The Characteristics of Turbulence Decaying in the downstream of the Perforated Plate with Rectangular Holes, Part 2.

○学 甲斐 智樹(鹿児島大・院)

学 宮崎 靖大(鹿児島大・院)

正 大高 武士(鹿児島大学)

正 門 久義(鹿児島大学)

Tomoki KAI and Yasuhiro MIYAZAKI, Kagoshima University, Korimoto 1-21-40, Kagoshima.

Takeshi OTAKA and Hisayoshi KADO, Kagoshima University, Korimoto 1-21-40, Kagoshima.

Key word : Pipe Flow, Turbulent Flow, Turbulence, Decaying, Perforated Plate, Rectangular holes

1. 緒 論

近年, 各種工業プラントの大規模化に伴い, 配管内流量計の上流側直管長さを確保することが困難になり, 短い管路長さで発達した流れを生成する整流技術が研究されてきた.^{(1)~(5)} 本研究においては, 多孔板により発達した流れの速度成分と乱れの分布を同時に生成することにより, 完全に発達した流れを発生させることを目指す. この技術は, 環境風洞などで地表面に生ずる境界層の生成や, 構造物周りの流れやビル風などの解析に役立つ.

丸穴多孔板⁽⁶⁾よりも矩形穴の方が自由度が大きいため, 本研究の目的は矩形穴多孔板を用い, 速度分布, 乱れ分布, レイノルズ数分布を調べ, 多孔板下流の乱れ強さとその減衰特性を明らかにし, 実験式を求めることである. なお, 本報告では乱れ減衰特性式の誘導について報告する.

2. 実験装置及び方法

矩形穴孔多孔板は全て板厚 t が 1.5mm のアクリル製とし, レーザー加工機により孔加工をした. その際, 既報⁽⁷⁾において, 多孔板下流側の減衰はアスペクト比に影響されていることがわかったので, 本報告では多孔板の矩形穴のアスペクト比 a/b を1, 3, 5とした. 供試多孔板の概略をFig.1に示す. 矩形穴の分布は図示のようにであり, 長辺を a , 短辺を b , X , Y 方向のピッチを l_x , l_y とした. これらの穴は, 150×150mm の範囲に開けられている. 多孔板の幾何学的諸量を式(1)~(4)に示す. 実験装置の概略は省略するが, 送風機により大気中から吸込まれた空気は低乱風洞を経て 150×150mm の吹出し口から矩形穴多孔板を通過した後, ダクト内を流下する. 正方形吹出し口に取付けられた多孔板下流の時間平均流と乱れ速度成分をX型熱線流速計で計測した. 流れ方向の座標 Z は, 多孔板下流側端面中央を原点として下流方向へ, X , Y 軸はそれぞれ水平, 鉛直方向とした. 実験において, ダクト内の流速分布がほぼ一様になる十分に下流の断面における時間平均流速を代表流速 U_c とし, レイノルズ数は代表流速 U_c , 相当直径 d , 動粘性係数 ν を用いて式(5)で定義する. また, 実験条件をTable 1に示す.

$$\text{相当直径} \quad d = \frac{2ab}{a+b} \quad (1)$$

$$\text{開口比} \quad \beta = \frac{ab}{l_x l_y} \quad (2)$$

$$\text{厚比} \quad t/d \quad (3)$$

$$\text{アスペクト比} \quad a/b \quad (4)$$

$$\text{レイノルズ数} \quad Re = \frac{U_c \cdot d}{\nu} \quad (5)$$

Fig.1 Outline of Perforated Plate

Table 1 Experimental Conditions

d (mm)	a/b	β	Re
5	1	0.3	2000
		0.4	
		0.6	
7	3	0.3	3000
		0.4	
		0.6	
9	5	0.3	4000
		0.4	
		0.6	

3. 矩形穴多孔板下流の乱れ減衰特性

Fig.2 は多孔板下流に生ずる乱れの一例である. 縦軸は乱

れ $q_i = \sqrt{(u^2 + v^2)}/2$ を代表流速 U_c で無次元化した乱れ

強さである. 図よりレイノルズ数の差によって, 減衰傾向は勾配が同じであるが絶対値に違いがあることがわかる. また, 減衰がほぼ直線になっていることから, 乱れ強さの減衰は式(7)の累乗式で近似できる.

$$\frac{q_i}{U_c} = A \left(\frac{Z}{l} \right)^\alpha \quad (7)$$

減衰領域について乱れ強さを最小自乗近似し, それぞれの条件に対して A , α を求められる. ここで A はレイノル

ズ数の関数で、 α は一定値である。その結果、 A はレイノルズ数の関数として式(8)の第一式となった。

$$A = \frac{B}{Re^{0.004}}, \quad \frac{q_t}{U_c} = \frac{B}{Re^{0.004}} \left(\frac{Z}{l} \right)^{\alpha} \quad (8)$$

Fig.3 は、アスペクト比のみが異なる一例である。縦軸は式(8)のレイノルズ数の影響を考慮している。図より減衰の勾配はほぼ同じで絶対値が異なっていると考えられるので、式(8)第2式の B はアスペクト比の関数となる。したがって、それぞれの条件に対し B のアスペクト比依存関係を求めると式(9)第一式となった。

$$B = \frac{C \cdot (a/b)^{0.15}}{Re^{0.004}}, \quad \frac{q_t}{U_c} = \frac{C \cdot (a/b)^{0.15}}{Re^{0.004}} \left(\frac{Z}{l} \right)^{\alpha} \quad (9)$$

Fig.4 は、開口比のみが異なっている例である。縦軸はレイノルズ数、アスペクト比の影響を考慮している。減衰傾向は開口比により絶対値が異なっており、式(9)第2式の C は式(10)第1式のように求まる。

$$C = D \cdot (a/b)^{0.15}, \quad \frac{q_t}{U_c} = \frac{D \cdot (a/b)^{0.15}}{Re^{0.004} \cdot \beta^{0.77}} \left(\frac{Z}{l} \right)^{\alpha} \quad (10)$$

Fig.5 は、厚比 t/d が異なっている。縦軸は、式(10)第2式のレイノルズ数、開口比、アスペクト比への依存関係を考慮した値である。乱れ強さの減衰傾向は、絶対値と勾配が異なっており、他の実験条件も含め式(10)第2式の D と α の t/d への依存関係を求めた。

$$\alpha = 0.0407(d/t)^2 - 0.4091(d/t) + 1.7701 \quad (11)$$

$$D = 0.0359(d/t)^2 - 0.3516(d/t) + 1.1449 \quad (12)$$

以上の結果より、矩形穴多孔板下流の乱れ減衰特性は、レイノルズ数、開口比、アスペクト比、厚比の関数として式(13)のように表され、全ての実験結果と式(13)を比較した結果を図6に示す。

$$\frac{q_t}{U_c} = \frac{\left(\frac{a}{b} \right)^{0.15} \left\{ 0.0359 \left(\frac{d}{t} \right)^2 - 0.3516 \left(\frac{d}{t} \right) + 1.1449 \right\}}{Re^{0.004} \beta^{0.77}} \times \left(\frac{Z}{l} \right)^{\left\{ 0.0407 \left(\frac{d}{t} \right)^2 - 0.4091 \left(\frac{d}{t} \right) + 1.7701 \right\}} \quad (13)$$

Fig.2 Turbulent decays owing to Re .

4. 結 論

矩形穴多孔板の乱れ減衰特性式(13)の適用範囲は、 $Z/l \geq 9$, 孔径 $d=5.0 \sim 9.0$ mm, 開口比 $\beta=0.3 \sim 0.4$, 厚比 $t/d=1/6 \sim 3/10$ でレイノルズ数 $Re=2000 \sim 4000$, アスペクト比 $a/b=1 \sim 3$ である。この式により、矩形穴多孔板の開口比、厚比、レイノルズ数、アスペクト比、代表孔ピッチが分か

Fig.3 Turbulent decays owing to a/b .

Fig.4 Turbulent decays owing to β .

Fig.5 Turbulent decays owing to t/d .

Fig.6 General law of turbulent decaying in the downstream of the perforated plate with rectangular holes.

れば、下流断面内の平均乱れ強さを予測できる。

参考文献

- (1)Adler, A.A., Naca CB L5F-28 1946
- (2)Bainea W.D., and Peterson E.G., Trans. ASME, 73 1951
- (3)鳥居・他2名, 機工大研究報告, B-5 1980
- (4)門久義・他4名, 機論, 51-461, B(1985), 106
- (5)Sprenkle, R.E., Trans. ASME, 67 1945
- (6)周效雷, 空気調和・衛生工学会論文集 No.91, (2003)
- (7)宮崎靖大・他2名, 日本機械学会九州支部, No.078-1, P91, (2007)