噴流中物体が流れに及ぼす影響*

望月 修**, 山田 日出夫***, 山辺 春雄***

The Effect of a Cylinder in a Planar Jet

by Osamu MOCHIZUKI, Hideo YAMADA, and Haruo YAMABE

We investigated the properties of a planar jet in which a cylindrical body was set on the center line of the jet near the nozzle. The spread of the jet and some flow properties, particularly behind the cylinder in the jet, were measured for four kinds of cylindrical bodies of different shapes. The downstream distance from the nozzle was also taken as a parameter to be studied. The results are summarized as follows: (1) The spread angle of the jet changes considerably with an increase in the downstream distance between a cylinder and the nozzle, whose exit height was kept constant; the location of a maximum angle exists there. (1) In the wake region, the generation of the tone due to interaction between the jet and the cylinder plays a crucial role on the flow properties, rather than the shapes of the cylinder.

Key Words: Fluid Vibration, Turbulence, Planar Jet, Edge Tone, Vortex, Visualization

1. ま え が き

航空機などの騒音軽減に関連して、噴流を制御し、その特性を変化させることに関心がもたれている。そのために、噴流とその中に入れた物体とのかかわり合いを調べることは噴流の制御に関する基礎的研究として重要である。その意味で、著者らは噴流中にくさび形物体を置き、噴流中の後流⁽¹⁾⁽²⁾および噴流と物体との干渉⁽³⁾について調べてきた。ところが、噴流中の物体位置や物体形状が噴流の特性にどのような変化をもたらすかについてはよくわかっていない。

そこで今回種々の物体位置と二、三の物体形状に対して実験を行い、噴流の広がり角と流れ場を特徴づける諸量の流れ方向変化について比較した。その結果、噴流の広がり角は物体の位置や形状によって変化し、最大広がり角を与える位置が存在すること、後流域⁽¹⁾において、流れ場を特徴づける諸量の流れ方向変化は噴流と物体との干渉によって発生する音の有無で区別できることなどが明らかとなった。

2. 主 な 記 号

X : 噴流軸方向座標と噴出口から物体先端までの距離

Y : 噴出口の高さ方向座標

X' : 物体後端から測った X 方向の距離

H : 噴出口の高さ

U, u' : 平均速度と変動成分

U_c : 中心軸上の平均速度

P, P_∞ : 測定位置の静圧と大気圧

Q : $\int_{-\infty}^{\infty} U dy$ で定義される流量

θ : 半値幅を基準とした噴流の広がり角

サフィックスの 0 は噴出口中心における値であることを示す。

3. 実 験 装 置

実験装置は前報⁽¹⁾に示してあるので省略する。本実験で用いた物体の断面形状は二等辺三角形(前報⁽¹⁾で用いたものと同じ)、正方形、および円である。それぞれの物体の寸法については流れに垂直な面内の高さが同じになるようにした。ただし、円柱に関しては小さい径のものを用意し、他と比較した。用いた物体の断

* 昭和60年8月28日 第933回講演会において講演、原稿受付 昭和60年1月22日。

** 正員、北海道大学工学部(〒060 札幌市北区北13条西8丁目)。

*** 正員、名古屋工業大学(〒466 名古屋市昭和区御器所町)。

面寸法を図1に示す。

静圧測定には、標準ピトー管と比較検定を行った静圧管を用いた。その静圧管の寸法は外径3mmで、円周上に4個ある静圧孔の直径は0.2mmである。

4. 実験結果および考察

4.1 噴流の広がり 噴出口中心の速度を31.2 m/sにして実験を行った。噴流中に物体があっても物体後方の噴流は直線的に広がっていく⁽¹⁾。しかし、物体の位置または形状によってその広がり角には違いがある。その測定結果を図2に示す。横軸は噴出口から物体先端までの無次元距離を、縦軸は半値幅を基準とした噴流の広がり角(°)を表す。例えば、三角柱を噴出口から20 mm($X/H=2.0$)に置いた場合、物体を含む噴流の広がり角は図から10.7°であり、同じ位置の10 mm径の円柱では12.5°と読む。

図2から特徴的なことは、物体の形状にかかわらず、その分布には極大値が存在することである。すなわち物体の位置によって噴流の広がり角に及ぼす効果に違いがあり、噴流を最も大きく広げる点が存在することを意味している。

10 mm 円柱の場合、 $X/H=3.0$ で最大広がり角を示し、円柱を置かない場合に比べ約3倍の角度(16.5°)で噴流は広がる。噴出口から先端までの距離をさらに増加させると広がり角はいったん減少し、 $X/H=5.5$ 付近(この位置はポテンシャルコアがなくなる点に相当する)で小さなピークを示した後、徐々に減少する。

四角柱の場合(ただし、90°角の頂点を流れに向けている)、 $X/H=3.0$ と5.5付近でピークを示すが、円柱ほど顕著ではない。むしろ $X/H=3.0$ 以後、噴流の広がり角は物体の位置によらずほぼ一定とみなせる。

三角柱の場合、 $X/H=2.0$ で最大広がり角を示した後やはり $X/H=5.5$ 付近で小さなピークを示す。それ以後、四角柱の場合と同様噴流の広がり角はほぼ一定

図1 物体の断面寸法

である。この場合、この一定となる角度は物体がない場合の噴流の広がり角に相当する。

三角柱が前述の二つの物体と異なる点はエッジ音の発生を伴うことである。前報⁽¹⁾で示したように、エッジ音の強さも物体の位置によって変化する。距離に対する強さの分布が噴流の広がり角の分布とよく対応することは注目すべき点である。

ここで6 mm 円柱の場合について述べる。この円柱の場合は三角柱と同様強い音の発生を伴う。この音の発生機構は後述の可視化実験などからエッジ音と同じと考えることができる。すなわち、特に鋭いエッジがなくてもこの種の音が発生することを示唆している。

6 mm 円柱による噴流の広がり角の変化は10 mm 円柱の場合と同じ傾向であるが、 $X/H=3.0$ のピークの鋭さおよび全体的な大きさに違いがみられる。このピークをとる位置で音の強さも大きくなる点は三角柱の場合と同じである。

物体位置による θ の変化から、噴流の広がり角に対する二つの効果を考えることが可能である。その一つは物体形状による効果である。すなわち、噴流の広がり角は円柱の位置に敏感であるが、三角柱(四角柱もこの場合流れの上流からみれば直角二等辺三角柱とみなせる)に対しては早期に位置の依存性を失う。また全体的に円柱は三角柱に比べて大きな広がり角を与える。2番めは音の発生による効果である。すなわち、同種の形状でも音の発生を伴うと全体的に大きな広がり角を示し、音の強さが最大となる点で最大広がり角を示す。

4.2 中心軸上の諸量変化 噴流の広がり角が最も大きくなる位置に物体を設置した場合について、流

図2 噴流広がり角の変化

れ場を特徴づける諸量の中心軸上の変化を調べた。

図3に中心軸上速度の変化を示す。横軸は物体後端からの距離を、縦軸は速度を表す。図3中のX印で示した変化は物体のない噴流のもので、ポテンシャルコアの消える付近から距離の $-1/2$ 乗に比例して減少する。それに対し物体を入れた場合、物体後方に形成される速度欠損域内の速度が回復するため⁽¹⁾⁽²⁾にいったん増加した後、減少する分布となる。ところが減少する割合は物体のない場合に比べ大きく、どの物体に関しても距離の -1 乗に比例して減少する。6mm円柱と三角柱の場合、速度欠損域の速度が回復した後、平坦な部分が長く続くのが特徴である。

次に、中心軸上の速度変動の変化を図4に示す。横軸は物体後端から測った距離を、縦軸は $\sqrt{u'^2}/U_0$ を表す。変化の仕方で二つのグループに分けることができる。すなわち、6mm円柱と三角柱のグループおよび10mm円柱と四角柱のグループである。両者の大

きな違いは音の発生の有無であり、音の発生を伴う前者では後者に比べて後流域内($X'/H < 6.0$)の乱れは大きい。

物体後方の中心軸上静圧分布について調べた結果を図5に示す。横軸は物体後方から測った無次元距離を、縦軸は無次元の静圧を示す。図5中には、同じ物体に関して一様流中で測定した静圧分布を比較のために示した。ここでも、後流域内の分布形状によって二つのグループに分けることが可能である。すなわち、6mm円柱と三角柱のグループおよび10mm円柱と四角柱のグループである。後者の変化は平坦で、単調に大気圧へ回復していく。それに対し音の発生を伴う前者では、大きな負圧から振動しながら大気圧へ回復する。回復の仕方は一様流中のそれとよく似ている。これは物体からはく離する渦の放出の仕方に関連がある

図3 中心軸上速度の流れ方向変化

図4 中心軸上の乱れ分布

図5 中心軸上の静圧分布

図6 X断面の流量変化

(a) 三角柱

(b) 6 mm 円柱

(c) 10 mm 円柱

(d) 四角柱

図 7 可視化写真 (スモークワイヤ法)

(図 7)。後流域より下流ではどの物体も静圧はほぼ一定となる。

物体を入れた場合における X 断面を単位時間当たり通過する流量の X 方向変化(エントレインメント量に対応する)について、噴流だけの場合と比較した結果を図 6 に示す。横軸は物体後端から測った無次元距離を、縦軸はそれぞれの物体形状に対する無次元流量を表す。破線で示した物体を入れない噴流では $X^{1/2}$ に比例して単調に増加する。それに対して物体を入れ

た場合、どの物体形状においても後流域内の流量の増加はわずかであるが、それより下流 ($X'/H=8\sim30$) ではほぼ直線的に増加し、最大値をとった後減少する。

流量の X 方向への増加(エントレインメントが大)は噴流が直線的に広がっているにもかかわらず中心軸上の速度が X 方向にあまり変化しないことに対応する。速度が X^{-1} で減少する範囲 ($X'/H>30$) で流量の減少を示すが、噴流の広がり方は直線的であるから、一定値となるのが本来だろう。

4・3 可視化結果 実験は噴出口の速度を 17.1 m/s にして行った。結果を図 7 に示す。流れは左から右である。写真から、音を発生する場合 [図 7 (a), (b)] と発生しない場合 [図 7 (c), (d)] とでは明らかに流れの様子が異なる。すなわち、図 7 (a) と (b) では噴流自身が振動する(エッジ音の発生)。噴流の渦構造は千鳥状に配列し、物体から交互に放出されるはく離渦と対をなして下流に流れていく⁽²⁾⁽³⁾。一方、音の発生を伴わない [図 7 (c), (d)] では噴流の振動はなく、噴流の渦構造は中心軸に対して上下対称である。物体からも噴流の渦構造と対をなしたはく離渦が上下対称に放出されている。このような流れ場の様子の違いが後流域における諸量の分布を音の有無によって区別できる理由である。

5. あとがき

本研究は噴流中に入れた物体の流れに及ぼす影響を調べたものである。得られた結果を要約すると次のようになる。

(1) 物体の位置や形状によって噴流の広がり角は変化し、最も大きな広がり角を与える位置が存在する。

(2) 後流域において、流れ場を特徴づける諸量の流れ方向変化は物体形状による違いよりはむしろ音の発生の有無によって影響を受ける。

本研究を行うに際し、名古屋工業大学計測工学科の岩船誠技官には実験装置の製作に多大のご協力をいただいた。ここに謝意を表する。

文 献

- 1) 望月・山田・山辺・ほか 2 名, 機講論, No. 840-12 (昭 59-10), 45.
- 2) 望月・山田, 第 16 回乱流シンポジウム講演論文集, (昭 59), 187.
- 3) 望月・山田, 第 16 回流体力学講演会講演集, (昭 59), 244.