

# 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2)—

・・・測定位置の選定・・・

## Practical Problems in Regard to Pitot Tube Method for the Measurement of Large Water Discharge (Part II-2)

山崎卓爾\*

### 内 容 梗 概

前稿ではピトー管法に関連する共通の問題点として、ピトー管係数について述べた。本稿では実際に現地試験の際最初に問題となる測定位置の選定について検討した。発電所の水圧鉄管は必ずしも流量測定に都合のよい構造を持っているわけではなく、したがってピトー管をしてその正確な機能を発揮せしめるためには、鉄管内の水の流動状態を正しく把握する必要がある。しかるに実際には種々の障害物(彎曲やベルマウス入口や屈曲, 漸縮その他)が存在し, これらのそれぞれに対する実際的な実験は少なく, 流動状態の詳細な知識はえられない。このような際に当り, 東京電力株式会社宮ノ下発電所における同社の研究試験(昭和29年9月実施)は数多くの貴重な資料を提供したもので, 近來数多く行われた同種試験中最も有意義なものといえることができる。

本稿は上記宮ノ下発電所の試験結果とともに筆者などの研究室における実験結果ならびに検討結果を合せ考えて, 一応問題となるべき点を検討してみた。

結果の主なる点を挙げれば, 障害物たとえば鉄管屈曲部などがある場合には, 従来単にその下流 10D (D は鉄管直径) または 20D の点を選べばよいとされているのは危険で, 屈曲部から下流測定点までの直線距離は屈曲角の大きさによつて当然変つてくるものであり, したがつて1直径のみの測定は, きわめて長い直線距離を必要とし, 実際にはほとんど採用しえないことをあきらかにした。またベルマウス入口の影響, 二重屈曲の場合の影響についても半ば定性的ではあるが一応の傾向をあきらかにした。最後に直交2直径測定の場合についての注意をのべた。これらの全般を通じても数値的な資料の少い現状では, 直ちに数値的な基準を提案することはできなかつたが, 少なくとも現状の現地流量測定に対し, 測定位置に関していかに考慮すべきかの態度については, 多少益するところがあると信ずる。

### 〔I〕 緒 言

前回<sup>(1)</sup>はピトー管そのものの性質すなわち主としてピトー管係数について述べた。こゝではこれにつづいて実際に現地発電所において測定する際に, いかなる位置を選定すればよいかを検討して見よう。

ピトー管による測定箇所としては放水路, 上水槽, 開渠, 水圧鉄管などが選ばれるが, こゝでは問題を水圧鉄管における測定に限つて述べることにする。他の場合については後に述べる機会があるであろう。

すでに述べたようにピトー管自身は特に異形のものでない限りはなほだしく異つた値を与えることはないといつてよく, むしろ問題ありとすれば, 測定箇所における水流状態がピトー管による測定に適しているか否かにかかつている場合がきわめて多いのではないかと考えられる。

これらの各種条件を検討し, いかにすれば最も確実な測定値がえられるべきかについて, 少し詳しく述べてみた。

### 〔II〕 測定位置の流動状態に影響をおよぼす諸要素

ピトー管による流量測定では, 測定断面の流速分布状態をピトー管によつて正しく測定しようとするような流動状態を現出することが先決問題であり, いゝかえれば水圧鉄管のいかなる位置がピトー管による測定に対して最適であるかをまずたしかめなければならないであろう。このことは前稿に述べたピトー管の特性から見て全く当然である。しかるに従来の試験ではともすると比較的注意がおろそかにされるか, 影響が過小評価されるかして, ピトー管をして適確な値を指示せしめる考慮がたりなかつた場合も多いように見うけられる。

従来の考えかたの一端を見るに, JEC ではさきに述べたように, 測定位置より上流にある障害物より鉄管直径 D の 20 倍以上下流に測定点がある場合には(この間直線的であることはもちろんである) 1本の直径で測定してよいとしており(たゞし断面上の同心円上の各点が同一流速を示している場合のみ), 2直径で行う場合もあるとしている。一方 A.S.M.E. ではこの数値を 10D でよ

\* 日立製作所日立研究所

いとし、そのかわりかならず 2 本以上の直径について測定することを規定している。なお A.S.M.E. では測定点より下流側の障害物まで 5D 以上の直線距離が必要であるとしているが、JEC ではこの規定はない。また最近筆者が見る機会をえた英国の Standard Test Code (1924) では JEC と同じく 20D を採用しているが、測定点下流側の制限はない。

以上のようにこれら数種の規格においても、上流側距離を 20D、あるいは 10D としているほど、この問題はいまのところはつきりしていないといつてよいであろう。本質的な見地からすれば、このような直線管路の長さの制限の意味は、測定点における規定された方法による測定値が、適確な値を与えることを目標とするものであるから、要は測定法との関連において決定さるべきものである。上述各規格のちがいがいもそこからでていられるものと思われる。

測定点より下流側の直線距離に対しては A.S.M.E. のみが 5D 以上を主張しており、他には特別な制限がないことは、常識的に考えても 5D 程度の距離があればほゞまちがいないことを示しているものと考えられ、ここではこれ以上詮索しないこととした。

さて、さらに考慮すべき問題は上流障害物の測定位置における流動状態に対する影響度であろう。上記各規格ではいずれも単に障害のある場合というだけで、具体的にはつきりした見解を示していないのは、むしろ奇異の感があると筆者は考えている。すなわち上流の鉄管入口は一般にベルマウス状をなしているが、これも完全なベルマウスであることは現地発電所の構造上むづかしいところであり、かつ上水槽水位がベルマウスの大きさに比して比較的小さい値をとる水路式発電所では当然ベルマウス全体として、良好な流入を示すはずがない。さらに下流に下つては、長い鉄管路の途中に屈曲部や彎曲部があり、しかも同じ彎曲部といつても一様でなく、ゆるやかな 5° 程度の屈曲角の場合もあり、50° という大きい角度の彎曲部も現存する。またこれらの彎曲部が測定位置にいたるまでに 2 箇所も 3 箇所もあつたり、それが相対的に上向きあるいは下向きの場合など多種多様である。また途中に鉄管弁のある場合や漸縮管の存在する場合も決して少なくない。これら種々の障害原因に対して、一様な規則をつくらうとすれば、その最も影響度の強い場合について、測定位置上流の直線管路の制限を決定すべきであろう。たとえば彎曲管ならばその屈曲角は 90° を限度と考えてもまずさしつかえなく（実際に 90° の場合の例は存在する）、これについて 1 直径測定および 2 直径測定の場合それぞれに直線距離の最小値が存在してよいはずである。このような値をもとにした実測例か

ら真の意味の直線距離が決定さるべきである。

さきにあげた直線距離の決定に関連する諸障害物にもその影響度におのずから順位があるはずであるが、なんといつても屈曲部の存在が第一で、ついで彎曲部、鉄管入口の形状、弁、漸縮管となるであろうと考えられる。このうち弁については、弁自体の影響度は大きいであろうが、一般には鉄管路にある弁は実際通水時には全開状態で使用されるものであるから、彎曲部などに比し比較的影響度が小さいと見てよいであろう。

なお上記 JEC の規格では、同心円上同一の流速を示す位置ならば 1 直径測定でよいという規定があるが、このことは結局測定して見なければわからないことであるから、実際上は無意味といつてよいであろう。

以上のように考えると、このような測定位置の決定はなほだむづかしいことであり、かつ現地発電所の構造上の多くの制限があることを考えると、妥当な決定をなすためにはきわめて多くの実験的および理論的根拠を必要とすることになり、簡単には決定できないところであろう。

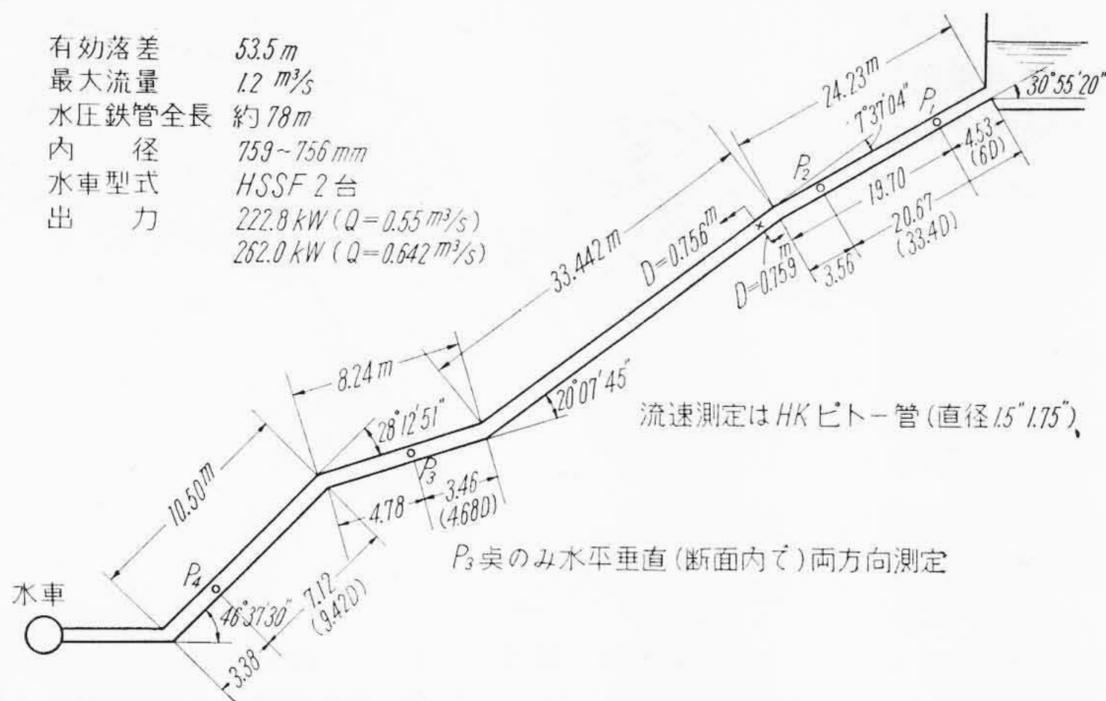
以下本稿ではこれらの影響度について述べて見よう。

### 〔III〕 鉄管入口の形状

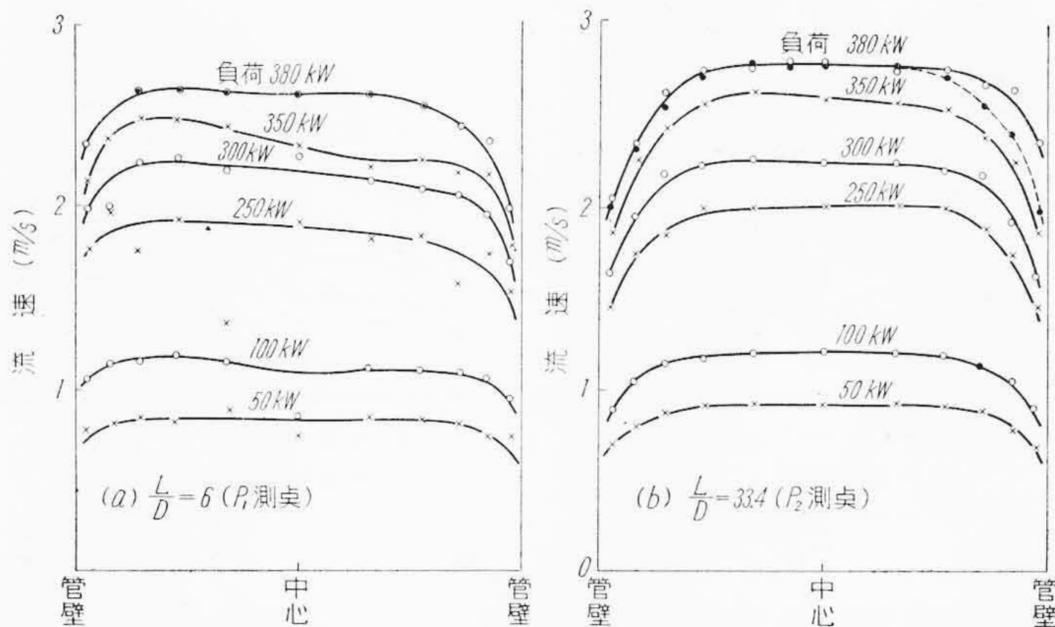
最近上述の直線距離と彎曲部などとの関連について、きわめて有意義な研究が行われた。昭和 29 年 9 月東京電力株式会社において行われた同社管内箱根宮ノ下発電所における HK 式ピトー管による研究的な試験がそれである<sup>(2)</sup>。同発電所の鉄管路は第 1 図に示すごとくで、同試験における測定点は図中の P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub> および P<sub>4</sub> の 4 箇所であつた。このうち P<sub>3</sub> 点では直交 2 直径の測定が、他は 1 直径の測定が行われた。

この鉄管の入口は、水槽から直線管路で流入するようになっており、長い区間にわたり屈曲部や彎曲部がない。すなわち管路は水平に対して約 31° の傾きをなしているが、取入口自身が傾いているのであつて、これは単に直線管が傾斜して取付けられた形であるから、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> 測定点に対しては前方に彎曲部や屈曲部がないわけである。これについては、水平との傾きをもつて水管の屈曲角と同様であるとする考えかたはあたらない。もちろん水は水槽では水平に流れてきて、鉄管入口でまげられるが、この流速は管内流速に比してきわめて小さく、到底曲管と同一に考えることは許されない。しかしこのような流れかたは、入口ベルマウスに対して決してよい影響をもたらさないことはいうまでもない。

さて元来ベルマウス型の管路入口は、その形状がよければ下流の流れは理想的であるのが普通であるが、上述のような状態では到底理想的な状態は望みえられず、ま



第1図 東京電力宮ノ下発電所水圧鉄管配置図  
Fig.1. Dimensions of Penstock of Miyanoshita Power Station



第2図 鉄管入口よりの直線距離と流速分布の関係  
Fig.2. Change of Velocity Distribution by Linear Distance from the Penstock Entrance

た入口自体が水槽水位よりあまり深い箇所でないことは入口附近の管内流れを乱れさせる原因ともなりうるから、かなりわるい状態の流れとなることは想像にかたくない。しかし詳細な異常を除いて考えれば、このような入口から直線的な管路においては、管内の各断面の流速分布は異常な偏った傾向はもたないと考えてよい。第2図はこの部分における速度分布をHK式ピトー管により測定した結果である。同図(a)は $P_1$ 点、(b)は $P_2$ 点における同一負荷時の測定結果である。両結果はその分布曲線の形状も比較的類似しており、またこれより計算した流量値も同時に測定した量水堰流量に対して一致している。ただ両測定結果で異なる点は(a)図では測定点のバラツキが大きく、(b)図ではそれが小さいことで、このことは $P_1$ 点における流動の状態は $P_2$ 点における状態よ

りも不安定で、乱れの度合いが強いことを示していると見ることができ。しかし単に流量測定という見地からは $P_1$ 点でも測定が可能であるといつてもよいであろう。

以上の結果からつぎのことがわかる。すなわち上流に彎曲または屈曲部がなく、鉄管入口よりベルマウスによつて直線的に連なつた管路においては、ベルマウス終端より $6D$ の直線距離の場所においても、ほぼ確かな流量値をうるることができる。しかしこの付近では流れの状態がまだ落ち着いていないため、測定値にはバラツキが多いが、 $33.4D$ 附近ではほぼ整流されているので、流量測定としてはこの方がより好都合であるといふことができる。

なお $P_1$ 、 $P_2$ 两点とも水平1直径による測定であるが、ともに量水堰の流量値と一致していることから見て、このような条件の場合には1直径測定でも十分確かな流量値を与えるものと考えてよいであろう。

以上のうち流速の測定値が $P_1$ 点でバラツキが多いにもかかわらず、流量値において $P_2$ 点と変ららぬ値を与えることについてはHubbardの詳細な実験<sup>(3)</sup>が、真実性を裏書きしていると思われる。同実験によれば、速度水頭の25%の平均脈動を与えた場合、その速度における誤

差としては1%程度のものでしかないという。A.S.M.E. Test Codesにおけるこれに関する制限規定(前述)もこの実験結果をもとにしたものであると考えられるが、Hubbardの見解は以上の宮ノ下の実験結果にも無理なくあてはめうるので、ここに述べて見た次第である。

#### [IV] 鉄管彎曲部の影響

鉄管内流速分布に関しては、前述のように鉄管入口の影響もあるが、その流量測定値におよぼす影響としては、かならずしも大きいとはいへないことは前に述べた。これに反し、上流に彎曲部または屈曲部がある場合には、水力学的に見ても大きい影響があるであろうことは、古くから認められていたところである。しかし従来屈曲管

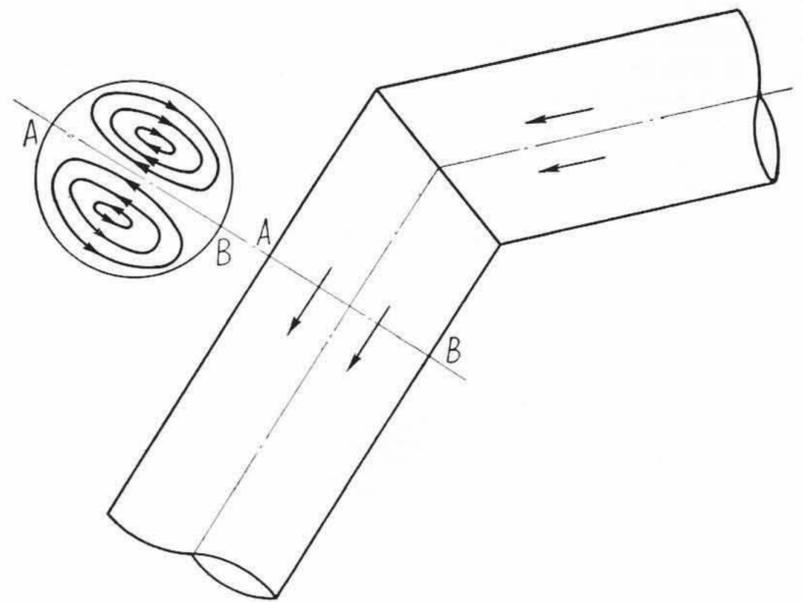
に対して主として大きい注意が向けられていたところは、屈曲部以後では第3図に示すように、鉄管内を屈曲角を含む面で2分した断面内で、二次的な旋回流が生ずることについてであつて、軸方向の流速分布についてははつきりした数値的な検討があまり行われていないように考えられる。

上述の二次的旋回流速については、さきにピトー管係数に関連してしらべたように、 $10^\circ$ 以上の旋回角度は普通の場合起つていゝとは考えられないものごとく、このこと自体は流量測定には大きい誤差をもたらすとは考えられない。しかしたしかに、正確な測定という面からは、多少の影響をもたらすことは疑いないところである。旋回分速度がある場合には、その場所の静圧が変化をうけるはずであるからである。これについては後に静圧の測定の項で述べることとする。

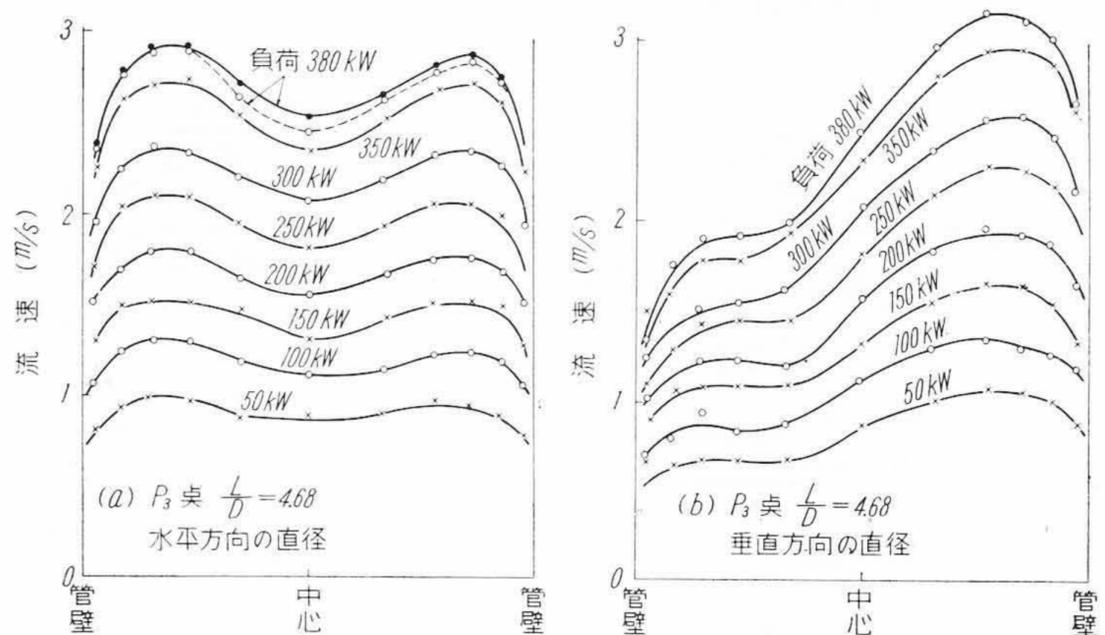
さて屈曲部以後の流れについても前記宮ノ下発電所における比較試験が、はなはだ有益な結果を提供している。すなわち第1図の  $P_3$  測定点は、上流屈曲部より  $4.68D$  だけ下流にあり、この点では鉄管断面内において水平垂直両直径方向で、2本のHK式ピトー管によつて測定が行われている。この測定結果は第4図に示してある。同図(a)は水平方向、(b)は垂直方向を示すものであり、両方向の流速分布の傾向がいかになつたものであるかが明瞭に示されている。このような流速分布を持つ流れは、断面内等速線図をかけた第5図(a)のごとく、流れの状態を軸線をふくむ断面で代表してかけば同図(b)のようになるであろう。この場合は上流側屈曲角は約  $20^\circ$  であり、屈曲角より下流の直線距離は  $4.68D$  の位置では、 $20^\circ$  という角度によつて、流速分布がこのような大きい変化を与えられることがあきらかにされた。従来もこのようなことはすでに認められていたところではあるが、数値的な変化を示した適確な実験はなかなかえられなかつた。宮ノ下の実験はこの意味においても、きわめて貴重な資料を提供している。

屈曲角後の流れの状態については、筆者らの研究室においても、すでに二三の実験結果をえている。

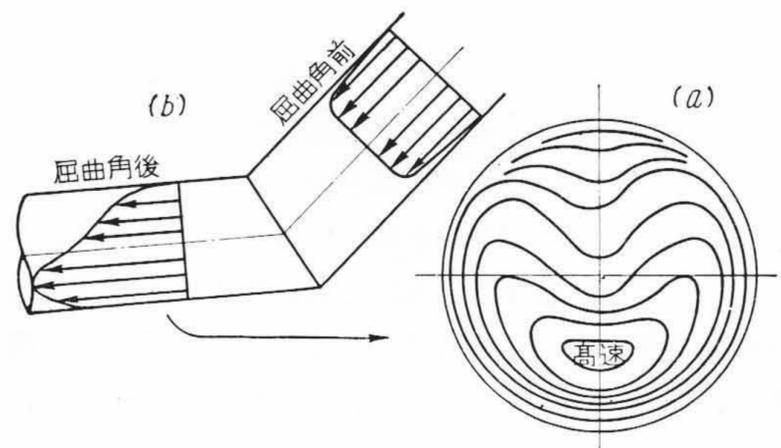
この実験は直径  $100\text{ mm}$  の円管の1箇所に  $15^\circ$  の屈曲角をもうけ、この屈曲角より下流に、 $1D$  ごとに測定点を設けて、その屈曲角を含む平面すなわち宮ノ下の試験における  $P_3$  測定点の垂直方向の測定と同様な直径に



第3図 屈曲部後の二次的旋回流速  
Fig.3. Secondary Whirling Flow in Pipe Below a Bend

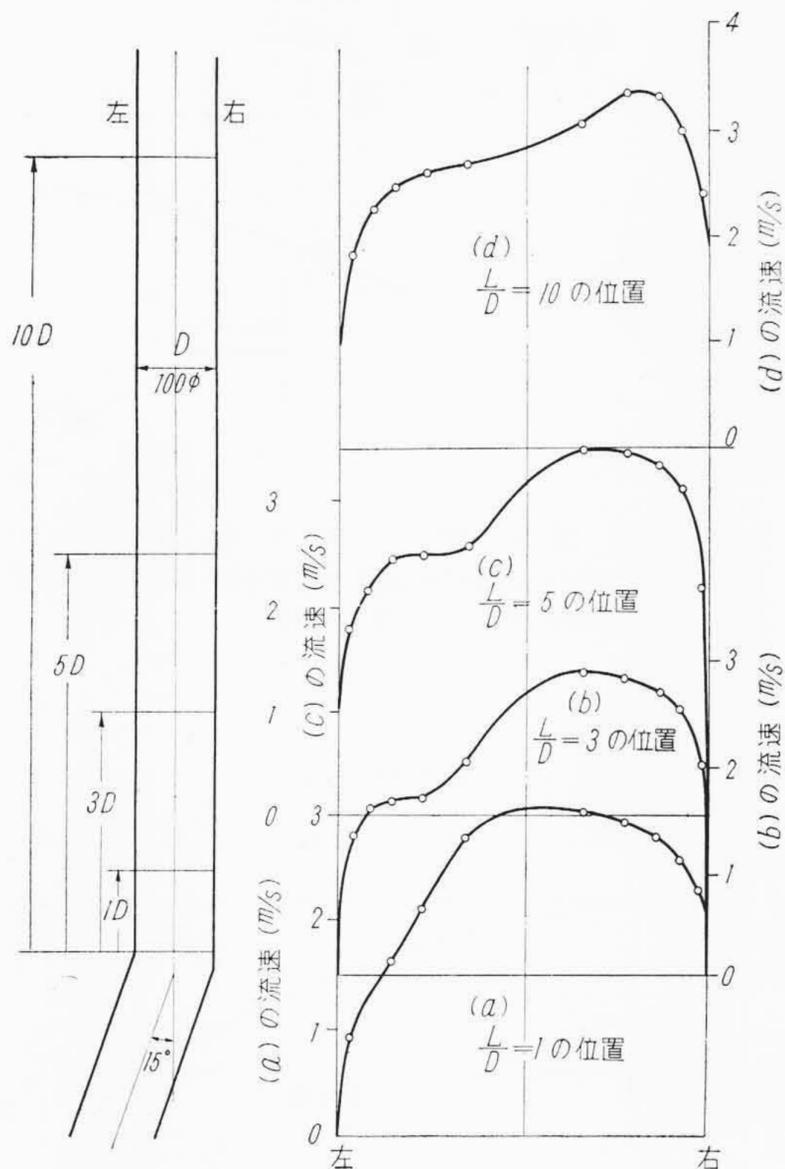


第4図 水平、垂直両直径における速度分布  
Fig.4. Velocity Distributions on Horizontal and Perpendicular Direction in Pipe Section

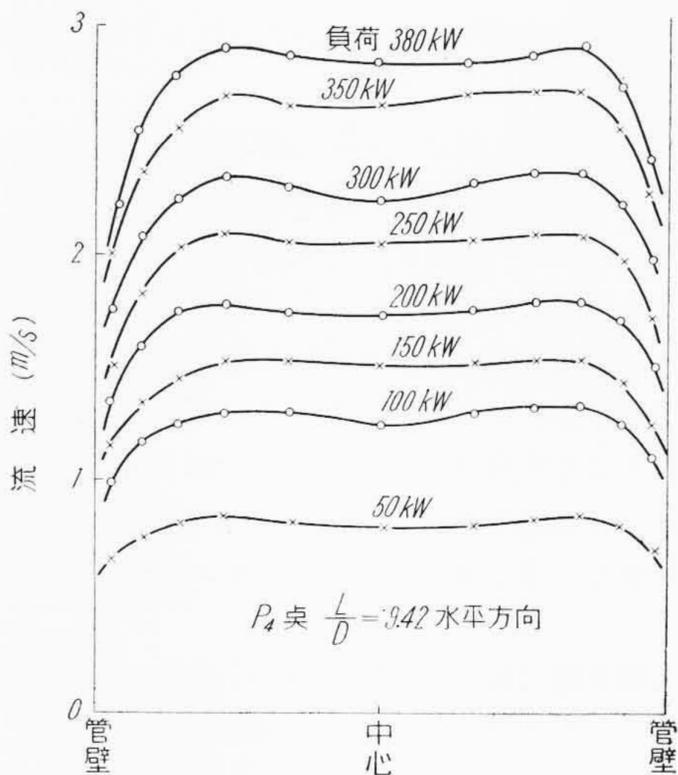


第5図 屈曲部後の流れ  
Fig.5. Flow in Pipe Below a Bend Part

ついて速度分布を測定している。第6図はそれらの測定結果のうち、 $1D$ 、 $3D$ 、 $5D$ 、 $10D$  の4箇所につき、直径  $5\text{ mm}$  の単孔式円筒型ピトー管によつて測定した例を示している。同図によれば、流速分布は屈曲角度の直線距



第6図 屈曲角15°の場合の下流の速度分布の遷移  
Fig.6. Transmission of Velocity Distribution of Pipe Flow Below 15° Bend Part



第7図  $P_4$  測定点における水平方向流速分布 (宮ノ下発電所)  
Fig.7. Horizontal Velocity Distribution in  $P_4$  Measuring Point (Miyanoshita Power Station)

離が、 $1D$ より $5D$ にいたるまでは、その距離が長いほど最高流速部分が中央より管壁へと偏り、 $5D$ より $10D$ になると、流速の平均化が行われる傾向があるようで、本結果からは、 $10D$ にいたつてもまだ流速の分布状態はきわめてわるく、さきに示した宮ノ下発電所の  $P_3$  測定点 ( $L/D=4.68$ ) の垂直方向の測定結果と全く同様な形状を示している。すなわちこの結果からは、屈曲角  $15^\circ$  の場合には  $10D$  の直線距離をとつてもなお平均化が完了しておらず、したがって1直径測定ではこの程度の直線距離では正確な流量は知りえないことがあきらかにされた。

以上の結果は宮ノ下発電所の場合は  $20^\circ$ 、研究室での実験では  $15^\circ$  であるが、いずれの場合でも上流側に屈曲角がある場合には、流速分布が平均化するのに相当な長さの直線距離を必要とし、かつこれは上流側屈曲角の大きさが大きいほど長い距離を必要とするであろうことは簡単に推察しうるところである。

[V] 屈曲角が二重の場合

宮ノ下発電所の  $P_4$  測定点 (第1図参照) は直ぐ上流の彎曲部より  $9.42D$  下流にあるが、この彎曲部よりさらに上流約  $11D$  のところに、逆向きの彎曲部が存在する。 $P_3$  測定点に対しても上流  $4.68D$  の彎曲部の前方約  $45D$  に逆向きの彎曲部が存在するが、 $45D$  という長い距離であるから、その影響はあまり大きくないと考えて、一応無視したが、 $P_4$  測定点に対してはそれほど大きい距離ではないので、この影響を知ることができると考えられる。

第7図は  $P_4$  測定点における水平方向の流速分布を示す。同図は第4図 (a) と同様な傾向を示していることがわかるが、この点に対しては上流彎曲部よりの直線距離は約2倍であるから、当然その影響が緩和されていることはまちがいないところであるが、それとともに屈曲角は  $P_4$  の直上流では約  $28^\circ$  あり、 $P_3$  の上流では  $20^\circ$  であるから、この影響は  $P_4$  の方が強かるべきである。しかるに  $P_4$  に対しては上流2つの屈曲角は逆向きであるため、互にその影響度を消し合うと考えなければならない。以上三つの原因のいずれが、どの程度に影響力を持つかはこの結果からは知りえないが、少なくとも第7図の傾向は第4図 (a) の傾向よりも変化の度が小さいことから見て、二つの逆向きの屈曲角の相殺が相当に強いものとするのが至当であろうと思われる。

以上は逆向きの屈曲角についての推論であるが、逆向きの場合に相殺が行われるとすれば、同じ向きが続けば、当然影響の加算が考えられねばならないであろう。

これらの事実に対しては詳細な実験結果を持合わせないので、単なる推論を行うにとまらねばならぬのは残念であるが現地試験に際しては慎重に考慮を重ねなければならぬところであろう。

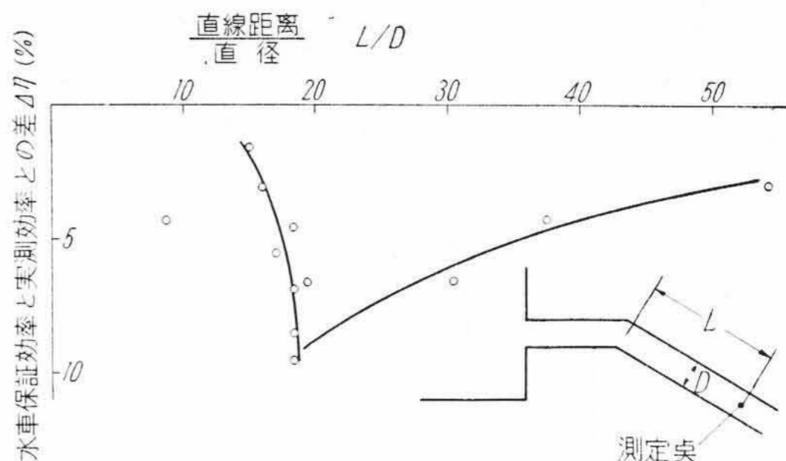
### 〔VI〕 直線距離の長さ

前記宮ノ下発電所における実験結果は多くの貴重な資料を与えるものであるが、上流障害物（入口や屈曲角など）よりの距離と測定流量値の関連についての適確な数値的な検討は行えない。筆者はこの問題に対し、特に直ぐ上流の屈曲角に対し、どの程度の影響度を有するかを、多くの発電所の効率試験結果にあらわれた水車効率測定値についてしらべて見た。

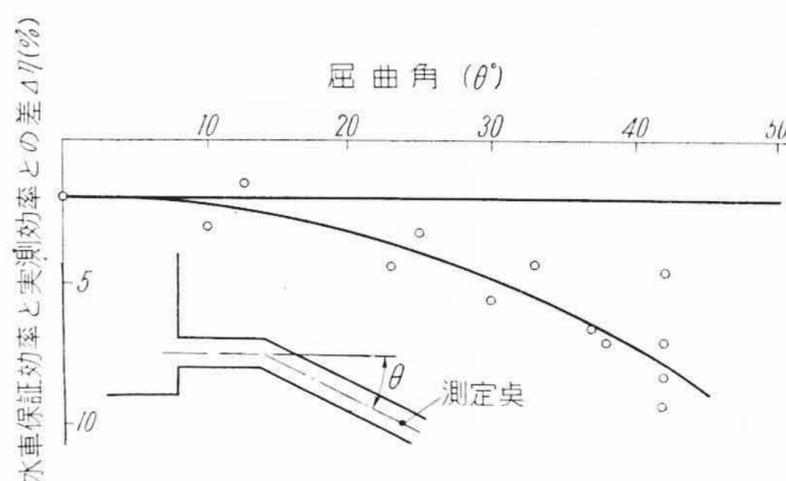
第8図および第9図はその結果を示すものである。

一般に管内の水の流れは、障害物以後の直線距離が長ければ、断面上の流速分布の状態は、障害物の影響が消えて次等に直線管路内の本来の分布状態に落ち着くことは当然考えられるところであるが、同時にまた上流障害物の水流に対する影響度の大きさが関連し、上述の本来の分布状態に落ち着くまでの直線距離の長さは一様でないことは、容易に推論しうるところである。しかるに一般には障害物の状況いかんにかゝりなく、一率に直線距離を定めようとする傾向にあるのは、いさゝか心外である。

さて第8図は多くの現地水車試験結果について、単に上流障害物から測定点までの直線距離の長さと、効率との関連を示したものである。この場合試験水車については、それぞれ製造者および大きさが異つていたので、効率の絶対値では比較することができないので、便宜上水車の保証効率（水車製造者の推定によるものであるから、異なつた製造者では同一基準では論ずることはできないが、大略の傾向は知りうるのではないかと考えた次第である）と実測効率のそれぞれの最高値の差を求め、この差を直線距離の横座標のもとに整理したものである。上述の効率の最高値の差は、単に流量測定値のみによるとは考えられないが、他の測定に比し流量測定に特に問題ありと考えられるから、一応このような比較を行つて見たわけである。この結果からは、単なる直線距離の長さに関しては、特別な関係は見出せない。たゞ  $L/D$  が 15~20 附近で急に効率が低下する一連の関係と、 $L/D$  が 30以上のところで直線距離が長ければ長いほど、水車効率値が漸次上昇して行く傾向があることが目につく。前者の傾向はあまりに急激な低下であつて、 $L/D$  のみの関連では解釈しがたく（他の実験点との矛盾が生ずる）、したがつて他の要素の影響によるものと考えてよく、 $L/D$  による主要な傾向とはみとめがたい。後者の結果か



第8図 直線距離と効率低下度  
Fig.8. Relation between Straight Distance of Pipe and Efficiency Drop

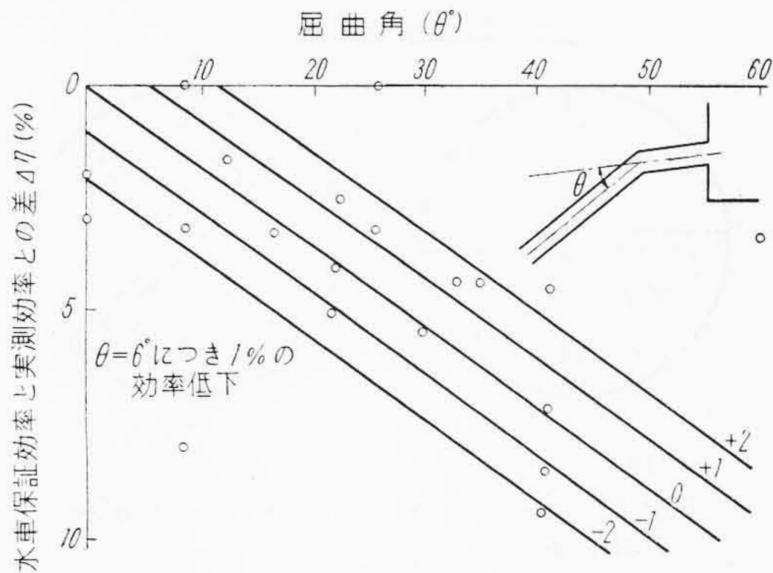


第9図 屈曲角度と効率低下度  
Fig.9. Relation between Bend Angle and Efficiency Drop

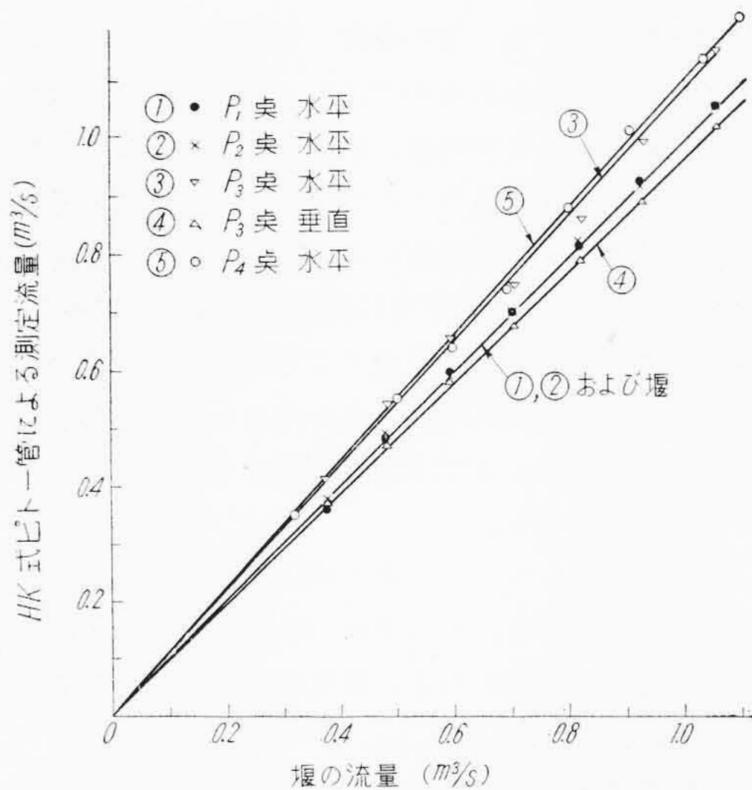
らは直線距離をきわめて長くとれば、障害物のいかんにかゝりわず理想的な流動状態がえられるという常識的な推論が確認されたことになる。

さてつぎに第9図はこの同じ測定値を、直線距離の長さに関係なく、単に直ぐ上流の屈曲角度の大きさによつて整理したものである。これによれば第8図における不規則な分布はほとんど表われず、単に角度の大きさによつて1本の曲線によつて示されるあきらかな傾向を持つことがわかる。すなわちさきに示した直線距離の長さで整理するよりも角度の大きさのみで整理する本図の方が、より合理的であることが示され、この結果は従来の直線距離の一律な制限の観念に大きい注意をうながすものといえるであろう。

なお第9図において  $\Delta\eta=2\%$  の位置に横軸に平行な線がひいてあるが、これは保証効率のとりかたや、実際測定技術にも関係するものであるが、従来とかくピトー管による効率試験値が低い値を与えるといわれているところから見て、一応ピトー管測定法につきまとう本質的な誤差に相当するものも含まれているのではないかと考えられる。



第10図 北海道電力における調査例  
Fig.10. Examples in Hokkaido Electric Power Co. at the Same View Point of Fig. 9



第11図 宮ノ下発電所における流量測定値の比較  
Fig.11. Measured Discharge of the Turbine of Miyanoshta Power Station

以上に述べた筆者の提案にもとづき、北海道電力株式会社発電課では管下各発電所において実施した多くの実験例を集めて整理し、第10図の結果をえ(4)ききにのべた結論の妥当性を証拠だてておき、今やこのような屈曲角の影響は等閑視しえない問題となつてきている。

こゝで注意すべきは第8図、第9図および第10図の結果は、すべて屈曲角を含む面と直角な直径についての第4図(a)のような場合の測定値のみを集めたものであることである。水平垂直両方向の測定については第4図(a)、(b)に示すように、その流速分布のみならず、これを積算した流量も当然大きく異なるはずであり、1直径のみの測定がいかにか危険な結論におち入りやすいかを物語っていることを見逃してはならない。

## 〔VII〕 直線距離と流量測定値

以上でわれわれは主として上流障害物よりの直線距離の長さ、障害物の影響および流速分布との関連について調べてきたが、流速分布が異なれば、当然これより計算した流量もまた異なる筈である。前記宮ノ下発電所の実験例は、これに対し第11図のような流量値を与えている。この結果は上述の各種の流速分布に対する傾向を結論づけるものとして興味がある。

これらのピトー管による測定結果はすべて平坦量水堰と同時測定が行われており、いゝかえれば流量の基準として平坦堰による測定値を採用している。後で調査の結果この平坦堰の測定結果はかならずしも正確な流量を示していないことが確認されたようであるが、しかし一応の比較の基準としては意味があると見てよいであろう。この結果の示すところでは $P_1, P_2$ 両測定点(水槽より彎曲部なしに流入した場所)の流量は全く同一で(第2図の結果は多少 $P_1, P_2$ 両点でその流速の積算値が異なるかに思われるが、堰流量を比較すると第11図のように一致している)かつ堰流量と全く一致している。

しかるに $P_3$ 測定点における水平、垂直両直径における測定値は、はなはだしくひらいており、垂直ピトー管の流量は堰流量に比較してやゝ小さい程度であるが、水平ピトー管の流量はきわめて大きく、両者のちがいははなはだ大きい。また $P_4$ 測定点における値(水平ピトー管)もほぼ $P_3$ 測定点の水平方向と同様であることを示している。

従来HK式ピトー管などによる測定は、鉄管の構造や、操作上の便宜のために水平1直径のピトー管によるものが多く、結果として水車効率がはなはだしく低くえられていることが多かつたのは他にも種々の原因があろうが、最も大きい原因の一として上述のように上流側の屈曲角にわざわざいられたためであるといふことができる。

これらの結果は従来あまり我国では数値的に問題視されていなかっただけに、今後真剣に考慮さるべきであると思ひ、特に詳述したしだいである。

## 〔VIII〕 直交2直径による測定の必要性

鉄管断面内の1直径のみに沿うての測定がいかにか流量値として不適當な値を与えるかは、前章の諸結果によつて十分認識しえたところである。これと反対に測定直径の数を増せば増すほど細部にわたる測定値がえられるから正確度を増すことになるが、同時にピトー管のしめる面積が鉄管内断面積に比して大きくなり、それだけ補正項も増すわけであり、また実際測定操作上からもあまり

多くのピトー管を使用することは困難を伴うことが多い。このようにして何ほどの数の直径にピトー管を挿入すべきかという問題が起つてくる。

現在のところ、我国における測定では、1直径および2直径による測定がほとんど大部分であるが、1直径測定が前述のように流量値としてはなほだ不適當な値を与えることが判明した今日では、信頼すべき測定はほとんど2直径によつて行われるべきであると考えてよい。

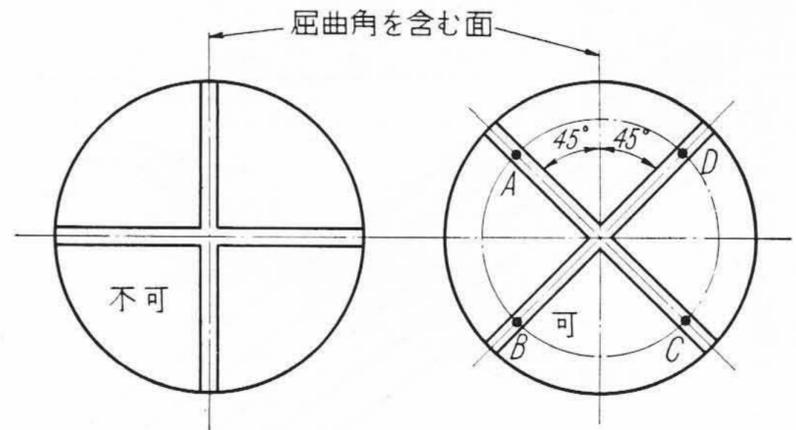
しかしその場合といえども前記宮ノ下発電所での測定例では、水平垂直両直径の測定流量の平均値は堰流量ともかなりちがった値を与えることがわかる。堰流量にも問題があるので、確かな判定はできないが、こゝに水平垂直両直径というのは、実はこの場合には屈曲角を含む面と、これに直角な面との2平面上の直径で、鉄管断面との交線の2直径を選んだことにより、この結果は流速分布の最もことなつた2直径を測定していることとなつてゐる。このような両極端の値の平均値は、当然全断面の積算平均値とはことなり、前述のような大きい流量平均値を示すにいたつたものと考えられる。このような断面内で最も流速分布が正常に近い値を示すものは、これら両直径の中間をゆく、すなわち互に直交し、かつ屈曲角を含む面に $45^\circ$ をなすような2直径であろうことは直ちに推定できる。しかしこのような2直径が正確な流量を与えるというのではなく、他の2直径の組合せよりも、より確からしい値を与えるであろうとしかいえない。現在現地発電所で行われる多くの直交2直径測定が常にこうした2直径が選ばれるのは、上述の理による自然のなりゆきであろう。しかし単に形の上からの踏襲ではなく、あくまでも上流屈曲角の屈曲方向を考えての2直径であるべきことを強調したい。

つぎにこのような直交ピトー管による同一円周上の読みはかならずしも同一ではないはずである。(たとえば第12図のA, B, C, Dの4点の読み) これについて沼知教授は理論的な計算を行つて、4点測定(2直交直径による)を行う限りにおいては、4点の読みの算術平均値をとる方法が最も誤差が少いことを証明している<sup>(5)</sup>。

以上述べたところは、全く鉄管内の屈曲角後の流動状態に則した測定をなすべきことを強調したものであり、塩水速度法における電極の取付けや、有効静落差の測定などについても同様な考慮が払われるべきであることはもちろんである。

### 〔IX〕 補 遺

本稿上述では鉄管入口形状の影響および屈曲角の存在について詳述したが、鉄管内流動状態に対しては、このほかに弁、漸縮管などが障害物としての意味を持つ。



第12図 直交ピトー管の取付けかた  
Fig.12. Setting of Two Perpendicular Pitot Tubes

弁の障害物としての存在については十分考慮すべきであるが、水車運転時には弁は全開位置にあるのが通例で、この場合にはそのために特に偏つた流れが生ずるとは考えられない。また弁の直ぐ下流でピトー管による流量測定を行うことは、他の条件に制約されて、ほとんどありえないと考えられるので、こゝではとり上げなかつた。しいて考えるとすれば、屈曲角など他の条件のない場合には、前述鉄管入口ベルマウスの影響程度の考慮を払つておけばよいのではないかと考えられる。しかし流れの条件としては、鉄管中央に位置する蝶型弁の場合と、全開したスルース弁とでは全くことなる筈で、要は箇々の場合について、これらの存在が流速分布に影響をおよぼさないようになるまで下流直線距離をとることを考えて行くべきであろう。

つぎに漸縮管についてであるが、漸縮管は特別に極端な異形の場合を除き、その流れの状態におよぼす影響は小さく、むしろ上流のわるい整流状態は漸縮管を通ることにより、よりよい状態にされることが認められている。この意味では他の障害物よりは障害にならないが、その直下流ではやはり平均化が十分でなく、しばらく直線距離を保つべきであろう。しかし発電所における実際の漸縮管は単に上下の異径管を連結するための単純円錐管の場合が多いから、簡単に無視することはできない。具体的にはどの程度に考慮すべきかはあきらかでないが、他の諸障害物に比して障害としては小さいものであることにまちがいはない。

以上のほかに、伸縮管が考えられる。これは長い鉄管ではかならず途中に取付けられるが、この場合は漸縮管とことなり、鉄管径は同一で、たゞ途中に全周に浅い溝がある場合と考えてよい。おそらく管内流速分布に対しては大きい影響をもたらすとは考えられず、たゞ管摩擦係数として溝なしの場合に比し大きい値を示し、これによる流速分布の形状への影響と流量測定法としての全般に影響がある程度で、ピトー管による測定値そのものには大きい影響はないものと見てよいであろう。

最後に、本稿では彎曲管と屈曲管とは区別することなしに取扱ってきたが、実際発電所の大径の鉄管では曲管部はかならず彎曲管を使用し、屈曲管を使用することはないと考えてよいであろう。管内流れの状況からは彎曲管の方が屈曲管よりもよい筈で、一様に論ずるのは妥当ではないが、彎曲部あるいは屈曲部自身のうちにおける流動状況はおそらく大きい差があることはすぐに考えられるところであるが、これらの部分をでた下流における結果の流れとしては、極端に大きい屈曲部、極端にゆるい彎曲部などの場合を除き、傾向的にはそれほど大きいちがいはないものと考えの方が安全であると思われる。また現地発電所の彎曲管も、極端にゆるいものではなく、できるだけ短距離間に彎曲を終了させるために強い彎曲度を持つものが多く、この点から見ても屈曲角のみを考えて、その間の彎曲度を問題としなかつた。彎曲度についての詳細な研究が行われれば、さらに適確な方針も立つであろうが、こゝでの問題は制限条件の決定であるから、大局的な安全側の推論をえればたりると考え、特に両者を区別しなかつたしだいである。

### [X] 総 括

本稿で述べた事項をわかりやすくまとめてみると、大要つぎのようになっていることができるであろう。

- (1) ピトー管による流量測定法では、鉄管に沿うた流れを乱す原因たる障害物(彎曲部、屈曲部、鉄管入口ベルマウス、蝶形弁、スルース弁、漸縮管、伸縮管など)の影響を考慮せねばならず、現にJ.E.C.の規格では測定部上流  $20D$  ( $D$  は鉄管直径)、A.S.M.E. は上流  $10D$ 、下流  $5D$ 、英国規格では上流  $20D$  を制限値としてとっているが、これらの数値はさらに検討されなければならない。
- (2) 東京電力宮ノ下発電所における実験では、同所の鉄管入口が水槽から全く直線的に鉄管に連なるように取付けられており、入口より長い距離にわたり彎曲部がないことを利用して、入口より  $6D$ 、および  $33.4D$  の位置にピトー管をおいて流量測定を行い、両測定流量値が一致する結果をえた。たゞし  $6D$  での測定点はバラッキが多く測定位置としては不向きで  $33.4D$  の位置は良好であることがわかつた。すなわち全く直線的な管路でも  $6D$  程度の直線距離では測定条件として十分でなく、 $33.4D$  では十分であるといえる。
- (3) 上流に  $20^\circ$  の屈曲角を有する管の下流  $4.68D$  の位置での垂直水平両直径における測定値は全くちがった値を与え、その流速分布もまた極端にことなっている。このことは  $100\text{mm}$  直径の小管で  $15^\circ$  の

屈曲角を持たせた場合の実験にもあらわれ、この実験では  $10D$  の下流においても流速分布の偏りは恢復しなかつた。したがって  $10D$  付近での直交測定でも上記  $4.68D$  の場合とあまりかわらない値を与えるものと思われる。

- (4) 上流に二重の屈曲があれば、それらが逆向きの場合には偏りを消し合う方向に、同一のむきの屈曲の場合には偏りを強め合うことが、宮ノ下の実験からうかがえる。
- (5) (1)にのべた直線距離の長さは上流障害物の障害程度によつて変るべきであるが、(3)でわかるように一旦偏つた流れは相当長い距離をへだてなければ正常状態には恢復しないと考えられ、多くの発電所における実験例からは上流屈曲角度が大きいほど影響が大きいことが確認された。したがって一率に制限距離をつけるとすれば、その最もわるい条件の場合について規定すべきで、数値的にはわからないが、 $20D$  という近距離では満足しえないものと考えられる。従来単に直線距離の長さのみを問題にしていたのはあやまりで、障害物の障害程度との関連において長さを規定すべきことがあきらかにされた。
- (6) (5)にのべたところから、流量測定値としては相当な距離をとつても、流速分布曲線が正常に恢復しないかぎり、正確な値を示すことはむづかしいであろう。
- (7) 以上は1直径による測定値についてのべたものであるが、(3)でのべたように直交2直径でもその平均値はかならずしも正確とはいへないことがわかり、その原因は屈曲角を含む面とこれに直角な面の中にとられた2直径では、管内全体の最も流速分布の傾向のことなつた2箇所を測定したことになり、この平均値は最も誤差の多いものであることがわかる。したがって2直径をとるとすれば、上記各直径と  $45^\circ$  をなすような位置の2直径をとることが望ましい。

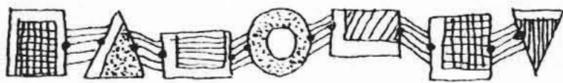
以上の全般を通じての結論として、上流に障害物がある場合、それが入口ベルマウスなどのような全般的に影響をおよぼす場合に対しては、ある程度直線距離をとれば1直径測定も可能であるが、彎曲や屈曲のある場合には流速分布の形状が偏つたものとなり、これが正常な分布状態になるにはきわめて長い距離を必要とし、またこれは屈曲角の大きいほどその影響が大きいと考えられ、1直径測定では正確な値は求めえないといわねばならない。2直径測定については、屈曲角を含む面とこれに直角な面にもうけられたピトー管では測定値の平均値に誤差が生ずるから、これらと  $45^\circ$  傾いた位置を選定すべき

である。

以上で測定位置の選定に関する検討を一応終ることとするが、本稿に対しては東京電力株式会社宮ノ下発電所におけるHK式ピトー管による比較測定試験がその根幹をなしているといつてもよい。かゝる有意義な貴重な研究試験を実施された同社に深く敬意と感謝の念を捧げるものである。同時に本稿で取扱った同試験結果の数値などは、筆者の不注意からあるいはあやまちを犯しておるかも知れず、また結果の判定に対しても筆者らの独自の考えかたをしているため、これらの責はもっぱら筆者にあるのであつて、こゝに記して同社の御寛容と読者の御了解をえんとするものである。

参 考 交 献

- (1) 山崎：日立評論 38 527 (昭 31. 4)
- (2) 東京電力株式会社工務部水力発電課：宮ノ下発電所における水車流量測定比較試験報告(その一)(日本機械学会水車に関する資料調査分科会資料 52 として提出 (昭 30. 7))
- (3) Hubbard: "Investigation of Errors of Pitot Tubes" Trans. A.S.M.E. P. 477 Aug. (1939)
- (4) 北海道電力株式会社発電課：水圧管上流の彎曲角度の影響(電力中央研究所水車効率測定法ならびに運営合理化調査委員会資料第40号) (昭 30. 3)
- (5) 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 28. 4. 4. 日本機械学会第30期総会講演会にて発表



特 許 の 紹 介



特 許 第 215056 号

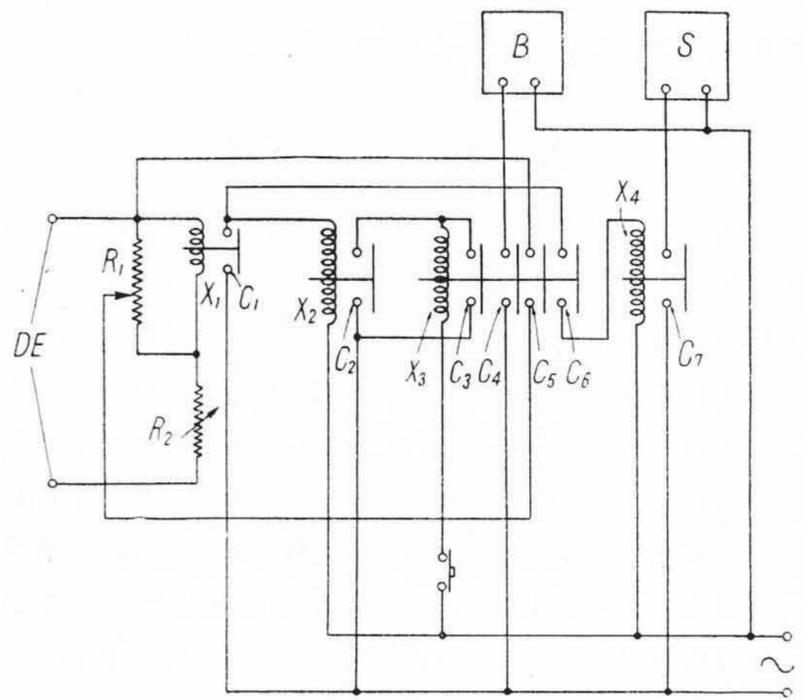
今 尾 隆

二 段 作 動 継 電 装 置

蒸気タービンが負荷運転状態では軸方向に推力が発生する。これによつて軸受メタルは磨耗するから翼車と噴出翼板との間隙が追々せばまり最後には爆発的事故にいたる危険がある。この発明は危険の切迫を二段に分け、第一段では警報を発し、第二段では危険警報について自動停止装置を働かせて危険を未然に防止するもので、一ケの高感度検出継電器により選択作動せしめる点が特色である。一般に継電器はその感度を高めるに依つて作動部の構造はせん細となるものであるから検出量の大小を選択させようとすればどうしても感度の違う二種類の継電器を採用せざるをえない。しかるに変位(そのほか振動、圧力、温度など)に依つて電氣量導出回路内に二ケの継電器を接続するときは検出部の負担を重くするので一ケの場合に比し感度においても確度においても劣ることは必要である。本発明において特に一ケの高感度検出継電器を採用し、これによつて二種の選択作動を行わせようとする意味はここにあり、タービンスラスト事故のごとき重大事の未然防止には最も適するものである。以下簡単に図に示す実施例について作用を説明する。

軸移動量検出端子  $DE$  に接続した二段変化抵抗  $R_1$  と調整抵抗  $R_2$  のうち  $R_1$  に並列に入れた高感度継電器  $X_1$  が動作して  $C_1$  を閉じると連動補助継電器  $X_2, X_3$  のうちの  $X_2$  まず附勢され  $C_2$  を閉じる。 $X_3$  は  $C_2$  の閉合により附勢されて  $C_3$  ないし  $C_6$  を閉合する。ただし  $C_6$  だけはほかより若干遅れて閉合するように構成される。まず  $C_3$  は  $X_3$  を自己保持して  $C_1, C_2$  の開放があつても  $X_3$  を附勢し続け、 $C_4$  により警報器  $B$  を鳴らし続ける。

また  $C_5$  によつて抵抗  $R_1$  の一部を短絡する。これによつて継電器  $X_1$  は軸移動量がさらに大なる値においてのみ動作しうるように整定変えされる。よつてはじめに  $X_1$  が動作した軸移動量が最終危険値にあつたとすれば  $R_1$  が一部短絡されても  $X_1$  は依然として動作し続けて  $C_1$  を閉合し続ける。この状態であるときに若干時間おくれて  $C_6$  が閉合すると継電器  $X_4$  を附勢作動して  $C_7$  を閉じ非常停止装置  $S$  を動作せしめて大事の惹起を喰止める。もし  $C_5$  によつて  $R_1$  の一部が短絡されたとたんに  $X_1$  が復



帰して  $C_1$  が開いたとすれば、そのときの軸移動量は最終危険状態のまだかなり以前であることを示し、警報器  $B$  が鳴り続くだけで終る。

以上における高感度継電器  $X_1$  はこれを比率作動継電器としても等效を奏する(日立評論 35 卷 10 号 p. 45~49 参照)。(宮崎)

視界を拡大する

日立  
工業用テレビジョン装置

電話機・交換機

日立製作所