長方形切欠を加えた長方形噴流の流れ場の可視化

藤田 重隆[○](徳山高専), 張間 貴史(徳山高専), 大坂 英雄(山口大工)

Flow Visualization of the Flowfield of Rectangular Jet with a Rectangular Notch

Shigetaka Fujita, Takashi Harima and Hideo Osaka

ABSTRACT

The purpose of this study is to manipulate the characteristics of the three dimensional jet issuing from rectangular nozzle (aspect ratio; $AR=12.5$) using a rectangular notch (notch aspect ratio; $NAR=2.5, 7.5, 12.5$ and 165). The flow visualization of the present three dimensional jets using a water channel, has been made to examine the effect of the difference of NAR on the development of vortex structure at Reynolds number $Re(=Ue \times d/\nu)=500$ through-out this experiment. From the experiment, it was clarified that the streamwise variation of the vortex filament showed different development according to the magnitude of NAR .

Keywords: Rectangular Jet, Rectangular Notch, Flow Visualization, Vortex Structure

1. 緒 論

本研究は, アスペクト比(AR)が 12.5 の長方形ノズルの中央に, アスペクト比が異なる長方形切欠ノズル(切欠のアスペクト比; NAR)を十字形に直交させた三次元ノズルから流出する三次元自由噴流の流れ場¹⁾について調べ, 長方形切欠により長方形噴流の流れ場の発達特性を制御することを目的とする. すでに, 本流れ場の両長軸噴流上に存在する噴流中心向きの二次流れ¹⁾は, NAR の値によりその大きさと向きが変化し, 流れ場の発達に大きく影響することを明らかにした. この二次流れは, 本流れ場の発達に大きな影響を与える大渦と密接な関連が予想され, これらの関係を調査することが本流れ場の発達特性をより詳しく理解する上で重要である.

これまで, 豊田らにより長方形噴流²⁾, さらにアスペクト比の小さい十字形噴流³⁾の可視化結果が報告されて

いるが, 長軸上の噴流中心向きの二次流れと大渦の関係についてはふれていない.

そこで本報告では, 本三次元噴流場を可視化し, まず長方形切欠の NAR の違いが本流れ場の大渦の発達に与える影響について調べた.

2. 実験装置および方法

Fig.1 は, 可視化実験に用いた実験装置および座標系を示す. 使用した長方形ノズルおよび長方形切欠のノズル幅 d は 10mm で, 長方形ノズルのアスペクト比 AR は 12.5 である. 一方, 長方形切欠のノズル長さ l は, 25mm, 75mm および 125mm で, それぞれ $NAR=2.5, 7.5$ および 12.5 である. 本実験では, ノズルより下流の開水路内の水を染料(フルオレセインナトリウム)によって一様に着色し, 着色されていない透明な水をノズルから噴出することにより, 可視化する. 実験を通して Re 数($Ue \times d/\nu$)は, $500(Ue \approx 6\text{cm/s})$ の一定に保った.

3. 実験結果および考察

3.1 x/d =一定断面内の可視化

まず, 流れ場の発達の概要を把握するために, 長方形噴流($NAR=0$), $NAR=7.5$ および $NAR=12.5$ の切欠噴流の $x/d=1, 5$ および 10 断面における可視化画像の流れ方向変化を, それぞれ Fig.2(a), (b)および(c)に示す.

まず, $NAR=0$ の $x/d=1$ 断面では, 長方形ノズル出口形状に近い形状であるが, すでに長軸端角部が丸くなっているのがわかる. $x/d=5$ 断面では, 噴流中心向きの二次流れ¹⁾により長軸長さが短くなるが, 長軸端での渦糸が長軸外向き方向に伸びている. さらに $x/d=10$ 断面では, $x/d=5$ 断面に比べ z 方向における噴流幅がさらに小

Fig.1 Experimental equipment and coordinate system.

Fig. 2 Flow visualization of the flowfield at the $x/d=\text{constant}$ section.

さくなっている。 $NAR=7.5$ の $x/d=1$ 断面もほぼノズル形状を示し、その長軸端は丸みを帯びている。 $x/d=5$ 断面では長方形ノズルおよび切欠軸の長さが噴流中心向きの二次流れのためにともに短くなり、両軸端では軸の外向きに伸びた渦糸が縦渦を形成している。噴流中心の直角角部では、外向きの二次流れのために渦糸が大きく $y=\pm z$ 方向の外向きに伸びる。さらに、 $NAR=12.5$ の $x/d=1$ 断面も十字形状であり、長軸端部の角部も丸くなっている。 $x/d=5$ 断面では、長方形ノズルおよび切欠軸長さが減少し、軸端では縦渦を形成している。噴流中心の直角角部では、 $y=\pm z$ 方向の外向きの二次流れ U により、外向きに渦糸が伸びている。 $x/d=10$ 断面では、さらに軸長さが短くなり、噴流中心向きの二次流れと大渦による三次元的変形のため、十字形状が崩れ始める。

3.2 渦構造の流れ方向変化

Fig. 3 および Fig. 4 は、Fig. 2 および図示していないが $x-y$ 平面および $x-z$ 平面の流れ場全体の可視化結果に基づいて描いた渦構造のモデルの $NAR=0$ および $NAR=12.5$ の場合の流れ方向変化を示す。まず Fig. 3 のの長方形噴流の渦糸は、上流域では長方形ノズル出口形状に近い形を示す。下流にいくにつれて噴流中心向きの二次流れにより噴流幅を減少させながら形分布を示し、同時に y 方向に振動しながら流下する。また、先端部の渦は自己誘起速度により変形 $2)$ して渦糸形状となるが、その渦糸は周囲の静止流体により上流側に引き伸ばされる。次に Fig. 4 の $NAR=12.5$ の場合の渦も、

Fig. 3 3-dimensional model of vortices for the rectangular jet.

Fig. 4 3-dimensional model of vortices for the rectangular jet with a rectangular notch.

上流域では十字形ノズルの出口形状に近い形を示す。長方形ノズルおよび切欠軸上では、噴流中心向きの二次流れ U により y 方向の噴流幅を減少させながら形分布を示す。同時に、自己誘起速度により軸端の渦は糸状に変形し、周囲の静止流体により上流側の外向きに引き伸ばされる。一方、噴流中心領域の直角角部では $y=\pm z$ 方向の外向きの二次流れ U が大きいため、外向きに渦糸が突出する。その後、周囲の静止流体のために、渦糸は $y=\pm z$ 方向に伸びつつ上流側に巻き込まれる。

4. 結 言

アスペクト比が 12.5 の長方形ノズルの中央に、アスペクト比が異なる長方形切欠ノズルを十字形に直交させた三次元ノズルから流出する三次元噴流場を可視化し、流れ場の渦構造の発達の違いを若干明らかにした。

参 考 文 献

- 1) 藤田重隆, 張間貴史, 大坂英雄: “中央に長方形切欠を持つ長方形ノズルから流出する乱流噴流 (第 1 報, 平均速度場)”, 日本機械学会論文集 B 編, Vol. 72, No. 717 (2006), pp. 1159-1165.
- 2) 豊田国昭, Hussain A. K. M. F.: “非円形噴流中の渦構造に関する研究”, 日本機械学会論文集 B 編, Vol. 55, No. 514 (1989), pp. 1542-1545.
- 3) 豊田国昭, Hussain A. K. M. F.: “十字形噴流中の渦構造に関する研究”, 日本機械学会論文集 B 編, Vol. 55, No. 518 (1989), pp. 3205-3209.