

K7-74

低レイノルズ数における薄円弧翼型周りの流れ場が空力特性に与える影響

Effect of flow field around a circular arc airfoil upon aerodynamic characteristics in low Reynolds number.

○小林翔¹, 亀山直幸¹, 大竹智久², 本橋龍郎²Kakeru Kobayashi¹, Naoyuki Kameyama¹, Tomohisa Ohtake², Tatsuo Motohashi²

Abstract: We carried out flow visualization around a 12% cambered thin circular airfoil using the smoke wire method at Reynolds number of 40,000. Differences with the flow field appears because of the position and length of separation bubble in case of increasing angle of attack and decreasing angle of attack, and the differences with the flow field may relate with hysteresis to angle of attack.

1. はじめに

超小型航空機 (MAV : Micro Air Vehicle) の中で, 機体の長さが 1 [m] 程度の MAV は, 翼弦長を代表長さとしたレイノルズ数がおおよそ 10^4 のオーダーとなる. このような, レイノルズ数が 10^5 以下の領域では粘性の影響が大きく, レイノルズ数が 10^6 以上の流れ場において優れた特性を示す厚翼より, 板圧が薄い薄翼のほうが優れた特性を示すとされ, 特に, 円弧翼型が優れた特性を示すとされている.

晝間¹⁾ は $Re = 4.0 \times 10^4$ における円弧翼型周りの流れ場などの数値解析を行い, 迎角 $\alpha = 2.0$ [deg] ~ 4.0 [deg] においては, 剥離泡が上面から下面に移動する現象を確認した. 大竹ら²⁾ は, この数値解析を基に風洞実験を行い, キャンバー強さ $\lambda (= h/c)$ が 12% では, $\alpha = 7 \sim 9$ [deg.] の範囲において, 空力特性の不連続な変化およびヒステリシスが生じることを報告した. ヒステリシスが生じる迎角では, 流れ場, 特に剥離泡の有無や位置などが空力特性に影響を及ぼしていると考えられる.

本研究では, ヒステリシスが生じる迎角範囲における流れ場を調査するため, $Re = 4.0 \times 10^4$ における $\lambda = 12\%$ 円弧翼型について, スモークワイヤ法を用いた円弧翼周りの流れ場の可視化を行った. その結果からヒステリシスと流れ場の関係性を考察したため報告する.

2. 実験装置及び方法

翼模型は, キャンバー強さが 12% の薄円弧翼型を用いた. 翼弦長は $c = 120$ [mm], 材質はアルミ合金 ($t = 1.2$ [mm], 翼厚比は 1%) である. 翼模型の前縁と後縁は半円形状とした. 風洞は 0.3 [m] \times 0.3 [m] の吹き出し口寸法を持つ回流型風洞を用いた. 実験装置の概略図を Fig. 1 に示す. ターンテーブルを測定部の下に設置し, 翼模型は鉛直方向に設置した. 翼幅方向から撮影

するため, 翼模型の真上に, 鏡を 45 [deg.] 傾けて設置し, 鏡に映った真上からの像を撮影した.

流れ場の可視化は, スモークワイヤ法を用いた. ワイヤには直径 0.05 [mm] のニクロム線を 2 本よりあわせて使用した. トレーサーは流動パラフィンを用い, ワイヤに電流を印加し, 煙を発生させた.

迎角の範囲は, 空気力にヒステリシスが現れる付近の $\alpha = 6 \sim 10$ [deg.] の範囲において, プラス方向 ($\Delta\alpha > 0$) とマイナス方向 ($\Delta\alpha < 0$) に 1.0 [deg.] ずつ変化させた.

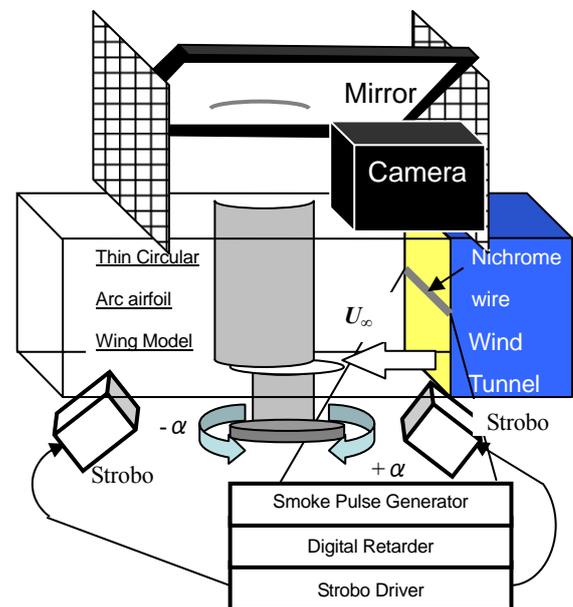


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

3. 結果及び考察

撮影した写真を Fig. 2 ~ 6 に示す. 各図中の上の画像が $\Delta\alpha > 0$, 下の画像が $\Delta\alpha < 0$ の場合での流れ場である.

剥離泡が生じる場合, 流れはすべて前縁から剥離している. 大まかな流れは再付着点を ▲ で示す. 再付着

点は、剥離渦の最も内側の乱れていない流跡線を延長した線が、翼面と交差する点とした。

$\alpha = 6$ [deg.]では、下面に前縁からの剥離泡が確認でき、その後流は流れが乱れている (Fig. 2). $\Delta\alpha > 0$ の場合、 $\Delta\alpha < 0$ の場合に共通で、 $\alpha = 6$ [deg.]での空力特性が $\Delta\alpha$ に依存しないことが、流れ場から確認できる。

$\alpha = 7$ [deg.]では、下面における剥離泡が消滅した。一方、上面の後半部では剥離領域が増加している (Fig. 3). この付近の迎角では、迎角を増加させると形状応力の増加により、抗力係数も増加する。この現象は、この剥離領域の増加によるものと考えられる。

$\alpha = 8$ [deg.]では、 $\Delta\alpha > 0$ の場合には、前縁からの剥離泡派確認されなかった (Fig. 4). しかし、 $\Delta\alpha < 0$ の場合では、上面に剥離泡が確認できる (Fig. 4). この迎角は、 $\Delta\alpha > 0$ の場合より $\Delta\alpha < 0$ の場合の方が揚力係数が大きい。また、後縁近くの流れにおいて、 $\Delta\alpha < 0$ の場合の方が剥離領域が小さい。これは、 $\Delta\alpha > 0$ の場合と $\Delta\alpha < 0$ の場合の抗力係数の差に影響していると考えられる。

$\Delta\alpha > 0$ の場合では、剥離泡が上面に $\alpha = 9$ [deg.]で、初めて剥離泡が確認された (Fig. 5). $\Delta\alpha > 0$ の場合に、 $\alpha = 8 \sim 9$ [deg.]の間で揚力係数が急激に増加している。 $\alpha = 8$ [deg.]での $\Delta\alpha > 0$, $\Delta\alpha < 0$ の揚力係数の差やこの現象は、翼上面における剥離泡の発生や下面から上面への剥離泡の移動の影響によるものと考えられる。

$\alpha = 10$ [deg.]と $\alpha = 9$ [deg.]では、 $\Delta\alpha > 0$ において再附着点が前縁に近づいている (Fig. 6).

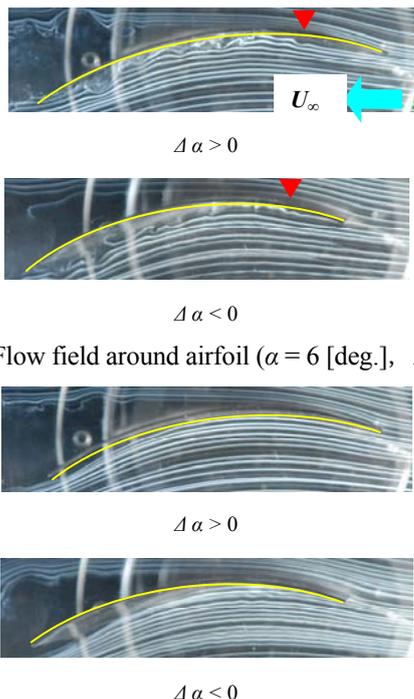


Fig. 2 Flow field around airfoil ($\alpha = 6$ [deg.], $\lambda = 12\%$)

Fig. 3 Flow field around airfoil ($\alpha = 7$ [deg.], $\lambda = 12\%$)

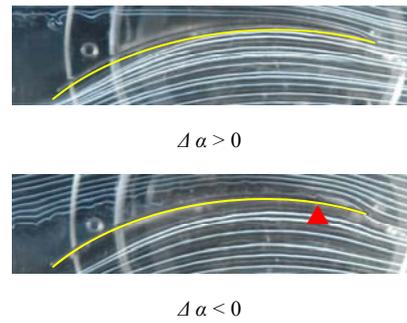


Fig. 4 Flow field around airfoil ($\alpha = 8$ [deg.], $\lambda = 12\%$)

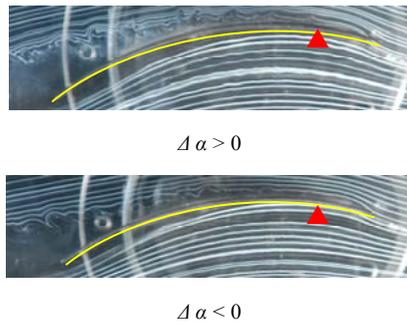


Fig. 5 Flow field around airfoil ($\alpha = 9$ [deg.], $\lambda = 12\%$)

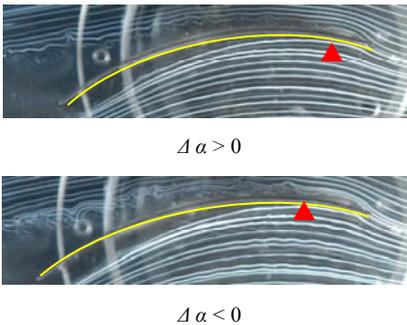


Fig. 6 Flow field around airfoil ($\alpha = 10$ [deg.], $\lambda = 12\%$)

4. むすび

ヒステリシスが生じていない迎角では、 $\Delta\alpha > 0$ の場合と $\Delta\alpha < 0$ の場合では流れ場に大きな違いは無かった。一方、ヒステリシスが存在している迎角で、迎角を増加させた場合と減少させた場合では、剥離泡の存在や大きさなど、 $\Delta\alpha > 0$ の場合と $\Delta\alpha < 0$ の場合で翼型周りの流れ場が異なっている。このことより、剥離泡がヒステリシスの形成に影響をおよぼしていることが分かった。

今後は、 $\lambda < 5\%$ の円弧翼や、 $\lambda = 6 \sim 12\%$ の円弧翼の空力係数を測定し、可視化等を行い、円弧翼における空力特性と流れ場の関連性を更に調査する。

参考文献

- 1) 晝間洋樹: “低レイノルズ数領域における円弧翼型の空力特性に与える剥離泡の影響”, 日本大学大学院修士論文要旨集 (2011), pp77-80
- 2) 大竹智久, 晝間洋樹, 村松旦典, 本橋龍郎: “低レイノルズ数領域での異なるキャンバーを持つ薄円弧翼型の空力特性”, 第 43 回流体力学講演会/航空宇宙シミュレーション技術シンポジウム (2011), pp539-542