21402 3次元円盤翼に働く非定常流体力と渦構造

Unsteady Fluid Force and Vortical Structure Acting on a 3-Dimensional Disk Type Airfoil

○学 田中 一輝 (秋田大) 正 長谷川 裕晃 (秋田大)

kazuki TANAKA, Dept. of Mech. Eng. Akita University, 1-1 Tegata gakuen-machi, Akita-shi, Akita. 010-8502 Japan

Hiroaki HASEGAWA, Dept. of Mech. Eng. Akita University

Unsteady fluid forces acting on a discoid airfoil model in the sinusoidal pitching motions under conditions of several frequencies were measured by using the ring structure 2 elements balance. Furthermore, the vorticity field near the trailing edge of the model was also measured by using an X-type hot wire probe. Dynamic lift/drag coefficients were compared to the steady ones. It is confirmed that the pitching motion is available for keeping lift higher after the separation occurs. The delay of stall for the pitching model is observed and also the value of maximum lift coefficient is greater than the maximum lift coefficient under stationary condition. The dynamic lift acting on a pitching model is strongly influenced by vortices shed from the outer edge of the disk.

Key Words: Unsteady Flow, Fluid Force, Pitching Motion, Lift, Drag

1. 緒言

鳥や昆虫は、翼を羽ばたくことで効果的に揚力を得て、自由自在に飛翔している。魚の場合は、尾ヒレあるいは尾ヒレと体の後半部分を動かすことで推進力を得ている⁽¹⁾。つまり、こうした翼やヒレに働く流体力を準定常理論での値として求めると、実際の推進速度には達せず、飛翔や推進は不可能という結果になってしまう。しかし、生物は実際には飛翔や推進をしている事実を考慮すると、飛翔や推進のメカニズムに、非定常流体力の役割を考えざるを得ない。これまで非定常揚力に関する二次元翼模型での研究は数多くなされておられ、翼背面に付着する前縁からの離れの挙動が翼の高揚力化に影響していることが明らかになっている^{(2),(3)}。しかし、二次元模型での結果であるため、模型の三次元性を考慮した際の三次元渦構造と非定常流体力の関連は不明のままである。つまり、こうした三次元模型での非定常流体力に関するデータは十分とはいえない状況である。

そこで本研究では、三次元模型を使用し、模型に働く非定常流体力測定を実施し、ピッチング運動時における三次元渦構造と非定常流体力の関係を調べた。ここでピッチング運動1周期で考えた場合、一般的に揚力は迎え角を増加させるアップストロークでは増加し、逆にダウンストロークでは減少する。つまり、周期的な運動をしている限り、揚力が増加する運動時であれば減少する運動時にも存在することになる。もし、ダウンストローク時における揚力減少の傾向を変化させることができれば興味深い。そのために、アップストロークとダウンストロークの速度比を変えた非調和運動時の非定常流体力と、渦の挙動の関連を調べた。

2. 実験装置

本研究の測定部の概略を図1に示す。使用する風洞は300mm×300mmの吹出し口を持つ開放型風洞である。座標系は、主流方向をX、測定部スパン方向をY、高さ方向をZとし、座標軸の原点はいずれも模型中心とした。測定系は、模型動作のためのステッピングモータ、三次元模型、軸、2分力天秤などで構成されている。2分力天秤に貼られたひずみゲージの出力を、ブリッジボックス、動ひずみ測定器、A/D変換ボードを介し電圧値に変換、パーソナルコンピュータに取り込み、そのデータを解析する。この2分力天秤は、リング構造の特性を利用することにより、2方向の力成分を分離し測定する。本研究で使用した模型は、円形で断面形状をNACA0015とした円盤翼模型(Model-CN)である。ピッチング軸上に模型重心がくるようピッチング軸は1/2翼弦長の位置とした。

3. 実験方法

実験は翼弦長を代表長さとするレイノルズ数 $Re=1.0 \times 10^5$ ($U_0=10\text{m/s}$)で行った。定常流体力は迎え角 α を 0° から 50° まで 0.72° ごとに測定した。またピッチング運動中心迎え角 α_c は定常時の失速角とした。ピッチング運動は正弦波運動で与え、ピッチング中心迎え角 α_c 、ピッチング振幅 $\alpha_a=9.0^\circ$ 、模型のピッチング周波数 $f=1.0\text{Hz}$ とした。ピッチング周波数 f はプログラム上で変更可能になっている。揚力、抗力の測定は、20周期の平均を用いた。またピッチング運動においてアップストローク時とダウンストローク時に要する時間の割合を変更した非調和的ピッチング運動を実施した。Case-1から5は、1周期におけるアップストロークとダウンストロークに要する時間の比が、それぞれ1:1, 3:1, 2:1, 1:2, 1:3である。

一方、Y-Z断面での流れ場の測定はX形熱線プローブを使用し、YおよびZ方向にそれぞれ10mm間隔で測定した。ピッチング運動の各迎え角に対応した流れ場の測定は、ピッチング運動と熱線風速計の同期をとることで実施した。また、流れ場の様子は10周期のアンサンブル平均として求めた。

4. 実験結果および考察

図2は、 $f=1.0\text{Hz}$ のCase-1とCase-2の迎え角変化の様子と C_L および C_D を示す。ピッチング中心迎え角 $\alpha_c=24.48^\circ$ である。なお、 $\alpha_c=24.48^\circ$ は定常時における失速角である。横軸は、周期 T で無次元化した時間である。Case-2では、アップストロークでの迎え角変化の速度が速い。一方、ダウンストロークでの迎え角変化の速度が遅くなる。そのため、速度変化のな

Fig.1 Experimental apparatus and force balance system

い Case-1 での揚力, 抗力のグラフの位相が全体的に前進したかたちとなっている. Case-1 と Case-2 は速度比を変化させたことによる違いは確認できなかった. しかしながら, アップストロークに比べダウンストロークでの迎え角変化の速度を小さくすることで, 揚力低下の傾きを小さくすることができる. Case-1 は $t^*=0.35$, Case-2 は $t^*=0.25$ に差し掛かる直前に C_L が最大値に達し失速を迎える. 失速後, Case-1 では $t^*=0.56$, Case-2 では $t^*=0.3$ のダウンストローク時の同じ迎え角($\alpha=31.08^\circ$)において, C_L は Case-1 では 0.5, Case-2 では 0.6 と違いが生じている.

この時の各ケースの模型後方の渦の様子を図 3 に示す. 図 3 は, Y-Z 断面での渦度 ω_x の密度分布図である. 本研究において渦度は, 下流側から見て反時計回りを正の渦, 負の渦を時計回りと定義している. 渦度密度分布図では全て右側に位置している渦が正の渦である. また密度分布图中的破線は下流側から見た円盤翼模型の各迎え角での, 翼縁位置のイメージを表している. 一方, C_L が最大値での渦の様子を描いてみたところ, Case-1, 2 で違いは確認できなかった. しかしながら, ダウンストローク時の同じ迎え角 $\alpha=31.08^\circ$ の渦をみると, 渦構造に違いが見られる. Case-2 では C_L が最大値の渦と比べて崩壊が進んでいない形になっている. 一方, Case-1 では翼縁の形に沿って渦が伸び, 渦度も弱くなっている. 同じ迎え角において渦の崩壊の様子が異なっている. つまり, Case-2 ではダウンストロークによる渦の崩壊過程の進行が遅くなっている. こうした渦の崩壊していく状態が異なるために C_L の違いが生じている.

4. 結言

三次元模型に作用する非定常流体力と渦の挙動の関連を明らかにすることを試みた. そして, ピッチング運動時のアップストロークとダウンストロークの速度比を変えた非調和運動時の非定常流体力と渦の挙動の関連について以下のことが分かった.

- (1) ピッチング運動でのアップストロークとダウンストロークにおける迎え角変化の速度比を変更した非調和的ピッチング運動は, 速度変化のないピッチング運動に対して C_L , C_D の最大値, 失速角は変化しない.
- (2) しかしながら, 非定常流体力の位相が変化した形になるため, アップストロークに比べダウンストロークでの迎え角変化の速度比を小さくすることで, ダウンストロークでの揚力低下を抑え, 高揚力を得る時間を伸ばす.
- (3) これは揚力低下に関連する後流での正負の渦対が崩れ始めるのが遅くなるからである.

本研究は, 文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C)(課題番号17500411)の交付を受けて行われた.

参考文献

- (1) 永井寛, イルカに学ぶ流体力学, オーム社, (1998).
- (2) 瀧脇正樹・田中和博・田中彰, ピッチング運動翼より発生するはく離渦の挙動とその構造, 機論 B, 65-632, (1999), 1271-1276.
- (3) K. Izumi, Study on Fluid Dynamic Forces and Flow Structure around Impulsively Started Bodies, AIAA Paper2003-0230, (2003)

Fig.2 Histories of Lift and drag coefficients($Re=1.0 \times 10^5$)

Fig.3 Density map of vorticity in pitching motion at $x/c=0.5$

($Re=1.0 \times 10^5$, $f=1.0\text{Hz}$, $\alpha_c=24.5^\circ$, $\alpha_a=9.0^\circ$)