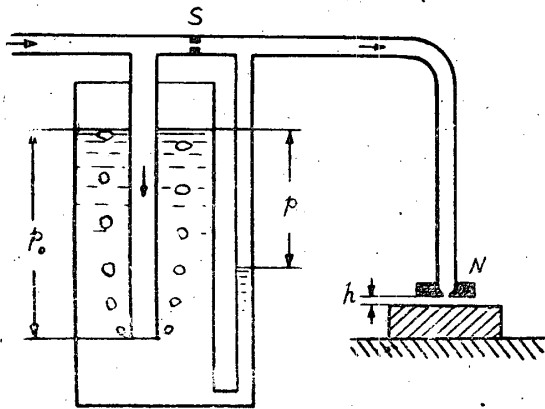


低圧型空気マイクロメータの絞り及びノズルにおける空気流量について⁽¹⁾

上 岡 豊

1. 緒 言

空気マイクロメータは構造簡単、取り扱い容易で、しかも高性能を有するため、近來急速に普及発達して来た。第1図のような構造を持つ比較的初圧の低い、いわゆる低圧型のもの、他に高圧型、眞空型のものも現われ、それぞれ



第1図 低圧型空気マイクロメータ略図

特長を有している。従來の低圧型のものも測定圧が小であること、初圧を定一にする方法が簡単で圧力測定に水柱マノメータを使用できること等用途によつては捨て難い利点もある。低圧型空気マイクロメータの理論については川崎、⁽²⁾石原、⁽³⁾塚原、等の諸氏により逐次発展せられ、精密さを加えて来たが、その解析に当つてはいづれも絞りの流量係数を假定し、またノズル部の放射状流れにおいてはパラボラ⁽⁴⁾の速度分布をもつ層流であるとして解かれてある。

元來空気マイクロメータが高倍率を有するのは専ら絞り及びノズルにおける流量の相関関係によるものであるが、両者ともに流出部の寸法はきわめて小で、しかも流速は相当大であると言ふ特殊な場合であるため、 Re 数その他より類推する以外に流量そのもの及び流動状態に関する実験的資料に余り見当らないようである。ノズル部の放射状流れが果してどのあたりまで層流を維持できるかと言ふ点についても円管の流れの場合などとはかなり異つたものであろう

と推察される。筆者は簡単な空気流量測定装置を製作し、これを用いて空気マイクロメータ用の数種類の絞り及びノズルにつき流量の実測を行つてみた。

本論文は主としてこの実験結果を報告するものである。

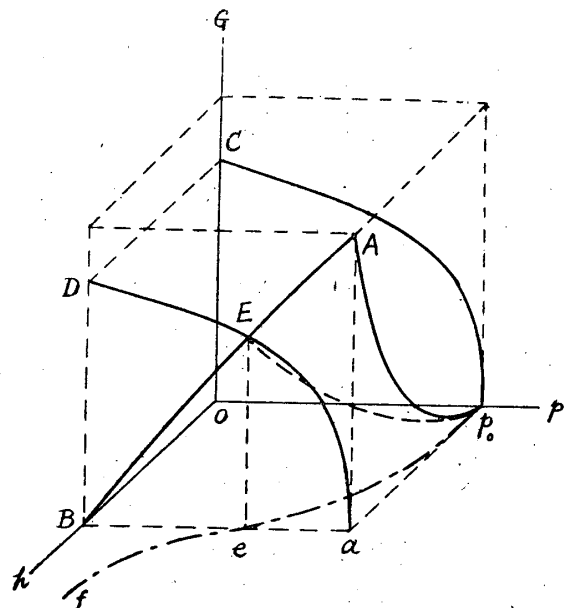
2. 流量と特性曲線

第1図において、絞りSの通気流量は前後の圧力差 ($P_0 - P$) により一義的に定まり、オリフイス状の絞りでは大体パラボラに近い曲線になるはずである。

ノズルNにおいては圧力差Pと共に測定面とのすきまhが関係して複雑である、すなわち流量は数式的にはP、hの函数となり、幾何学的には曲面として表わされるものである。

測定時の定常状態においては、S、N両者を通過する空気流出量は等しく、またS及びNにおける圧力損失の和は常に初圧 P_0 に等しいことから、上述の流量曲面を利用して流量と特性曲線の関係を求めてみる。

第2図において圧力差P、すきまhを二軸と

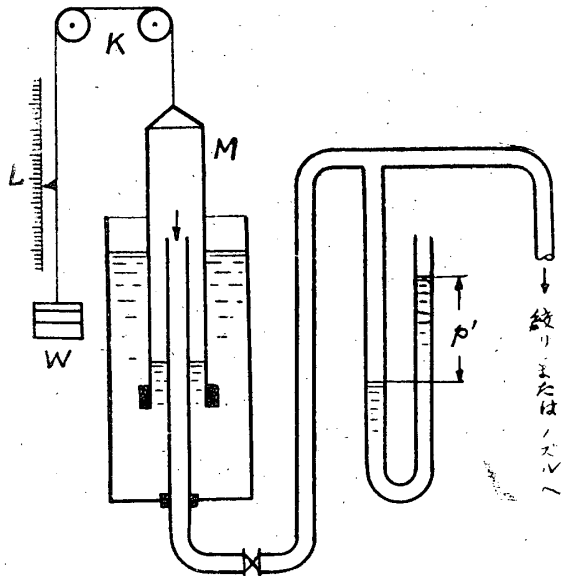


第2図 流出量と特性曲線との関係図

し、圧縮性を考慮して重量で表わした単位時間の空気の流出量 G を他の一軸とした直交座標を考える。今ノズル N の流出量は P 及び h 軸並びに曲線 AP_0 、 AB を含む曲面として表わされるものとする。一方絞りの流出量と圧力差の関係を表わす曲線についてはその座標の原点を図の P 軸上で初圧 P_0 に等しい位置に移し、かつ圧力の軸方向を P と反対方向にして、ちょうど裏返しにした状態で $P-G$ 平面上に画いたものを P_0C 曲線とする。この曲線を h 軸方向に平行移動させてできた塀面と前のノズルの曲面との相貫線を P_0E (点線) とし、相貫線上の任意の一点 E を考えてみれば、 E 点では絞り、ノズル共に流出量は等しく、かつ両者における圧力降下 \overline{ae} 及び \overline{be} の和は初圧 P_0 に等しいことがわかる。すなわち E 点の $P-h$ 平面への投影点 e は特性曲線上の点であり、従つて P_0E 曲線を $P-h$ 平面上へ投影した P_0ef 曲線はこの場合の特性曲線になる。

3. 実験装置及び方法

空気流量の測定には絶対法による第3図のような装置を作り、一定圧力のものに流出する空



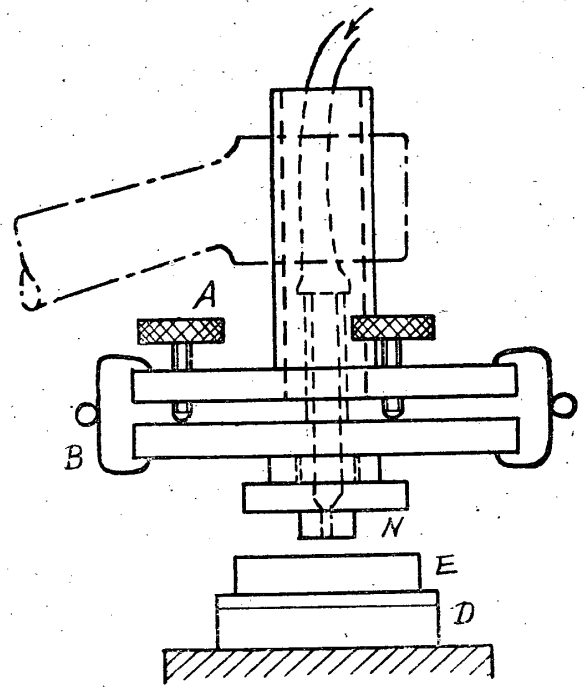
第3図 流量測定装置略図

気量を体積で測定した。円筒 M は内径 10cm の薄い亜鉛引き鉄板製で、特に断面が一樣でしかも正確に円形をなすように入念に作られ、また水圧その他により変形を生じないように適当に補強してある。滑車 K はボール・ベアリングを用い摩擦力はきわめて僅かであるから、 P' な

る圧力のもとに円筒内の空気が連結管より流出すれば浮力とおもりとの釣り合いで、円筒は沈下し、常に内圧は P' を維持する。また流量は目盛尺 L により円筒の沈下の時間的割合を測定することにより得られる。

円筒内の圧力はおもり W を適当に加減して任意に調節できる。なお円筒の浮沈につれてその肉厚の影響をうけて極く僅か浮力の変化を生ずることになるが、これは計算により補正可能である。

円筒内の一定圧 P' の空気を絞り、あるいはノズルに導き流量を測定するにあつて、絞りの場合は取付けは簡単であるが、ノズルの場合はノズル端面と測定面とを正しく平行に保持する必要上、微動用の精密ねぢを用いた三点支持方式によりノズル面の位置、傾斜を微細に調整できるようにした取付け具を作り、ミニメータの台を利用して第4図のような装置にした。図中 A は調節用ねぢ、 B はスプリング、 N はノズルである。



第4図 ノズルの保持装置

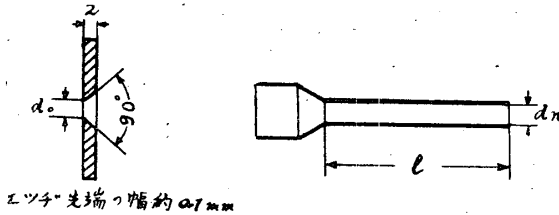
ノズル端面はもちろん正確に仕上げられ、ミラー・ポリツシされているが、相手面としてはブロック・ゲージ D の上にオプティカル・パラレル E を置き一樣な平滑面を作つた。

先づねぢを調節してオプティカル・パラレルの面にノズル面を正確に密着させ、ついでプロツ

ク・ゲージを順次取りかえて所要のすきま h を得るのである。なお測定は当学部精密測定室において 20°C を標準に行つた。

4. 実験結果及び考察

絞りについては数 mm の管状部をもつたものが多く使用されているようであるが、この実験では第1表左図のようなシャープ・エツヂを持つ



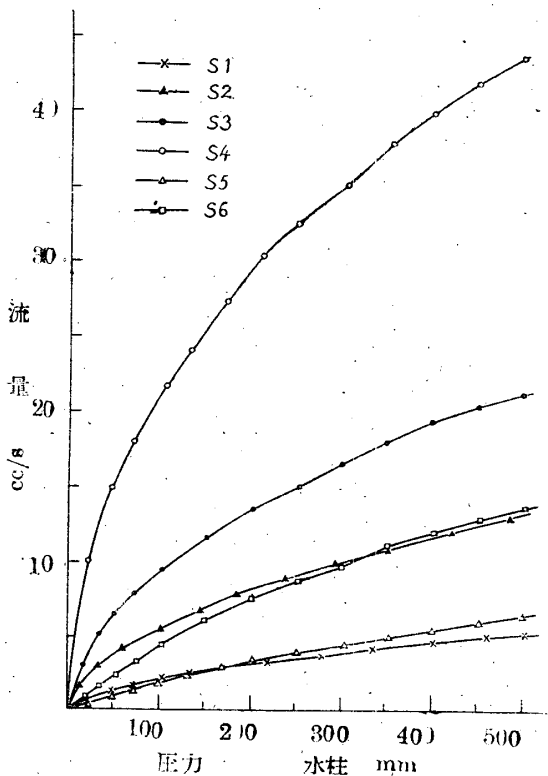
エツヂ先端の幅約 0.1mm

絞り記号	孔径 d_0 mm
S1	0.322
S2	0.505
S3	0.645
S4	0.973

絞り記号	内径 d_n mm	針管長さ l mm
S5	0.460	30
S6	0.582	30

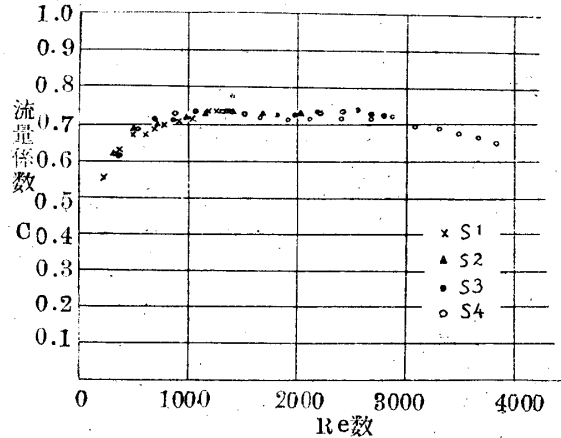
第1表 絞りの寸法

つたオリフイスを主として用い、参考までに第1表右図のような管状部をかなり長くした場合をも注射針を適当に切つて測定してみた。それらについての測定結果により圧力差と流量の関係を示したのが第5図である。圧力は装置の都



第5図 絞りにおける圧力と流量の関係
合上水柱 500mm まで求め、また流量は流出前

の状態を基準にしてある。シャープ・エツヂのものではほぼパラボラ状をなしているが、試みにこの流量係数 C を計算し Re 数との関係を表わせば第6図の通りである。ただし今の場合圧



第6図 Re 数と流量係数の関係

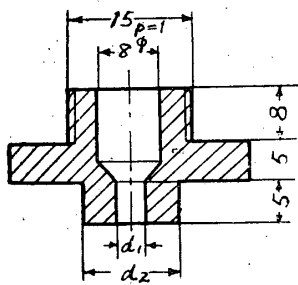
力差は比較的小であるから簡単に

$$C = Q/a \sqrt{2g \frac{P'}{r}}$$

- Q = 流出前の状態を基準にした空気流量 cc/s
- a = オリフイスの面積 cm^2
- P' = 圧力差 gr/cm^2
- r = 流出前の状態の空気の単位体積の重量 gr/cm^3

なる式で定義した値である。各オリフイス共に大体同一曲線にのり従来の低 Re 数におけるオリフイスの実験と同様な傾向を示している。すなわち Re 数の小なる間は Re 数の増加と共に C も増加し、 C の値が極大に達した後は Re 数の増加と共に C の値は減少している。一方注射針の方は圧力差の小さい範囲を除けばかなり直線に近くなり、特に細い $S5$ ではこの傾向が著しい。この場合の圧力損失は入口損失、針管部における摩擦損失、及び出口損失の合計になるが、 $S5$ では特に針管内での層流における摩擦損失が大きく利いて来るためである。 $S6$ ではこの傾向はやい薄らいで来るが圧力 350mm (水柱) 附近で急に流量の増加が認められるのは注目すべきことである。この部分の Re 数を計算してみると 2000 をやゝ下まわることになるが前後の関係から流動状態はここで層流より乱流に遷移するものと推察できる。乱流になつて流量の増加することは一見奇異に感じられるが、この場合出口において持逃げする速度ベツ

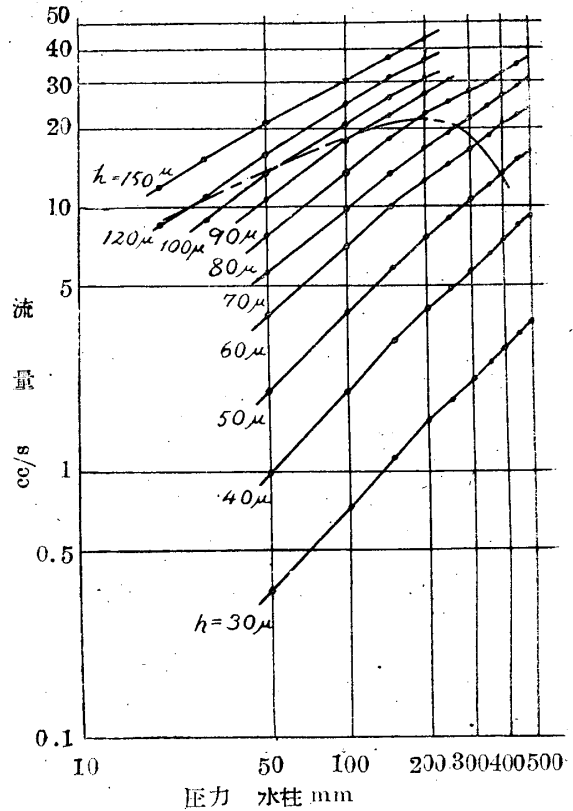
ドを考えてみると速度分布の形状よりして同一流量に対しては層流では乱流におけるもの、約2倍になるはずである。従つて層流より乱流に移れば、針管内の摩擦損失はもちろん増加するが出口の損失、すなわち持逃げする速度エネルギーは減少することになり、この差し引き勘定でかえつて全体の損失は小になることがあり得るためである。しかしかゝる流量の不連続点が存在することは絞りとして用いる場合望ましくないことは当然である。次にノズルについては第2表のような内径一定で外径の異なる4種類のものについて実験を行つた。すきまの距離は10



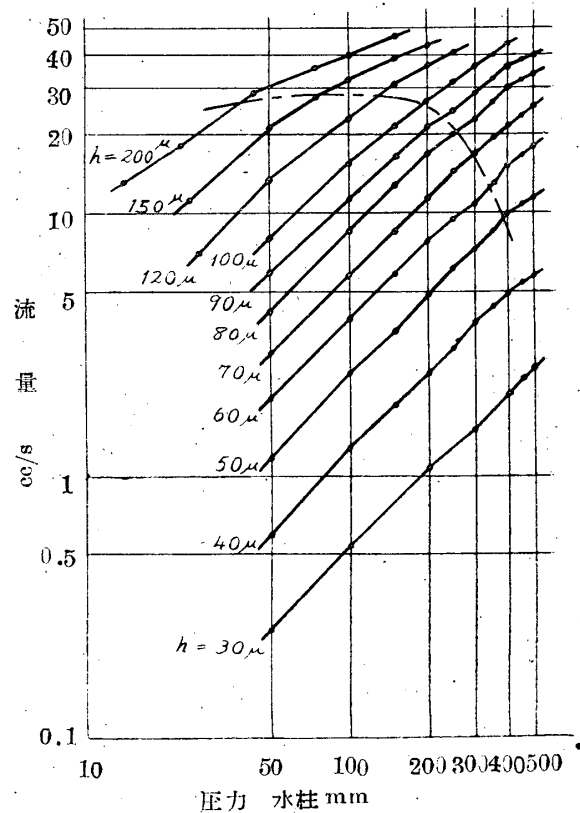
ノズル記号	内径 d_1 mm	外径 d_2 mm
N1	2	4
N2	2	6
N3	2	8
N4	2	10

第2表 ノズルの寸法

とびに行い、各すきまについては圧力を色々に変えて水柱500mmまで測定した。今N1及びN4についての測定結果を対数座標で示せば第7図、及び第8図の通りである。流量は流出前の状態を基準にしたものである。この場合の圧力損失はもちろん出口における速度圧をも含んだものであるが、放射状流れの摩擦損失に対しては比較的小であるからそのために生ずる曲線の彎曲は僅かであると考えられる。これらの図について曲線の傾斜の変化、あるいは曲線の不連続などに注目すれば、大體鎖線のあたりを境界として流れは層流より乱流へ移行するものと思われる。ノズルの肉厚の大になるにつれて境界の線は少しずれるが、これは余り大きな差異ではない。30 μ 、40 μ の曲線についてはやゝ折点らしい部分も見受けられるが判然としない。鎖線の極大点におけるRe数の値をノズル内縁での平均速度及びすきまhをそれぞれ代表速さ寸法にとつて計算した値は各ノズルについて約200~300である。放射状流れにおける遷移状態はもちろん單なる円管の場合より更に複雑であると想像され明確な臨界点はこの程度の実験では精密に定めることはできなかつたが



第7図 N1についての圧力と流量の関係図



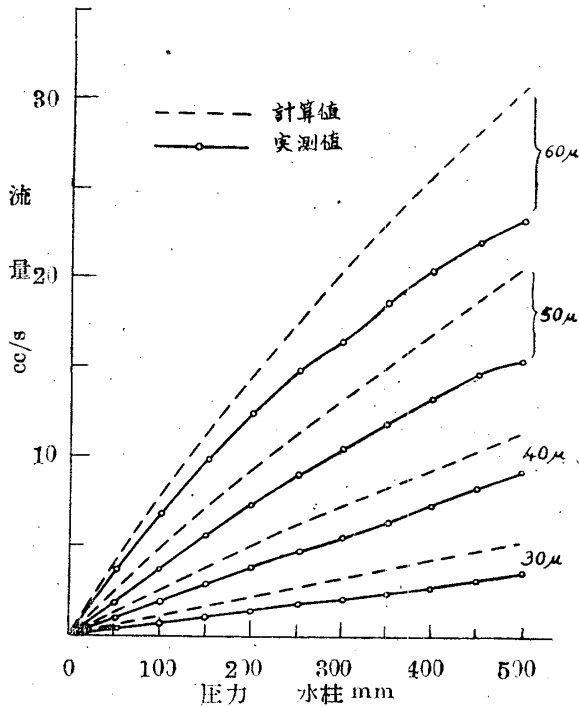
第8図 N4についての圧力と流量の関係図

とにかく円管の場合に比し相当低いRe数でも乱れ状態になることは間違いないようである。

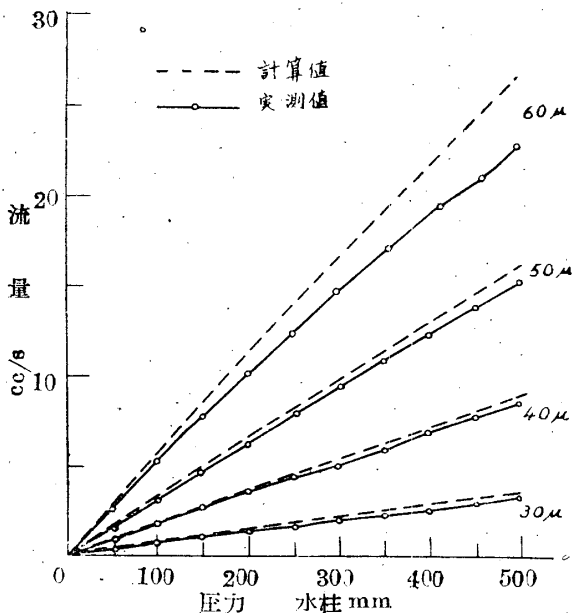
層流を前提とし、簡単のために放射状部における摩擦損失と出口の速度圧のみを考慮して得たノズルにおける圧力損失Pと流量Qとの関係式は

$$P = \frac{6\mu Q}{\pi h^3} \log \frac{d_2}{d_1} + 0.771\rho \left(\frac{Q}{\pi d_2 h} \right)^2$$

- μ = 空気の粘性係数
- ρ = " 密度
- d_1 = ノズルの内径
- d_2 = " 外径
- h = すきま



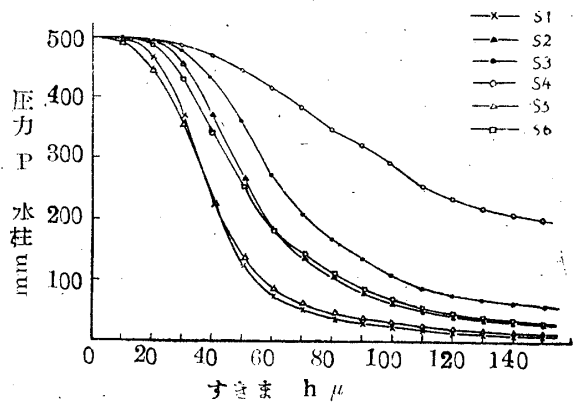
第9図 N1の圧力と流量の関係



第10図 N2の圧力と流量の関係

上式による計算値と実験値とをN1及びN2について実用上重要な30μ~60μの範囲で比較してみると、それぞれ第9図及び第10図の通りであつて肉厚1mmのN1ではかなり差異が著しいが肉厚2mmのN2になると大体接近している。そしてこの他のN3、N4については更によく合つて来る。

最後に以上の絞り及びノズルを色々に組合せて空気マイクロメータとして使用して得られた特性曲線の中でN1について示せば第11図のようになる。絞り、ノズルそれぞれ別個に求めた



第11図 N1についての特性曲線図

流量を流出重量に換算し、前述した流量曲面の交りとして幾何学的に作図して得られた特性曲線と第11図の実験値とは当然のことではあるがよく一致した。なおS4の曲線では90μ附近で明瞭なこぶ状の変化がみられる。これは他のノズルについても同様に認められるところであつて、これがほぼ遷移領域に対応することからも流れ状態の変化を裏書きしているものと解釈して差支えないものと思われる。

5. 結論

低圧型空気マイクロメータの絞りではRe数の小さい範囲を使用する関係上、この実験に用いたようなオリフイス型であれば流量係数の値はかなり変化する部分を使用することになり、特に孔径の小さいものはこの傾向が著しい。(孔径の数倍程度の管状部をもち縮流の影響がなくなるものでは流量係数の変化は比較的小なるであろう。)

次に絞りを細長い管状にすることは内面を電解研磨した注射針でも用いれば入手も容易であるので、倍率はやゝ落ちて特性曲線の直線部が長くなり、また管の長さを適当に定めること

により特性曲線の形を変化、調節するにも便利かと期待したのであるが 予期した程の効果はなく、実用上は内面清浄などの問題の他にも管の寸法により場合によつては流れの遷移に基づく不連続点が出て来ることなどがわかつた。

ノズルについては第11図のS4のような組合せは倍率も低く、何らの長所もないため普通は用いられないので、現在実用されている範囲では幸い乱流領域を外れてをる。従来理論式の誘導の場合にも円管の場合の臨界 Re 数などより類推してほとんど問題にされて居らないが、放射状流れの場合の乱流への遷移は案外低い Re 数で起るようである。

またノズルの流量は肉薄になるにつれ、あるいはすきま及び圧力差が大になると放射状部の流れを層流とした計算値より次第に逸脱して行き、徐々にオリフイス的傾向に近くなることも実験的に明かになつた。

本研究は文部省自然科学研究費による研究の一部である。東京工大板谷教授、九大妹尾助教より有益な御助言を賜わり、また実験装置に関しては東洋工業株式会社の援助を仰いだことを附記して感謝の意を表する。

註：—

- (1) 昭和25年12月8日、機械学会飯塚地方講演会において講演。
- (2) 川崎、精密機械、13巻12号1頁
(昭22-2)
- (3) 石原、精密機械、13巻10号6頁
(昭22-10)
- (4) 塚原、機械学会論文集、17巻56号
10頁(昭26)
- (5) 塚原、同上
あるいは、真島「粘性測定法」
(共立社)48頁

ピストンリング材の組織と耐磨耗性についての一実験

大 野 元 明

1. 緒 言

筆者は先に内燃機のピストンリング磨耗に関する重要因子としてリング材質の顕微鏡組織の良否を指摘した⁽¹⁾。リング製作に関することは筆者の専門外であつてその詳細な事柄は論じ得ないけれども磨耗に関連しての実験的研究の一端を述べることにする。

ピストンリング及びシリンダー材料については耐磨耗性の見地からいろいろ研究されてきた。リングはその成分値のみでなく鑄造方法或は冷却速度等によつてパーライト素地や游離黒鉛に変化を生ずるもので、この組織と磨耗の間には直接の関係があることが知られている⁽²⁾。よつて完成リングについては機械的な諸性質とともに組織検査が行はれるのが通常であるけれども、現在の判定標準は不完全でこれのみによつて耐磨耗性を決めることは困難である。すなはち特に組織の相異が著しい場合を除いては矢張り磨耗試験によらなければ比較は困難であ

る。元来リングの磨耗試験はそれを使用する発動機の運転試験によつてはじめて眞の性状を知り得る訳であるが、リング及びシリンダー磨耗はざらつき、肌ずれ磨耗が重要視される理由から簡単な磨耗試験機によつてその材質の耐磨耗性を吟味することも出来る。所謂ブレーキシュー型のもので多く用いられている。筆者は組織の異なる市販の自動車用リング数種類について磨耗試験を行つてみた。この試験では特に磨耗の測定を秤量式によらずに寸度測定方式としたことに特徴があり、その結果所要時間が短縮され精度も先づ充分なものが得られた。以下その概要について述べる。

2. 試験機並に試験方法

リング材の試験にて Paul. S. Lane⁽⁴⁾ は円錐型車輪上にリングより採取した試験片を押し付ける方法を採用している。所謂ブレーキシュー型のものである。筆者は直径200 耗厚肉鑄鋼製円錐面(硬度R・B85)に摩擦速度11m/secを標準とし