

K3-56

## 剝離を伴う薄翼円弧翼まわり流れ場の PIV 解析

### Flow field including separated flow around thin circular arc airfoils by PIV

○福本章博<sup>1</sup>, 松添康祐<sup>1</sup>, 大竹智久<sup>2</sup>○Akihiro Fukumoto<sup>1</sup>, Kosuke Matsuzoe<sup>1</sup>, Tomohisa Ohtake<sup>2</sup>

Abstract: We measured velocity field around a thin circular arc wing by using PIV method at Reynolds number of 10,000 in order to clarify complicated flow field including reversed flow. Four types of wing models having different height are prepared; camber rates are 3%, 6%, 9% and 12%. When the camber rate is 9%, a separation bubble appears on lower surface and laminar separation occurs at trailing edge on upper surface. As increasing angle of attack, the separation bubble on lower surface vanishes and the separation bubble on upper surface is formed. And, when the camber rate is 3%, separated region does not appear both upper and lower surface of angle of attack of 3 degree.

#### 1. 諸元

Re 数が  $10^4 \sim 10^5$  程度の低 Re 数領域では  $10^6 \sim 10^7$  程度の高 Re 数領域での空力特性とは異なり, 低迎角時に揚力傾斜に非線形性が現れ, 失速特性も変化することが知られている<sup>[1]</sup>. この空力特性や失速特性の変化は高 Re 数領域とは異なる翼まわりの流れ場によるものと考えられる. 低 Re 数領域の翼まわりの流れ場では層流剝離や剝離泡の形成など, 逆流を伴う流れ場が翼面上に生成される<sup>[2]</sup>. 特に, 低 Re 数領域では厚翼よりも薄翼にキャンパー比を付けた薄円弧翼型の方が優れた空力性能を示すことが知られており, 円弧翼の特性である翼面上の剝離泡の翼下面から翼上面への移動が空力特性に不連続性を与えることが分かっている<sup>[3][4]</sup>.

流れ場の特性を調べるためにピトー管や熱線風速計による速度場の計測が行われているが, 逆流の計測ができないことや点計測であるため流れ場全体の構造を把握することが難しい. 本研究では, 薄円弧翼で空力特性の不連続性と翼面上で逆流を伴う剝離泡などの流体现象との関係性を明らかにするため, PIV(Particle Image Velocimetry)を用いた解析により流れ場の計測を行った.

#### 2. 実験装置及び実験方法

PIV 計測に用いた装置全体図を Fig. 1 に示す. 風洞は開放型吹出式であり, 吹出し口寸法は  $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  である. 測定部は幅  $150 \text{ mm}$  の間隔でアクリル製の側壁を製作した. 翼模型の概略図を Fig. 2 に示す. 翼型は円弧翼とし, 厚さ  $t = 0.5 \text{ mm}$ , 翼弦長  $c = 65 \text{ mm}$ , 翼幅  $b = 150 \text{ mm}$  である. キャンパー比は  $h/c = 3\%, 6\%, 9\%, 12\%$  の 4 種類の模型を用いる.

トレーサ粒子はオリーブオイルをシーディング装置で噴霧し, 粒子画像の撮影にはハイスピードカメラ

(SA-X2, Photoron)を用いた. シート光源には連続発振レーザー(G5000K:カトウ光研株式会社)を使用した. 取得した画像の解析には FlowExpert(カトウ光研株式会社)を用いた.

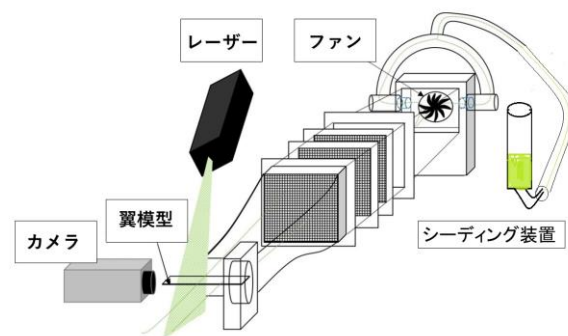


Fig. 1 Experimental apparatus

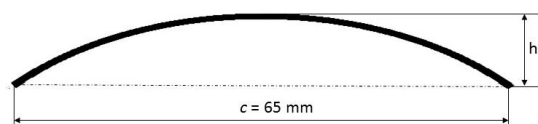


Fig. 2 Schematic view of circular arc wing

#### 3. 実験結果および考察

実験条件は  $Re = 1.0 \times 10^4$ , 一様流速  $2.3 \text{ m/s}$  とし, ハイスピードカメラは frame rate  $5,000 \text{ fps}$ , 露光時間  $1/23,529 \text{ s}$  の設定で撮影を行った.

Fig. 3 にキャンパー比  $h/c = 9\%$  で迎角による流れ場の状態の違いを示す. Fig. 4 にキャンパー比の変化による流れ場への影響を考察するため, キャンパー比  $h/c = 3\%$ , 迎角  $\alpha = 3^\circ$  の翼まわり流れ場を測定し, 速度の時間平均をとった解析画像を示す. なお, Fig. 3 と Fig. 4 は翼上面側と翼下面側の 2 枚の解析画像を合成したものである.

まず, (a),(b),(c),(d)の各翼上面の流れ場の変化に着目

すると、迎角の増加に伴い、剥離点が翼後縁から前縁方向に移動し、剥離領域が拡大していることが分かる。その後、 $\alpha = 18^\circ$  になると翼上面で剥離泡の形成が確認できる。次に、翼下面の流れ場の変化に着目すると、 $\alpha = 3^\circ$  のみで剥離泡が発生し、 $\alpha = 9^\circ$  以降で剥離泡は確認できない。このように剥離泡が迎角の増加に伴い、翼下面から消失し、翼上面に再び形成される剥離法のスイッチング現象が確認できた。

キャンバー比の変化による流れ場への影響は、翼上面に着目すると、キャンバー比 9% がキャンバー比 3% に比べ、加速域が拡大している。また、キャンバー比 9% では翼後縁に層流剥離領域が生じている。翼下面に着目すると、キャンバー比 9% では、翼前縁から剥離が起り翼下面中央付近に再付着が生じて剥離泡が形成されている。

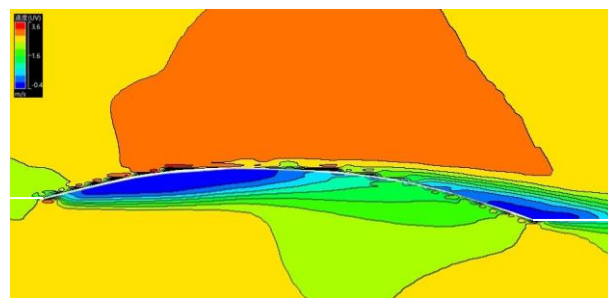
#### 4. 結論

薄翼円弧翼周りの流れ場の構造および速度場を調査するため、風洞実験を行い、PIV 解析を行った。その結果から以下の知見が得られた。

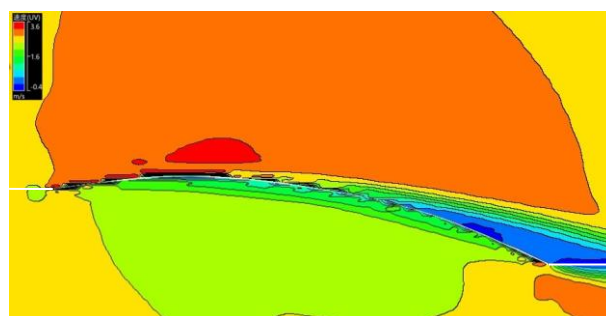
- ・迎角の増加に伴い、剥離泡が翼下面にのみ形成され、翼面上から消失し、翼上面にのみ形成するスイッチング現象が生じる。
- ・キャンバー比の違いが剥離泡と後縁付近の剥離域の有無に影響している。
- ・翼周りの流れ場と速度場の状態は迎角とキャンバー比に依存している。

#### 参考文献

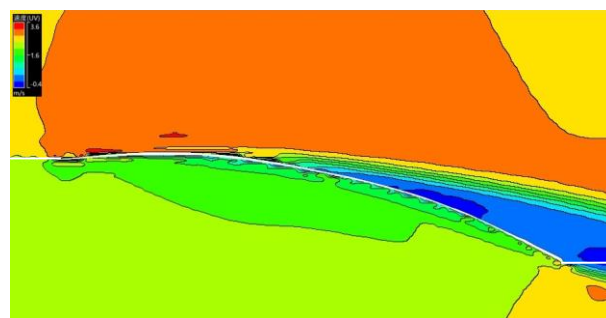
- [1] 大竹智久：「低 Re 数領域での NACA0012 翼まわりの流れ場」, 日本航空宇宙学会論文集, Vol.64, No.2, pp123
- [2] Tani, I. : 「Low-Speed Flows Involving Bubble Separations」, AIAA, vol.5, 1964, pp 71-77.
- [3] 岡本正人：「低レイノルズ数における定常・非定常翼型空力特性の実験的研究」, 日本大学大学院学位論文, 2005, pp 1-6.
- [4] 晝間洋樹：「低レイノルズ数領域における円弧翼型の空力特性と剥離泡の影響」, 日本大学大学院修士論文, 2010, pp 12-18.
- [5] 可視化情報学会編：PIV ハンドブック, 森北出版, 2002, pp 172-191.



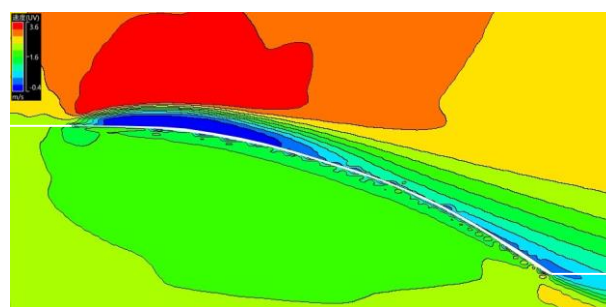
(a)  $\alpha = 3^\circ$



(b)  $\alpha = 9^\circ$



(c)  $\alpha = 12^\circ$



(d)  $\alpha = 18^\circ$

Fig. 3 Contour of  $|U|$  around the airfoil,  $h/c = 9\%$



Fig. 4 Contour of  $|U|$  around the airfoil,  $h/c = 3\%$ ,  $\alpha = 3^\circ$