A208

管群周りの高速、複雑流れ場におけるPIV計測

桑原譲二(株式会社フォトロン、東京大学)

岡本孝司(東京大学)

Dynamic PIV measurement of the complex flow over tube bundle
Joji Kuwbara and Koji Okamoto

ABSTRACT

Shell and tube heat exchanger are widely used for various devices, such as steam generator, evaporator, and so on. It is very important to understand the flow structure around the tube and the relationship between the flow and the tube vibrations.

In last study, we used test-section model made by FEP. In this study, we used new material MEXFRON and measured the cross-flow in the tube bundles using the Dynamic PIV. Compared with in case of the FEP, we obtained high S/N images using the MEXFRON.

Keywords: PIV, Tube Bundles, Visualization, Digital image processing

1. 緒 論

従来から、流体中に保持された構造物周りの流れを評価する試みは多数行われてきた。中でも管群構造物は伝熱工学の分野で特に一般的であり、動力機や空調機、原子炉といった装置内で広く使用されている。従来の計測手法は、プローブによる点計測が主流であったが、最近では粒子画像による流速測定法(PIV)による計測が普及し、更に、高速度カメラと高速繰り返しパルスレーザーを組み合わせた「Dynamic PIV」(Okamoto,2002)の手法で、100万画素の空間解像度を保ったまま1KHzの高時間解像度のPIVが可能になってきている。

本研究のような管群周りの流体計測の場合、管群と流体の屈折率をマッチングさせる必要がある。これまで本研究では、水に近い屈折率を持つ素材であるFEP(4フッ化エチレン-6 フッ化プロピレン共重合体)を構造体として使用してきたが、FEPには光の吸収がやや大きいなどの課題があるため、今回は新しい素材であるメックスフロンを用いて、その評価実験を行った。

2. 実験

2.1 実験装置

本研究でこれまで管群の素材に用いてきた FEP は、水に近い屈折率を持つものの、光の吸収がやや強いという厚みのある構造には不適である。そのため管群はロッド型ではなくチューブ型にしてきたが、実験中にチューブ内側に水が入り計測結果のS/Nを悪くする原因になっていた。

メックスフロンは FEP と同様に水に近い屈折率を持つ素材であるが、FEP に比較して光の吸収が少なく透明度が高い。かつ、比較的容易に任意の形状に成型が可能

であり、ロッド型の管群構造物を作成できる。

Fig.1 は本実験で用いる管群構造物の模式図である。管群には、直径 $D=10\text{mm}$ のメックスフロンロッドを使用して、100mm 四方の亚克力板に 25 本のチューブを正方格子状に配置した。管群のピッチは $P=15\text{mm}$ ($P/D=1.5$) である。

Fig. 1 Schematic of test section

2.2 実験方法

亚克力製の矩形流路(幅100mm、高さ200mm、長さ2000mm)内にメックスフロンで作成した管群構造物を設置し、流路内に水を循環させている。モデルは、整流板より1m下流に設置している。

撮影系には高速度カメラ(Photron社 FASTCAM-APX RS)を使用し、解像度512x512pixelで10000Hzのサンプリングレートで撮影を行った。

照明にはNd:YLFレーザー(Newwave Research社 Pegasus PIV)を使用した。527nmのGreenパルスレーザー光を扇型のシート状に広げ、管群構造物の中央断面を

照らした。パルスレーザーは高速度カメラと同期動作しており、パルスあたりのエネルギーは1mJ/pulseである。

トレーサとして、約50 μ mのイオン交換樹脂に蛍光染料 (Rhodamine B) を吸着したものをを用いた。カメラに560nm以上を透過する光学フィルターを取り付けることにより、環境光を除いた粒子画像を得ることが可能になる。

実験は大気圧下で行った。アクリル流路を流れる水 (水温25度) の流量は3.5L/sであり、管群直前での平均流速は $V_0=420$ mm/sである。代表直径を管外形ととると、レイノルズ数は4200となる。Fig. 1の図中で示した2列目の管の直後領域を高速度カメラで撮影した。0.1ms毎に得られる連続画像に対して、再帰的相互相関法を適用して速度分布を計測した。

3. 実験結果

メックスフロンで作成した管群構造物を水中に沈め、レーザーシートによって照らしたときの粒子画像をFig. 2に示す。参考に、前回発表時に使用したFEPで作成した管群構造物を同条件で画像取得した際の画像をFig. 3に示す。

両者の粒子画像を比較するとメックスフロンを使用した場合のほうが、管群の壁近傍までS/Nの高い粒子画像を取得できている。また、FEPの場合、管の形状がチューブ状であったため管内部に粒子が入り込んでいたが、メックスフロンの場合、ロッド型であるため管内部に粒子が現れることはない。今後、管群構造物と流体の錬成問題を扱う際に、管の内部に水が入っている影響を除くことが出来るため、問題をシンプルにすることが可能になる。

Fig. 4は、得られた速度ベクトルの20ms間の平均速度場と渦度を示している。管群の間を通る主流と、管の後方に渦が形成されているのが確認できる。

Fig. 4 Mean velocity fields and Vorticity

Fig. 2 Typical image around FEP tube

Fig. 3 Typical image around MEXFRON rod

4. 結論

新しい素材であるメックスフロンを用いて、管群構造物を作成し、その周辺流れに対して高速度カメラと高速繰り返しパルスレーザーを組み合わせた「Dynamic PIV」の手法で、計測を行った。結果、FEPに比較してメックスフロンを用いた方がよりS/Nの高い画像を取得できることを確認した。

参考文献

- 1) Okamoto, K : High speed PIV, Proc. Seiken Symp., Tokyo, Aug. 23, (2002), 167-194
- 2) Kuwabara, J, Okamoto, K, : 可視化情報学会 全国講演会 (新潟2005)