14 二次元衝突噴流の可視化

東海大・工 弓野 崇^o, 浅沼 強, 東海大・院 小島和明

Visualizing Study of a Impinging Plane Jet

Takashi YUMINO*, Tsuyoshi ASANUMA*, Kazuaki KOJIMA*

To make clear the flow behavior of a turbulent jet, the authors have applied the Schlieren method to the two-dimensional jet impinging obliquely on a solid wall. For flow visualization, the central parts of the two-dimensional nozzle and the wall surface are heated locally in spite of heating the flowing air itself to eliminate the end effects of plane jet, e.g. the entrainment effect of ambient air or the boundary effect on side wall.

In the present paper, some photographic results of jet flow pattern are compared with each other, and the effects of the initial jet velocity (u_0), the distance (H) between nozzle and wall and the impinging jet angle (θ) on the behavior of impinging jet are discussed.

1 まえがき

二次元衝突噴流についてはすでに数多くの研究が発表されているが、壁面に傾斜して衝突する噴流の研究は少ない。^{1) 2)} とくに、よどみ域における流れについてはほとんど明らかにされておらず、傾斜衝突噴流における流速、乱れおよび壁面圧力などの分布を詳細に測定する必要がある。しかし、これらの測定に先だって、衝突噴流の構造や大気との巻きこみの様子などを可視化によって観察することは重要である。よって、流れの可視化に好都合な二次元空気噴流を平板上に種々の角度で衝突させ、シュリーレン法により可視化することを試みた。なお、二次元噴流の端面効果を取り除き、とくに噴流中心部の構造を可視化するために、二次元ノズルと衝突平板の中央部のみを局部加熱する方法を採用し、噴流の構造に及ぼす噴流初速度、ノズルと壁面との距離および傾斜角の影響などについて吟味したので報告する。

2 実験装置および実験方法

2.1 実験装置

送風機から送られた空気は整流筒(高さ $B = 200\text{ mm}$, 幅 $S = 250\text{ mm}$)を通り、二次元ノズル(高さ $h = 8\text{ mm}$, 幅 $S = 250\text{ mm}$, アスペクト比 $S/h = 31$)より噴出し、角度 $\theta = 0^\circ$ から 90° まで自由に変えることができる平板に衝突する。また、ノズルから衝突板までの距離 (H) も自由に調整することができる。

ノズルの特性を調べるために、内径 0.6 mm のヒート管を用いて x 方向速度分布を測定し、その結果を Fig. 2.2 に示してある。それによると噴流

* Faculty of Engineering, Tokai University, Kitakaname, Hiratsuka

Fig. 2.1 Sketch of impinging jet

Fig. 2.2 Velocity profile of plane jet

の二次元性がよく保たれていることがわかる。なお, $u_0=56 \text{ m/s}$ のときの乱れ強さ $\sqrt{u'^2}/u_0$ は約 0.5 % である。

2.2 シュリーレン法による可視化

これまでもシュリーレン法により, 二次元衝突噴流を調べた例がないわけではないが,²⁾ これらは噴流全体を加熱してシュリーレン撮影しているので, 光軸方向の密度変化が積分され, 像が不鮮明になるおそれがある。また, 噴流の幅方向の端部で巻きこみが生じているため, 正しい二次元噴流を撮影したとはいえない。本実験では, ノズル中央部の壁面内部に 0.1 kW の加熱ヒーターをはりつけ, 噴流の中央部のみを加熱し, さらに, 衝突板の中央にはめこまれたアルミニウム板を 1 kW のヒーターで加熱し, 衝突後の噴流中央部のみを加熱して, 巻きこみのある端部効果を除くように配慮してある。なお, 光源は Mg アーク光源とし, 中心から青, 黄, 赤の配色の同心円フィルターを使用し, カラー撮影する。

2.3 実験条件と方法

ノズル出口での噴流速度 (u_0), 距離 (H), 傾斜角 (θ) および加熱ヒーターの温度 (t) を調整し, シュリーレン観察ならびに撮影を行う。Table 2.1 にこのときの実験条件を示す。

なお, シュリーレン撮影は, 大気温度変化や外

Fig.3.1 Schlieren photographs of free jet heated wholly

Table 2.1 Experimental conditions

Initial jet velocity $u_0 \text{ m/s}$	5, 10, 20, 35, 56
Reynolds' number Re	2,600 ~ 30,000
Impinging distance H/h	3, 5, 10
Impinging angle $\theta \text{ deg}$	30, 60, 90

3 二次元噴流の可視化実験の結果

3.1 自由噴流

Fig. 3.1 は噴流全体を加熱した場合のシュリー

Fig.3.2 Schlieren photographs of free jet heated locally

ーレン写真の例で、噴流端の影響（大気からの巻き込み）でねじれたうずがみられる。一方、Fig. 3.2 は噴流の中央部のみを局所加熱した場合で、この影響の除かれた断面を明瞭に可視化しており、中央部局所加熱の有効なことがわかる。この場合、噴流外縁部の混合層両側にほぼ対称にうずが発生しており、流速が小さいときは大きいが、流速が増加するにつれてうずは小さく細分されており、また、うずが発生するノズル噴出口からの位置は流速にほぼ逆比例していることもわかる。一般に、細分化されたうずの変動は早く、静止像が得にくいので光源はできるだけ発光時間の短いものが好ましい。Mg アーク光源の発光時間は約 $3 \sim 10 \mu\text{s}$ で、他の連続光源（ハロゲンまたは水銀ランプ）に比べ、うずの生成をとらえるのに好都合である。

3.2 無直衝突噴流

Fig. 3.3 は $H/h = 5$ における平板に無直に衝突する噴流の様子が比較してある。自由噴流の場合と同様に対称にならないうず列がみられるが、うずの大きさはやや小さい。

また、噴流速度 20 m/s の場合、衝突距離を変えたときの様相が Fig. 3.4 (a), (b) および Fig. 3.3 (c) に比較してある。 $H/h = 3$ および 5 では対称にならないうずは、衝突板で直角に曲げられて壁面流となり、壁面に沿って移動している。しかし、 $H/h = 10$ 以上になると、衝突板の影響はほとんどなく、混合層うず列の様子は自由噴流と同である。

3.3 傾斜衝突噴流

a) 傾斜角 $\theta = 60^\circ$ の場合

傾斜衝突噴流のシュリーレン写真が Fig. 3.5 に示してある。混合層うず列は衝突板で曲げられ、主流側にはより大きなうずが形成されているが、無直衝突の場合と比べ、大体同じ傾向を示している。このことは Fig. 3.6 の壁面静圧分布において、 $\theta = 60^\circ$ の場合は $\theta = 90^\circ$ の場合とよい相似を示していることから明らかである。なお、Fig. 3.6 の b は圧力の半値幅である。

Fig. 3.3 Schlieren photographs of plane jet impinging vertically

Fig. 3.4 Schlieren photographs of plane jet impinging vertically

Fig.3.5 Schlieren photographs of plane jet impinging obliquely

b) 傾斜角 $\theta = 30^\circ$ の場合 Fig.3.6 において, $\theta = 30^\circ$ の傾斜衝突噴流の主流側の静圧分布は $\theta = 60^\circ, 90^\circ$ の場合と比べやや大きい, 比較的よく揃っている。これに対し, 副流側 ($-x$) の静圧はかなり低く, $x/b_s > 2.0$ になると, むしろ負(大気圧以下)となっている。これは副流側への流れが少なく, むしろその近くの大気が主流側へ持ち去られる一種のコアンダー効果によるものと考えられる。 $\theta = 30^\circ$ の傾斜衝突噴流のシュリーレン写真を比較した Fig.3.7 によると, 噴流は副流側にはほとんど流れていないことがわかり, 副流側における負圧とよく対応している

Fig.3.6 Stagnation pressure profile of impinging jet

Fig.3.7 Schlieren photographs of plane jet impinging obliquely

4 おす ぎ

二次元噴流の可視化で次のことが明らかになった。

- 1) 正しい二次元噴流の可視化には, 中央部のみ局所加熱する方が, 噴流全体を加熱する方法よりすぐれている。
- 2) 自由噴流, 衝突噴流をとわず, 噴流速度が低いときは, 大きな対称うずが発生しているが, 高速になるにつれてかなり細分される。
- 3) 衝突角 $\theta = 90^\circ, 60^\circ$ の場合, $H/h = 3, 5$ のときは壁面噴流にもかなり大きなうずがそのまま移行している。しかし, $H/h = 10$ 以上では壁面の影響はあまりみられない。
- 4) $\theta = 30^\circ$ の傾斜衝突噴流では, 主流に大部分の流れが運ばれ, 副流にはほとんど流れていない。これは壁面圧力分布における負圧とよい対応を示している。

参考文献

- 1) S.Beltaos, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol.102, No.HY9, (1976-9), 1177
- 2) 鴨井, 田中, 流れの可視化シンポジウム(第2回), 1974, 43.