

# 管路内気液二相流の水頭損失について (第3報)

## —偏心こぶ部つき直管路の場合—

福田 浩・樋渡 久孝・佐々木 章

On the Head Loss of Two Phase Flow through a Pipe (3rd Report)  
—Case by the Straight Pipe with an Eccentric Swelling Part—

Hiroshi FUKUDA, Hisataka HIWATARI, Akira SASAKI  
(昭和57年10月30日受理)

### 1. 緒 言

著者らは、さきに、清水と空気の混合気液二相流の水平管路系について管摩擦損失水頭を求める実験を行ない、水平直管路については本研究紀要第14号(1979年)に、同心こぶ部つき管路については同第15号(1980年)にそれぞれ報告している。

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)を取りつけられている場合、現実にはかならずしも管路軸心に同心的に取りつけられているとは限らず、寸法形状の異なるこぶ部が偏心した状態で装着していると見られる場合の方がむしろ多いようである。

しかるに、このような場合についての管摩擦損失水頭に関する詳細な資料は身近に見受けられないようである。

このような見地から、本報告では水平に置かれた直管路の途中にその軸心に対してこぶ部を偏心させて取りつけた場合について、こぶ部の長さを種々に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、気液の混合割合、管内気液の流速およびこぶ部取り付け偏心方向などを取り上げ比較検討するとともに、実用的な損失水頭値を表わす実験式を求めることを目的としたものである。

### 2. 実験の装置と方法

図-1に実験装置の概略を示した。

本報告の実験装置と方法は、前報とほぼ同様なので、とくに相違する点についてのみ述べる。

直径 $d=20\text{mm}$ の塩化ビニル製の単一水平直管路の途中に、透明アクリル材で加工した直径 $D=120\text{mm}$ 一定で長さ $L=40, 80, 120\text{mm}$ の3種のこぶ部を直管路の軸心距離が $100\text{mm}$ と最大になるように段違い

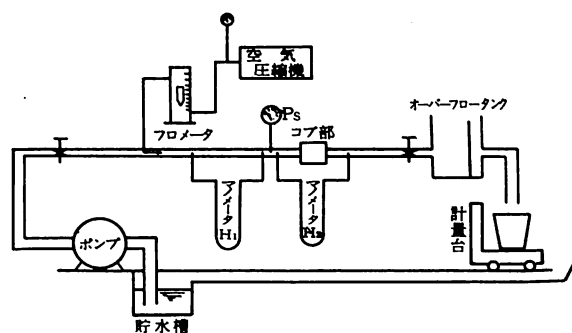


図 1

に取りつけた。

なお、こぶ部の取り付け偏心方位によってこぶ部内の気液の流動模様が異なり、損失水頭にも差違が表われたので軸心偏位が上向き、下向き、および水平の三種について実験した。

こぶ部の寸法および内部流動方向について図-2に示した。

気水比 $r$ は0から0.7まで0.1とびに、管内流速 $v$ は管路内圧力 $P_s=0.5\text{kg/cm}^2$ 一定のもとで $2.5\sim 4.5\text{m/s}$ の範囲について行なった。

### 3. 実験の結果と考察

こぶ部のつかない単純水平直円管路内の気液二相

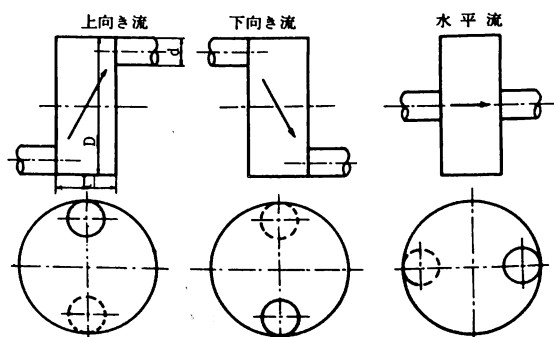


図 2

流に対する管摩擦損失水頭 $H_1$ を気水比 $r$ と流速 $v$ の関係として実験し、得られた結果を $r$ の偶数値を省略し両対数表示したものを図-3に示した。

この結果は前報と同様のもので、 $H_1$ は $v$ の増大とともに増加し、一定の $v$ については $r$ の増加につれて減少しており、全実験を通して一定とみなせるものである。

ここで直管路部の $H_1$ をダルシーの次式の形で示

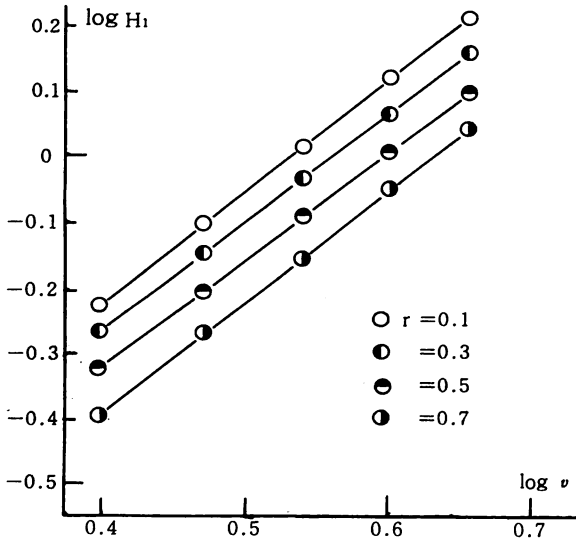


図 3

すこととする。

$$H_1 = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^n}{2g} \quad (1)$$

管摩擦損失係数 $\lambda$ は $v$ に無関係に一定となり、 $v$ の指数値 $n$ は1.73と求められた。

また、 $\lambda$ と $r$ とは直線関係となり

$$\lambda = 0.025 - 0.013 r \quad (2)$$

となった。

以上のことから $H_1$ は

$$H_1 = (0.025 - 0.013 r) \frac{l}{d} \frac{v^{1.73}}{2g} \quad (3)$$

と表わすことができる。

つぎに、こぶ部つき管路系の損失水頭 $H_2$ を流速 $v$ に対し気水比 $r$ をパラメータとして実験し得られた結果を両対数で示すと図-4と5のようになる。

図-4はこぶ部長さ $L=80\text{mm}$ 一定とし、 $H_2$ におよぼすこぶ部内の流れ方向の違いの相違を示したもので、下向き流が最も $H_2$ が大きく、水平流が最も小さくなり、上向き流はその中間となることが明らかとなった。

これらの示す傾向は、本実験では他の $L$ について

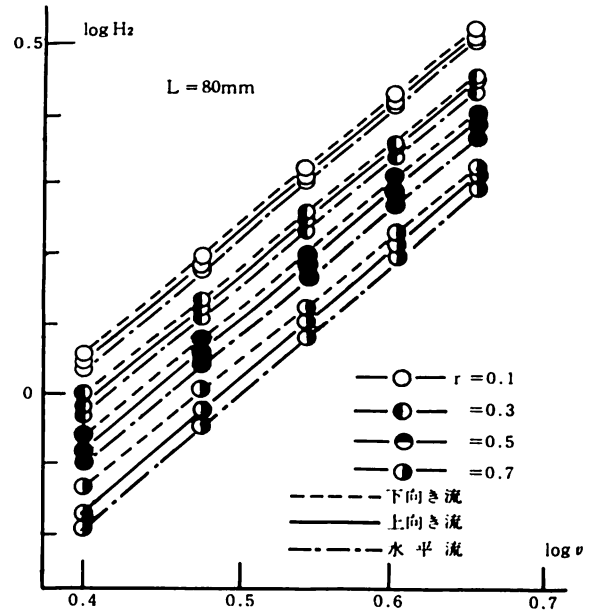


図 4

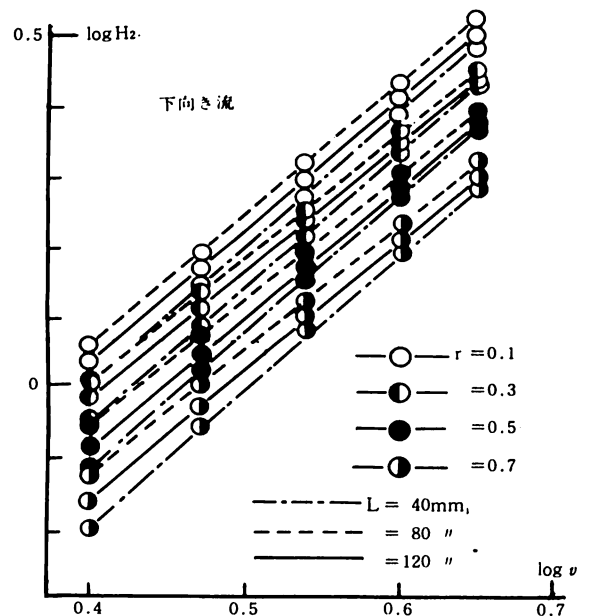


図 5

も同様となった。

図-5はこぶ部内の流れ方向を下向きに選んで $L$ の違いによる $H_2$ への影響を明らかにしたもので、 $L=80, 120, 40\text{mm}$ の順に減少している。

ここに示された $L$ の違いによる傾向は他のこぶ部内流れ方向においても変わらない。

以上示された結果から、こぶ部つき直管路系としての損失水頭 $H_2$ はつぎのように考えることができる。

すなわち、 $H_2$ は(3)式で示された直管路部の損失水頭 $H_1$ に設置されたこぶ部のみについての損失水

管路内気液二相流の水頭損失について(第3報)―偏心こぶ部つき直管路の場合―

頭  $\Delta H = \zeta \cdot v^2/2g$  を加えた次式の形で表わすことができる。

$$H_2 = H_1 + \Delta H \text{---(4)}$$

ここで、 $\Delta H$ に含まれる抵抗係数 $\zeta$ は、図-6に示されるように $v$ には無関係に一定となるので、こぶ部内の流れ方向におけるこぶ部長さのそれぞれについては気水比 $r$ の関係式として

$$\zeta = a + br \text{---(5)}$$

のように示される。

ここで(4)式中の $v$ の指数値 $i$ は全実験を通して1.75と近似的に表わすことができるから、結局こぶ部つき直管路系の水頭損失値は(4)式の形としてつぎのような実験式にまとめることができる。

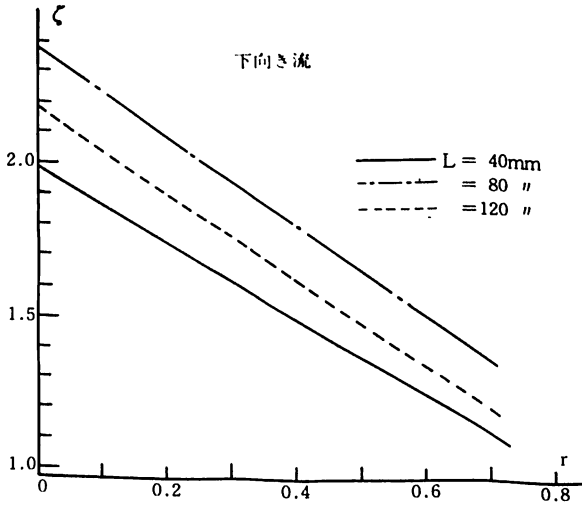


図 6

下向き流

$$\left. \begin{aligned} H_{L=40} &= H_1 + (0.020 - 0.013r) \frac{v^{1.75}}{2g} \\ H_{L=80} &= H_1 + (0.024 - 0.015r) \frac{v^{1.75}}{2g} \\ H_{L=120} &= H_1 + (0.022 - 0.014r) \frac{v^{1.75}}{2g} \end{aligned} \right\} (6)$$

上向き流

$$\left. \begin{aligned} H_{L=40} &= H_1 + (0.020 - 0.014r) \frac{v^{1.75}}{2g} \\ H_{L=80} &= H_1 + (0.023 - 0.015r) \frac{v^{1.75}}{2g} \\ H_{L=120} &= H_1 + (0.021 - 0.015r) \frac{v^{1.75}}{2g} \end{aligned} \right\} (7)$$

水平流

$$\left. \begin{aligned} H_{L=40} &= H_1 + (0.018 - 0.012r) \frac{v^{1.75}}{2g} \\ H_{L=80} &= H_1 + (0.022 - 0.024r) \frac{v^{1.75}}{2g} \end{aligned} \right\} (8)$$

$$H_{L=120} = H_1 + (0.020 - 0.015r) \frac{v^{1.75}}{2g}$$

以上に示された結果より、こぶ部の形状・寸法および流れの方向によってこぶ部内の流動模様が異なり、損失水頭は大きな影響を受けることが明らかである。

このことについては、前報においてこぶ部内の気液の流動模様を写真撮影した一連のものから  $H_2$  との関連を概述しているが、本報告でも写真-1にこぶ部長さ  $L=80\text{mm}$ 一定で内部流れ方向による違いを、また写真-2には下向き流の場合  $L$ による差異を示し、若干の考察を試みるとつぎのようになる。

- ① こぶ部寸法、流れ方向にかかわらず、流速 $v$ が小さく、気水比 $r$ の少ない場合は、流相はきわめて単純で $H_2$ の増大には大きく影響をおよぼさない。
- 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に入る気液流は噴射状の流れとなり、こぶ部下流側壁面と衝突し流相はきわめて複雑となる。
- ③  $r$ が大きい場合は $v$ が小さいとこぶ部内での気泡の合体が起り、上向き流れではこぶ上部に塊状となって滞在するようになる。  
 $v$ が増大するにつれて気泡の分離、拡散がおこってこぶ部全域で激しい流動を呈する。とくに下向き流で顕著となり $H_2$ に大きな影響を与える。
- ④ こぶ長さが小さいとこぶ部入口噴流の広がり分散が十分に発達せず下流面に衝突し巻き返す。長くなると噴流の広がり大きくなるが、衝突力は小さい。

本実験では $L=80\text{mm}$ が衝突力が大きく、とくに下向き流では他の場合に比べ一段と激しい流相を呈し $H_2$ におよぼす影響の大きいことが推察される。

以上のことから、こぶ部つき管路系の損失水頭 $H_2$ は摩擦損失のみならずこぶ部の寸法および流れの方向に起因する流相の変様による流体抵抗が大きく影響し、単一直管路系の場合と比較し無視できないことになる。

前報同様 $H_2$ を表わす上記諸式の間係をより実用的に扱うため、流速 $v$ の代りにレイノルズ数  $Re$ を用い、 $L=80\text{mm}$ を代表させて両対数表示したのが図-7である。

これより、こぶ部長さおよび流れ方位にかかわらず各気水比とも同じ傾きを持つ直線となることから

L = 40mm, D = 80mm 一定

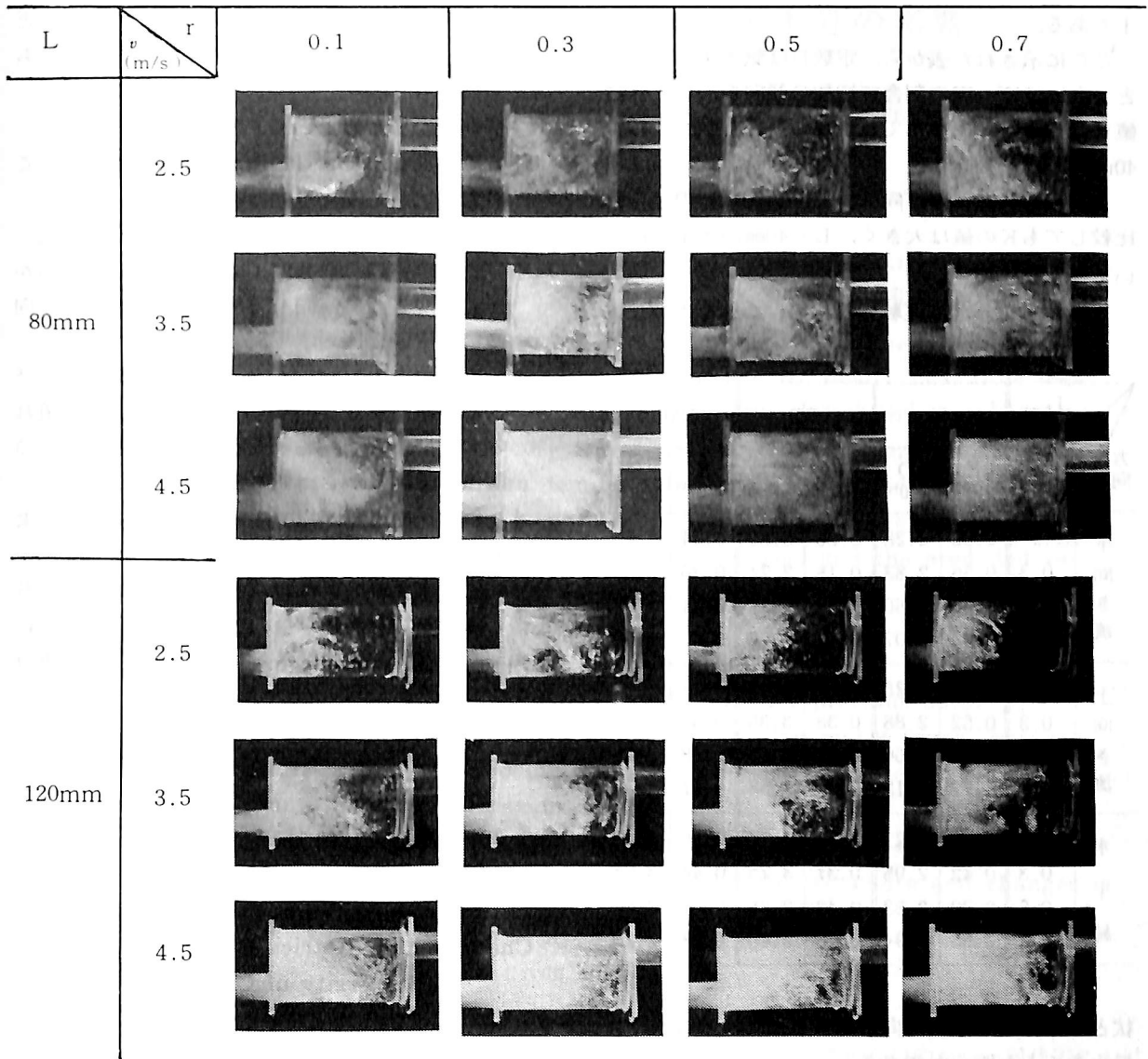
		$r$					
		$v$ (m/s)					
				0.1		0.3	
				0.5		0.7	
水 平 線	2.5						
	3.5						
	4.5						
	2.5						
	3.5						
	4.5						
上 向 き 流	2.5						
	3.5						
	4.5						
	2.5						
	3.5						
	4.5						
下 向 き 流	2.5						
	3.5						
	4.5						

(流れの方向 ←————)

写真 1

管路内気液二相流の水頭損失について(第3報)一偏心こぶ部つき直管路の場合一

D = 80mm 下向き流



(流れの方向 ←)

写真 2

H<sub>2</sub>とRe数の間には次式で示される関係が成り立つことがわかる。

$$H_2 = k \frac{v^i}{2g} \quad (9)$$

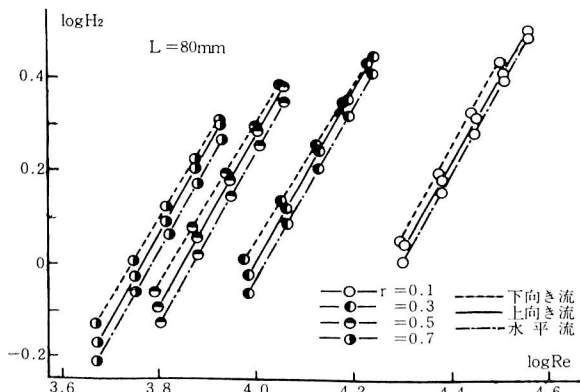


図 7

昭和58年 2月

ここでkを全抵抗係数として図示すると図-8に示すようになり、こぶ部長さおよび流れの方向によってkとRe数の関係式として次式が得られる。

$$k = K \cdot Re + D \quad (10)$$

上式の係数Kと定数Dをこぶ部長さと流れの方向

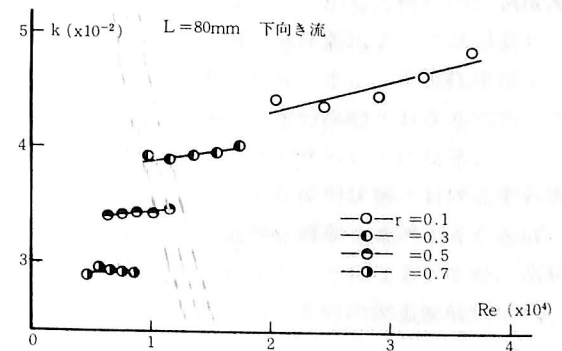


図 8

について本実験の結果から計算して求めたのが表-1である。

ここに示された表から、定数Dは気水比 $r$ の減少とともにほぼ一定の割合で増加の傾向を示し、係数値Kは $r$ の増加につれてこぶ部の長さLが80, 120, 40mmの順に増大する。

また、 $L=80$ mmの下向き流では、他のどの場合に比較してもKの値は大きく、 $L=40$ mmの水平流において最も小さい。

このことから、本実験の範囲ではこぶ部の寸法形

方向	L <sub>mm</sub> r	40		80		120	
		K ( $\times 10^{-6}$ )	D ( $\times 10^{-2}$ )	K ( $\times 10^{-6}$ )	D ( $\times 10^{-2}$ )	K ( $\times 10^{-6}$ )	D ( $\times 10^{-2}$ )
下 向 き 流	0.1	0.32	3.28	0.25	3.80	0.34	3.46
	0.3	0.56	2.83	0.15	3.74	0.30	3.39
	0.5	0.66	2.60	0.12	3.33	0.44	2.87
	0.7	0.92	2.07	0.04	2.90	0.40	2.48
上 向 き 流	0.1	0.30	3.25	0.19	3.92	0.23	3.60
	0.3	0.52	2.88	0.38	3.35	0.33	3.22
	0.5	0.53	2.60	0.31	3.05	0.38	2.85
	0.7	0.77	2.12	0.22	2.58	0.47	2.35
水 平 線	0.1	0.28	3.27	0.21	3.77	0.30	3.42
	0.3	0.42	2.95	0.37	3.25	0.44	3.05
	0.5	0.79	2.33	0.43	2.85	0.57	2.60
	0.7	0.93	1.94	0.48	2.46	0.58	2.20

表-1

状とこぶ部内の流れ方向が損失水頭に微妙な影響を与えることが明らかである。

#### 4. 結 言

著者らは管路系の気液二相流による損失水頭を求める実験を行ない先に報告しているが、本報告は前報に引き続き同一実験手段で直円管途中にこぶ部を

偏心的に取りつけた場合の影響を明らかにするとともに、実用的な損失水頭を求める実験式を得ることを目的として得られた結果の主なものを記述したものである。

主な結果をまとめるとつぎのようになる。

1) こぶ部長さにより内部流れの模様が変化しこれに対応して損失水頭は影響を受ける。

本実験では $L=80, 120, 40$ mmの順に減少する。

2) こぶ部内の流れ方向により損失水頭は明らかに差異が表われ、同一寸法こぶにおいては下向き流、上向き流、水平流の順に小さくなる。

3) こぶ部内のフローパターンを写真撮影および肉眼観察することにより、こぶ部の寸法、流れの方向による差異を明らかとし、水頭損失との関係を概略ながら得ることができた。

4) 気水比を含んだ損失水頭および損失係数を求める実験式を作ることができた。

終りに、本実験を行なうにあたり、終始協力の労を惜しかなかった当時学生の金晃成、佐藤勝儀、石黒忠利、民谷朗、鷹嘴龍一、渡辺孝の諸君に感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 赤川浩爾, 「気液二相流」コロナ社 (1980)
- 2) J.Weisman, A.Husain, B.Harshe. 「Two-Phase Pressure Drop Across Abrupt Area Changes and Restrictions」  
University of Cincinnati (1979)
- 3) Gad.Hetsroni. 「Handbook of Multiphase Systems」  
McGRAW-HILLBOOK COMPANY (1982)
- 4) 植田辰洋 「気液二相流」養賢堂 (1981)
- 5) A.E.Bergles, S.Ishigai. 「Two-Phase Flow Dynamics」 McGRAW-HILLBOOK COMPANY (1979).