

# 大流量測定法としての塩水速度法に関する諸問題 (4)

## 塩水速度法実施上の問題点・結論

### Practical Problems with Regard to Salt Velocity Method for the Measurement of Large Water Discharge (Part IV)

山 崎 卓 爾\*  
Takuji Yamazaki

#### 内 容 梗 概

これまで記述したところで、塩水速度法における最も重要な問題点である食塩水噴射、電極の形状および塩水速度法の精度についての一応の検討を終った。この第4部ではこれらの検討結果ならびに従来の実施経験に基づいて、塩水速度法の実施について参考となるべき諸点について述べる。すなわち電極の形状、絶縁および配置、噴射弁の配置および個数、装置全体の配置などの関連、電流時間曲線図の取りまとめかたおよびその図形重心の決定法などについて現在行われている方式を述べてこれに検討を加えている。

最後にこの報文で取り扱ったことは立場を異にした長い水圧管での塩水速度法について簡単に述べ、また最近ようやく実用化の機運が見られている放射性同位元素（ラジオアイソトープ）の利用についてふれている。

以上の全般的な結論として、塩水速度法においてもほかの大流量測定法とともに、現在水力発電所における大流量測定法に要求されている高い精度を示すことは、現在の段階ではむりであるが、さらに検討すべき多くの問題があり、これらを解決することにより、また新たに試みられている放射性物質の特質を利用した新しい方法が開拓されることにより、高い精度の結果を得ることは必ずしも望みなきにあらざることを強調し、その発展を望んだ次第である。

#### 1. 緒 言

本報文第2部および第3部において、塩水速度法で最も問題となる電極と食塩水噴射に関し、簡単なが一応理論的な検討を加えた。

この第4部では、実際に現地で行われる塩水速度法による大流量測定の実施についての問題点と注意事項を述べて実施上の参考に供することとした。同時に前回までに述べた結果を参照して、現在行われている実際面がいかにあるべきかについて所見を加えながら述べる。

現在塩水速度法は、JEC-117やA. S. M. E. Test Codeなどに準拠して、その実施条件を決定しているの、その限りにおいては、特に異論をさしはさむ余地はないが、試験結果の信頼性については必ずしも疑問点なしとはいえない。ことに近年に至り、水力発電所流量の測定には、きわめて高い試験精度が要求されることが多く、この方法としてもさらに慎重な検討を必要とすることが痛感されるに至っている。

ここではこのような要求に対し十分満足すべき解答を与えることは、もちろん望むべくもないが、一応問題点を摘出し、ある程度の検討を加え、将来の満足すべき解決の足がかりを提供することができれば幸と考えるものである。

#### 2. 現地試験と実施に際しての問題点

従来行われた塩水速度法の実施例は決して数少ないも

\* 日立製作所日立研究所

のではないが、ここに代表的な一例として昭和22年日本機械学会主催のもとに寝覚発電所での流量測定試験<sup>(1)</sup>の際に行われた塩水速度法をあげることにする。このときの塩水速度法は筆者の分担において行われたものである。

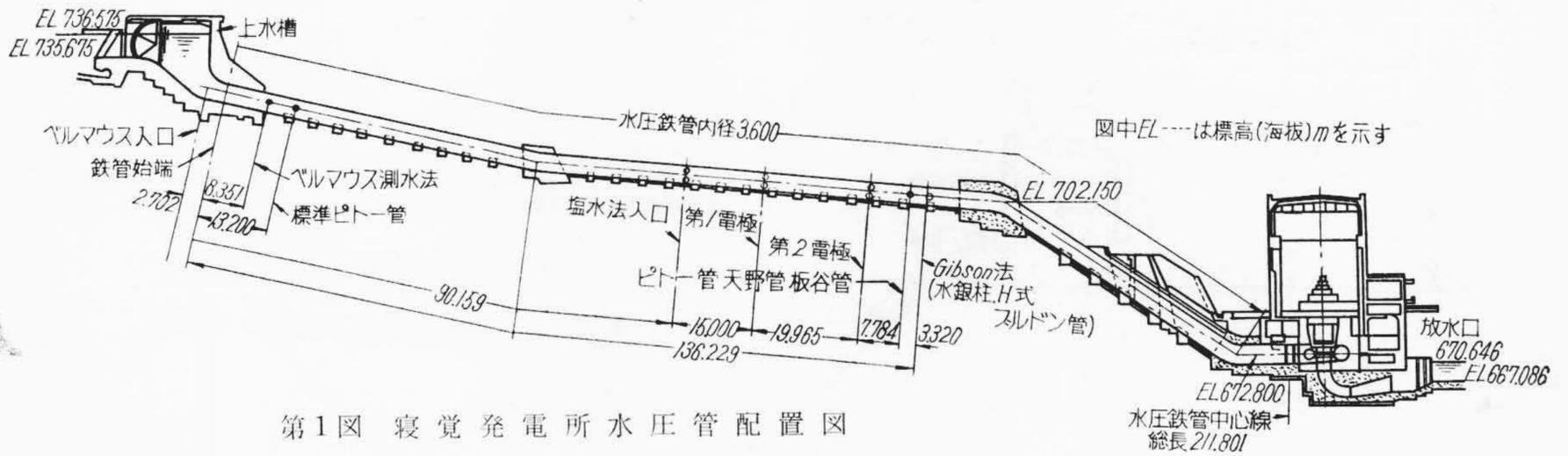
第1図は全設備の配置を示し、第2図は噴射弁およびその取付け、第3図は食塩水噴射機構と圧力配管の状態、第4図は電極の形状を示す。

この設備についての説明はすでにほかの機会に述べてあるので、その詳細は省略し、大略を簡単に紹介する。

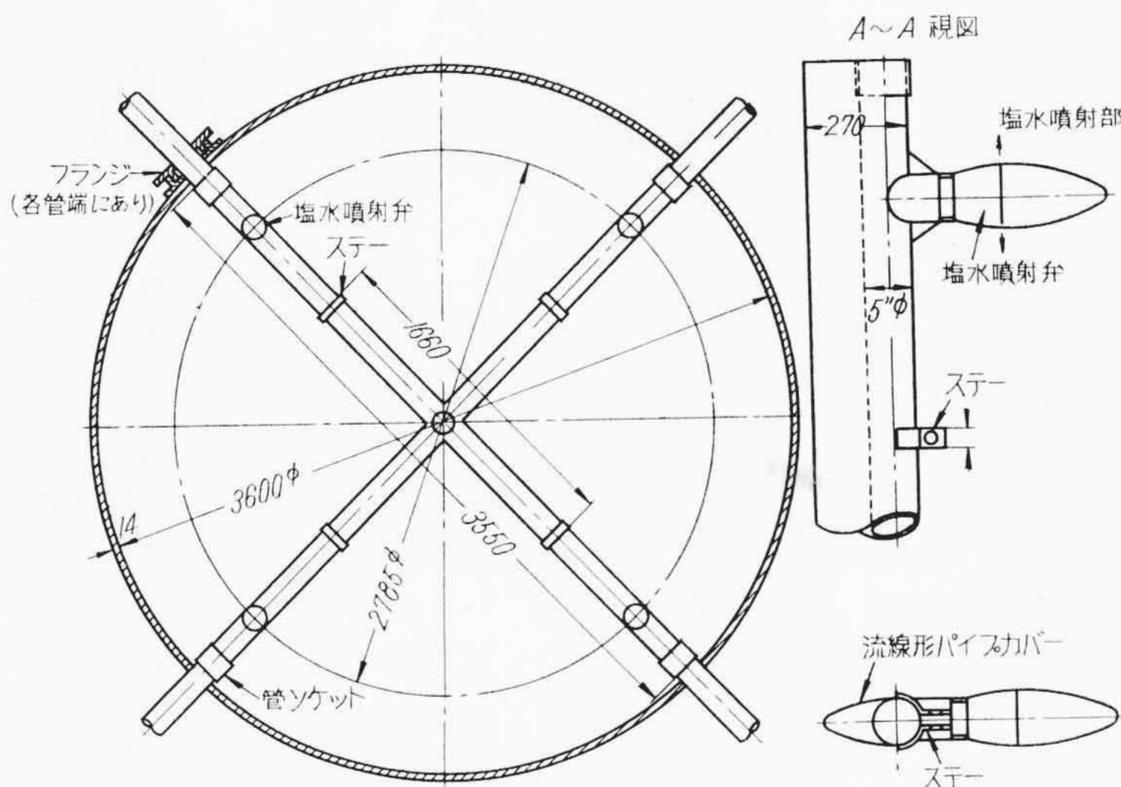
この発電所の水圧鉄管内径は3.60 mあり、第1図に見るように、食塩水噴射弁および第一、第二電極は、直管部に取り付けられている。水圧鉄管入口より噴射弁までは90,159 mすなわち直径の25倍の長さがあるが、途中に一箇所ゆるい曲管部があり、それより噴射弁までは約35 m（直径の約10倍）である。また噴射弁より第一電極までは直管15 m、第一、第二電極間は直管20 mあり、第二電極より下流曲管部までも約20 mである。また管内径は上流側、下流側両曲管部の間はすべて一様に3.60 mであった。

噴射弁は第2図に見るように、中央に1個および直交2直径上に等配に4個、合計5個配置され、第3図のような配管によって食塩水が噴射するようになっている。圧力タンク内の圧力は空気圧縮機により、つねに試験位置の水圧より3 kg/cm<sup>2</sup>以上高く保たれている。

電極は中心においてやや開いた井字形のものである。正負電極間の交叉箇所は絶縁物で絶縁され、また管壁付



第1図 寝覚発電所水圧管配置図



第2図 寝覚発電所試験における食塩水噴射弁とその配置

(a) 水圧管内における試験装置の配置に関して

- (i) 噴射弁上流の直管部分の長さ
- (ii) 噴射弁, 第一, 第二電極間の距離
- (iii) 第二電極以後の直管部分の長さ

(b) 食塩水の噴射に関して

- (i) 食塩水の濃度
- (ii) 噴射弁の個数とその配置
- (iii) 噴射圧力
- (vi) 噴射水の量

(c) 電極に関して

- (i) 電極の形状
- (ii) 電極の絶縁
- (iii) 電極間の距離, 間隔
- (iv) 電極の取付法

(d) 電流-時間曲線に関して

- (i) 電流-時間曲線の求めかた
- (ii) 山形図形より重心を求める方法
- (iii) 流量の決定

近では、管壁より 25 mm の間は絶縁されている。

この試験に使用された食塩水は、実際にはにがり水であった。当時のわが国は極端な物資不足の時代であり、食塩は最も貴重な資源であったため、これをこのような試験に使用することが許されず、やむをえずにがり水を使用した。これにも量的な制限があり、結局にがり水を2倍以上に薄くしたものを使用したものであった。

電流時間曲線図はオシログラフを使用して得られ、その山形曲線図より、厚みの一様な厚紙にこれを写し取って切り抜き、図形の一端をさきえて重心線をきめ、2個の異なる重心線の交点をもって重心とする方法をとった。

このような方法によって慎重に実施されたこの試験は当時としては一応成功したと見らるべきであるが、技術的には決して筆者の満足するものではなく、さらに解決すべき多くの問題を含んでいるように思われる。

この試験は一例であり、必ずしもすべての問題を含んでいるとは考えられないが、いまこの実例に関連して問題点を掲げて見ると次のようになるであろう。

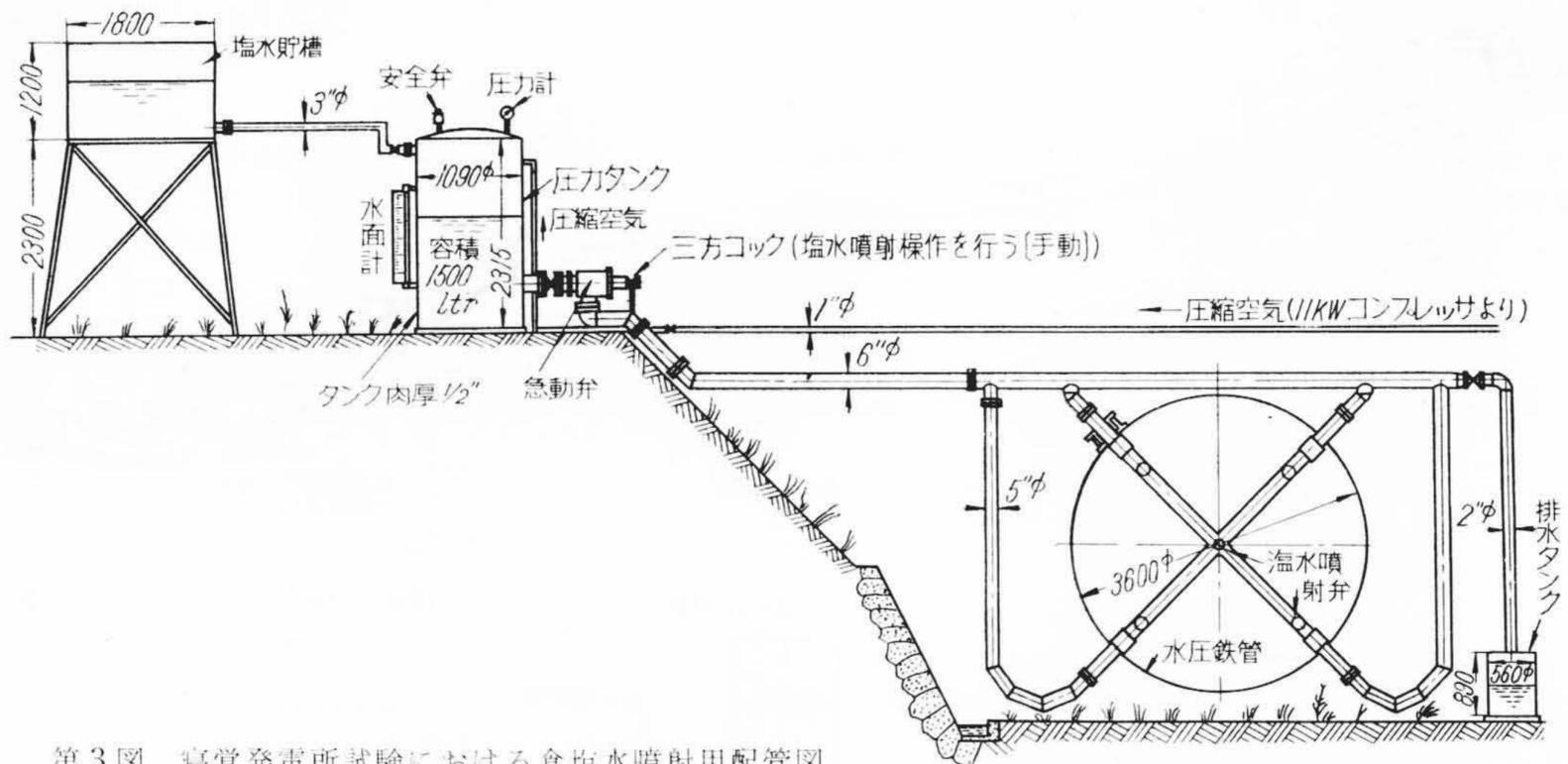
### 3. 問題点に対する見解と対策

上述のような問題点については、いかに考えるべきか、したがってまたこれを解決するにはどのような対策をとるべきかを考えて見たい。もちろん個々の問題に対してはそれぞれ精細な理論的または実験的裏づけを必要とするし、また現地の状況は決して理想的な実験条件にはおかれていないのであるから適確な推論はなはだむずかしいことである。ここでは今まで論じてきた結果と従来の経験や文献によって得られた知識をもとにして論を進めたいと思う。

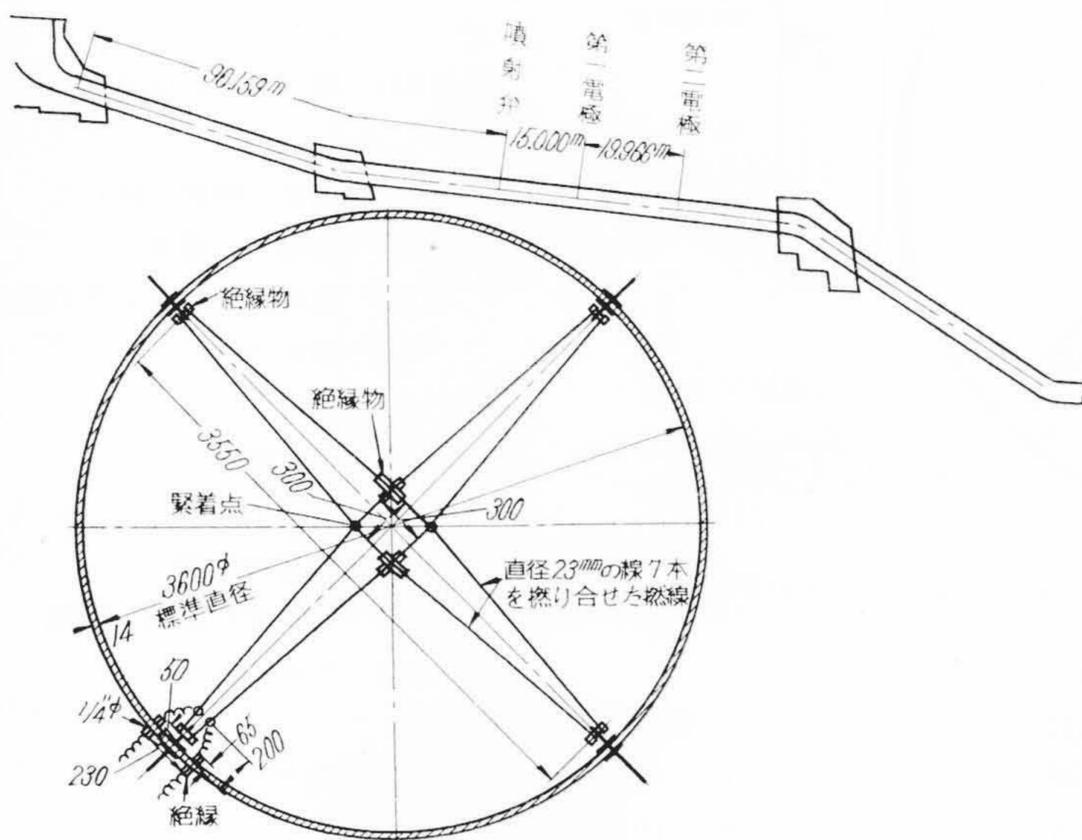
#### 3.1 水圧管内における試験装置の配置

##### 3.1.1 噴射弁上流の直線管路の長さ

水圧管路に屈曲あるいは湾曲部が存在した場合、そ



第3図 寝覚発電所試験における食塩水噴射用配管図



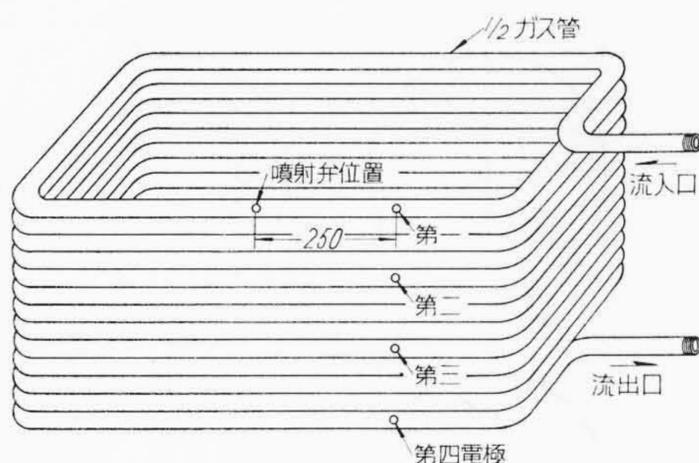
第4図 寝覚発電所試験における電極の形状

の下流にどれほどの直管部があれば、屈曲や弯曲の影響が水流に現われないかについては、古来種々論議されてきたところである。この値は研究者によってまちまちであるが、少なくとも直径の数十倍から100倍程度といわれている。伊藤氏の最近の正確な研究<sup>(2)</sup>によれば50倍という値が発表されている。このような問題は一般にピトー管や流速計によって管内の流速を測定するに際して問題となる<sup>(3)</sup>のであるが、塩水速度法においても、もちろん当然問題となるところである。さきに第2部で述べた理論的検討においても管内の流速分布が理想的な乱流速度分布状態になっているとして論を進めているものであるから、これに近ければ近いほど、実験と理論が近づいてくるものと考えられる。

しかし実際発電所においては、管径が大きい場合にはその50倍以上の直線距離を存置することはほとんど不可能といつてよく、ピトー管法においてもこれに対処するため、直径の20倍程度であればよいとしている。しかしこのことはあくまでも実施上の妥協であって決して十分ではないのである。したがって一応塩水速度法の場合にもやむを得ない妥協として直径の20倍という値が適用されねばならないであろう。ただし塩水速度法の場合には、噴射弁の位置を示すことになるのであって、これより下流に第一、第二電極が存在することになるから、直線距離ははるかに長くなることは自明である。

### 3.1.2 噴射弁、第一、第二電極の相互位置

次に噴射弁と電極間の距離であるが、実験実施の便宜からいえば、これらのものは近ければ近いほど準備が容易となり、実験上の失策も少ないわけであるが、実験精度上からは必ずしもそうではない。第2部における理論的検討の結果にしたがえば、同部第5図を参照して  $L_2/L_1 = \lambda$  の値が大きいほど、すなわち噴射弁第一電極間  $L_1$  に比し、噴射弁第二電極間  $L_2$  が大きいほど、求める流量値が大きい値となることを示している。しかし大きいちがいは  $\lambda = 2$  以下、すなわち  $L_2$  が  $L_1$  の2倍以下のときに起り、 $\lambda$  が2以上になると大きい差は生じないことを示している。 $\lambda = 2$  ということは噴射弁第一電極間の距離と、第一、第二電極間



第5図 実験用ら旋管

の距離とが等しいことを示しているのであるから、この結果によれば、噴射弁と第一電極間よりも第一、第二電極間を長くすることが望ましいことがわかる。しかし同時に第二電極に現われる電流時間曲線図は、 $\lambda$ が大きいほど、すなわち第二電極が遠ければ遠いほど、山形が低くなり、長く尾を引いた図形となりやすいものであることは、第2部(その2)第4図や(32)式で示されているから、むやみに大きくすることはもちろんいけない。これらの両者を考え合わせると、第一、第二電極間の距離は、噴射弁第一電極間の距離に比し1~3倍の範囲内にとるのが最もよろしいのではないかと考えられる。

### 3.1.3 第二電極以後の直管部長さ

第二電極を過ぎたあとの直管部の長さは、単に曲管部の影響が上流に及ぼさないことを条件とするもので、従来のピトー管法などではこれを直径の5倍以上と定めている。塩水速度法に対してもその意義は同一と考えられるので、やはり直径の5倍をとればよいであろう。

### 3.2 噴射後電極に至るまでの距離に関する一実験

噴射弁より第一電極にいたるまでの距離をいかにとればよいかは、噴射弁の個数、噴射圧力、その場所における流れの状況などにより変わってくるので簡単には決定できない問題であるが、筆者は10年ほど前に、ら旋状に巻いた管について塩水速度法を用いて流速を測定したことがあり、その際の一部の実験値は多少この問題に対して寄与すると思われるので、次にこれを紹介しよう。

実験に使用したら旋管は第5図に見るように1旋回の管長が約2.3mの短形状に巻かれた1/2"ガス管で、その全長およそ31mのものである。

この管の1端をポンプより送水される水槽につなぎ、管入口より1.82mの位置に食塩水噴射弁を取り付け、その下流0.25mの位置に第一電極を、以下4旋回ごとの同じ位置に第二、第三および第四電極をもうけ、各電極で得られた電流時間曲線図の重心位置より平均流速を決定する方法によって流速を測定した。

第1表 ら旋管の流速測定における誤差  
平均流速 誤差 $[(平均流速 - 測定流速) / (平均流速)]\%$   
(容積法による)

m/s	①—②	②—③	③—④
0.60	-6.6	+1.6	-0.8
0.74	-6.0	+1.6	-1.0
0.98	-7.4	+0.2	+1.2
1.33	-6.8	+0.1	-0.2
1.52	-6.7	+0.5	-0.6
平均値	-6.7	+0.8	-0.6

①②③は電極の番号を、①—②は第一、第二電極間で測定した流速についての値であることを示す

測定の結果は第1表に示すとおりであった。測定は流速0.60m/秒より1.52m/秒の間の数点について行われているが、第1表に現われたところでは流速による誤差の増減の単純な傾向は見当らなかった。

この実験は塩水速度法の精度を検討するためのものではなかったため、各測定値には絶対値としての正確さに欠ける点があるが、第1表に示されるところでは、第一、第二電極間の値のみが特別に誤差が大きく②—③、③—④においては1%以内の誤差範囲内にあるようである。

このような結果の原因について考えて見るに、第一電極は噴射弁の直後にあり、導管は1/2"という細い直径であるにもかかわらず、弯曲部の存在によって食塩水が流速の小さい部分によどんでいて、全般的に行きわたらなかつたことによって、著しく小さい測定値が得られたものと思われる。しかし、このような状態は永い間持続せず、多数個の弯曲部によって、食塩水が水とよく混合し、第二電極以後の測定値では平均流速に近い値を示すにいたつたものと考えられる。

この結果の数値は直接参考にはならないが、噴射後しばらくは、食塩水が水の平均流速を表わさないことがあるということに重要な要素を含むのであって、この意味から、噴射弁と第一電極との間はあまり短いことは好ましくないことがいえるであろう。

また同時に、第一、第二電極の両方での食塩水の混合状態が、あまりちがわないことが望ましく、そのためには当然第一電極において、すでに十分混合が行われていることが、最も必要な条件であるといつてよいであろう。

### 3.3 食塩水の噴射

#### 3.3.1 食塩の濃度

塩水速度法に使用される食塩水はなるべく濃度の大きいものが望ましい。その理由は河川の水は常に清澄な場合だけでなく、時に応じて塩分を含んだりして、そのために状態が変化することが考えられ、もし試験中噴射する食塩水が薄いものであったりすると、もとの塩分の変化と混同して図形の正確な把握ができ

なくなる。さき一例として述べた寝覚発電所での実例の際もにがり液を2倍以上に薄めて使用したため、オシログラフ上に十分大きい図形をかかせるために、オシログラムの拡大を特にくふうせねばならず、したがってまた食塩水噴射前後の基準電流線の変化があらわれて、図形の正確な決定に大きい困難を感じしめられた。

中国台湾省における台湾電力公司ではこのことに注目し、つねに濃度の大きい食塩水を使用するように心がけていることは、最も安全な塩水速度法成功のかぎとあってよいであろう。

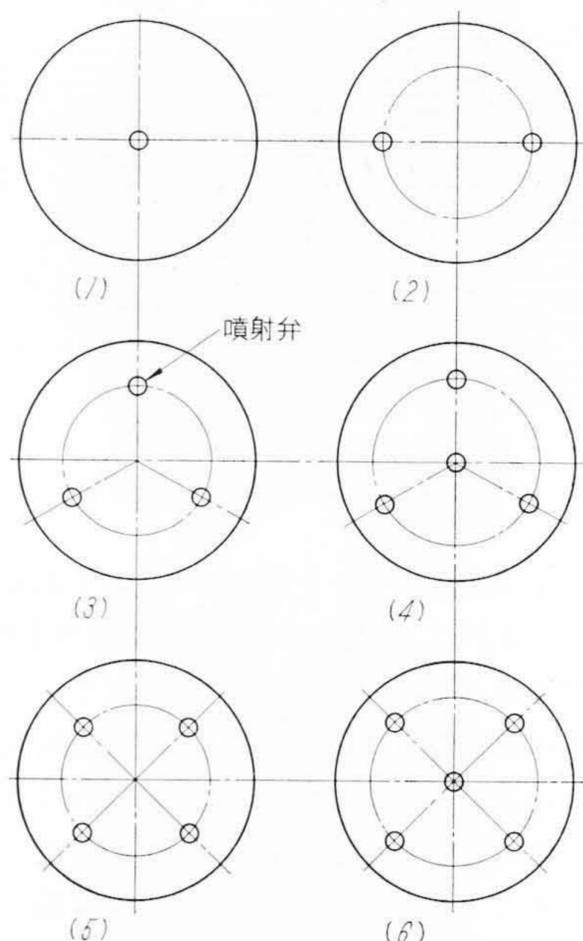
すでに第2部で述べたように、食塩の水に対する溶解度は水温に無関係にほぼ一定で、水100gに対し35g程度の食塩が溶解しうるものである。(すなわち100gの飽和食塩水中には食塩が26g程度溶解している。)したがって食塩水を作るのはきわめて簡単で単に水中に食塩をできるだけ多量に投入し、かきまぜることによって、なお食塩が下に沈でんする程度にすればよく、このことは水温と無関係であるといつてよい。しかし実際問題として岩塩や低質の工業塩などを使用する場合、ともすると溶解に時間を要することがあり、このときには細かく粉碎したり、水を温めたりすることが溶解をすみやかならしめることになる。

食塩水の濃度が高ければ、その比重も大きくなるので、噴射後食塩水が管内の下部に移行することが起りうるが、実際には噴射弁からせまい隙間を通して噴射されるので、噴射直後より清水と混合しはじめることになり、試験実施時間中に下方にのみ食塩水が集まるということは考えられないところである。

### 3.3.2 食塩水噴射弁の個数とその配置

食塩水噴射弁は一瞬間に水圧管路の1断面に一様な厚味の食塩水層を形成するように配置されまた動作をすることが望ましい。さきに第3部においては水中に噴射された噴射水の到達距離について検討したが、その結果によれば通常噴射圧力として使用される $5\text{kg/cm}^2$ 前後の圧力では瞬間に到達しうる確実な到達距離は意外に短かく、わずかに0.5m内外であることを知った。もちろんこの後拡散作用により次第に外方に向けて進行するから、噴射弁より第一電極に到達するまでには、もっと広い範囲に食塩水が散布されることになる。しかし確実な到達を望むには、拡散による到達に深く頼ることは危険であり、せいぜい最大到達距離を0.8m程度と見るべきであろう。

このように考えた場合1個の噴射弁をもって食塩水を噴射しようとする場合は、水圧管内径1.6m以内程度とすべきで、この場合といえどもできるだけ噴射圧力を高くし、また噴射弁の開きを大きく、すなわち噴

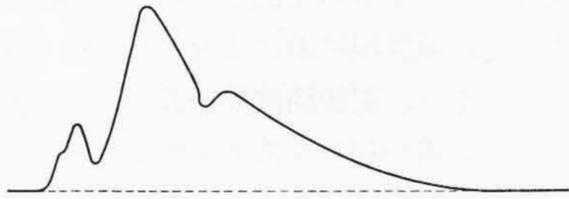


第6図 食塩水噴射弁の配置方法

射水の厚みを厚くすることが望ましいことはいうまでもない。

水圧管径が大きい場合には当然噴射弁の個数を増加しなければならないが、この場合は数に応じて第6図のような取付けかたが考えられる。すなわち噴射弁の個数に応じてその1断面内の到達が異なってくるが、同図(1)、(2)のような配列は食塩水の到達から考えて1個の場合より格段にすぐれていることは考えられず、食塩水層の不均等の問題は解決できないであろう。(3)および(4)では比較的良好な均等度が得られるであろうが、配管の構造上からは好ましくない場合が多いであろう。(5)および(6)の配置は均等度および構造上から見て最もよいと考えられるが、この場合には少なくとも4個の噴射弁が必要となる。この考えかたよりすれば、1個の噴射弁では満足できない直径1.6m以上の水圧管の場合には一挙に4個または5個の噴射弁を取り付けることになる。現在まで行われた大径管での実験はほとんど全部5個の噴射弁が採用されているのは、このような関係によるものである。

しかし5個の噴射弁を第6図(6)のように配置したとしても、もし水圧管径が5mという大きいものである場合には、中央の弁による到達距離0.8mと周辺1個による到達距離(噴射弁を中心とした直径になる)1.6mとの和2.4mが推定到達距離となり、かろうじて条件を満足するということになる。この推定値が正しいとは考えられないが、一応5個の噴射弁というものは決してむだに多いものではないことが理解できる



第7図 噴射弁の開閉が同時に行われなかった場合の電流時間曲線図

ことと思う。

次に噴射弁の水圧管径上の配置であるが、たとえば5個の噴射弁の場合には、各噴射弁が水圧管断面を5等分した面積の中心にあるように配置することも考えられるし、また到達距離において均等になるように配列することも考えられる。いずれをとるべきかは必ずしも速断しえないが、いずれにしても噴射後拡散に十分な時間をおいて第一電極に到達するようにすれば、そのいずれによるかは大きい差を生ぜしめないと考えてよい。

噴射後第一電極に到達するまでに十分拡散を行わせるには、いかほどの距離をおいたらよいかを考えて見るに、第3部においても検討したように、一般には10秒の時間があればまず十分と考えてよいようである。しかし実際には最大流量時には平均流速が5 m/sにも達することがあるので、その場合には噴射弁と第一電極間が50 m以上ということになる。このような長い直線距離をとることは一般にはゆるされない場合が多いと思われるが、少なくとも5～6秒の時間間隔をとるほうが無難であると思われる。A. S. M. E Test Code では「最大試験負荷時の食塩水の試験部分通過時間は9秒より短かくてはいけない」とあるのは、必ずしも噴射弁と第一電極間を意味するとは考えられないが、食塩水の拡散の面からは重要な意味をもつものと考えられる。これを要するに、水圧管の直径と噴射弁の個数とより考えて、断面全体に食塩水が散布されるまでの時間を第3部の検討結果より推定して、十分に散布が行われる範囲において、噴射弁と第一電極間の距離を定めればよい。

最後に注意すべきは噴射弁の個数が増えると、これを同時に噴射せしめることが問題となるが、水圧および弁バネの力に十分勝ちうる圧力を食塩水に持たせ各弁が同時に開閉することを確認しておかなければならない。筆者の従来経験では、各弁の開閉を0.1秒以内の誤差で同時に行わしめることは困難でなく、またこの程度の同時性を保たせないと、ややもするとオシログラムにとられた電流時間曲線図が第7図のように二つ以上の山をもつようなものとなり、正しい電流時間曲線図が得られなくなるので注意を要する。

### 3.3.3 噴射圧力

すでに述べたように食塩水が噴射弁から噴射された場合の到達距離は、噴射圧力の増加とともに大きくなるが、その割合はきわめて少なく、噴射圧力を増して到達距離の増大をはかることはあまり得策ではない。一方噴射圧力を増大することはそれだけ実験操作をむずかしくすることにもなるので、一般には噴射位置の水圧よりも3～5 kg/cm<sup>2</sup>高い圧力をとればよいと考えられる。しかし水圧管径が大きく、しかも噴射弁個数が少ない場合にはやはり圧力を高くとる必要があろうが、圧力を高くしたから十分な到達距離が得られるとは考えずに、むしろ噴射弁より第一電極までの距離を大きくとることを考えて、この不足を補うことが得策であろう。

### 3.3.4 噴射食塩水の量

食塩水はなるべく多量のものを瞬時に噴射するほうがよろしいが、食塩の消費が多くなるので、これにも限度がある。しかし実際には試験中の噴射の状態を見ることはできないので、十分水圧管断面に食塩水を散布しうるように、惜しまずに噴射すべきである。この際、噴射時間を長くすることは、食塩水層を尾をひいた形にしてしまうので、なるべく瞬間的に開き、瞬間的にとじるよう心がけねばならない。噴射時間は0.5秒以内を適当とする。0.5秒では十分な量が噴射できない場合は噴射弁の開度を大きくして量の増大をはかるべきである。

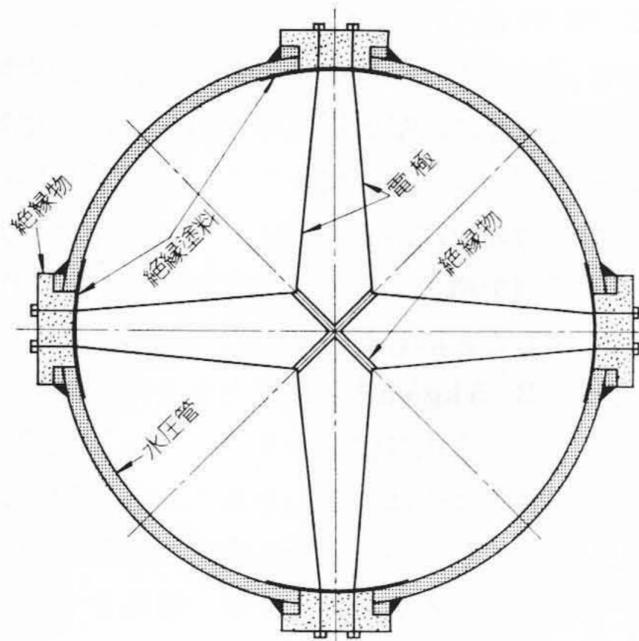
## 3.4 電 極

### 3.4.1 電極の形状

すでに述べたように理論的には直角双曲線形の電極がよいとされるが、実際上図形重心より流速を決定する操作をとるとすれば、むしろ少し平行電極に近いほうがよいことは、第2部ですでに明らかにしたところである。現在まで行われた多くの実験はほぼ双曲線に近くなるような折線の電極が使用された。しかし実際問題としては電極の形状の差による実験結果の差を明確に示した研究結果はなく、どの程度がよいかも不明ではあるが、それだけにさきに述べたような両者の中間を選ぶべきことを強調したい。なお電極はいかにしても曲線形には保ちがたいので折線をもって代理するとはやむを得ないであろう。

### 3.4.2 絶 縁

電極の絶縁に関しては電極相互間の絶縁はもちろん十分厳密に行われなければならないが、水圧管と電極との間の絶縁にも十分注意しなければならない。特に電極が水圧管壁を貫通する箇所は電極の管内の部分の被覆するわけに行かないから、少なくともこの部における2本の電極の間隔以上の範囲にわたり水圧管内面



第8図 電極の絶縁

に絶縁塗料などで完全な絶縁を施さなければならない。

### 3.4.3 電極の取付けかた

電極は大径管の場合は剛体を用いることができず、より合せ銅線が用いられることが多い。したがって曲線形を保つことは不可能となり、前述のように折線とならざるを得ない。

電極は強く張り過ぎると水圧鉄管の満水時の変形や通水時の変形運動のために断線することがあるので、多少ゆりみを与えておく必要がある。より合せ線を使用すればこのおそれは大いに軽減できる。

電極の取付け状態の一例を第8図に示す。中央の被覆線が移動すると電極が変形するから、位置の変化が起きないように十分注意しなければならない。

## 3.5 電流時間曲線図

電流時間曲線図はオシログラフの上に時間座標で示された電流の山形曲線として示されるので、この図形の上で塩水速度法の最終結果が取まとめられる。ここではこれらについてしらべる。

### 3.5.1 時間座標

電流時間曲線図は塩水速度法の実施結果の総決算として得られるが、そのうち絶対値としての正確度を要求されるものは時間座標だけであり、時間座標の精度によって塩水速度法の精度が直接左右されることになる。

この時間座標につき実際試験実施上問題となるのは、時間指示の絶対的精度、すなわち正確な時間指示をうることと、ほかの一つは記録図形が時間的に一樣なおくりでかけられることである。

前者に対しては近來測時計の著しい進歩により、0.1%以内の精度の測定を行うことは少しもむずかしいことではなくなったのは塩水速度法にとってはなほだ大き

い利点をもたらすものであるが、往々にして特別な時間計でなく、試験場における有り合わせの電源を使用することがあり、電源周波数の検討が不十分なために、大きい誤差の起りうる可能性が多分にあり、正確な実験を望むならば、やはりあらかじめ十分な精度をもった測時装置を使用しなければならない。

後者については最大の原因はオシログラフの記録用紙のおくり速度の不整一である。通例用いられるオシログラフにしても、この点については必ずしも十分ではない。塩水速度法では、得られた図形の重心を求めらるのであるから、山形図形面積が問題となるのであり、不整一な時間座標の上にかかれた曲線は変形された山形図形となるので、正確な重心を求めることができなくなる。このような場合いちいち別に正確な一様時間座標の上に図形を書きなおして用いればよいわけであるが、このような操作は当然誤差の増大を伴うものであるから方法としては窮余の便法としか考えられない。

いずれにしても塩水速度法においては時間座標のみが唯一の絶対値として意味を持つものであるにもかかわらず、とかく閉却されがちであり、特に注意を喚起したい。

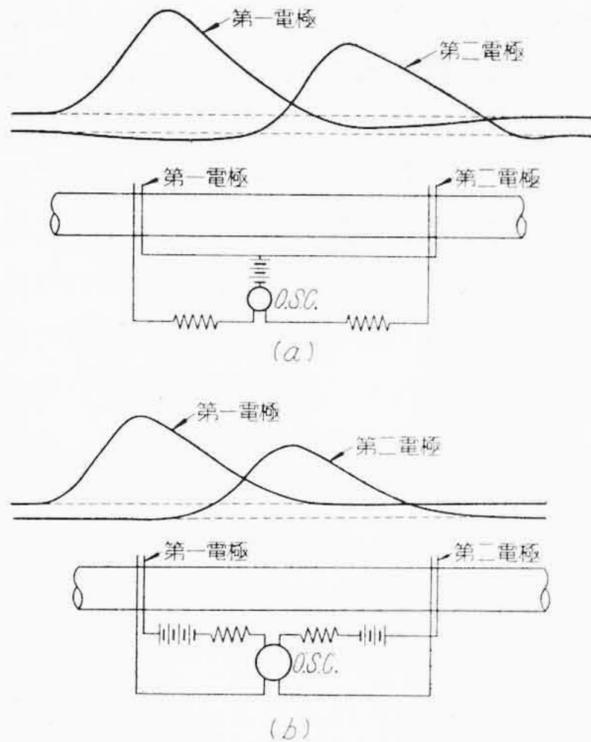
### 3.5.2 電流曲線

電流曲線は通電した電流の大きさを正確に比例的に図形上に表わされることが必要であって、その電流の絶対値の大きさは問題ではない。ただあらかじめ予備試験において、最大値がオシログラフ内におさまることを確認し、また一実験ごとに、電流計によりその電流の変化の様相をみて、第一、第二電極ともに十分オシログラフ内に図形が完全にかかれたことを確認しなければならない。

十分な濃度の食塩水を使用し、電極の絶縁が確實であれば、ほとんど問題とすることはないが、時として食塩水の到達前の基準電流線と、通過したあとの基準電流線の高さが異なり、電流図形としてはかたむいた形のものが見られることがある。これは大部分食塩水のわずかの量が電極から流れ去りにくい構造になっていたり、または電極の絶縁不良や電極に金属片が引っかかったりしたときに起る。また食塩水としてあまり濃度の低いものが用いられたりすることによる場合もある。いずれも塩水速度法の正常な現象ではないのでただちに試験を中止して処置しなければならないことはいふまでもない。

次にこの電流の電源としては電池が用いられるが、この際第一電極、第二電極の両者に対して全然別々に用意する必要がある。

第一、第二電極間の距離が短い場合には図形が重なるため当然別にはなるが、そのことは別として、第



第9図 電流時間曲線図記録装置における電源電池の配線

一、第二電極に対して電源を共通にすることが好ましくないのである。第9図は電源が共通な場合と別々の場合とを比較説明したものであるが、共通の場合にはほとんどすべての場合同図(a)のように結果的には第一、第二両電極の図形が互に干渉し合っ、正確な図形を与えないからである。よって必ず電源電池は電極回路ごとに別々に設置されなければならない。

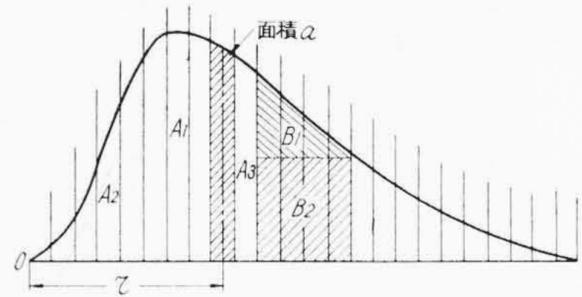
また試験途中でしばらく待機時間をおくと、ややもすると無圧状態の噴射弁配管内に清水が逆にもれ込んで、次の噴射においては稀薄な食塩水が噴射され、その回の電流図形が山の低いものとなるから、このように多少待機時間が長びいたときには、惜しまずに1回空噴射を行うのがよい。

なおさきに検討したように第二電極の図形は理論的に第一電極の図形よりその曲線の山の高さが低くなるが、あまりに低くなるようなときは第二電極の回路の可変抵抗を変えて高くすることはさしつかえないであろう。あまり大ききのちがいきすぎる図形はあとの処理がむずかしくなるだけであるから、このことはゆるさるべきであるが、第二電極の図形は山が低い反面尾が長くなるので、山の高さの拡大もむやみに行われるべきではない。

### 3.5.3 図形重心の計算

第一、第二電極でかかれた電流時間曲線図の重心の時間座標を求める方法は種々考えられているようであるが、次の2種の方法が現在最も一般性があるといえる。

第一はまったく図形上の計算によるもので、ある定まった形を持つ図形の重心の位置は、任意の1点のまわりのその図形のモーメントを、その図形の面積で割



第10図 図形より計算によって重心を定める方法の説明図

った値に等しいことに基く方法である。いま求める図形重心を座標原点より  $\tau_G$ 、図形面積を  $A$ 、座標原点のまわりのモーメントを  $M$ 、それらの素分を  $\tau$ 、 $a$  および  $m$  とすれば

$$\tau_G = \frac{\sum \tau \cdot a}{\sum a} = \frac{\sum m}{A}$$

として求めることができる。

計算の実際については、第10図に示すように電流時間曲線の山形図形の曲線の始点0を原点にえらび、底辺(時間座標)に垂直に任意のたて線で図形を分割する。この際たて線は特に等間隔である必要はない。山形曲線の勾配の急な箇所はこまかく、平坦なところはあらくとってもよく、要はその区画の面積の個々の重心がなるべく正確に知れるように注意すればよい。図形が矩形に近ければ重心位置は正しく(たとえば図の  $A_1$  区画)、 $A_2$  のようにてい形の場合はこれにくらべて重心位置の決定がむずかしいはずであるからである。

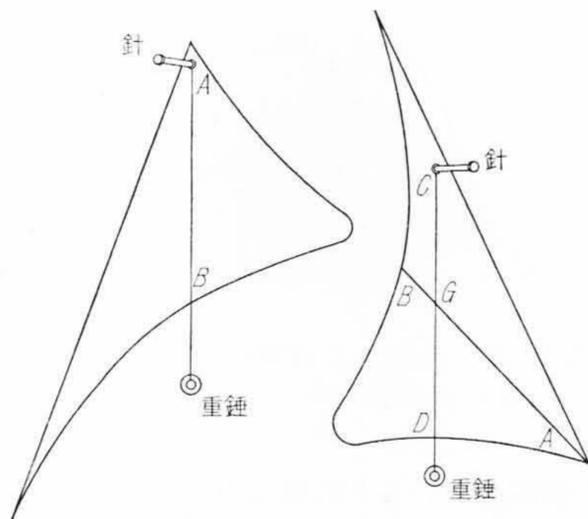
このようにしてたとえば区画  $A_3$  の面積をプランメータによって測定して求め、その重心位置を決定して  $\tau$  をきめることにより、 $\tau \cdot a$  が決定される。このことを全図形のそれぞれの区画について求め、上記の式により重心の位置を計算する。

前述においててい形の重心に対して不安があるならば、そのような箇所に対しては、同図  $B_1$  および  $B_2$  のように分割して、そのおのこの面積と重心を求めればより正確な計算ができる。

以上の方法は理論的にははなはだ正確であるが、実際にはプランメータによる測定誤差があり、またははなはだ労の多い作業であるため、あまり好んで行われたい傾きがある。しかし測定の原図について計算しうるので、正確なプランメータを使用すれば、正確な値を求めることができるというてよい。

第二の方法は上述のようなわずらわしい計算を行うことなしに、機械的に重心を決定する方法で、現在一般に現地で利用されている。

すなわち測定原図の山形曲線を厚みの一様な製図用紙や薄いセルロイド板などに写しとって、ていねいにその形を切り抜き、端に近い任意の点に小孔をあけて



第11図 機械的な重心の決定法の説明図

針を通し、垂直な摩擦の少ない壁ぎわに吊して針でとめ、図形を針のまわりに左右に動揺せしめ、静止した位置を求めてこれを固定し、別に前記の針に掛けられた細い糸（下端に重錘がつり下げている）の示す鉛直方向を見出し、図形上にこの糸の通る線をかき、次に図形のほかの任意の一端について同様な操作を行い、2本の重心線の交点を求めれば重心が簡単に決定される。第11図はこのことを説明した図である。このようにして求められた重心Gをふたたび原図上に写して時間座標の長さが決定される。

この方法は一見はなほだ粗雑なように考えられるが、注意して行えば少しも不安のないよい方法である。ことに原理的には前記の二操作で重心を決定するが、さらにほかの一端について同様な操作を行い、三重心線が完全に一点で交わることを条件とすれば操作上の不完全はとり去られて、正確な値が得られる。

ただ図形が平たい山形であると、第11図のAB、CDの直線の交点が明瞭に求めにくいこと、切り抜き図形が完全に一平面でないと重心位置が狂うことがあること、紙質が一様でないためのかたより、針の止点における紙の摩擦、糸の太さによる重心位置の決定上の誤差などがあるので、操作には細心の注意を要する。何よりも原図より山形図形を写しとり、切り抜くという操作が最も不安感を与えるものであるから、すべて慎重に行う必要がある。

#### 4. 長い区間で実施する塩水速度法

今まで述べてきたことは、すべて近來行われている電極間距離の短い場合についてである。近來は水車1台の容量が大きくなり、これに伴って水圧鉄管の直径も大きく、したがってまた直径に比して長さが比較的短い場合が多く、どうしても短い区間で実施することを余儀なくされている。区間が短かければ管内の食塩水層は噴射されたときの状態をあまりくずさず水の流動に

したがって流下するから、このときの食塩水噴射箇所より電極を通過し終るまでの水の流動状態が直接食塩水層の形状を左右し、ひいては電極を通過するときの状態が初めに考えられたものちがってくることになる。電流時間曲線に対し異なった形状を与えるようになる。したがって前述のように電極の位置、噴射弁の位置などをすべて流れの状態が一定であるような水圧管の直管部分におくことが強制される。水圧鉄管が短い場合にはこのように考える以外に方法がないのである。したがってまた食塩水も大量に噴射しえないために、食塩水層も比較的厚みがなく、考えかたとしても比較的厚みの薄い食塩水層が流下すると考えるほかに方法がなく、前述のような検討が行われることになる。

水圧管が長い場合にはこれとは事情が異なる。すなわち、このような場合には直径に比して長さがきわめて大きく、また実際にも比較的細い管が多く、食塩水噴射弁も特に多数を要しないので、一回の噴射量は比較的少ない。したがって、ある程度長時間の噴射を行うことができ、このため塩水層はある区間におけるかたまりとなって流下することになる。しかも長い区間の間には弯曲や管断面の変化もあるから、全体としては理想的な流速分布が考えられず、低速高速が互に入り交る状態とならざるを得ない。そのため食塩水のかたまりは前述のような理想的検討で取り扱った流動状態をなさず、いつまでも一つのかたまりとして流下すると見てよい。このような場合はもはや噴射の方式や電極の形状などは特に問題とはならない。従来実験室的に行われた塩水速度法の研究結果が、高い精度を示しているのはこのような関係によるものと考えられる。

Dodkin氏<sup>(4)</sup>は直径約1,560 mm、長さ365m および直径約1,750 mm、長さ460m という長い区間に噴射弁および電極を設置して試験を行い、ギブソン法による結果とよく一致した値を得たことを報じている。またKirchmer氏<sup>(5)</sup>は直径2,250 mm、長さ約280mの区間について試験を行っている。

しかしこれらの場合共通的に悩んでいる問題は下流における電流時間曲線の山形図形の低く長いことで、その重心の決定には特に注意を要し、どうしてもある程度山の高さを高くする方式をとらねば正確な結果は得られないように思われる。

#### 5. 放射性物質を利用する方法

近來原子力平和利用が最尖端のトピックとして眼前に展開されるにいたった。これに伴って放射性同位元素（ラジオアイソトープ、以下RIと略記する）の工業方面への利用が急速に盛んになりつつあり、その一応用例としてこれを流量測定に利用することが真剣に考えられ、

また試みられている。

筆者もこれに関し昭和22年頃取り上げて検討したことがあったが、当時の国情としては到底実験的な面は望まれず、そのまま立消えになったことを記憶している。

外国にあっては1955年にこのような試みを行った例が文献に見えていえるが、わが国でも昭和29年に電源開発株式会社の大西氏<sup>(6)</sup>が、初めて発電所の流量の測定をこの方法で実施している。この方法はR Iを上流より液体の形で投入して下流に計数管をおいてR Iの到達を知る方法で行ったものであるが、実験方法において十分な精度を現わしえなかった模様である。

筆者などは液状R Iが発電所における水を汚染することをう렷て、カプセルに封入されたままのR Iを管内の流れに投入して、その速度状態を検討した<sup>(7)</sup>が、これは実験室的なものであって、大水量測定に適用するまでにいたらなかった。

わが国における本格的な応用は昨年電源開発会社で行われた西吉野第二発電所における試験<sup>(8)</sup>であろう。この試験の結果によれば、まだ大水量測定法としてほかにぬきんでる成果を示しえなかったのはやむを得ないが、少なくとも将来性ある方法として新しくその列に加えられるべきものであることを示した。

以上各研究試験はすべてその原理において塩水速度法とほぼ同様で、ただ食塩水のかわりにR Iを使用したというにとどまり、したがって原理的に塩水速度法よりも高い精度を示すとは考えられないものである。

ただ塩水速度法と異なり、その電極を管内にもうけることなく、外部において計数器を使用してこれを数量的にとらえるため、発電所の試験準備が有利である点のみのがせない。なお一般にR Iとしてその半減周期の短いものを使用すれば、下流における人体への危害は少ないが、そのかわり試験時間の点で制限をうけるため、一般には比較的半減周期の長い $\text{Co}^{60}$ のようなものを使用することが多く、このため実験操作などにおいてむずかしい場合なしとしない。この方法における今後の発展はR Iの独特な作用をたくみに利用して、塩水速度法では達しえない高い精度をいかにして発揮できるかについての新しい着想にかかっているといてよい。この点この方法は今後大いに期待できるものであることを信ずるものである。

## 6. 結 言

大流量測定法として古くから採用されている塩水速度法に関しては、その方法が広く行きわたっているのに比して根本的な検討が少なく、これがこの方法の弱点と考えられている場合もあるように考えられた。

筆者は昨年来ここに思いをいたし、すでに十数年前に

一応検討した結果に多少補足することによって、きわめて簡単ながら電極、噴射弁などに関する検討を行ってこれを紹介した。なお最後にこの方法の実施にあたり注意すべき点を示して参考に供した。

しかし塩水速度法のみに限らず現在行われている大流量測定法のいずれもが、一般に要求されているきわめて厳密な精度上の要求に対してはるかに遠いものであり、一步下って1%程度の差の判別に対してもまだまだ十分でないことは、遺憾ながら認めざるを得ないところである。大水量測定に関しては、その研究は決して新しいものではなく、多くの試みがなされているが、主としてその目的が現地水力発電所の流量の精密測定、いかえれば水車性能の確認にある。しかるに水車性能はすでにめざましい発達を示して90%を上回る程度のものが常識的にいわれているところから、今後の進歩は画期的であるはずがなく、わずかずつ逐次進歩することになるのは自然である。したがってこの進歩を確実にとらえるためには是非ともきわめてわずかの性能の差を確認することが必要で、ここに大流量測定の意義と困難さがある。

ここに述べた塩水速度法も過去において立派な大流量測定法として賞用されてきたものであるが、上述の意味において、飛躍的な精度上の進歩が行われなければならず、この点に関して本文が少しでも参考になれば幸である。

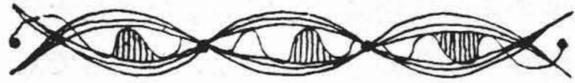
最後に本報文を終るにあたり、塩水速度法の実際に関し、往年先輩として種々御指導を賜った前原重男(現日立工事株式会社社長)、今井恒三郎(日立エンジニアリング株式会社取締役)両氏に深く謝意を捧げるものである。両氏は当社における塩水速度法開発の先駆者であり、筆者が今日このような報文を行うに至った直接の動機は遠く両氏の御指導によるものであることを深く感じている次第である。また報文の内容に関して、特に電極の形状や塩水速度法の精度に関しては、兼重東大教授の論文に教えられるところが多かった。現地における経験に関しては関係電力会社、発電所などの御厚情と日立製作所日立工場小森谷副工場長以下の関係各位の御援助の賜であり、また台湾電力公司における関係各位の御厚意を忘れることができない。なおそのほか一般に大流量測定は長い年月の問題であるだけに学界、電力会社などより有形無形の多くの御教示を賜っているわけであり、ここに御芳名を記する余白をもたないことにはなはだ残念に思う次第である。

以上各位に対し、深く謝意を表する次第である。

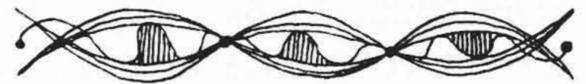
## 参 考 文 献

- (1) 山崎: 日本機械学会誌 53, 375, 114~121 (昭25.3.4)  
山崎: 日立評論 32, 261~270 (昭25-6)

- (2) 伊藤：日本機械学会36期総会講演会前刷集 No.4 講演番号 631 (昭 34-4)
- (3) 山崎：日立評論 38, 641~650 (昭 31-5)
- (4) O. H. Dodkin：Trans. A. S. M. E. p. 663~676 (Nov. 1940)
- (5) O. Kirchmer：Zeitschr. V. D. I. Bd. 74 Nr. 17 p. 521 (1930)
- (6) 大西：電源開発株式会社提出機械学会水車分科会資料「アイソトープ投入による胆沢発電所水路の流量測定および石淵堰堤の漏水調査報告」(昭 29.3)
- (7) 岡田, 山崎ほか：日立評論 39, 305 (昭 32-3)  
岡田, 山崎ほか：OHM 44, 3, p. 65 (昭 32-3)
- (8) 大塚, 桑原ほか：電気学会雑誌 p. 881 (昭 33-7)



## 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1)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
特 許	252890	閉 鎖 形 配 電 盤	国 分 工 場	石 郎 夫	34. 6. 30
"	252879	電 気 車 速 度 制 御 方 法	水 戸 工 場	野 藤 正 博	"
"	252880	貨 車	笠 戸 工 場	高 石 丸 達	"
"	252885	自 動 変 速 切 換 同 期 用 シ リ ン ダ ー	笠 戸 工 場	伊 村 達	"
"	252887	大 荷 重 運 搬 用 台 車	笠 戸 工 場	伊 村 田 師 信	"
"	252883	燃 焼 安 全 装 置	川 崎 工 場	相 西 沢 岡 武 富 士 夫	"
"	252881	自 動 平 衡 型 放 射 線 利 用 液 面 計	多 賀 工 場	鷺 見 哲 重 樹	"
"	252882	プ ロ グ ラ ム 制 御 装 置	多 賀 工 場	小 沢 重 房 吉	"
"	252889	誘 導 型 継 電 器 の 限 時 特 性 調 整 装 置	多 賀 工 場	小 猿 渡 正 長 文 錦 吾 夫	"
"	252884	蓄 放 式 X 線 装 置 の 放 電 制 御 装 置	亀 戸 工 場	和 小 安 千 二 齋 井 大 井 山 滝 鈴 金 金 仲 沢 西 宮 落 桑 能 永 高 高 高 武 洪 小 若 鈴 大 若 鈴 大	"
"	252891	電 気 開 閉 器	亀 戸 工 場	原 木 藤 上 島 裕 之	"
"	252886	熱 的 負 性 抵 抗 体	中 央 研 究 所	二 齋 井 大 井 山 滝 鈴 金 金 仲 沢 西 宮 落 桑 能 永 高 高 高 武 洪 小 若 鈴 大 若 鈴 大	"
"	252888	静 電 高 圧 発 生 機	中 央 研 究 所	二 齋 井 大 井 山 滝 鈴 金 金 仲 沢 西 宮 落 桑 能 永 高 高 高 武 洪 小 若 鈴 大 若 鈴 大	"
実 用 新 案	252892	多 重 接 点 を も っ た 空 気 遮 断 器	日 立 研 究 所	山 崎 精 二	"
"	495171	二 重 母 線 保 護 継 電 装 置	国 分 工 場	滝 田 武 正 夫 義 延	34. 6. 4
"	495179	切 換 開 閉 器 ノ ッ チ 止 め 装 置	国 分 工 場	金 井 井 好 好 延	"
"	495180	二 段 操 作 型 切 換 開 閉 器	国 分 工 場	金 井 井 好 好 延	"
"	495183	ダ イ ヤ ル 型 切 換 開 閉 器 の 端 子 装 置	国 分 工 場	金 井 井 好 好 延	"
"	495190	空 気 遮 断 器 閉 路 鎖 錠 装 置	国 分 工 場	仲 野 善 一 治 好	"
"	495191	変 圧 器 と タ ッ プ 切 換 器 と の リ ー ド 線 接 続 装 置	国 分 工 場	沢 幡 寅 喜 德 太 郎 清 俊 彦 郎 夫 夫 取 夫 寅 郎 彦 大 郎 彦 大	"
"	495200	蓄 電 器 設 備 の 保 護 装 置	国 分 工 場	西 宮 落 桑 能 永 高 高 高 武 洪 小 若 鈴 大 若 鈴 大	"
"	495201	多 重 切 型 消 弧 装 置	国 分 工 場	桑 山 正 一 正 夫 夫 取 夫 寅 郎 彦 大 郎 彦 大	"
"	495150	電 動 車 の 制 御 装 置	水 戸 工 場	永 高 高 高 武 洪 小 若 鈴 大 若 鈴 大	"
"	495153	過 電 流 継 電 器	水 戸 工 場	高 高 高 武 洪 小 若 鈴 大 若 鈴 大	"
"	495181	反 応 槽	笠 戸 工 場	高 高 高 武 洪 小 若 鈴 大 若 鈴 大	"
"	495147	鋼 板 コ ン ベ ヤ ー の 環 鎖 連 結 装 置	亀 有 工 場	武 洪 小 若 鈴 大 若 鈴 大	"
"	495155	ブ レ ー キ エ ン ジ ン に お け る 手 動 お よ び 自 動 運 転 切 換 装 置	亀 有 工 場	武 洪 小 若 鈴 大 若 鈴 大	"
実 用 新 案	495156	ブ レ ー キ エ ン ジ ン 用 自 動 弁 付 製 御 弁	亀 有 工 場	武 洪 小 若 鈴 大 若 鈴 大	34. 6. 4

(49頁へ続く)