



Title	圓筒型二孔式ピトー管の検定に就いて
Author(s)	佐野, 新三郎; Sano, Shinzaburo; 有江, 幹男 他
Citation	北海道大學工學部彙報, 5, 184-197
Issue Date	1951-11-15
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40481
Type	departmental bulletin paper
File Information	5_184-197.pdf



圓筒型二孔式ピトー管の檢定に就いて

佐野 新三郎

有江 幹男

(昭和25年11月2日)

On Calibration of a Two-holed Cylindrical Pitot-tube

Shinzaburo SANO

Mikio ARIE

Abstract

Sometimes we want a Pitot-tube which has suitable dimensions for our purpose to obtain magnitude, direction and static pressure of water flow. Though we have some standardized Pitot-tube, we must calibrate our new made one. For calibration of a Pitot-tube, it is desirable to have a strictly correct apparatus. But is it impossible to calibrate by a simple one when we allow some error? We made a 2 holed cylindrical Pitot-tube and calibrated by a water flow in a pipe line which has about 6 m straight portion and diameter of 2 inches.

And also we calibrated a Pitot-tube which was used for measuring water quantity of a Francis turbine at some water power plant by our calibrating apparatus and compared the result with that obtained by water hammer method—Gibson's method.

1. 緒 言

プロペラー水車の翼車入口、出口及び吸出管上部に於ける水の流動状態を實驗せんが爲に圓筒型二孔式ピトー管を作製したが、嚴密なる檢定装置を有せざる爲に極めて簡單なる方法により檢定を行つた。之に依つて尙ほある程度の誤差を許容すれば實用上支障ない目的を達し得ることを確めたものである。

實際ピトー管により流體の運動狀況を檢べる爲には其の目的に應じて種々の諸元を有するものを作らなければならないが其の際ピトー係數等の實測は極めて嚴格なる装置が要求されるのである。之は實用上の見地からは困難なる點が多い。一つの試みとして後述の如き装置、方法によつても比較的良好なる檢定結果の得られたことを報告せんとするものであり、更に此の装置にて實際水力發電所に於て水車の水量試験に用いたピトー管の檢定を行い Gibson 法に依る結果と比較した。

検定の比較規準にはピトー係数を1と見做し得る Prandtl 型、及び Brabbée 型のもの各一個を用い流速は 6 m/s 程度の範囲まで實施した。

2. 實驗装置

第1圖の概略圖に示す如く3吋3段タービン・ポンプの送出管に2吋のガス管を水平にして直線部分約6mとし、Vなる弁の開度により管内流速の加減を行い、水は管の末端より自由放出せしめた。此の管路の先端には彎曲接手による副流を制御する爲に四ツ割の整流板を挿入し、B、C點には必要に應じ試験ピトー管又は標準ピトー管を挿入し得る様にし、ピトー孔は正しく管の中心に位置する様に設置する。A點は管壁より取れる静水壓を求め得る様にし、之を一つの媒介變數として種々の測定値を比較検討する際の規準値とした。

各ピトー孔及び測壓孔より得られる壓力は水柱又は水銀柱を用い、測定値の誤差を出来るだけ軽減せんが爲出來得る範囲水柱を用いることに努めた。ピトー孔より取れる壓力差即ち速度水頭を求めるに當つては倒立U字管には水柱、U字管を用いる時には水銀柱を用いた。

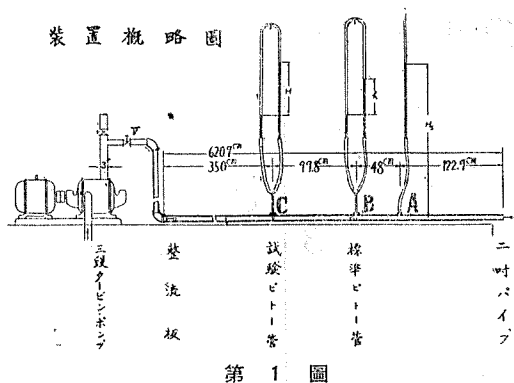
検定を遂行する爲には平行流を得ることが最も重要なことの一つであり、此の爲には直徑の大なる管を用いると有利であるが本實驗にては比較的水速の大なる範囲まで検定する必要があり2吋のものを選んだのであるが此の程度の直徑のものでも尙お十分の平行流を得ることが可能であつた。

然し管末を自由放出せしめた爲に流速の小なる範囲では管内に水が満ちて居ない懸念のあることは免れない。かゝる状態の時は彎曲接手を上向きとして管末に結合した。

3. 實驗經過及び其の結果

A. 管壁より静壓を求めるに當つては其の取り口の狀態により流速の變化に應じて一定の値を示さぬことが往々にして生ずる。又實驗装置の項に於て述べた様に管にはA、B、C三點に加工せるのみにて實驗の都合上同一點に於ける二つ以上の値が必要となることがある爲、之等を區々に求めてその結果を綜合する必要があり、其の爲には一つの常に求め得る規準値が必要となる。之に對してA點に於ける管壁静壓を用いたのであるが、之が果して其の目的に合致するや否やを確める爲と出來得ればA點の管壁静壓を求める事により其の時のB、Cに於ける静壓を求めんとしたものが第2圖である。

更に各點に標準ピトー管として用いた Prandtl 型及び Brabbée 型ピトー管を挿入し之



第 1 圖

等の静圧管より得られる値をも記入してある。之等は圖の様に概ね一致し、一つの直線上にある。即ち静圧に就いてはA點の管壁静圧を一つの規準値として考へることが出来又この實驗に用いた管壁静圧の取り口は上記ピトー管の静圧管と同程度の静圧をとることが出来たものと考へられる。

Bの直線はB點に於ける静圧を與へるものであつてA點に於ける管壁静圧を $H_s \text{ mAg}$ とすればB點の静圧 H_B は

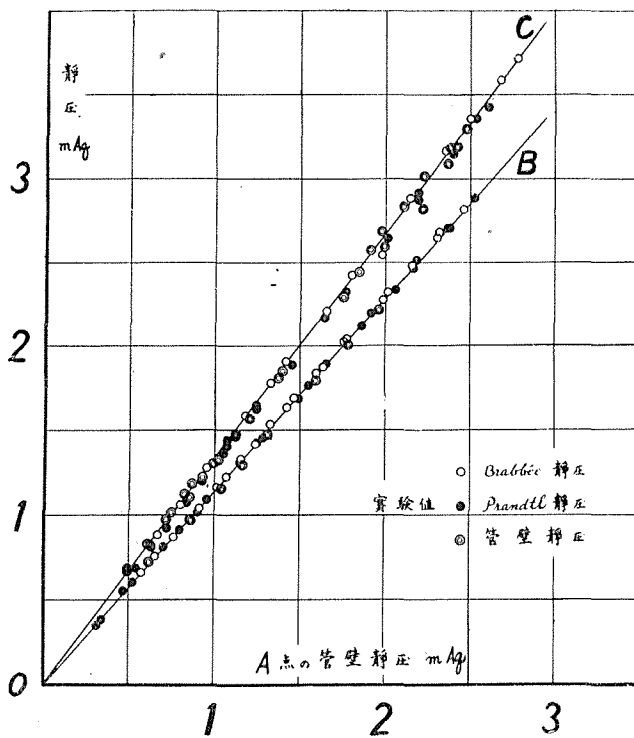
$$H_B = 1.14 H_s \tag{1}$$

Cに就いても同様に

$$H_c = 1.335 H_s \tag{2}$$

として求められることになる。

之等の値は何れも水柱により求めたものである。



第 2 圖

B. 同様に水速に就いてもA點に於ける管壁静圧が一つの規準値となし得ることを確めて見た結果が第3圖である。

C點に二個の標準ピトー管を夫々挿入し之より得られる速度水頭を倒立U字管により水柱で求めると圖の如く

$$h = 0.6 H_s \tag{3}$$

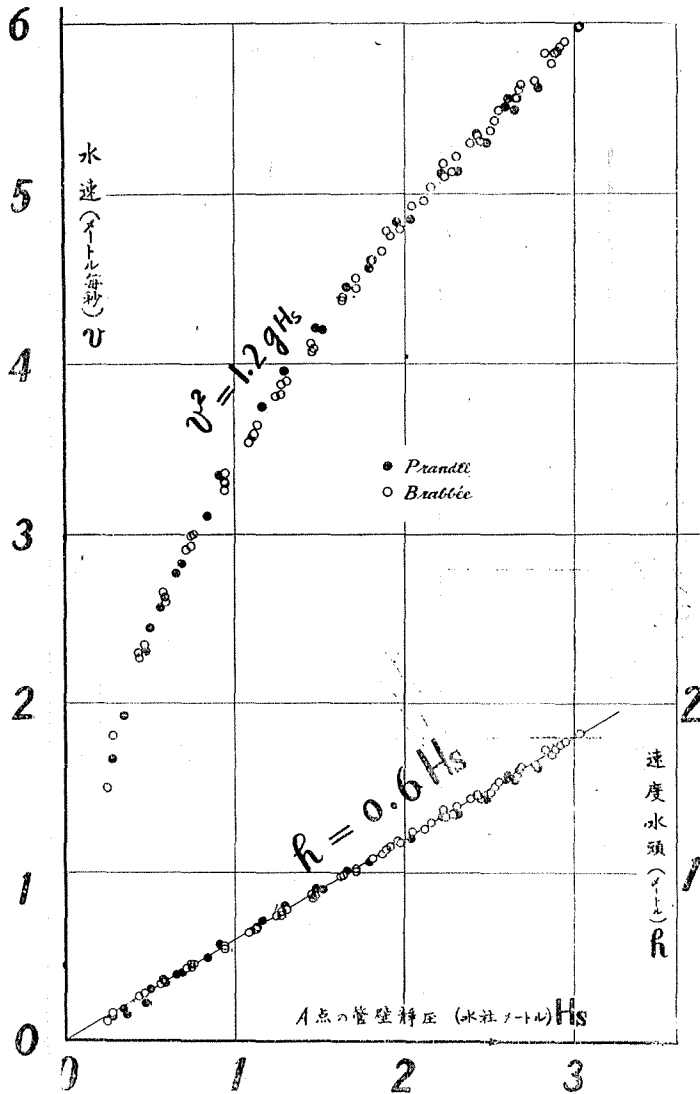
と言ふ實驗結果が得られ之より得られる水速 v は

$$v = \sqrt{2gh}$$

即ち $v^2 = 1.2gH_s$ (4)

にて與へられる。

B點に之等のピトー管を挿入せる時も此の影響がA點の靜壓に關係なき限り同一の結果を與へることは當然であつて圖には記入して居ない。



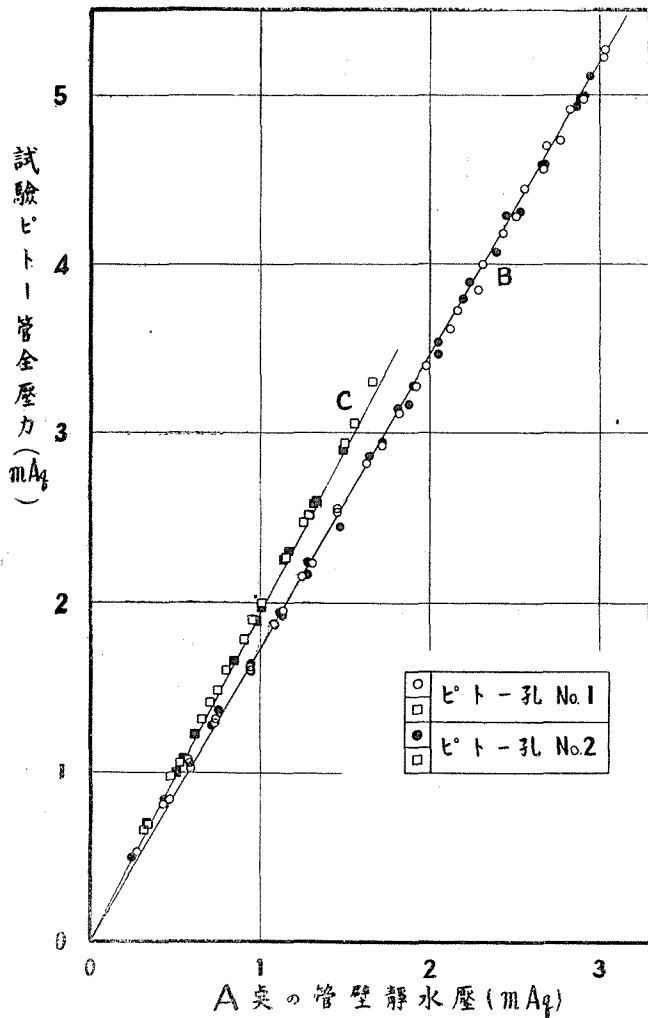
第 3 圖

C. 試驗すべき圓筒型ピトー管は前述の如く二個の孔を有するが之等の孔が同一の特性を有する否か及び之等の孔を正しく管中心に於て直の方向に向ける時正しい全壓を與へるか否

かを検討した実験結果が第4圖である。

Bなる直線は(1)式と(3)式との和を與へるものである。即ち(1)式は管壁静壓と標準ピトー管の静壓管より得られる静壓とを與へるものであるが、通常管路のある位置に於ける静壓は管壁よりとるのであつて適當の取り口を設ける時は此の静壓は正しきものと考へられて居る。若し此の場合には標準ピトー管の静壓管の係数は1であつたと考へ得ることになる。

又逆に考へると標準ピトー管の静壓管が若し正しい値を與へるものとすれば此の管壁に設けた壓力の取り出し口は妥當なる工作が爲されていた事になる。何れにしても標準静壓管のない以上之等は何れも正しいものと考へると(1)式と(3)式との和は其の點に於ける正しい全壓を與へるべきことになる。



第 4 圖

結局かゝる推論は本實驗に標準ピトー管として用いた二本のものは全壓管の係數も静壓管

の係數も 1 であつて之等の綜合結果たるピトー係數が 1 であると考へることに他ならない。

即ち B 直線は縦軸の値を H_B とすれば

$$\begin{aligned} H_{Bt} &= H_B + 0.6 H_s \\ &= 1.74 H_s \end{aligned} \quad (5)$$

此の直線に就いて二個のピトー孔に就いて水銀柱にて實驗した値を水柱に換算して記入してある。

C 直線は同様に C 點に試験ピトー管を挿入して二個のピトー孔を夫々流れの方向に向け流速を變化して得られる全壓を水柱にて求め次の (2) 式と (3) 式との和と比較せるものである。

$$\begin{aligned} H_{Ct} &= H_c + 0.6 H_s \\ &= 1.935 H_s \end{aligned} \quad (6)$$

二個のピトー孔は夫々同程度の値を與へること及びほど正しい全壓を與へて居る事が伺はれる。

D. 試験ピトー管により水速を求めんが爲の實驗結果が第 5 圖である。圓筒型ピトー管の一孔を正しく流れの方向に向けると正しい全壓は前述の如く求められるが他の一孔は流れと $78^{\circ}50'$ の角度をなし正しい静壓は與へない。然し此の兩者より得られる壓力の差を標準ピトー管の全壓管、静壓管より得られる壓力の差即ち正しい速度水頭と種々の速度に就いて比較し、所謂ピトー係數を求めて置くと水速を求め得る管である。

標準ピトー管より得られる速度水頭が h であるから水速 v は

$$v = \sqrt{2gh} \quad (7)$$

であつて、圓筒型ピトー管より得られる見掛け上の速度水頭を H とするとピトー係數を C として

$$v = C\sqrt{2gH} \quad (8)$$

若し

$$H = \xi h \quad (9)$$

とすれば

$$C = \frac{1}{\sqrt{\xi}} \quad (10)$$

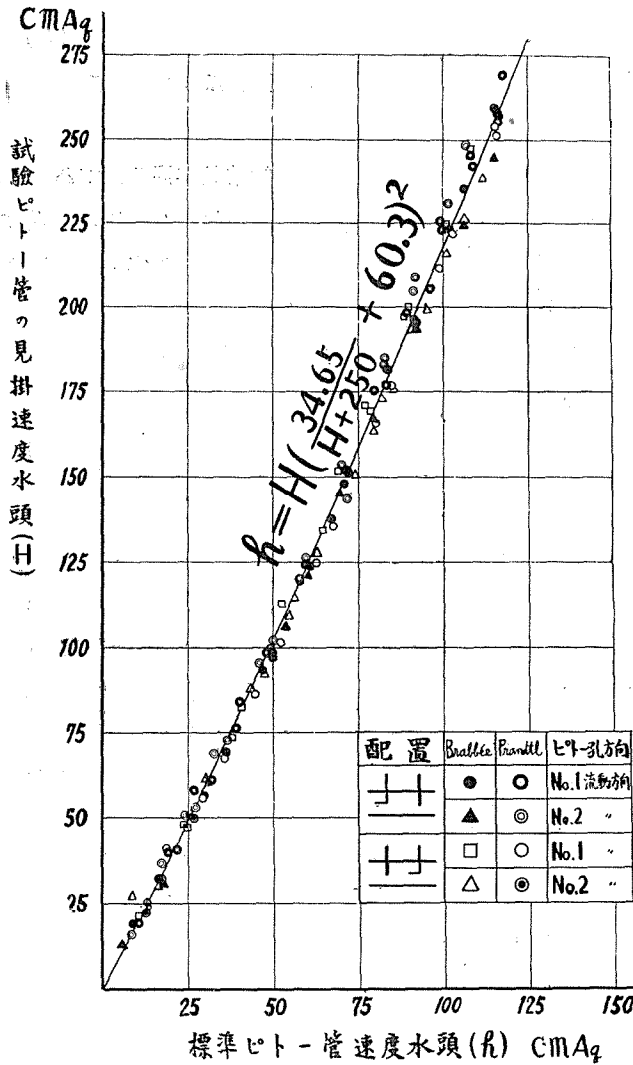
第 5 圖に記入せる如く標準ピトー管と試験ピトー管を B 點及び C 點に同時に挿入して h と H とを比較して C を求め次に之等の位置を交換して相互の影響なきや否やを檢討し、又各配置状態にて二個の孔を夫々流動方向に向けた時の各組合はせによるピトー管に就いても檢討してある。二個の孔の組合はせにより二組のピトー管が得られるが之を併用して水速を求むればピトー管の徑に比較して大なる曲率を有するピトー管軸に非對稱の流れに用いる時便利である。結局之等の實驗値は二個の例立 U 字管により h と H を求めたがピトー管は同程度の値を示して居る。此の結果も二個のピトー孔の特性が同一と考へ得ることを示して居る。

又標準ピトー管と試験ピトー管との間にはその配置に依る相互の影響はないものと見做し得る。

此の實驗結果より次の實驗式が得られた。

$$h = H \left(\frac{34.65}{H+250} + 60.3 \right)^2 \quad (11)$$

E. 檢定に用いた管内の水の流れが平行流であつたか、又流れとピトー孔との爲す角度が變化する時ピトー孔の壓力は如何なる變化をするか實驗せる結果を水柱にて求めたものが第8圖である7種の水速に就いて求めたが之等は圓筒の廻りの流れとして理論的に取り扱はれて居る



第 5 圖

し⁽¹⁾又圓筒型ピトー管の特性としても取り扱はれているものである⁽²⁾

此の結果より判ることは O° を中心に壓力分布は良く對稱の状態にある。之は流れが平行流なりしことを示すものである。又一孔式のものでは此の曲線の O° に於ける曲線が鋭くない爲に流れの方向を求めることの困難なることが認められる。圓筒のまわりの壓力は此の實驗結果によれば約 80° 附近が最低となり其の角度以上の時は少しく上昇しつゝ壓力は不安定となる。之は圓筒後部の渦流及び流れの剝離によるものと思う。

結局二次元流れの方向を求める爲には二孔式の方が有利で、それは角度に對する壓力の變化の大なる部分を用いるにあり、二孔より得られる水壓を管路の靜壓以上の點で流動方向を求める爲の二孔間の角度は 80° 以下の値で流速が小なる程大きくとるのが有利である。又流速が大となると一孔式のものにては次第に O° に於ける曲率が小となり流動方向測定が可能となることが伺はれる。

又管路の靜壓以下の壓力でピトー孔よりの壓力を求め流動方向を求めても良いことにすれば二孔間の角度は流速に應じ $120^\circ \sim 160^\circ$ 程度でも不便はなさそうである。例えば流速 2.04m/s では約 ($20^\circ \sim 60^\circ$) の 2 倍の範圍は壓力の勾配はほぼ一定である。又水速を得る目的の爲には安定せる見掛け上の速度水頭を得られる二孔間の角度の最大限は $70^\circ \sim 80^\circ$ 附近なることも判る。但し此の式の h 及び H は何れも cm Aq. の單位である。

此の實驗結果より Brabbée 型のものとの比較のみを抜き出し更に大きな水速までの値と水銀柱による測定の誤差と水柱による測定を比べる爲に H のみは U 字管により水銀柱にて求め水柱に換算せる結果を用ひ (9) 式及び (10) 式により C を算出し H を横軸として求めた結果が第 6 圖である。

(11) の式を用いると此の座標の場合の式は

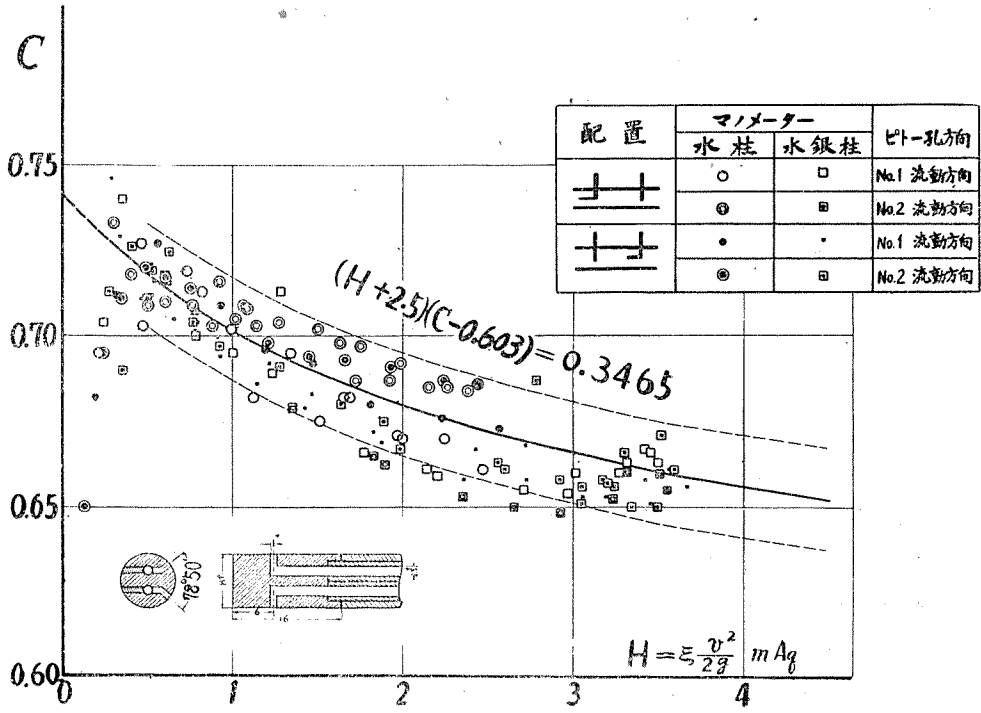
$$(H + 2.5)(C - 0.603) = 0.3465 \quad (12)$$

であつて、 C に關する $\pm 1.5\%$ の曲線も記入してある。 C に關する誤差は水速に關する誤差と同等のものであるから水速の小なる部分を除き此の程度の範圍で水速の得られることを示して居る。但し (12) 式の H は mAq. の單位である。

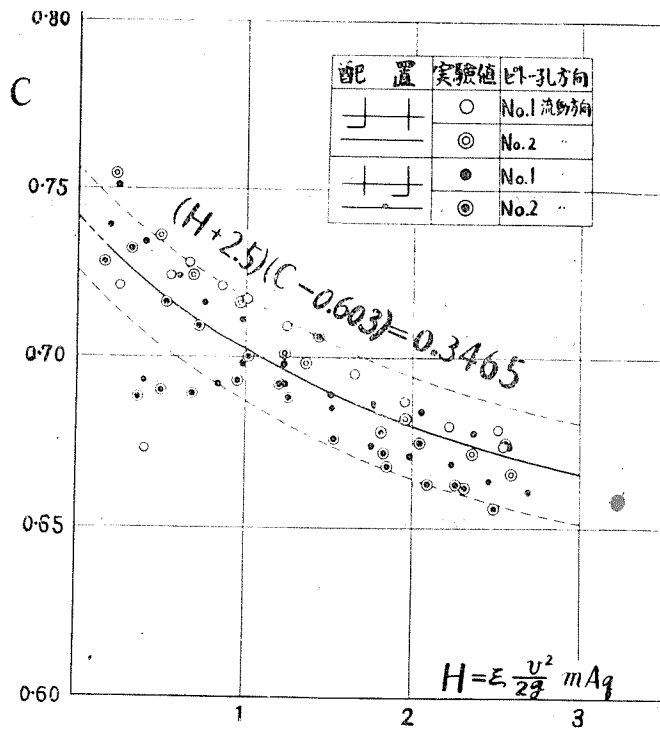
又當初に懸念した程の水銀柱による誤差は認められない。之は何れの實驗値をとる時も壓力計の振れは避けられず水柱の時よりも水銀柱の場合の方が此の振れが小となり水銀の比重の大なる爲の読み違いを相殺せるものと考へられる。

同様に第 5 圖の結果より Prandtl 型ピトー管と比較せる結果を抜き出してピトー係數を算出した結果が第 7 圖である。

- 1) Müller: Mathematische Strömungslehre s. 138
- 2) 沼知: 機械學會誌 昭和 6 年 第 34 卷 p. 986
石原, 平山: 生産研究 1950 第 2 卷 第 9 號 p. 372
井伊谷: 名古屋大學工學部研究報告 1950 p. 5



第 6 圖



第 7 圖

尙お此の實驗値を求むるに際してはC點に試驗ピトー管B點に Brabbee 型ピトー管を挿入しA點の管壁靜壓もすべて同時に測定せるものであつて、各流速に對するC點の靜壓を求めるには前述の結果を用いると三方法がある。即ち

(a) Aの項の實驗結果を用いる方法、

A點の靜壓よりB點の靜壓を求める。

(b) Bの項の實驗結果と(a)を併用する方法

標準ピトー管の速度水頭を用いて H_s を求め(a)と併用する。

(c) 角度 0° の時の全壓によりC項の實驗結果と(a)を併用する方法

全壓力を 0° の位置より求め第4圖より H_s を求めて(a)と併用する。之等三方法により求めた靜壓は第一表の如くであり第8圖に靜壓點として記入してある。

第 1 表

水 速	A點の管壁 壓力より	試験ピトー 管の全壓力 曲線より	速度曲線より	水 速	A點の管壁 壓力より	試験ピトー 管の全壓力 曲線より	速度曲線より
m/s	cm	cm	cm	m/s	cm	cm	cm
4.66	210	211	211	2.98	89	86	85
4.06	159	164	162	2.52	66	63	60
3.73	135	138	137	2.04	45	36	41

第1表によると靜壓は各流速の時に約 40° 附近にて得られることを示し上記各實驗値を組合せて得られる結果がほぼ一致している。

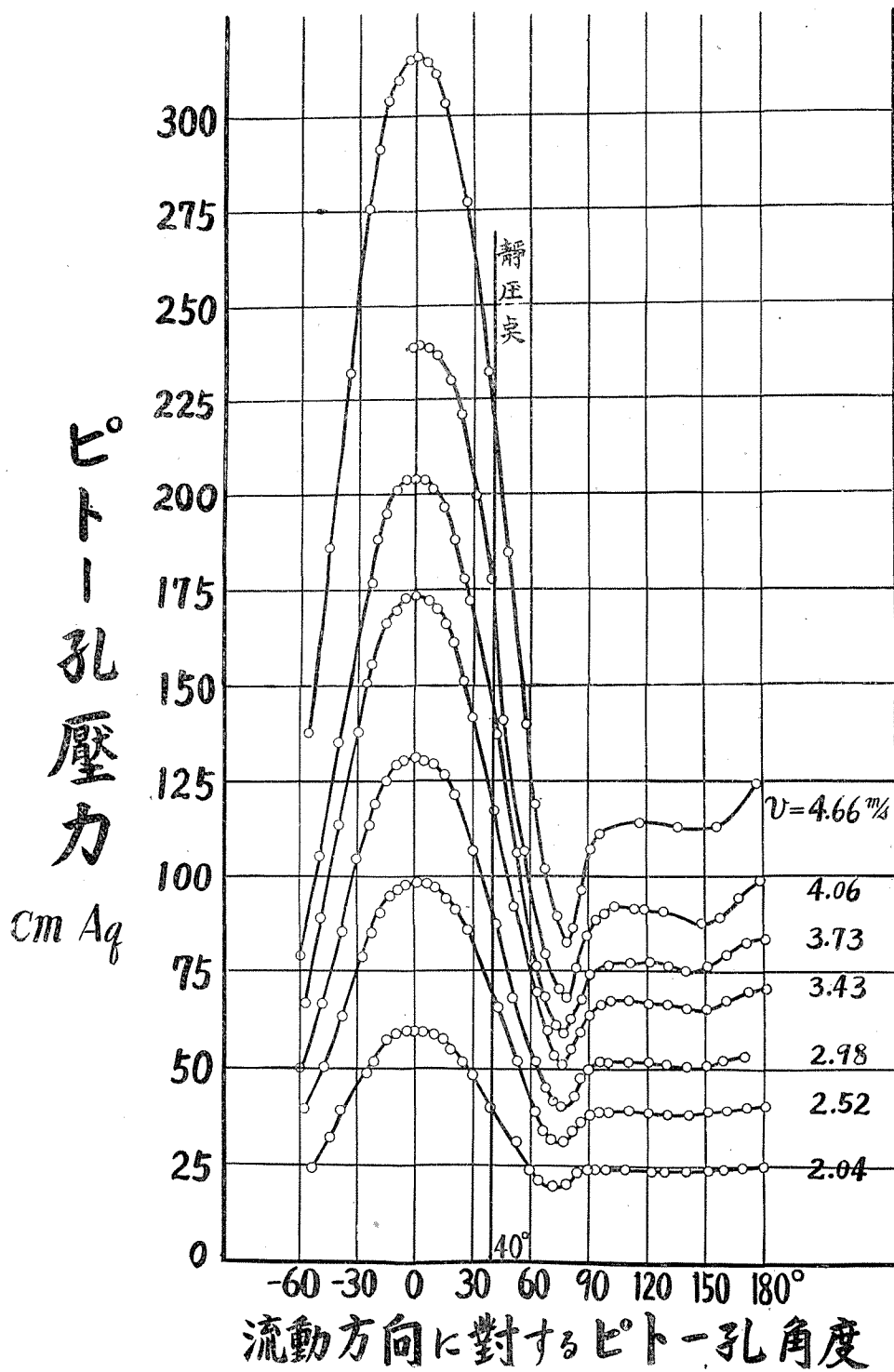
F. 前述の様に二個のピトー孔の特性が同一であれば流れの方向を第9圖の如く二孔にて挟み兩者からとれる壓力が釣合う時二孔間の角度の二等分線が流れの方向である。若し流れが平行流であれば此の二孔よりの壓力の釣合う位置に於ける α をピトー管軸上の度盛盤により求めると二孔間の角度 β は α の二倍として得られる筈である。之を種々の流速に就いて實驗せる結果が第二表である。

第 2 表

水 速 m/s	α	$\beta = 2\alpha$	水 速 m/s	α	$\beta = 2\alpha$
5,148	$39^\circ 24'$	$78^\circ 48'$	3,580	$39^\circ 21'$	$78^\circ 42'$
4,840	〃	〃	3,267	〃	〃
4,600	〃	〃	2,780	〃	〃
4,410	$39^\circ 21'$	$78^\circ 42'$	2,275	$39^\circ 24'$	$78^\circ 48'$

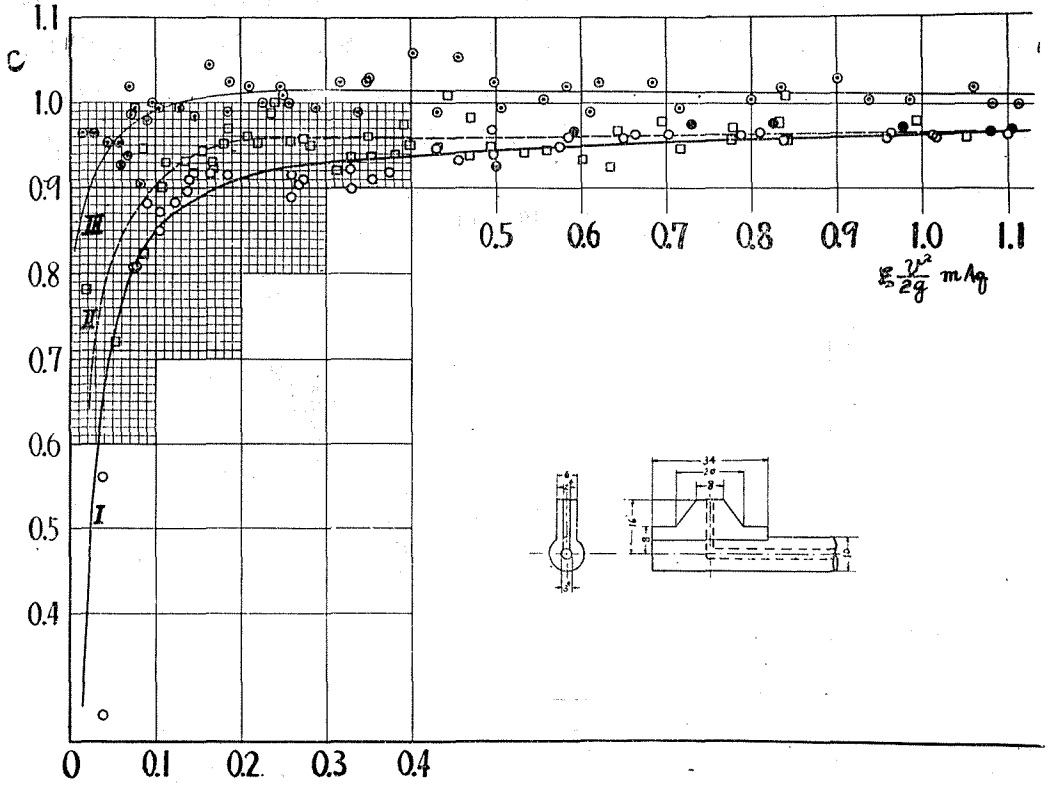
ピトー管の二孔間の角度は孔徑と同徑の錐を押し込んで定盤上にてピトー管の軸をまわして求

第 8 圖



めた角度は $78^{\circ}50'$ であつて水の流れを用いて求めた β の値と一致している。之は流れの平行流なりし事と流れの方向を極めて良く測定し得ることを意味するものである。

第 9 圖



G. 北海道配電虻田發電所に於て最大出力 8000kw 單輪豎軸フランス水車の經年効率低下の程度を求めむる爲に使用水量の試験が行はれたが、其の際ピトー管法と Gibson 法とを併用した。之に用いたピトー管の係數を求めむる爲に本装置を利用して見た。

虻田發電所に於ては水壓管に對する加工を出来る丈け少くする爲に全壓力のみをとるピトー管を水壓管に挿入し、靜壓は管壁より求めて所謂十點法を採用し各半徑に於ける速度水頭を之等の差として水柱にて求めた。

此のピトー管を B 點に挿入して管中心にて正しく流れの方向を向かしめこの點に於ける全壓力と A 點に於ける靜壓を求め第 2 圖及び第 3 圖の結果を利用して得られた係數曲線が第 10 圖 I の曲線である。

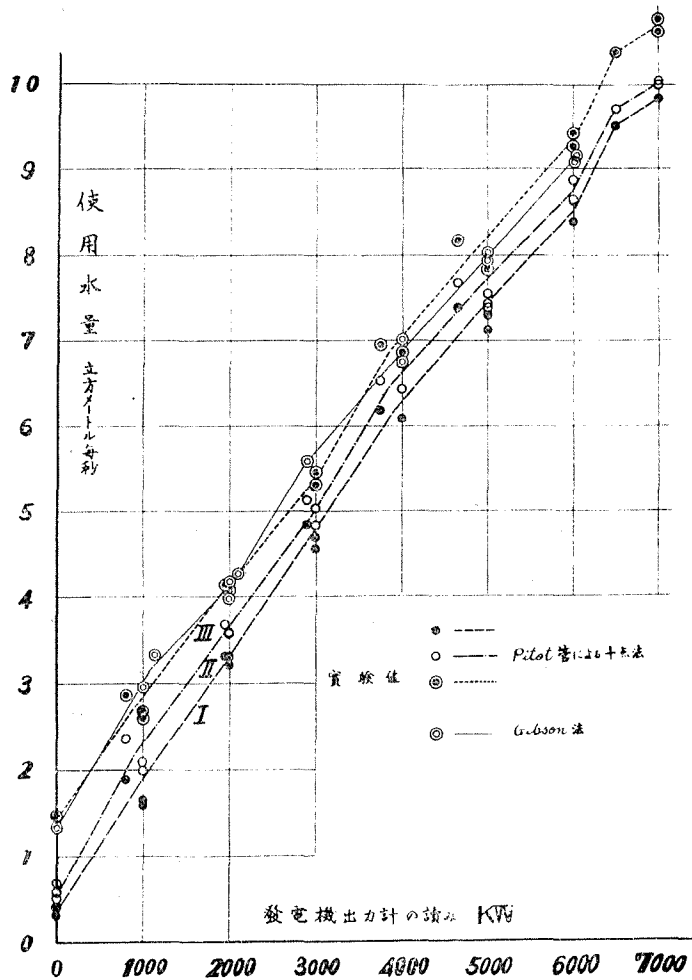
又 B 點にはやはり此のピトー管を入れ C 點に Brabbée 型標準ピトー管を入れて第 3 圖の結果は利用せず第 2 圖のみを利用せる結果は II の曲線である。

更に B 點の管壁にもう一個別の壓力取り口を設け試験すべきピトー管よりの全壓力との差をとり、同時に C 點に標準ピトー管を挿入し直接の比較により得られた係數曲線が III である。

之等三方の結果は相當の差異を有するがピトー管が不規則な形を爲して居る爲に給水ポンプの $H-Q$ 特性が入り前二者は精度の不足が伺はれるもので、かゝるものゝ検定にはポンプより直接管路に給水せず一度一定水壓を與へる装置を通すのが望ましい。

之等の係數曲線を用いて求めた水量は第11圖の結果となる。此の圖に記入してある Gibson 法の値はブルドン管の指針を利用し、案内羽根急閉時の水壓變化を自記せしめて得られたものである。前述第三の方法に依るピトー管の検定結果を利用せるものと良く一致して居る。即ち此の場合の十點法と Gibson 法とは同程度の水量試験結果を與えたものと考へ得る理である。

第 10 圖



4. 結 言

極めて簡単な装置と考へ方によりピトー管を検定したが以上の結果より圓筒二孔式ピトー管により先づ水の流動方向を求め、次に一孔を流動方向に向けて全水壓を求める、次に見掛け

上の速度水頭を求めると水速が求まる。結局之より其の點の靜水壓も簡単に算出される理である。

尙お檢定時水柱計の變動は絶えず併起し測定に困難を伴い、水柱と水銀柱との間の讀みの誤差を相殺する程度であり、特に速度の低い方では誤差の割合が大となる。

本研究を行うに當り實驗に際しては水力機研究室の石本慶一君、池田君、山崎君には多大の援助を受け松田、北島、山口、田中、本間、中橋の學生諸君の勞に負う所が多い。又標準ピトー管を拜借した阿部教授並びに北海道配電技研の中野、戸田兩所員の厚意に對し深甚なる謝意を表するものである。

尙お科學研究費により實驗を遂行し得たことを附記し併せて謝意を表す。