トンボのまわりの3次元渦構造と流体力の相関解析

Correlation analysis in terms of three-dimensional vortex structures and aerodynamic force of a Dragonfly

○学 富川昌義 (工学院大院) 学 荻巣宏幸 (工学院大院)
小原政文 (工学院大) 正 飯田明由 (工学院大)

Masayoshi Fukawa, Graduate school of Mech. Eng., Kogakuin University, 2665-1 Nakanomachi, Hachioji, Tokyo
Hiroyuki Ogisu, Graduate school of Mech. Eng., Kogakuin University, 2665-1 Nakanomachi, Hachioji, Tokyo
Masafumi Obara, Department of Mech. Eng., Kogakuin University, 2665-1 Nakanomachi, Hachioji, Tokyo
Akiyoshi Iida, Department of Mech. Eng., Kogakuin University, 2665-1 Nakanomachi, Hachioji, Tokyo

Key Words: Dynamic PIV, Micro Air Vehicle, Dragonfly, Flapping airfoil.

1. 緒論

本研究では飛翔昆虫が発生する流体力と流れ場を非定常に同時計測し、翅まわりの渦構造と流体力の相関関係を定量的に評価した。その結果、渦構造は翼幅方向のどの断面でもほぼ一様であり、二次元性が高いことがわかった。また、渦と翅の相互作用が流体力に与える影響について実験的に調べ、渦の強さと渦と翅との距離が流体力の発生に寄与していることを示す。

2. 実験手法

直径3 mm、長さ150 mmのカーボンファイバー製のカンチレバーと、ゲージ率-114の半導体ひずみゲージを用いて、非定常流体力の計測装置を開発した。実際の計測ではカンチレバーの先端にトンボを固定し、計測装置ごと風洞内に設置した。計測系の固有振動数は、トンボの羽ばたき周波数の約2倍である66 Hzである。また、荷重範囲0.5 mN~30 mNにおける計測精度は±1%以内である。

羽ばたき運動により発生する渦度場を測定するため、赤外線レーザと高速ビデオカメラ(毎秒5000コマ)を用いた高速PIVシステムを構築した。流体力計測とPIV計測を同時に行うことにより、翅の周囲の渦運動と流体力の関係を定量的に評価することが可能である。

3. 実験結果

3-1 渦構造の可視化 PIVの計測断面を翅の根元から先端へ4 mmずつ段階的に計測し、データを位相平均することにより、トンボのまわりの3次元渦構造を計測した。図1は、前翅の振り下げ過程において、鉛直上向きの流体力が最大になるときの渦度の等値面である。その結果、昆虫の飛翔において重要とされる前縁からの離渦が翅の根元から先端へ管状に連なる様子が可視化された。各断面を比較したところ、この管状の前縁渦は翼幅方向の位置によらず概ね翼弦長と同じ直径で形成する。さらには翅の先端から発生する翼端渦とつながり、後方へと伸びることで半U字型を形成した。これはAdrianら⁽¹⁾の数値解析及びスモークワイヤによる可視化結果とも一致した。

3-2 渦と力の相関解析 図2に、渦構造と流体力の関係を示す。昆虫ははく離渦の負圧を利用して飛行していると考えられることから、渦から翅までの距離を L_v 、渦の直径を D 、渦度を ω_z 、羽ばたき周波数 f とし、渦の強さと翅の位置関係を表すパラメータ $(|\omega_z| * D) / (L_v * f)$ を求め、流体力との関係を調べた。解析結果から、渦と翅の距離が翼弦長以内にあり、渦度の絶対値が大きい場合に、発生する流体力が最も大きくなることわかった(図中の破線で囲った領域)。

Fig.1 Three-dimensional vortex structures around a forewing

Fig.2 Correlation between vortex structure and vertical force in a hindwing

4. 結論

- (1) 翅のまわりの3次元渦構造を調べた結果、前縁渦と翼端渦がつながった半U字形の渦管を定量的に可視化した。また翅上面の渦構造は翼幅方向の位置によらず二次元性が高いことがわかった。
- (2) 渦と翅の相互作用について解析を行った結果、渦と翅の距離が翼弦長以内に、強い渦度を持った渦が存在する場合、発生する流体力が最大になることがわかった。

謝辞

本研究は文部科学省科学研究補助金(16560157)の補助を得て行われた。ここに記して謝意を表す。

本研究は「文部科学省ハイテク・リサーチ・センター整備事業(平成14年度~平成18年度)」の支援を受けて実施した。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- (1) Adrian L. R. Thomas, et al., *Journal of Experimental Biology*, Vol.207 (2004), 4299-4323.