

大流量測定法としてのピトー管法に関する諸問題 (第3部)

— 各種の現用ピトー管の紹介 —

Practical Problems in Regard to Pitot Tube Method for the
Measurement of Large Water Discharge (Part III)

山 崎 卓 爾*

内 容 梗 概

大流量測定法としてのピトー管法について、共通的に起ってくる種々の問題点について、前号までに第2部として述べてきた。これらの点はそれぞれ実験室的にはある程度の解決がえられているものが多いが、実際の現地測定に対して十分利用しうる程度になっていない場合が多い。しかしこれとは別に現地での測定は行わざるをえないものであつて、現在我国でも数多くのこの目的のためのピトー管が提案され、使用されている。

本第3部では、戦前に行われた天野氏のピトー管、戦後の全国を風びしたHK式ピトー管、またこれとともに最も広く使用されている多孔式円筒型ピトー管(板谷管)、およびこれに類する回転式、3孔式、多孔式方向指示ピトー管、生源寺博士の流線型ピトー管、沼知博士の最近の試みとしての流線型ピトー管、兼重博士の標準ピトー管類似のピトー管による我国における初期の試み、等に関して簡単な解説を試みた。これらはそれぞれ提案者の各権威によつて、すでに十分の検討が行われているわけであるが、第2部に述べてきた観点から視ることは、一つの興味をよび起すものであり、あえて本稿を草した次第である。

〔I〕 緒 言

今まで述べてきたように、大流量をピトー管で測定することは、研究室でのピトー管による測定とは著しくことなり、困難な条件に適用してしかも精密な結果がえられることを望むところから、標準ピトー管以外に種々の型式の変型ピトー管が考案され、実際に使用されている。

本篇ではこれらの現用ピトー管の種々について、その構造や特徴を紹介して、実際の試験実施の参考に供せんとするものである。しかしこれらのピトー管についてはすでに多くの著書や論文によつて紹介されたものが多く、筆者があらためてこゝで紹介するまでもないと思われるが、前号までに述べてきた見地に立つて眺めることは意義があると思われるので、あえて本稿を起した次第である。

〔II〕 現用ピトー管の種々

現在我国で大流量測定に最も広く使用されているのは何といつても、HK式ピトー管であろう。このピトー管には2種類あつて、双管型と多管型と呼ばれており、使用度の多いのは双管型である。また最近では板谷管と呼ばれる多孔式円筒型ピトー管が大いに賞用されるにいたり、今日ではHK式ピトー管とともに最も多く使用されるピトー管となつている。さらにこれと種類を同じうするものに、回転ピトー管、3孔式方向指示ピトー管、多孔式方向指示ピトー管等が考案され、それぞれ実験に供されている。

* 日立製作所日立研究所

以上にあげたものは、いずれも衝撃圧と静圧を独立の場所で測定する方式で、これに伴う測定誤差はまぬかれ難い宿命をもっているが、この欠陥を補つた特性を持つものが、流線型ピトー管として実用に供されている。

なお標準ピトー管に類するものを使用することは、古い時代に行われており、現在でも小規模な場合や、開渠における測定には、しばしば有効に用いられている。

以下にはこれらの各種ピトー管について述べることにする。

〔III〕 双管型HK式ピトー管

(1) HK式ピトー管の起源

終戦後流量測定試験が各所で実施される気運が勃興した際、当時日本発送電株式会社現在東京電力株式会社技師川崎毅氏は、それまで広く使用されていた天野慎一氏の研究になる標準ピトー管に類する形状のピトー管が、使用上多大の労苦と時間とを費やすという欠点の改良に着目して、新たにHK式ピトー管なる名称の新型のピトー管を提案した。この名称HKは「発送電—川崎」のローマ字の頭字をとつたものであることは同氏が発表されている。

時あたかも流量測定の気運が高まりつゝあり、HK式ピトー管はその使用法が簡単であることと、斬新な着想への信頼感とから、燎原の火のごとく全国を風びし、ほとんどすべての発電所においてこのピトー管による測定が試みられ、現在なお我国で最も広く用いられる方法の一つとなつている。本法といえども技術的には多くの問題が含まれていると思われるが、戦後10年に近い期間における流量測定の実績はいかなる他の方法もおよぶもの

がなく、いゝかえれば流量測定実施の普及に対して、いまだかつてない大きい貢献をなし遂げたことは、特筆大書さるべきであると考えられる。

現在 HK 式ピトー管には双管型と多管型の 2 種が発表され、実際の測定にも使用されているが、HK 式ピトー管本来の妙味は双管型にあるのであつて、多管型は本質的には双管型とあまり差がない。以下これらについて詳しく詳しく検討して見たい。

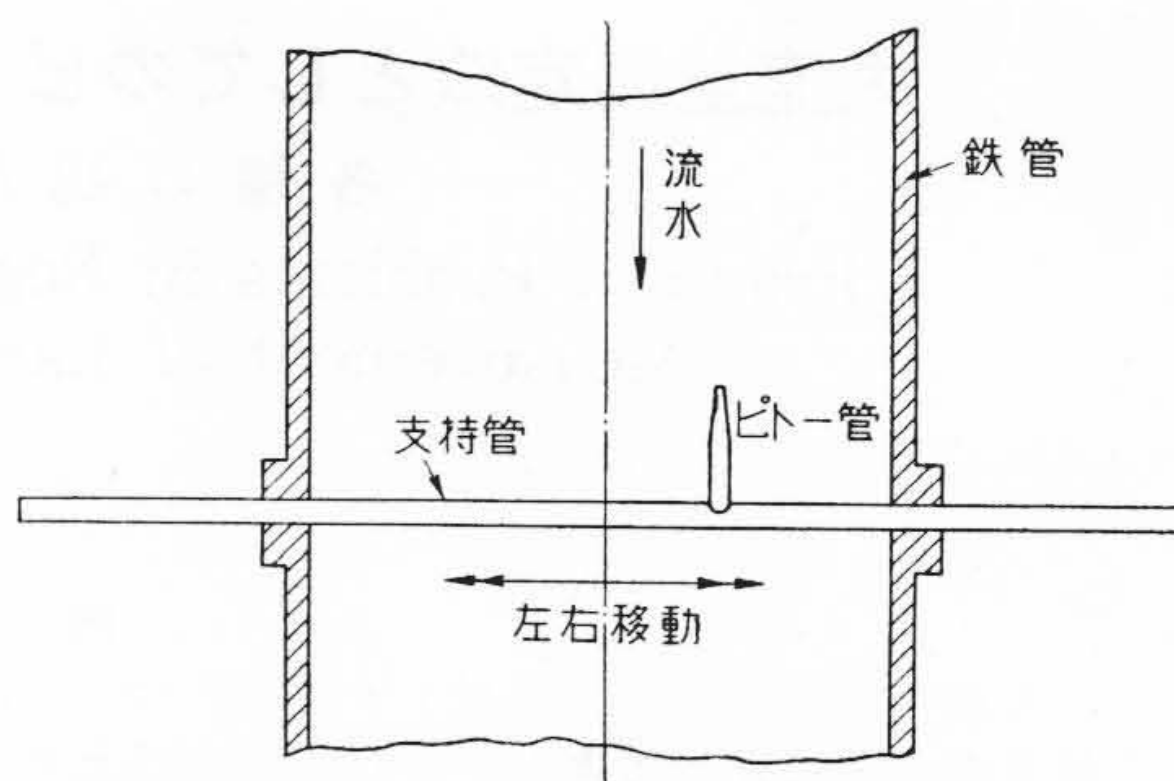
(2) 双管型 HK 式ピトー管の構造と測定原理

前記の天野慎一氏のピトー管を代表とする、終戦直後までのピトー管は、第 1 図に示すように、1 直径を貫通する支持管に、1 個の連成ピトー管（形状は標準型に似ている）を取付けたものであり、測定に際しては支持管の一端をくわえて出し入れして、所定の位置にピトー管を持来す方式をとるものであるが、容易に推測しうるように、支持管の全長は水圧鉄管の直径の倍以上を必要とし、また出し入れに対しては多大の人手と労苦を必要とする。（世上時に天野氏の使用するこのピトー管方式を天野管と考える人があるようにきくが、天野管は同氏の提案になる全く別方式の流量測定管であつて、ピトー管ではない。これは厳密に区別されなければならない。）筆者の経験を語れば、昭和 22 年寝覚発電所における日本機械学会主催の流量測定比較試験⁽¹⁾における同法による測定に際しては、支持管の移動のためには、特に巻上機を設置するを要し、また支持管が振動するため、これを固定する手段として支持管の両端に多勢の人が乗らねばならなかつた。当時は人手も不足であつたため、列席の機械学会委員各位もこれに一役を買つた。筆者もまた委員の一人として、この重錘の役を果たしたことであつた。

しかしそれまでは他に良法もないまゝ、この方法が広く実施されており、戦前の流量測定の最も重要な一方法として果たした功績は見逃しえないものであつた。

このように試験の実施が極めて労苦を伴うものであるところから、川崎氏はこれを改良して、第 2 図のような構造のピトー管を発明し、これを HK 式ピトー管と称して流量測定界に提案された。

このピトー管の特長は、測定点の移動に際しては、最も労苦を伴う支持管を移動することなく、ピトー管頭部のみを移動することであつて、こ

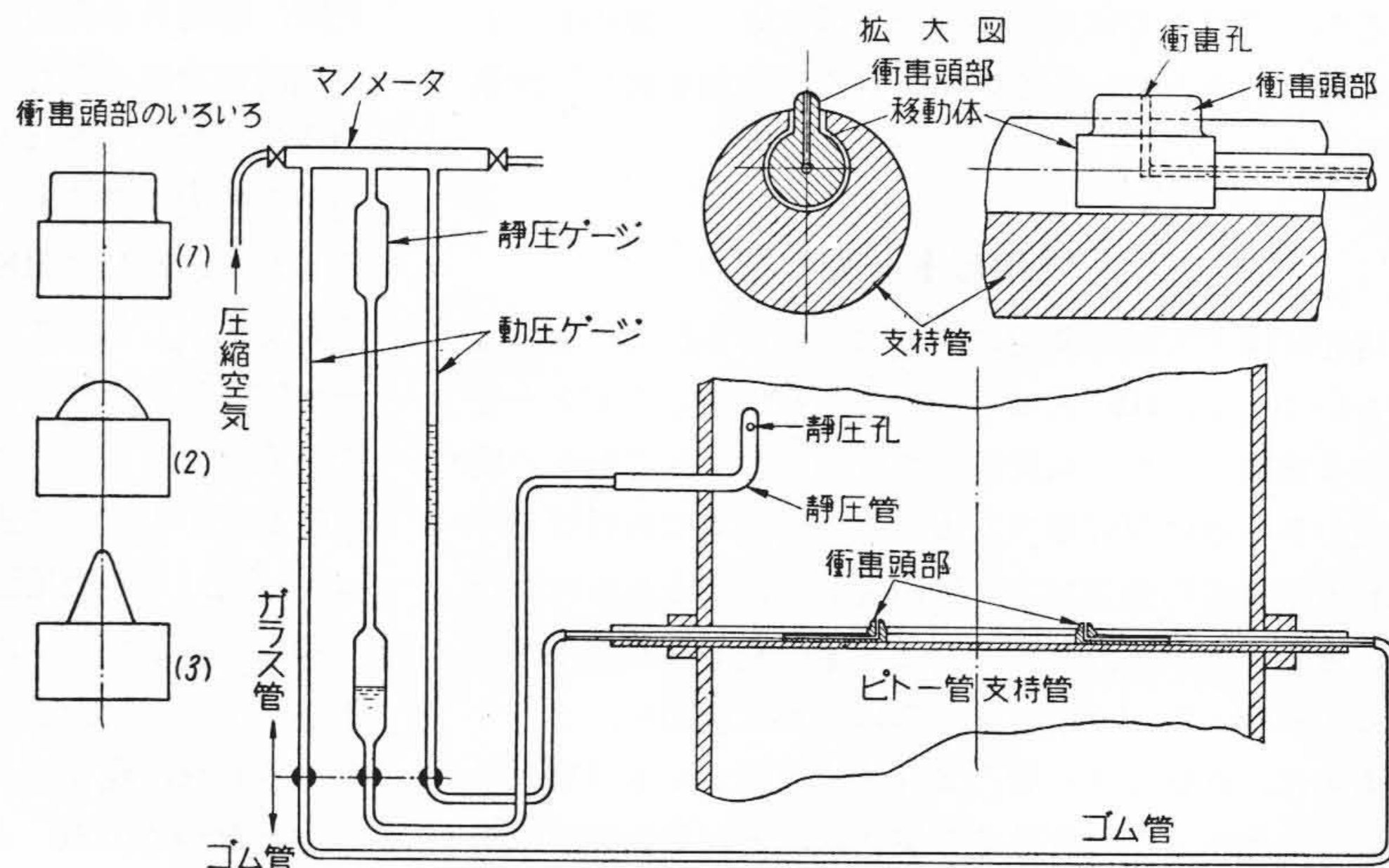


第 1 図 天野氏のピトー管の構造と操作説明図
Fig. 1. Structure and Manipulation of Amano's Pitot Tube

の方式により従来のようなむだな人員や器材は全く省かれることになつたのは大きい利点であつた。

第 2 図に見るように、このピトー管の構造上の特徴は一直径を貫通した支持管の中に中空部分があり、この中を 2 個の衝撃頭部（衝撃孔をもつた頭部の意味）が、支持管の軸線に平行に、中空溝の中を移動しうる構造になつてゐることである。測定に際しては、あらかじめ鉄管中心線に平行に中空溝の方を上流にむけて設置しておき、衝撃頭部に連結された導管を押し、またはひいて、衝撃頭部の位置を測定せんとする位置に持つてくる。この操作は中空溝の中は等圧であり、かつ衝撃頭部は小型であるから、流れによつて押しつけられることによる支持管との間に生ずるわずかの摩擦力だけに打勝つ力で操作できるため、前記の天野氏の方式に比し、その操作がきわめて容易である。

川崎氏はまた、これに用いる衝撃頭部として、第 2 図の左方に示すような種々の形のものを提案している。これらの形状に対しては、特に技術的または理論的な裏付



第 2 図 双管型 HK 式ピトー管の構造概略図
Fig. 2. Structure of Double Head Type of HK-Pitot-Tube

けはない模様で、単に川崎氏がこれならばと考えたものを作つたにすぎないもののようである。

一方静圧の測定は第2図に示すように支持管の上流若干の距離にある静圧管によつて測定する。この管は標準ピトー管に類する円形断面の曲管で、その頭部は半球形であり、頭部よりある程度下流の位置の側面に約1mm直径の小孔数個をもつたもので、管の頭部を正しく上流にむけて設置する。

以上3個の測定孔の圧力は、それぞれ別々のマンメータに導かれ、第2図に示すような連通管を持つ一連の組合せをつくる。このマンメータには中央に静圧を、左右に全力を、それぞれ導き、中央の静圧を基準にして左右のマンメータ水位を読み、流速を求める。読取りに際してはマンメータのゴム管をコックで遮断してマンメータの動揺をなくして読むのを原則とする。このマンメータの特徴は、静圧の指示部分が大きい断面積を有するようにしてあるから、静圧孔の直径が1mmという小さい孔であるため、流れの動揺に対してもほとんど動揺しないことを利用し、動圧のマンメータに注意を集中することができるということによつてよいであろう。

(3) 双管型 HK 式ピトー管による測定の実際に対する注意事項

すでに第2部において測定の実際についての一般的事項が述べられており、これらの大部分はそのまゝ HK 式ピトー管に対してあてはまることであるからこゝでは簡単に述べることにする。

(a) 衝撃頭部の形状 第2図に示したような頭部形状を使用した場合の衝撃管としての特性が、どのようなものであるかは全くわからない。この点については川崎氏も権威ある検定所に依頼して測定されたと聞かすが、まだその正確な値の発表はないもののようである。しかし衝撃管に対しては特に異形のものでない限り、その係数が1より大きくかけ離れた値を示さないことは、すでにのべた通りであるから、おそらくこの場合にもはなはだしくちがった値でないと推定してさしつかえないであろう。

たゞ頭部が上記第2図のような形状であるとしても、その衝撃孔の部分の支持管体よりいくらか突出していることは、測定値の安定に対して有効であると思われるので、この意味からはもつと突出していても決して悪くはなく、以後に述べる多孔式円筒型ピトー管よりもむしろ良好な構造であるといふことができる。

(b) 支持管および衝撃頭部の振動 支持管は円管であるから、ある流速以上になると振動がはげしくなり、振動した場合測定された数値は正確なものを示さないことは、すでに実験結果によつて示した通りである。

つぎにこのピトー管では衝撃頭部が支持管内の溝に添うて容易に滑動しうるようになっているから、頭部単独としても振動を起すことがありえ、前記の支持管の振動の影響と同様なことがこれに対してもいゝうるわけである。滑動が便利である反面このような不利な点がさけられないことは遺憾である。

(c) マンメータの毛管現象による誤差 このピトー管に使用されるマンメータは、静圧用が太く、全圧用はこれに比して極めて小さい径のものから成つていて、単なるほゞ同様な径のわずかのちがひによる誤差とはちがひ、構造上からくる本質的な毛管作用による誤差が存在している。これはかならず試験前に測定しておいて、測定値に補正を加えなければならない。

(d) 導管締切り操作による水柱上昇 これについてはすでに詳細にのべてあるが、上述のようにマンメータの管径がはなはだしく異つていのであるから、締切り操作によつて必ず静圧側と全圧側にちがった水柱上昇を起すはずであり、考慮外におくことはできない。ことに小流量(小流速)の場合に大きい誤差の原因となるから注意を要する。

(e) 衝撃頭部移動溝よりの漏水 双管型 HK 式ピトー管では衝撃頭部が、中空溝に添うて移動できるようにしてあるため、支持管の溝には細い導管が1本通るだけであり、支持管が鉄管壁を貫く場所の溝から常時漏水があり、現在こゝにボロ等をかぶせて、そのしぶきを防いでいるように見受けられる。鉄管中心附近の測定に対しては、このことは特に問題とはならないであろうが、管壁附近では、当然本来の鉄管内の流れの他に溝よりの漏洩水のために、衝撃頭部附近の水流の状況が変つてくる。外壁附近の流れは最も正確に測定さるべきものであるだけに、この漏水に対しては細心の注意を以て防ぐよう心掛けねばならない。

(f) 静圧管の取付け このピトー管の静圧測定管は衝撃管とは全然独立にとりつけられるものであり、流れの方向と密接な関係を持つてい。静圧管の取付けに際し、流れの方向とことなつた位置にとりつけると、速度水頭をも受けることになり、異常な値を示すようになる。現地試験において静圧管の取付が、水圧鉄管の軸線と60°かたむいた位置にあやまつて取付けられていたために、全く異常な水車性能をえて、検討の結果このことがわかつたという経験を筆者は持つものであり、現地におけるこれらの取付の確認はきわめて重要であることを力説するものである。

(g) 測定回数 双管型では衝撃頭部の移動を往復2回行うことによつて完全であるとされているが、このことに関しては第2部において詳細に述べたところによ

り、到底これだけでは正確な値は求めえないことはあきらめである。流動状態が安定している場合についてはほとんど問題ないであろうが、動揺している流れに対しては特に測定回数を増すことは必ず実行せねばならぬところであると考えている。

(h) 総合精度 以上のべたところにより、双管型HK式ピトー管の全貌を簡単に伝ええたと思うが、これらを通観するに、本質的なこのピトー管のみに存在する特有の欠陥はないと考えられる。ほとんど一般的な注意事項のみによつてその精度が左右されるといつてよいであろう。にもかゝらず今日やゝもすると双管型HK式ピトー管があたかも本質的に特有の欠陥を有するがごとき評をうけるのは、はなはだ遺憾であるといわざるをえない。時として異常な流量の値が実験結果からえられることがあるのは、上述のような諸種の考慮すべき点に関して、実験計画者および実験担当者が、どの程度の認識と考慮を払っているかにかゝっているものであると考えられる。本ピトー管による試験結果に対する疑惑の最大の原因はこゝに存在するものであると信じて疑わない。

〔IV〕 多管型 HK 式ピトー管

最近 HK 式ピトー管には双管型に対し多管型というものが作られている。これは前記の双管型の衝撃頭部を支持管内の中空溝内の任意の所要数の測定位置にそれぞれ固定して取付ける方式であつて、測定原理としては次章の板谷管と全く同一であるから、詳細についてはそこで述べることにする。たゞ本ピトー管の特色は、板谷管は鉄管直径に応じて衝撃孔の位置が固定しているため、一発電所で使用したものは、鉄管直径のことなる他の発電所には原則として流用できないが、多管型 HK 式ピトー管では衝撃頭部の取付位置を任意に移動しうるから、支持管の強度および太さの影響さえ許されれば、多くの発電所に共用できるものであることは、非常に大きい特色であるといつてよい。しかし川崎氏の言によれば多管型の実績は双管型に比して精度が劣り、成功率からいうとやはり双管型の方が数段すぐれているという。その理由については不明であるが、多管型に連通管マノメータ(マノメータ数の多い)が使用されているための差がある以外には特に精度において劣るとは考えられず、根本的には取扱方法の未習熟が最大の原因ではないかと考えられる。

〔V〕 多孔式円筒型ピトー管(板谷管)

(1) 起 源

標準ピトー管等の、衝撃管を支持管に取付ける型のピトー管では支持管挿入のために、特に鉄管壁に大きい孔

を設けることを必要とし、このことは発電所側としては鉄管強度を弱める原因となるので、あまりよろこばれない。HK 式ピトー管が一時一世を風びしたのも、同ピトー管の衝撃頭部がきわめて小さく、鉄管にあける孔は支持管よりわずかに大きければ足るという利点が一大原因であつたと考えられる。

東京工業大学板谷教授は、円筒型ピトー管はすべてのピトー管中最も簡単な形状を持つていることから、これをピトー管として発電所の流量を測定することを提案し、最初に昭和22年の機械学会主催寝覚発電所における流量測定比較試験⁽¹⁾で実験を試みた。したがつてこのピトー管は内容的には円筒型ピトー管を1個の円筒にまとめ上げたものと見るべく、多孔式円筒型ピトー管と称すべきものであるが、提案者の名にちなんで、一般には板谷管とよばれている。板谷管は構造がきわめて簡単であり、ピトー管を挿入するための水圧鉄管に設ける孔は、ピトー管体と同径で足りるため、最も小径の孔で事足り、また同時測定が容易であるところから、次第に採用されるようになり、またこれに対する研究も進み、数多くの研究成果がえられるにいたり、現在では HK 式ピトー管とともに最も多く試みられる方法となつている。特に関西電力株式会社では、板谷管に対する詳細な研究を行い、同社として一応の基準を定めて社内試験の規格としてゐることは敬服に値する⁽²⁾。現在のところ板谷管に関しては同社の業績が最もすぐれているといつてよいであろう。

(2) 構 造

板谷管の構造は第3図に示すように、中空円筒の表面に、軸線に平行に1列に、所要個数の孔をあけ、各々の孔は導管によつて別々にマノメータに導かれ、各点の圧力は各マノメータに示されるので、流速分布のありさまを一見して知ることができる。読取りに際しては締切装置で一斉にマノメータ導管を遮断して各マノメータを読み、この操作を数回ないし数十回くりかえして、その平均値をとる。

静圧の測定は管壁に静圧孔をもうけることを本則としているが、ピトー静圧管類似のものをを用いることもあるようである。

(3) 測定の実際に対する注意事項

この方法に関しては、今までに述べたことでほとんど述べつくされているので、特にいふべきことはないが、二、三の点を注意したい。

(a) 同時測定の構造上の注意 このピトー管の特徴は全測定点における測定値を同時測定することにある。したがつて全測定点の表わすマノメータの読みに対しては、測定計器の構造上からくる時間的なおくれの差や、

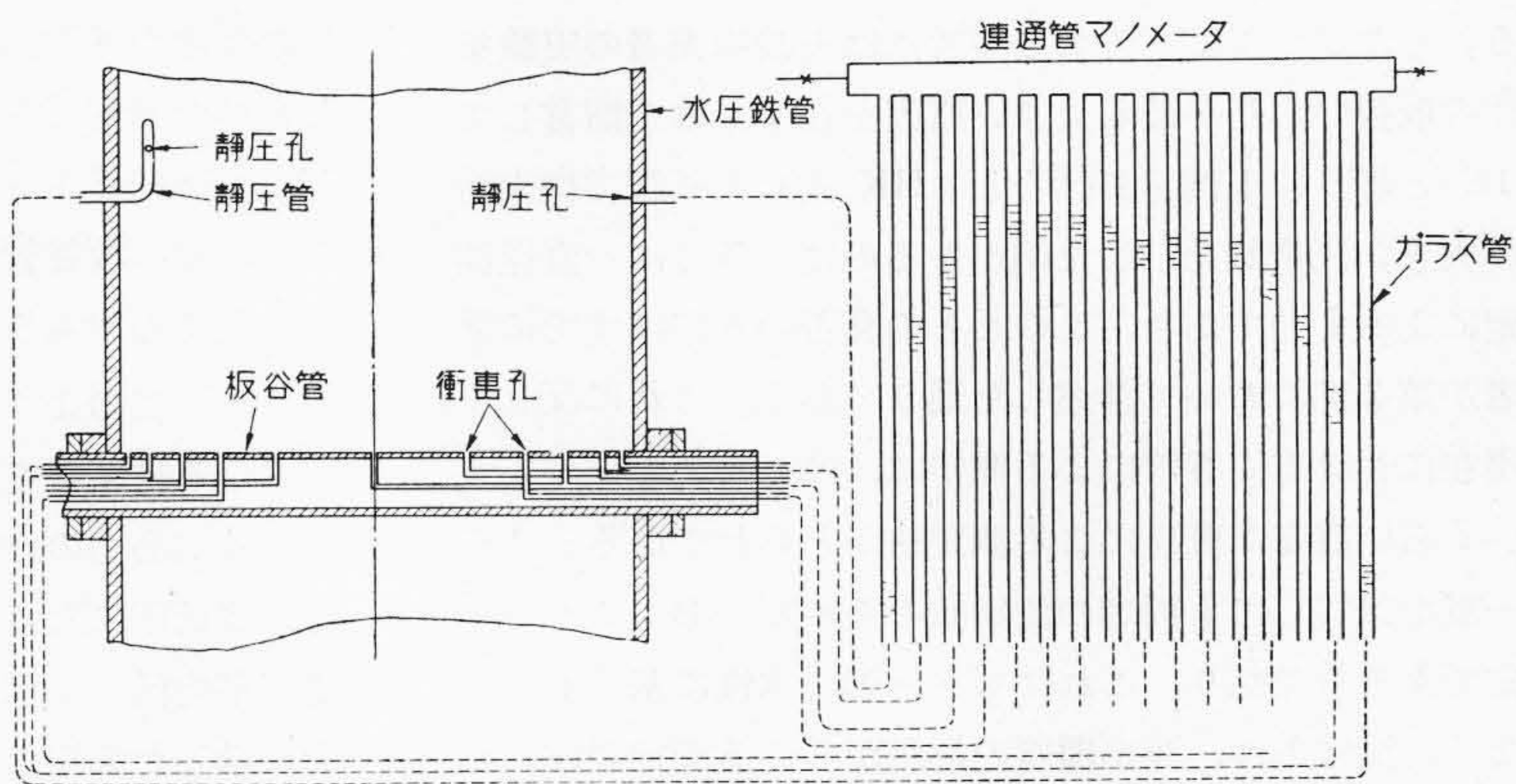
指示の不整一があつてはならない。数多いマンノメータについてこれを厳密に実現することは、はなはだむづかしいことであるが、十分に準備時間をかけさえすれば、決してできないことではない。これが実現のためには各測定孔よりマンノメータにいたる途中の導管の長さや構造を、その抵抗が同一になるように計画されなければならないことはいふまでもない。

(b) 締切り装置 また同時測定に対しては締切り装置を使用して、導管を遮断して読みとるが、押し止めを行えば、マンノメータ内の水柱がとび上り、誤差の原因となるから、この量が各マンノメータに対し同一の量であることをたしかめておく必要がある。次に静圧マンノメータは各全圧マンノメータに対して共通的に作用するものであるから、これに対しては特に注意すべきであるが、あまりにもこれにこだわつて、静圧マンノメータには特にダンパーとしての大きい空気室をもうけたりすることがあるが、これは締切り操作を行う場合、むしろ上述の誤差を導入することになるから注意を要する。

このように押し止めが十分正確でないと思われるときには、マンノメータを写真撮影することが行われるが、写真視野の問題、液柱境界面がはつきりした影像を示すような工夫等、予備的な操作を十分練つてかゝらなければならぬことはいふまでもない。

(c) 多管式マンノメータ このピトー管は第3図に示すように、多数の測定孔よりのマンノメータを上部において連通した、連通管式マンノメータを使用するのが便利であるが、これらの欠点はどこか1個所の故障が全マンノメータに影響することになることで、この点構造上特に注意を要する。また連通管はマンノメータ相互の影響をさけることができない構造であるから、この影響を小さくするために、大きい径のものをえらぶべきである。

(d) 孔径と管体の直径 このピトー管で構造上特に問題となるのは、ピトー管体すなわち本体となる円管の直径と、これにもうけられた衝撃孔の直径の割合であろう。すでに本論文の最初のピトー管係数を論ずるに際して述べたように、ピトー管はその管径と孔の径の大きさの比によつて、流水方向に対する傾斜時のピトー管特性が変ることが知られており、したがつて板谷管の場合にも当然考慮されるべきものであらうと考えられる。現在



第3図 多孔式円筒型ピトー管（板谷管）の構造説明図
Fig. 3. Construction of Multi-Pressure-Hole Cylindrical Pitot Tube (Itaya Tube)

のところ測定孔の径は単になるべく小さい孔によつて、1点の流速を知ろうとする試みから発していると考えられ、特性への影響について特に考慮しているところはないように思われるが、できれば正しく軸流速度として $V \cos \theta$ を示すような特性を持つように（この理由は第2部その1参照）管径と孔径の関係を定むべきであるが、これについては正確な実験結果を必要とすることになり、現在のところ十分な資料はえられていないようである。

(c) 総合精度 すでにピトー管法については広範囲にわたつてのべてきており、その大部分がまた本ピトー管にも適用さるべきものであるから、ほとんどこゝでは特別に述べる事項がない。たゞこのピトー管は前述のようにその測定原理は簡単で、構造上の難点もなく、全く理論通りに実現し得るところから、このピトー管による測定値が全く正しいもののごとく誤解され勝ちであるが、ピトー管法に共通した多くの疑問点（第2部で詳述）については特にこのピトー管を以て解決しうるものではなく、この点に注意すべきである。たしかにHK式ピトー管における理論的立脚における疑点も一応なくなつてはいるが、根本的には多管型HK式ピトー管とほとんど異なるところがない。現在板谷管による測定結果がHK式ピトー管よりも正確であり、やゝもするとHK式では流量値が大きいのに、板谷管ではそれに比して小さいというような結果から、あたかもこれが両者の本質的特性であるかのように考えられることもあるようであるが、筆者の考えを以てすれば、両者のちがいは、単に衝撃頭部の形状が異なること、測定が同時測定か非同時測定かによる誤差の入りかたの2点だけのちがいであつて、根本的に一

方的な誤差が入る大きい原因や理由はないと考えられる。したがってこゝでも最終的には実験担当者の実験条件の取扱いが最も大きい原因をなすものと断言してよいと思う。1例をあげると、HK 式ピトー管で従来特に大きい流量値を示した例があるのは、多くは一直径測定によるものであり、このことの良否の判定はすでに筆者が第 2 部において詳述した通りである。これに反して現在における板谷管による測定は、ほとんどといってよいくらい直交 2 直径による測定法がとられている。この一事を以てしても両者の測定値の正確度のおよそが推定できる筈であり、これはピトー管の本性に基くものでなく、測定条件、測定環境の解釈からくる測定手段の認識にもとずくちがいであるといつてよい。

終りに板谷管による測定基準としての関西電力の基準は、現在筆者等の知る限りにおいて、その全般的な観点から見て、これ以上のものは現在の研究段階ではえられないのではないかと考えられる。

現在電力技術研究所において板谷管等による流量測定法の規格を作成すべく、各電力会社および学者、水車製作者を糾合して審議立案中であるが、その目的とするところは、より高い精度の測定法の確立を目指しているものと考えられ、この意味からは第 2 部において述べたような数多の問題点を解明してはじめて成し遂げられるものであらうと考えられ、筆者もまたこのようなすぐれた測定基準の出現を待望してやまないものである。

〔VI〕 板谷管に類するピトー管

前述のように板谷管は簡便にしてしかも原理的にも一応の根拠を持つているところから、現在きわめて多く採用されているが、なお幾多の欠点なしとしない。殊に流れとピトー管の孔の方向との一致性に対しては、明確な対策が講ぜられていない。

筆者らはこの点につき種々実際試験の経験をもとにして考究し、次にあげる数種のものを提案したが、これらは実際上の使用度がまだ少く、また流量測定という面には特に格段の進歩をもたらすまではいえないのが現状である。次にこれらにつき簡単にのべる。

(1) 回転ピトー管

板谷管をその支持管の中心線のまわりに回転すれば、上流側に向つて固定されていた衝撃孔は、徐々に流れの方向に対し、異つた角度をとり、したがつてその角度に応じた読みを示すことになることは、すでに第 2 部において述べたところである。このような方法によれば、流れが旋回しておればその旋回の角度を測定しうることになり、真の流速の方向および大きさ V が知れるから、これより $V \cos \theta$ として軸流成分を知ることができる。こ

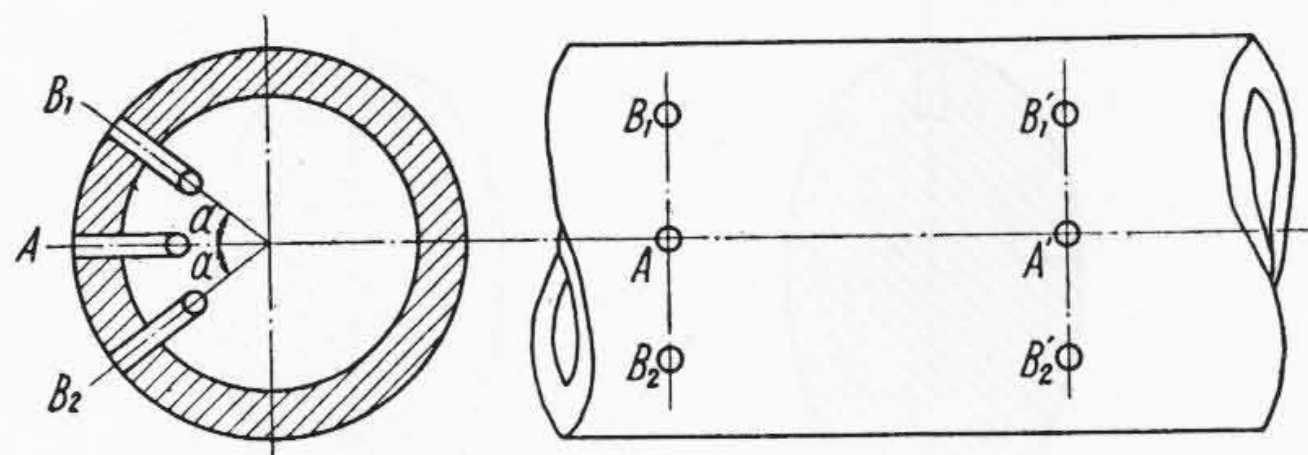
のような考えのもとに、筆者らが板谷管を特に回転してその角度を外部から読みとることができるように改良したものを回転ピトー管と称して板谷管と区別した。したがつて回転ピトー管という特別なピトー管があるのではなく、単に板谷管に対してこのような回転測定装置を附加したものである。

しかしこのようにして $V \cos \theta$ が知れたとしても、水が θ なる旋回角度を持てば、当然水圧鉄管断面全体に対しては遠心力の作用により、鉄管の外周部は高圧に、中心部は低圧になると考えられ、その結果として静圧の決定（平均値）が困難となる。さきに第 2 部その 1 の第 6 図に示した測定例によれば、鉄管中心においては流れの旋回はきわめて軽微であることが判明し、特別に悪条件の場合以外はあまり問題とならないことがわかつた。しかし各測定個所の適不適は一応このような測定法によつて確認し、あまりに大きい角度を示す場合には、その場所での流量測定は不能であることの判定法として重要な意味があることを強調したい。

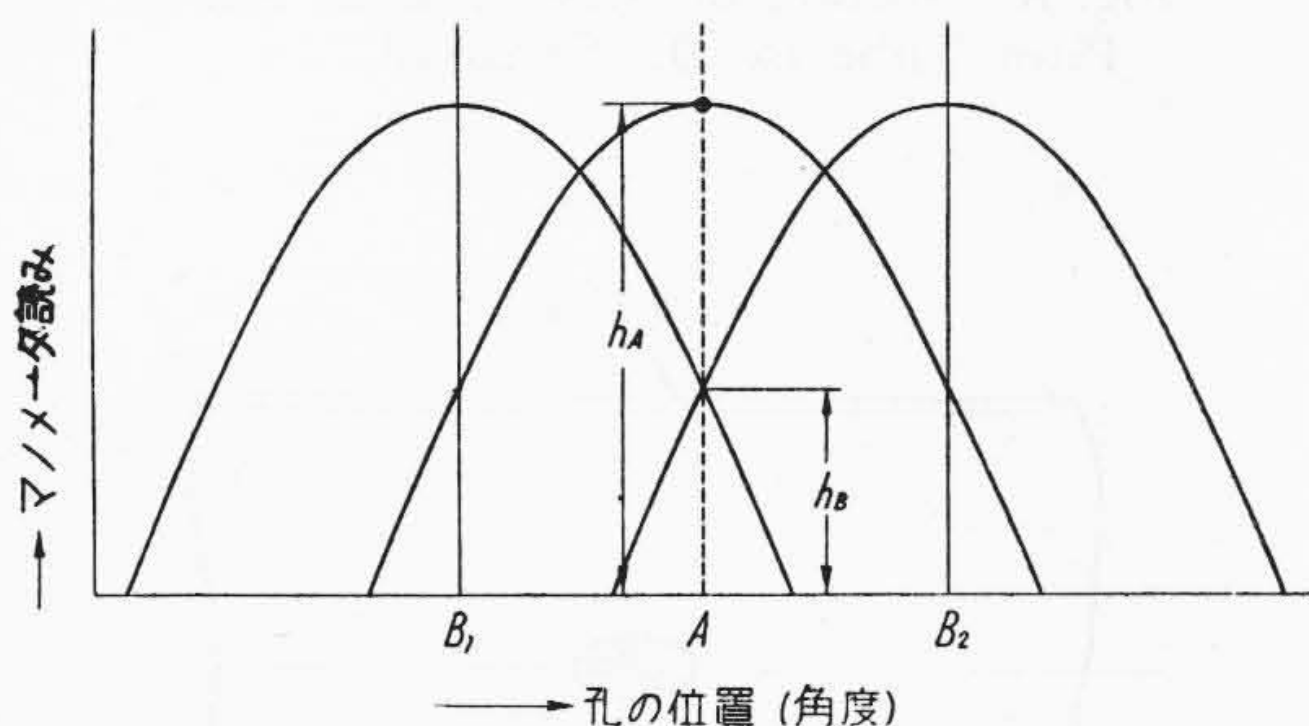
(2) 3 孔式方向指示ピトー管

前記回転ピトー管では、衝撃孔は 1 列にのみ配置されており、第 4 図の A, A' のごとき測点を形成しているものであり、方向指示のためには管体を上流方向に対しおよそ $\pm 50^\circ$ の範囲の程度にまで回転して、一連の測定値を求めなければならず、測定値の取扱が煩雑となる。今第 4 図に示すように A 点をはさんで B_1, B_2 の両点を、 A に対し同等の角度をなすように設け、流れの方向に向けるときは、 B_1, B_2 に連なるマノメータの上部を連通することにより、両マノメータの指示が同一の高さになつた場合、流れはちょうど A の方向に向うことになり、このようにすれば、たゞ 1 回の測定で方向と流速を知ることができて、はなはだ便利である。

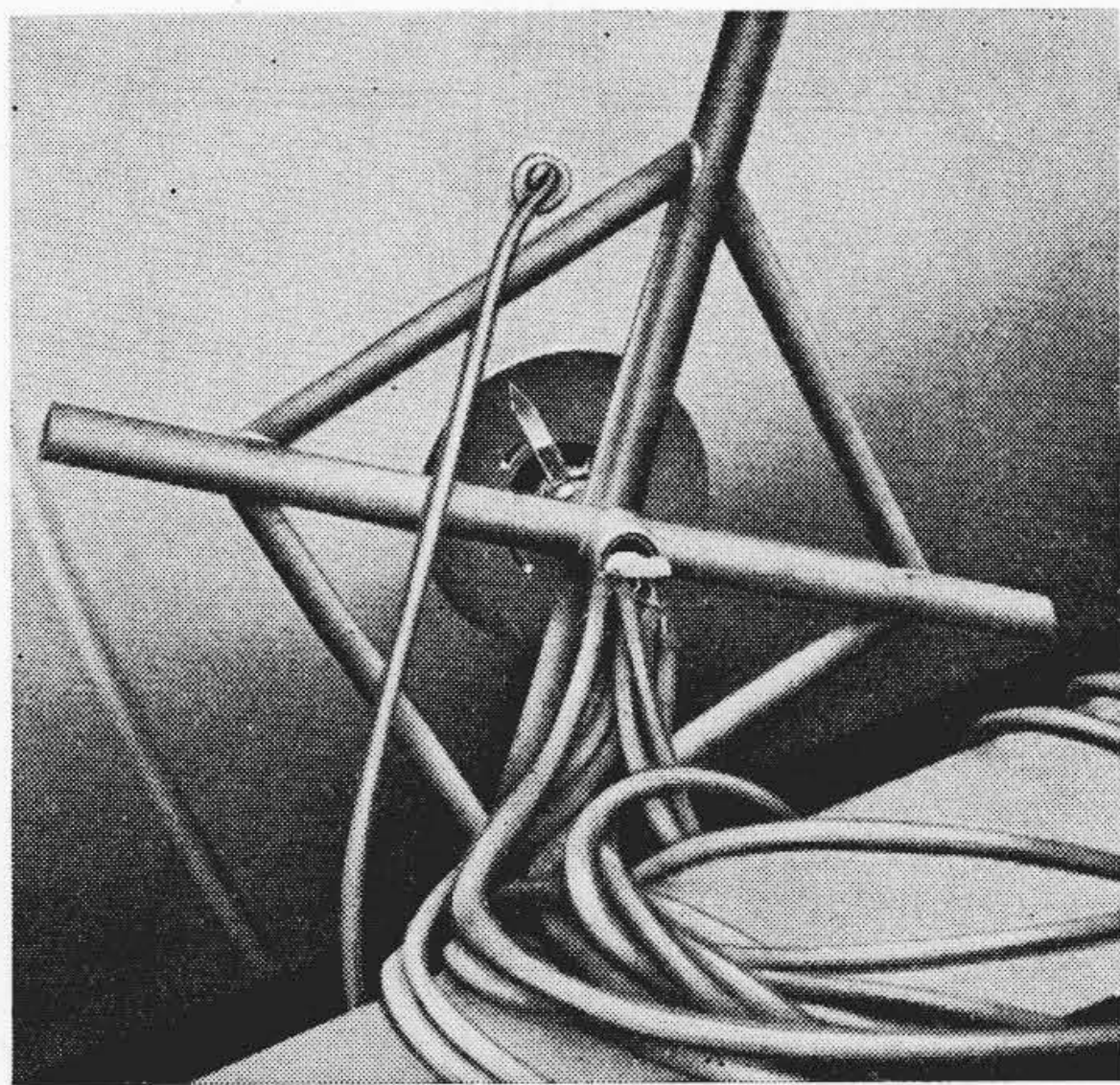
元来円筒面上の孔の示す速度水頭と、角度との関係は第 5 図に示すような曲線を以て示される。したがつて理論的には、たとえば A 測点における最高指示の値 h_A における角度と流速とを知ることができる筈であるが、この点の附近では、その指示水頭がきわめてわずかな変化しかなく、したがつて前述の回転ピトー管のように広い範囲の角度について測定して見なければ、その最高指示点の位置を求めがたい。しかし第 4 図 B_1, B_2 両測定点の値を求めれば、これらの点は A に対して対称の 2 点であるから、第 5 図の h_B のような等しいマノメータ指示を与える筈であり、しかもこれらの点の附近ではマノメータ指示が角度によつて急変するので、精密な測定が可能である。これが 3 孔式方向指示ピトー管の特徴である。しかしこのような方向指示法は感度が極めて鋭敏であるため、しばしば現地での測定では困難を感ずることがあ



第4図 3孔式方向指示ピトー管の構造
Fig. 4. Structure of 3 Hole Type Pitot Tube for Measuring the Direction of Flow



第5図 流れの方向とピトー管特性
Fig. 5. Pitot Tube Characteristics and its Relation with Direction of Flow

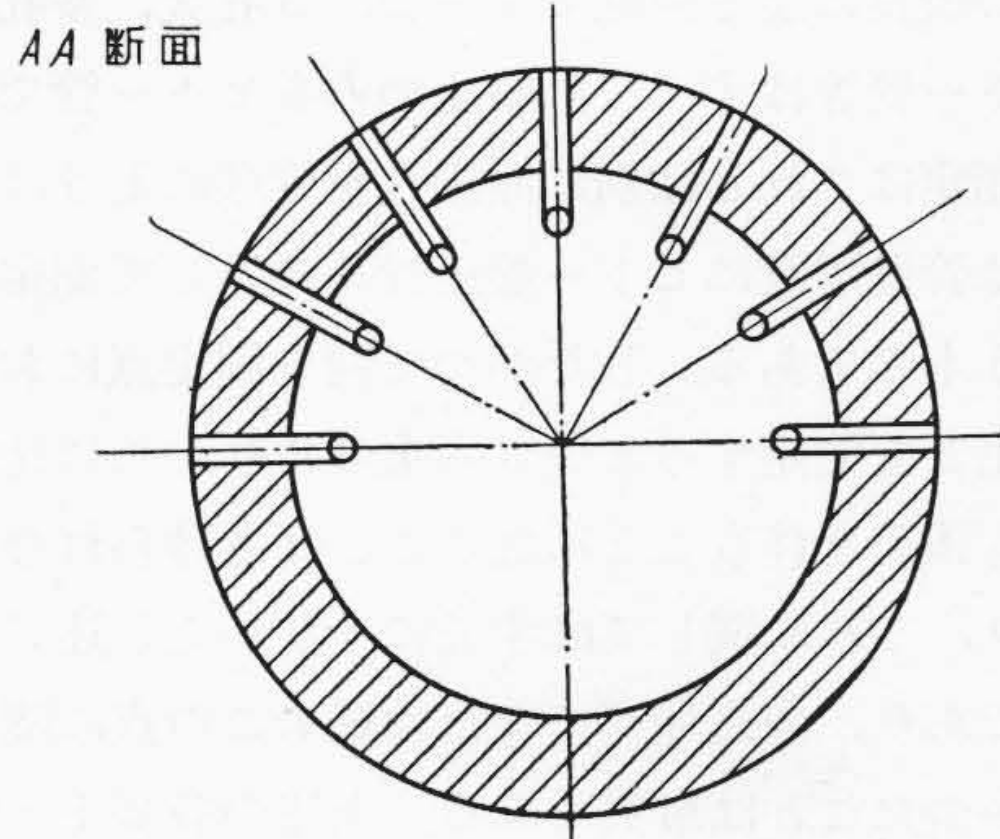
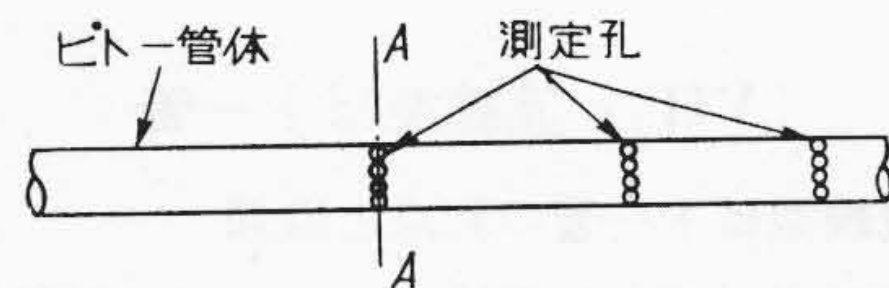


第6図 3孔式方向指示ピトー管
Fig. 6. 3 Hole Type Pitot Tube

るから、孔の角度の選定には注意しなければならない。一般には $20^\circ \sim 30^\circ$ で十分であると考えられる。

この角度をちょうど静圧を示す位置にとることが、このようなピトー管の普通の構造であるが、このためには孔径とピトー管径についての十分な研究が行われた上でなければ意味がないので、これにこだわらぬ方がよいと考える。

このピトー管は方向に対して特に重要な意義を感じる場合に用いれば大きい効果が期待できる。流量の決定に



第7図 多孔式方向指示ピトー管
Fig. 7. Multi Hole Type Pitot Tube

対しては板谷管または回転ピトー管とかわるところがない。

第6図はこのピトー管の現地における取付状態を示す写真である。

(3) 多孔式方向指示ピトー管

回転ピトー管は広い範囲の角度に対して測定しなければならず、3孔式方向指示ピトー管は各測点に対しての同時測定が不可能であるという不便があり、いずれも流量測定の実施に対しては必ずしも十分とはいえない。

筆者等はこれに対処するため、第7図に示すような多孔式方向指示ピトー管をつくった。このピトー管は水車ランナー下部の水の流動状況を詳細にしらべるためにつくられたもので、現地発電所に使用して好結果を得ている⁽³⁾⁽⁴⁾。

第7図に示すように、ピトー管体の所要測定個所の、管軸に直角な断面に多数の測圧孔をもうけ(図の場合は7個)この管を流れの中に、凡そ流れの方向にむけてさし込むと、各孔には流れの方向との角度に応じた読みが得られ、これらの読みを結んでその分布状態をえがけば、その最大の読みの方向が、流速の方向を示すことになり、特に回転ピトー管のように回転する必要がない。また第7図の例では測定孔が 180° 以内に分布しているから、この程度以内の角度変化に対しても3孔式ピトー管のように一々方向をさがす必要がなく、両者の性能を兼ね備えたことになる。たゞ、1個所の測定点に対し、たとえば7個の測圧孔があるため、管体内部への導管のとりつけに制限があり、マノメータの数も膨大となり、それだけ手数がかかるが、前記2者に比してはなほだ便利にしてかつ確実である。

〔VII〕 流線型ピトー管

（1） 流線型ピトー管の利点と種類

これまでに述べて来た HK 式ピトー管、板谷管およびこれらの改良による回転ピトー管、3 孔式、多孔式方向指示ピトー管等はすべて衝撃圧のみをピトー管で受け、静圧の測定はこれとは別に測圧孔を管壁にもうけるか、あるいは管壁附近にピトー静圧管を挿入して測定する方式に従うものである。したがって同一測定点における全圧と静圧とを測定するという本来のやりかたに比し、どうしても誤差を伴うことになることはさけられないところであり、これに関してはすでにくりかえし述べてきたところであり、今迄述べてきた論議もこの点に関するものが多かつたことは事実である。上述の各ピトー管としても、できるならばこうした本来のやりかたをとりたいのは当然であるが、実際にはその場合の静圧の指示がどの程度の正確度で表わされるかに大きい不安がある。

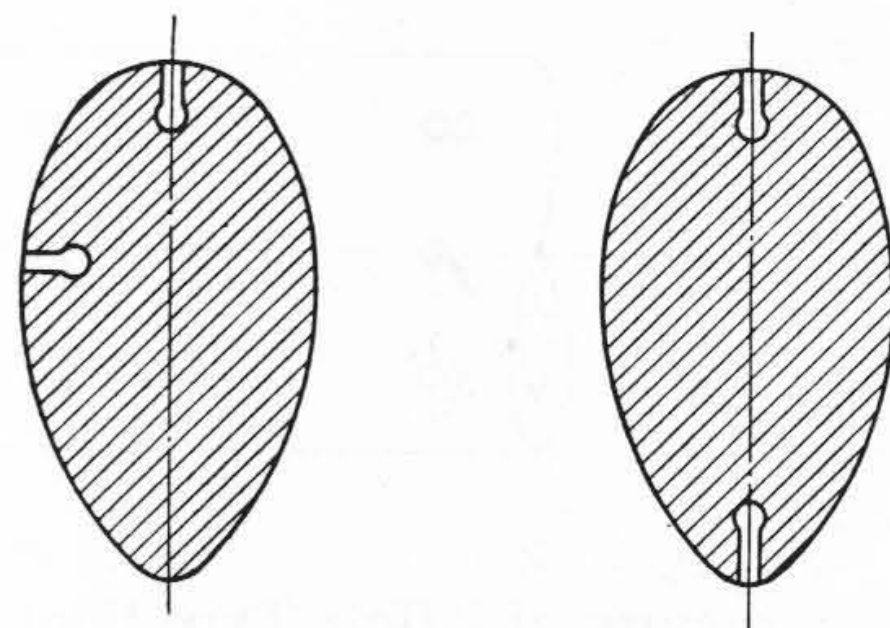
前述の板谷管のごときも円筒型ピトー管であるから、流水方向に対し、ある角度をなす点に測圧孔をもうければ、その部の静水圧を知ることができるわけであるが、周知のように円筒の場合、静圧を示す点は少しの孔の位置のちがいで、はなはだ大きくその値が異なるはずであり、また流れのレイノルズ数によつても静圧を示す位置が大きくかわることが明らかになつており到底現地測定に使用することは不可能である。

この欠点を除去したのが流線型ピトー管である。円管のかわりに流線型断面の支持管を使用し、その上の点に測圧孔をもうければ、上述のような不安定性が除去されることになり、目的を達する。

現在迄にこの形式のピトー管に属するものは、生源寺博士のものと沼知博士のものと 2 種類である。こゝではこれらについて紹介しよう。

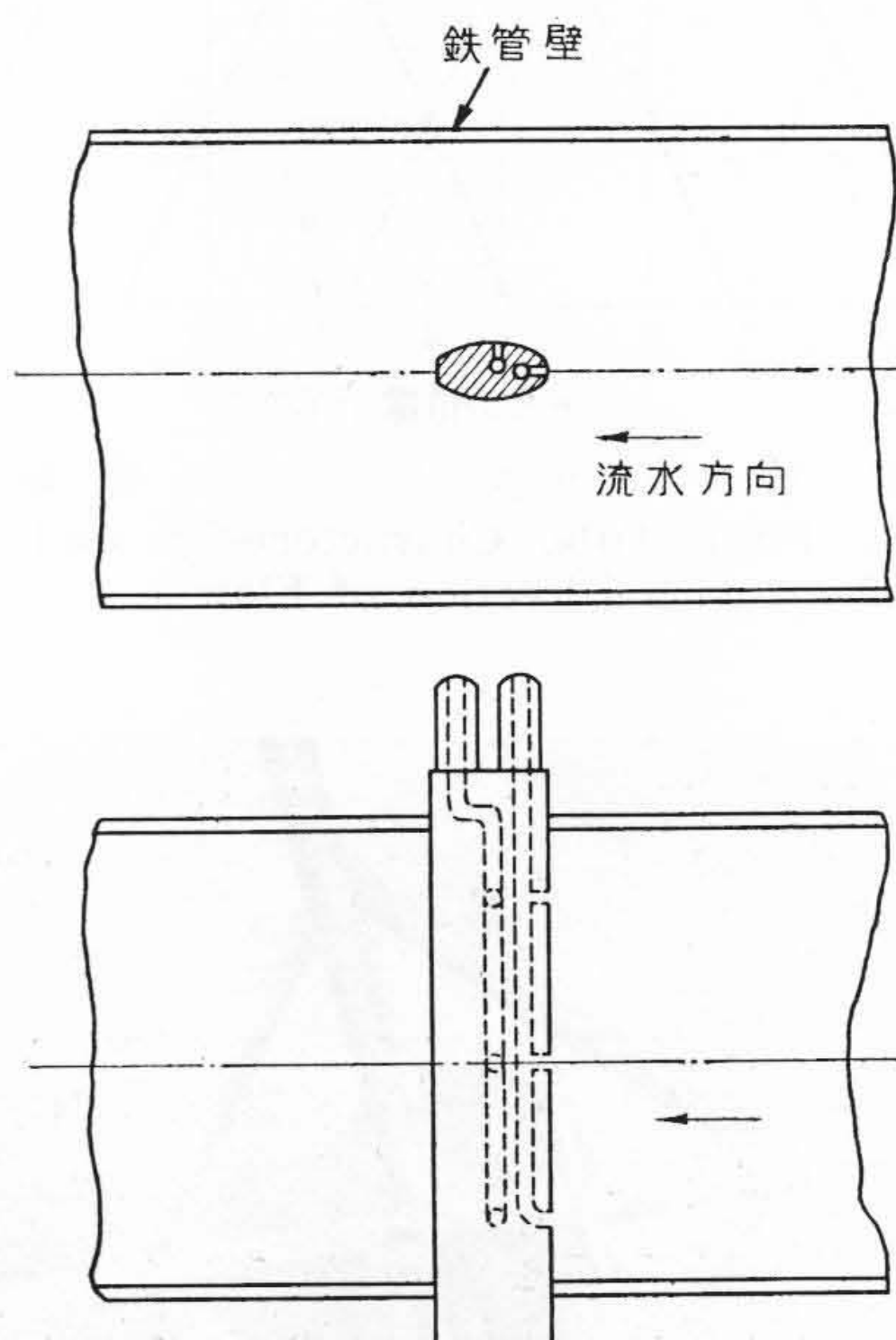
（2） 生源寺博士の流線型ピトー管⁽⁵⁾

上述の状態に着目された同博士は、流線型の棒のまわりの圧力分布では、その先端では堰止圧のため高圧となり、側面または尾端ではこれに比して低圧となることに着目し、両者の差圧を検定して求めて使用することを考え、いわゆる流線型ピトー管をつくつた。同博士の提案になる流線型ピトー管の形状は、流線型の一般的な上述の性質を利用したもので、形状に関する理論的または実験的な特別な考慮は払われていなかったようである。第 8 図は同氏の流線型ピトー管の断面を示す。図に見るように先端および側面に測圧孔を持つものと、先端および尾端に測圧孔を持つものと 2 種類があり、前者の方が測定上好成績を示し、また静圧測定孔は 1 側のみでなく両側にもうける方が更によいとしている。



第 8 図 生源寺博士の流線型ピトー管の断面形状

Fig. 8. Section of Stream Line Form Pitot Tube by Dr. Shōgenji



第 9 図 生源寺博士の流線型ピトー管の構造

Fig. 9. Structure of Stream Line Form Pitot Tube Designed by Dr. Shōgenji

たゞ同博士の場合は第 9 図のように、先端の衝撃孔および側面の測圧孔をそれぞれ数個もうけ、これをそれぞれに一括して全圧と静圧との差を示すようにしてあり、全体としての流速係数を求めることによつて流量を知ることが提案しているのは、戦後一時注目された天野慎一氏の漏洩法に用いるいわゆる天野管と同様な考えかたにもとづくものと思われる。

このピトー管が現地試験に使用されたか否かについては筆者寡聞にしてまだその例をきかない。

（3） 沼知博士の流線型ピトー管⁽⁶⁾

最近沼知博士は上記とは全然無関係に、理論的な根拠から流量測定における諸条件を満足するような流線型ピトー管を作製、実験的検討を行つた上、これを東北電力

株式会社沼沢沼揚水発電所ポンプの送水量の測定に使用し、好結果をえた。次にこのピトー管につき簡単に述べる。

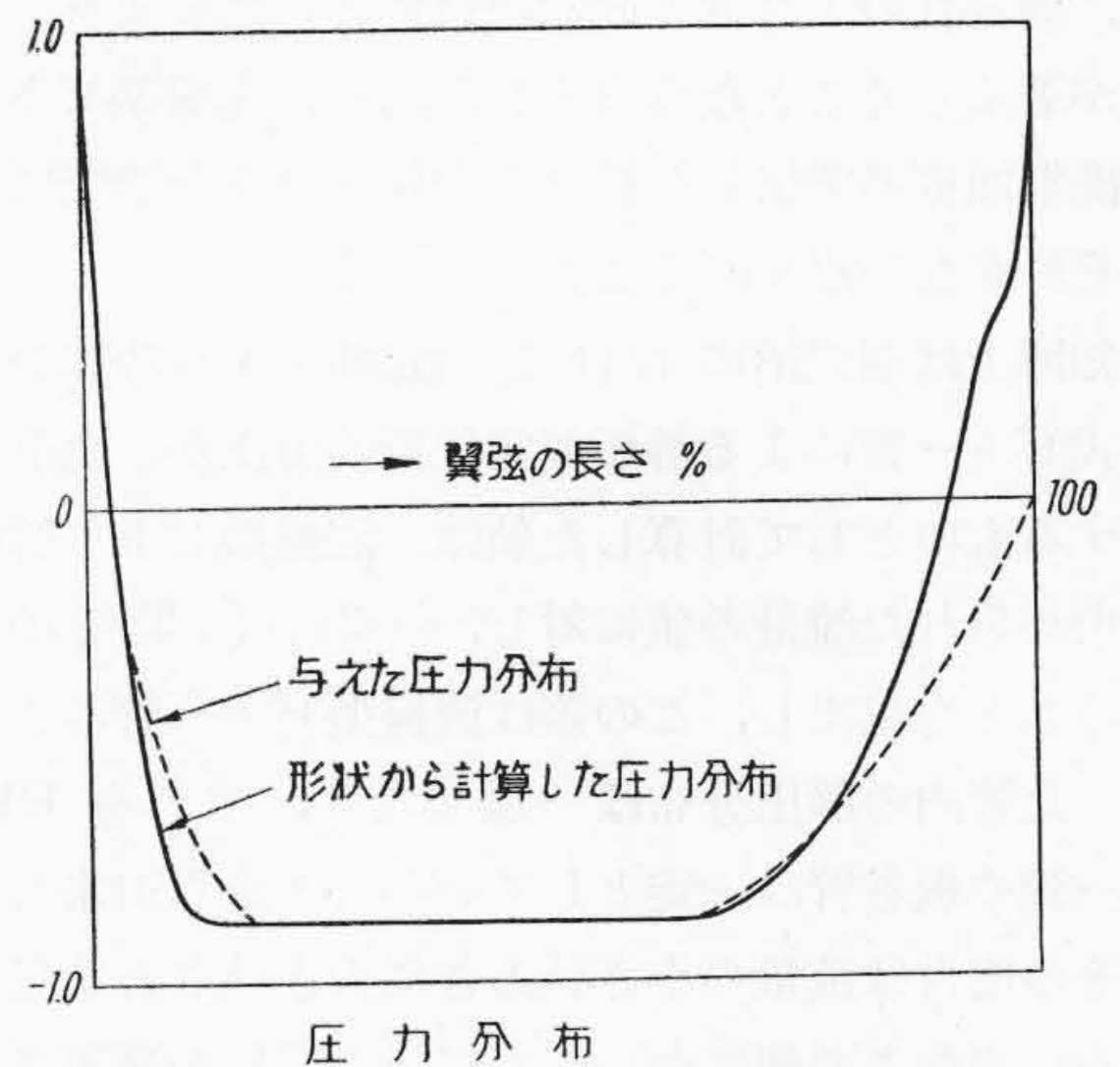
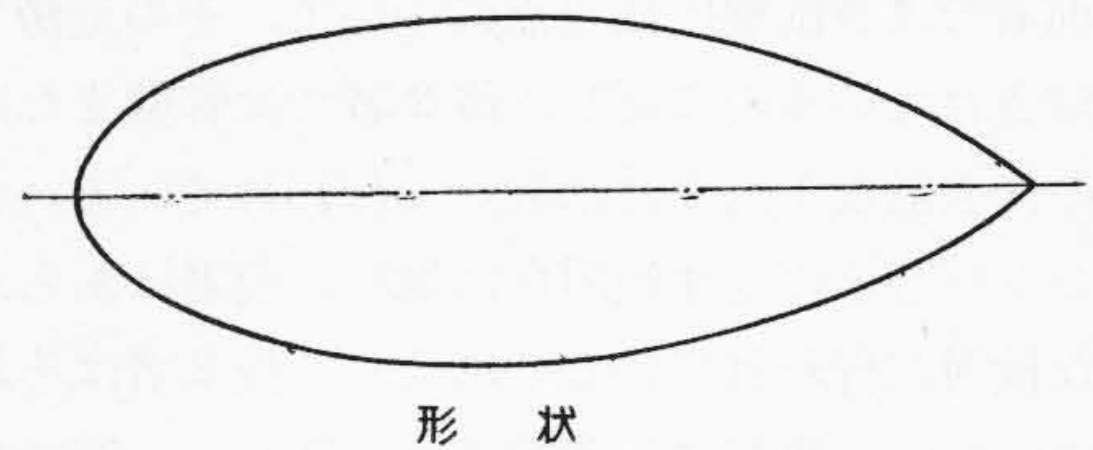
(a) 流線型ピトー管の断面形状の理論的根拠 ピトー管の断面として採用すべき型は、まわりの流れが安定で、かつピトー管係数の変化による測定誤差がなるべく小さい形状であることを必要とする。このような形は、あらかじめ良好な表面圧力分布を与え、その圧力分布を示すような流線型を理論的に算出することが妥当であるという考えのもとに、同博士は好適な流線型の理論的検討を行つた。

以上のような理論的検討の結果えられた合計10種類の流線型断面について、レイノルズ数 $(0.6 \sim 1.8) \times 10^5$ の範囲でその性能の実験的確認を行い、性能の安定性、性能曲線の連続性、振動、およびピトー管係数の不変性等を比較検討した結果、第10図に示す形状が最適であることが確認された。

(b) 構造および測定方法 沼知博士が沼沢沼揚水発電所ポンプの送水量の測定に使用されたピトー管は真鍮製で、第11図(次頁参照)に示したような概略構造を有している。流線型断面は第10図のものを使用し、先端に衝撃管を特別に附加し、流線型の先端より翼弦長さの40%の位置の両側面に測圧孔を有する。流線型断面の先端では第9図に示すように、衝撃圧の値が急勾配をもつて変化するので、この点での流線型表面圧の不安定性をきらい、これをさけるために、前述のように突出した衝撃管を取付けたものである。また両側面の静圧は、これをそれぞれ別々に読みとり、その平均値をとることによつて、安定した性能をうるように理論的に検討されており、またこれに対する実験によつてその正確度が裏づけられている。また第11図に示すように、衝撃孔が突出していることにより、これが直後の流線型表面の流れに影響することをおそれて、測圧孔は衝撃孔の位置に対し、鉄管外周方向に20mm移動した位置に設けてある。また全衝撃孔はいわゆる5点法の位置にもうけてあり、他に基準静圧測定用の測圧孔が、流線型表面の管壁のきわめて近くにもうけてある。

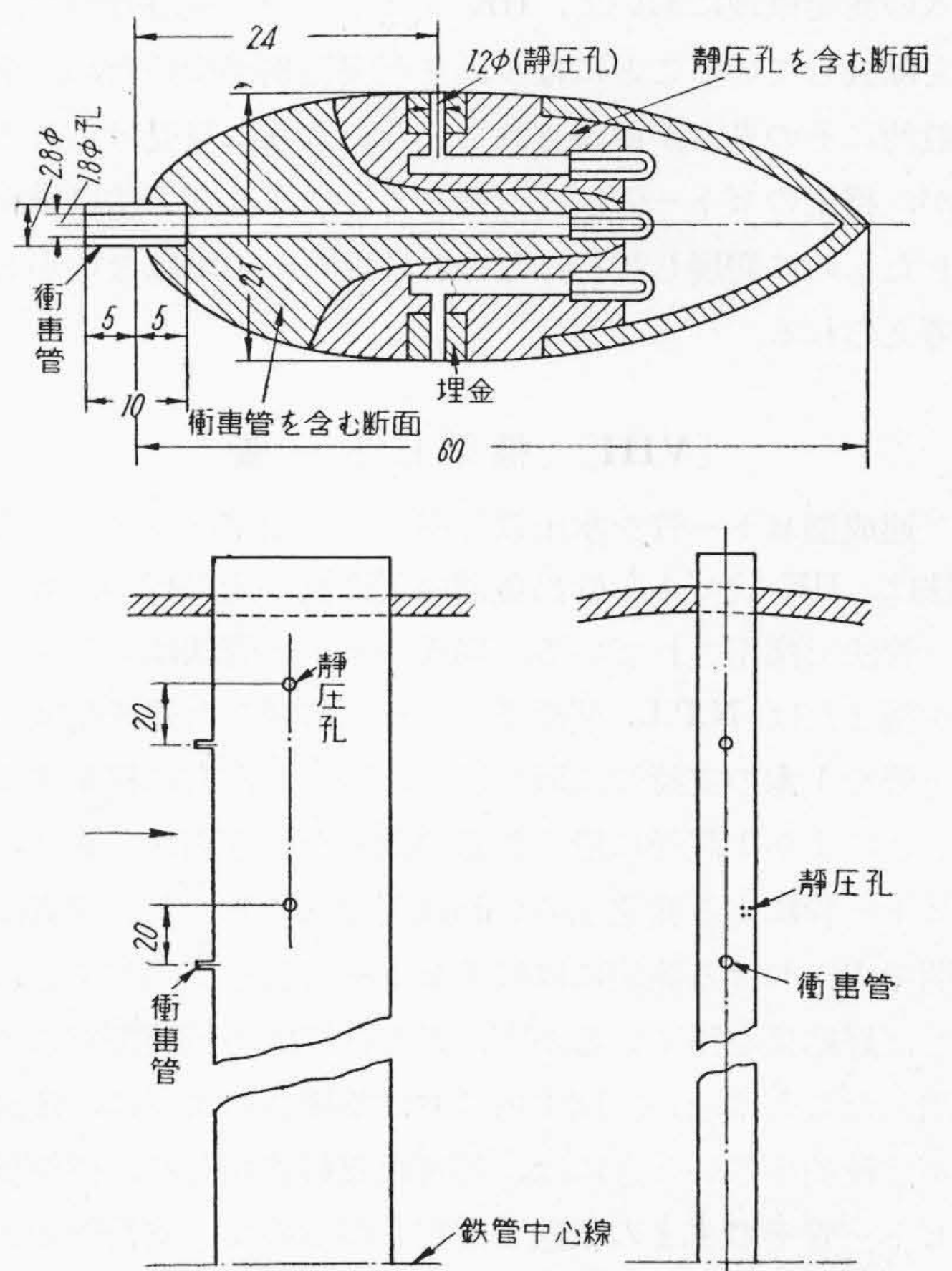
測定には、前記HK式ピトー管や、板谷管における締切り装置を使用せず、写真撮影によつて行われている。そのためにマノメータ群に特殊な工夫をこらして衝撃圧と静圧に対する水柱頭部の位置をほぼ同等水平位置に持来し、写真視野の拡大による誤差を防止してある。

(c) 流線型ピトー管と板谷管ならびにHK式ピトー管との精度の比較 すでに説明したところであきらかなように、流線型ピトー管とHK式ピトー管および板谷管との間の根本的な測定原理上のちがいは、静圧の測定に



第10図 沼知教授の研究による好適な流線型断面と圧力分布

Fig. 10. Section and Pressure Distribution of Stream Line Form Pitot Tube by Dr. Numachi



第11図 沼知博士の流線型ピトー管の構造図
Fig. 11. Structure of Numachi's Stream Line Form Pitot Tube

ある。前者では各衝撃圧測定点について、その近傍で静圧が測定されているのに反し、後 2 者では管壁またはその附近の代表的な 1 点または数点で行われている。また流れとピトー管とのなす傾斜角に対し、前者はあらかじめ十分な検討が行われているのに反し、後 2 者はそれが行われていない。第三に板谷管は円筒型ピトー管であるから、測定孔の大きさと同管の直径との比により、その特性が著るしくことなるおそれがあり、流線型ピトー管や、衝撃頭部の突出した構造の HK 式ピトー管では、このおそれがない点をあげるができる。

沼知博士は沼沢沼における測定結果より吟味して、HK 式ピトー管による静圧測定位置の静圧が、全静圧を代表するものとして計算した値は、流線型ピトー管によつて求められた流量の値に対し、 $(-2) \sim (+3)\%$ の差異があることを見出し、この差は流線型ピトー管によつて測定した管内の静圧分布は一様でなく、これを HK 式ピトー管や板谷管は一定としていることから由来しており、その度合は流量の小さいときに大きいことを見出している。またこの他についても二三の見解が発表されており、全般的には前記 $(-2) \sim (+3)\%$ よりもさらに大きい誤差を生ずる可能性があるとの見解を表明している。

以上述べたところにより、流線型ピトー管が、その根本の測定原理において、HK 式ピトー管、板谷管の欠点を除去していることになり、まだ実施例が少いため、全般的にその良さが認識されていないように見受けられるが、将来のピトー管法はおそらくこのような方法に準拠したものに発展して行かなければならぬのではないかと考えられる。

〔VIII〕 標準ピトー管

連成型ピトー管を水圧鉄管内流速の測定に使用する方法は、HK 式ピトー管出現前の天野慎一氏が行つたピトー管法で採用されている。同氏のピトー管法はプラントル型または N.P.L. 型標準ピトー管に類した連成型ピトー管を 1 本の支持管に取り付けて、これを左右に移動することにより 1 直径に沿うた点の測定を行う方法であり、ピトー管による測定法のいわば正攻法であつた。筆者は開渠内における測定には標準ピトー管群を使用してしばしば好結果を得ているが⁽⁷⁾、まだ鉄管内の流速測定に使用したことはない。開渠内における場合のように、流速が比較的小さいときには、特別な支持管なしに、標準型ピトー管そのままの状態で使用し得るので、支持管の特別な構造がピトー管性能におよぼす影響を考慮する必要がなく、性能上の補正を考慮しなくてもよいが、鉄管内では流速が大きくなり、ある程度強度的に十分な構造の

支持管を取付けねばならないため、それが測圧孔におよぼす影響を確認しないと、それだけ誤差が入ることになる。前記の天野慎一氏のピトー管も支持管が大きいため、ある程度これがピトー管係数に影響するであろうと考えられる。したがつて標準ピトー管を使用したとしても、この問題を事前に実験によつて確認しない限り、正確な結果をうることは困難であるといわなければなるまい。

連成型のピトー管ではないが、衝撃孔のみのプラントル型ピトー管を用い、静圧は管壁近くに設けられたピトー管による方法は、すでに古く兼重教授によつて試みられ、その結果が発表されている⁽⁸⁾。この試験はピトー管による我国での流量測定としては最初の試みといつてよく、当時の試験結果では現在各界で要求しているような程度の精度はえられていなかったようである。しかしこの試験は我国におけるピトー管群による流量測定法のほとんど最初の試みとして、その後の発展の端緒をひらいたものとして大きい意義を有するものであろう。

〔IX〕 総 括

以上において現在我国で大流量測定に使用されているピトー管の各型式について、その大要を紹介した。このうち HK 式ピトー管と板谷管とはその測定原理が全く同一であり、共に問題となる最重要点は静圧測定に関して入り込んでくる誤差の点であろう。したがつて根本的には HK 式ピトー管と板谷管とでは測定結果がほとんど同一になるべきであり、特に多管型 HK 式ピトー管は単に円管に小さい突起状の衝撃孔があり、板谷管では管の表面に衝撃孔があるだけのちがいであつて、全く同一と見てよい。にもかかわらず今日迄の実績によれば、両者が同一の結果を示したということは必ずしも報告されておらず、このことは測定条件や測定者の不注意による誤差が入り込む余地があまりにも多いことを証明しているといつてよいであろう。筆者の考えを以てすれば、これらの結果は、同一の注意を以てすれば、このような不一致はありえないものと考えざるをえない。

流線型ピトー管は、この点に関して欠点を解決しており、近代の精密測定に最も合致した方法であり、将来に期待さるべきものであろう。また流速方向を考慮した回転ピトー管、3 孔式および多孔式方向指示ピトー管も、方向の考慮以外は板谷管と同一であり、特に精度向上に対する直接の大きい貢献はない。また標準ピトー管の使用も支持管の影響の問題がある。

以上を総括するに、結局測定点における全圧および静圧を、共に正確に測定する方法を講じない限り、いかに細密な測定を行つても、求める流量値には、この原因に

もとづく大きい誤差が入ることはさけられず、この点を解決しておらない方式のものは、当然ある程度の誤差が入りうることを覚悟しなければならないと考えられる。この点において将来の精密なピトー管法は流線型ピトー管の思想を汲む方式に漸次移行することは当然の成行であるといえる。

最近行われた東京電機大学池谷教授の米国旅行の帰朝談⁽⁹⁾によれば、現在米国ではピトー管法は全く行われず、もっぱら塩水速度法およびギブソン法が実施されているという。その原因については特に示されなかつたが、筆者の考えでは、おそらく現行の A.S.M.E. Test Codes に採用されたピトー管法の非をさとつた一つの現われであり、帰するところは上述の測定原理上の根本の矛盾についているものではないかと推測せざるをえない。

終りに本第3部では従来の数々の著名な変形ピトー管について浅薄な筆者の知識を以て種々検討を加えてきた。したがってそれぞれのピトー管の真価に対し、あやまつた批判を犯しているかも知れぬことを最も恐れるものである。もしそのような点がありとすれば、これは専ら筆者の未熟のしからしむるところであつて、その罪に対し深く御わび申上げるものである。

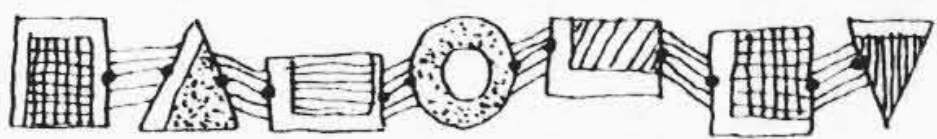
本稿でとり上げたそれぞれのピトー管の提案者各位、すなわち東京電力株式会社川崎技師殿、東京工業大学教授板谷博士、名古屋大学教授生源寺博士、東北大学教授、

同学高速力学研究所長沼知博士、東京大学教授兼重博士、ならびに天野慎一氏の各位には、平素御指導と御親交を辱うしているものであり、こゝに深く謝意を表すると共に、各権威者の提案になるピトー管に対し、粗雑な批判をあえてしたことを深く御わび申上げる次第である。

(第3部終り)

参 考 文 献

- (1) 池谷：日本機械学会誌 51巻 118～119 (昭23)
- (2) 関西電力株式会社工務部水力課：水車効率測定法基準 (昭30-5-1)
- (3) 山崎，手島：日立評論 第36巻 4号 717～721頁 (昭29-4)
- (4) 山崎，手島，田尻：“フランス水車の羽根車出口の流動状態に関する一実験”日本機械学会第31期定時総会講演会にて講演(前刷第4室17～20頁) (昭29-4)
- (5) 生源寺：九大工学彙報 第8巻第6号 (319～325頁) (昭8)
- (6) 沼知，他数氏：“流線型ピトー管と沼沢沼発電所ポンプ送水量の測定”昭28-4-4 日本機械学会第30期総会講演会にて発表
- (7) たとえば
山崎，栗須；日立評論 第36第巻10号 1462～1467頁 (昭29-10)
- (8) 兼重：“ピトー管による水車水圧管の流量測定法について”電気学会雑誌 (昭5)
- (9) 池谷：電力技術研究所水車効率試験法調査委員会席上談話 (昭30-9-22)



新 案 の 紹 介



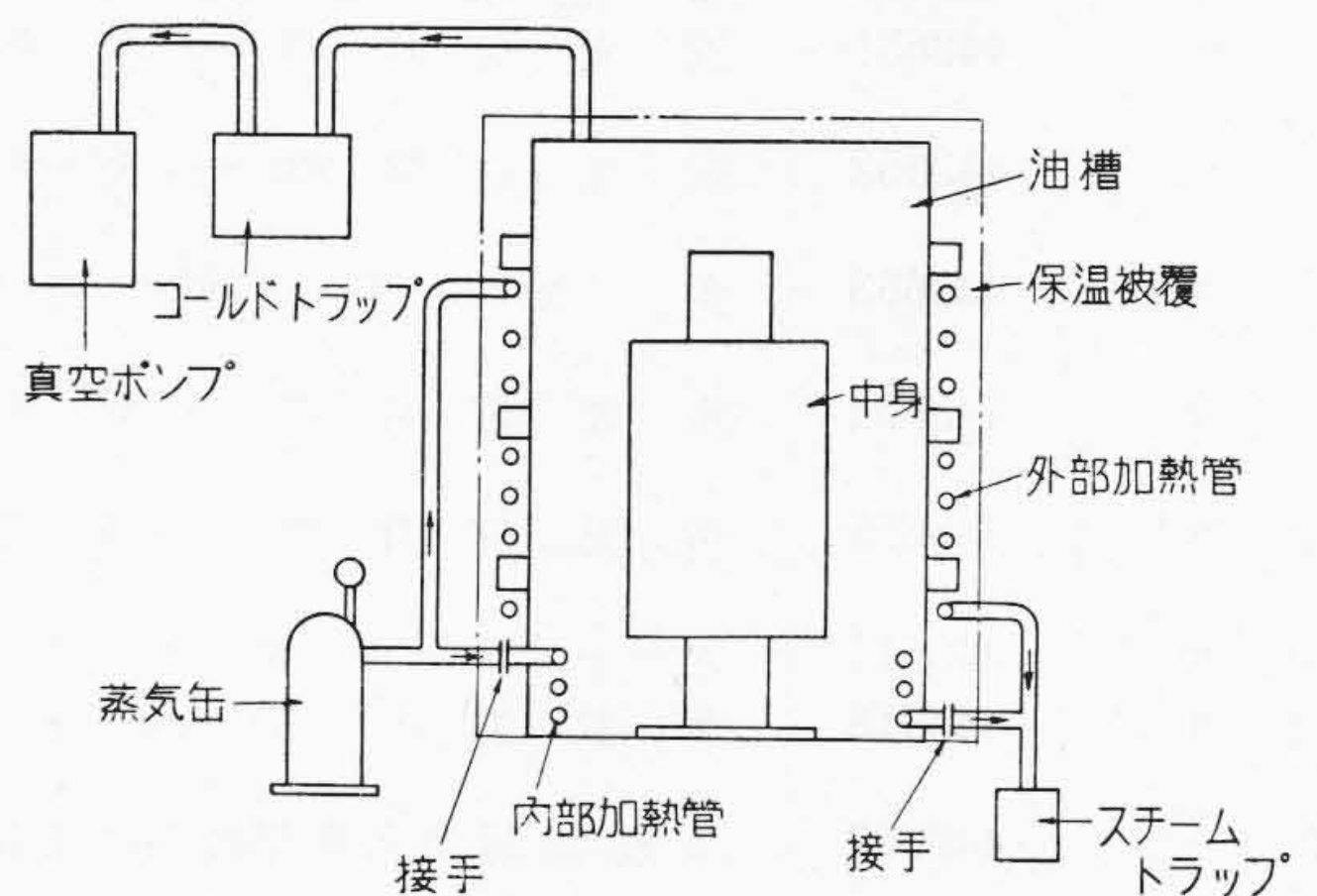
実用新案 第443619号

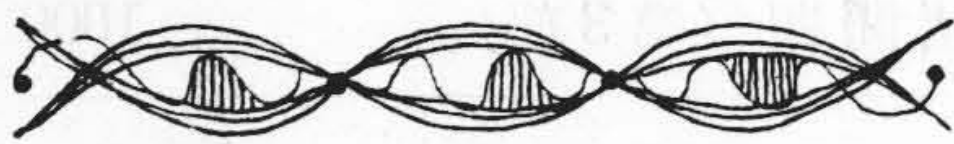
佐藤 竜司・関平 太郎
今村 直

変 圧 器 乾 燥 装 置

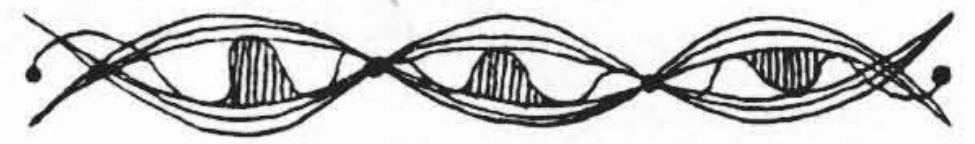
この考案は、乾燥タンクとして変圧器自身の油槽を使用し、油槽内底部に内部加熱管を固定し、外部に外部加熱管を巻き、その外側にアスベストなどの保温被覆を施し、蒸気罐より前記内外の加熱管に蒸気を通して変圧器の中身を加熱するとともに、油槽内の空気を真空ポンプで引き、油槽内の真空度を高め短時日をもつて中身の乾燥を終了し、乾燥後油槽内に絶縁油を真空注入し、外部加熱管および保温被覆を取外し、内部加熱管はこれをそのまま存置し接手に盲蓋を施すようにしたものである。

従来の乾燥法では、乾燥終了後内部加熱管を取出していたが、取出しのため油槽の蓋を開くので、取外作業中に変圧器の中身が外気に曝され吸湿する嫌いがある。しかるにこの考案によれば、乾燥終了後油槽の蓋を開く必要なく、直ちに絶縁油の真空注入を行うことができるから、作業もよいとなり、中身の乾燥状態を良好に保守することができる。(滑川)





特許と新案



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その2)

(第8頁より続く)

区別	登録番号	名称	工場別	氏名	登録年月日
実用新案	443637	電気車の電気制動自動制御装置	日立工場	高村正夫	31. 4. 28
"	443638	電気車総括制御装置	日立工場	高村正夫	"
"	443639	接触指片	日立工場	高岩室星	"
"	443640	定電圧定周波交流発生装置	日立工場	木田真正	"
"	443642	断路器空気吹付装置	日立工場	加藤清次	"
"	443644	動力操作式断路器の制御装置	日立工場	加藤清次	"
"	443650	摺動型調整器刷子短絡電流阻止装置	日立工場	小野田芳清	"
"	443613	電磁操作による切換弁	笠戸工場	金子良士	"
"	443621	巻線器	笠戸工場	角喜作	"
"	443629	熔銑鍋車	笠戸工場	三大時谷	"
"	443641	運搬車積載物自動排出装置	笠戸工場	三宮時崎	"
"	443614	液圧制水弁の緩閉装置	亀有工場	山内章	"
"	443616	コールカッタのピック脱落防止装置	亀有工場	盛中武村	"
"	443630	ワークテーブル上に載置された加工粗材の心出固定装置	川崎工場	中真田昌郁	"
"	443610	積算電力計電磁装置	多賀工場	米岡正四郎	"
"	443620	反射型電子顕微鏡における試料微動装置	多賀工場	鈴藤岡健夫	"
"	443622	誘導円板型長時限継電器	多賀工場	猿渡井三夫	"
"	443624	ホースのキャップ	多賀工場	林益子	"
"	443627	カーボンパイプル抵抗器	多賀工場	吉川三繁	"
"	443645	ポットモータ取付装置	多賀工場	城宝為治	"
"	443647	偏光板回転角度指示装置	多賀工場	橋本正勝	"
"	443632	分析用自動洗滌装置	亀戸工場	野崎藤月	"
"	443634	直付用蛍光灯器具	亀戸工場	望鈴川木村	"
"	443635	蛍光灯用ソケット	亀戸工場	鈴西岡村	"
"	443636	蛍光灯用ソケット	亀戸工場	川崎信松	"
"	443646	放電灯点灯装置	亀戸工場	野崎松郎	"
"	443648	放電灯直流点灯装置	亀戸工場	野崎松郎	"
"	443649	放電灯直流点灯装置	亀戸工場	野崎松郎	"
"	443651	蛍光灯群の一斉点灯装置	亀戸工場	鈴西岡村	"
"	443652	蛍光灯群の一斉点灯装置	亀戸工場	鈴西岡村	"
"	443653	蛍光灯点灯装置	亀戸工場	鈴西岡村	"
"	443654	蛍光灯群の一斉点灯装置	亀戸工場	鈴西岡村	"
"	443655	蛍光灯群の一斉点灯装置	亀戸工場	鈴西岡村	"
"	443611	タンススタイル空中線	戸塚工場	古谷勝美	"
"	443618	多数共同加入電話装置	戸塚工場	江森英次郎	"
"	443625	多数共同加入電話における話中表示装置	戸塚工場	大田島喜平太郎	"

(第35頁へ続く)