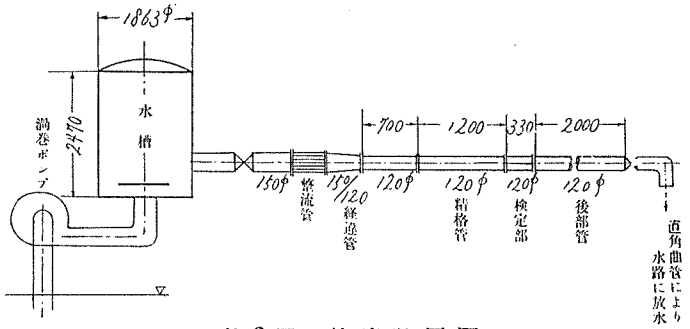
径 1mm 銅管）によつて圧力及出口に続く，四孔の位置は図示したように孔1は 30°，孔2は 6°，孔4及び5は共に 40° に設計したが僅小の製作誤差があつた．

孔1及び2を含む平面が流れの子午平面に合致する時には $\alpha=0°$（目盛板 j 上にて）となり，流れが傾くと孔1及び2を含む平面を傾けてその時の α の値を読む事が出来る．

連絡管を銅管で作つた以外はすべて黄銅で製作した．

2-2　ピトー管の検定装置

球頭四孔ピトー管を標準ピトー管を使用して管路内で検定する装置は第2図の正面図に示した如くである．



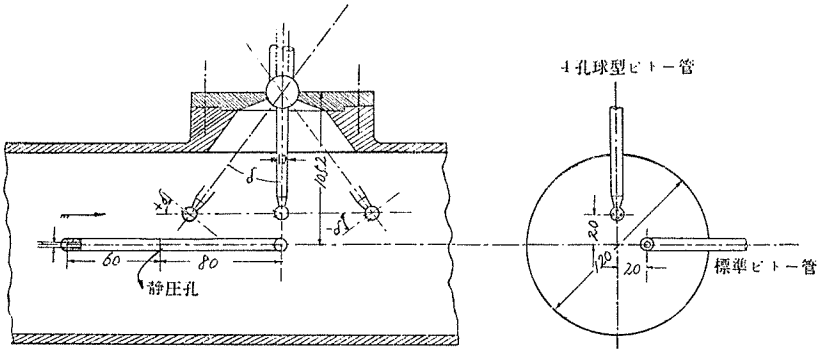
第 2 図　検 定 装 置 図

口径 30 cm 渦巻ポンプによつて閉鎖水槽に揚水し，整流管，精格管を経て内径 120 mm の検定部に通水し，その後同経の後部管，弁及び曲管にて下向に放水して水路に流し，ウエヤにて量水する．

標準ピトー管としては N.P.L. 改良型（日本標準規格）を用い，管外径 10 mm とし管係数1とする[4]．

標準ピトー管と検定すべき球頭ピトー管とを検定部の管内に入れる状態は第3図に示した．

検定部は内径 120 mm 長さ 33 cm であり，球頭ピトー管と標準ピトー管とは直交方向にさし込む．



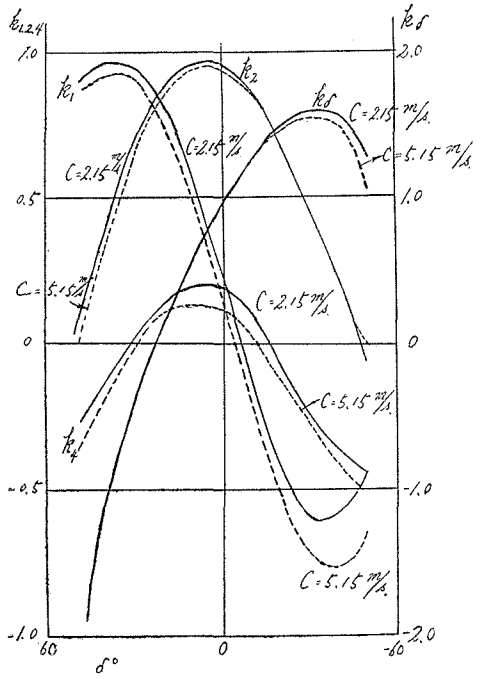
第 3 図　検定ピトー管取付け詳細図

標準ピトー管は固定され，その鼻管の中心は検定部の管中心より 20 mm 離れて居る．

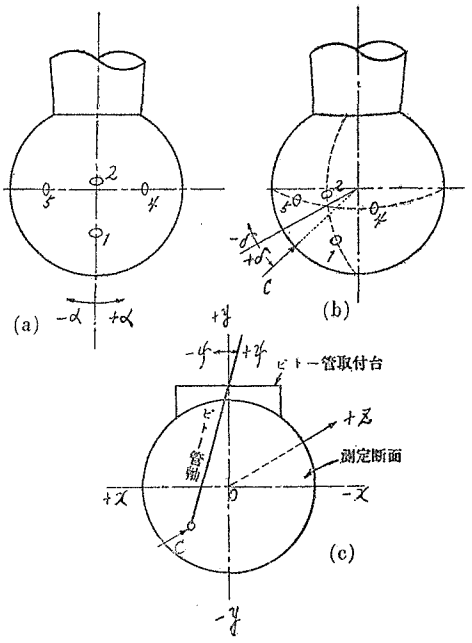
球頭ピトー管はローラーにより傾斜角 δ は ±60° の範囲に変える事が出来るが球頭の中心は常に管中心より 20 mm に保つ．即ち δ の値により両ピトー管の位置は測定管中の軸方向の関係位置は異るが，管の中心からの距離は常に 20 mm にするから両ピトー管は同一速度，同一静圧であると考えられ，標準ピトー管で得た値を球頭ピトー管に使用した．

検定は管内の水流が管の中心線に平行にして孔 1 及び 2 を含む平面（$\alpha = 0°$）に合致する状態にて行い，流れの方向に対して球頭を ±δ 各 60° 傾けるまで広範囲に行つた．

また平均水速を種々変えて検定を行つた．第 4 図は検定曲線の一例である．



第 4 図　検定曲線の一例



第 5 図

2-3　ピトー管による水流の測定方法

このピトー管は第 5 図（a）の様に ±α の方向に回転出来る．又ピトー軸の長さの方向にも出入出来る．次にローラーの中心の廻りに y 軸（同図 c）に対して ±ψ 傾斜する事も出来る．

されば子午速度の方向に垂直な断面内のいかなる点にでも球頭を合せる事が出来る．

いま任意の一点において三次元の流速と静圧を測定するには孔 4 及び 5 の液柱計の指示が等しくなる様にピトー管を廻して α 角を読む．

この水速 C は孔 1 及び 2 を含む平面内にあるが，然し孔 4 及び 5 を含む平面とは一般に δ 角をなすものである．

ここで孔 1, 2, 4 及び 5 の液柱計における全水頭の指示 $h_1, h_2, \cdots\cdots$ を読む．

$$\left.\begin{aligned} h_1 &= \frac{p}{\gamma} + k_1 \frac{C^2}{2g} \\ h_2 &= \frac{p}{\gamma} + k_2 \frac{C^2}{2g} \\ h_{4,5} &= \frac{p}{\gamma} + k_{4,5} \frac{C^2}{2g} \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

ここにおいて p は静圧，γ は水の単位体積の重量，$k_1\, k_2 \cdots$ は各孔の係数である．

$$\left.\begin{aligned} h_1 - h_2 &= (k_1 - k_2) \frac{C^2}{2g} \\ h_2 - h_4 &= (k_2 - k_4) \frac{C^2}{2g} \\ h_4 - h_1 &= (k_4 - k_1) \frac{C^2}{2g} \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

$$\frac{C^2}{2g} = \frac{h_1 - h_2}{k_1 - k_2} = \frac{h_2 - h_4}{k_2 - k_4} = \frac{h_4 - h_1}{k_4 - k_1} \qquad (3)$$

$$\frac{p}{\gamma} = h_1 - k_1 \frac{C^2}{2g} = h_2 - k_2 \frac{C^2}{2g} = h_4 - k_4 \frac{C^2}{2g} \qquad (4)$$

速度C及び静圧pは（3）及び（4）式より定まり，多くの式で計算出来るから誤りは容易に見出せる．

係数 k_1, k_2 及び $k_4 = k_5$ は角 δ に関係し，検定して定められる．又既に検定された係数を使つて δ を定めるためには δ について一義的な然も不変な係数 k_δ を次式の様に用いなければならない．

$$k_\delta = \frac{k_2 - k_1}{k_2 - k_4} = \frac{h_2 - h_1}{h_2 - h_4} \qquad (5)$$

さて任意の一点に於ける三次元の流れを測定するには球頭をその点に合せるために ψ と軸の出入を調節する．

次に α を求め h_1, h_2 及び $h_4 = h_5$ を読み（5）式より k_δ を求め特性曲線より δ, k_1, k_2 及び $k_4 = k_5$ を求める．

水速 C はこれを x, y, z なる直交3軸の方向の分速度 c_x, c_y, c_z に分けられる（第5図 c 参照）．

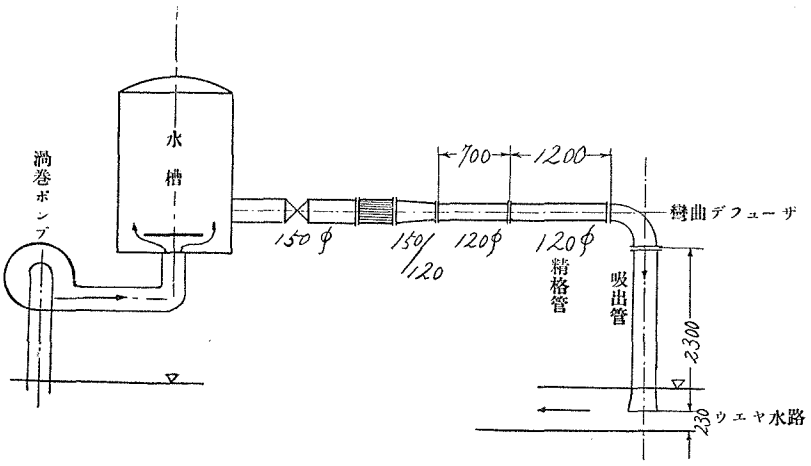
測定すべき断面の中心を0として，$+y$ 方向はピトー軸の対称軸，$+z$ は子午速度の正の方向とする．今 α, δ, ψ 及び c が既知であるから分速度は次式で求められる．

$$\left.\begin{aligned} c_x &= c(\cos\delta\cdot\sin\alpha\cdot\cos\psi - \sin\delta\cdot\sin\psi) \\ c_y &= c(\cos\delta\cdot\sin\alpha\cdot\sin\psi + \sin\delta\cdot\cos\psi) \\ c_z &= c\cos\delta\cos\alpha \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

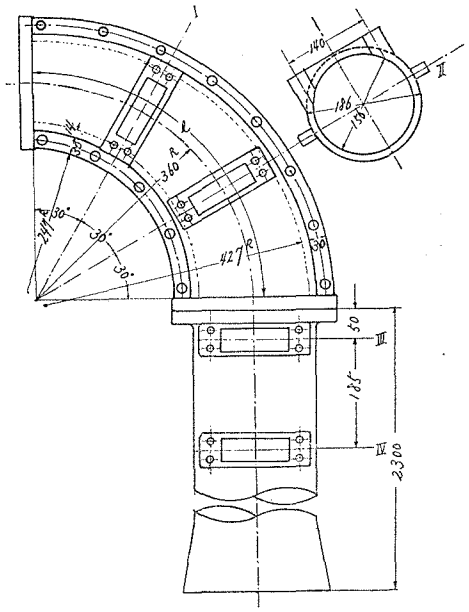
3　直角彎曲デフューザ内の水流の測定

3-1　実験装置

この実験に用いた装置は第6図の略図の様に口径 30 cm 渦巻ポンプで閉鎖水槽に揚水し整流



第 6 図　彎曲デフューザ実験装置図



第 7 図　実験に使用した直角彎曲フューザの詳細図

管精格管を経て彎曲デフューザに通水し吸出管よりウエヤ水路に放水する.

吸出管の下端はウエヤ水路の水面下に沈めたから測定圧力はすべて負の圧力でありこれを絶対圧力 [m Aq] で記入した.

ピトー管の諸孔と液柱計との接続管はゴム管では不可でありビニール管を使用した.

指示液は水柱と水銀を用いたが水銀は読みが過小で誤差が大になつた.

実験開始の時には吸出管の下端を一時蓋をして管内の空気を出して満水し, その後蓋をとつて実験を始めた.

この実験に使用した直角彎曲デフューザの形状（第7図参照）を作るには頂角 5° の直円錐におい

て入口直径 120 mm, 長さ l としこの直円錐の中心線を直角彎曲に直してデフューザを形成した.

この場合はデフューザの中心線の曲率半径と入口直径の比を3としたから中心線の曲線長さ $l = 120 \times 3 \times 2\pi/4$ mm となる.

また彎曲デフューザの横側に断面 I, II, III, IV の位置に4つの同一形状のピトー管捜入口をあけ, 測定時には開口の一つにピトー管をつけ, 他の三つの開口には流動を妨げない様に適当な形状をした木製の蓋をした.

3-2 実験結果

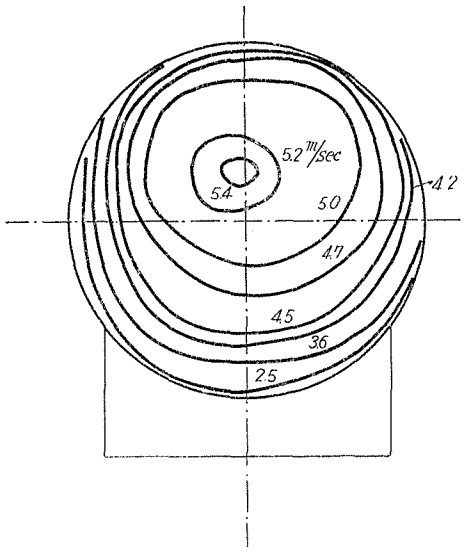
このデフューザ内の水流は流量を一定に保ち乍ら, 四断面について夫々, 子午速度 (C_z) 図, 副流 ($\bar{C}_x + \bar{C}_y$) 図及び静圧図を作り, 又流量は数種変えて繰返し実験した.

(a) 子午速度図

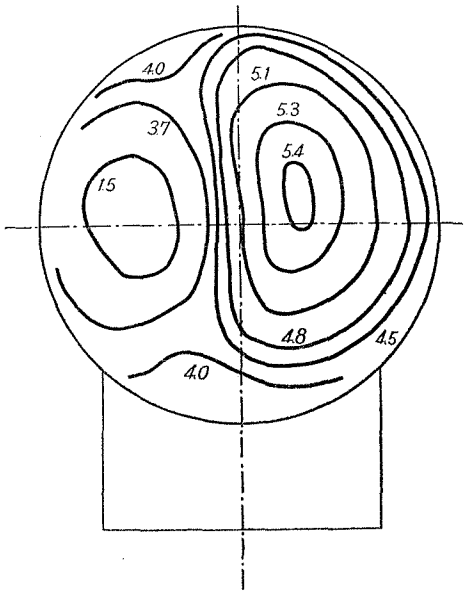
平行型の直角彎曲管の従来の実測[5]によれば, 等子午速度線図は子午断面に対して対称的であるが, この彎曲デフューザに於ける測定結果では, この対称性が各断面ともその程度は一定しないが何れも変化して居る.

その理由はピトー管捜入口が相当に流動を妨げたことと, デフューザ入口に於ける速度分布の非対称がデフューザの場合は流動の不安定を起すものと考えられる.

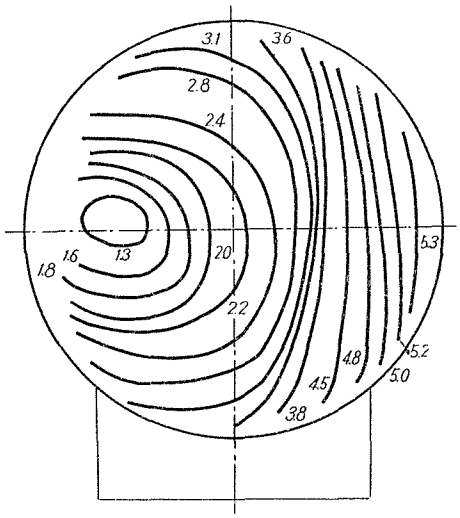
断面 II では彎曲の影響が最も明瞭に子午速度図に現われて居るが, 断面 III 及び IV でもそれが未だ消滅して居ない事を認める.



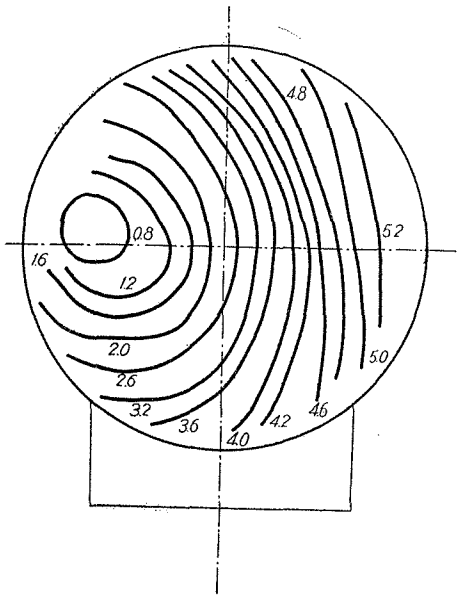
第8図 (a) C_z 曲線図 断面 I
Q=70 lit/sec



第8図 (b) C_z 曲線図 断面 II
Q=70 lit/sec



第8図 (c) C_z 曲線図 断面 III
Q=70 lit/sec



第8図 (d) C_z 曲線図 断面 IV
Q=70 lit/sec

第8図は子午速度図の一例を示した.

(b) 副流図

四断面に於ける副流分布を見るために, $\bar{C}_x + \bar{C}_y$ なるベクトルにて副流分布を図示した.

前記の平行型直角彎曲管の従來の実験によると, この副流は子午平面の両側に対称になつて, その流動方向は子午平面に沿つて彎曲の内側より外側に向つて居り, その後は壁を外廻りに循環する.

この彎曲デフューザの実測に於ても上記と同一の傾向は断面 I 及び II では認められたがこの速度ベクトルの大きさは C_z に比して 1/10 程度の小さい値であつた.

また断面 III 及び IV では副流は対称な循環流ではなくして, 概ね彎曲の外側から一方的に内側に流れて居る. この理由は I から II にかけて流れは彎曲の外向きに押し出され, 断面 III, IV にくると副流は衰へて流れは反対に彎曲の内側に押し戻されて水路へ放出されるものと思われる.

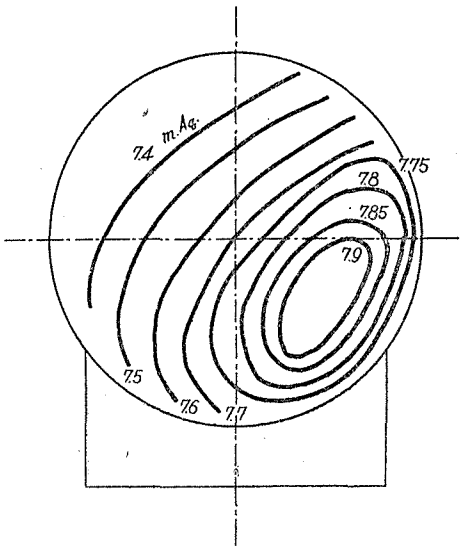
(c) 静圧図

四断面に於ける夫々断面内の各点の静圧分布を示す図を作つた.

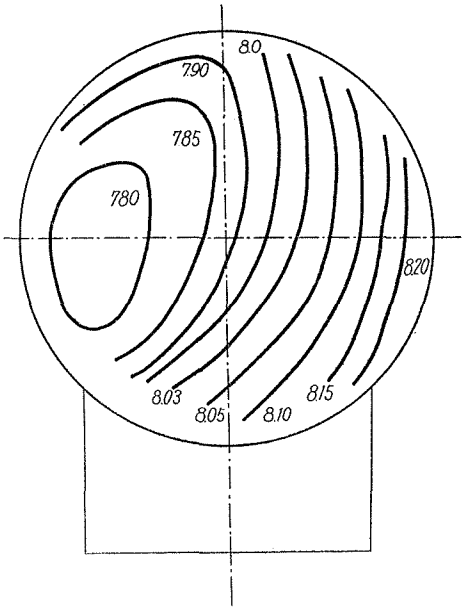
断面 I 及び II は斜面であるから各点の高さの位置を補正した.

かかる静圧図を調べると静圧の子午断面に対する対称性は, 前に子午速度の時に述べたと同様に多少くずれたが, 一般に彎曲の外側程内側よりも静圧は高い事を認めた.

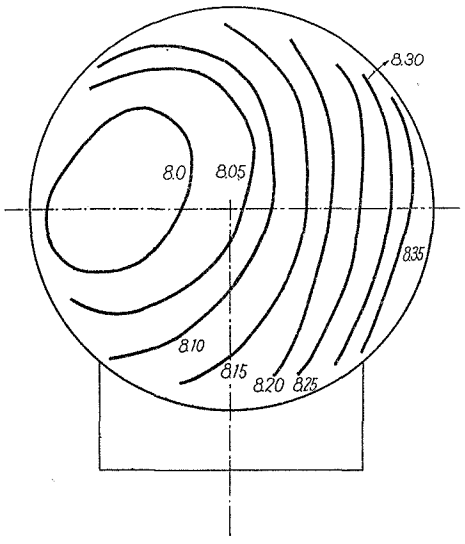
第9図は静圧図の一例である.



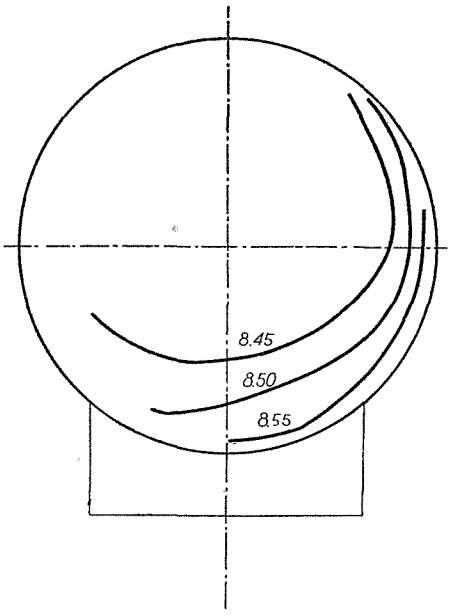
第9図（a） 等圧曲線図 断面 I
Q=70 lit/sec



第9図（c） 等圧曲線図 断面 III
Q=70 lit/sec



第9図（b） 等圧曲線図 断面 II
Q=70 lit/sec



第9図（d） 等圧曲線図 断面 IV
Q=70 lit/sec

4 結 言

球型 8 mm の球頭四孔ピトー管を試作し，その検定を内径 120 mm の水平管内で実施した．

そして得た特性は平均水速 2～5 cm/sec の範囲内に使用すれば充分の精度を持ち，特にピトー管の傾斜角 $\delta=+35°\sim35°$ の範囲では誤差が僅少である事を確めた．

次にこの検定ずみのピトー管を使用して直角彎曲デフューザ内の水流を三次元的に測つた．

彎曲と拡大の 2 性質が入り交つてこの流動は相当複雑であるが，平行型の直角彎曲管に就ての従来の研究と比較すると，子午速度及び静圧分布の子午断面に対する対称性はかなり悪くなつたが，副流の発生は彎曲部で明瞭に認められた．

要するに球頭四孔ピトー管は三次元流動の測定には適当であると云い得る．

この研究の遂行にあたり有江助教授を初め石本・本間及び山崎の諸氏より多大の尽力を受けた．

また文部省科学研究費に負うところも大である．ここに深甚なる謝意を表する．

文 献

1) F. Krisam: Z. f. Flugtechn. u. Motorschiffahrt. Bd. 23 (1932) S. 369.
井伊谷・木村: 機械の研究, 3 巻, 11 号 (1951) p. 600.
轟・波多野・白本: 機論集, 19 巻, 81 号 (1953) p. 43,
轟・白本: 機論集, 19 巻, 85 号 (1953) p. 92.
2) E. Mayer: V.D.I.-Forschungsheft 389 (1938) S. 3.
3) 有江幹男: 機械学会室蘭講演会にて講演 (1952).
4) 送風機試験規格.
5) R.W. Detra: The Secondary Flow in Curved pipes (1953)
W.R. Hawthorn: Proc. Roy. Soc. Lond. (A) Vol. 206 (1951) p. 374.