複合旋回噴流の可視化実験

野崎 勉(鹿児島大), 落合 崇[○](鹿児島大院),

土井 八郎, 甲斐 智也 ((株) アーレスティ)

Visualized Experiment on Compound Swirl Jet

Tsutomu NOZAKI, Takashi OCHIAI, Hachiro DOI and Tomonari KAI

ABSTRACT

A compound swirl jet, which consists of an annular swirl jet and a coaxial free jet was proposed by the authors as a push flow of a push-pull ventilator. It had been found that there exists the most provable flow ratio of the annular swirl jet to the free jet for applying to the push-pull ventilator as a push flow from the quantitative measurements by using the Cobra Pitot tube. In order to clarify the characteristics of this flow, two different flows are visualized by the smoke method. As a result, it was clarified that the compound swirl jet changes with the flow ratio of the annular swirl jet to the free jet.

Keywords: Round free jet, Annular swirl jet, Push-Pull ventilator, Swirl number, Smoke method

1. 緒 論

通常用いられている天井や壁に設置された換気扇による排気は、換気扇から離れるにつれ急速に集塵能力は衰える。各種室内の効果的排気を行うために、この換気扇と組み合わせたプッシュ・プル換気方式が考えられている⁽¹⁾⁽²⁾。これはプッシュ側に噴流のエントレインメントを利用した集塵とプル側の従来からの排気との二つの機能を組み合わせることにより、広い範囲に浮遊する煙や塵を室外に排出しようとするものである。このプッシュ側には、著者らの知る限り、例えば、エアーカーテンのように、従来、自由噴流が用いられてきた。通常、自由噴流に比べ旋回噴流の方がエントレインメントが大きいので、集塵機能として旋回噴流をプッシュ側に用いることが考えられる。しかしながら、旋回噴流は下流への拡散が大きい上、これを捕捉するプル側にとって、可能な限り一様な流れが望ましいとされている⁽³⁾。旋回噴流の持つ強い巻き込み効果をプッシュ・プル換気装置に利用するには、少なくともプル側の天井換気扇に到達するまで、エネルギー密度の高い流れが持続されることと旋回成分が減衰していることが望ましい。これを実現するひとつの方法として、著者らは複合旋回噴流と呼ばれる環状旋回噴流と同軸上に設けられた厚肉リムを有する自由噴流とを組み合わせることにより、エネルギー密度の比較的高い噴流を得ることを提案してきた⁽³⁾⁽⁴⁾。この複合旋回噴流において、吹出し口近傍での旋回流が支配的な領域から次第に自由噴流が支配的な領域へ移行し、下流ではほぼ自由噴流と同様な流れが形成される。この際、適切な環状旋回噴流と自由噴流の幾何形状

ならびに流量比を選択することにより、プッシュ側近傍での強い旋回流とプル側近傍ではエネルギー密度の高い順流が得られることを5孔ピトー管による定量測定により確認している⁽⁵⁾。例えば、天井換気扇から離れた厨房等のコンロ近傍の煙、蒸気および油滴等を旋回流により効率よく集塵し、その後、旋回成分の弱まった噴流として換気扇により捕捉され排気される。ここでは、複合旋回噴流発生装置の幾何形状を一定とし、さらに、スモーク法により得られた可視化画像から比較的エネルギー密度が高いと判断される環状旋回噴流と自由噴流の流量比を選び、円形自由噴流と環状旋回噴流を別々に可視化することにより、複合旋回噴流内部の円形自由噴流と環状旋回噴流との相互干渉の様子を明らかにする。

2. 実験装置および方法

Fig. 1に複合旋回噴流実験装置および測定装置を示す。座標系は円柱座標 (r, θ, z) を用い、代表長さとして、環状旋回噴流口外側径 D_{so} を用いた。本研究における目的であるエントレインメントの増大を図るため、Fig. 2に示すように、旋回流発生装置として、予旋回室に加えて、4枚の旋回固定羽根を併用し、その結果、環状旋回噴流として、

$$Sw_0 = \frac{2\pi \rho_{air} \int_0^\infty U_z U_\theta r^2 dr}{2\pi \rho_{air} \frac{D}{2} \int_0^\infty U_z^2 r dr}$$

で定義される出口スワール数として比較的大きな 1.50 を得ることができた。上式において、 U_z はノズル出口におけ

Fig. 1 Experimental apparatus

る主流方向速度であり、 U_θ は旋回方向速度である。さらに、複合旋回噴流としての縮流を促すため、出口部には大規模はく離領域が形成されるよう厚さ T_j の厚肉リムが設けてある。予旋回室長さ L_a は環状旋回噴流のみの発生装置としては偏流が生じないために相当の長さが必要であるが、複合旋回噴流発生装置としては、中心軸上の強い自由噴流により、偏流が矯正されるため、短くでき、 $L_a=0.15$ m を用いている。自由噴流口径 $D_j=4 \times 10^{-3}$ m であり、環状旋回噴流口外側径 $D_{so}=0.1$ m および内側径 $D_{si}=0.048$ m に対して、かなり小さく、断面積比で自由噴流口面積は 0.2% にすぎない。

空気源として、円形自由噴流にはコンプレッサおよび環状旋回噴流には送風機を用いている。送風機の場合、煙の混入は容易であるが、コンプレッサの場合、長円筒内に煙を溜め、これを押し出す方法により自由噴流側の可視化を行った。実験は円形自由噴流の流量 Q_j を 0.77×10^{-3} m³/s (平均速度 61.3 m/s) に保ち、旋回噴流の流量を変化させることにより、円形自由噴流流量に対する環状旋回噴流流量 Q_s との比 Q_s/Q_j を 1.12, 1.96 および 2.73 に変化させて行った。可視化画像の撮影は光源として YAG レーザ (NEW WAVE RESEARCH 社, Y15-2L) を使用し、CCD ビデオカメラ (SONY, XC-003) で撮影した。撮影は噴流中心軸を含む r - z 断面と、 $z/D_{so} = 1$ における r - θ 断面とで行った。

3. 実験結果および考察

Fig. 3(a) および (b) に円形自由噴流および環状旋回噴流単独の流れの可視化画像をそれぞれ示す。Fig. 3(a) に示す環状旋回噴流の場合、エントレンメントは大きいが、

Fig. 2 Compound swirl jet generator

Fig. 3 Visualization of annular swirl jet and free jet

(a) $Q_s/Q_j = 1.12$

(b) $Q_s/Q_j = 1.96$

(c) $Q_s/Q_j = 2.73$

Fig. 4 Visualization of compound swirl jet (r - z plane)

(a) $Q_s/Q_j = 1.12$

(b) $Q_s/Q_j = 1.96$

(c) $Q_s/Q_j = 2.73$

Fig. 5 Visualization of compound swirl jet (r - θ plane)

図のように拡散幅が大きく、本実験ではとりわけ強いスワール数と厚肉リムの存在により、環状旋回噴流のみの流れでは、比較的上流側で、噴流は拡散し、ビデオによる観察から、噴流中心部に下流方向からの吹き込みが観測された。したがって、旋回流単独ではプッシュ・プル型換気装置の

プッシュ側流れとしては不適當である。 Fig. 3(b) に示す円形自由噴流の場合、拡散幅は狭く、プッシュ側流れとしては望ましいが、エンタレンメントが少ない。そこで、拡散幅の狭い円形自由噴流の外周にエンタレンメント効果の大きい環状旋回噴流を自由噴流と同軸上に組合せる

ことにより、両者の特長を兼ね備えた比較的エネルギー密度の高い噴流を創生することが可能となる。その際、円形自由噴流と環状旋回噴流との流量比によって、複合旋回噴流の構造はかなり異なってくることに既に明らかにされている⁽¹⁾⁽²⁾。

Fig. 4(a), (b) および (c) は流量比が Q_s/Q_f が 1.12, 1.96 および 2.73 における複合旋回噴流の可視化画像をそれぞれ示している。いずれも左図は環状旋回噴流側に煙を混入した場合であり、右図は円形自由噴流に煙を混入した場合である。Fig. 4 (a) に示した $Q_s/Q_f=1.12$ の場合、自由噴流の影響が強く、ノズル近傍で環状旋回噴流は自由噴流に取り込まれ、全体としては右図に示すように自由噴流に近い構造である。また、Fig. 4(b) に示した $Q_s/Q_f=1.96$ の場合、既に5孔ピトー管による定量測定の結果から、プッシュ側流れとして最も適していると報告⁽⁵⁾したが、図より、全体として噴流の拡散は増大するが、結果的に、旋回流の影響により、エントレインメントの大きい流れとなっている。即ち、噴流中心部には円形自由噴流の性質を保ちながら、その外周部に環状旋回噴流が巻きつき、次第にその旋回成分を弱めていく。つぎに、Fig. 4(c) に示した $Q_s/Q_f=2.73$ の場合、旋回流の影響が強くなり、エントレインメントは大きいものの、拡散半径が増大し、プッシュ側の流れとしては不適当な流れとなっている。また、動画による観測から、環状旋回噴流を加えることにより、円形自由噴流が旋回方向に振れまわりを生じ、複合旋回噴流特有の自由噴流と旋回流とによる相互干渉が存在することが明らかとなった。Fig. 5(a), (b) および (c) は Q_s/Q_f

= 1.12, 1.96 および 2.73 における $z/D_{so}=1$ での $r-\theta$ 断面の可視化画像をそれぞれ示しており、いずれも左図が環状旋回噴流側に煙を混入した場合、右図は自由噴流側に煙を混入した場合の可視化画像であり、 Q_s/Q_f の増加とともに、噴流の拡散は増大して行くことがわかる。

4. 結 論

円形自由噴流と同軸上に環状旋回噴流を加えた、厚肉リムを有する複合旋回噴流のスモーク法による流れの可視化実験から、強いスワール数と厚肉リムの存在により、環状旋回噴流のみの流れでは、比較的上流側で噴流は拡散し中心部に下流方向からの強い吹込みが観測された。円形自由噴流にこの環状旋回噴流を加えることによって創生される複合旋回噴流の場合、環状旋回噴流の強いエントレインメント効果と円形自由噴流の狭い拡散半径の特長を兼ね備えた、プッシュ・プル型換気装置のプッシュ側流れとして適切な流量比が存在することを、流れの可視化実験からも明らかにできた。

参 考 文 献

- 1) 林, 「換気・集じんシステム」, (1973), p. 188, 朝倉書店.
- 2) 林, 工場換気, (1982), p. 6, 空気調和・衛生工学会.
- 3) 野崎, ほか 5 名, 可視化情報, Vol. 18, Suppl. No. 1(1998), pp. 41-44.
- 4) 野崎, ほか 5 名, 可視化情報, Vol. 20, Suppl. No. 1(2000), pp. 477-480.
- 5) 野崎, ほか 4 名, 日本機械学会講演論文集(II), No. 01-1(2001), pp. 155-156.