205 菱形角柱背後の渦の可視化

梅田眞三郎 (福山大学), Wen-Jei Yang (ミシガン大学), 神原英知 (福山大学大学院)

Visualization of vortices in the wake of a diamond-shaped cylinder

Shinzaburo UMEDA, Wen-Jei YANG and Hidetomo KANBARA

ABSTRACT

The turbulence flow around a square or diamond-shaped cylinder has received far less attention than the flow around a circular cylinder. An experimental study was performed to visualize the wake flow behind a diamond-shaped cylinder. Two kinds of aspect ratios $d/w=10.0$ and $d/w=1.0$ are selected in the experiment, where d is a depth of the duct and w is a width of the cylinder. The wake flows are visualized at a top view, a side view and front views using the fluorescein dye illuminated by a laser light sheet. It is shown that the three dimensional longitudinal vortices appear in the wake flow behind the diamond-shaped cylinder.

1. まえがき

物体背後の後流には渦が発生し、Reynolds数が大きくなるにつれて顕著なカルマン渦列が発現することが知られている。筆者ら¹⁾は、菱形ネットワーク管路での流路内に発生する渦が連結振動を起こし、その管路末端の噴流がCoanda効果とともに振動するFlip-flop流れが起こることを発見している。このような流路内での渦は、三次元的挙動を示し、種々のネットワーク管路を流体力学での制御として応用して行くにあたっては、その流況及び振動の解明の基礎的な研究が重要と思われる。

本研究では、菱形を研究対象物体に選び、その単一物体まわりの流れの乱れと渦の可視化に関する基礎的研究を試みた。今回は、菱形角柱の代表長さ w に対する管路水深 d の比であるアスペクト比 d/w を変化させた場合の単一菱形角柱まわりの流れに関する可視化実験を行った。可視化にあたっては、蛍光染料による注入トレーサ法を用いた流線の可視化や二次元レーザ流速計(LDV)を用いて流速及びその変動の計測を行い、角柱背後の乱れ特性の解明も試みた。紙面の都合でLDVに関連する結果は、発表時に示して説明を行う。

2. 実験方法

実験装置の概要をFig.1に示す。今回は、菱形の

頂角が 90° となる正方形角柱とし、流れの横断方向の角柱幅 w が6mmと60mmの2種類の角柱を選んだ。アスペクト比 d/w は、10倍と1倍であり、ここでそれらをType AとType Bと名づける。上流側水槽水位 H_u と下流側の逆L字型助走管路末端の穴の数を調節することによって角柱まわりの流れを変化さ

Fig.1 Schematic of experimental setup

せた。その場合のRe数については、管路の平均流速 U_0 を代表流速とし、角柱幅 w を代表長さを選んだ。角柱及び管路は流れの可視化のために透明アクリル板にて製作した。注入トレーサ法での染料の注入にあたっては、角柱の底及び上流側前面の2辺の中央位置を連結する形で小さな穴をあけ、その前面位置から染料が流出するようにし、注入時の乱れを軽減する工夫を試みた。蛍光染料としてフルオレセインを用いてレーザシート光の投入による流線の可視化を行った。上方及び側方からの可視化以外に、実験装置の工夫から下流側管路正面にもカメラを設け、角柱背後の横断面にレーザ光を照射し、その断面を下流側の前方から可視化した。

3. 実験結果と考察

注入トレーサ法を用いた角柱まわりの流れの上方、側方及び後方から可視化を行った結果の数例をFig.2～6に示す。後方からの写真撮影断面位置は、

Fig.2 Flow pattern behind cylinder for Type A ($Re=30$)

角柱の代表長さ w を考慮して3断面を選んだ。 $w=6\text{mm}$ のType Aでは、角柱中心からの距離が $x=6, 12$ 及び 18mm とし、 $w=60\text{mm}$ のType Bでは、 $x=30, 60$ 及び 90mm とした。なお、紙面の都合でType Aの $x=12\text{mm}$ の断面での結果は省略している。

まず、角柱幅が 6mm でアスペクト比が10倍の小さい角柱のType Aの場合の結果については、Re数が非常に小さい場合には、流線はほとんど直線的に流れ、その流線の変化も小さい。Re数が30となったFig.2では、(a)に示されるようにわずかながら流線の変化があらわれ、下流側ではわずかな振動もみられるようになっている。側方(b)での流線も上下に広がり、幅を持った変化となっている。また、角柱のすぐ後方に位置する断面(c-1)での結果も流線が少し広がり、それより後方に位置する(c-2) (写真省略) 及び(c-3)の下流側断面では流線が四方へ広がり、縦渦の形成と振動もみられる。その広がり幅が角柱の代表長さの w と同程度となっている。

Fig.3 Flow pattern behind cylinder for Type A ($Re=120$)

(a) Top view

(b) Side view

(c-1) Rear view
(Section: $x=30\text{mm}$)

(c-2) Rear view
(Section: $x=60\text{mm}$)

(c-3) Rear view
(Section: $x=90\text{mm}$)

Fig.4 Flow pattern behind cylinder for Type B($Re=160$)

(a) Top view

(b) Side view

(c-1) Rear view
(Section: $x=30\text{mm}$)

(c-2) Rear view
(Section: $x=60\text{mm}$)

(c-3) Rear view
(Section: $x=90\text{mm}$)

Fig.5 Flow pattern behind cylinder for Type B($Re=290$)

(a) Top view

(b) Side view

(c-1) Rear view
(Section: $x=30\text{mm}$) (c-2) Rear view
(Section: $x=60\text{mm}$) (c-3) Rear view
(Section: $x=90\text{mm}$)Fig.6 Flow pattern behind cylinder
for Type B ($Re=800$)

さらに Re 数を上げていくと、カルマン渦列振動が顕著にあらわれ始め、後方結果での流線の変化も大きくなっている。Fig.3 に示す $Re=120$ の場合には、左右の対になったカルマン渦の旋回が大きくなり、しかも流れ方向に向かって左右や上下への振動も大きくなっている。側方及び後方からの写真結果からもそれらの振動が明らかとなり、その振動幅も代表長さ w の3倍以上となっている。

次に、代表長さを10倍にしてアスペクト比を1倍にしたType Bでは、Fig.4(a)に示す $Re=160$ の場合の角柱背後に双子型の渦の形成がみられる。(b)の側方からの結果をみると、上流側へ逆流する形の流況を示している。(c-1)から(c-3)に示す後方からの結果では、角柱背後にまわり込んだ流線が左右でつながった形を示し、また前述の小さい角柱に比べ上下方向に広がった変化も示す複雑なものとなっている。三方向からの流況を同時に考察してみると、角柱の前面からの左右の流線が角柱の後流域の下流側へ流れた後に中央部分を経由して逆流し、角柱のすぐ背後でわずかに旋回し、再び下流へ流れていると思われる。すなわち、角柱背後の流れがはっきりとした三次元流れとなっていると思われる。 Re 数を290に増加させたFig.5の結果では、角柱まわりの左右の主流と後流とのせん断層付近の流線には、振動がみられる。また(b)の側方からの結果でも渦が形成され、(c-1)~(c-3) に示す後方の結果ではかなり大きく流線が変動している。特に(c-3)に示す下流側断面では、左右への動きが大きく片寄った場合もみられた。すなわち、せん断層付近に縦渦を形成し、それが下流側に向かうにつれてねじれも生じていることを想像することができる。さらに、 $Re=460$ (写真省略)や800の場合のように流速を増大させると、Fig.6のような大変複雑な流動を示すようになった。上方からの結果における左右のせん断層付近や側方及び後方でのそれぞれの流動に関しては、いずれの写真でも渦の形成がみられる三次元流れとなり、しかもその動きが非定常となっているのを実験時に観察することができた。

4. 結論

角柱の代表長さと管路水深の比であるアスペクト比の違いによる流れの変化を注入トレーサ法により可視化した結果、アスペクト比が大きく、 Re 数が小さい場合には、角柱背後の流れにはわずかながら二次元性がみられるが、 Re 数が大きくなるにつれて、またはアスペクト比が小さい場合には完全に三次元流れとなっていることが明らかとなった。

<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, pp.28-36, 1995