

側壁付着形純流体素子内の流れに関する実験的研究*

故上岡 豊**・上野 五郎**・門脇 重道**・大江 清登***

An Experimental Study on a Flow in Wall Attachment Fluidic Devices

The late Yutaka UEOKA, Gorō UENO, Shigemichi KADOWAKI and Kiyoto OOE

Abstract

Many theoretical and experimental studies on attached flow in fluidic logic elements have been made, but these are described of simple model without splitter.

In fact, however, it is necessary to know the characteristics of internal flow of elements with splitter, so we have tried an experimental study by large scale model with splitter.

In this study, maximum pressure point is determined from static pressure distribution on side wall and attached point length is measured.

The visualization of internal flow is accomplished by photograph using piece of synthetic resin.

1. 緒言

近年、開発・研究が著しく進められている純流体素子は流体の流れの相互作用によって流体を制御するもので、その耐環境性、耐放射能性などの特徴をいかして、電機制御機器と組合せたり、単独制御機器としても多く使用されるようになってきた。

この純流体素子の中で最も多く使用されるものとして側壁付着形論理素子があげられるが、コアンダ効果という流体力学的な興味ある現象から比較的多くの研究がなされている。

従来の研究としては、単純化したモデルによる研究として C.Bourque & B.G.Newman¹⁾, R.A.Sawyer²⁾, その他^{3)~5)}があげられる。また実際の素子に近い形での、すなわちスプリッタのある場合の研究としては、堀越・岡本⁶⁾, 和田・清水⁷⁾, その他⁸⁾によって行なわれているものの、スプリッタの影響を受ける範囲の決定等でおわっているようである。そこで筆者らは、スプリッタのある場合の素子の、特にスプリッタ距離の影響を主として知るため拡大モデルを用いて実験を行った。

2. 実験方法および実験装置

作動流体としては水を用い、側壁傾斜角度およびスプリッタ距離を可変にし、またサブマージ状態に保つためにモデル素子は水槽に沈めて実験を行った。

また素子内の流れを可視化する目的でポリエチレン粒子の注入を行いカメラ撮影もあわせて行った。素子および実験装置を Fig. 1, Fig. 2 に示す。

Nozzle width (B) 12mm Splitter distance (H) variable
Off set (D) 24mm Side wall angle (α) variable

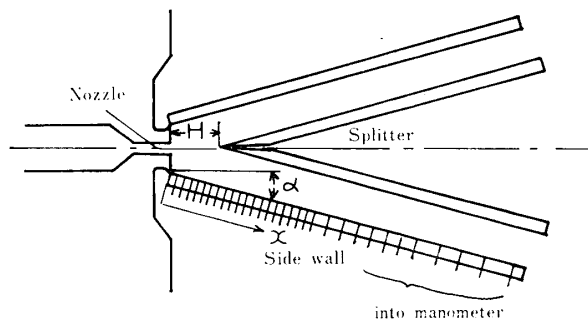


Fig. 1 Element

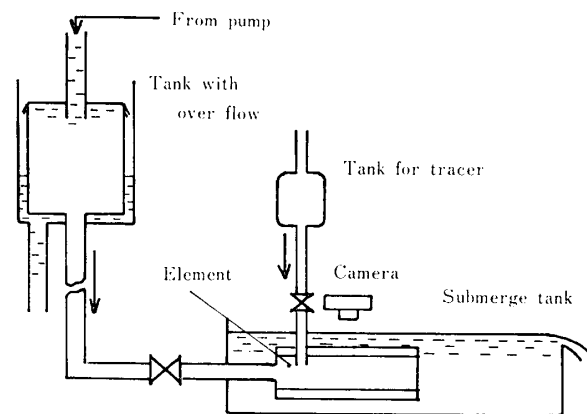


Fig. 2 Experimental arrangement

* 昭和46年12月日3日本機械学会北陸信越支部福井地方講演会において講演

** 機械工学科

*** 三菱重工業K.K.

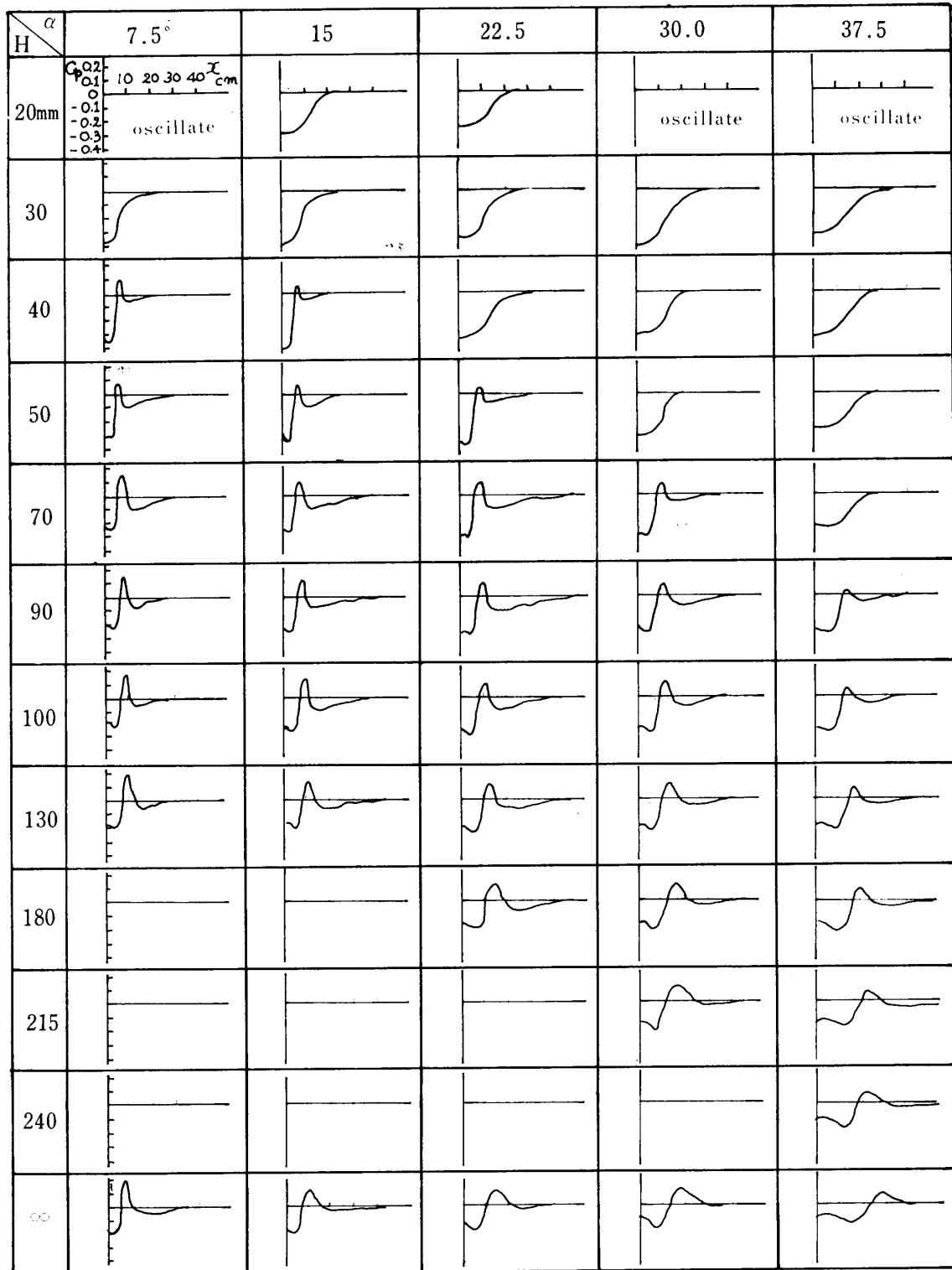


Fig. 3 Pressure distribution on side wall

Fig. 1 のモデル素子の上下面は透明板で覆われており、またノズル部のアスペクト比は5である。実験では側壁傾斜角度 α は $0^\circ \sim 37.5^\circ$ 、スプリッタ距離 H は $20\text{mm} \sim \infty$ に変化させた。幾何形状の変化と同時に素子内の流れの状態に変化を与えると考えられるレイノルズ数も、ノズル出口の平均速度を変化させることによって $8 \times 10^3 \sim 24 \times 10^3$ の各々の状態で測定した。側壁圧力は側壁にあけた 1ϕ の静圧測定孔を水柱マンメータに接続して測定を行い、付着点距離は測長器にとりつけた 1.5ϕ のパイプの先に絹糸をつけ、それを出力ダクトから側壁に沿って挿入し、糸のふれの中立位置から求めた。カメラ撮影に用いたポリエチレン粒子は直径 3mm 、比重 0.963 のものである。

3. 実験結果および考察

3.1 使用記号

- B : ノズル幅
- D : オフセット量
- α : 側壁傾斜角度
- H : スプリッタ距離
- C_p : 側壁圧力係数 $C_p = (P - P_\infty) / (P_s - P_\infty)$
- P : 側壁圧力
- P_s : ノズル出口総圧

- P_∞ : サブマージ静水圧
- Re : ノズル出口におけるレイノルズ数
- x_R : 側壁最大圧力距離
- x_{RO} : 付着点距離
- ξ : $(x_R/B)\sin\alpha$ あるいは $(x_{RO}/B)\sin\alpha$
- η : $(x_R/B)\cos\alpha$ あるいは $(x_{RO}/B)\cos\alpha$

3.2 側壁圧力分布とトレーサー撮影

形状を変化させた場合の、すなわち H と α を変化させた時の側壁圧力分布を Fig. 3 に示す。ただし側壁圧力は C_p で無次元化してあり、レイノルズ数 20×10^3 の場合をあらわしてある。また各々のトレーサー撮影の結果の一例を Fig. 4 に示す。

側壁圧力分布と写真撮影の二つの結果から、スプリッタのある場合の素子内の流れは以下の四つの状態に区別することができる。スプリッタ距離を $H=0$ から順次増して行くと (1) 噴流がスプリッタで二つの流れにわけられて両方のダクトから流れる場合。(2) 次に噴流が振動をはじめて両ダクトより、交互に流れる場合 (Fig. 3 で oscillate と表示) (3) さらに H を増すと噴流がスプリッタ壁に沿って安定に流れる場合 (Fig. 3 では C_p が負の値のみをとるものがこれにあたる) (4) さらに H を増すと噴流はスプリッタ壁をはなれて側壁

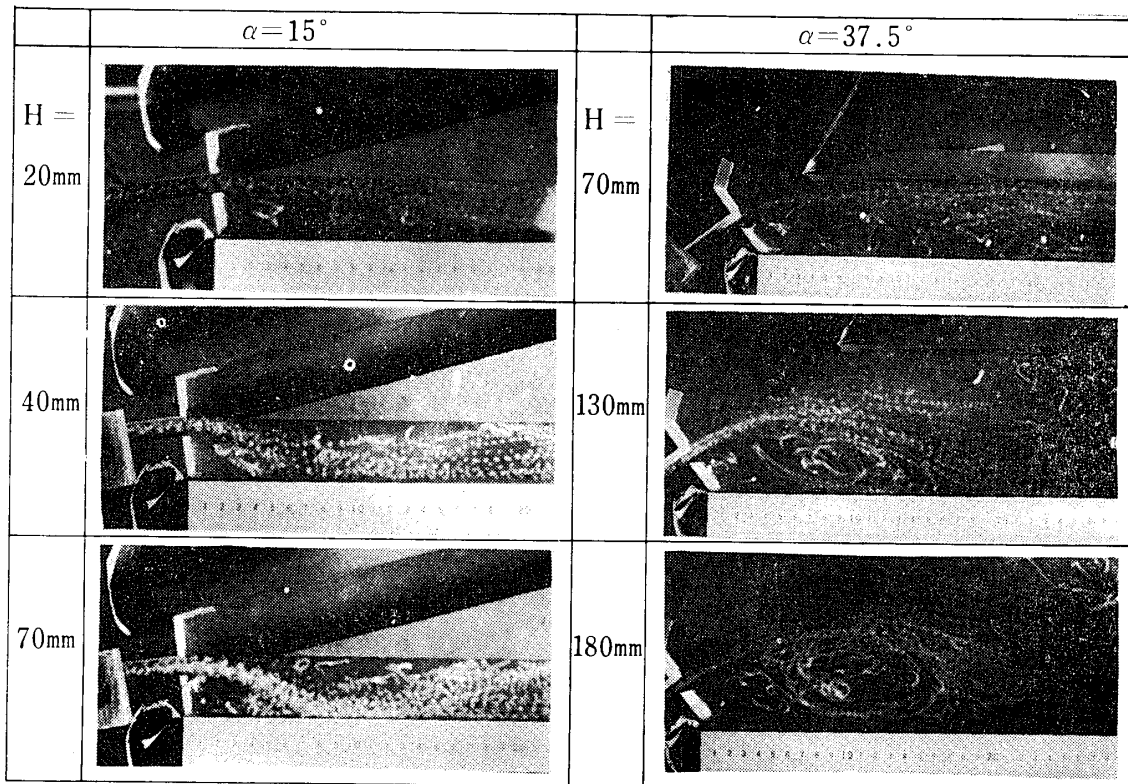


Fig. 4 Photograph of internal flow by tracer

に衝突し、低圧渦部を形成し安定した流れを保つ場合の4つの状態に区別される。(1)(2)(3)の場合を側壁非付着領域と呼び(4)の場合を側壁付着領域と呼ぶことにする。実際に素子として用いられるのは側壁付着領域である。

またトレーサー撮影によると、低圧渦部の渦中心は渦部形状中心より付着点に寄った方にあることがわかる。ダクトよりトレーサーを注入すると、付着側スプリッタ壁先端近傍に一種の巻きこみ渦が生じていることも観察された。その他Hが小さい時には噴流がスプリッタのため急激に曲げられ、側壁との衝突まで直線に近い形で流れることも観察された。

3.3 レイノルズ数による変化

形状を固定し、ノズル出口の流速の変化による側壁圧力分布、 x_R , x_{RO} の変化をみると実験レイノルズ数 ($8 \times 10^3 \sim 24 \times 10^3$) の範囲では側壁圧力分布、 x_R , x_{RO} ともほぼ同一値をとる。一例を Fig. 5 に示す。これはそのレイノルズ数の範囲では、噴流の遠心力と圧力差による力のバランスが保たれており、流れのパターンが同一となることを意味する。そこで以後各形状における x_R , x_{RO} は各レイノルズ数における測定値の平均をとって示す。

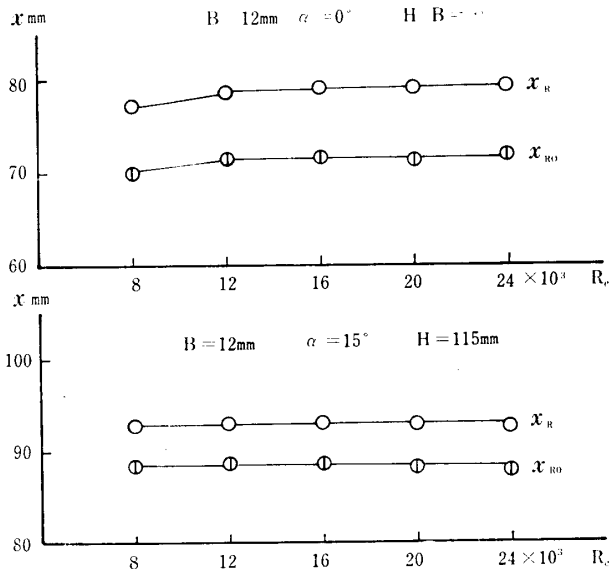


Fig. 5 x_R , x_{RO} variation with Re

x_R ; maximum pressure point on side wall
 x_{RO} ; attached point

3.4 スプリッタ距離と側壁最大圧力距離、付着点距離との関係

側壁傾斜角を一定に保ち、スプリッタ距離を変化さ

せた時、 x_R , x_{RO} は Fig. 6, Fig. 7 のように変化する。図でわかるようにH/B と x_R/B , x_{RO}/B が各々比例関係にある領域がある。そこで今これを線形領域と呼び、その一次の比例式を

$$x_R/B = a + b(H/B) \quad (1)$$

$$x_{RO}/B = a_0 + b_0(H/B) \quad (2)$$

とおき、最小自乗法で各係数を求めると Table 1 のようになった。これらの各係数はレイノルズ数、オフセット量、側壁傾斜角、側壁長さなどの関数と思われる。またこの線形領域よりHが増加すると、比例関係からはずれた遷移領域をへて、Hの変化のいかに

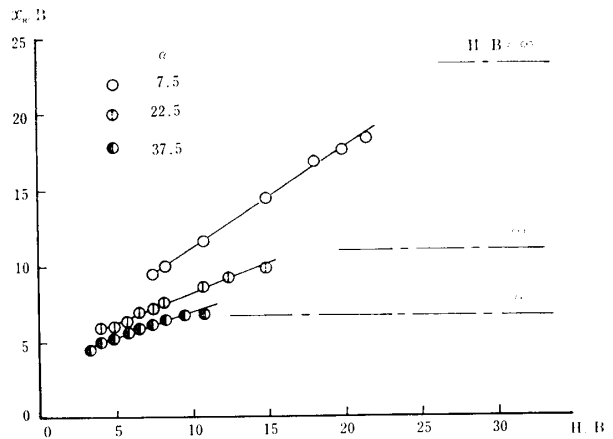


Fig. 6 Relation between x_R/B and H/B

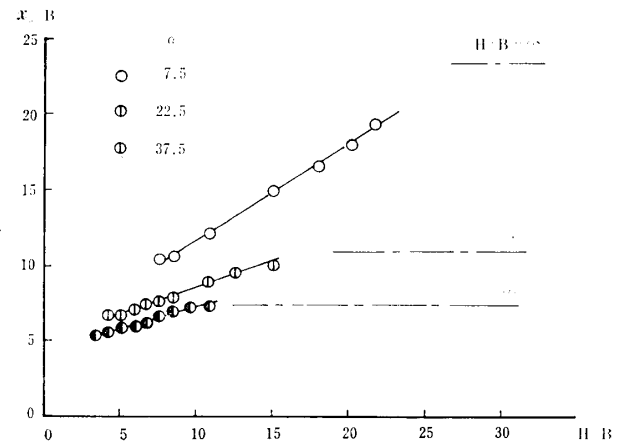


Fig. 7 Relation between x_{RO}/B and H/B

Table 1 Coefficient of formula (1), (2)

		α^0				
		7.5	15.0	22.5	30.0	37.5
x_R/B	a	4.05	3.72	4.82	4.89	4.85
	b	0.336	0.426	0.372	0.481	0.678
x_{RO}/B	a_0	3.31	3.45	3.88	4.07	4.35
	b_0	0.336	0.406	0.422	0.497	0.664

かかわらず x_R , x_{R0} が一定値をとる一定領域(図における一点鎖線)になる。

3・5 付着点距離と側壁最大圧力距離

Fig. 6 と Fig. 7 の比較からも明らかなように x_R と x_{R0} は H に対して同じような傾向をもっている。そこで x_R と x_{R0} の関係を Fig. 8 のようにあらわしてみると、両者に一次の比例関係が成立つことがわかる。図より最小自乗法でその関係を求めると

$$x_{R0}/B = x_R/B - 0.719$$

なる式が求まる。これは形状の変化にかかわらず付着点と側壁最大圧力位置との距離が一定値をとることを示している。

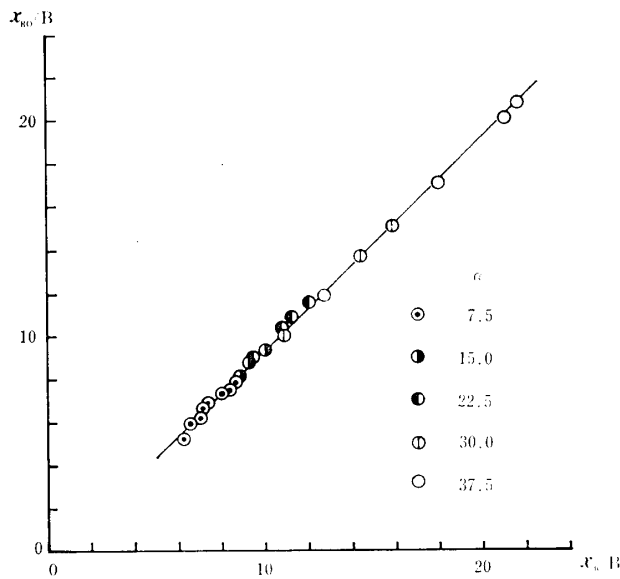


Fig. 8 Relation between x_{R0} and x_R

3・6 付着点距離と側壁傾斜角度

α による x_R の変化を H をパラメータとして Fig. 9 に示す。またオフセットと側壁の交点を原点とし、オフセット方向を ξ 軸とした無次元直角座標であらわすと Fig. 10 のようになり、 H/B が大きい場合はそれぞれ一本の直線にのっているとみることができる。S. G. Levin & F. M. Manion のスプリッタのない場合の実験値についても ξ , η を用いてあらわすと Fig. 11 のようになり、ほぼ直線にのっていることが確かめられる。

今 $H/B = \infty$ の場合の実験式を

$$\eta = c\xi + d \tag{3}$$

とおいて ξ , η をかきかえると、

$$x_R/B = d / (\cos\alpha - c \sin\alpha) \tag{4}$$

なる関係を得る。同様に x_{R0} についても

$$x_{R0}/B = d_0 / (\cos\alpha - c_0 \sin\alpha) \tag{5}$$

を得る。ここで最小自乗法により定数を求めると Table 2 のようになる。この定数はレイノルズ数, オフセット量, 側壁長さの関数になると考えられる。

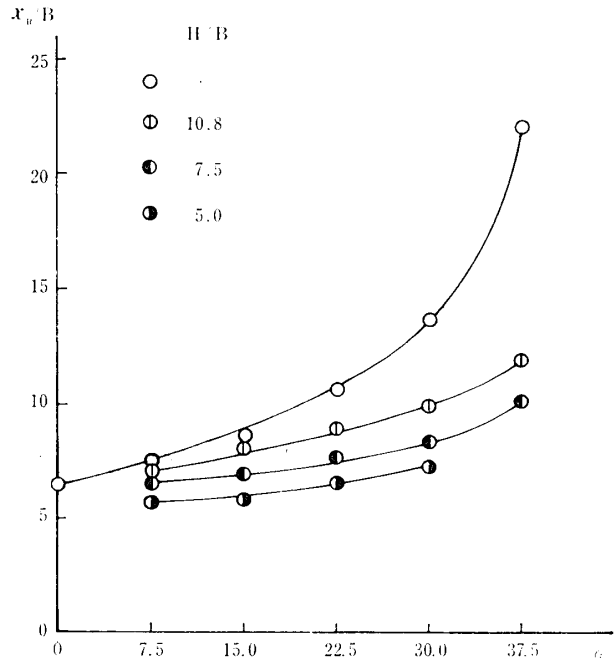


Fig. 9 x_R/B variation with α and H/B

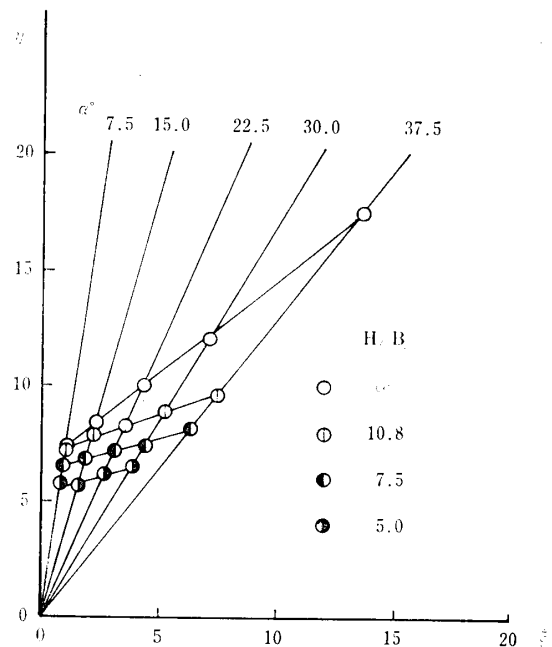


Fig. 10 Relation between x_R/B and α

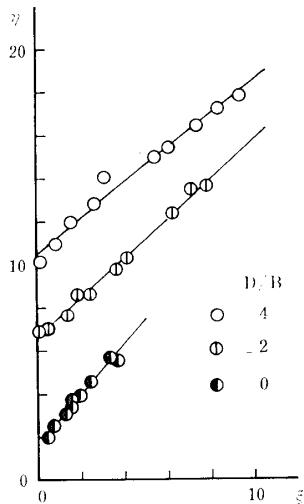


Fig. 11 Relation between x_R/B and α by S.G. Levin & F.M. Manion

Table 2 Coefficient of formula (4), (5)

		Author	Levin & Manion
x_R/B	c	0.861	
	d	6.05	
x_{RO}/B	c_0	0.759	0.917
	d_0	6.31	6.64

4. 結 論

1. 形状を固定しノズル出口速度を変化させた場合、実験レイノルズ数の範囲内 ($8 \times 10^3 \sim 24 \times 10^3$) では側壁圧力係数 C_D により整理した側壁圧力は一本の曲線にのり、 x_R , x_{RO} はほとんど変化がない。
2. x_R と x_{RO} の間には次の関係がある。
$$x_{RO}/B = x_R/B - 0.719$$
3. 側壁傾斜角を固定しスプリッタ距離を変化させた時、素子内部の流れは四つの状態に区別されるが、大きく分けると側壁非付着領域と側壁付着領域にわかれる。側壁付着領域はまた、線形領域、遷移領域、一定領域の三領域にわかれる。
4. 線形領域では付着距離 x_{RO} とスプリッタ距離 H との間に

$$x_{RO}/B = a_0 + b_0(H/B)$$

の関係があり、定数は側壁傾斜角、オフセット量、レイノルズ数、側壁長さなどの関数と思われる。

側壁最大圧力距離についても同様である。

5. スプリッタのない場合 ($H = \infty$) に、 x_{RO} と α の間には

$$x_{RO}/B = d_0 / (\cos \alpha - c_0 \sin \alpha)$$

の関係があり、定数は、オフセット量、レイノルズ数、側壁長さの関数と思われる。

側壁最大圧力距離についても同様である。

6. 写真撮影によると

- 1) バブル部渦中心は渦形状の中心よりも付着点に寄ったところにある。
- 2) 線形領域で付着側スプリッタ先端付近に一種の巻きこみ渦が生じる。
- 3) 線形領域では噴流がスプリッタにより急激に曲げられて、側壁との衝突まで曲率半径の大きい流れとなり、一本の円弧で近似できない軌跡を示した。

終りに本研究は昭和45, 46年度の卒業研究として、河村義雄, 原文夫, 三島康一, 藪内信一郎, 村岡恒生, 片山邦信, 太田善博, 小谷邦宏の諸君の手で実験が行なわれたものであることを記して、感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) C. Bourque & B. G. Newman: Aeron Quarterly, 11, 201 (1960)
- 2) S.G. Levin & F. M. Manion: H. D. L., TR-1087, 20 (1962)
- 3) N. C. Sher: ASME, Paper 64-FE-19, 8 (1964)
- 4) 和田力, 清水顕: 第3回純流体素子シンポジウム資料 (1962) P.36
- 5) 木村誠, 光岡豊一: 第3回純流体素子シンポジウム資料 (1968) P.49
- 6) 堀越長次, 岡本哲史: 日本機械学会論文集, 36, 1898 (1970)
- 7) 和田力, 清水顕: 第4回純流体素子シンポジウム資料 (1969) P.7
- 8) 例えば原田正一, 尾崎省太郎: 流子工学, 養賢堂 (1969) P.361

(昭和47年9月15日受理)