C 1 2 1 回転振動円柱周りの流れと圧力場に関する研究

小熊 靖之[○](新潟大工), 中野 朋則(新潟大院), 藤澤 延行(新潟大工)

Study of Flow and Pressure Field around a Rotationally Oscillating Circular Cylinder

Yasuyuki OGUMA, Tomonori NAKANO and Nobuyuki FUJISAWA

ABSTRACT

The flow and pressure field on a rotationally oscillating circular cylinder in a uniform flow are studied by PIV measurement in combination with the analysis with pressure Poisson equation. In order to obtain a high accuracy in PIV near the solid boundary, the image deformation analysis is introduced into the PIV analysis. The present result indicates that both the velocity and the pressure field show the periodic variations in the wake, which is synchronized with the rotational oscillation of the circular cylinder.

Keywords: Pressure, Flow measurement, PIV, Fluid force, Circular cylinder

1. 緒 言

流れの中に置かれた回転振動円柱に作用する流体力に関する研究は、工学上重要であり、過去よりしばしば研究課題として取り上げられてきた^{(1),(2)}。最近、このような複雑な流れ場の流体力の計測法として、流れ場のPIV計測結果を用いてポアソン方程式で圧力場を算出し流体力を評価する方法が提案され、それを応用して回転振動円柱に働く流体力が明らかにされつつある。しかしながら、そのような流体力の計測精度は、円柱近傍の速度場のPIV計測精度にも依存することから、そのような物体近傍の速度評価について検討することも重要な課題である。

本研究は、回転振動円柱に働く流体力を高精度で評価することを目的として、物体近傍速度場のPIV計測に画像変形を取り入れた評価法を導入し、さらに、それを用いて回転振動円柱周りの圧力場と流体力を明らかにする。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置 Fig.1に本実験で使用した回流水槽実験装置の測定部を示す。測定部中央には、直径 $d=15\text{mm}$ の円柱が設置されており、AC サーボモーターで回転振動可能な構造とした。ただし、レイノルズ数は $Re=2000$ である。円柱周りの圧力場評価においては、流れ場のPIV計測と圧力に関するポアソン方程式を用いた解析が有効な手段を提供する。その際、円柱近傍ならびに周辺流れ場を瞬時に高精度で計測する必要がある⁽²⁾。

このため、速度場データは、2台の同期した高解像度CCDカメラ(1008×1018pixels, 8ビット)とパルスジェネレータおよび2台のストロボを用いたPIVシステムを用いて取得した。ただし、撮影領域は、円柱近傍の測定では40mm×40mm、円柱周辺も含んだ広領域に対しては120mm×120mmである。流れの可視化には、比重1.02の粒径40 μs と80 μs のナイロン製トレーサ粒子を用いた。

Fig.1 Experimental setup

2.2 解析方法 Fig.2に画像取得から流体力算出までのフローチャートを示す。空間解像度の異なる2種の可視化画像に対しPIV解析を行う。ただし、広領域画像に対しては、一般的に用いられている正方相関領域を用いた解析から速度ベクトルを算出する。一方、近傍画像に対しては、相関領域が壁面境界の影響を受けるため、画像変形を導入した解析を行った。すなわち、円柱境界に適合した円形格子上の画像輝度を長方形の画像に補間し、その画像上で輝度差相関法を用いて速度ベクトルを算出する。そして、速度ベクトルの始点と終点を再び原画像上に逆変換する手法を用いた。ただし、速度ベクトルの計算は、相関領域が50%オーバーラップとなる条件で行った。さらに、このようにして求めた広領域ならびに近傍領域の速度場データを同一の円筒座標に補間し、ポアソン方程式の入力データとする。その計算格子は、 $r \times \theta = 181 \times 301$ である。なお、圧力場の評価は、ポアソン方程式をSOR法（反復計算）で差分化し、数値的に求める。

Fig.2 Flow chart for pressure measurement

3. 実験結果および考察

Fig.3は、広領域ならびに円柱近傍で得られた瞬時速度場を補間することで求めた円筒座標系における速度場の一例である。ただし、 x ：円柱中心からの主流方向距離、 y ：主流に垂直方向距離である。また、Fig.4は、その速度場を用いてポアソン方程式で算出した瞬時圧力場である。なお、これらは、回転振動を表す無次元パラメータが周波数 $Sf=0.2$ 、振幅 $Vr=2$ の場合である。速度場の結果によると、円柱周りには、増速領域と減速領域が互い違いに形成されており、円柱の回転振動に同期した渦発生が生じていることがわかる。一方、圧力場によると、増速領域では低圧領域が、減速領域では高圧領域が対応して形成されており、非常流体力の発生が予測される。

Fig.3 Instantaneous velocity field ($Sf=0.2$, $Vr=2$)

Fig.4 Instantaneous pressure field ($Sf=0.2$, $Vr=2$)

4. 結 言

円柱近傍における高精度 PIV 解析法として画像変形アルゴリズムを導入し、また、圧力に関するポアソン方程式を用いて回転振動する円柱周りの圧力場の評価を行った。

参 考 文 献

- 1) Srinivas, K. and Fujisawa, N.: Effect of rotational oscillation upon fluid forces about a circular cylinder, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 91(2003) 637-652
- 2) Fujisawa, N., Tanahashi, Y., Srinivas, K.: Evaluation of pressure field and fluid forces on a circular cylinder with and without rotational oscillation using velocity data from PIV measurement, Meas. Sci. Technol. 16(2005) 989-996