710 円形噴流初期領域における二次フィルム流の影響

二次フィルム流による速度分布及びエントレインメントの変化

○ 学 小室幸教 (日大院) 松村雅義 (日大院) 正 庄司秀夫 (日大)
正 木村元昭 (日大) 正 斉間 厚 (日大) 正 田中秀憲 (防大)

Influence of Secondary Film Flow in the Near Field of a Round Jet

Velocity Distribution and Jet Entrainment Change by Influence of Secondary Film Flow

Yukinori KOMURO, Masayoshi MATSUMURA, College of Science and Technology,
Nihon University, Kanda Surugadai1-8-14, Chiyoda-ku, Tokyo
Hideo SHOJI, Motoaki KIMURA, Atsushi SAIMA, Nihon University
Hidenori TANAKA, The National Defense Academy

Influences of adding thin annular flow to the main jet was studied experimentally in jet initial field. The thin annular flow defined the secondary film flow. The secondary film flow slit gap is 0.5mm. And the inside diameter of main jet is 8mm. The main jet was used Carbon dioxide. The secondary film flow was used Helium and Air. Velocity distributions were measured by the LDV. Jet velocity was set up so that the main jet might become $Re=2000$ (2.06m/s). The secondary film flow was set as velocity ratio was become from 0 to twice to the velocity of main jet. And entrainment change was calculated on jet velocity. As a result, Helium was more effective than Air in lengthening of potential core. And the entrainment was controlled at the secondary film flow.

Key Words: Jet, Nozzle, Free Boundry Layer, Control

1. 緒言

噴流は、工学的応用範囲が広く古くから研究が進められてきており、噴流の具体的な用途として、ガスディーゼル機関における燃料噴射などに用いられている。近年では、噴流を能動的に制御する噴流制御技術への関心が高まっている。本研究では、二次フィルム流を用いて噴流を制御する基礎的な研究を行った。具体的には、速度均一ノズルから噴出される円形軸対象噴流においてその外側に薄い環状流れ(二次フィルム流)を作り、噴流初期領域においてどのような現象が起きているかをLDVにより測定した。なお、本実験で使用した気体は、二酸化炭素 CO_2 、ヘリウム He、空気 Air である。

2. 実験装置及び実験方法

今回の実験では、主流と二次フィルム流が流れるノズルより鉛直上方に気体を噴出させた。主流には、ボンベより CO_2 を供給して使用し、フィルム流には、ボンベより He を供給し、コンプレッサより Air を供給して使用した。主流はレイノルズ数が $Re=2000$ (2.06m/s) になるように設定した。ここでは主流ノズル内径を代表長さとした。フィルム流は主流噴出速度の 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 倍の速度比になるように流量を調節した。それぞれの条件を組み合わせで噴流の平均速度を測定し、エントレインメントによる流量の変化を求めた。ここで、実験で使用したノズルを図 1 に示す。このノズルは、主流ノズル内径 8mm、二次フィルム流ノズル内径 10mm でフィルム流の噴出されるスリット間隔 0.5 mm の軸対象均一速度ノズルである。流速の測定

には、前方散乱型に設置した LDV を用いた。レーザー光源は出力 10mW の He-Ne である。流速の測定に使用したシード粒子は流動パラフィンコンデンセーション法で微粒化したものを用いた。このシード粒子は主流に混入するとともに、エントレインメント¹⁾を計測するために、主流と同軸に内径 300mm の円筒を設けて約 0.2m/s の外部流にも混入した。なお、ノズルの噴出方向距離を X、ノズルの半径方向距離を Y とした。

Fig.1 Nozzle Shape and Arrangement

3. 実験結果及び考察

二次フィルム流の速度比が 1.5 の場合での等速度線図をフィルム流が Air と He の場合をそれぞれ図 2(a), (b) に示す。両図によると X 軸方向の距離が上にいくほど、フィルム流が Air の場合には、流速の減少が目立ち、フィルム流が He の場合には、ある距離までは、流速の減少が少ないことがわかる。つまりフィルム流の速度比が 1.5 の場合、Air よりも He の方が相対的にポテンシャルコアが長く保たれていると言える。この要因として、気体の性質の差異が考えられる。He は Air に比べて動粘性係数 ν が高く密度 ρ が小さい。従って自由境界層における局所レイノルズ数が下がり、流れを層流化する役割を He が果たす。²⁾ま

た、単純な CO_2 円形噴流初期領域の自由剪断層では、ケルビン-ヘルムホルツ不安定性³⁾が生じ、その後大規模な渦輪を形成し、ノズル直径の約 6 倍程度より拡散が顕著となる。ここに He のフィルム流を加えることにより、 CO_2 との密度差より生ずる He 流の浮力がケルビン-ヘルムホルツ不安定性を抑制し、結果的にポテンシャルコアが延長したものと考えられる。

次に、二次フィルム流の影響によるエントレインメントをともなった噴流の体積流量⁴⁾の変化について図 3 に示す。なお、各断面における流量は次のように求めた。LDV により計測された各断面における速度分布を 6 次の多項式により近似し、さらにこの近似式を積分することにより断面を通過する体積流量 Q を算出した。この図は各断面の流量を噴出時の主流とフィルム流を加えた流量 Q_0 で除し無次元化した。図 3 によるとフィルム流を流さない時とフィルム流が Air のときは噴出方向距離がある距離まで急速に流量比が増加し、その後は減少に転ずる。これは、この条件ではノズル出口より発生するせん断流れによる速度変動の急増よりポテンシャルコアが短く、噴出された時点での運動量⁴⁾を消費して、その分エントレインメントが増加して急速に流量比が増加したと考えられる。また、途中から流量比が減少するのは、噴流の影響する断面積が広がっても CO_2 に働く負の浮力により流速が急速に低下するので結果として流量比が増加しないものと考えられる。フィルム流が He のときは $X/d=1$ から 7 にかけて流量比はほぼ一定であった。その後 $X/d=7$ から 15 にかけては増加に転じた。これは、速度比 1.5 において He のときはポテンシャルコアが長く保たれており、前述のように He の性質として動粘性係数 ν が高く密度 ρ が小さいために局所レイノルズ数が下がったことや、 CO_2 との密度差より生ずる He 流の浮力がケルビン-ヘルムホルツ不安定性を抑制し、 $X/d=7$ まではエントレインメントが増加せず流量比の変化がほとんど見られなかったと考えられる。 $X/d=7$ からの流量比の増加について考察すると、ノズルからの距離が遠くなると急速に噴流の拡散が目立ったことと He に働く正の浮力が発生した結果エントレインメントが増大し流量比が増加したと考えられる。

4. 結言

- (1) 主流を CO_2 、二次フィルム流に He と Air を用いた場合、ポテンシャルコアを延長する効果は Air よりも He の方が顕著であった。
- (2) 二次フィルム流により、噴流初期領域におけるエントレインメントが発生する噴出方向における範囲を制御できることを示した。

参考文献

- 1) N. ラジャラトナム, 噴流, 森北出版(1981), 33
- 2) 松村, 庄司, 木村, 他 3 名, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文(1999), 481
- 3) 木田, 柳瀬, 乱流力学, 朝倉書店(1999), 243
- 4) 中村, 大坂, 工科系 流体力学, 共立出版(1985), 197

(a) Main: CO_2 ($\text{Re}=2000$) Film: Air Velocity ratio: 1.5

(b) Main: CO_2 ($\text{Re}=2000$) Film: He Velocity ratio: 1.5

Fig.2 Velocity distribution by the velocity contour

Fig.3 The jet quantity by entrainment in the Jet direction distance