

## 動揺するマノメータ指示値の読み取り精度

石原 智 男 ・ 井 田 富 夫

### 1. 緒 言

液柱マノメータ、ブルドン管圧力計、あるいは動力計のトルク測定用はかり等のように、機械工学上の計測には大なり小なり指示に変動を伴うものが多い。時にはその変動の振幅が平均値の5~10%、あるいはそれ以上にもおよび、変動の模様もきわめて不規則でその指示値の読み取りにかなり困難を感じることがある。かような場合その変動の平均値らしき値を、感じて判断して読み取って測定値としているのが普通であり、したがって得られた値が真の平均値にどれほど近づいているかという点については疑問がある。

このような問題が最も顕著に表われる例に水車水圧管内の流速測定の場合がある。水力発電所における流量測定には現在種々の方法が用いられているが、水圧管内の流速をピトー管で測定して流量を算出するいわゆるピトー管法がわが国では最も広く採用されている。しかるに水圧管内の流れは一般にきわめて複雑で流速の不規則な変動を伴うことが多い。このおもな原因は流速測定位置の前後にある曲りの影響といわれる。管路の曲りの下流および上流のある区間では、流れは旋回流を伴い、しかもきわめて複雑な変動を示す。この曲りの影響する範囲は大約その下流側に50D、上流側に20D(Dは管の内径)といわれる。<sup>(1)</sup>しかるに水圧管は地形上数ヶ所に曲りの部分があるのが普通であり、しかも直管部の長さが70D以上ある場合はほとんどなく、従って管内の流速測定には、曲りの影響が残っている場所にピトー管をそう入することを余さなくされる。なおこのほかにも上水そうの水位の変動や送電系統の電力動揺等のために流速や水圧が変化し、このためピトー管の指示(マノメータ水位)に変動を免れることができない。この変動が大きいときは指示の読み取りがきわめて困難であるが(マノメータ導管を絞って変動をおさえることはごみ・砂等のためにマノメータがつまみやすいことから余り行われていない)。このような場合のマノメータの読み取りにどのような方法が実用上最もすぐれているか、また各読み取り方法の精度いかにという点についての検討はこれまでなされていなかったようである。

運転状態を一定にしておいてもマノメータ指示の変動が大きい場合、測定値としては変動の時間的な平均値を採用するのが普通でありまた妥当であろう。このような場合の測定には、(A)変動のままその平均値を判定

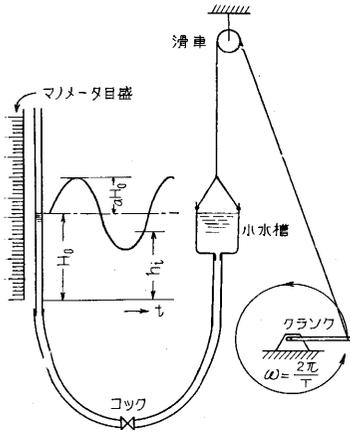
して読み取る方法、(B)マノメータの導管の途中を絞って変動を小さくしてその平均値を読み取る方法、(C)任意の時刻に水位の動きをとめてその指示値を採用する方法、(D)平均値付近に動きをとめてその指示値を採用する方法、(E)なんらかの装置を用いて水位変動の時間的変化を記録する方法等がある。マノメータの指示の変動が小さい時はどの方法で読み取っても大差ないから、マノメータの数、装置全体の定常状態維持の難易によって(A)または(C)の方法を採用している。しかるに水圧管内の流速測定の際のマノメータ指示の変動はきわめて不規則で、その最大値と最小値との差が100mmを越すことも珍らしくないが、このような場合(A)、(D)の方法では平均値の判定がきわめて困難である。一方(C)の方法は動きをとめた際の指示値が必ずしも測定中の平均値に近いとは限らぬから、普通これを5~10回くり返してその算術平均値を採用しているが、その回数決定については実験的な裏づけがないようである。(B)の方法は読み取りが容易となるが、絞りの程度によっては指示に時間的遅れが生じて、その平均値が真の平均値に常に一致するかどうかの疑問が残る。(E)の方法で得た変動記録を積分してその平均値を得るのが最も妥当であるが、マノメータの数の多い場合には解析に大きな労力と時間とを必要とするし、測定中に直ちにその値を知ることができにくいので普通は行われていない。

これら各種の読み取り方法の精度を調べるには、同一の変動状態を示すマノメータをそれぞれの方法で数多く読み取り、その誤差の度数分布曲線を求めなくてはならない。またこの度数分布はマノメータ指示の変動の振幅や周期が異なれば当然異なるはずのものである。しかしながら各読み取り方法の精度の順位は変動の状態によって余り変化するとは思えぬので、ここでは実際の計測上おこりうる変動のなかでは、最も不規則で振幅も大きいと思われる水圧管内流速測定の際のマノメータ指示、および最も規則的な場合に属すると思われる実験室内で人為的におこした水位変動との二つの場合について各種読み取り方法の精度を調べ、なおこの結果から、現在水圧管内の流速測定に用いられている二種のピトー管の測定精度の比較を行った。マノメータの指示の変動は水面の上下振動であり、たとえばブルドン管圧力計は目盛板の中心に軸を持つ指針の旋回振動であるから、これを同一

に論ずることはできないが、マンメータの読み取りに限らずいろいろな場合の変動する指示の読み取り精度について、ここに得られた結果は参考になる点が多いものと思われる。

2. かなり規則的な変動を呈する指示の読み取り精度

2.1 実験装置ならびに方式 第1図のようにマンメータに連結した小水槽を回転するクランクから滑車を介して吊り、小水槽の上下運動によりマンメータの水位に



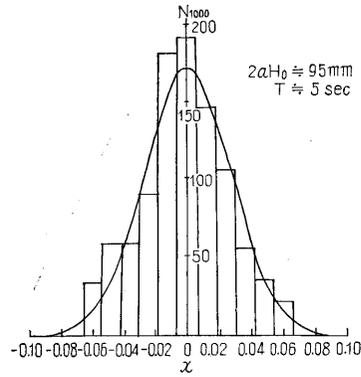
第1図 実験装置

動揺を与え、この指示を前節に述べた各種の方法で読み取り、これを数多く繰り返した。水位変動の周期  $T$  および振幅 ( $= aH_0$ 、ただし  $H_0$  は平均値の読み) の変更は、それぞれクランクの回転速度および長さを変える

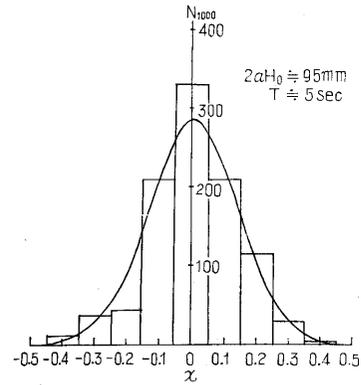
ることによって行った。なおクランクは直接人力により回転させ、また水位を任意の時刻に瞬間的に停止するには、マンメータ導管の途中にあるコックを、クランクやマンメータの全く見えぬ場所で操作することにより行った。読み取り、クランクの回転、コックの操作等に個人的なためと、癖のはいらいぬようにこれらを数人で交代して行っている。使用したマンメータのガラス管は内径約 5 mm、導管は長さ約 1.5 m、内径約 7 mm のビニール管、小水槽の容量は約 400 c.c. で、これらの水柱の U 字管振動の周期は約 3 秒であった。この装置で得られたマンメータ水位の変動は、クランクの回転による小水槽の上下運動から誘起される水柱の動揺に U 字管振動が合成されたもので、これに多少回転速度のむら加わって、いわゆる単弦振動とやや異なる変動を呈するが、実際の測定に見られる変動と比較すればかなり規則的であるということができる。

2.2 実験結果 前述の装置を用いて、水位変動の周期  $T=5$  sec. クランクの長さ ( $=$ 振幅  $aH_0$ )  $=47$  mm の場合について。

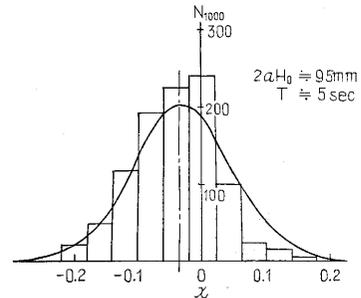
(A<sub>1</sub>) 動揺のままその平均値を読み取る方法、(C<sub>10</sub>) 任意時刻に導管のコックを閉じて水位の動きをとめて得た指示値 10 ケの算術平均値を採用する方法、(D<sub>1</sub>) 水位が変動の平均と判断される値に停止するようにコックを操作して水位の動きをとめて得た指示値を採用する方法 (この場合水位の上昇中と下降中の読みをそれぞれ 1 ケに数えた)、の各方法で得た測定値の誤差  $x = (h_i - H_0) / 2aH_0$  ( $h_i =$  測定値,  $H_0 =$  平均値  $=$  クラ



(a) A<sub>1</sub> 法の誤差の度数分布



(b) C<sub>10</sub> 法の誤差の度数分布



(c) D<sub>1</sub> 法の誤差の度数分布

第 2 図

ンを水平にしたときのマンメータの指示値、 $aH_0 =$  振幅) の度数分布はそれぞれ第 2 図 (a), (b), (c) のようになった。実測回数は A<sub>1</sub> は 88 回, C<sub>10</sub> は 188 回, D<sub>1</sub> は 180 回であったが、比較に便なるようにいずれも総数 1,000 に対する度数  $N_{1000}$  に換算して描いてある。測定間隔  $T' = 3T \sim 5T$  であった。

これらの度数分布は正確にはいわゆる正規分布とやや異なるものもあるが、測定回数割が少ないからこれに厳密に適合する度数密度かん数を求めるのは、労力の大きい割に意味がないと考えられるので、ここではすべて正規分布をなすと見なしてその度数密度かん数  $\phi$  を求めた。すなわち

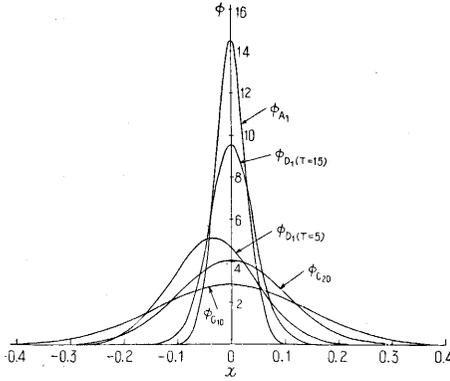
A<sub>1</sub> の方法 ;  $\phi_{A1} = 14.44 e^{-655.5x^2}$  (1)

C<sub>10</sub> の方法 ;  $\phi_{C10} = 2.88 e^{-26.1x^2}$  (2)

D<sub>1</sub> の方法 ;  $\phi_{D1} = 5.08 e^{-81.1(x+0.0337)^2}$  (3)

これを図示したのが第 3 図である。第 2 図中の曲線はこれらの式から求めた実度数分布曲線で、実際の度数分布にはほぼ一致している。なお第 3 図の中には、C<sub>10</sub> をもとにして計算した同じ方法の 20 回の平均値の誤差の度数密度かん数  $\phi_{C20}$  をも示した。  $\phi_{C10}$  から  $\phi_{C20}$  を求めるには、ある測定値 1 ケの誤差の度数分布が正規分布をなすとき、すなわちこの測定値の誤差の度数密度かん数  $\phi$  が

$$\phi = \frac{1}{\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-(1/2)(x^2/\sigma^2)} \quad (4)$$



第3図 各種読取方法の誤差の度数密度かん数であるとき ( $x$  は誤差,  $\sigma$  は標準誤差すなわち誤差の2乗平均の平方根), この測定値  $s$  ケの算術平均値の誤差の度数密度関数  $\phi_s$  は理論的に,

$$\phi_s = \frac{1}{\sigma/\sqrt{s}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-(s/2)(x^2/\sigma^2)} \quad (5)$$

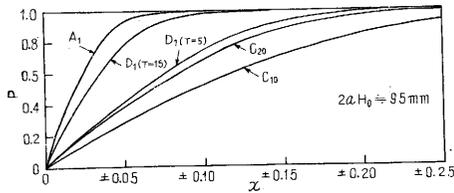
であることを利用して算出した<sup>(2)</sup>. すなわち

$$C_{20} \text{ の方法; } \phi_{C20} = 4.07 e^{-52.2x^2} \quad (6)$$

また水位変動の周期  $T=15 \text{ sec}$  の場合における  $D_1$  の方法による度数密度かん数  $\phi_{D1}(T=15)$  も比較のために第3図に描いてある.

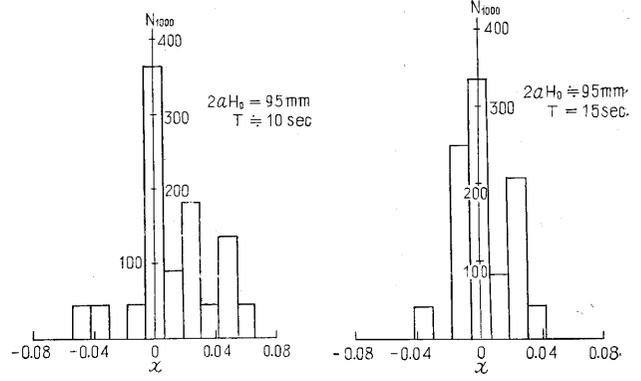
$$D_1(T=15) \text{ の方法; } \phi_{D1}(T=15) = 9.53 - 284x^2 \quad (7)$$

さて以上のようにして得られた度数密度かん数を積分



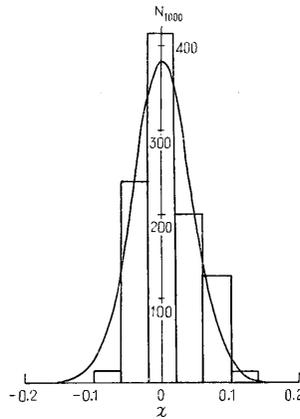
第4図 測定誤差の確率

することにより, それぞれの測定方法が任意の誤差範囲に収まる確率を知ることができる. 第4図は横軸に  $\pm x$  の値をとり, 誤差が  $-x \sim +x$  の範囲にはいる確率  $P$  を縦軸に描いたものであり, これから  $T=5 \text{ sec}$ ,  $2aH_0 = 95 \text{ mm}$  の場合, 精度の最も高いのは  $A_1$  の方法で, 以下  $D_1$ ,  $C_{20}$ ,  $C_{10}$  の順であることがわかる. 水位変動の周期  $T$  が大きくなると  $A_1$  および  $D_1$  の方法は精度が高まることが予想される (ただし測定所要時間すなわち変動の観察時間が  $T$  より大きい場合).  $T=10, 15 \text{ sec}$  の  $A_1$  の方法および  $T=15 \text{ sec}$  の  $D_2$  の方法の誤差の度数分布  $N_{1000}$  をそれぞれ第5図 (a), (b) および第6図に掲げた. 第5図の場合は測定回数が少ないのでこれをもとにして度数密度かん数を求めるのは無理であるが, 第2図 (c) と比較して  $T$  の増加による精度向上を察知できる. 第6図から求めた  $\phi_{D1}(T=15)$  の確率は第4図に描いてあり, 同図中の  $\phi_{D1}(T=5)$  と比較して精度が高いことがわかる. なお振幅を変えた場合の実



(a)  $A_1$  法の誤差の度数分布 ( $T=10 \text{ sec}$ ) (b)  $A_1$  法の誤差の度数分布 ( $T=15 \text{ sec}$ )

第5図



第6図  $D_1$  法の誤差の度数分布 ( $T=15$ )

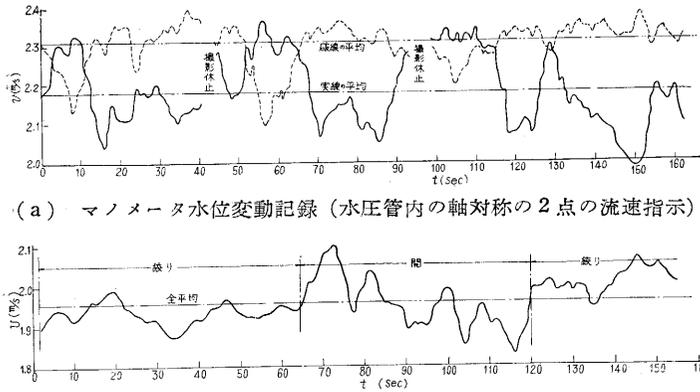
験は測定回数が少なかったのでここでは省略するが, 普通のマンメータの場合と異なり誤差  $x$  を, 振幅を基準にとって定義しているから, 第4図の関係は変化しないと考えて良い.

3. きわめて不規則な変動指示の読み取り精度

3.1 実験方法 東京電力駒橋発電所の流

量測定試験(昭和31年3月13日~17日)に双孔式ピトー管を用いて水圧管内の流速分布の測定が行われたが, この時マンメータに表われたきわめて複雑な水位の変動を  $16 \text{ mm}$  撮影機で記録すると同時に, 現場技術者や見学者等約8名でその平均値を判定して読み取り, これをくり返して各測定時間中の撮影記録から得た平均値に対する測定値の誤差の度数分布を求めた. 水車の負荷およびピトー管の衝撃孔(動圧管)の位置は主として水位変動の最も大きく表われる点に維持した. マンメータの水位変動の大きさは平均流速 ( $1.9 \sim 2.2 \text{ m/s}$ ) の  $\pm 10\%$  程度(マンメータの目盛の長さで約  $\pm 50 \text{ mm}$ ) であり, 周期は一般にきわめて不規則であった. 水位変動の撮影記録の1例を第7図 (a) に示してある. なお時刻の記録を正確にするために秒時計をマンメータと共に撮影してその値を横軸に採っている.

任意時刻にマンメータの導管を閉じてその時の指示を読み取る前節  $C_{10}$  の方法は現地では行わず, 撮影記録から得られた水位変動曲線をもとにして読み取りを行った. 撮影時間は  $30 \sim 100 \text{ 秒}$  であるから図上で適当な時間間隔 (ここでは実際の測定所要時間を考慮して  $30 \text{ 秒}$



(b) 絞りによる水位変動の変化

第 7 図

とした)の水位の瞬時値を 5~10 ケ得るには短かすぎるわけであるが、撮影時間中と全く同じ変動が撮影後もくり返されているものとして読み取り値を得た。

差  $y = \{(h_i - h_m) / h_m\} \times 100 [\%]$  の度数分布をそれぞれ第 8 図(a), (b), (c) および(d) に示した。なお実測回数

は、 $A_1$  は 96 回、 $B_1$  は 24 回、 $C_1$  は 169 回、 $C_5$  は 88 回であるが、いずれも測定回数 1,000 に対する度数  $N_{1000}$  に換算して描いてある。測定回数が比較的少ないから前節と同じように近似的に正規分布とみなして度数密度かん数  $\phi$  を求めると、

$$A_1 \text{ の方法; } \phi_{A1} = 0.458 e^{-0.657y^2} \quad (8)$$

$$B_1 \text{ の方法; } \phi_{B1} = 0.670 e^{-1.412(y-0.208)^2} \quad (9)$$

$$C_1 \text{ の方法; } \phi_{C1} = 0.136 e^{-0.0578y^2} \quad (10)$$

$$C_5 \text{ の方法; } \phi_{C5} = 0.215 e^{-0.145y^2} \quad (11)$$

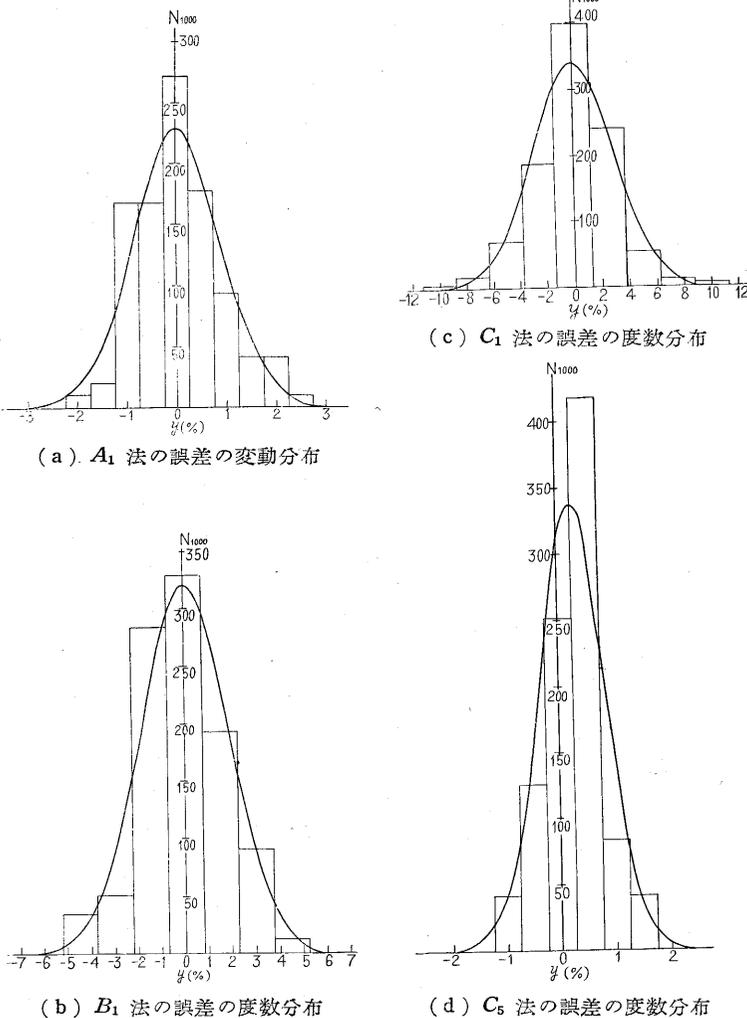
またこれから  $A_2$  すなわち  $A_1$  の方法の 2 回の平均値および  $C_{10}$ 、 $C_{20}$  すなわち  $C_1$  の方法のそれぞれ 10 回および 20 回の算術平均値を採用する読み取り方法の誤差の度数密度かん数を求めると ( $\phi_{C10}$ 、 $\phi_{C20}$  を求めるのにここでは  $\phi_{C5}$  を用いた。これは  $\phi_{C1}$  から求めるより実際の誤差の分布に近いと考えられるからである)。

$$A_2 \text{ の方法; } \phi_{A2} = 0.647 e^{-1.315y^2} \quad (12)$$

$$C_{10} \text{ の方法; } \phi_{C10} = 0.304 e^{-0.290y^2} \quad (13)$$

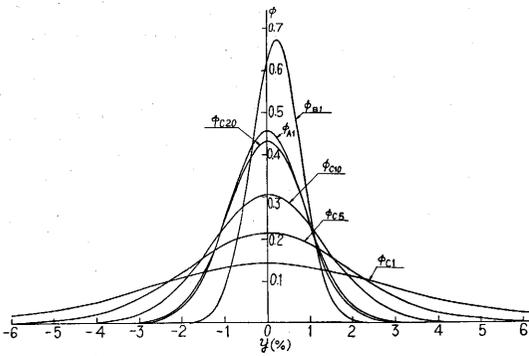
$$C_{20} \text{ の方法; } \phi_{C20} = 0.429 e^{-0.579y^2} \quad (14)$$

これらの値を図示したのが第 9 図である。また第 8 図の各曲線はこれらの式から計算した実度数分布曲線を表わしている。 $\phi$  を積分して任意の誤差範囲にはいる確率  $P$  を調べたのが第 10 図である。この図から、このような複雑な変動を示すマンメータの読み取りに

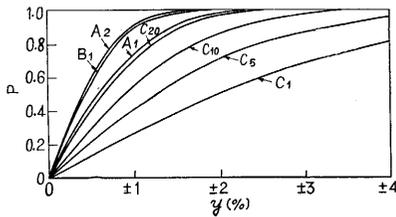


(a)  $A_1$  法の誤差の変動分布 (b)  $B_1$  法の誤差の度数分布 (c)  $C_1$  法の誤差の度数分布 (d)  $C_5$  法の誤差の度数分布

第 8 図



第9図 各種読取方法の誤差の度数密度かん数



第10図 測定誤差の確率

$A_1$ の方法では測定総数の約7%が誤差 $\pm 1\%$ 以内に収まるのに反し、 $C_5$ の方法では41%、 $C_{10}$ の方法でも55%に過ぎず、 $C_{20}$ すなわち $C_1$ の方法を20回繰返して得た算術平均値がやっと $A_1$ の方法による測定値に比肩する精度を持つということがわかる。なお $B_1$ の方法では、真の平均値より大き目に読み取ることが多く、第8図(b)の曲線の中心が右(+側)にずれているが、これは測定回数が少ないための偶然の結果であろう。しかしその精度が $A_1$ より高いことは当然予想されることである。ただ $B_1$ の方法で問題となることは、導管を絞って抵抗を与え変動をおさえた場合、限られた測定時間中の指示の平均値が真の平均値に厳密に一致するかどうかという点である。これが常にほとんど一致するものなら、変動が大きいときは絞りさえすればどの方法で読み取っても大差ないわけであるが、絞りの程度によっては指示が変動に追随しなくなる恐れがある。この点についての検討はぜひ必要であるが、今回は主として変動しているマノメータの読み取り精度について調べており、絞りの影響について結論を出せるほど資料を得ていない。したがってここでは第7図(b)にその1例を示すにとどめる。第7図(b)は導管を外から押しつぶしてその動きをつぶさぬ時の約半分にした場合とこれを開いた場合とを交互に行いながら撮影した記録で、絞りのため変動の起伏がなだらかになっていることがわかる。

4. 実験結果の検討

以上の実験結果からマノメータの指示が変動している場合の読み取りには、変動のままですその平均値を判定して値を得る方法が、普通行われている読み取りの中では(測定回数が等しい場合)最も精度の高いことが明らか

となった。 $\pm 50\text{ mm}$ の大きな範囲(平均値の $\pm 10\%$ )にわたって不規則な変動をしているマノメータの指示を、30~100秒間も眼で追いつながらその平均値を判定することはなかなか困難なことではあるが、その測定値の74%は誤差 $\gamma$ が $\pm 1\%$ 以内に収まる(第10図)というように予想外に精度が高く、人間の感じというものがかかなり正確であることが判明した。この読み取りにあたった人々はこのように振幅が大きく複雑な変動を行うマノメータの計測に熟練していないことを考えれば、指示の平均値の $\pm 10\%$ 程度の大きな不規則変動が存在する場合にも、よくその動揺の様を観察していれば測定時間中の平均値の読み取りを、 $\pm 1\%$ の誤差範囲に収めることは困難ではないということができよう。

水位の変動の様相が異なれば各読み取り方法の精度も変化することは当然予想される。そこでマノメータの指示が平均値の上下に比較的規則正しい変動をしている場合と、きわめて不規則な変動を呈する場合とで、 $A_1$ 、 $C_{10}$ 等の方法の精度がそれぞれどのように変化するかを前節までの結果から調べてみよう。第2節の $x$ と第3節の $y$ とは定義が異なっているが、 $y$ を $x$ と同様に最大値と最小値との差を基準にとることに変更すれば近似的に比較することができる。この差は第4節の場合平均値の約20%に相当しているから(ただし $B_1$ を除く)、第10図の横軸 $y$  [%]を5倍して直接第4図と比較すればよい(なおどちらも変動の最大値と最小値との差は80~100mmであった)。これから $A_1$ の方法は不規則変動の場合より規則的な変動の場合の方が精度が高いことがわかる。すなわち誤差 $x$ が $\pm 0.05$ 以内である確率は規則的な変動の場合約93%であるに反し、不規則変動の場合は74%に過ぎない。これは規則的な変動の方が平均値の判定を行いやすいことから当然のことであろう。なお $C_{10}$ の方法は $A_1$ とは逆に不規則変動の場合の方が精度が高くなっているが、これは試験にあらわれた不規則変動は、水位の瞬時値と平均値との差の2乗の時間的平均値が、規則的な変動の場合より小さい(換言すれば変動の様相が最大値や最小値の付近でやせてとがった曲線をなしてそのあたりを占める時間が少ない)ことによるものと考えられる。

ここではほぼ同一の最大振幅を持つかなり規則的な変動と、全く不規則な変動との二つの場合について調べている。振幅がこれと異なっても規則的な変動の場合には、第4図がほぼそのまま適用できることは前に述べた。実測上最も問題となる不規則変動の読み取りにおいては、 $C_1$ したがってまた $C_{10}$ 、 $C_{20}$ の読み取り方法は、変動の最大振幅が上例より大きくとも、平均値よりの偏差の2乗平均値が小さければ、精度は第10図より向上する。しかしこの場合には一般に変動のままです平均値を判定することも容易となり、 $A_1$ 法の精度もまた向上す

るから、第 10 図のお互いの関係に大きな変化は生じない。しかも不規則現象の出現の任意性から、偏差の 2 乗平均値と最大振幅との比が、今回の実験の場合と大幅に異なる確率は小さいと考えられるから、第 10 図の横軸を最大値と最小値との差を基準に採った誤差に書き換えた図は、変動の大きさが異なっても不規則変動である限り近似的に適用できるものと考えられる（最大値と最小値との差を基準に採ることは厳密には疑問であろうが、実際に変動曲線を記録しない限り実用上やむを得ない）。なおこれについては、さらに異なる水圧管等で実験をくり返して検討を行うことが望ましい。

ここで第 10 図の結果を用いて、水圧管内の流速分布の測定に現在主として用いられている双孔式ピトー管（二つの衝撃孔を動かして管断面の各位置の流速を測定するもの）と、多孔式ピトー管（11~21 ケの衝撃孔が固定されていて各位置の流速を同時に測定しうるもの）とを、読み取り精度の点から比較してみよう。多孔式では衝撃孔の数だけマノメータを必要とするから、前記  $A_1$  の読み取り方法を行うにはその数だけ測定者が必要となり現地では困難なので普通  $C_{10}$  の方法、すなわち任意の時刻に同時に、すべてのマノメータの水位の動きをとめて読み取った値の 10 回の算術平均値を採用する方法を行っている、一方双孔式では普通 1 測点について  $A_1$  の方法で 2 回読み取っているから

前述の  $A_2$  の読み取りにあたる。したがって第 10 図の結果から明らかに 1 測点の流速測定におけるマノメータの読み取りには双孔式の方がすぐれている。ただしこの場合管断面にわたる流速分布の測定所要時間は、双孔式は多孔式の 2 倍以上必要である。なお両者の読み取り精度がほぼ等しくなるような読み取り、すなわち 1 測点につき多孔式では  $C_{20}$  の方法を、双孔式では  $A_1$  の方法を用いる時には、一断面の測定時間は逆に多孔式の方がよいかかる。ただし管内の流速分布の形状が変化しても全体として流量の時間的な変化がないような場合には、流量の測定という点で多孔式の方がすぐれており、また同一時刻の流速分布が得られる大きな長所を持っているから、写真撮影等の方法で水位の時間的な変化を記録するならば、双孔式では求めることのできぬ資料が得られ、またこれから得た測定値の精度も高い。しかし現地で短時間のうちに測定値が得られぬのは不便であり、また解析に多くの時間と労力を必要とするから現地試験には向かないと思われる。両者の比較にはこのほかにも測定に必要な人員、準備の難易、故障のおそれの多少、およびこれに対する処置の難易等、現地試験として重要な要素を考慮しなくてはならないが、1 測点のマノメータ指示の読み取りのみについていえば、ここで得た結果から双孔

式の方がすぐれているということができよう。

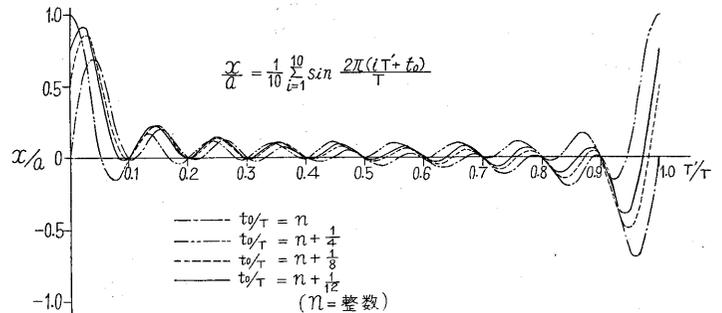
変動する水位を適当な時間間隔で瞬間的にその動きを停止し、これをくり返してその算術平均値を測定値に採用する前述の  $C_{10}$  等の方法は、その測定時間間隔  $T'$  と、水位変動の周期  $T$  との関係によっては大きな誤差を生ずる恐れがある。この点を水位の変動が単弦振動をする場合について検討した結果を次に述べる。マノメータの水位  $h(t)$  が

$$h(t) = H_0 \{1 + a \sin(2\pi t/T)\}$$

なる変動をなすとき ( $H_0$  は指示の平均値の読み、 $a$  は振幅、 $m$  回水位の動きをとめて得た測定値の算術平均値の、 $H_0$  に対する誤差  $x$  は

$$x = \frac{a}{m} \sum_{i=1}^m \sin \frac{2\pi(iT' + t_0)}{T} \quad (15)$$

で表わされる。ここに  $t_0$  は測定開始時刻である。 $t_0/T = 0, n + (1/4), n + (1/8), n + (1/12)$  ( $n$  は整数) の時



第 11 図  $C_{10}$  法の測定間隔による誤差の変化 (sine curve 変動)

の  $x/a$  の変化の有様を示したのが第 11 図で、図は  $m = 10$  の場合である。この図から測定周期  $T'$  が水位変動の周期  $T$  に近づくとき、測定開始時刻  $t_0$  によっては誤差が急に増大する場合のあることがわかる。

### 5. 結 語

以上マノメータの指示に動揺がある場合に、その平均値を実用上どのような方法で読み取るのが最も精度が高いかを実験的に調べた結果を述べた。普通行われている変動のままその平均値を判定する読み取り方法が、予想以上に精度の高いことを知る事ができた点は大きな収穫であろう。これらの結果から、現在水車水圧管内の流速分布の測定に使用されている 2 種のピトー管の測定精度を読み取り方法の上から比較した。

この報告中、東京電力駒橋発電所における実験には東電川崎主任技師その他の関係者のご援助を受け、また動揺するマノメータの読み取りに、春日屋 (中央大学)、鈴木 (電力中央研究所)、川崎、佐野 (以上東京電力)、石井 (東京芝浦電気) の諸氏のご協力があったことを記し厚く感謝の意を表す。なお実験および整理には藤木、古屋両君の助力を受けた。 (1956. 10. 15)

### 文 献

- (1) 伊藤英覚, 東北大学速研報告 12, 23, (昭30)
- (2) 水野善右衛門, 測定値整理法 38, (昭24)