

管路内気液二相流の水頭損失について (第6報)

——水平分岐管路系の場合——

福田 浩・樋渡 久孝

On the Head Loss of Two Phase Flow through a Pipe (6th Report) ——Case by the Horizontal Branch Pipe-line——

Hiroshi FUKUDA and Hisataka HIWATARI

(1994年8月16日受理)

Prediction of pressure drop in two phase gas-liquid flow is of great importance in many applications such as oil and gas pipe-lines, certain type of nuclear reactors, heat transmitters and many chemical process.

The aim of this paper is frictional coefficients determined from an experimental study of the flow of two phase air and water mixtures in a horizontal branch pipe-line.

Influence factors of this flow is velocity, air to water mixture ratio, branch angles, structure and size of pipe-line, etc.

Head loss of this pipe-line are by means of probes set in the flow.

The pressure drop coefficient value obtained through this study were computed by the same an experimental formula as a Darcy-Weisbach equation style.

1. 緒 言

気体と液体の混流する気液二相流の分岐配管系の流動は、小型の強制貫流ボイラ、化学プラント、熱交換装置および原子炉の冷却系などに広く見受けられ、工業上重要であるがその流動特性についての報告は水液単相の場合は数多くなされているものの、気液二相流に対しては分岐管路部における流動の複雑さと実験計測の困難さにより、いまだ十分に解明されていないようである。

このような見地から、本報告では分岐管路部に起因する圧力損失水頭値を明らかにするため、気体として空気、液体として清水を用いた気液二相流体を主管流れ方向に対して分岐部角度を等角配分とした水平設置の管路系に流動させて、その分岐角、流動速度および気液の混合割合を種々に変化させた一連の実験を行った。

得られた結果から、実験条件因子と分岐損失とを

含む実用性の高いDarcy-Weisbachの形の圧力損失水頭値を算定する実験式を求めることを目的とした。

2. 実験の装置と方法

図-1に実験装置の概略を示した。

供試分岐管は、市販の透明アクリル製でその内径 d は20.0 mm、肉厚は3 mmである。

図において、地下水槽よりポンプアップされた水は、水平に設置された分岐管路部前後に取り付けたバルブとポンプの回転数制御によってその量 Q_w を調整した。

混入空気は空気圧縮機によって蓄圧し、与えられた気液の混合割合に対応させ、その量 Q_a をフローメータを介して分岐部上流の主流管部より注入した。

管路内流速は、気体の合体、塊状分離流動を避け

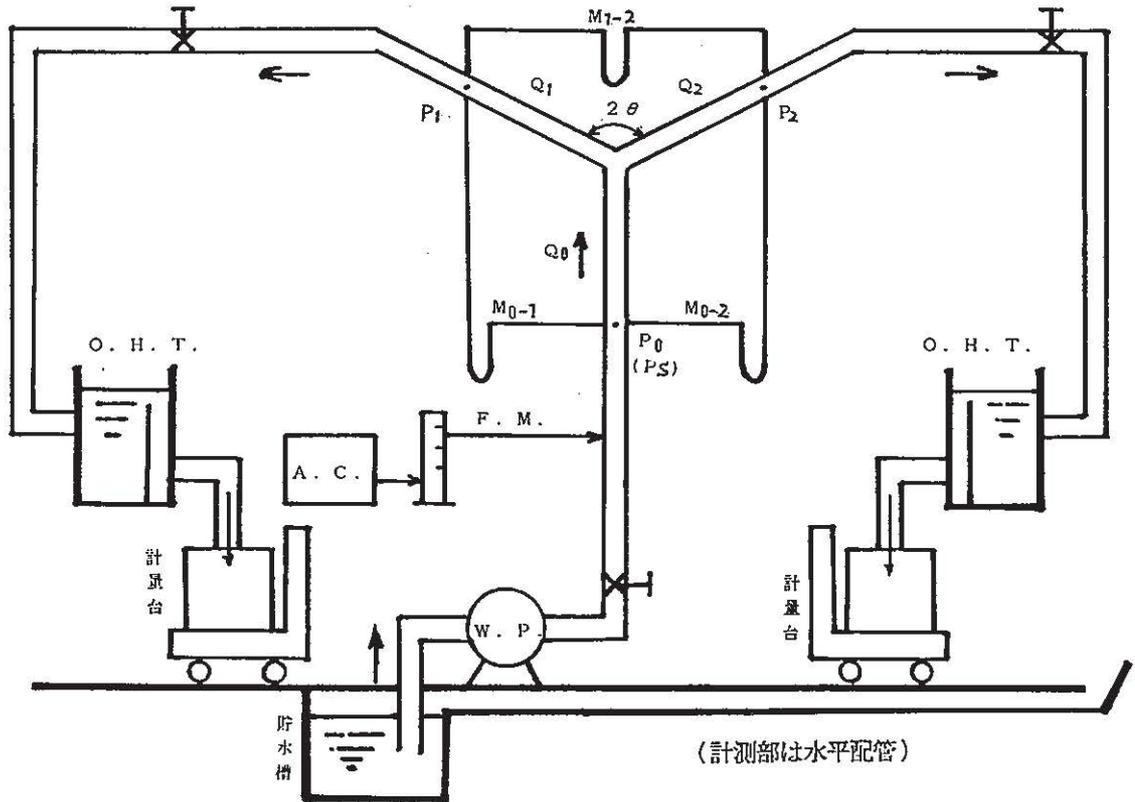


図-1

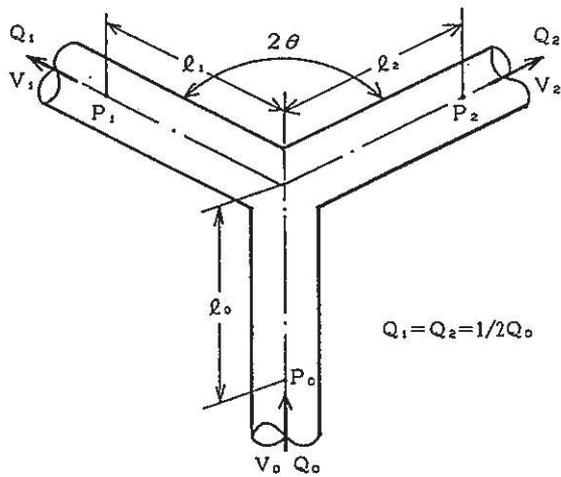


図-2

てほぼ均一な混合流となることを条件に、主流部流速 V_0 を $3.0 \sim 5.0 \text{ m/s}$ の間について 0.5 m/s とびに 5 段階とした。

水量 Q_w と空気量 Q_a との混合割合 Q_a/Q_w すなわち気液比 r は、気液の均等分散流動を考慮して空気なしの $r=0$ と $r=0.1, 0.3, 0.5$ を選んだ。

分岐角は、図-2 に示すように主流方向に対して等配分とし、分岐角 2θ として $60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 165^\circ, 180^\circ$ の 6 通りの分岐管を製作し実験した。

分岐管路への流量配分は、主流部流量 Q_0 に対し分岐後の管内流量をそれぞれ Q_1, Q_2 とし、 $Q_1 = Q_2 = 1/2 Q_0$ 、すなわち等量配分とした。

このことは、分岐後の二方向管内流速 V_1 と V_2 は主流速度の半分でそれぞれ等速となる。

この際分岐管路部における気液比 r は主流部のそれに等しいことを確かめた。

分岐部を含む圧力損失水頭値 h は、主流部の長さ l_0 と二分岐管の長さ l_1 と l_2 について、 $l_1 = l_2 = l_0$ として圧力測定区間を $l_0 + l_1$ ($l_0 + l_2$) $= 0.9 \text{ m}$ にとり、両区間の発生圧力損失水頭値をそれぞれ M_{0-1}, M_{0-2} として U 字管水銀マンオメータで計測し、水柱 m (mAq) として整理した。

なお、全実験を通じて、主流部での圧力取出し位置 P_0 部における静圧 P_s を 1 kg/cm^2 一定とした。

また、計測区間を透明管にすることによって、主として分岐部におけるフローパターンを肉眼観察および写真撮影により本実験条件によるその差異を明らかにし、圧力損失への影響を定性的に比較検討する資料として考察の一助とした。

3. 実験の結果と考察

3・1 圧力損失水頭

一連の実験結果の中から、気液比 r をパラメータとし、種々の分岐角 2θ の分岐管路系について分岐部上流の直管路主流速度 V_0 と分岐部前後の直管路部を含む圧損測定区間 ($l_0 + l_1 = 0.9 \text{ m}$) における圧力損失水頭 h は図-3 に示すようになる。

ここで、分岐角 $90^\circ, 150^\circ, 165^\circ$ の結果の表示は、図面が煩雑となるのでこれを除外して示した。

ここに示された結果から、圧力損失水頭 h は主流速度 V_0 の増加につれて増大し、気液比 r が大きくなるに伴って一様に増大する。

また、分岐角 2θ が大になるほど h の増加の割合が大きくなる。

本実験で得られた圧力損失水頭 h を表わすにあたっては、水単相の場合に対して与えられている周知の(1)式で示される Darcy-Weisbach の式の形をとることとした。

$$h = \lambda_0 \frac{l_0}{d} \frac{V_0^{1.75}}{2g} + \lambda_1 \frac{l_1}{d} \frac{V_1^{1.75}}{2g} + \zeta \frac{V_0^n}{2g} \dots\dots\dots(1)$$

式中の右辺第一項は、分岐部の上流直管路部 (長さ l_0 , 流速 V_0) における摩擦損失水頭値で、第二項

は分岐部下流直管路部 (長さ l_1 , 流速 V_1) のそれである。

ここで、 λ_0 と λ_1 は直管路部の摩擦損失係数で、本実験の範囲では(2)式で示されることが既に著者らのこれまでの実験で確かめられている。

$$\lambda_0 = \lambda_1 = 1.093(0.027 - 0.023r)V^{1.75} \dots\dots(2)$$

第三項は本実験の主眼としている分岐部に起因する圧力損失水頭値で、測定全区間の圧力損失水頭値 h から第一、第二項の直管路摩擦損失水頭を差し引いた次式

$$\Delta h = \zeta \frac{V_0^n}{2g} \dots\dots\dots(3)$$

として求めることができる。

ここで ζ は、分岐損失係数である。

3・2 分岐部圧力損失

分岐部で生ずる圧力損失水頭 Δh を上記(3)式で示すこととし、損失係数 ζ と主流速度 V_0 の指数値 n に気液比 r および分岐角 2θ の本実験の条件を含む関係数とするため、 Δh と V_0 を両対数として表示すると図-4 の1~3 のようになり、 Δh は気液比と分岐角の増加につれ、しかも主流速度の増大につれて一様に単調増加し、 Δh は流速 V_0 の n 乗に比例することがわかった。

主流速度の指数値 n をそれぞれの分岐角に対して気液比の関係として示すと図-5 のようになり、 n の値は同図中に記したように気液比 r の一次式、

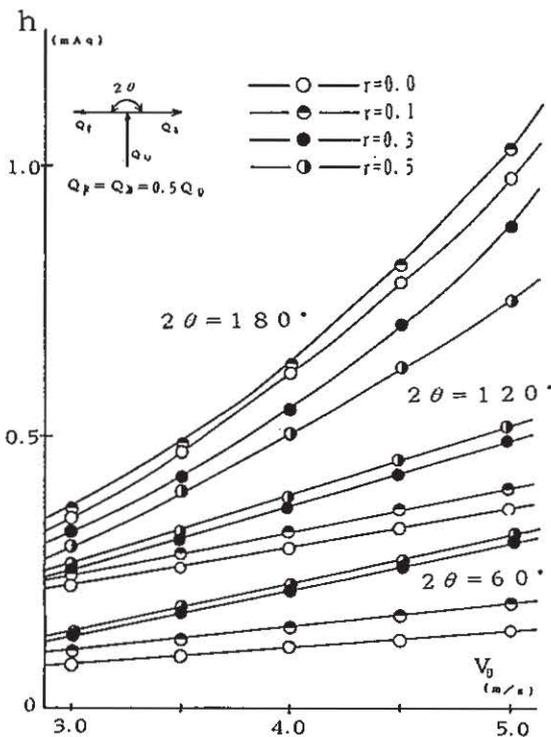


図-3

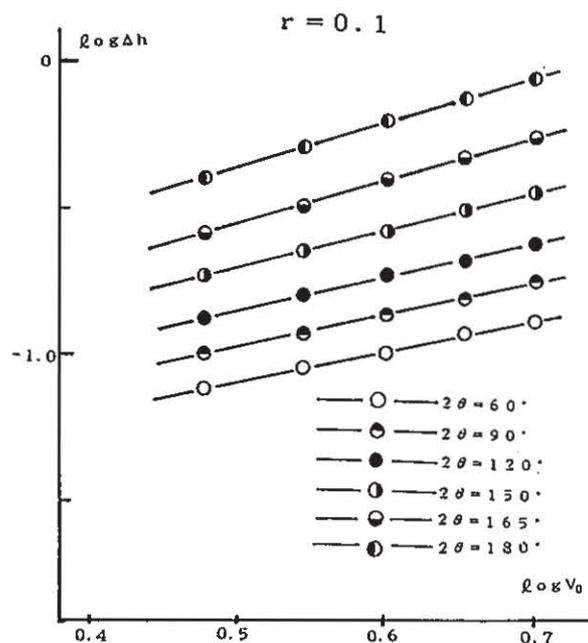


図4-1

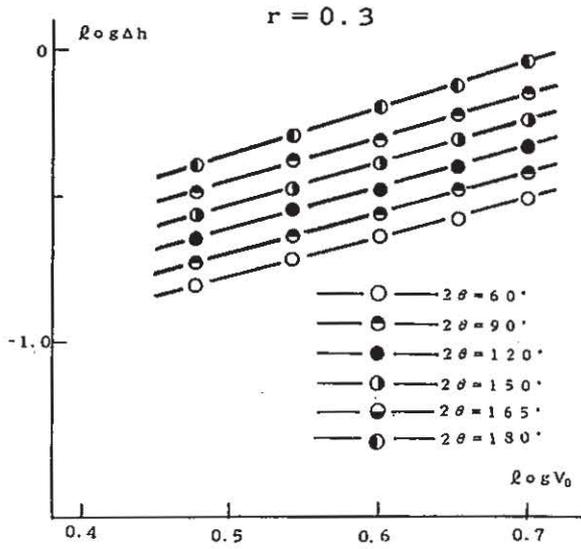


図 4-2

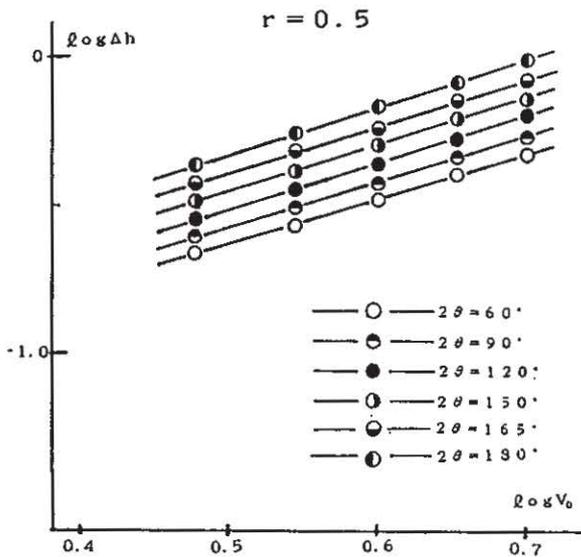


図 4-3

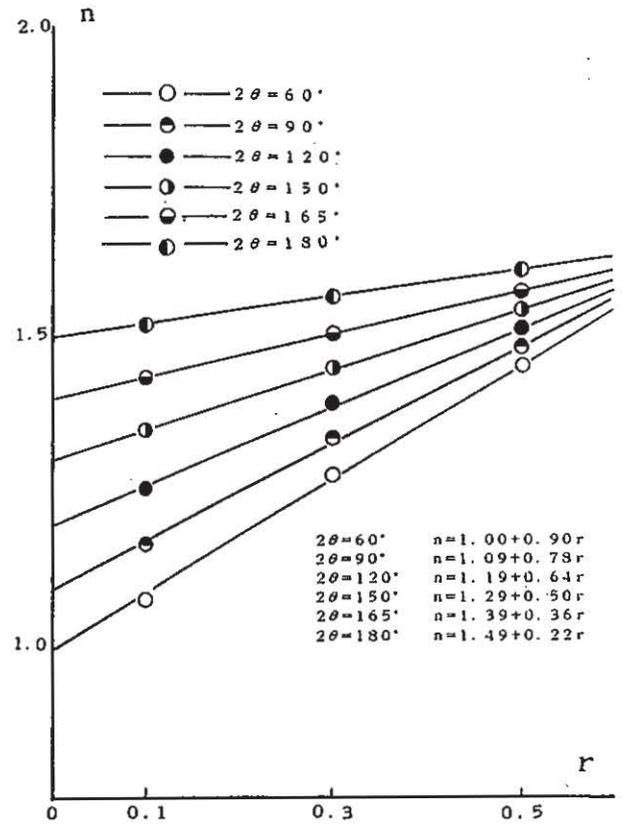


図-5

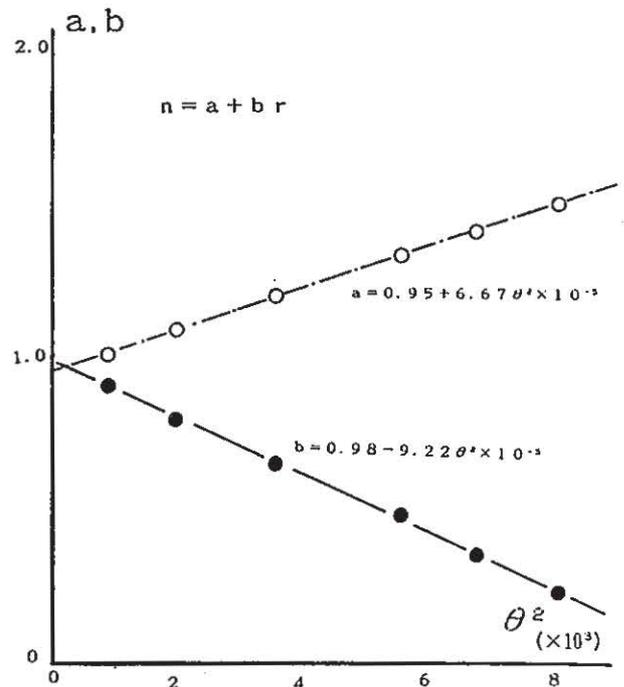


図-6

すなわち

$$n = a + b \cdot r \dots\dots\dots(4)$$

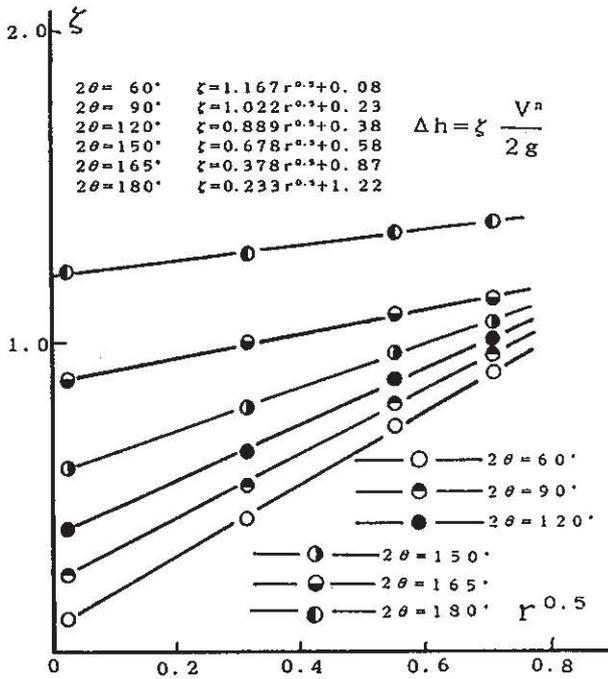
と表わされ、式中の a と b を分岐角との関係として示すと図-6 のように直線となって、主流速度 V_0 の指数値 n は

$$n = 0.95 + 6.67\theta^2 \times 10^{-5} + (0.98 - 9.22\theta^2 \times 10^{-5})r \dots\dots\dots(5)$$

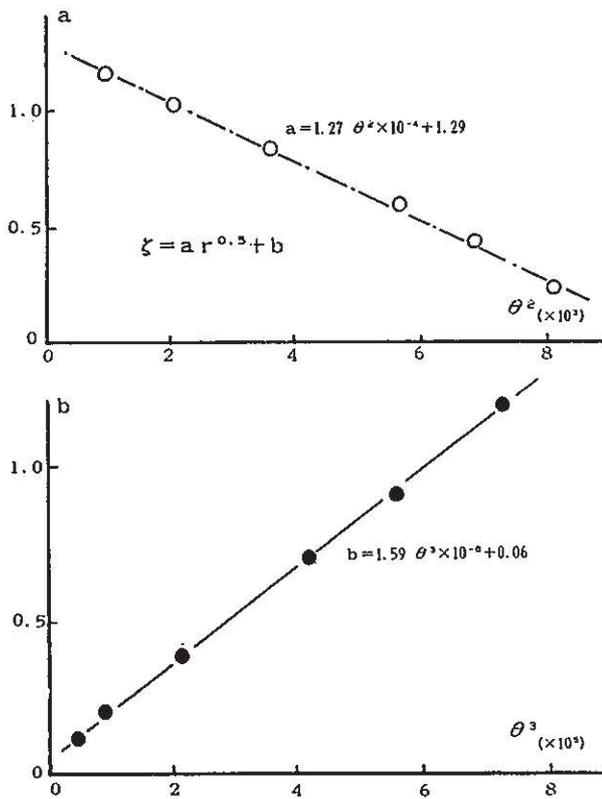
と表わすことができた。

つぎに、分岐損失係数 ζ を気液比 r と分岐角 2θ を含む係数値として表わすため、r に対して 2θ をパラメータとして示すと図-7 のようになって ζ は r の 1/2 乗に比例し、r の増加につれて単調に増大する。

管路内気液二相流の水頭損失について



図一七



図一八

また、同一気液比に対しては分岐角が大きくなるにつれて一様に増加している。

ここに示された結果から、供試各分岐角に対応する分岐損失係数 ζ は同図に記したように

$$\zeta = a \cdot r^{0.5} + b$$

の形で表わされ、式中の a と b の値は分岐角の関係として示すと図一八のようになり、結局分岐損失係数 ζ は

$$\zeta = (1.27\theta^2 \times 10^{-4} + 1.29)r^{0.5} + 1.59\theta^3 \times 10^{-9} + 0.06 \dots \dots \dots (6)$$

として気液比と分岐角を含む係数値として示すことができた。

以上のことから、分岐部を含む管路系の気液二相流の圧力損失水頭 h は、本実験の範囲においては式(2)~(6)で示される気液比 r と分岐角 2θ とを関係因子として取り入れた(1)式の Darcy-Weisbach の基本式の形態で表わすことができた。

3・3 分岐管路のフローパターン

混相流においては单相流に比べて管内のフローパターンは複雑で、本実験のような分岐管路系の場合には分岐部を中心とした前後の流動は、その形状・寸法により著しく変動し、これが管内圧力損失に大きな影響を与える。

本実験における分岐部近傍のフローパターンを肉眼観察および写真撮影により比較検討した結果、主流が分岐部に衝突することによって生ずる衝突渦が分岐部下流内側に、また分岐部外側に出来る剝離渦とが流動を複雑化している主要原因と考えられる。

一つに分岐角に対しては、流速、気液比が大きくなるにつれて流動状態が激しくなり、渦領域が増大する。

同一気液比、流速の下では分岐角の違いが渦の発生と領域の変動に大きな影響を与え、分岐角が大きくなる程前記二渦領域が拡大し、縮流部を形成する状態の流動となって圧力損失が大きくなるものと考察される。

4. 結 言

主流直管路に対して等分配角度をもたせた分岐管路系における気液二相流の管内圧力損失水頭を求め一連の実験を行なった。

とくに分岐部に起因する圧力損失に着目し、本実験の範囲で諸条件を加味した実用性の高いと云われている Darcy-Weisbach の式を基本形態とする実

験式を得ることができた。

また、管路内フローパターンが圧力損失値に大きく影響を与えることを明らかにした。

得られた結果の中から主なものを記すとつぎのようになる。

- 1) 本実験における圧力損失水頭は、分岐角に最も大きく影響され、流速および気液比の増加につれて圧損は増大する。
- 2) 分岐部のフローパターンを写直撮影および肉眼観察により比検検討し、圧損におよぼす影響の度合を明確にした。
- 3) 分岐部に起因する圧力損失水頭に着目し、定量的に把握するため分岐損失係数として実験諸条件を含む係数値として表わすことができた。終りに、本実験を行なうにあたり、終始協力の労

を惜しまなかった当時学生の小松専，細井秀樹，草薙美代子，吉田一の諸君に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本機械学会編，「気液二相流技術ハンドブック」，コロナ社，(1989)
- 2) 日本機械学会編，「管路ダクトの流体抵抗」，日本機械学会技術資料
- 3) 植田辰洋，「気液二相流」，養賢堂，(1981)
- 4) 青木成文，井上 晃，「管内二相流の圧力損失に関する基礎的研究」，日本機械学会論文集，Vol. 32, No. 238 (1966)
- 5) 嵩 哲夫，「気一水二相流の分岐特性」，日本機械学会論文集，Vol. 54, No. 508 (1988)