

# 側壁付着形純流体素子内の流れに関する実験的研究

(第2報 速度分布および圧力分布)

上野 五郎\*・門脇 重道\*・大江 清登\*\*

An Experimental Study on a Flow in Wall Attachment Fluidic Devices

(2nd Report. Distributions of Velocity and Pressure)

Gorō UENO, Shigemichi KADOWAKI and Kiyoto OOE

## Abstract

In addition to so-called low pressure bubble, the vortex is observed at the active duct side of the splitter, as a result of measurement of velocity and pressure distributions in wall attachment fluidic devices. This vortex is due to the slow flow coming from inactive duct, which is separate at the top of sharp splitter. A large pressure gradient is observed around the vortex and the low pressure bubble. The form of center line of jet is modified by this vortex.

The existence of the vortex by the side of splitter is of no advantage to wall attachment fluidic device, so it is perhaps more advantageous to use blunt splitter instead of sharp splitter.

## 1. 緒 言

側壁付着形純流体素子内の流れについて、速度分布および圧力分布の観察を通じて得られた知見を報告する。

前報<sup>1)</sup>と同様に、スプリッタのある場合の側壁付着領域の流れについてのものが主である。実用の素子では必ずスプリッタがあるにもかかわらず、この種の実験報告はほとんどなされていないが、制御素子としての挙動の解析ならびに素子の改良のためには欠くべからざるものはずである。それが今までなされていなかったのは主として速度分布測定 of 技術的問題、特にそれが極めて多くの時間を要したからではないかと思われる。筆者らは円筒ピトー管の操作を改良することにより、この問題を多少解決したものである。

使用した実験用素子は前報と同じもので、ノズル幅  $B=12\text{mm}$ 、オフセット比  $D/B=2$ 、アスペクト比  $=5$  であり、スプリッタ距離  $H$  および側壁傾斜角  $\alpha$  は任意に設定できる。上板の静圧測定孔は円筒ピトー管挿入にも用いる。また作動流体は水を使用した。

## 2. 速 度 分 布

自作した単孔式円筒ピトー管 (管径  $1.5\phi$ 、測定孔  $0.3\phi$ ) を上板の穴から素子内に挿入し、低い一定角速度で回転させつつ角変位と指示圧力を記録させることにより、上下板の中間位置における流速の大きさと方向を測定した。その場合の操作方法等詳細については別報<sup>2)</sup>で報告するが、一般に円筒ピトー管による静圧の測定は誤差を伴いやすく、さらに素子内部の流れには後述のように流れに垂直な圧力勾配もあるので誤差を助長する。これを避けるために静圧の値は上板の壁面上におけるものを用いた。従って速度の精度が極めてよいとは言いがたいが、定性的には十分であると思われる。

測定された速度ベクトルの分布の数例を Fig. 1, 2 に示す。素子の形状は中心線に対し対称であるが、最初の図以外は非付着側の側壁を省いた。またノズル出口から  $160\text{mm}$  以上離れた部分も省略した。これらの速度分布図はポリエチレン粒トレーサによる流れの写真と対応するものであるが、写真は前報に掲載したので再掲しない。

\* 機械工学科

\*\* 三菱重工業 (株)

スプリッタのない場合 (Fig. 1 (a)) には、ノズルから出た噴流はコアンダ効果により付着側壁の側にいわゆる低圧渦部を形成しながら、側壁に衝突した後それに沿いつつ拡散しつつ流出する。噴流の非付着の側はほとんど制限を受けないので全面から巻き込みが見ら

れる。

スプリッタのある場合 (Fig. 1 (b)~(d), 2) には素子の内部が互いに鋭角をなしかつ有限幅の2個のダクトに分割される、という幾何学的条件が存在する。従って流れは、低圧渦部を生じ側壁に衝突した噴流が側

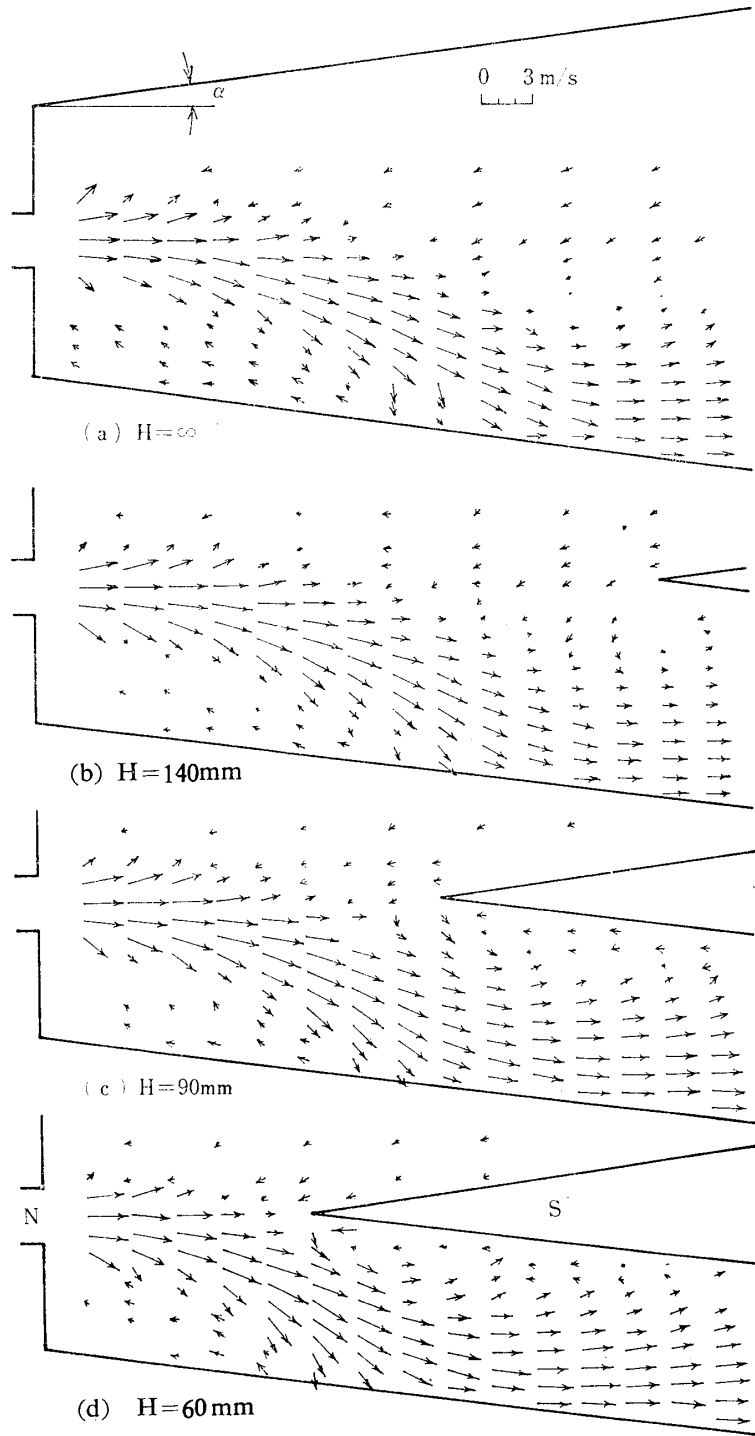


Fig. 1 Velocity distributions  
 $\alpha = 7.5^\circ$   $Re = 24,000$   
 N : Nozzle, S : Splitter

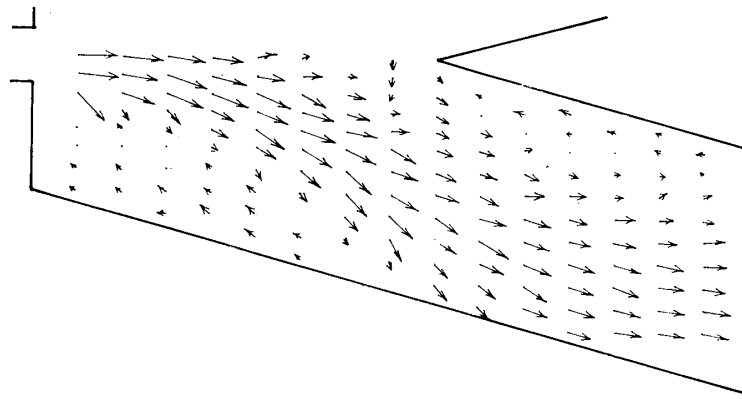


Fig. 2 Velocity distribution  
 $\alpha=15^\circ$ ,  $H=90\text{mm}$ ,  $Re=24,000$

壁に沿って流出するという、スプリッタなしの場合と同様の現象に加えて、つぎのようなことが観察される。すなわち、流出は付着側ダクトのみから起り、噴流は下流ではダクトの全幅に拡散する。先端付近のスプリッタ壁に接して渦部（スプリッタ側渦部と呼ぶことにする）が発生する。また巻き込みに要する流量は非付着側ダクトを経て供給される。等々の現象である。

なおスプリッタをさらにノズルに近づけた場合、例えば  $\alpha=7.5^\circ$  で  $H=20\text{mm}$  では、スプリッタ壁に沿う流れが観察されるが、この流れの型は本稿では論じない。

### 3. 圧力分布

上板における圧力分布を Fig. 3, 4 に示す。等圧線の数値の単位は mmAq である。また圧力の最高・最

低い点をそれぞれ +・×印で表わし、傍にその値を表示した。

強い低圧域が低圧渦部に、またそれよりやや弱い低圧域がスプリッタ側渦部に形成され、速度分布とよく対応する。最大圧大点の近くには高圧域ができるがこれは付着点に対応する。

興味深いのは両渦部周辺に生ずる強い圧力勾配であり、これは流れの彎曲と密接に関係する。

なお速度分布 Fig. 1, 2 ではノズル出口における噴流速度は示されていないが、別の機会に観測したところでは、一様速度にはならず、付着側壁に近い端の速度が大きく反対の端で小さいという速度勾配を有している。一方圧力勾配はその逆であるから、圧力水頭の差が速度水頭の差に転化したと考えてよい。しかし噴流の端は速度の減衰が著しいから、Fig. 1, 2 ではこの速度差はも早明瞭ではない。

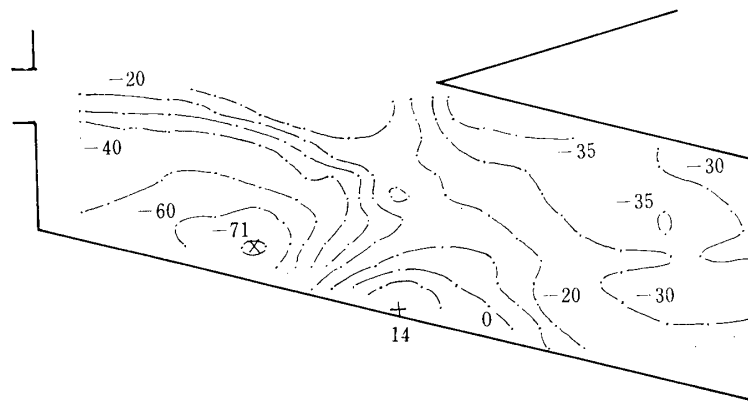


Fig. 3 Pressure distribution  
 $\alpha=15^\circ$ ,  $H=90\text{mm}$ ,  $Re=24,000$   
 unite : mmAq

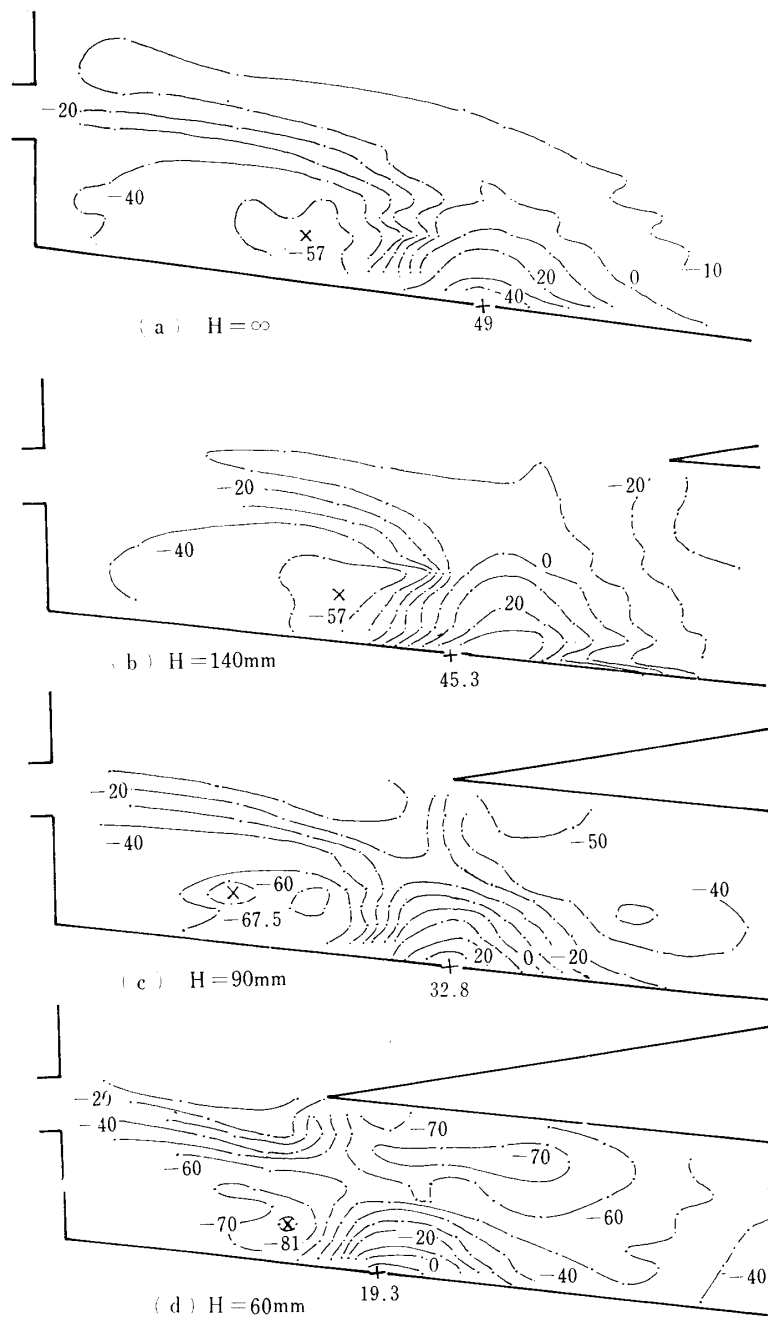


Fig. 4 Pressure distributions  
 $\alpha=7.5^\circ$ ,  $Re=24,000$   
 unite : mmAq

4. 渦 部

4.1 低 圧 渦 部

Fig. 1~4に見られるように、低圧渦部はオフセット壁を底辺とし、付着側壁および噴流付着流線を他の2辺とする三角形形状をしており、その高さはスプリッタ距離  $H$  および側壁傾斜角  $\alpha$  の減少と共に低くなる。これは前報における付着点距離の減少に対応する

ものである。また同時に最低圧力の値も低下する。低圧渦部のうち、オフセット壁に近い部分は速度も非常に小さくまた圧力変化も少ないよどみ域となり、そのため最低圧力は渦部の幾何学的中心より下流の点に現われる。

渦部周辺の強い圧力勾配は、その圧力差と噴流の遠心力が平衡を保つことにより、噴流の彎曲ひいては付着を維持すると考えられる。

検査面モデル<sup>3)</sup>の考え方は、噴流を噴流中心線で代表させ、低圧渦部圧力  $P_B$  および非付着側圧力  $P_\infty$  をそれぞれ一様であると仮定して

$$P_\infty - P_B = J/R$$

$J$  : 噴流の運動量

$R$  : 噴流中心線の曲率半径

という平衡の式を与える。

しかし実際には噴流には幅があり、低圧渦部の内部も一様な圧力ではない。従って上式の  $P_\infty - P_B$  の値としては強い圧力勾配部分の全圧力差を考えればよい。また噴流の基部近くでは隣接する低圧渦部はよどみ域になっているから  $P_B$  はよどみ域の圧力であると見ることが出来る。

例えば  $\alpha = 7.5^\circ$ ,  $H = \infty$  のときの実測値から噴流速度  $235 \text{ cm/s}$ ,  $R = 15.6 \text{ cm}$  が得られるので、 $P_\infty = 0$  とし上式より、 $P_B$  を計算すれば  $-43.3 \text{ mmAq}$  となる。Fig. 4 (a) と比較すればこれはよどみ域の圧力をほぼ表わしていると言てよからう。

#### 4・2 スプリッタ側渦部

スプリッタ側渦部の発生はスプリッタの影響を示す最も特長な現象である。このことはスプリッタ距離  $H$  が大きいときには速度分布よりも、圧力分布によく表われ、例えば Fig. 1 (a) と (b) の間の目立たない差異に比して、Fig. 4 (a) と (b) の間ではスプリッタ先端に渦の存在を示す圧力勾配が生ずることによって差が顕著である。

Fig. 5 はノズル上流部のほか、非付着側のダクト中にもポリエチレン粒のトレーサーを注入し、ストロボ光源のもとで撮影したものであるが、巻き込み流の剝離によってスプリッタ側渦部が発生することが明瞭に示されている。

Fig. 1 ~ 4 のスプリッタ先端付近の現象は次のように説明できる。

非付着側ダクトを経て供給される巻き込み流量の一

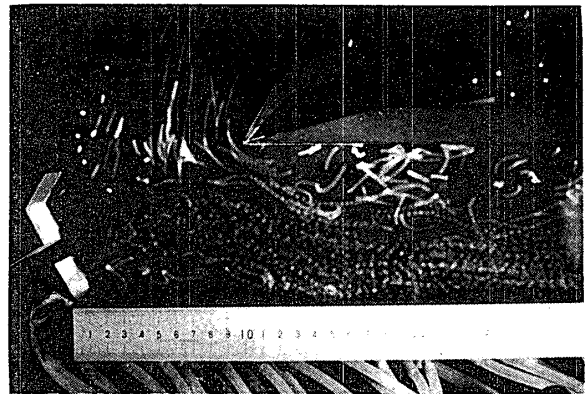


Fig. 5 Photograph of internal flow by tracer

部は、スプリッタ先端を回ってそれより下流の噴流の拡散に参与する。この曲る流れの幅（スプリッタ先端よりノズル方向への幅および付着側壁方向への幅）は、 $H$  および  $\alpha$  の減少と共に狭くなり流速を大にする。また  $\alpha$  の減少は  $2\alpha$  がスプリッタ角度であるから流れの曲率を大にする。これらはいずれも曲る流れの遠心力を大にし、それに釣合う圧力差をも大にすることになる。従ってスプリッタ先端付近に現われる圧力勾配は  $H$  および  $\alpha$  の小さい程強く、スプリッタ側渦部の最低圧力も同時に低下する。

この渦部の最低圧力が低圧渦部のそれよりもやや高いのは、スプリッタの側では外部からの巻き込み流量の供給があるのに対し、側壁の側では皆無であるためである。

また渦部の範囲は  $H$  および  $\alpha$  の増加と共に広くなり、スプリッタ先端より上流にまでおよぶ。

#### 5. 噴流中心線

噴流の各断面における速度最大の点を連ねて得られる曲線は、噴流中心線と概ね一致すると見なしてよい。これを  $\alpha = 7.5^\circ$  の場合について  $H$  の変化に対応させて表わしたものが Fig. 6 である。

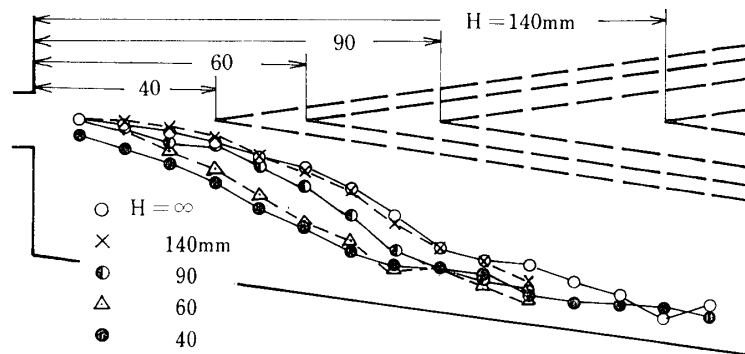


Fig. 6 Center lines of jet

スプリッタのない場合は噴流中心線（噴流が側壁に衝突するよりやや上流までについて）は1円弧で近似することができ、円弧はオフセット壁に垂直となる。これは噴流を中心線で代表させてその形状を理論解析する前記検査面モデルの、円弧近似の仮定を裏付けるものといえる。

スプリッタを装着すると、その先端を迂回する巻き込み流の運動量変化による力は噴流を側壁の側に押しつけ、またスプリッタ側渦部は噴流の側壁の側への曲がりを緩和するように作用する。これらはスプリッタ距離  $H$  が大なるときは噴流の比較的下流域に作用するため影響が顕著でないが、 $H$  が小になるにつれ比較的上流域にまで作用が及び、噴流中心線は少くとも2円弧で近似せねばならず、 $H=40\text{mm}$  の場合では強い押しつけのため直線での近似が適当なほどになる。同時に  $H$  が小さくなるにしたがい、噴流中心線はオフセット壁に垂直ではなくなる。

## 6. プラント・スプリッタの提案

低圧渦部は、その範囲および渦の強さとしてどの程度が最も望ましいか、そのための側壁形状はどうあるべきかという議論の余地はあっても、側壁付着現象を素子作用の基本とする以上渦部そのものの存在は不可欠のものである。

これに比較して、スプリッタ側渦部の存在はエネルギー損失の面からも付着を妨害する作用の面からも望ましいものではない。

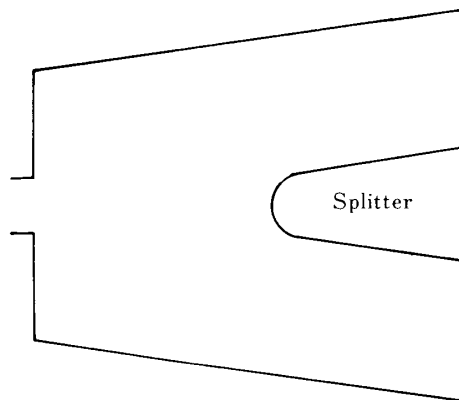


Fig. 7 Blunt Splitter

そこで筆者らはFig. 7のごとく先端に相当大きい  $R$  をつけたいわばプラント・スプリッタを提案する。シ

ャープ・スプリッタに比し同一ダクト幅でスプリッタ距離が長い場合、迂回する巻き込み流量が少くすみ速度も遅くなる。先端が鋭くないから剝離も生じ難い。 $R$  の大きさを適切にとれば恐らくスプリッタ側渦部の発生は防止され、効率の面でも耐高負荷性の面でも性能の向上が望まれよう。今後実験的に確かめたい。

## 7. 結 言

速度分布、圧力分布の観測を通じて次のことがわかった。

(1) スプリッタのない場合噴流中心線は1円弧で近似され、低圧渦部の代表圧力としてよどみ域の圧力を用いれば検査面モデルの考え方が成立つ。

(2) スプリッタを装着するとスプリッタ側渦部が発生することが特長的である。この渦部は巻き込み流がスプリッタ先端を迂回するときに剝離することにより生ずる。

(3) 両渦部の周辺に強い圧力勾配が観察される。

(4) 両渦部の最低圧は  $H$  および  $\alpha$  の減小と共に低下する。

(5)  $H$  が減小するにつれ、噴流中心線は側壁の側に押しつけられて1円弧での近似ができなくなる。

なおスプリッタ側渦部は側壁付着純流体素子として不可欠のものではなく、むしろ性能を低下させる現象であると思われるので、シャープ・スプリッタに代るプラント・スプリッタの採用を提案した。

おわりに本研究に着手する際にはまだ御存命であった先達故上岡豊教授の御指導に感謝すると共に、実験に協力して下さった原文夫・三島康一・大川良一・大草祥威・太田善博・片山邦信・河村哲雄・小谷邦宏・佐伯準一・田村精治・秦和幸・村岡恒生・近森節男の諸君に謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 上岡豊, 上野五郎, 門脇重道, 大江清登: 山口大学工学部研究報告, 23, 89 (1972)
- 2) 上野五郎, 門脇重道, 大江清登: 山口大学工学部研究報告, 24, 205 (1973)
- 3) 例えば 尾崎省太郎, 原美明: 純流体素子入門, 日刊工業新聞社 (1968) p. 114

(昭和48年12月15日受理)