

# 流体素子内の流れに関する研究

## 噴流の側壁付着効果 (第2報)

野崎勉・松村博久・榎本隆一

(受理 昭和48年5月31日)

### STUDIES ON THE FLOW IN FLUIDIC DEVICES

#### Reattachment of a Jet to an Adjacent Wall (Report 2)

Tsutomu NOZAKI, Hirohisa MATSUMURA  
and Ryuichi ENOMOTO

Switching in bistable wall attachment fluid amplifiers is a function of many parameters. A simplified model of the two-dimensional flow has been adopted to predict the effect of wall offset ratio on jet attachment.

Experimental results for the attachment of a jet issuing from nozzle with varying wall offset ratio have been described and compared with the theoretical model.

#### 1. 緒 言

自由噴流の側壁付着効果 (Coanda 効果) に関する研究は、側壁付着形流体素子内の流れや各種燃焼室内の流動特性の解明の問題の一環として、数多くなされている。オフセット比の比較的大きい場合の流れについては Sawyer<sup>1)2)</sup>, Bourque<sup>3)</sup>, McRee ら<sup>4)</sup> や熊田ら<sup>5)</sup> の研究があるが、流体素子内の流れのように、特にオフセット比の小さいものについての研究は見当たらないので、その流れの様子を調べた。またいずれの研究においても付着壁と噴流によって囲まれた低圧渦室内の詳細な流れまで立ち入っておらず、わずかにオフセット比が15の場合について多賀ら<sup>6)</sup> によって渦室内の速度分布の一例が報告されているだけである。

ここでは、オフセット比が0.7から10までについての側壁に沿う圧力分布とオフセット比が6についての渦室内の速度分布を測定した結果を報告し、前に報告した偏向噴流中心線の曲率半径を与える計算式<sup>7)</sup> と付着流線の考え方から付着点を計算した結果の比較を行った。

#### 2. 実験装置および方法

図1は本実験に用いた付着噴流モデルと記号を示したものである。ノズル出口における噴流中心線から付

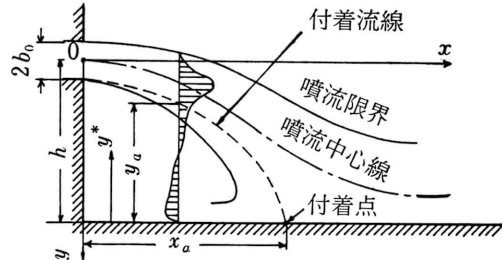


図1 付着噴流モデル

着壁までの距離を  $h$  とし、ノズル幅を  $2b_0$  とし、 $h/(2b_0)$  をオフセット比と称する。また付着壁と噴流の付着流線 (ノズル出口の流量が一定に保たれる流線) によって囲まれる領域を低圧渦室と称する。

図2は実験に用いた測定部本体を示す。前述のように本実験はオフセット比が比較的小さい場合の測定が主であるため、付着壁に沿う圧力分布を求めるための静圧孔は相互の影響を少なくするために図のように千鳥状に配置したことで、ノズル幅を6mmから25mmに大幅に拡大したことが前報<sup>8)</sup> と異なる。速度分布の測定は熱線風速計と外径1mmの円筒形単孔ピトー管を併用して行なった。

実験はいずれもノズル出口の一樣速度を  $U_0$ 、動粘性

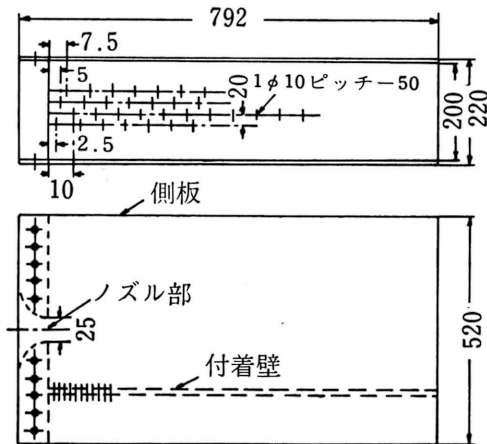


図2 測定部装置図

係数を  $\nu$  とし、レイノルズ数を  $Re=2U_0b_0/\nu$  で表わし、 $Re=5.0 \times 10^4$  で行なった。

### 3. 圧力分布

図3は側壁に沿う圧力分布をオフセット比をパラメータとして示したものである。ここで壁面の圧力を  $P_s$ 、大気圧を  $P_A$ 、流体の密度を  $\rho$  として  $C_p=(P_s-P_A)/(\frac{1}{2}\rho U_0^2)$  とおいてある。オフセット比  $h/(2b_0) \geq 2.5$

における熊田ら<sup>5)</sup>の報告では、 $2.5 \leq h/(2b_0) \leq 6.5$  において  $C_p$  の最大値  $C_{pmax}$  および  $C_p$  の最小値  $C_{pmin}$  の値はほぼ一定であるとみなしているが、図に示すようにより小さいオフセット比での実験結果からも明らかのように、 $h/(2b_0)$  が3.0付近で  $C_{pmax}$  は最大値を示す。また  $C_{pmin}$  も  $h/(2b_0)$  が小さくなるにしたがい次第に減少する傾向を示している。これは有限幅ノズルから流出する噴流の場合、噴流中心部に一様速度  $U_0$  が保たれるコアが形成され、その長さは  $x/2b_0=5.0$  である<sup>9)</sup>。  $h/(2b_0)$  が約2.0のときコアの先端が壁面に接近するので、この付近で付着の様子が変わるものと思われる。

Sawyer<sup>1)</sup>は、低圧渦室内の平均圧力を便宜上附着壁に沿う渦室内負圧が、大気圧に回復する位置のノズル面からの距離の95%までの平均値で表わす方法をとっている。一例として図4に示した  $h/(2b_0)=6.0$  の静圧分布から求めた壁面と附着流線によって囲まれた低圧渦室内全体の平均圧力と上記方法で求めた値を比較するとほぼ一致したため、本実験においてもこの方法を採用し、他の研究者の結果との比較を行なうと図5のようになる。これより  $h/(2b_0) > 6.0$  においては他の結果とよく一致する傾向にあるが、 $h/(2b_0) < 6.0$  においては、これまで提唱されているように  $|C_{pmean}|$

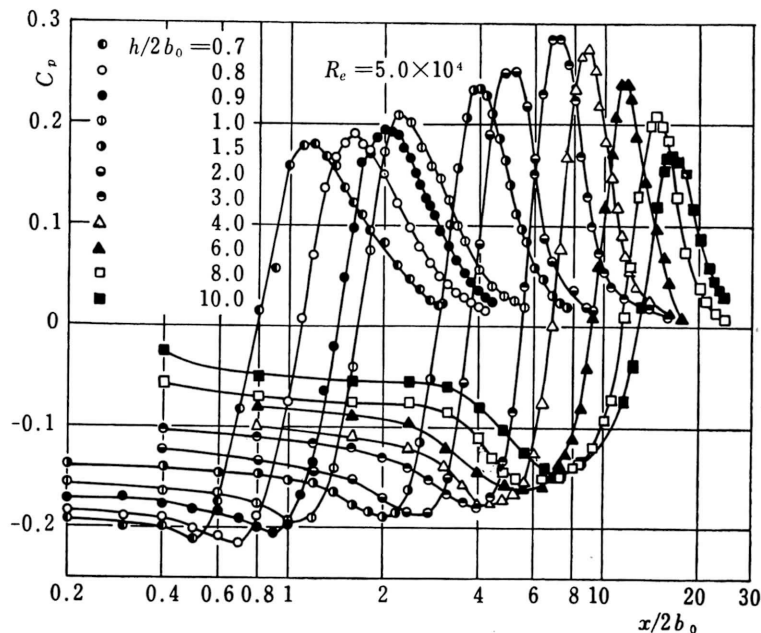


図3 壁面に沿う圧力分布

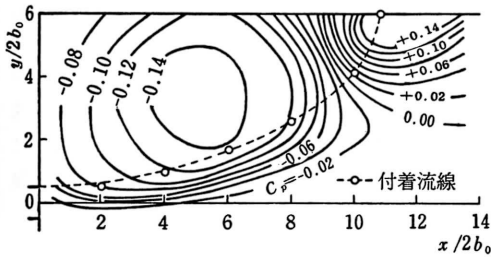


図4 低圧渦室内の静圧分布

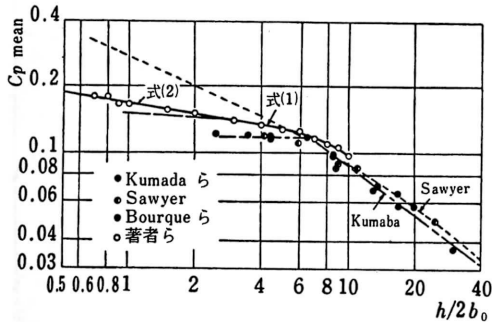


図5 低圧渦室内の平均圧力

の値は一定とはならず、図に実線で示したように、 $2.5 < h/(2b_0) < 10$  に対して

$$|C_{p\text{mean}}| = 0.16 - 0.0062 \frac{h}{2b_0} \quad (1)$$

で近似され、 $h/(2b_0) < 2.5$  に対しては、

$$|C_{p\text{mean}}| = 0.15 \left( \frac{h}{2b_0} \right)^{-0.013} \quad (2)$$

で近似される。

#### 4. 付着距離

図6は熊田ら<sup>5)</sup>の整理法によって、付着壁に沿う圧力(図3)が最大値を示す点で決めた付着距離  $x_a/h$  とオフセット比の関係を示したものである。この図においても  $h/(2b_0) = 6.5$  付近で顕著な変向点はみられない。

つぎに付着流線の考え方から付着距離を求める。噴流中心線の偏向については既報<sup>7)</sup>において、偏向した噴流中心線に沿って  $x'$  軸をとり、これに直角に  $y'$  軸をとって、圧力  $P$ 、乱流拡散係数を  $\epsilon$ 、噴流の曲率半径を  $R$  とし、この曲りを考慮した運動方程式

$$\frac{R}{R+y'} u \frac{\partial u}{\partial x'} + v \frac{\partial v}{\partial y'} - \frac{u^2}{R+y'} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y'} + \epsilon \frac{\partial^2 v}{\partial y'^2} \quad (3)$$

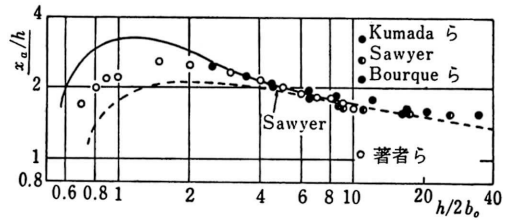


図6 付着距離 ( $x_a/h$ )

より、噴流両側の圧力差を  $\Delta P$  としての初領域と発達領域の両方に対して

$$\frac{R}{2b_0} = \frac{\rho U_0^2}{\Delta P} \quad (4)$$

を得ている。

初領域において一様な速度  $U_0$  をもつ部分の幅  $2b_c$ 、噴流幅を  $2b$  として  $\eta = (y' - b_c)/(b - b_c)$  なる尺度を用いて、 $b_c < y' < b$  の部分の速度は、

$$u = U_0 f(\eta) \quad (5)$$

で表わされるとし、発達領域においても  $\eta = y'/b$  の尺度を用い、噴流中心線の上の速度を  $U$  として、

$$u = U f(\eta) \quad (6)$$

で表わされるものとし、両領域に対して

$$f(\eta) = 1 - 6\eta^2 + 8\eta^3 - 3\eta^4 \quad (7)$$

の速度分布を仮定する。

まず初領域においては噴流中心線から付着流線までの距離を  $y'_a$  とし、

$$\int_0^{y'_a} u dy' = U_0 b_0 \quad (8)$$

を満足する  $y'_a$  の値を求めればよい。式(8)は  $y' = y'_a$  に対して  $\eta' = \eta'_a$  とし、二次元噴流の結果<sup>9)</sup>を用いて計算すると  $\eta'_a = 0.336$  が求まる。

発達領域においても同様にして

$$\left( 0.0721 \frac{x'}{b_0} + 0.286 \right)^{1/2} \left( \eta'_a - 2\eta_a'^3 + 2\eta_a'^4 - \frac{3}{5} \eta_a'^5 \right) - \frac{2}{7} = 0 \quad (9)$$

から付着流線が求まる。式(7)の右辺の  $\Delta P$  に対して便宜上前述の  $|C_{p\text{mean}}|$  を用いて  $\Delta P = |C_{p\text{mean}}| \left( \frac{1}{2} \rho U_0^2 \right)$  を代入し噴流中心線の曲率半径を計算し、この中心線の位置から付着流線を式(9)を用いて計算

し、それぞれのオフセット比に対して付着壁との交点を付着点として求めると図6の実線のようになる。この方法で求めた付着距離と、圧力最大点で決めた付着点を比較すると  $h/(2b_0) > 3.0$  の領域ではよい一致がみられる。また Sawyer<sup>1)</sup> の提案した式ともよく一致する。  $h/(2b_0) < 2.0$  においては傾向は似ているが、圧力最大点できめた付着距離と計算値に差異がある。これはオフセット比が小さくなると付着流線と付着壁との交錯角が小さくなり、実際は付着壁に近づくにつれて曲率半径が小さくなるはずであり、これによって圧力最大点も上流側へ移動するものと思われる。  $h/(2b_0) < 5.0$  において Sawyer<sup>1)</sup> の式は実測値より小さい値をとる。

図7は前報<sup>3)</sup>の整理法によって付着距離  $x_a/2b_0$  とオフセット比の関係を示したものである。この結果オフセット比の広い範囲にわたって前報で求めた

$$\frac{h}{2b_0} = 0.0262 \left( \frac{x_a}{2b_0} \right)^2 + 0.152 \frac{x_a}{2b_0} + 0.500 \quad (10)$$

とよい一致がみられる。

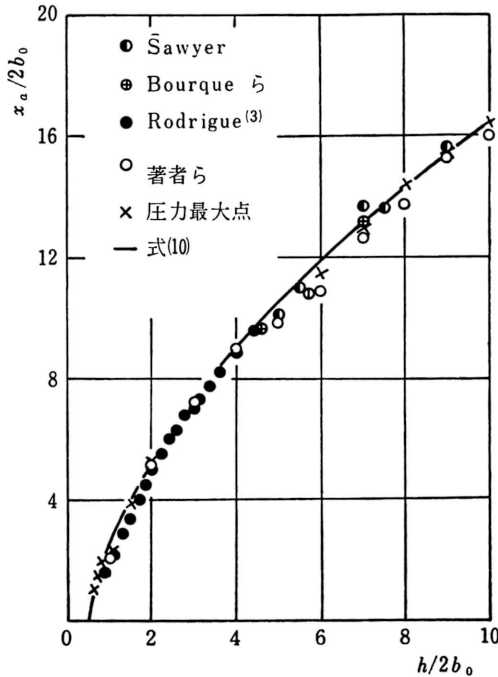


図7 付着距離 ( $x_a/2b_0$ )

5. 速度分布

図8は  $h/(2b_0) = 6.0$  の場合の付着噴流の速度分布

を示している。付着点  $x_a/(2b_0) = 10.8$  を境にして上流測ではいずれも逆流現象がみられ、その状態は付着点 ( $u=0$ ) から急な加速が  $x/(2b_0) = 8.0$  付近までみられ、その後はノズル面の影響を受けてしだいに減速する傾向をもっている。また付着点より下流においても  $x/(2b_0) = 18.0$  付近まで加速現象がみられ、その後

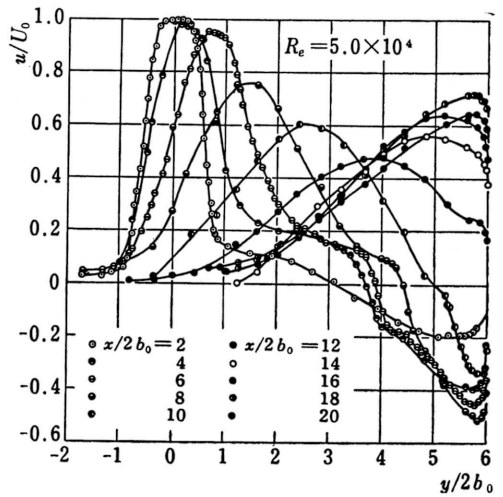


図8 付着噴流の速度分布 ( $h/2b_0 = 6.0$ )

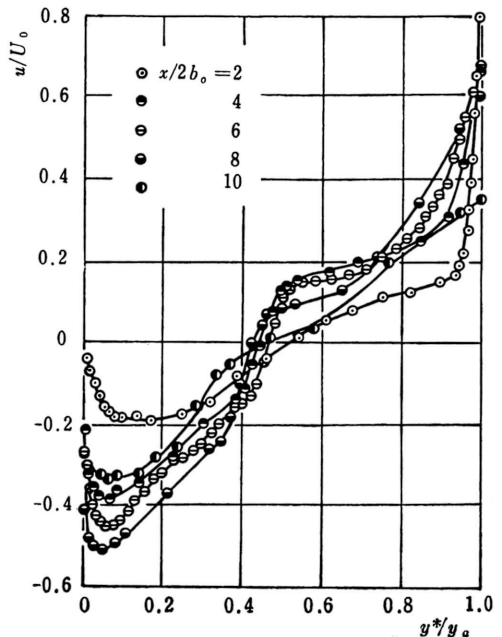


図9 渦室内の速度分布

減速流となっている。その速度分布の形はとくに付着点に近いところでは普通みられる壁噴流の速度分布とは異なり、付着流特有の速度分布を示している。

図8の速度分布を付着壁面から付着流線までの距離を  $y_a$  とし、付着壁面からの距離を  $y^*$  として低圧渦室内の速度を  $y^*/y_a$  に対して示すと図9のようになる。これより前報<sup>8)</sup>でのべたオフセット比が8.5の場合と同様、 $u=0$ となる位置がノズル壁面付近を除き  $y^*/y_a=0.45$ の値をとっている。

## 6. 結 論

二次元噴流の側壁付着効果の実験として、オフセット比の比較的小さい領域における結果から、従来オフセット比が6.5付近とされていた変向点の存在を、2.0~3.0の付近にあることを明らかにした。その位置は噴流のコアの末端が壁に接近する位置とほぼ一致することから、変向点の存在は有限幅ノズルから流出する場合のコアの影響であると思われる。既報<sup>7)</sup>で求めた噴流中心線の曲率半径と噴流を横切って作用する圧力差の関係を用いて、噴流中心線に沿って計算された付着線と付着壁との交点として付着点を求め、付着壁に沿う最大となる位置で決めた付着点の測定値と比較するとオフセット比の広い範囲にわたって良い一致がみられた。

## あ と が き

本研究にあたり、御懇篤な御指導を賜った京都工芸繊維大学八田圭爾教授と、実験に協力を得た本学卒業生河野耕平君に謝意を表します。

## 文 献

- 1) Sawyer, R. A., J. Fluid Mech., 9-4(1960-12), 543.
- 2) Sawyer, R. A., J. Fluid Mech., 17-4(1963-12), 481.
- 3) Bourque, C. & Newman, B. G., Aeron. Quart., 11(1960-8), 201.
- 4) McRee, D. I. & Moses, H. L., Advances in Fluidics, (1967), 142.
- 5) 熊田・ほか2名, 日本機械学会論文集, 39-319 (昭48-3), 920.
- 6) 多賀・ほか2名, 日本機械学会論文集, 36-287 (昭45-7), 1126.
- 7) 八田・野崎, 日本機械学会講演論文集, No. 708-1 (昭45-3), 21.
- 8) 野崎・松村, 鹿児島大学工学部研究報告, 第13号 (昭46-9), 37.
- 9) 八田・野崎, 日本機械学会論文集, 38-314 (昭和47-10), 2593.