125 多関節翼まわりの流れの可視化 (第2報) —非正弦運動時の流場—

大阪府立大学 西尾 茂, 中村 研○

Flow Visualization around a Waving Wing (2nd Report: Flow Field in Non-Sinusoidal Motion)

Shigeru NISHIO*, and Ken NAKAMURA†

Waving wing is a basic model for the analysis of fish-like propulsion in two-dimensional case which achieved high efficiency in comparison with the ordinary artificial propulsion system. The authors have developed a waving wing model, and consider the flow field around it in the previous report. The model motion is controlled through six parallel lines, and it achieves not only the sinusoidal but also any periodical motions. In the present paper, the flow field is visualized and measured in the case of non-sinusoidal motion that simulates the impulsive starting of fishes and the swimming motion of human legs.

1 緒言

魚類の推進は、プロペラを用いた船舶の推進に比べて高効率を実現していると言われており、その推進メカニズムの解明を目的とした多くの研究がなされてきた。著者らは、この魚類の推進メカニズムを流体力学的に解明することを目的として、任意の運動を行うことのできる多関節翼モデルを作成し、推進体が変形しながら作動する場合の流場について検討を行ってきた。前報[1]においては、流れの基本的な性質を調べるために翼の各部が正弦運動をする場合について、翼の変形の有無や振動運動中の迎角の変化が流場に及ぼす影響について、流れの可視化とPIVシステムを用いた速度場の計測を行った。本報告では、翼がさらに複雑な運動をする場合を想定して翼運動データの吟味を行い、運動加速度の分布に注目した3種類の場合について可視化と計測を行った。

2 実験概要

可視化実験と速度場の計測は、小型回流水槽 ($L \times B \times D = 1000 \times 300 \times 300\text{mm}$) において行った。実験装置の概要をFig.1に示す。多関節翼を回流水槽観測部に垂直に取り付け、レーザーシート光を観測部中央に水平に照射して流れを可視化した。流体中には蛍光染料で染色したナイロン粒子を混入させ、トレーサー粒子の動きにより流れのパターンを観察した。翼全体は、回流水槽に設置されたリニアウェイに3/4弦長の位置で取り付けられており、この点のまわりに回転運動と振動運動を行

う。翼の断面形状にはNACA0018を用い、翼断面には4つの関節を設けてそれぞれの関節の運動が独立に制御できるようにした。このため、各部の運動の組み合わせにより多関節翼は任意の周期運動を行うことができる。

可視化された流れは、VTRで撮影するとともにシャッタースピードを1/16sec程度にした流し写真法で35mmカラーフィルムに記録した。また、VTRに記録された画像は、画像処理装置によりデジタルデータに変換した後、濃度相関法[2]により解析して速度場および渦度場を求めた。

Fig.1 Schematic view of the experimental set-up.

*Department of Marine System Engineering, Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka 599-8531

†Graduate School of Osaka Prefecture University

3 渦放出過程の可視化

3.1 正弦運動時の流れの可視化

前報と同様に翼各部が正弦運動を行う場合について、流れの可視化を行った。Fig.2に翼の制御に用いた運動データを示す。 x は翼先端からの距離、 c は翼の弦長を示している。また、各曲線は翼面上の関節位置ならびに前後端の運動を示しており、翼前端から後端にむかって振幅が徐々に大きくなるとともに位相が遅れていることがわかる。ここでは、平石 [3] のニジマスの運動の観察の解析結果に従い、振幅は指数関数的に増加させている。また、運動位相の遅れは最大で1/8周期程度としているため、運動中の翼中心線の変形に節が現れることはない。

Fig.2 Wing motion consists of sinusoidal waves.

Fig.3に、正弦運動時に翼後端が振動運動の振幅上端にきた瞬間の可視化写真示す。翼後方に蛇行する流れが見られるが、これは振動運動により放出された渦列が後方に続いていることを示している。また、翼後端から流れを横断するように渦の存在を示す曲率の強い流れの領域が続いており、振動の半周期にわたって生成された渦がこの位置にあることを示している。

Fig.3 Visualized flow image in sinusoidal motion.

Fig.4に、画像計測システムにより可視化画像から得られた速度場と渦度場の計測結果を示す。運動の位相はFig.3と同じである。Fig.4(a)の速度場は、Fig.3の流れ写真で見られた速度場とほぼ同じ様子を示している。Fig.4(b)はFig.4(a)の速度から求めた渦度分布であるが、

Fig.3の可視化画像の分析で述べた翼後端から流れを横断するように存在する渦列が時計まわり方向の渦度の領域で確認することができる。また、この領域が直線的ではなくかぎ型を描いていることが、渦度場と可視化写真ならびに速度の計測結果とあわせて分析することにより認識することができる。本計測では、濃度相関法により速度場を求めたが、サブピクセル解析を行っていないことと粒子移動距離が2~3画素と比較的小さいことから、量子化の影響のため計測された速度場と可視化写真で観察される流れのパターンが異なる部分も見られる。

Fig.4 Measured velocity and vorticity distribution in the sinusoidal motion.

3.2 非正弦運動時の流れの可視化

本研究で用いる多関節翼模型は任意の周期運動を行うことができるが、ここでは非正弦運動としてFig.5に示す2種類の運動について可視化を行った。これらの運動は、翼各部の運動の位相差ならびに振幅比はFig.2に示す正弦運動時と同じとし、それぞれの1周期の運動を正弦波からの変形で与えた。Fig.5(a)に示す運動は、正弦波に対して翼中心線から振り上げはじめるときの速度を遅くし、振動振幅の端部付近で速度ならびに加速度の大きな運動与えた。これにより、パルス状の鋭い振り上げ/振り下ろし運動が運動中心線より交互に行われ、翼

は中心線上で直進姿勢を長く保つこととなっている。一方、Fig.5(b)の運動曲線は、翼各部は中心線付近に留まることなく振動振幅の下端から上端までほぼ一定速度で運動し、振幅端で長く留まることになり、全体としてはステップ関数のような運動曲線となる。

Fig.5 Non-sinusoidal wing motions. (a)Pulse type motion. (b)Step type motion.

Figs.6は、翼がFig.5(a)に示すパルス状の運動を行うときの可視化写真を示す。Fig.6(a)は翼後端が振動振幅上端に達した瞬間の流れを示しており、翼端斜め下に時計まわりの方向の強い渦が生成されているのがわかる。Fig.6(b)はFig.6(a)の直後の位相の可視化写真であるが、反時計まわりの渦がFig.6(a)で見られた渦のすぐ傍に生成され、渦対が形成されているのが見られる。可視化による観察では、互いの誘導速度により渦対は比較的速度い流速で後方に流れ去るのが観察された。

Fig.7は、Fig.6(b)の場合の可視化画像を解析して得られた速度分布と渦度分布である。速度分布では可視化写真ほど明確に渦対を示す流れのパターンを見ることができないが、これは本計測が複数回の同位相の計測データを重ねあわせた後に平均値から速度分布を求めているため、パルス運動のように急激な流れの変化が生じている場合にまったく同じ瞬間の画像を取得することが難しいことが原因と考えられる。しかし、渦度分布では、翼後方に渦対の存在を示す正負の渦度の領域が近接している領域を見ることができる。

Fig.8は、翼がステップ状の運動を行う場合の可視化写真である。この写真も、翼後端が振動振幅の上端に位置している時のものである。他の2つの場合と比べると、渦の広がる領域も大きく、渦中心も明確に確認でき

Fig.6 Visualized flow images in the pulse type motion. (a) Top position. (b) Start of swing down.

ることがわかる。これは、Fig.5(b)の運動曲線からもわかるように、比較的速度い速度で振動振幅の端から端まで一気に振り上げるため、強い渦が生成されるものと考えられる。

Fig.9は、Fig.8の状態のときの可視化画像をPIVシステムで解析した結果である。運動の位相は、Fig.8で示した可視化写真と同じである。Fig.9(a)の速度分布は、可視化写真と同様、大きな渦が放出されている様子が蛇行した速度分布からわかる。Fig.9(b)の渦度分布は、翼後方に時計まわりの渦度の領域が広がり可視化写真ならびに速度分布で考察された結果を裏付けている。また、翼下面から後端にかけて反時計まわりの渦度の領域が見られるが、屈曲した姿勢で静止することにより下面で境界層の発達が大きく、これが渦度場に現れたものと考えられる。

4 結 言

多関節翼模型を用いて、変形しながら推進を行う翼まわりの流れの可視化を行うとともに、画像計測システムを用いて速度場ならびに渦度場からその分析を行った。本実験に用いた多関節翼模型は任意の周期運動ができるため、ここでは正弦運動でないパルス状やステップ状の運動をする場合について観察を行った。このとき、正弦運動を行うときに比べて強い渦が放出されるのが確認され、後流においても渦の挙動が異なることが明らかとなった。

Fig.7 Measured velocity and vorticity distribution in the pulse type motion.

本論文を終わるにあたり、大阪府立大学の奥野武俊教授には熱心なご討論と支援をいただいたことに感謝する。また、本研究の一部は造船学術研究推進機構の研究補助金を受けたことを記し、関係各位に感謝する。

参考文献

- 1) 西尾 茂, 秋吉 洋, 多関節翼まわりの流れの可視化, 可視化情報学会誌, Vol.16, Suppl. No.1, 1996.
- 2) 木村一郎, 高森 年, 井上 隆, 相関を利用した流れの画像計測 - 非定常流への適用 -, 流れの可視化, Vol.6, No.22, 1986.
- 3) 平石智徳, ニジマスの遊泳モデル, 回流水槽懇談会資料60-7, 1981

Fig.8 Visualized flow images in the step type motion.

Fig.9 Measured velocity and vorticity distribution in the step type motion.