The Influence of Longitudinal Grooves in Nozzle Hole on Turbulence of Jet

学 周 效雷 (鹿児島大院)

○学 伊井 康浩 (鹿児島大院)

正 門 久義 (鹿児島大)

正 井手 英夫 (鹿児島大)

Xiaolei ZHOU, Kagoshima University, Koorimoto 1-21-40, Kagoshima

Yasuhiro II, Kagoshima University,

Hisayoshi KADO, Kagoshima University, Hideo IDE, Kagoshima University

Key Word : Fluid Dynamics, Turbulence, Perforated Plate, Single Hole Plate, Longitudinal Grooves

1. 緒 論

既報⁽¹⁾において、乱れ分布を生成する整流装置を開発するための基礎実験として、穴径 30, 15, 7.5mm の多孔板について、その下流の流れ場を調べ、乱れの減衰特性を表す実験式⁽¹⁾⁽²⁾を得た。さらに穴径 5, 3mm の多孔板下流の乱れ減衰特性を調べたところ、下流に生ずる乱れ強さが前者よりも小さくなることが明らかとなった⁽³⁾。これは孔加工性状が異なったためか、レイノルズ数の範囲が異なったためであると思われる。ドリル、エンドミルにより孔加工した多孔板の孔壁面には周方向へ非常に小さな切削痕が形成され、レーザーによる孔加工では穴の円周上に穴軸方向の縦溝が形成された。

本研究の目的は、孔加工性状とレイノルズ数が多孔板下流の乱れ生成に与える影響を明らかにすることである。そこで、モデルとして単孔の穴の円周に縦溝を作った単孔板、単孔のエッジに丸みが付いた単孔板、多孔板のそれぞれの下流の乱れを調べた。その結果、変動速度の最大値が異なるのは、レイノルズ数の影響ではないことが明らかとなり、レーザー加工の多孔板のみ大規模な組織渦が生成されないことが分かった。

2. 実験装置及び方法

本実験において、空気は送風機により 150mm×150mm の正方形吹き出し口を持つ風洞から単孔板へ流入する。風洞吹き出し口に取り付けられた単孔板下流の流速と乱れ速度成分を X 型熱線流速計で測定した。実験における座標系を図 1 に示す。座標系は原点を単孔板下流側端面中央にとり、X, Y 軸をその端面上のそれぞれ水平、鉛直方向とし、Z 軸をその端面に垂直で下流方向とする。

Fig.1 System of Coordinates

単孔板の材質は全て黄銅で板厚 t は 2.5mm, 単孔の穴径は 30mm である。穴の円周には $\phi 10$ のエンドミルで等間隔に 18 本の縦溝を作り、径方向の溝の深さ h はそれぞれ 0mm, 0.6mm, 1.2mm, 1.8mm の 4 種類とした。これは、穴径 $d=5$ mm の多孔板の縦溝のピッチと深さ 0.1mm に対して幾何学的に相似になっ

ている。また、上流側の穴のエッジに丸みを付けた単孔板は 1 種類である。さらに、エンドミル加工の代表として穴径 $d=30.0$ mm, 開口比 $\beta=0.35$, 板厚 $t=2.5$ mm の黄銅製多孔板と、レーザー加工の代表として穴径 $d=5.0$ mm ($h=0.1$ mm), 開口比 $\beta=0.35$, 板厚 $t=0.4$ mm のステンレス製多孔板を用いた。計測は XZ 断面内で行い、孔中心軸上で $Z/d=2$ の時間平均流速を代表流速 U_e とした。

3. 変動速度成分に対するレイノルズ数の影響

実験結果の一例として穴径 $d=3\sim 30$ mm, 開口比 $\beta=0.35$ の多孔板下流における $X/d=0.0$ での Z 軸方向の変動速度 u の rms 値の分布を図 2 に示す。図の縦軸は u を U_e で無次元化したものであり、横軸は Z/d である。レイノルズ数 Re を式 (1) に示す。穴径が異なるそれぞれの多孔板に対して、 U_e の値をほぼ等しく与えているためレイノルズ数 Re は穴径にほぼ比例している。

$$Re = \frac{U_e d}{\nu} \quad \nu: \text{動粘度} \quad (1)$$

Fig.2 Fluctuating Component of Velocity for Perforated Plate ($\beta=0.35$)

この図を見ると、どの条件においても $Z/d=3\sim 4$ で最大値をとり、その後下流へ減衰している。 $d=7.5\sim 30$ mm の多孔板の最大値はほぼ一致している。 $d=3, 5$ mm ($h=0.1$ mm) の多孔板の最大値は $d=7.5\sim 30$ mm の多孔板の最大値に比べて小さくなっている。

そこで、レイノルズ数に対して図の各多孔板における u/U_e の最大値 $(u/U_e)_{\max}$ をプロットした結果を図 3 に示す。これを見ると $d=7.5\sim 30$ mm の多孔板における $(u/U_e)_{\max}$ の値はレイノルズ数の変化にかかわらず、ほぼ等しくなっている。 $d=3, 5$ mm ($h=0.1$ mm) の多孔板における $(u/U_e)_{\max}$ の値は $d=7.5\sim 30$ mm の多孔板における $(u/U_e)_{\max}$ の値に比べて小さくなっている。特に $d=30$ mm, $Re=9957$ と $d=3$ mm, $Re=8739$ 及び $d=5$ mm ($h=0.1$ mm), $Re=12484$ の条件を比べてみるとレイノルズ数はほぼ等しいが $(u/U_e)_{\max}$ の値は $d=3, 5$ mm ($h=0.1$ mm) の多孔板の場合の方が極端に小さくなっている。これにより $d=7.5\sim 30$ mm の多孔板における $(u/U_e)_{\max}$ の値と $d=3,$

5mm ($h=0.1$ mm) の多孔板における $(u/U_e)_{\max}$ の値が異なるのはレイノルズ数の影響ではないことが分かる。

Fig.3 Fluctuating Component of Velocity for Reynolds number

4. 単孔板及び多孔板下流の変動速度成分

図4に $X/d=0.0$ における Z 軸方向の変動速度 u の rms 値を U_e で無次元化したものの一例を示す。なお、系列の S, M はそれぞれ単孔板と多孔板を示している。溝なし単孔板 ($h=0.0$ mm) について見てみると、単一噴流であるため周りの噴流からの干渉を受けることなく、 u は $Z/d=6$ 付近までは急激に増加し、 $Z/d=8$ 付近でピーク値をとっている。これは、既報⁽⁴⁾の結果と同様であった。さらに下流へ行くと乱れの拡散により u は急激に減少している。 $d=30.0$ mm, $\beta=0.35$ の多孔板と $d=5.0$ mm ($h=0.1$ mm), $\beta=0.35$ の多孔板について見てみると、集合噴流であるので隣接する渦同士が干渉し合うため、 u のピーク位置は単孔板に比べてより上流の $Z/d=5$ となっている。さらに下流へ行くに従って u は減衰している。また、多孔板における u のピーク値は $d=5.0$ mm ($h=0.1$ mm), $\beta=0.35$ の多孔板の方が、 $d=30.0$ mm, $\beta=0.35$ の多孔板よりも小さくなっている。

Fig.4 Fluctuating Component of Velocity for Perforated Plate and Single Hole Plate

5. 単孔板及び多孔板下流の周波数成分

単孔板及び多孔板下流の噴流中心軸上 ($X/d=0.0$) と噴流せん断層付近 ($X/d=0.5$) における u 及び v を U_e で無次元化したものを FFT 処理した。

図は省略しているが、 $Z/d=2$ ではどの条件でも分布はほぼ平坦になっていた。さらに下流の $Z/d=12$ では、 $d=30$ mm ($h=0$ mm) の単孔板はまだ分布がほぼ平坦であるのに対し、 $d=30$ mm の多孔板では低周波成分が高周波成分より多く含まれる分布となっていた。これは単一噴流よりも集合噴流の方が、大規模な組織渦が早く崩壊することを意味している。

実験結果の一例として図5に $Z/d=20$ での周波数分析結果を示す。図中の (a)~(c) はそれぞれ (a) $d=30$ mm ($h=0$ mm) の単孔板、(b) $d=30$ mm, $\beta=0.35$ の多孔板、(c) $d=5$ mm ($h=0.1$ mm), $\beta=0.35$ の多孔板における結果を示している。 U_e はいずれも $39\sim41$ m/s の範囲である。

これらを見ると、 $d=30$ mm ($h=0$ mm) の単孔板と $d=30$ mm の多

孔板では、低周波成分が多く含まれる分布となっている。この $Z/d=20$ の断面において大規模な渦はすでに崩壊しており、変動速度の低周波成分が多く残っていることを示している。この傾向は縦溝付きの単孔板でも同様であった。それに対して $d=5$ mm ($h=0.1$ mm) の多孔板では分布がほぼ平坦になり、低周波成分が少ないことが分かる。このことから、 $d=30$ mm ($h=0$ mm) の単孔板と $d=30$ mm の多孔板の場合のような大規模な渦が発達していないと推察される。

(a) S $d=30$ mm ($h=0.0$ mm), $U_e=41.0$ m/s

(b) M $d=30$ mm, $\beta=0.35$, $U_e=38.7$ m/s

(c) M $d=5$ mm, $\beta=0.35$, $U_e=38.7$ m/s

Fig.5 Energy Spectrum ($Z/d=20$)

6. 結 論

単孔板及び多孔板下流の変動速度 u を調べることで以下のような結論が得られた。

1. $d=3, 5$ mm の多孔板における $(u/U_e)_{\max}$ の値が $d=7.5\sim30$ mm の多孔板における $(u/U_e)_{\max}$ の値より極端に小さくなるのは、レイノルズ数の影響ではない。
2. $d=5.0$ mm ($h=0.1$ mm) の多孔板下流では大規模な組織渦が発達しにくいと推察される。

参考文献

- (1) W.D. Baines and E.G. Peterson, Trans. ASME, 73(1951), 467
- (2) 周 效雷・ほか2名, 機講論 No.018-1, (2001), 149
- (3) 米盛 友博・ほか3名, 機講論 No.038-1, (2003), 135
- (4) 湯 晋一・ほか2名, 機論 55-520, B(1989), 3651