

大流量測定法としての塩水速度法に関する諸問題 (3)

—食塩水噴射に関する問題点と考察—

Practical Problems Concerning Salt Velocity Method for the Measurement of Large Water Discharge (Part III)

山 崎 卓 爾*
Takuji Yamazaki

内 容 梗 概

第2部では、塩水速度法の電極について考察を加えたが、ここではこれに引き続きもう一つの問題点たる食塩水の噴射について考察を加えた。

食塩水の噴射法として現在多く使用されている噴射弁は流水方向と直角の方向に噴射する形式のものである。しかるにこのような場合、噴射圧力と到達距離に関して適確な資料がなく、単に適当な経験をもとにして行われている場合が多い。

ここではこの問題に関して簡単な計算を試み、また簡単な二、三の実験によってこれを確認し、一応の指針を得た。結論的には次のようにいうことができる。

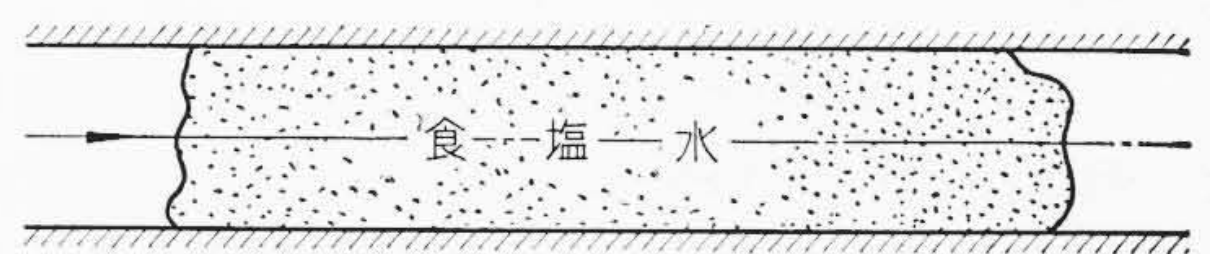
(i) 通例用いられている5 mm程度の開口寸法の弁では、噴射弁より1 mの距離に食塩水を到達せしめるには高い噴射圧力を必要とし、(ii) また噴射圧力を大きくしても、到達距離は比較的大きくならない。(iii) 到達距離を大きくするには開口寸法を大きくすることも有効な手段と考えられる。(iv) 噴射水が遠距離まで到達するには適当な時間を必要とするので、噴射弁と第一電極とをあまり近づけることは好ましくない。(v) 噴射弁の個数に対しては少なくとも A.S.M.E. Test Code に指示された程度は必要と考えられる。

1. 緒 言

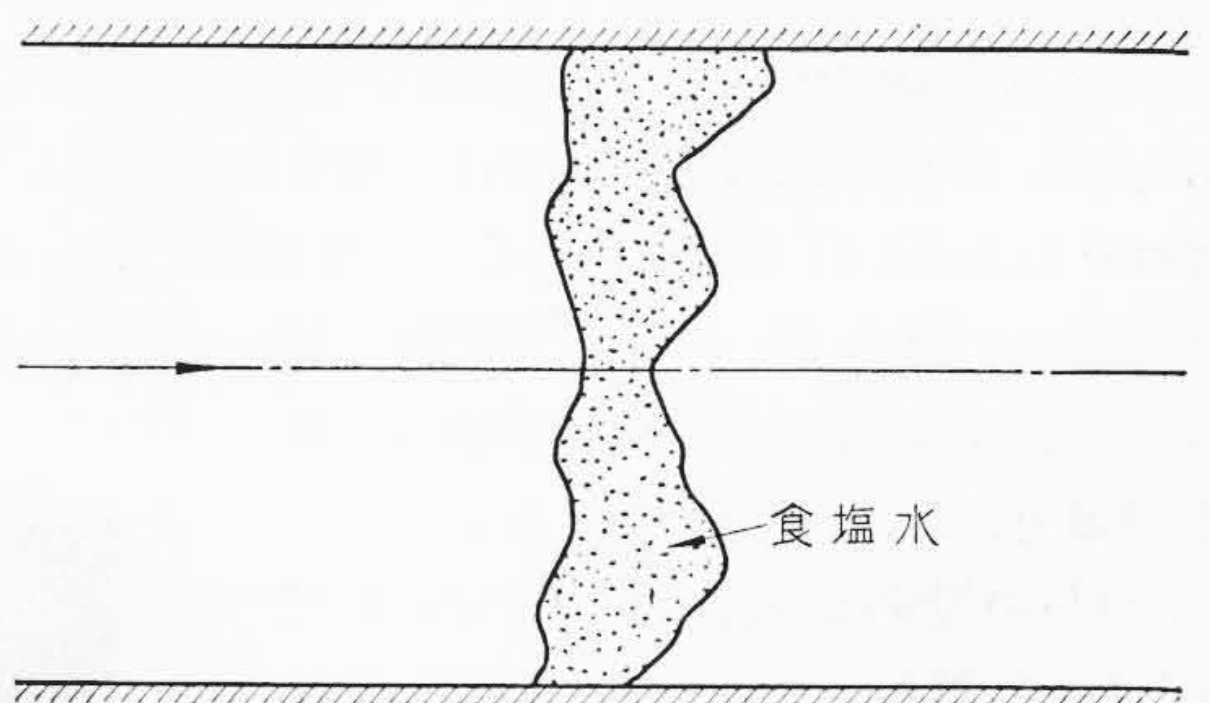
第2部⁽¹⁾では、塩水速度法の電極について、流体力学的見地と試験実施の立場から考察を加えてきた。引き続き第3部では、この方法におけるもう一つの問題点たる食塩水の噴射について考察を加えることとした。

いうまでもなく、塩水速度法においては、第2部における電極の考察でも述べたように、噴射された食塩水が水圧管内の1断面に瞬時にして一様な厚みに位置するようにすることが最も望ましい形である。しかし実際問題としては、食塩水が噴射弁からある位置に至るまでには短かいながらある時間を要し、その間に水圧管内の水は下流に向かって流れているのであるから、理想的に一様な食塩水層をつくることは不可能といって差つかえない。しかしそれであるからといって、どのような噴射でもかまわないということは、往時の精度的な要求のゆるやかな場合には通用するとしても、今日のように高い精度の試験結果を期待するかぎり、無関心たり得ない。ことに近來1台の水車容量がますます大きくなって行くにつれて、その水圧管径も大きく流速もまた比較的大増し、噴射された食塩水はどうしても薄い層になることは実験技術上やむを得ない傾向である。第1図はすでに示した図をふたたび参照したものであるが、大直径管と小直径管における食塩水のありかたは、この図に示されているとおりである。

このような実験上の要求に対し、なるべく一様な食塩水層を形成するためには、いかなる状態で噴射すべきか



(a) 小径管の場合



(b) 大径管の場合

第1図 管内における食塩水層の形状

が、最も重要な問題点となる。

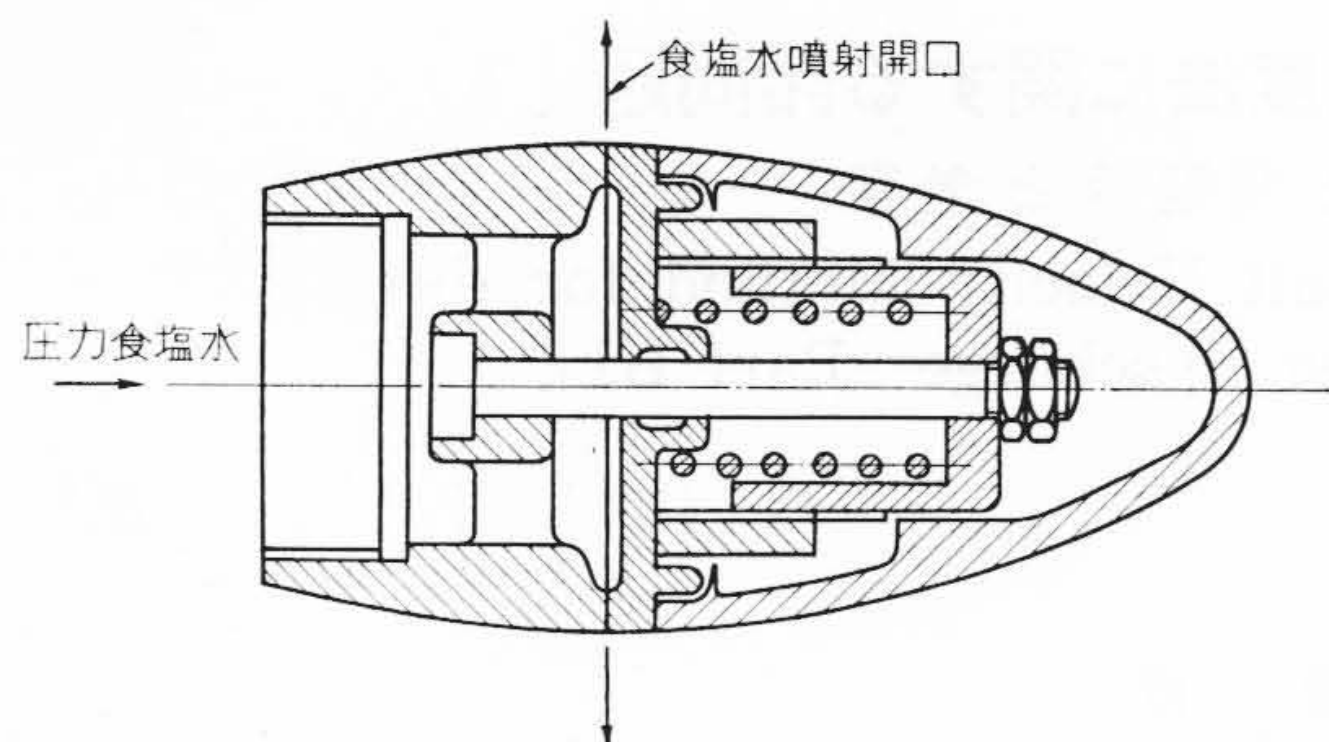
この第3部では、この点に着目して考察を進め、試験実施上の参考に供したいと思う。

2. 塩水速度法における食塩水噴射の実際

通例塩水速度法では、水圧管内の1断面に1個または数個の噴射弁を取り付け、これらの噴射弁は水圧管軸に直角の方向に食塩水を噴射するような構造のものが多い。第2図は実際に現地の流量測定に使用された食塩水噴射弁の構造を示した一例である。

噴射の実際をこの弁について説明すると、水圧管内の

* 日立製作所日立研究所



第2図 実際に使用される噴射弁の構造例

その場所での水圧よりもある程度高い圧力を食塩水に加えた場合、もしこの圧力が管内水圧と弁に作用したバネの作用力との和よりも大きい力となったとき、バネが短縮して弁が弁座より離れ、その間隙より食塩水が放射状に噴射する。圧力をなくすればバネおよび水圧の力が勝って弁はとじて噴射が停止する。このような構造は主として大径管の水圧管の場合、食塩水をなるべく一様に1断面内に散布しようとする計画のもとに行われる場合に採用されている。

アメリカの A.S.M.E. Test Code によれば、噴射弁は水圧管断面積 $20 \text{ ft}^2 (1.86 \text{ m}^2)$ 、円形管についていえば直径 1.54 m となる) に少なくとも1個以上取り付けけることを規定しており、またわが国の JEC-117 では噴射弁の数についての規定はないが、小径管の場合は噴射位置の水圧よりも 0.5 kg/cm^2 以上高い圧力で噴射するごとくし、また直径 3 m 以上の大径管では圧縮空気を使用して 3 kg/cm^2 以上高い圧力で噴射することを規定している⁽²⁾。これらのいずれもが、いかなる根拠に基いているかは明らかでないが、これらに対する特別な研究が行われたことを聞いていない。

これらの規定は一般には十分守られているように思われる。なおこのほか一般に現地の試験に際しては、水圧管内に取り付けられた状態または管外に取り出した状態で空気中で噴射し、噴射水の広がり状態を見て食塩水のかたよりを是正し、また数個の噴射弁の場合はそれらの同時開閉の程度を検査する。しかし水中における到達距離については確かな結論のないままに、噴射位置の水圧よりも 3 kg/cm^2 以上高い圧力で噴射するだけであり、噴射水がどこまで到達するかについては単に空中噴射の様相から想像するにすぎないのが現状である。第3図(a)は現地における噴射弁を取り出した状態、第3図(b)は、その装置よりの噴射

の状態を示す。

以上のような場合、もし噴射の状態がよくないと食塩水は管内の全体に行きわたらないことになり、全体の流れを代表しないことは十分考えられることで、たとえば1個の噴射弁を管中央においた場合、噴射圧力が十分でないと食塩水は中央部のみを流れ、したがって速い流れのみを代表することになり、流量としては平均値よりも大きい値を示すことになる。実際に 1.8 m の直径の水圧管の中央部に1個の噴射弁を備えた場合と、5個の噴射弁を備えた場合とで、噴射圧力がほぼ同一であるのに、これらより求められた流量値が5%程度1個の場合が多く示されたことを筆者は経験している。

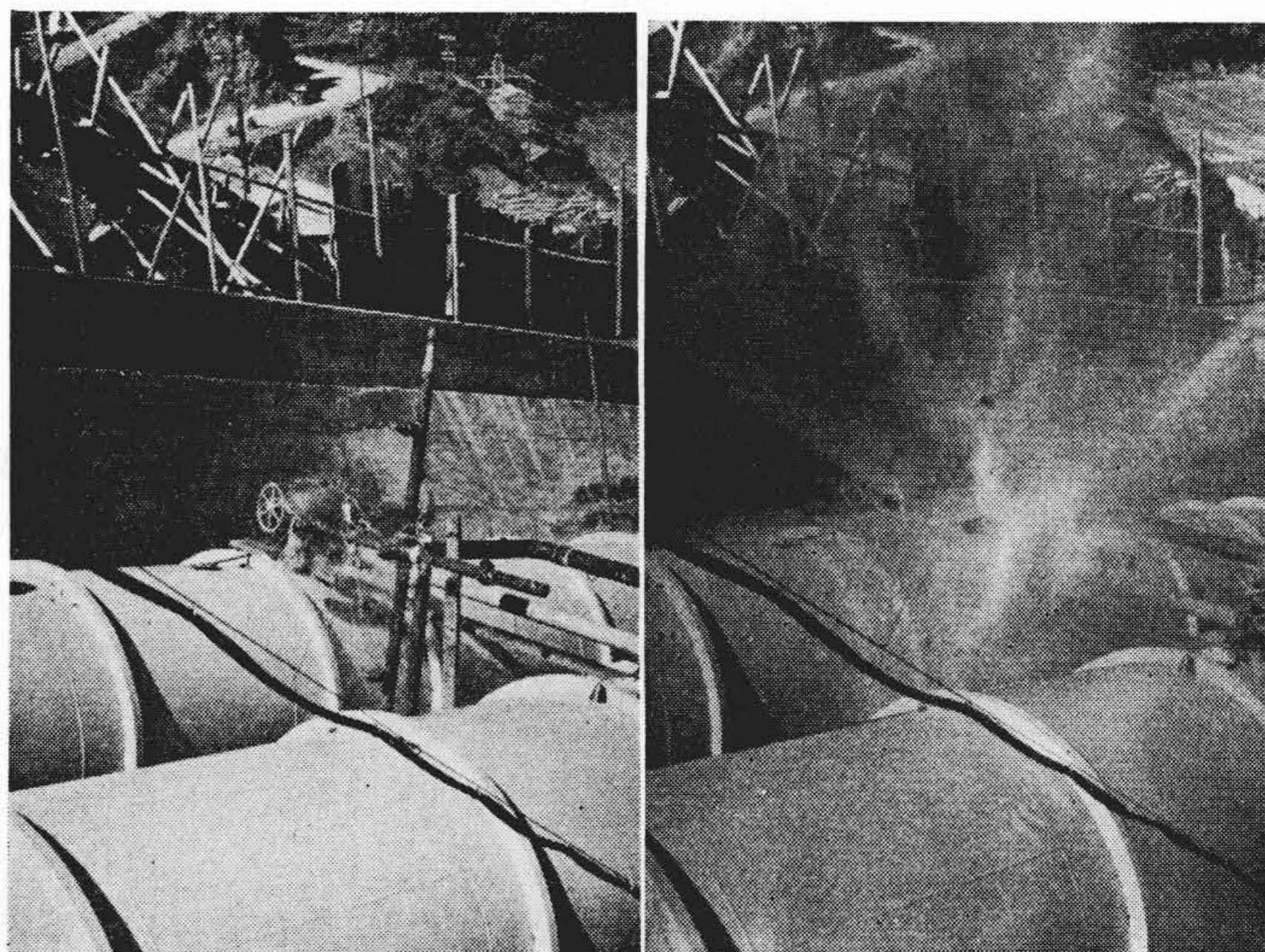
塩水速度法の従来の多くの経験は、実施上の欠陥について大きい疑問を残してはいないように思われるが、なんらかの方法をもって噴射後の食塩水の流動状況を知ることが、塩水速度法の精度向上の面できわめて重要なことと考えられる。小径管における塩水速度法が正確な結果を示すことは従来多く指摘されているところであり、問題となるのは大流量測定法としての塩水速度法で、ここでもこれに関して主として述べたいと考えている。

3. 噴射に関する考察

3.1 同種流体中に噴射する噴射流体に関する従来の研究

塩水速度法の噴射を検討する前に、一般に同種流体中に噴射する噴射流体に関する従来の著名な研究を概観してみよう。

流動流体に関する根本的な研究は、近代流体力学の主要な一部を占めるもので、乱流の機構の解明に大きい努



(a) 噴射前

(b) 噴射の瞬間

第3図 現地における噴射弁の噴射試験

力が払われてきた。その最大の業績はプラントル(Prandtl)氏の提唱した混合距離の概念であろう。プラントル氏はこの概念から出発して、流体が乱れて混合する機構は流体が運動量をもったまま流動と直角の方向に移動すると考えて、いわゆる乱流に関する運動量輸送の理論⁽³⁾を提唱した。これに対しテラー氏(G. I. Taylor)は渦度輸送の理論⁽⁴⁾を提唱した。これはプラントルが運動量をそのまま保持して移動するとしたのに対し、渦度をそのまま保持して移動するとしたもので、この両者が乱流機構の学問上の2大拠点とされている。

流体中へ同質の流体が噴射される場合については、上述の理論的根拠が比較的確実に適用できるといわれている。この問題は物体の後流の拡散の問題とともに研究対象として多く取り上げられているが、速度分布の問題では運動量輸送の理論が、温度分布については変形された渦度輸送の理論がそれぞれ互にすぐれているということである⁽⁵⁾。

以上は根本的な理論的研究分野を主体とするものであるが、塩水速度法の実際にとっては、そのうちの次のような結論が重要であると思われる。すなわち

- (1) 二次元的な噴流(平たい直線細隙より一方向に噴射する場合)では、噴流の速度は噴射距離の平方根に逆比例して減速し、
- (2) 回転対称的な噴流(円形ノズルのような場合)では、速度は噴射距離に逆比例して減速し、
- (3) これらの噴流の幅(ひろがり)は噴射距離に比例して増加する。

ということである。また噴射距離の原点を出口よりわずかに上流の点にとれば、理論はよく実験結果と一致するという。これは理論式の形態上からくる妥協であると思われるが、その数値をいかにほどにとるべきかは明らかにされていないようである。

なお以上の検討はすべて孔の径または細隙の幅が1点とみなしうる場合の解であるが、実際には噴流は必ず大きさや幅を持っているから、このことを考慮に入れなければ実際の場合に適用できないことは当然である。

このほか Arnold M. Kuethe氏⁽⁶⁾は噴流によって形成される乱流混合領域について詳細な理論的および実験的研究を行っていることがみられる。

しかし以上はいずれも乱れの度合や噴流の広がりなどについて、いわば学術的な立場を主とした業績であって、筆者などが欲している噴流の到達距離の実際については直接結論を与えるものではない。

ここに筆者は事柄をきわめて簡単に考えて一步探究の歩を進めてみたが、流体力学的な正確な解析については筆者の遠く企て及ぶところではなくまたその任でもないもので、ほかの適切な研究者の開発を切望するものである。

3.2 水中への噴射水の到達距離に関する理論的考察

塩水速度法において、その食塩水の噴射をいかにすれば断面上に様な食塩水層を形成することができるかが問題であるが、このことはさらに一歩進んで考えると結局噴射水の到達距離の解析ということになる。

さきにも述べたように、塩水速度法における噴射弁よりの噴射は平板状に行われることが一般であるが、これに対してはさきに述べた研究結果を適用することができよう。しかしそれは噴射源が1点とみなせる場合についてであり、実際の塩水速度法では必ずある寸法をもった噴孔となるから、前述の結論のみをもって様相を律することはできない。すなわち噴射水の最外部は噴射と同時に減速を始めるが、中心部は外周からの減速が中心部に及ぼすまでは初速度のままで進み、しかるのち減速の状態となる。実際の噴流はこのような二つの状態の合成によって成ると考えなければならない。

これらのことを基本として、次に噴射水の到達距離について考えてみよう。

塩水速度法に対しては平板噴射のほうが状況に適しているが、計算を簡単にするためと現象推定の定性的根拠をいう意味から、ここでは最も簡単な円孔よりの噴流について考えることとする。

いま円形噴孔よりの初速度を u_0 、減速中の任意の速度を u とすれば、前述の研究の結論により

$$u = u_0 \frac{K}{x} \dots\dots\dots (1)$$

ここに x は考える点の原点よりの進行距離であり、 K は初期条件によって決る常数と考えよう。

この式において時刻 $t=0$ すなわち噴射の最初の瞬間においては $u=u_0$ でなければならないから、そのときには(1)より

$$x=K$$

であることを要し、しかも $x=ut$ であるから結局

$$x=ut+K \dots\dots\dots (2)$$

と置くことができよう。

(2)を(1)に代入整理すれば

$$u = u_0 \frac{K}{ut+K} \dots\dots\dots (3)$$

すなわち

$$u^2t + uk - u_0K = 0 \dots\dots\dots (4)$$

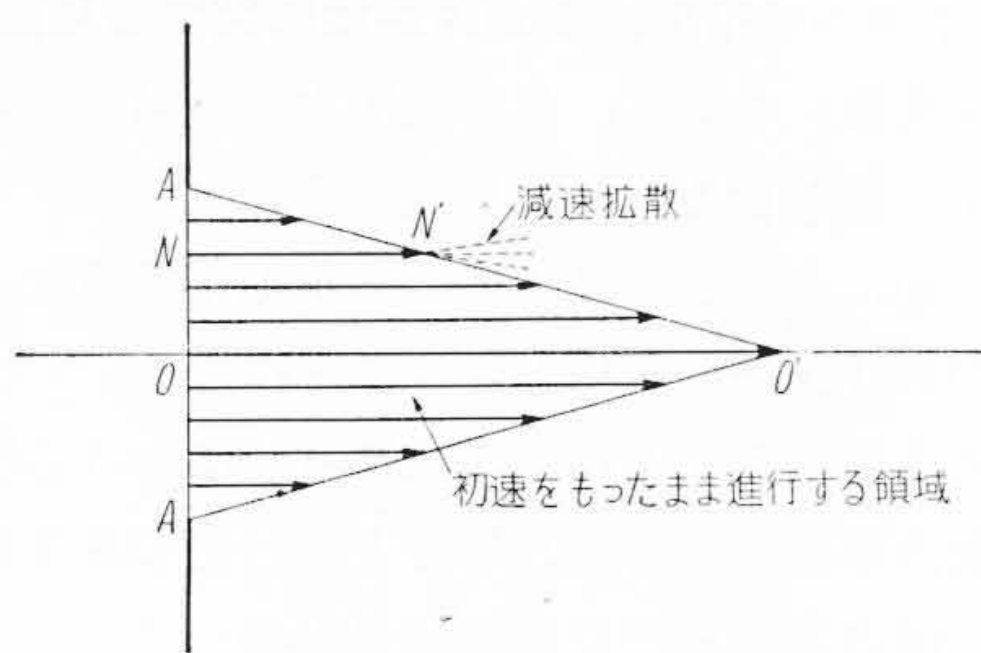
となる。

さてある時間 t の間に進んだ距離 L は

$$L = \int_0^t u dt \dots\dots\dots (5)$$

で示される。ここに u は(4)より次の値をもつ

$$u = \frac{-K \pm \sqrt{K^2 + 4u_0Kt}}{2t}$$



第4図 間隙よりの噴射水の状態の推定

この式で根号内は正であり、この値は K より大きいから根号の前の負号は u を負ならしめるため除く。したがって

$$u = \frac{-K + \sqrt{K^2 + 4Ku_0t}}{2t} \quad \dots\dots\dots (6)$$

としてよい。

(6)を(5)に代入すれば

$$L = \int_0^t \frac{-K + \sqrt{K^2 + 4Ku_0t}}{2t} dt \quad \dots\dots\dots (7)$$

この式の解は次の形をとることは計算によって明らかである。

$$L = K \left[\frac{1}{2} \log \frac{K \left(\sqrt{t + \frac{K}{4u_0}} - \sqrt{\frac{K}{4u_0}} \right)}{u_0 t \left(\sqrt{t + \frac{K}{4u_0}} + \sqrt{\frac{K}{4u_0}} \right)} + \sqrt{1 + \frac{4u_0t}{K}} - 1 \right] \quad \dots\dots\dots (8)$$

K は $t=0$ における x の値であり、さきに述べた理論における初期の状態に対する補正項のような意味をもつと考えられ、その意味においてその絶対値は当然初速度 u_0 の大きさによって変るべきである。よって今

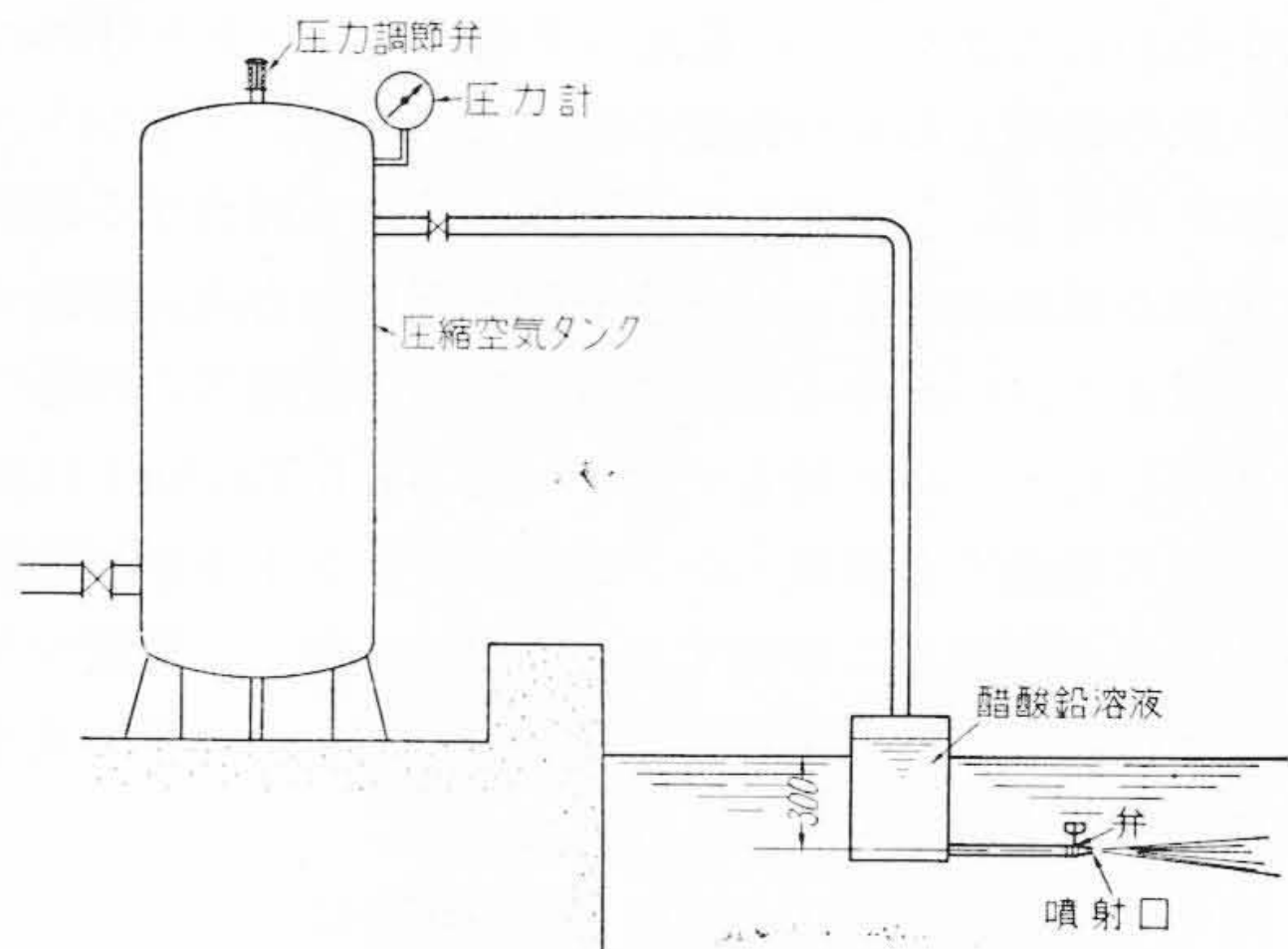
$$K = K'u_0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

として初速度 u_0 との関連において決定されるとき、これによって(8)をおき代えると

$$L = K'u_0 \left[\frac{1}{2} \log \frac{\sqrt{t + \frac{K'}{4}} - \sqrt{\frac{K'}{4}}}{t \left(\sqrt{t + \frac{K'}{4}} + \sqrt{\frac{K'}{4}} \right)} + \sqrt{1 + \frac{4t}{K'}} - 1 \right] \quad \dots\dots\dots (10)$$

となる。

さて K はもともときわめて小さい数値でなければならぬことは前に調べたとおりであり、 u_0 はそれに比して数値としてははるかに大きい値であるから、 K' はきわめて小さい値である。またわれわれが問題にしているのは噴射後数秒間のことであるから、 t は数秒の値をとるとすれば、考える範囲内では K' は t に比してはるかに小さい値でなければならない。したがって(10)における



第5図 噴射水到達距離の実験装置

$\log$ の値ははなはだ小さいものとなる。また

$\sqrt{1 + \frac{4t}{K'}}$ は K' がはなはだ小さいから、近似的には $\sqrt{\frac{4t}{K'}}$ と考えてよい。したがって大略の傾向としては(10)は簡単に

$$L = u_0 K' \left[\sqrt{\frac{4t}{K'}} - 1 \right]$$

となる。これは書き換えると

$$L = 2u_0 \sqrt{K't} - u_0 K'$$

となるが、最後の項 $u_0 K'$ は(9)により K であるから、初期条件としての補正項に相当し、巨視的には L の大きさに対して、比較的小さい。よって最後の簡略な形として

$$L = 2u_0 \sqrt{K't} \quad \dots\dots\dots (11)$$

とおくことができる。

この式は t と L との間に抛物線の関係があることを示しており、時間とともに到達距離は大きくなるが、その増加は徐々に小さくなることを示している。

このことは常識的な推察と一致することである。

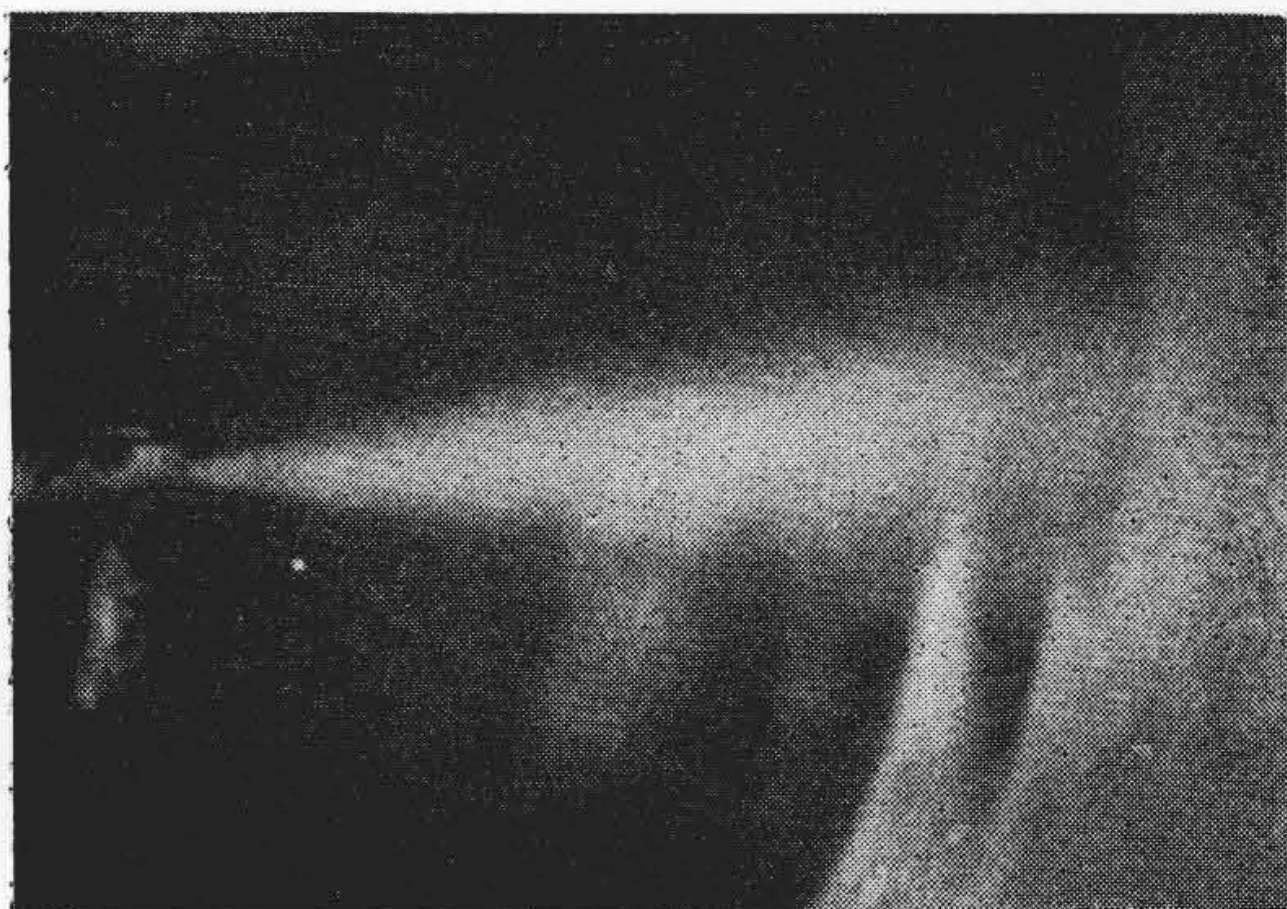
3.3 噴孔の寸法についての考察および実験

上記で取り扱った噴射水は遠方より見て1点とみなしうのような小さい寸法のもので、実際の円孔や細隙よりの噴流とは当然異なる。実際の場合には最外周からしだいに減速して中心部に到達したときに全体として噴流の速度が急に小さくなるはずである。したがって噴射水のうち外周部は早くから減速するのでその到達距離が短く、中心部は遠方まで到達することになり、かつこれを観察したときにはある距離までは瞬間的に到達するが、急に噴射の速度が落ちてゆっくり前進することになる。

この間の推移は第4図のようなものであろうと推定される。中心部まで減速状態となるにはどのようにその状態が進行するかについてはまだ適確な根拠はないようである。よってここではきわめて簡単な実験でこの数値を



(a) 瞬間的な噴射



(b) 連続的な噴射

第6図 噴射水の進行状況

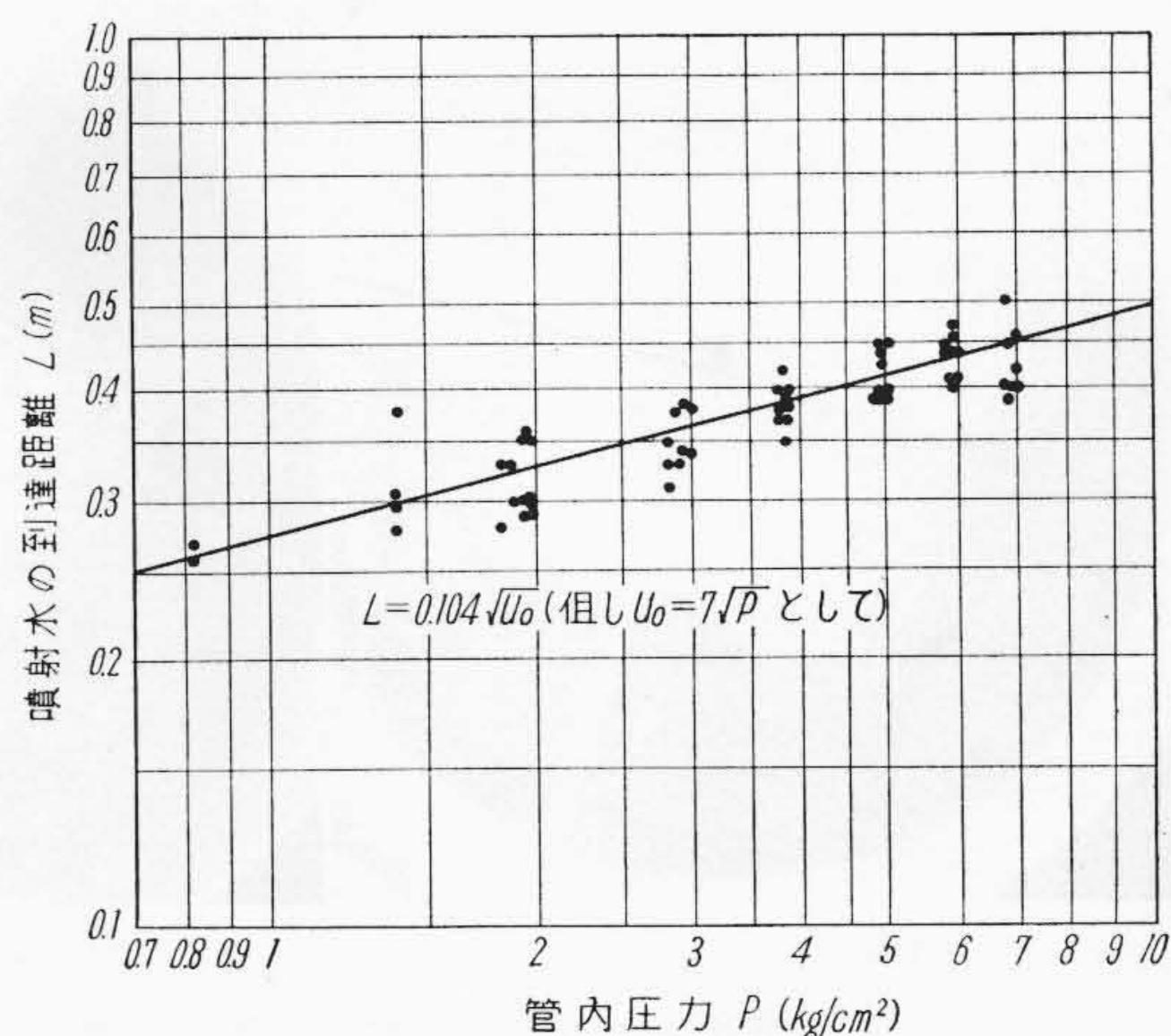
求めることとした。

学術上の実験とは異なり、ここでは实际的に現象に対していくらかでも寄与すれば足りると思え、きわめて簡単なものとした。

第5図は実験装置を示す。圧縮空気を充てんした圧力タンクよりの圧力により、噴射水タンク内の水に圧力をかけ、噴射弁としては簡単な市販のピーコックを使用した。ピーコックの出口は直径約5 mmの円形孔である。噴射孔は静かな水をたたえた貯水池に表面下300 mmに位置している。この装置においてタンク内圧力を10 kg/cm²以下の範囲で種々に変えて、噴射弁よりの噴射水の到達距離を、噴流と平行に置いた目盛尺により目測で測定した。厳密にはこの観測は困難なことであるが、ここでは大よその見当をつければ足りるのでこのような簡単なやりかたによった。

噴射水として普通の水を使用したのでは、目測が困難となるので、醋酸鉛の薄い溶液を使用した。この溶液は白色であるため容易に普通水と見分けられ、かつ比重の差も単時間にはほとんど影響しないように稀薄なものを使用した。

第6図は噴射状況の2枚の写真を示す。第6図(a)は噴射の瞬間の状態、(b)は連続的に噴射した状態である



第7図 噴射圧力と到達距離との関係

が、両者を比較すると、噴射瞬間には約25度の角度で噴射していたのが、連続噴射では伴流のためにその角度が20度に縮小され、かつ到達距離も大きくなっている。

また実験中特に注目をひくことは、前にも推定したように、噴射の瞬間にはきわめて早くある距離まで達し、その後は急におそい速度で拡大することがたしかめられたことである。このことは前に推定したように噴流の中心部が初速度を持ったまま到達する距離が存在することを示しており、この実験の目的はこの噴射瞬間の到達距離を数値的に知ることである。

第7図は噴射圧力と噴流の瞬時到達距離の目測結果を示したものである。もちろんこれは噴射を瞬間に行い、ただちに弁をしめて後続流を断ち、早い速度で到達した点の噴孔よりの距離を示している。

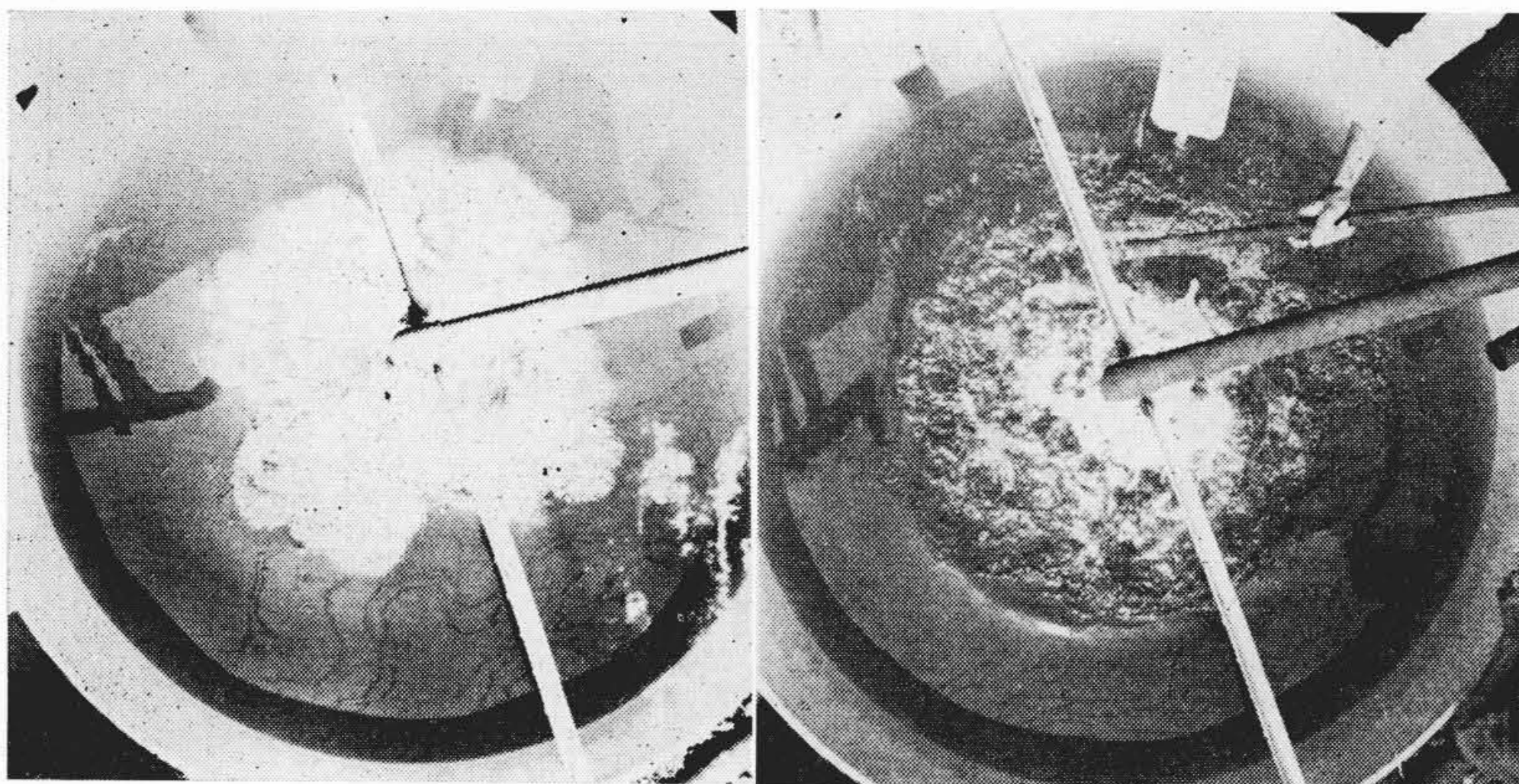
この結果によれば到達距離は意外に小さく、また噴射圧力を高くしても比較的到達距離が大きくなることが注目される。すなわち噴射圧力を1 kg/cm²より10 kg/cm²と10倍に上げてても到達距離は1.8倍程度にしかない。しかし実際にはここで調べた到達距離以後は、ゆるやかながら到達距離は長くなるから、限られた水圧管内を考えると、高い圧力を使用することは場合によっては必ずしも不得策とはいえない。

このようにして得られた到達距離は、5 mmの直径の噴孔からの噴流の外側から中心までに伝播するまでに中心部が到達する距離とみても大差はないと考えられる。

この実験はタンク内圧力を基準にとってあるが、これは最後的には流速で示されなければならない。一般に流速 v は

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

ここに h は水頭差、 g は重力の加速度、 C は係数である。今 C の値を考えるに、一般には形のよいノズルの流出係



(a) 噴射後1秒の状態 (広がり半径 0.48 m)

(b) 噴射後4秒の状態 (広がり半径 0.60 m)

第8図 水槽内における噴射水到達の実験例

数は1に近い数をとるが、今の場合配管などの配置を考え、またノズル形状その他の種々の観点より一応これを0.5とし、さらに水頭として管内圧力 P の値を kg/cm^2 でとったものを用いるとすれば

$$u_0 = 7 \sqrt{p} \quad (\text{m/s}) \quad \dots\dots\dots (12)$$

となる。

この式をもとにして、第7図の実験結果を示す実験式を、 u_0 と到達距離の関係に書き直すと

$$L = 0.33 \sqrt{\frac{u_0}{10}}$$

あるいは

$$L = 0.104 \sqrt{u_0} \quad \dots\dots\dots (13)$$

となる。第7図の直線はこれを示す。この式はよく実験結果の傾向を表わしていると考えられる。

この結果よりわれわれは、噴射の瞬間においてこの程度の距離だけは進むことを知った。この実験は直径5mmの噴孔を使用したものであるが、寸法と到達距離に関しての実験結果がない。大略の推定としては寸法に比例して到達距離が大きくなると考え、その基準として上記の実験式を採用するとすれば、

$$L = 0.104 \sqrt{u_0} \times \frac{d}{0.005} = 20.8 \sqrt{u_0} d \quad \dots\dots (14)$$

となる。ここに d は間隙寸法あるいは噴流直径を m で表わした数値である。

3.4 最終的な到達距離

われわれは(14)式によって噴射後の瞬間における到達距離を知り、次いで(11)式によって到達した噴射水がさらにゆるやかに前進することを知った。しかし(11)式中には K' なる係数が数値的には決定されないまま残っている。これを明らかにしなければならない。

この K' の値の決定に対して、筆者はほかの目的でなされた実験結果を利用することを試みた。第8図はこの

結果を最もよく示すものである。第8図はさきに示した第2図のような塩水噴射弁のきわめて小形のものによる色素水の噴射の状況を示すものである。この噴射弁はその構造原理においては第2図のものと同じであるが、大きさはきわめて小さい。しかし最大間隙は5mmである。直径1.8m、深さ1mの水槽に水を満たし、水面より300mmほど下に噴射弁をおき圧縮空気により色素水を噴射せしめる。

(a) は噴射1秒後、(b) は4

秒後の写真である。すなわちここで論じていることに従えば

(a) は初速を持った噴射を終ってさらに1秒を経た状態

(b) は4秒経た状態である。このときの記録によれば、このときの噴射圧力は 3 kg/cm^2 、(a)における到達距離は0.48m、(b)では0.60mとなっている。なお(a)の噴射が円形になっていないのは、噴射弁の4本のガイドに妨げられたものである。

いま第7図あるいは(14)式より噴射圧力 3 kg/cm^2 における到達距離を求めると、0.36mとなる。したがってこれが1秒後には0.48m、4秒後には0.60mに拡大到達したといえることができる。これよりみて、1秒後には噴射直後より0.12m進み、噴射後4秒後には0.24m進んだことになる。さきに求めた(11)式

$$L = 2u_0 \sqrt{K' t}$$

において、噴射圧力を 3 kg/cm^2 とし、流出速度係数を0.5とすれば、その速度は $u_0 = 12.1 \text{ m/s}$ となる。この条件において K' の値を決定するに

$$K' = 0.000025 \quad \dots\dots\dots (15)$$

となる。したがって(11)式は

$$L = 2u_0 \sqrt{0.000025 t}$$

あるいは

$$L = 0.01 u_0 \sqrt{t} \quad \dots\dots\dots (16)$$

と書くことができる。

以上のようにしてわれわれは最終到達距離として一応これらの(16)および(14)両式の和をもって表わすことができる。これを L_0 とすれば

$$L_0 = 20.8 \sqrt{u_0} d + 0.01 u_0 \sqrt{t} \quad \dots\dots\dots (17)$$

もちろんこの式を求めるにあたっては

(i) 実際の塩水速度法では平板状噴射であるのに円孔よりの噴射を考えている。

(ii) 全般を通じて数少ない粗雑な目測による実験値を取り上げている。

(iii) 噴射水の比重に対する考慮が払われていない。

(iv) 噴射間隙の寸法の変化に対する異なった寸法の実験がない。

などの粗雑さを含むものであり、これがそのまま塩水速度法に適用されるとは考えられない。しかし噴射の概略の状況の把握にはある程度の意味を持っていると考えてよいのではなかろうか。

3.5 噴射水の状態の推定

以上の検討により一応最終到達距離を推定するための式を見出し得た。ここではこの推定に基いて噴射された噴射水がいかなる状態となるかを考えてみよう。

(17)式において右辺第1項は噴孔または間隙の各部に位置する噴射水が、噴射の瞬間にどこまで到達するかを示すものであり、第2項はそれがその後のある時間内にどれほど前進するかを示すものである。いま理解に便利のために数値例によって噴射水のありかたを考えてみよう。

いま最大開口寸法を5 mmと考え、噴射圧力を1 kg/cm²、3 kg/cm² および 7 kg/cm² の3種類をとって考えるに、それぞれの圧力に対して流出係数を0.5ととれば、噴射速度はそれぞれ7.0 m/s、12.1 m/s および 18.5 m/s となり、これらの値より(17)式によって計算した到達距離を時間座標を横軸にとって示せば第9図をうる。この図について説明するに、噴射水の最外部はただちに減速するから(17)式の第2項のみでその道すじが決まり、図に示された間隙外周部の値をとる。間隙中心部は瞬時(非常に短い時間)にしてある距離に到達し((17)式の第1項により)、しかる後第2項による運動を行うので、図の間隙中心部と記された値をとる。この両極端の値の中間にすべての噴射水があることになり、図のかげを施した部分が噴射水の存在位置を示すことになる。

もし間隙寸法がこれより小さくなれば、その寸法比に比例してかげを施した幅がせまくなるが、それは間隙外周部はそのまま中心部の到達が小さくなることを意味する。

第9図によれば間隙幅を5 mmとすると、1 mの到達距離をうるためには噴射圧力7 kg/cm²にしても10秒の時間を要することになり、塩水速度法の実施に際しては注意すべき警告が含まれているといわなければならない。同時に噴射弁の付近には噴射水が存在しないことになるが、ここでの検討は単に噴射方向について考えているのであって、実際には噴射方向とは直角の方向にひろがり、これらが干渉し合って、噴射弁付近も一応噴射水をもって満たされることは、第8図の写真にも示されているとおりである。しかしこのこともやはり一様散布の原則からいってあまり噴射圧力を高めることの得策でないことを示していると思われる。

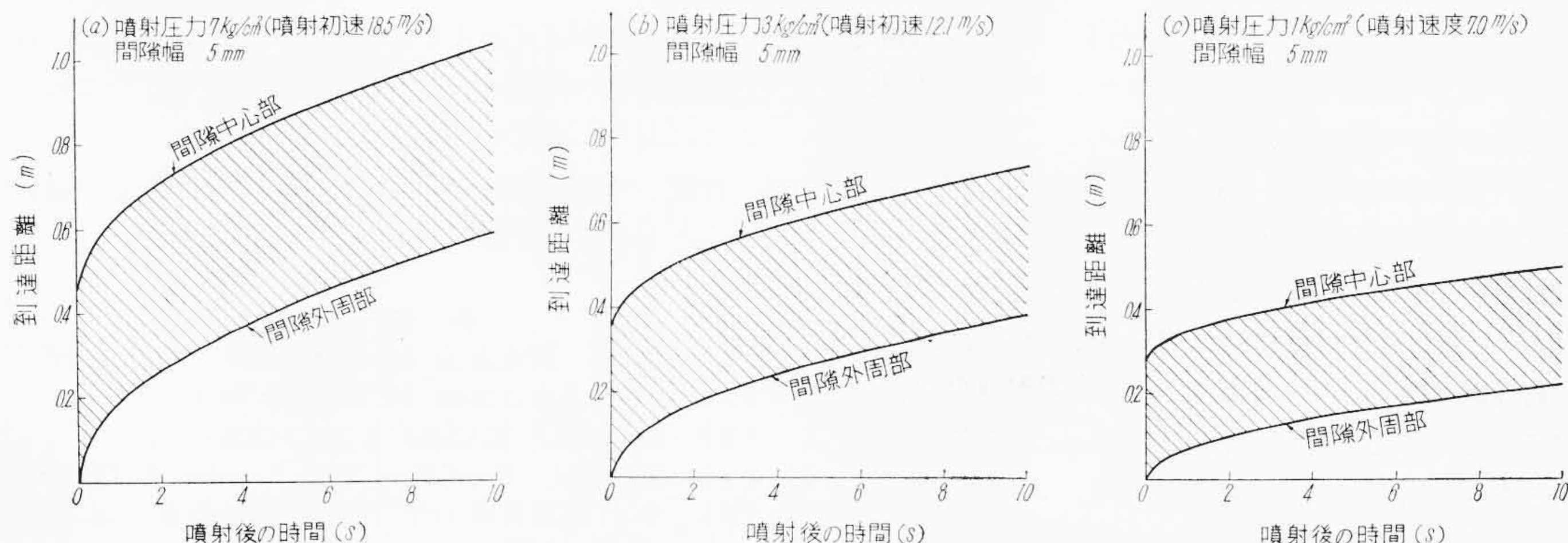
またここには例示しないが、間隙寸法が大きければ当然最大到達距離が大きくなるはずで、この点は実際問題としては重大ではないかと思われる。

4. 実際面への適用

以上きわめて大略の検討を行い、ほぼ実際面と常識的に一致する傾向をつかみ得た。しかしここに取り入れた実験はいずれも正確な裏付けとなるようなものでなく、また理論的にも完成されたものでないので、厳密にはもっと詳しく検討さるべきものと思う。

さて一応ここで得られた結果を要約してみると次のようになる。

(1) 噴射の瞬間には噴射水は噴射圧力に相当した初速度を持っているが、周囲の流体のために外周より逐次減速し、ある時期に至って噴射水が全部初速度を失って減速しはじめる。減速の様相は理論的な推定によれば、その速度はきわめておそく、これら噴射水を全



第9図 噴射水到達状態の計算例

体としてみた場合、外観的にはある距離までは瞬間的に早く進み、急におそい流速に変わることとなり、このことは一連の円孔よりの噴射の観察によって確かめられた。

(2) 噴射水の最大到達距離は噴射に使用した圧力が大きいほど大となるが、到達距離は圧力の増大よりもはるかに少ない割合で増すのみであり、したがって到達距離を増すことに関しては高圧力のみに頼ることは得策とはいいいにくい。

(3) 到達距離の増加に対してはむしろ噴射弁の開きを十分大きくし、いいかえれば噴射間隙を大きくすることが得策であるように考えられる。

(4) 噴射弁の取付個数はこのようなことを基準にして一応の対策を考慮することができる。

おおよそ以上のような点があげられるが、これより実際試験実施上の立場から考えると次のことがいえると思う。

(1) 噴射圧力 1 mの距離まで短時間に到達せしめるためには、間隙寸法を5 mmとした場合 10 kg/cm^2 以上にしなければならないことがわかる。このような高圧を試験に使用することは、試験装置の出費を高め、また試験方法をむずかしくすることであるから、なるべく避けたいところであるが、もし直径2 mの水圧管でどうしても1個しか使用できないような場合には、やむを得ずとらざるを得ない手段であろう。アメリカの A.S.M.E. Test Code において直径1.54 m以上の場合は噴射弁1個ではいけないとすることは、この観点からは正しい指針といってよいと思われる。JEC-117 はこれに比して、その立脚点がはっきりせず、また個数について触れていないのは正しくないと思われる。

(2) 噴射弁の開度 これに対しては規格にも規定していないことであるが、開度を小さくすれば到達距離もまた小さくなることを考えると、あまり小さい開度にすべきではない。5 mm程度が多くとられる現状ではあるが、さらに大きくとるほうが安全であろうと思われる。しかし開度を大きくとれば、それだけ噴射食塩水の量も増加するはずであるから、おのずから限度は考えられねばならない。

(3) 噴射弁の個数 一様な食塩水層をつくるにはなるべく多数の噴射弁を取り付けることが望ましいが、これらの噴射弁はすべて同時に開閉しなければならないから、そのための調整なども複雑になることを覚悟しなければなるまい。現状では5個の噴射弁を取り付けることが多く行われており、これはほぼ現状としては適当な数ではないかと考えられる。

しかしこれは初速度を失わずに到達する距離のみに重点をおいて考えると、相当な圧力にしても0.5 m以

内にしかすぎない場合があることを考え、十分な到達を考えるならば、さらに多くすべきであると考えられる。

(4) 噴射弁より電極までの距離 さきに検討したように、噴射弁よりの食塩水が断面内に十分に行きわたるためにはある時間を要する。もし瞬時到達の距離内で十分到達するような距離ならば問題はないが、それ以後のゆるやかな進行をも考えて、到達する範囲を考えるとすれば、噴射弁より第一電極までの距離はある程度長くして、時間的に十分の進行距離をとらしめるように考えなければならないと思われる。

5. 結 言

塩水速度法の実施に関し、その最も重要な因子の一つである食塩水の噴射について検討した。厳密な意味の取り扱いはなく、単に傾向を知る程度のものであるから、これをもってただちに噴射に関する解明が完成したとは考えないが、少なくとも現在の経験のみに頼ったやり方にある程度の根拠を与え得たと信ずる。

検討の結果によれば、(1)噴射水の到達距離は、噴射水の厚みが5 mm程度では 10 kg/cm^2 という程度の噴射圧を使用しても、水中では1 m程度の到達距離しか得られず、これまで推定していた状況とはかなりちがって、意外に短い距離である。(2)到達距離を大きくするには圧力を上げる以外に噴射水の厚みいいかえれば弁開度を大きくすることも一方法である。(3)一般的にいつて噴射水の確実な到達距離を1 m以上に見積ることは無理であり、このことより1断面内の個数が決定さるべきである。(4)また到達距離は噴射水が下流するにつれて増大するから、噴射弁と第一電極との距離をあまり小さくすることは、妥当ではない。

以上のことが一応結論づけられる。これらの正確な、あるいは適確な解明はさらに厳密になさるべきであろうが、ここではこの程度の傾向を得たことにより、一応検討を終ることとする。

なお本文中ノズルよりの噴射に関しては福沢宗一君、色素水噴射の実験は金子豊彦君の労によるものであり、ここに記して謝意を表する。

付記：本稿は執筆者病気のため、はなはだしく遅れたことを記しておわびにかえる次第である。

参 考 文 献

- (1) 山崎：日立評論 40, 789, 1162 (昭 33-7, 10)
- (2) 山崎：日立評論 40, 677 (昭 33-6)
- (3) Prandtl: ZAMM 5, 137 (1925)
- (4) Taylor: Proc. Roy. Soc. London A 135 (1932)
- (5) 谷：応用流体力学 (岩波物理学講座) p. 120 (昭 15-7)
- (6) A.M. Kuethe: Trans. A.S.M.E. A-87 (1935)