

大流量測定法としてのピトー管法に関する諸問題

(第2部)

—ピトー管法の精度に関連する共通の問題点(その1)—

…主としてピトー管係数に関する問題…

Practical Problems in Regard to Pitot Tube Method for the Measurement of Large Water Discharge (Part II-1)

山崎卓爾*

内 容 梗 概

第1部では大流量測定法としてのピトー管法の全般について概説したが、本第2部では、ピトー管法の精度に関連する共通の問題点についてのべることをし、本稿(その1)では、そのうち主としてピトー管係数についての見解を明らかにし、試験実施の参考に供せんと考えた。すなわちいかなるピトー管といえどもピトー管係数の確認は絶対必要であることを強調するとともに、とかく衝撃孔係数をピトー管係数と誤認する傾向あることを指摘し、いかなる形式のピトー管といえども衝撃孔と測圧孔の両者の組合せについてピトー管係数を決定し、A.S.M.E. Test Codes に示されたような形で考慮すべきであることをのべた。

しかしこのような係数はもともと実験的な結果にもとづくものであり、流れの状態によつて相当大きい差が現れることは容易に考えられるところで、かつ流れの方向とピトー管の方向との不一致の場合にも、当然誤差が入り、その他衝撃孔の大きさも測定値に大きい関連があることをあきらかにし、これらの全般を眺めるとき、ピトー管法の精度の向上がいかにむづかしいことであるかが窺い知られ、ピトー管法の本質的な精度の限度に対し大きい不安があることをのべた。

〔I〕 緒 言

すでに第1部⁽¹⁾で述べたように、ピトー管による流量測定法においては、測定計器たるピトー管自身の特有の構造寸法などに起因する固有な問題点があるとともに、ピトー管測定法に共通に、測定条件に関連して起る問題がある。これら両者のうちには確然と区別し得るものもあるが、互に影響し合つていて複雑な形態で起るものもある。

この第2部においては、これらの共通な問題点について、なるべく具体的に、実際の発電所における試験に際し、考慮の参考になるような取扱いかたで述べてみることにした。

本稿ではそのうち特にピトー管係数に関連した問題点を主にして述べた。

〔II〕 ピ ト ー 管 係 数

ピトー管は測定計器であるから、その特性を示す固有の特性係数が存在しなければならない。一般には第1部〔II〕でのべた(1.2)式

$$h_v = K \frac{v^2}{2g}$$

のように係数 K を伴い、この係数をピトー管係数といっている。この係数の意味は、ピトー管で求められた速度水頭 h_v が、真の速度に対する速度水頭 $v^2/2g$ の大き

さに対し、いくばくの割合を示すかを現わすものであつて、係数 K はピトー管の形状、構造および寸法などによつてかわり、正確には一々実験検定によつて決定されるべきものである。

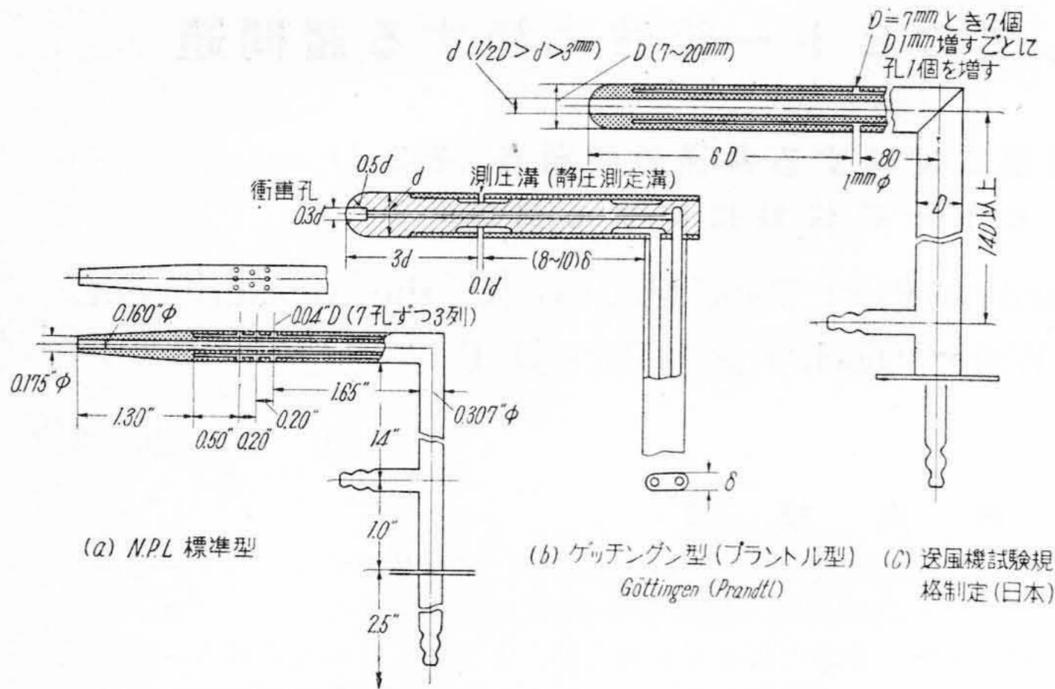
しかし実際にはこの検定はその設備がきわめて精密なものでなければならぬため、どこでも簡単に行うというわけには行かない。それで一般的な用途のものに対しては、まずその係数が1になるような構造寸法のものを実験によつて見出し、これを標準ピトー管とし、これと同一形状および同一構造のものはその係数が1であると見なして使用する手段がとられている。

このような標準ピトー管として規格化されたピトー管に、すでに述べたN.P.L.型ピトー管およびプラントル型ピトー管などがあり、また我国では送風機試験規格において、前記両者の型式の折衷的な標準ピトー管が制定されている。

これらのピトー管はいずれも、その衝撃圧と静圧を1箇の計器に兼ね測定せしめる連成型のものについて、その方向が完全に流れの方向と一致したときに、係数が1となることを実験結果にもとづいて約束しているものであり、これよりも測定条件が変れば、かならずしもその係数が1とはならないわけである。

第1図(次頁参照)はこれら3種の標準ピトー管の構造寸法を示すものである。これらの図でわかるように、標準ピトー管では支持棒の太さの寸法または、その太さとピトー管測圧孔(従来の慣習にしたがい静圧測定孔を以

* 日立製作所日立研究所



第1図 標準ピトー管の種々
Fig.1. Various Types of Standard Pitot Tube

下測圧孔と称する)の位置までの長さとの関係寸法をも規定している。このことは、その測圧孔に現われる静圧が支持棒の影響をうけることを考慮して、その全体を含めてのピトー管係数が1となることを実験的に決定しているものであることを示す。したがって単に頭部のみを厳密に一致せしめても真の値を示さなくなることに注意しなければならない。

以上は一般的に標準ピトー管を例にとつてピトー管係数を説明したのであるが、大流量測定に使用されるピトー管の場合でも、もし標準ピトー管を使用するとすればその構造条件に合されなければならないし、それ以外の構造のピトー管であれば、絶対検定または標準ピトー管との比較検定によつて、ピトー管係数をあらかじめ決定して使用しなければならない。

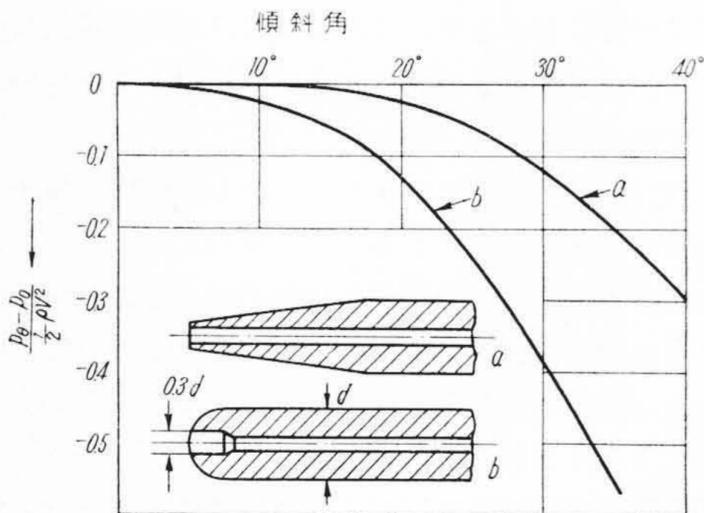
ここで気付くことは上述の形式のピトー管は、いずれもその衝撃圧と静圧を連成管として測定する場合でありこれについてはピトー管が正しく流れの方向と一致した場合にのみ係数を1として使用しうることが指定されて

いることである。この指定の意味はその大部分が静圧測定孔の方向特性の変化のはげしいことに対する考慮にもとずいているものである。すなわち衝撃孔に対しては、頭部の形状がはなはだしく異形でない限り、あまり流れとの方向の一致を厳密にしなくとも、特性としての変化は大きくないことが古くから知られている。しかしこれも頭部の形状および孔の径の割合によつて多少ことなることは当然であり、これらの傾向は第2図および第3図に示した例によつて窺い知ることができる⁽²⁾。これらの図よりみて、孔の径および頭部の形状を適当に選ばれば、流れの方向となす角度が10°以上まで、ほとんどその特性係数が変化しない

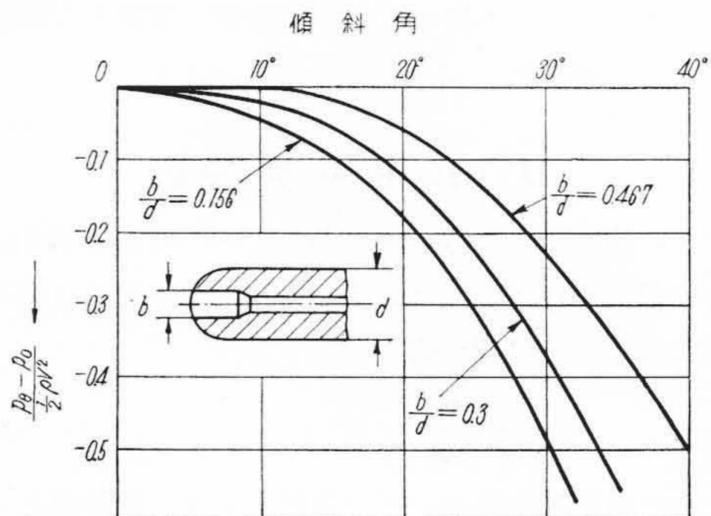
ようにすることは決してむづかしいことではないことがわかる。

以上のように衝撃孔に対しては少しく考慮を払えば、特性の変化をさけることができるが、測圧孔に対してはわずかの方向変化でも十分大きい差が生ずることを忘れてはならない。ピトー管の使用に際し流れの方向とピトー管の方向を一致せしめなければならないことが常に強調されるのは、この測圧孔の特性にもとづくものであつて、第1部において述べた JEC-117 および A.S.M.E. Test Codes のいずれもが、それに対しては格段の注意を払っているのは、当然であると考えられる。

また現在大流量測定に使用されるピトー管では、1, 2の特別に考慮されたものを除いては、ほとんどすべて衝撃圧をうける衝撃管のみを流体中にさし込んで、その値を求め、静圧は管壁にもうけた測圧孔または管壁の近くに、特に測圧管(従来の慣習にならい静圧測定管を測圧管と呼ぶ)を取付ける方法をとるのも、上述のむづかしさを避けるためであると考えてよい。



第2図 ピトー管頭部の形状と方向特性
Fig.2. Direction Characteristics Varied by the Shape of Pitot Tube Head



第3図 ピトー管の衝撃孔径と方向特性
Fig.3. Direction Characteristics Varied by the Diameter of Impact Hole of Pitot Tube

しかし前述の考えかたからすれば、理想的には静圧は衝撃圧を測定した各点において、標準ピトー管を使用したような方法で測定すべきであるが、もし静圧を管壁附近の値をもつて代表せしめるとすれば、管壁に設けた測圧孔によるのがよいことがわかる。たゞ管壁は比較的凹凸が多く、ことに古い水圧鉄管では錆のため平滑でなくなっている場合が多く、この場合のやむをえざる手段として、測圧管をさし込むことも、場合によつては許されなければならないと解すべきであろう。実際問題としては、筆者らの実験室内での経験によれば、きわめて注意して仕上げられた平滑面でない限り、正しい静圧を示す孔を管壁に設けることははなはだむつかしく、この意味では測圧管の挿入にも大きい利点があるといわなければならない。このことについては後に述べる機会があるであろう。たゞし測圧管の挿入に当つては、測圧管が正しくその部の流れの方向に対して取付けらるべきであつて、単に鉄管軸に平行な方向に取付けるといふ考えかたは是正さるべきであると考えられる。

さてつぎに現在一般に行われている衝撃圧と静圧とを別個に測定する方法の場合では、ピトー管係数をいかに取扱つたらよいであろうか。つぎにこれを論じて見よう。

一般にこのような構造の場合に、そのピトー管係数が問題であるという疑問に対し、ピトー管の検討を要望することは当然であるが、これに対し衝撃管の検定を行うことをもつて足れりとするように考えているむきがあるように思われるが、これは全く無意味である。なんとなれば、前述のように衝撃圧力の測定に対しては、頭部が極端に異形でない限り、ほゞその指示値は1に近いものであり、問題ありとすればその方向特性であるが、これも角度の範囲が小さければ(実際の多くの場合これははなはだ小さいことは後述する)大きい影響がないことはあきらかであつて、これについてたとえ検定を行つても、おそらくその係数が1よりあまり遠ざかつた値とならないことは容易に推定しうるところであるとともに、この係数自体はピトー管の特性を示すいわゆるピトー管係数ではないことを忘れてはならない。すなわちわれわれが普通ピトー管係数といつてゐるのは、衝撃孔によつて測定した全圧と測圧孔によつて測定した静圧との差たる動圧の真の速度水頭に対する割合を示す係数であるから、上記のようにして全圧の割合がわかつたとしても、静圧のそれがわからなければピトー管係数は求まらない筈である。しかるに管内静圧は一般に管断面全体にわたつて一様ではありえず、場所によつてことなるのは当然であり、これを管壁またはその附近の値で代表するのであるから、これと全圧との差に対しては当然なんらかの固有の実験的係数がなければならぬ筈であり、これがピト

ー管係数であることは連成管の場合と比較して考えればあきらかである。いゝかえれば、このような測定法では、衝撃管と測圧管とを含む管路自体が1箇のピトー管を形成しているとみななければならない。したがつて前述のようにピトー管の衝撃管に関する係数を求めることは、ピトー管係数を知ることにはならないのであり、この点考えちがいされることのあるから特にこゝに強調した次第である。

[III] JEC-117 における考えかた

前述の両規格のうち、JEC-117ではこれに対しつぎのように考えている。すなわち同規格では管壁における測圧孔の位置に制限を加えて、衝撃管との組合せに対して係数を1とすることをとりきめているが、これらの衝撃管の構造が規格とことなつた場合は実験によつて求めるとしており、測圧孔に対しては特にそのような考慮を払つていないのは、上述のような両者の組合せがピトー管であるという考えかたが認識されていない結果によるものと考えてよいであろう。したがつてこの規格によれば衝撃管の係数検定を正しく行えば、正しい値をうるというあやまちを侵すことになる。

[IV] A. S. M. E. Test Codes における取扱かた

一方 A.S.M.E. Test Codes では、さきにも述べたように衝撃管の構造寸法および測圧孔の位置構造を指定して、これ対してピトー管係数を決定している。その係数は(1.3)式(第1部)に示されている通りで、結果としては平均流速 V_a に対する速度係数の形となつてゐるが、上述の意味ではあきらかに、このような衝撃管と測圧孔の組合せに対する一種のピトー管の特性に附随した係数である。

米国では前記(1.3)式中の C の値をピトー管係数と呼んでいるようであり、前にわれわれがピトー管係数として定義した K の値とはことなつてゐるが、 K と C との間にはつぎの関係がある。

$$(1.3) \text{ 式は } Q = CV_a A \dots\dots\dots (1.3)$$

であるから

$$V = CV_a \dots\dots\dots (2.1)$$

となり、これに対し V_a は

$$V_a = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots (2.2)$$

こゝに h はマノメーター指示

であるから、(2.1)式は

$$V = C\sqrt{2gh}$$

すなわち

$$h = \frac{1}{C^2} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.3)$$

となり、(1.2)式(第1部)と比較すれば

$$K = \frac{1}{C^2} \text{ あるいは } C = \sqrt{\frac{1}{K}} \dots\dots\dots (2.4)$$

となる。すなわちCはいわゆるピトー管係数の逆数の平方根である。

さて A.S.M.E. Test Codes におけるCの値はなにに基づいているかについては、今日のところ明確ではないようである(現在日本機械学会水車分科会よりA.S.M.E.に問合せ中であるが、本稿脱稿までには筆者はその回答について情報を聞きえなかつた)。ただ筆者らが文献調査を行ったところによれば、つぎの事柄があきらかになった。

それによればこの係数の提案は E. Shaw Cole⁽³⁾ によつて行われたと思われる。すなわち第4図に示すように Cole は自己、Pardoe および Gregory の3者の発表した data をまとめて、これらが Pipe factor すなわち (平均流速)/(中心流速) の比の値と直線的な関係にあることを示している。しかもこれはピトー管の構造寸法のいかんを問わず、それが衝撃管と管壁における測圧孔との組合せからなるような方式のものではすべてこれにしたがい、しがつてこの現象は単に管内の流れの状態すなわち流速分布および圧力分布によつてのみかわるものであることをあきらかにしている。

この結果に対し、L.F. Moody⁽⁴⁾ は非常に強い関心を示し、A.S.M.E. Test Codes への貢献は大きいであろうと賞讃している。

しかし第8図にみるように、この結果の発表後10年を経た1949年の A.S.M.E. Test Codes では、Cole の提案した値とはわずかながら異なる値を決定している。また Daugherty と Ingresoll はその著書⁽⁵⁾のうちで、L.F. Moody が

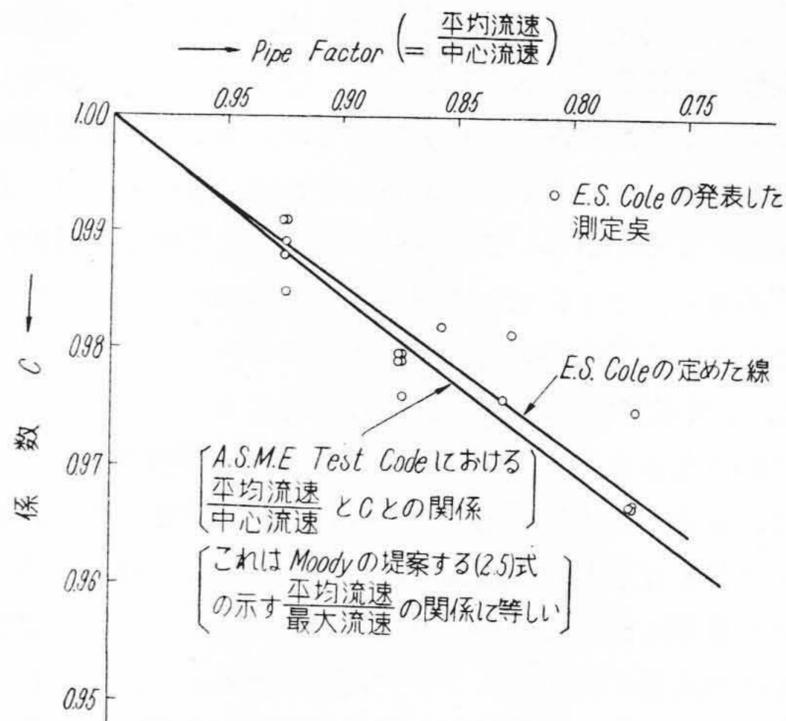
$$Q = CV_a A \dots\dots\dots (1.3)$$

におけるCの値として

$$C = 1 - 0.15 \left(1 - \frac{V_a}{V_{max}} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

ここに $\frac{V_a}{V_{max}} = \frac{\text{平均流速}}{\text{最大流速}} = \text{鉄管係数 (Pipe factor)}$

なる式で表わされることを、その論文に発表していることを報じている。筆者は L.F. Moody の論文⁽⁶⁾をみていないので、(2.5)式がいかなる経緯をもつて作られたものかをつまびらかにしないが、この式の与える値は Test Codes における数値と全く同一の値を与えるものでありたゞその Pipe factor として一は(平均流速/最大流速)他は(平均流速/中心流速)であることのみがらがつている。これについては Daugherty および Ingresoll の著



第4図 Pipe factor と係数 C の関係
Fig. 4. Relation between Pipe Factor and Coefficient C

書の誤記か否か不明であるがいずれにしても Cole の示した直線と、Moody の示した関係あるいは Test Codes の与えるCの値は Pipe factor 0.80 において約 0.2% 以内の差であることを思えば、第4図の実験点の散在度からみてこの差は全く問題にならぬ大きさであるといつてよいであろう。だゞ Pipe factor のうちに中心流速をとるか最大流速を取入れるかは大きいちがいを生ずるところであるが、Cole の原提案が中心流速をとつていることからみて、その方に真実性があるものと考えてよいであろう。

中心流速をとることの意味は、断面内の一直径のみについて流速分布を測定することなく、かならず二直径以上で測定する建前をとつている A.S.M.E. Test Codes としては、中心流速はすべての直径に添うての測定値に共通であるから、この方が規準として好ましいことはあきらかである。またこのような構造のピトー管では、ピトー管係数は、流速分布のちがひ、すなわち本質的には流動流体の乱れの大きさに原因すると考えられるところから、多くの流速分布の形状からみて、中心流速がその乱れの平均的な値と関連した値を与えると推定することはあながち無理とは考えられない。したがつて中心流速をとることはこの両方面よりみて、はなはだ意義深いものがあるであろう。

つぎにこゝで実際の流速分布について考えてみよう。

一般にわれわれが管内の流速分布を考える場合には、中心部流速が最大であるような流れを考え、また多くの場合このような流れが正常である(第5図(a))。しかし現地発電所の水圧鉄管では、ちょうど中心部が最大流速とはならず、多少かたよることが多い(第5図(b))。しかしこのような場合はよく選定された場合においてえられ

るものであり、一般に遭遇するたとえば同図(c)のようにはなはだしいかたよりを示す場合があり、また同一の場所でも測定する直径のえらびかたにより同図(d)のようになることは決して珍しくない。

Cole が第4図の発表で示した測定点は、このうち主として(a)および(b)に示したような形状の流速分布を持つものを対象としたものようであり、(c)、(d)のような流速分布の場合にもこの結論が適用しうるか否かは、はなはだ疑問であるといわなければならない。(c)のような場合には管内全体の流速の値はその平均値に対して、はなはだしい差を持つものであり、

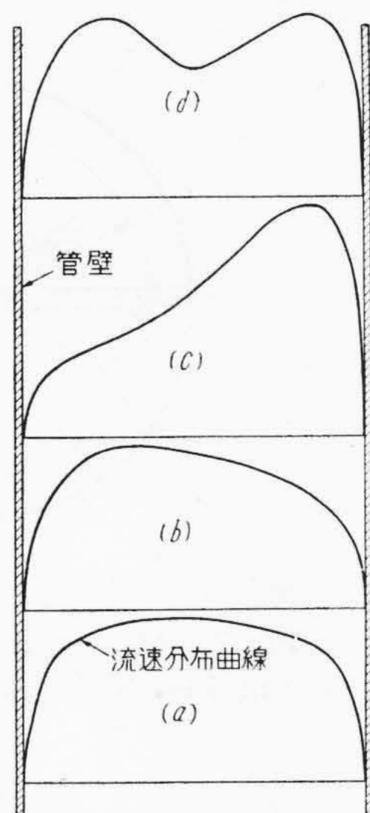
(a) および (b) の場合に比して乱れの条件はきわめてわるくなるのではないかと考えられる。また (d) の場合にははなはだしい測定例では中心流速は平均流速よりも小さくなることもあり、しかも複雑な分布をしているところから、乱流の度合は単に中心流速と平均流速の比によつてのみかわるとは考えられないであろう。

このような場合、上記のピトー管係数をいくらにとるべきかは簡単には決定しえないと考えられる。

第4図の Cole の発表した測定点の散在度からみて、この係数には $\pm 0.5\%$ 以上の誤差がつきまとつていることはあきらかであるが、もし上述の第5図(c)、(d)などの傾向の流速分布のものにまで適用しようとする、この誤差はずつと大きくならなければならないものと思われる。

以上少しく詳細に、その内容にわたつて検討したが、こゝで述べた衝撃圧のみを直径にわたつて測定し、静圧は管壁またはその附近の数点において測定する方法は、現在我国で最も広く採用されている方法で、後述の板谷管、HK式ピトー管もこの理にもとづくものであり、したがつて当然こゝで述べたピトー管係数を採用すべきであることをあきらかにする目的で、特に詳述した次第である。たゞ上述のようにこの係数自体に不確実な面が多分にあり、これはピトー管法にとつて致命的な疑点であると考えられることは、同法にとつてまことに遺憾であるといわなければならない。

なおこれに関連して Hubbard⁽⁷⁾ は上述のようなピ



第5図 管内流速分布の種々の形状

Fig. 5. Various Distribution of Flow in Pipe

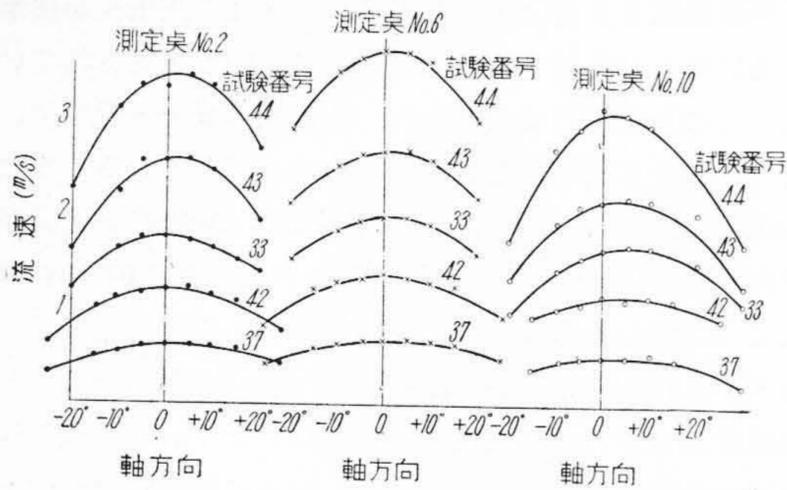
トー管係数を必要とする原因は、もつぱら測圧孔が衝撃孔とは離れた管壁またはその附近において測定されていることによるものであるから、連成型のピトー管では、この係数は不要であることを実験的に示している。また Cole も自己の提案するピトー計(Pitot meter)が連成型であり、これについて実験してもこのような Pipe factor によつてかわる係数には、無関係であることを述べている⁽³⁾。これらのことから、連成型すなわち、衝撃圧および静圧をあまりはなれた距離におかないピトー管方式では上述の考慮は不要であることは、ピトー管の精度の向上に対し希望をいだかせる重要な事柄であると思う。

以上で一応ピトー管係数の本来の意義についての論を終ることとする。ピトー管に関しては古来きわめて多くの研究がなされており、これらを紹介することは大きい意味を有するものであるが、あまり長くなるので、一応これで終ることとする。

[V] 流れの角度がピトー管におよぼす影響

ピトー管は元来正しく流れの方向に向うときに、はじめて正しい値を与えることは最初に述べたところであるが、さらに立入つて考えると、ピトー管頭部に設けられた衝撃孔については、その頭部の形状を適当に選ばば相当大きい角度までは、その方向性を鈍感にし、正しい方向のときの値とかわらない値をとらせることができる。これらの関係はすでに第2図および第3図に示した。両図によつて大略の傾向をしらべると、尖端の平らな面に、面の大きさに比して比較的大きい孔を有する場合には、角度の影響は 10° 附近まではほとんど感じられず、反対に尖端の丸い場合には比較的敏感であり、ことに孔径がピトー管径に比して小さい場合は、角度に対して敏感であることを示している。これらのことはすでに多くの文献にもみられるところであつて、特に異とするところではない。

しかし我国で板谷管と称されている多孔式円筒型ピトー管では、円管の表面に小孔をあけて衝撃圧を測定せんとするものであるから、ピトー管軸の方向(すなわち流れに直角な方向)には平面に孔があるとみてよいが、ピトー管の周方向をみると丸味のある頭部と同様な影響が残されているわけであり、この意味から角度に対して鈍感であるといふ切れないところである。沼知教授⁽⁸⁾は流線型ピトー管の作製に当つても、このことを考慮されて、衝撃に対しては、流線型の頭部に特に衝撃管を付している。板谷管に対してもこのような考慮が当然払われるべきではないかと考えられる。HK式ピトー管はこの点特に突出した衝撃頭部を付しているのは賢明であるとみることができる。(これらについては後述する)



第 6 図 直径 1.65 m の実発電所水圧鉄管内の流れの方向の測定結果

Fig. 6. Test Results of the Direction of Flow in Actual Penstock of 1.65m Diameter

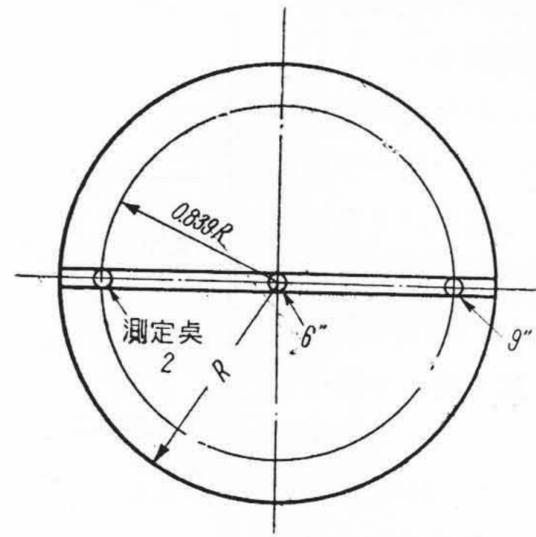
しからば実際にはどの程度の角度をもって水がピトー管に当たるかということになるが、この点についてははっきりした現地試験結果がえられていないので不明であるが、従来測定が行われている上流曲管部よりある程度以上(鉄管直径の10倍くらい)離れた位置では、多くの場合 5° 以内であり、まれに 10° 程度になることもあると考えられる。

第 6 図は筆者らが鉄管直径 1.65 m, 上流曲管部より 49.71 m (=30D) の位置の測定点でえた実発電所での測定結果である。この測定は一直径にさし込んだ多孔式円筒型ピトー管をその軸線のまわりに回転して、その各位置ごとに附属マノメータの読みをとった値を、回転角度(鉄管中心線とピトー管体とを含む平面に対する)について描いたものである。この結果によれば 30D という距離では、ピトー管に当たる流れの角度はほとんど見出せない程度である。なお第 7 図は第 6 図の各群の測定点位置を示している。

第 8 図は大直径の鉄管における測定結果の一例である。この測定では直交する 2 直径に板谷管を挿入し、前述と同様に、これらをそれぞれ回転して、各管の対称 2 点において測定している。このときの測定点は上流曲管部より 9.66D の位置にあつた。この結果では測点 2 および 4 すなわち管路の下半部における流れはある程度の旋回度を示しているが、上半部の測点 1 および 3 では旋回度をみとめない。全般的には 10° 以内の旋回度ということができる。

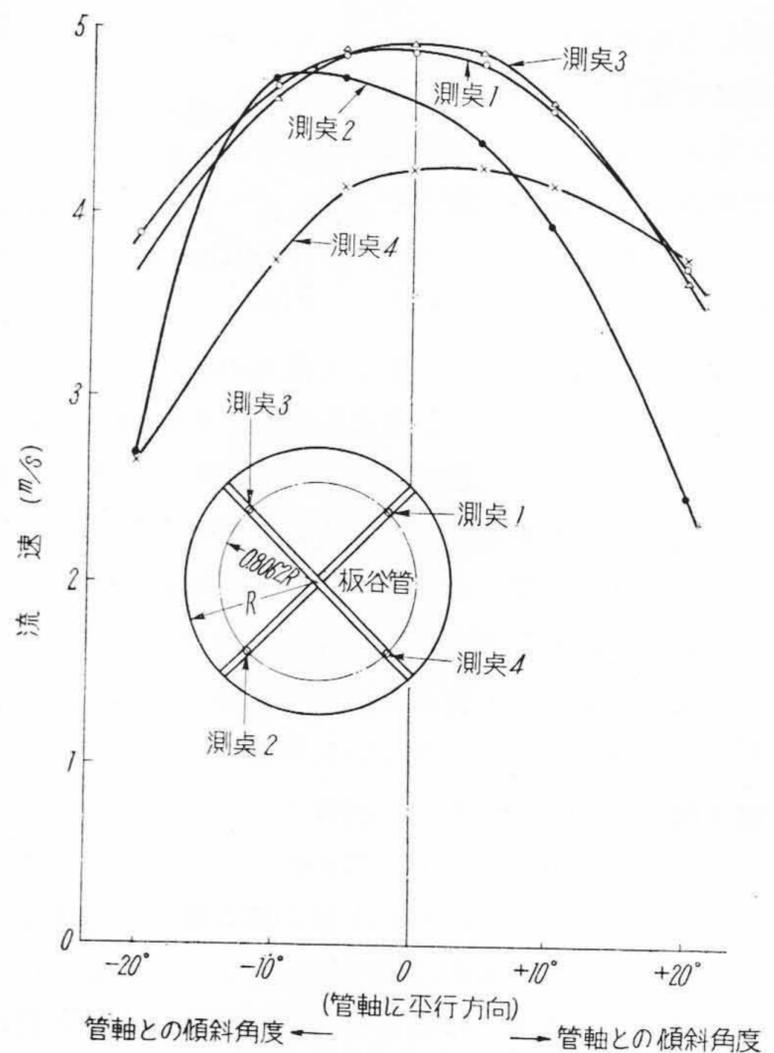
以上のように旋回度は上流曲管部よりの距離によつて多少ことなるが、一般に採用される位置(上流曲管部などより 10D または 20D 以上の位置)では 10° 以上になることはまずないとみてよいであろう。

さてわれわれが欲しているのは、鉄管内における軸流速度であり、流量は(軸方向分速度)×(鉄管断面積)として求められるわけである。しかるに方向性の鈍感な



第 7 図 第 10 図の測定点位置

Fig. 7. Measured Position in Penstock of Fig. 10 Tests



第 8 図 大直径水圧鉄管内の流れの方向の測定結果の例

Fig. 8. Test Results of the Direction of Flow in Large Diameter Penstock

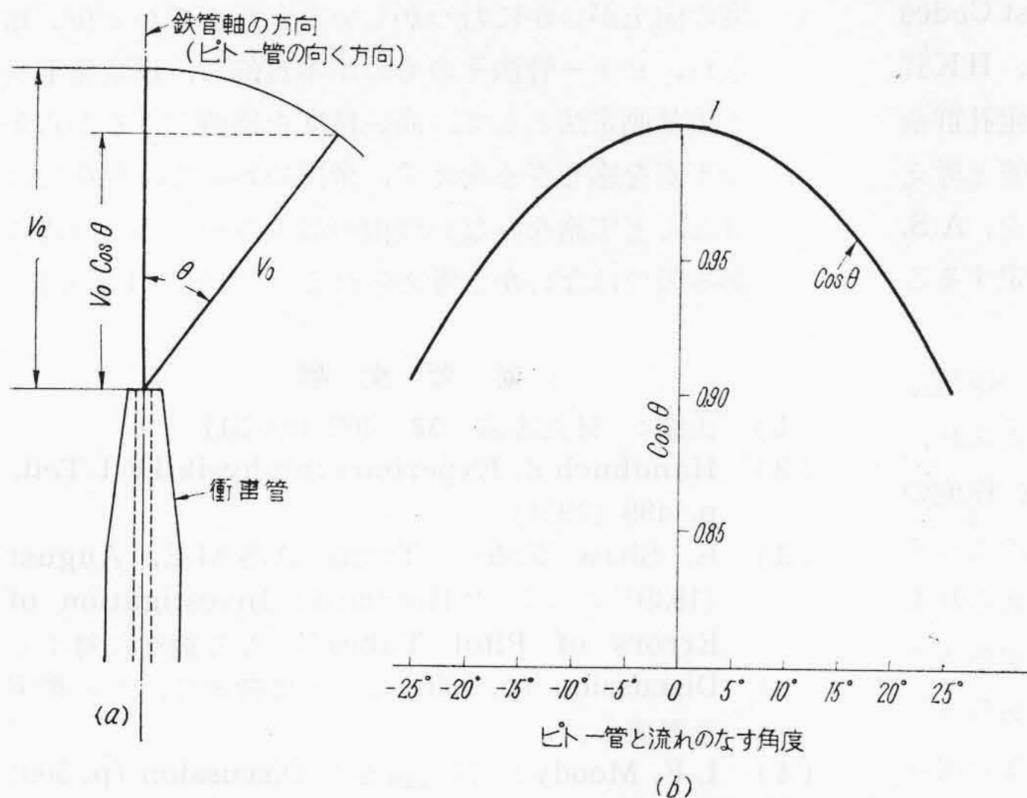
なわち第 2 図(a)のような衝撃管を用いると、流れの旋回角度 10° までは、第 9 図(a)に示すように旋回角度をもちながらピトー管に当たった場合に、 V_0 の値をそのままの大きさで、正面からうけたと同様に感ずることになる。したがって流量は、鉄管断面積を A とすれば

$$Q = V_0 A$$

となる。本来の流量は前述のように

$$Q = V_0 \cos \theta \cdot A$$

となるべきであるから、このような方向に対して鈍感な



第9図 ピトー管と水流方向のなす角度と測定値の関係
 Fig.9. Effect of Angle between the Direction of Flow and Pitot Tube to the Measured Value

衝撃管を使用すれば、流量を多く読む結果となることはあきらかである。A.S.M.E. Test Codes や JEC-117 の規定による衝撃管はすべてこのような形式のものであるから注意を要する。

以上のことからピトー管の衝撃管として最も正確な値を与えるものは、衝撃管の特性が第9図(b)に示すように、角度 \$\theta\$ によるピトー管特性の変化を $\cos \theta$ ならしめるようなものが最も正確であり、第9図(b)の曲線より上の値を示すものは流量を大きく、下の値を与えるものは流量を小さく読むことになることはあきらかである。このような考えかたにもとづく特性を持たせた流速測定計器に、有名なオット流速計があり好評を博しているようであるが、ピトー管としてはまだこのような方針をとり入れたものはないようである。

しかし前述のように一般の現地測定では、その位置を適当に選べば 10° 以内の角度にすることができ、 $\cos 10^\circ$ は 0.9848、 $\cos 5^\circ$ は 0.9962 であるから、 10° の場合 1.5%、 5° の場合 0.4% の誤差が生ずることになり、多くの場合 1% 以内の誤差範囲内にあるということが出来る。しかもこれは鉄管断面全体に対して1部分のみであろうから、全流量としてはさらに小さいものとなる筈であり、極端に厳密を要求されない限り、特にこのことを考慮するには当らないと思われる。しかし最近の傾向は 0.1% すらも問題にするほどの段階に立ち至る場合も多く、このようなときには当然問題となることであろう。

[VI] ピトー管の衝撃孔の大きさと方向性

第3図によれば衝撃孔の孔径とピトー管径の比によつ

て方向性がいぢるしく変わることがわかる。傾向としては、管径に比して孔径が大きい程方向の差による差が現われないうことができる。しかしこれは標準ピトー管のような形状のものについてであつて、板谷管やHK式ピトー管の衝撃孔の場合には同日の論ではないであろうが、少なくとも原理的には同様と見てよいであろう。板谷管は円筒型ピトー管と同型であり、円筒型ピトー管に関しては、孔の径と管径とに関して研究した沼知博士の研究⁽⁹⁾はあるが、実発電所で使用されるような大径の管体に小孔を持つようなものについてはつきりした数値はまだないように思われる。

以上は主として衝撃管について述べてきたが、ピトー管としては測圧孔との組合せの性能が問題となるわけであり、標準ピトー管のような連成管では、連成管としての

角度特性を確実に掴んでおかなければならない。また衝撃圧と静圧を別箇の位置で測定する方式では、両者を含めた構造に対し、角度特性を決める必要がある。

これらのことは、いずれにしても技術的にははなはだむつかしいことであるが、これを怠れば当然結果の精度を落すことになり、この点がピトー管法における最大の難点の一つといふことができよう。

最近米国に旅行された東京電機大学池谷教授や、日立製作所小森谷亨氏の視察談によつても、A.S.M.E. に前述のように確立された規格があるにもかかわらず、ほとんどピトー管法が使用されない一つの大きい原因もこの辺にあるのではないかと推察される。

[VII] 総 括

本号では主としてピトー管係数に関する問題についてしらべたが、こゝでこれらの点を一応まとめてみると、つぎのようになうことができよう。

- (1) いかなる構造のピトー管であつても、なんらかの方法によつて(標準ピトー管や既検定ピトー管との構造寸法の相似性の利用や、絶対検定、比較検定など)ピトー管係数を確認しなければ、使用すべきでないことは当然いえるところである。
- (2) ピトー管係数は全圧、静圧の両者の読みの差と流速との関連において決定さるべきであり、従来やゝもすると全圧孔すなわち衝撃孔についての検討のみを重視する傾向があるのは、厳に戒しめらるべきである。
- (3) 衝撃孔および測圧孔が全く別々の位置に設置さ

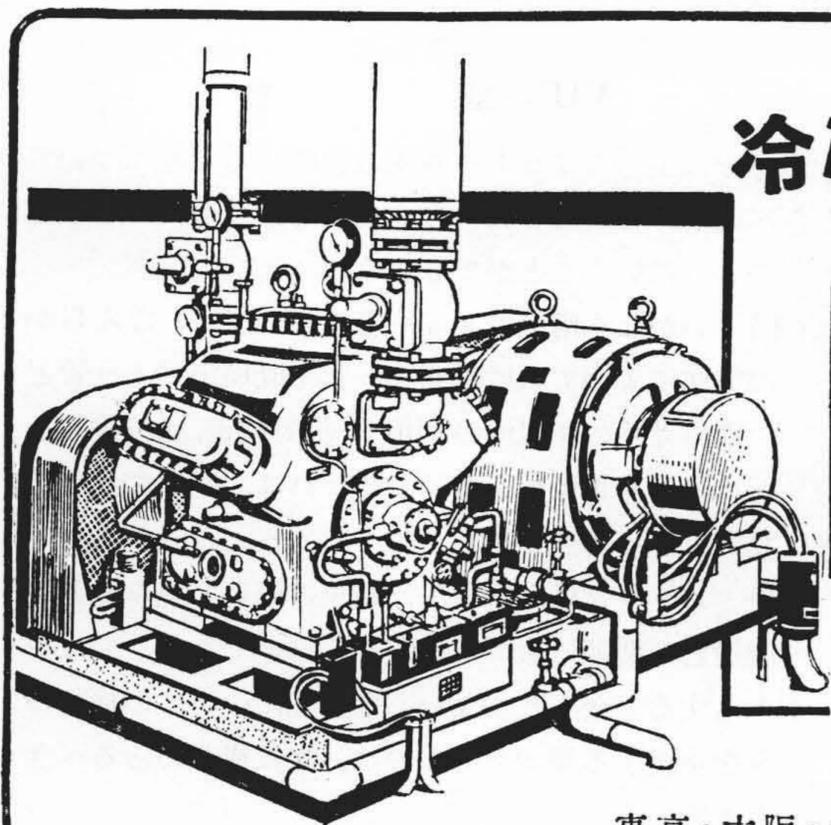
れているピトー管,すなわち A.S.M.E. Test Codes に制定された形式のものや, 我国の板谷管, HK式ピトー管のごとき測定方式のものでは両測定孔群全体を含めた測定部管路自体を1箇のピトー管と考へて, そのピトー管係数とも称さるべきものを, A.S.M.E. Test Codes のような形式として決定することが最も妥当であると考えられる。

- (4) A.S.M.E. Test Codes における上述の係数はあきらかに実験結果をもとにしたものと考えられ, Cole の実験結果の散在度よりみて $\pm 0.5\%$ 程度の誤差は避けられず, 流速分布の形状いかんによつてはさらに誤差範囲が拡大することは当然考えられるところであり, ピトー管法の精密度を支配する大きい障害の一つがこゝにあると考へてよいであろう。
- (5) 流れの方向がピトー管の方向と一致しない場合には, 軸方向分速度を求めなければならないが, これについてはまだ分速度を指示するピトー管がなく方向と速度の大きさとより分速度を計算によつて求めなければならない。しかし一般に採用されている上流曲管部より 10D ないし 20D 下流にある測定点では, 10° 以上のかたむきをなす流れはまれであつて, 少しくピトー管の形状を考慮すれば, 大きい誤差は現われまいであろう。しかし静圧についてはまだ判然とした結果がつかまえておらず, これも (4) の場合と同様に疑問を含んでいるといつてよい。
- (6) 衝撃孔の大きさについても同様なことがいえる
- (7) このよう事柄を考慮すると, ピトー管係数のみによつてもかなり疑問の点が多く, ピトー管法の精

度の向上がいかにむづかしいことであるか窺い知られ, ピトー管法そのものが本質的に, 現地発電所の流量測定法として, 高い精度を期待しうるか否かに不安を感じざるをえず, 米国において, 現在ではほとんど実施をみない理由の最大の一つはこの辺にあるのではないかと考えられる。(その1終り)

参考文献

- (1) 山崎: 日立評論 38 409 (昭-31)
- (2) Handbuch d. Experimentalphysik IV 1 Teil. p. 499 (1931)
- (3) E. Shaw Cole: Trans A.S.M.E. August (1939) のうち “Hubbard: Investigation of Errors of Pitot Tubes” なる論文に対する Discussion (p. 495) において初めて, この事実を發表した。
- (4) L.F. Moody: 同上論文の Discussion (p. 500)
- (5) Daugherty and Ingresoll: Fluid Mechanics 5th Edd. (McGraw-Hill Book Co.) p. 108 (1954)
- (6) L.F. Moody: Some Pipe Flow Characteristics of Engineering Interest and an Approximate Method of Discharge Measurement. La Houille Blanche Vol. 5 p. 313 May-June (1950)
- (7) Hubbard: (2) の討論に対する回答において述べている (p. 505)
- (8) 沼知, 他: 「流線型ピトー管と沼沢沼発電所ポンプ送水量の測定」昭和28年4月4日 日本機械学会第30期総会講演会にて發表
- (9) 沼知: 機械学会誌 34巻 171号 p. 986 (1931)
沼知: 機械学会誌 34巻 175号 p. 1580 (1931)
沼知: 日本機械学会論文集 4巻 17号 p. 337 (1938)



冷凍・冷房・製氷に



日立 高速多気筒型
氨ポンプ冷凍機

アンモニア冷凍機

東京・大阪・名古屋・福岡・仙台・札幌 日立製作所