

K3-48

低レイノルズ数領域における 12%円弧翼の圧力分布の測定

Measurement of pressure distribution on a 12% circular-arc airfoil in low Reynolds number region

○市川翔一¹, 玉田亮介¹, 大竹智久², 本橋達郎²○Shoichi Ichikawa¹, Ryosuke Tamada¹, Tomohisa Ohtake², Tatsuo Motohashi²

Abstract : Purpose of this study is to examine pressure distribution of a 12% circular-arc airfoil using wind tunnel to understand flow field and aerodynamic characteristics of the airfoil in low Reynolds number region. Separation bubble on the airfoil is confirmed from 5 deg to 10 deg and moved backward with increasing of angle of attack. Dependence on pressure coefficient of the airfoil from -5 deg to 5 deg in low Reynolds number region with change of Reynolds number was not confirmed. However it was not able to confirm the presence or absence of the dependence of 10 deg.

1. 諸元

UAV (Unmanned Air Vehicle) や、それよりも小型の MAV (Micro Air Vehicle) は、人間が入れない災害現場や過酷な環境下での観測など幅広い分野に用いられることが期待されている。またそのような飛行機は小型且つ低速で飛行するため Re 数は $10^4 \sim 10^5$ の低レイノルズ数領域となり、旅客機等の Re 数 $10^6 \sim 10^7$ の高レイノルズ数領域とは流れ場に違いが現れる。特に翼上面に形成される剥離泡の挙動は、翼周りの流れ場や翼の失速特性に大きく影響を与えることが知られている^[1]。しかし、その挙動を計測することは難しく剥離泡の発生や剥離泡内部の詳細な構造は不明な点が多い。

本研究では、12%円弧翼を使用し、翼表面の圧力分布を計測することで、低レイノルズ数領域での剥離泡の挙動や内部構造を解明し、円弧翼の流れ場や空力特性の理解に役立てることを目的とする。

2. 実験装置および方法

測定は、船橋校舎 10 号館地下に設置された $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ の垂直回流式風洞を使用し、測定部に翼厚 $t = 1.8 \text{ mm}$ 、翼弦長 $c = 114 \text{ mm}$ 、のキャンバー 12% 円弧翼を取り付けた。円弧翼は手塚らの文献^[2]を参考に、外径 1.8 mm 、内径 1.2 mm の真鍮パイプを用いて作成した。翼の上下面には圧力計測用の静圧孔(直径 0.5 mm)を前後縁 1 点ずつと上下面に 30 点ずつ開けた (Fig.1)。真鍮パイプは片側を塞ぎもう一端からチューブで静圧を取り出す。圧力は PLC (OMRON 社製 CPIE) で時間制御したソレノイドバルブ (SMC 社製 070-5MC) を経由して圧力センサ (Setra 社製 Model 239) に繋いだ。

実験は測定 Re 数を $Re = 3.0 \times 10^4$ 、 5.0×10^4 と設定し、迎角の変化は -5° から 10° まで 5° 刻みに変化させて圧力の測定を行った。

圧力センサの出力は A/D コンバータ (NATIONAL

INSTRUMENT 社製) を通して PC へ記録した。サンプリング周波数は 1 kHz で計測データは 10 秒間としてその平均値を計測値とした。

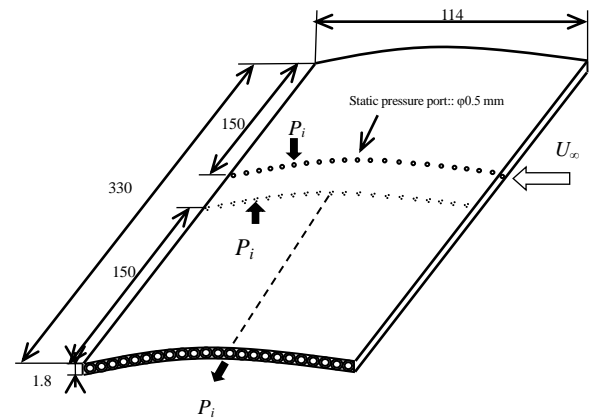


Fig. 1 Circular-arc airfoil

3. 実験結果

Fig. 2 の a), b) に $Re = 3.0 \times 10^4$ 、 5.0×10^4 における、圧力分布 C_p を示す。また Fig. 3 では、 $Re = 5.0 \times 10^4$ での迎角 0° から 10° までの翼上面のみの C_p の圧力分布を示した。今回の C_p の圧力分布を手塚ら^[2]の実験結果と比較すると圧力分布の挙動はほぼ同じであり、今回の計測結果は妥当であると考えられる。また、迎角 0° 、の前縁付近が一致しなかったのは手塚らの使用した翼型が 4% 円弧翼だったのに対し、本実験で用いたのは曲率が大きい 12% 円弧翼である為、低迎角の前縁付近では C_p の値が正になったと考えられる。

Fig. 2 a), b) の圧力分布から各 Re 数とも迎角 0° の時は $x/c = 40\%$ 付近で負圧のピークを迎え、 60% 付近まで徐々に圧力回復し一定値を示す。また $x/c = 20\%$ まで上面側の圧力は負圧になっておらず上面には剥離泡は形成されていないと考えられる。迎角 5° は、前縁付近で負圧のピーク迎え $x/c = 5\%$ 付近で急激な圧力回復を起こす。再び負圧が $x/c = 40\%$ まで滑らかに増大しその後、徐々に圧力回復を起こしている。Fig. 3 の 5° の $x/c = 5\%$ 付

近の赤丸で囲まれた部分で剥離泡が形成されていると考えられる。 $-5^{\circ} \sim 5^{\circ}$ では各 Re 数で C_p の圧力分布に大きな差異は確認できなかった。これより、この領域では C_p の圧力分布は Re 数に依存しにくいことが確認できる。

次に迎角 10° では、各 Re 数とも前縁付近で負圧のピークを迎えた後、 $Re = 3.0 \times 10^4$ では $x/c = 20\%$ 付近まで、 $Re = 5.0 \times 10^4$ では $x/c = 15\%$ 付近まで圧力勾配が一定値になり、その後急激な圧力回復が確認できる。これにより、 $x/c = 3 \sim 20\%$ で剥離泡が形成されていると考えられる。また、Fig.3 の円で囲まれたところから、剥離泡が 5° のときよりも後方に移動していることがわかる。迎角 10° では分布の形にはあまり違いはないが、負圧の最大値が $Re = 3.0 \times 10^4$ では、 $C_p = -1.31$ 、 $Re = 5.0 \times 10^4$ の場合は、 $C_p = -1.61$ と他の角度とは異なり Re 数によって C_p の値に変化が出た。つまり、迎角が大きくなり翼上面の気流が不安定になると C_p の圧力分布の Re 数の依存性は低くなっていくと考えられる。またグラフより $x/c = 20\%$ 付近での沈み込みが確認できるが、この部分では、圧力が非定常に変化しているため、今回の計測時間では不十分であった可能性がある。

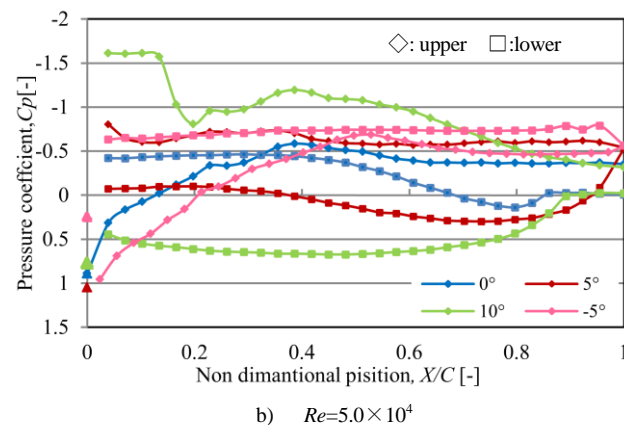
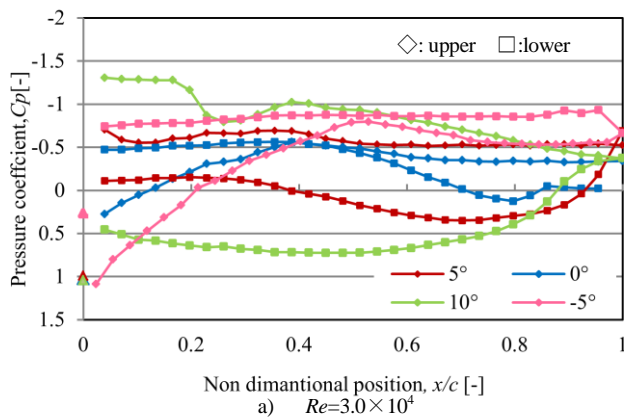


Fig.2 Pressure distribution on the circular-arc airfoil

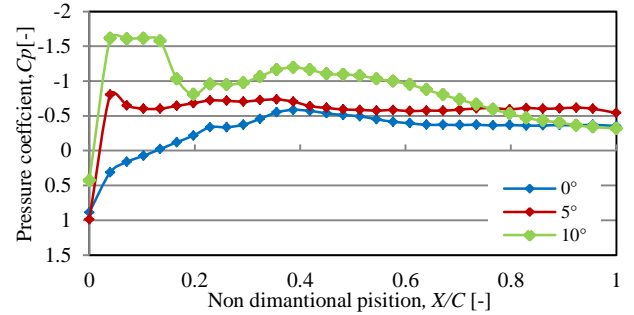


Fig.3 Pressure distribution on the circular-arc airfoil: $Re=5.0 \times 10^4$

Fig.4 で大竹の $Re = 5.0 \times 10^4$ での 12% 円弧翼の風洞実験の結果^[3]と比較するとほぼ同じ値にある。しかし、 10° 付近のデータは Fig. 2,3 からわかるように C_p の圧力分布は完全には一致していないため円弧翼の Re 数への依存性は確認できない。

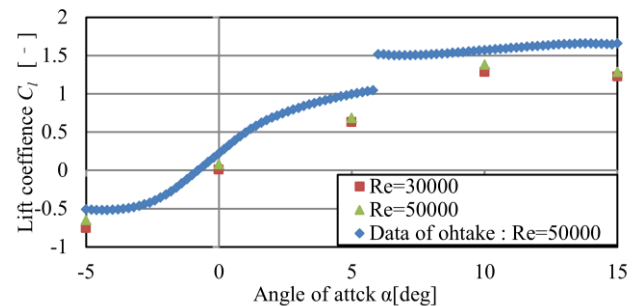


Fig.4 Lift coefficient of circular-arc airfoil

4. まとめ

低レイノルズ数領域での 12% 円弧翼の翼表面の圧力測定から以下の結果を得た。

- 5° と 10° で剥離泡が確認でき、迎角が大きくなるほど剥離泡は後縁に伸びるような挙動をする。
- 急激な圧力回復を起こした付近の流れ乱れていると考えられ圧力分布は不安定になる。

今後は剥離泡の変化があると考えられる 5° から 10° の細かい角度での計測を行い、剥離泡の挙動について解析する。

参考文献

- [1] 谷 一郎：「Low-speed flows involving bubble separation」, Progress in aeronautical sciences, vol.5 (1967), p96-97
- [2] 手塚聖聖・砂田保人・李家賢一：「超小型飛行機の Re における 4%キャンバー翼型および NACA0012 翼型の空力特性」, 日本航空宇宙学会論文集 57 (2009), p.259-265.
- [3] 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翼円弧翼の空力特性」, 第 43 回 FDC/ANSS 2011, p539-p542