

# 管路内気液二相流の水頭損失について

(第 1 報)

——水平直管路の場合——

福 田 浩・樋 渡 久 孝

On the Head Loss of Two Phase Flow through a Pipe

(1st Report)

——Case by the Horizontal Straight Pipe——

Hiroshi FUKUDA and Hisataka HIWATARI

(昭和 53 年 10 月 30 日受理)

## 1 結 言

気液二相の流れは、ボイラの蒸発管、化学工業装置および石油・天然ガスの輸送パイプ、さらには原子炉の冷却系などに多く見受けられ、その動的特性を十分に把握することは、これら装置を計画、設計するうえできわめて重要である。

しかるに、気液二相流に関する研究は、比較的にその歴史が浅く、気液の種類、混合の状態、流動状況などによってきわめて複雑多様であることから、いまだに不明もしくは不十分な点が多い。

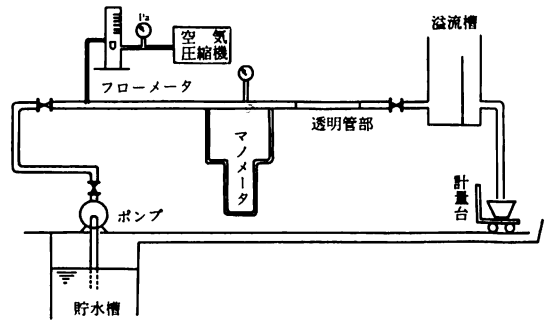
ちなみに、基礎的な事項の中で問題点として指摘されている主なものを挙げてみると、①混合液の分布状態と動粘性係数、②圧縮性の気体と非圧縮性の液体との体積関係、③混合状態における気体の形状と変態、④密度差の大きな二種流体の混合、⑤非定常現象に対する扱いなどがある。

本報告は、清水と空気の混合二相流体を、水平に置かれた直円管路に流がした場合、管路内に生ずる摩擦損失水頭におよぼす影響因子として、気液二相の混合割合、管内流速、管内圧力および流動模様などを取り上げ、これらの単独あるいは相互の関連性について明らかにし、筆者らが先に報告している単相流の場合の結果と比較するとともに、損失水頭を知る上での実用的な実験式を求めることを試み、一連の実験の結果、得られたものの中から主なものを述べたものである。

## 2 実験の装置と方法

図一に実験装置の概略を示した。

供試円筒は、市販の内径  $d=20\text{mm}$  の塩化ビニル製である。



図一

図において、ポンプアップされた清水は、長さ約 9 m の水平直管路部へ送られる。

空気の混入は、空気圧縮機で蓄圧したものを圧力計、フローメーターを介して注射針から管路中央部へと供給した。

注入された空気は、水中で直ちに微細化し、ほぼ均一に分散するが、その粒度および分散度については、定量的に把握していない。

混入空気の量が多い場合や、管内流速が小さい場合には、空気は完全分散せずに合体し、塊状となって断続的に流過するか、密度差により空気層が管路上部に偏在し、水と完全に分離する。

したがって、流過水量  $Q_w$  と混入空気量  $Q_a$  との容積比  $Q_a/Q_w=r$  : 気水比は、0 から 0.6 までの間を 0.1 とびに、管内流速  $v$  を 2.5~7.5m/s の範囲に選んで、上記気液分離の状態は避けて実験した。

なお、管内圧力  $P_0$  は、0.5~5.0kg/cm<sup>2</sup> の間で種々変化させ、水頭損失におよぼす影響を確かめる実験をしたが、この範囲では圧力による差異は殆んど見受けられなかったため、実験の容易さから、 $P_0=0.5$  kg/cm<sup>2</sup> 一定の場合についてデータを得た。

管路内気液二相流の水頭損失について

損失水頭値  $H$  は、空気注入部より1.8m下流に距離  $l=2$  m の区間を選び、この2点間の圧力差を水マンメータで読みとり、後述の算定式により求めた。

また、管路の一部を透明とし、管内気液の混合状態や流動模様の観察もしくは写真撮影が可能のようにした。

管内注入後の空気量  $Q_a$  は、注入前後で圧力が異なるため、膨張の度合を当然考慮しなければならないので、フローメータの空気量を  $Q_a'$ 、その時の空気圧力を  $P_a$  として、次式によりあらかじめ換算した量として吹き込んだ。

$$Q_a = \frac{1 + P_a}{1 + P_s} Q_a'$$

なお、管内流速と圧力の設定および調整は、ポンプ吐出口と水平管路両端部に設けたバルブの操作で行なった。

3 実験の結果と考察

水平直円管路内の気液二相流に対する管内摩擦損失水頭  $H$  におよぼす気体（空気）と液体（清水）との混合割合、すなわち、気水比  $r$  と管内流速  $v$  との影響を明確にするため、 $r$  と  $v$  とを種々変化させて実験し得られた結果をまとめると、図-2 に示すようになる。

ここに示された結果から、流速  $v$  の増大とともに損失水頭  $H$  は増加するが、その増加の度合は気水比  $r$  が大となるにしたがって減少する。

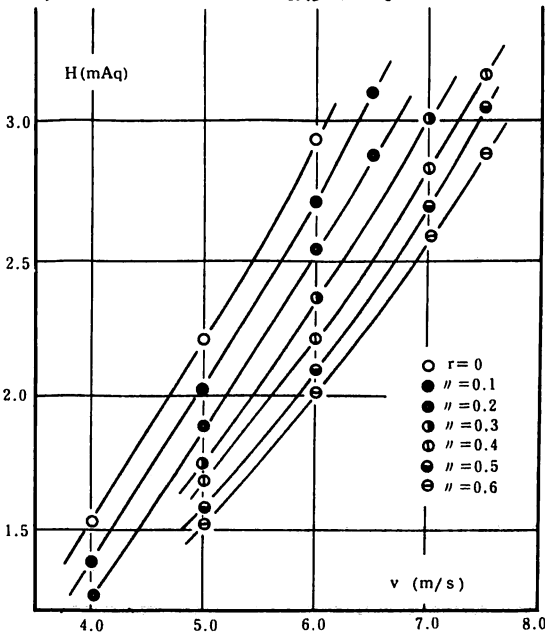


図-2

昭和54年2月

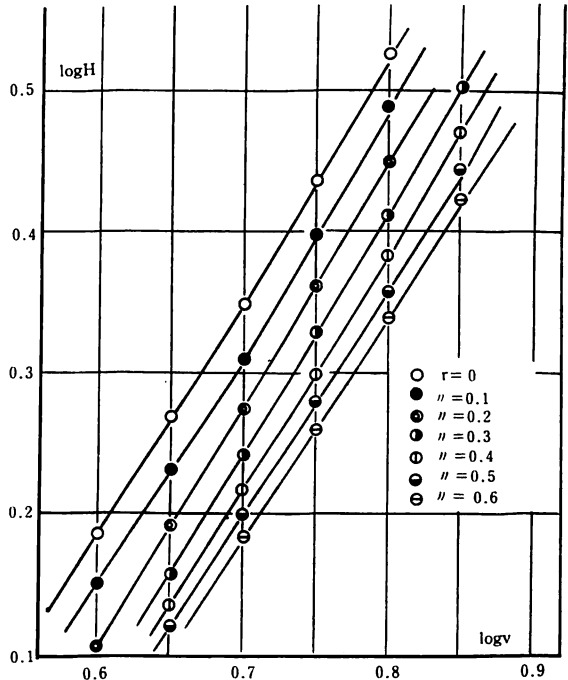


図-3

このことは、図-2 を両対数表示した図-3 によって、より明らかとなる。

すなわち、 $H$  は水の場合 ( $r=0$ ) と比べ、空気を混入した場合には、 $v$  および  $r$  の増大につれてきわめて単調な増加傾向を示しており、 $r$  の  $H$  に対する影響度合を定量的に関係づけることができれば、気液二相流の場合についても、水単相の場合に対して与えられているダルシー・ワイスバッハの次式の関係が適用できるものと考えられる。

$$H = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = \zeta \frac{v^n}{2g} \quad \text{--- (1)}$$

そこで図-3の結果から、それぞれの気水比  $r$  に対する(1)式の損失水頭係数  $\zeta$  と速度  $v$  の指数値  $n$  をまとめて示すと表-1 のようになる。

表 - 1

気水比 $r$	損失係数 $\zeta$	速度の指数 $n$
0	0.174	1.58
0.1	0.147	1.64
0.2	0.122	1.71
0.3	0.116	1.69
0.4	0.126	1.60
0.5	0.129	1.56
0.6	0.129	1.55

この表の結果から、 $r$  に対する  $v$  の指数値  $n$  は1.55~1.71の範囲にあるが、これは水の場合に対する(1)式の指数値が  $n=2$  であることは矛盾する

ものではない。

本実験に供した塩化ビニル管のように管内壁面が滑らかなものでは、多くの場合  $n=1.7\sim 2.0$  と与えられており、壁面粗度をもっとあらいとみられる亜鉛引き鋼管に対しても  $n=2.0$  とおいていることからして当然と考えられる。

つぎに、速度  $v$  の代りにレイノルズ数  $Re$  をとって示すと、図-4 のようになる。

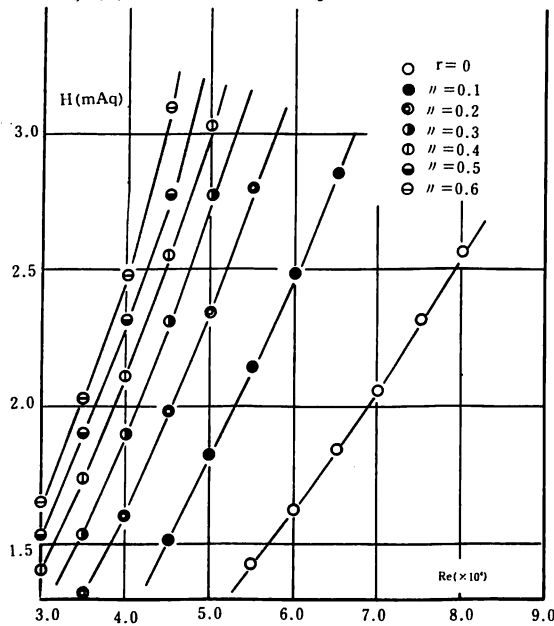


図-4

この結果から、 $Re$  数に対し  $r$  が増大するにつれて  $H$  は単調に増加しているが、同一管内流速でも  $r$  が増すにつれて  $Re$  数は小さな値となり、 $v$  を大きくしないと  $Re$  数は一定値とならない。

このことは、ある  $Re$  数に対しては、空気の混入割合が大きいくほど、二相流としての動粘性係数  $\nu$  が増加し、結局は  $v$  が増大するためである。

なお、 $Re$  数を求めるために用いた  $\nu$  の算出は次式によった。

$$\nu = f_g \nu_g + (1 - f_g) \nu_e \quad \text{--- (2)}$$

ここで、 $f_g$  はボイド率、 $\nu_g$ 、 $\nu_e$  はそれぞれ気体および液体の動粘性係数である。

損失水頭  $H$  を表わす前記(1)式において、本実験の結果をより実用的な扱いができるようにするため、便宜上それぞれの気水比  $r$  に対する流速  $v$  の指数値を  $n=2$  とした損失水頭係数  $\lambda$  を  $r$  と  $Re$  数との関係として表わしたのが図-5である。

これをさらに両対数表示すると図-6に示すようになる。

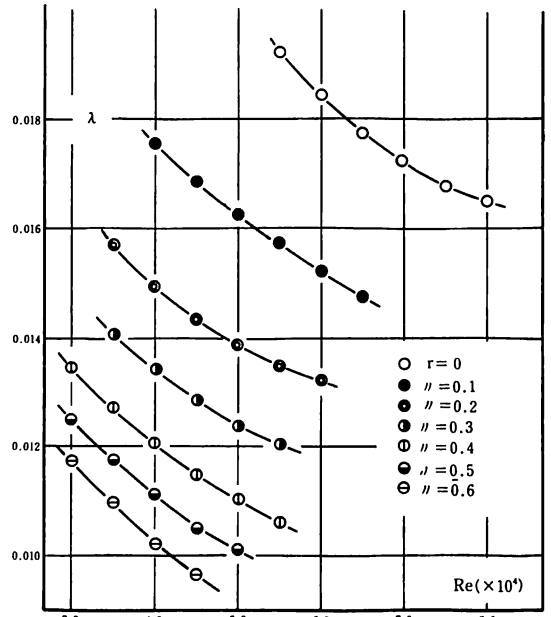


図-5

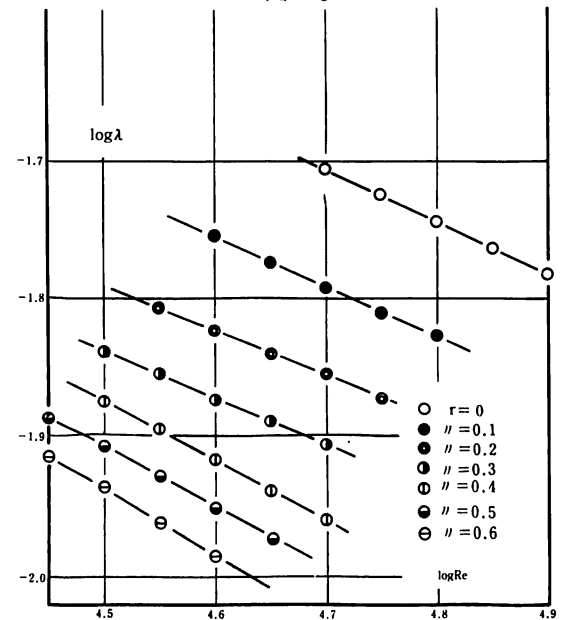


図-6

ここに示された結果から、 $\lambda$  と  $Re$  数との間には

$$\lambda = K Re^i \quad \text{--- (3)}$$

の関係が成り立つことが明らかであり、この式の係数  $K$  と指数  $i$  とを各気水比ごとに実験の結果から算出して表示したものが表-2である。

この表から、 $Re$  数の指数値  $i$  の範囲は  $-0.49\sim -0.31$  で、気水比  $r$  との関係は定かでないが、便宜的に水の場合に対する指数値  $i = -0.38$  とおいて、 $K$  と  $r$  との関係を図示したものが図-7であり、両者

管路内気液二相流の水頭損失について

表 - 2

気水比 r	式(3)の係数 k	指数値 i
0	1.20	-0.38
0.1	0.76	-0.36
0.2	0.39	-0.31
0.3	0.56	-0.49
0.4	0.26	-0.44
0.5	1.11	-0.44
0.6	0.59	-0.49

の関係を近似的に次式で表わすことができる。

$$K = \{0.38 + (r - 0.35)^2\} e^{-r+0.14} \quad \text{--- (4)}$$

この結果から損失水頭係数  $\lambda$  は

$$\lambda = \{[0.38 + (r - 0.35)^2] e^{-r+0.14}\} Re^{-0.38} \quad \text{--- (5)}$$

と表わされ、 $r$  を定量的に含んだ実験式で本実験の結果を近似的に示すことができる。

ところで、この式は、本実験の気水比の範囲では十分適用できるが、 $r$  が 0.6 以上の場合についてはその適合性が不明である。

そこで、気水比  $r$  の代りに気水率  $\alpha = Q_a / (Q_a + Q_w) = r / 1 + r$  として上式の係数  $K$  との関係をもとと図-8 に示すようになり、この結果は近似的に

$$\lambda = (1.2 - \sqrt{\alpha}) Re^{-0.38} \quad \text{--- (6)}$$

と表わすことができる。

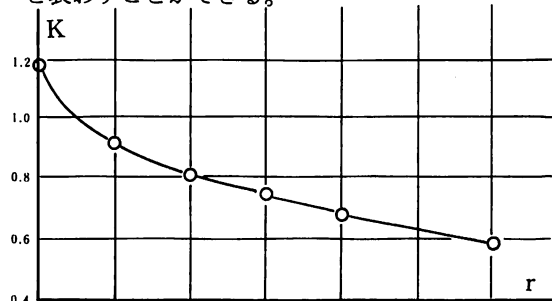


図-7

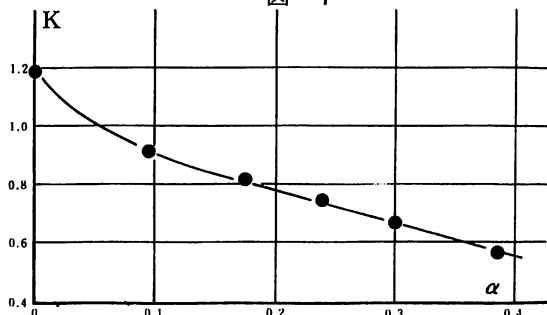


図-8

昭和 54 年 2 月

本実験のような、滑らかな内壁面を持つ水平直円管路内の気液二相流に対する損失水頭  $H$  は、前記ダルシー・ワイスパッハの水についての(1)式に、(6)式の  $\lambda$  値を代入することによって、近似的に求めることができる。

なお、管内気液の混合状態および流動の様相と損失水頭との間には密接な関係があり、この関連性を明らかにするため透明管部で観察、撮影して得られた結果と考察については、次報のコブつき管路系についての報告と合わせて行ないたいので省略する。

4 結 言

水平直円管路の場合について、気液混合二相流の管内摩擦損失水頭を気水比と流速および  $Re$  数との関連として明らかにすることを目的として実験し得られた結果から、主なものをまとめるとつぎのようになる。

- 1) 水の場合と同様、管内流速の増大につれ損失水頭は増加するが、気水比が増すとともにその増加の割合は減少する。
- 2) 一定の  $Re$  数のもとでは、気水比が大となるほど、損失水頭は増加するが、 $Re$  数が大きくなるにしたがって気水比の増大に対する増加の割合は大きく表われる。
- 3) 本実験の範囲では、管路内圧力の損失水頭におよぼす影響は殆んどない。
- 4) 水の場合に対し与えられているダルシー・ワイスパッハの損失水頭式を基礎として、気液二相流の場合についても気液の混合割合をパラメータとした損失水頭に対する実用式を導くことができた。

終りに、本実験を遂行するにあたり、終始協力の労を惜しまなかった当時学生の越高健、斉藤慶喜の両君に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 赤川浩爾「気液二相流」コロナ社
- 2) 古屋、村上、山田「流体工学」朝倉書店
- 3) Streeter, 「Handbook of Fluid Dynamics」McGRAW-HILL
- 4) 守屋、樋渡、渡辺 秋田高専紀要 7 (1972) 8
- 5) 福田、樋渡 同上 12 (1977) 15