

# 管路内気液二相流の水頭損失について

## (第2報)

### —こぶ部つき直管路の場合—

福田 浩・樋渡 久孝

On the Head Loss of Two Phase Flow through a Pipe  
(2nd Report)

— Case by the Straight Pipe with a Swelling Part —

Hiroshi FUKUDA and Hisataka HIWATARI

(昭和54年10月31日受理)

### 1. 結 言

著者らは、前報(本研究紀要第14号, 1979)において、空気と清水の混合気液二相流体を水平におかれた直管路内に流がした場合を対象に、管路内摩擦損失水頭におよぼす影響について実験したものをまとめて報告している。

本報告では、水平直管路の途中に、その管よりも直径値の大きな短管(こぶ部)を同心的に取りつけた場合、こぶ部の寸法形状を種々変化させることによる損失水頭におよぼす影響因子として前報と同様気液の混合割合、管内流速、管内圧力およびこぶ部内流相などを取り上げて単一直管路系の場合と比較するとともに、実用的な水頭損失を表わす実験式を導き出すことを目的としたもので、一連の結果の中から主なものについて述べたものである。

### 2. 実験の装置と方法

図-1に実験装置の概略を示した。

本報での装置と方法は、前報とほぼ同様なので、とくに異なる点について略記する。

前報の直径  $d = 20\text{mm}$  の単一直管路系の場合に対して、内部観察および写真撮影のため、透明アクリル材で加工したこぶ部を水平管路の途中に同心的に取りつけた。

こぶ部つき管路系の損失水頭  $H$  は、図のように単一直管路部と等しい計測区間  $l = 2\text{m}$  をこぶ部を中央部にはさんだ2点間を下流側にとり、その圧力差を水銀マンノメータで読みとった。

実験に供したこぶ部の寸法形状は、こぶ部の直径値  $D = 44\text{mm}$  一定について、その長さ  $L$  を30, 60, 90

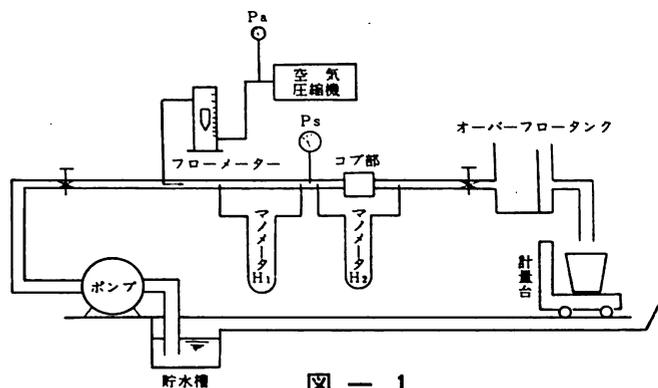


図 - 1

mmの三段階に、一方、こぶ部長さ  $L = 60\text{mm}$  一定について、直径値を43, 52, 65mmの三通りに選び加工した。

なお、 $D$ の違いは、拡大率  $m = D^2/d^2$  としてデータを整理した。

上記こぶ部直径  $D$  に対応する拡大率  $m$  は、それぞれ4.62, 6.76, 10.56となる。

気液の混合割合については、水量  $Q_w$  と混入空気量  $Q_a$  との容積比、すなわち気水比  $r = Q_a/Q_w$  として0から0.7までの間を0.1とびとした。

管路内平均流速  $v$  は、管内圧力  $P_s = 0.5\text{kg/cm}^2$  一定のもとで  $2.5 \sim 5.0\text{m/s}$  の範囲で任意に得られるようにバルブで流量調整し、気液の完全分離の状態をさけて実験した。

### 3. 実験の結果と考察

こぶ部つき管路系の損失水頭  $H$  を、こぶ部直径  $D$  を一定とし長さ  $L$  を変えた場合と、 $L$  を一定とし  $D$  を変化させた場合について、それぞれ流速  $v$  を横軸に気水比  $r$  をパラメータとして示すと図-2と3のようになる。(  $r$  の偶数値は煩雑となるので除いた。)

これらの示す結果から、 $D$  が一定で  $L$  が異なる場合には、 $L$  が大きくなるにつれて損失の度合は大き

く、 $r$  の大となるにしたがい一様に減少していることがわかる。

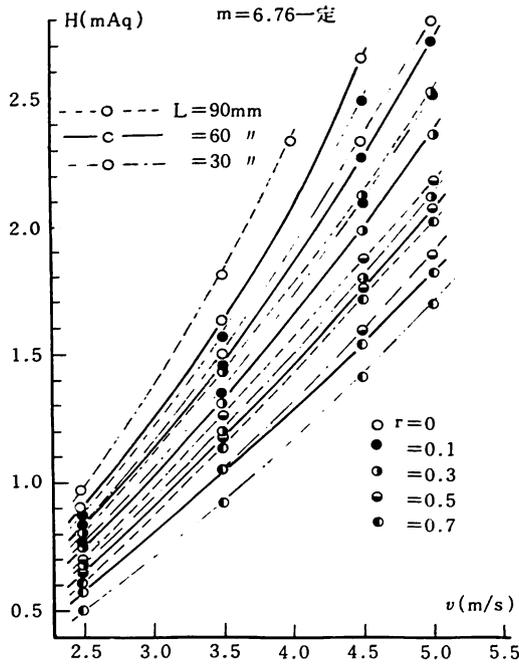


図 - 2

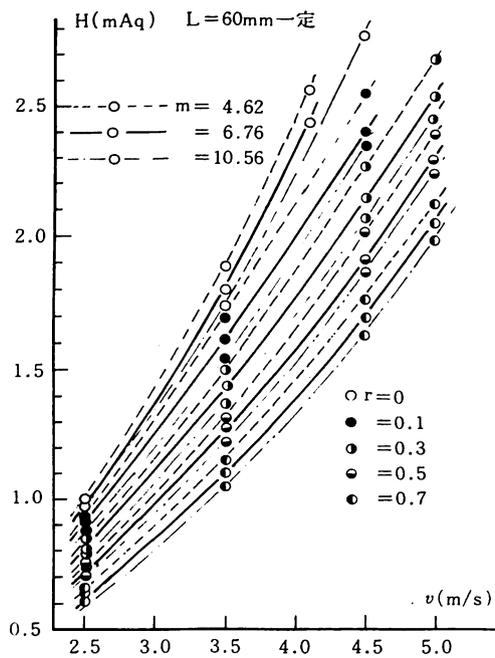


図 - 3

また、 $L$  が一定で  $m$  が変わる場合には、 $m$  が大きいほど  $r$  が小さくなるにつれて損失は増加する。

これら損失水頭  $H$  のこぶ部の寸法・形状による差異と傾向は、こぶ部内における気液のフローパターンと密接な関連のあることについて、著者らは水単相流の場合につきすでに発表している（本研究紀要第12号，1977，P. 15）ことから、本報告でも  $D=44$

mm一定で  $L=30, 60, 90$ mmのそれぞれのこぶ部内流相を  $v$  と  $r$  について撮影した写真により明確にすると、つぎのようになる。（写真—1 参照）

- ① こぶ部長さ  $L$  に無関係に、気水比  $r$  が小さく流速  $v$  が小さい場合には、混入空気が管内を流動中に一部合成し、こぶ部内に入ってそれがより促進されるため、こぶ部の上方に塊状または層状で存在し、下流出口側へと層状のまま、あるいは断続的に塊状のまま排出される。  
すなわち、気泡を含まない水はこぶ部の下側部分を単相で流過し、気液は分離の状態を保って流相はきわめて単純で損失水頭  $H$  の増大には大きく影響しない。
- ②  $r$  が小さい場合でも  $v$  が大きくなるにつれてこぶ部内の流動は激しくなり、気泡の合体は少ないが気泡は群状となってこぶ部下流側上方部に押し込められた形で偏在し、連続的に出口から流出し、 $H$  の増加につながる。
- ③  $r, v$  ともに増大する場合には、こぶ部内での反転巻き返し流が表われ、不規則な周期で前後方に激しく揺動する流相を呈するようになる。ここではもはや気泡の合体は見られず、むしろ微細化が起り気泡はこぶ部全域に分散するようになる。
- ④ こぶ部に入る気液流は噴流状となっており、 $v$  の小さい場合は噴流とこぶ壁面との間に死水領域が形成され、とくにこぶ部上方には気泡の浮力による気液の分離と合成が同時に進行し、流相は単純である。  
 $v$  が増大するにつれ噴流のこぶ部下流側端面との衝突巻き返し流が激しくなり、流相はきわめて複雑となり死水域も消滅する。  
この結果、流動に伴う  $H$  の増大は顕著となる。
- ⑤ こぶ長さ  $L$  が小さいと噴流の広がり分散が十分に発達拡散することがなく、出口へと流過する量が多いので衝突反転流は少なく流相は穏かであるが、 $L$  が大きくなるにつれ噴流の大半はこぶ部壁面に直接衝突し、流相は激しく複雑となって  $H$  の増加につながる。

以上のことから、損失水頭  $H$  におよぼす影響因子として単一直管路系の場合には流体と管壁面間での摩擦が主体であったが、こぶ部つき管路系では管摩擦による損失に加えて、こぶ部内での噴流、渦流れ、

管路内気液二相流の水頭損失について

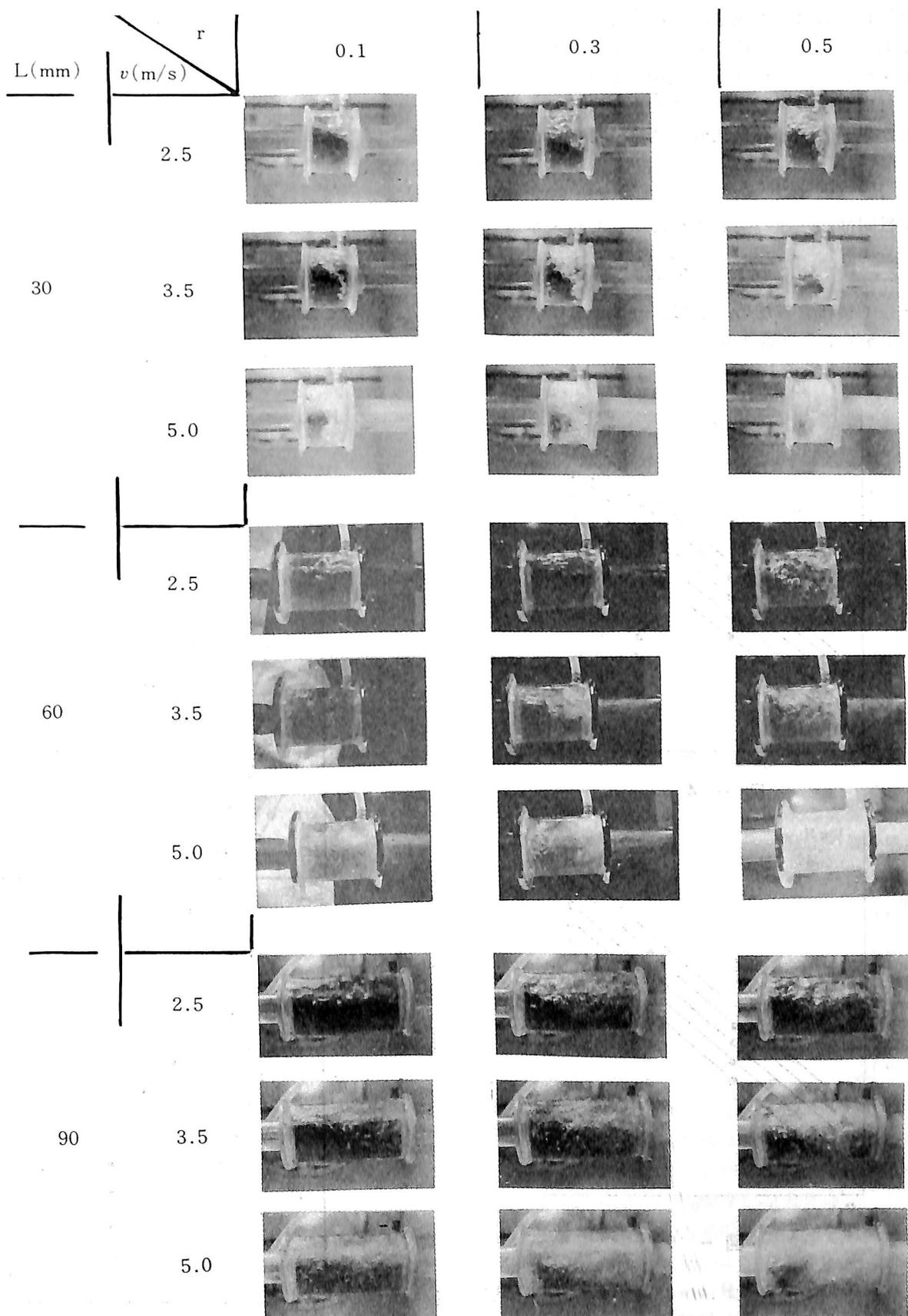


写真 - 1 (D=44mm一定)

衝突反転流および不規則脈動現象などの存在、さらには気泡の分散と合成など気流の流動速度とこぶ部寸法・形状の違いに伴う流相の変様による流体抵抗がHにおよぼす因子として大きな役割を果たす結果、単一管の場合に比較してHは可成り大きくなる。

前報同様、一連の実験より得られた損失水頭Hは

$$H = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = \zeta \frac{v^2}{2g} \dots\dots(1)$$

として整理するため、前掲図-2と3に示した結果の中からL=60mmとm=6.76とを選びそれぞれを両対数表示すると図-4と5のようになる。

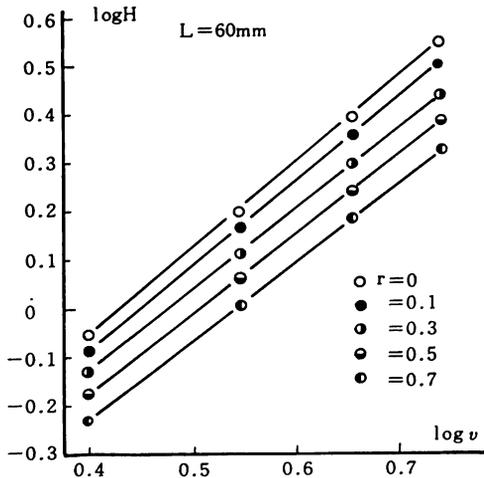


図 - 4

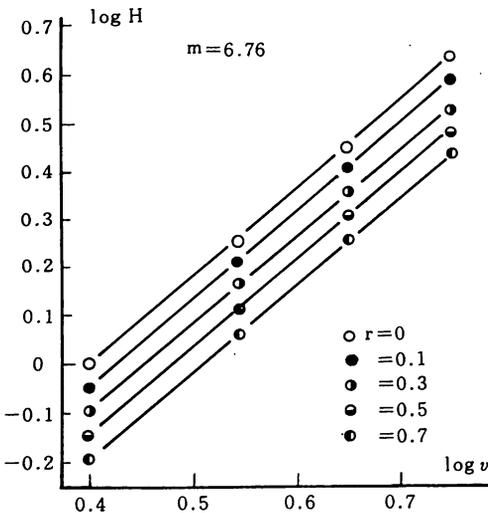


図 - 5

これらの結果から、Hはvおよびrの変化に対応してきわめて単調一様な増減傾向を示しているの得上記式のような関係の成り立つことがわかる。

すなわち、こぶ部の寸法・形状の違いによるHのrを含む(1)式の形は

m=6.76一定でLの異なる場合、

$$\left. \begin{aligned} H_{L=30} &= (3.53 - 2.01r) \frac{v^{1.58}}{2g} \\ H_{L=60} &= (3.79 - 1.88r) \frac{v^{1.61}}{2g} \\ H_{L=90} &= (4.80 - 1.83r) \frac{v^{1.63}}{2g} \end{aligned} \right\} \dots\dots(2)$$

L=60mm一定でmの異なる場合、

$$\left. \begin{aligned} H_{m=4.62} &= (3.97 - 1.82r) \frac{v^{1.64}}{2g} \\ H_{m=6.76} &= (4.05 - 1.85r) \frac{v^{1.65}}{2g} \\ H_{m=10.56} &= (4.16 - 1.89r) \frac{v^{1.67}}{2g} \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

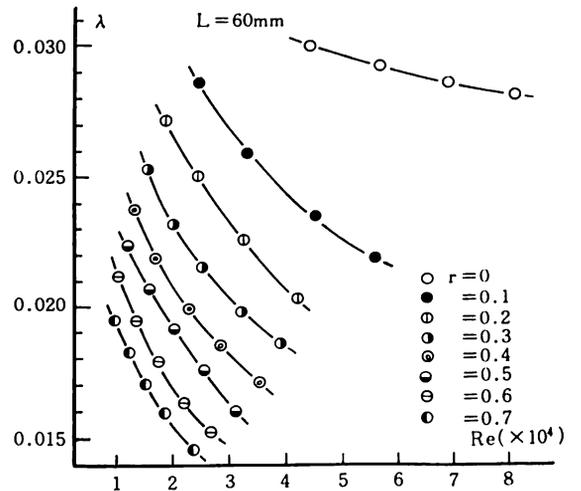


図 - 6

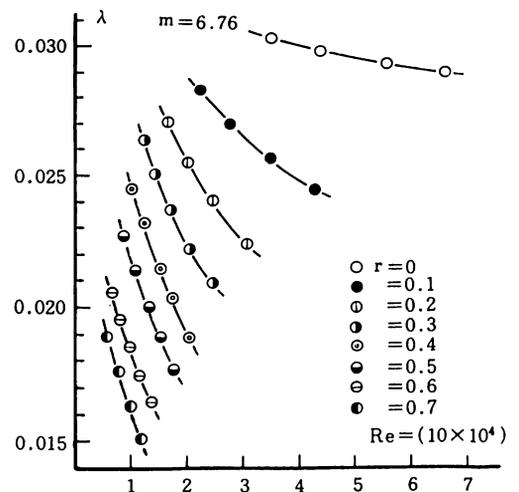


図 - 7

管路内気液二相流の水頭損失について

のように表わされ、こぶ部の寸法が大きくなるにつれて損失水頭Hは増大し、 $v$ と $r$ の影響する度合も明らかである。

つぎに、損失水頭Hを表わす前記(1)式の間係をより実用的な扱いができるようにするため、流速 $v$ の代りにレイノルズ数 $Re$ をとり、さらに(2)および(3)式で示されるこぶ部の違いによる気水比 $r$ を含む係数值を損失水頭係数 $\lambda$ として、 $r$ と $Re$ 数とを関連づけ、とくに $L=60mm$ と $m=6.76$ の場合について取り上げ図示すると図-6と7のようになる。

これらをさらに両対数表示すると図-8と9に示すようになる。

L=60mm			m=6.76		
気水比	係数K	指数 <i>i</i>	気水比	係数K	指数 <i>i</i>
0.1	0.415	-0.335	0.1	0.299	-0.307
0.2	0.610	-0.364	0.2	0.474	-0.325
0.3	0.535	-0.353	0.3	0.734	-0.337
0.4	0.443	-0.372	0.4	0.745	-0.310
0.5	0.451	-0.377	0.5	0.659	-0.320
0.6	0.565	-0.358	0.6	0.453	-0.353
0.7	0.318	-0.355	0.7	0.309	-0.351

この表からは気水比 $r$ と係数 $K$ および指数値 $i$ との関連は必ずしも明確には認められないが、 $K$ と $i$ の範囲は $L=60mm$ の場合は $K=0.32\sim 0.61$ (平均0.497)、 $i=-0.34\sim -0.38$ (平均-0.359)となり、 $m=6.76$ の場合は $K=0.30\sim 0.75$ (平均0.525)、 $i=-0.31\sim -0.35$ (平均-0.329)となる。

このことから、こぶ部の寸法・形状については、本実験の範囲では長さ $L$ よりも拡大率 $m$ (直径 $D$ )の方が水頭損失 $H$ におよぼす影響の度合の大きいことがわかる。

なお、こぶ部寸法が大きくなるにしたがって $H$ が増加するが、その増加の度合は $r$ の小さいほど顕著となる。

4. 結 言

さきに報告している単一直管路系の実験装置と手段を用いて、直管路途中に寸法・形状の異なる種々のこぶ部を同心的に取りつけた場合、管路系に生ずる損失水頭を気水比と流速あるいは $Re$ 数に関連づけて求め、実用的な実験式を作ることを試み、一連の実験を行なって得られた結果の中から主なものをまとめるとつぎのようになる。

- 1) 水平単一直管路系と比較して当然ながら損失水頭は増大するが、これは、こぶ部内での流動抵抗損失が加味されたため、こぶ部内の流れ模様と密接な関係がある。
- 2) こぶ部の寸法・形状は水頭損失に大きな影響をおよぼすが、こぶ部長さ方向の変化が直径値の変化に比べその影響度合が大きい。
- 3) 写真撮影したこぶ部内流動模様を基に損失水頭との関連性を明らかにすることができた。
- 4) 気水比を含んだ損失水頭の実験式を前報と同じ形で異なるこぶ部の寸法・形状に対応して表わすことができた。

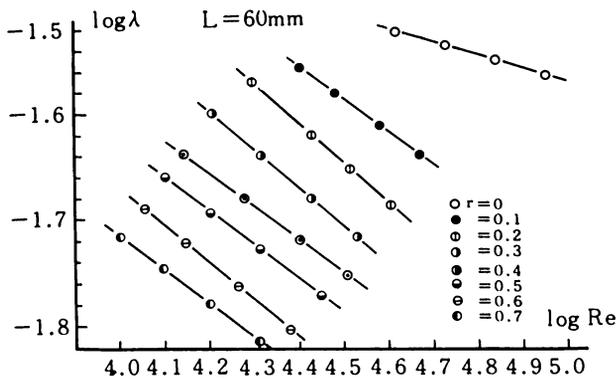


図 - 8

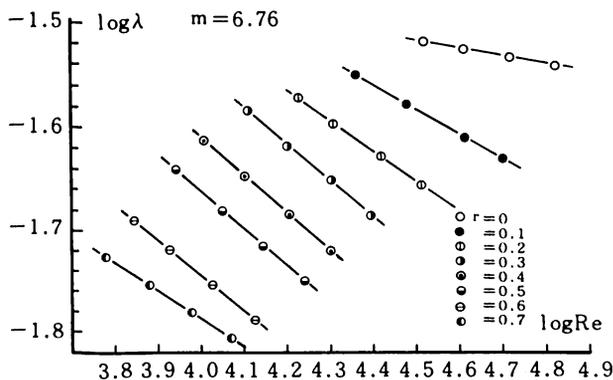


図 - 9

ここに示された結果から、 $\lambda$ と $Re$ 数との間には、

$$\lambda = KRe^i \dots\dots\dots(4)$$

の関係が成り立つことが明らかである。

この式の係数值 $K$ と $Re$ の指数値 $i$ を $L=60mm$ 、 $m=6.76$ の場合それぞれとして各気水比ごとに算出して表示したものが次表である。

終りに、本実験を遂行するにあたり、終始協力の  
労を惜しなかつた当時学生の河村政秀、高橋清彦、  
鎌田信、林孝悦の諸君に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 守屋, 樋渡, 渡辺 秋田高専紀要 7  
(1972) P. 8
- 2) 福田, 樋渡 同 上 12  
(1977) P. 15
- 3) 福田, 樋渡 同 上 14  
(1979) P. 6
- 4) Streeter, 「Handbook of Fluid Dynamics」  
McGRAW-HILL
- 5) 赤川浩爾, 「気液二相流」コロナ社