B216 短冊板群内における 衝突噴流の流れの可視化

福山大学 梅田眞三郎[○]、ミシガン大学 Wen-Jei YANG、福山大学大学院 高橋俊正

Visualization of Flows Normal to Slot-Perforated Plate Bundles

Shinzaburo UMEDA*, Wen-Jei YANG** and Toshimasa TAKAHASHI*

It is important to study mechanisms of flow networks arranged in an in-line or staggered order by flow visualization methods. An experimental study was performed to disclose the flow characteristics in newly typed flow networks with which slot-perforated plate bundles are arranged in different types. The flow patterns were visualized by the tracer method and LDV. The secondary flow with vortices and the flow-induced vibration are visible in the plate bundles. It is disclosed that the difference of vortices occurring in the slot-perforated plate bundles depends on their arrangements.

1. まえがき

筆者らは、菱形のネットワーク管路内の流れの特性¹⁾を明らかにしてきた。本研究では、流体制御等に応用可能な新しいネットワーク形状の決定を目的とし、短冊板群内における隙間からの噴流と剝離に伴う渦の挙動を明らかにする可視化計測実験を行った。可視化手法には、注入トレーサ法や二次元レーザ流速計(LDV)などを用いた。

2. 実験方法

Fig.1に示すような循環水路に、幅5mm、厚さ10mmに対して長さが25mmと45mmの2種類の短冊板を直列及び千鳥配列とした短冊板群内の管路を設置した。今回は、Fig.2に示すような短冊板の隙間を5mmとする直列配列、千鳥配列及び十字型短冊板の千鳥配列のものを6種類選んだ。直列配列のものは、短冊板の隙間の中心を結ぶ線が平行直線になっている。一方、千鳥配列のものについては、交差管内の流れの可視化結果^{1), 2)}を考慮して隙間の中心線の交差角が30°及び60°となるものを選んだ。以下の説明にあたって、短冊板の並びを流下方向に向かって順次第1列、第2列……

Fig.1 Schematic of experimental setup

*Dept. of Civil Eng., Fukuyama Univ., Gakuen-cho, Fukuyama 729-02, Japan

**Dept. of Mechanical Eng., G.G. Brown, Ann Arbor, Michigan 48109-2125, U.S.A.

という名称を用いる。

短冊板群内の流線の可視化には、イオン交換樹脂のハイポラス・ポリマ粒子によるトレーサ法を用いた。一方、LDVを用いて短冊板群内での流速測定を行った。上記6種類の短冊板に対しては、Fig.1に×印で示す短冊板の第1列目より5cm上流側の中央測点及び奇数列目での各中央での隙間の背後の測点でそれぞれ流速測定を行った。さらに Type 30-2 と Type 60-1については、Fig.2(c) と (e) に網掛けで示している有孔部において詳細な流速測定を行った。また、短冊板の隙間の背後の点では、底に小さな穴を開けて、ピエゾ水頭の測定も行った。なお、上流側水位 H_u を 10、20、30、40 及び 55cm までの5種類に変化させ、下流端流量の測定を行った。その流量を管路横断面における隙間の全断面積で割って一つの隙間での平均流速 U を求めた。また隙間の断面積 A と潤辺 P による水力直径 $d_h = 4A/P$ からレイノルズ数 $Re, \mu = U \cdot d_h / \nu$ を求めた。

3. 実験結果と考察

3.1 流線の可視化

上流側水位を55cmとした場合の短冊板群内での流線をトレーサ法を用いて可視化した。紙面の都合でその結果の二例を Photo.1と2に示す。短冊板間の有孔部には、短冊板の隙間からの噴流の左右の板の縁による剝離や下流側の短冊板との衝突などによって逆流も生じている。それらの逆流域にみられる渦に対して、便宜的に前者を剝離渦、後者を衝突噴流渦と名づけ、以下の説明に用いる。

まず、Photo.1に示す 30° 交差配列とした Type 30-2 では、全体に剝離渦と衝突噴流渦がはっきりとみられる。偶数列背後の剝離渦はほぼ対称的に、しかも大きく鮮明に現れて

Fig.2 Types of plate bundles

Photo.1 Visualization of vortices (Type 30-2)

Photo.2 Visualization of vortices (Type 60-1)

みられる。さらに下流端の出口では、流脈が左右にはっきりと振動した Flip-flop 流れのような現象が実験でみられた。

次に、交差配列を 60° にした Type 60-1 での結果を示す Photo.2 では、全体にわたって鮮明で、しかも大きさもほとんど同じ双子型の衝突噴流渦だけがみられる。 30° 交差配列のような不安定な流れと異なり、衝突噴流渦が噴流方向の左右で対称性を示す特徴的な流れとなっている。また下流端の流出口の流脈は、やや振動を含んで広がる形の流出状況を示している。これは、前面までの衝突噴流渦の旋回の影響によるものと思われる。

3.2 有孔部内での流速及び渦度分布

流線の可視化から明らかなように、 30° と 60° の交差配列形状の違いにより短冊板内の有孔部における流況が大きく異なっている。そこでそれぞれの交差配列形状を代表する形で、Fig.2 に網掛けで示した Type 30-2 及び Type 60-1 における有孔部内での流速測定を行った。Type 30-2 については、短冊板背後に剝離渦が形成されている部分とそうでない部分が存在するので、それぞれの2箇所での測定を行った。得られた結果の流速ベクトル図を Fig.3 と 4 に示す。図の縦・横の大きさの関係により上流側が図面の上にくるようにしたために、前述の流線の可視化写真結果と異なった向きとなっている。

Fig.3 の流速ベクトル図から明らかなように、流線の可視化写真結果にみられた渦の形成がベクトル図からも理解することができる。Fig.3(a)での剝離渦を形成していると思われる付近の流速が大きく現れ、有孔部の中央から下流側の流出口に向かう流れもみられる。(b) 図では、その下流側への流出流れは左右両側にみられ、中央部の下流側流出流速は(a)の場合に比べかなり小さくなっているのが特徴的である。

一方、Fig.4 に示す Type 60-1 でも、流線の可視化写真結果と同様の渦の形成を理解することができる。前図の Type 30-2 に比べると、全体的に流速が小さくなっていること及び下流側の3つの流出口での流速差も小さいことが明らかとなっている。すなわち、有孔部中央縦断線に対して対称的な流れを形成しているのが明らかとなっている。

次に、流速ベクトル成分 u と v から渦度 ω を求めた。それらの等渦度分布の結果を Fig.5 及び 6 に示す。それらの図は、渦度の絶対値の最大で割った

(a)Center zone

(b)Right zone

Fig.3 Velocity distribution in perforated zone for Type 30-2

Fig.4 Velocity distribution in perforated zone for Type 60-1

無次元表示を行っている。それらの ω 値は、Fig.5 (a)、(b) 及び Fig.6 に対して、それぞれ -202.1、-164.1及び -113.8(1/sec)である。流速ベクトル図と同様、渦を形成している部分に対応した形で、それぞれの等渦度線図に閉曲線コンターがあらわれている。

3. 3 全圧力損失

短冊板第1列目より 5cm上流側測点から下流側の最終測点における流速及び圧力測定結果からそれぞれの速度水頭と圧力水頭の和であるエネルギー水頭の差である全圧力損失 ΔP_t を求めた。短冊板の隙間に関係するRe数 Re_m に対するそれぞれの形状での測点間距離 L で無次元化した全圧力損失比 $\Delta P_t / L$ の結果をFig.7に示す。Re数の増加とともに全圧力損失比が増大している。また配列形状の違いによっても全圧力損失比が異なっている。特に、他の配列形状のものに比べると、Type 30-2 や Type 60-0 の場合には、同じ Re_m に対して全圧力損失比が小さくなっている。

4. 結論

注入トレーサ法やLDVを用いて配列や大きさの異なる短冊板群内の流れの可視化を行った結果、

(1) 30° や60° 交差配列のような短冊板の配列形状による短冊板群内での渦の形成の違い

(2) 短冊板群管路でのRe数に対する全圧力損失特性などを明らかにすることができた。

なお、本研究を進めるにあたって「財団法人中国電力技術研究財団」及び「ウエスコ土木技術振興基金」による研究助成を得た。ここに記して謝意を表する。

<参考文献>

- 1) 梅田眞三郎、Wen-Jei YANG：ネットワーク管路における流況特性、可視化情報、Vol. 16、No.61(1996)、28-36
- 2) 梅田眞三郎、Wen-Jei YANG：鉛直交差管内の流れの可視化－抵抗と流量特性－、可視化情報、Vol. 15、No.59(1995)、41-46

(a) Center zone

(b) Right zone

Fig.5 Equi-vorticity distribution in perforated zone for Type 30-2

Fig.6 Equi-vorticity distribution in perforated zone for Type 60-1

Fig.7 Change of $\Delta P_t / L$ versus Re_m