K3-51

低レイノルズ数領域での複葉翼の空力特性

単葉翼の特性

Aerodynamic Characteristics of Biplane Wing at Low Reynolds Numbers

Characteristics of monoplane wing

○小島桃香¹,上田裕貴¹,大竹智久²,村松旦典² *Momoka Kojima¹, Yuki Ueda¹, Tomohisa Ohtake², Akinori Muramatsu²

Abstract: This paper describes effects of setting of biplane wings on both flow field and aerodynamic characteristics at low Reynolds numbers. First of all, we examined both measurements of aerodynamic characteristics and visualization of flow field on a monoplane wing by wind tunnel at $Re = 5.8 \times 10^4$. We applied visualization of flow fields by using the fluorescent liquid film method. The monoplane wing section has Clark Y's upper profile and thin thickness about 1.5% of chord length. According to results, uncertain stall was observed in the lift characteristics. Separation bubbles were observed on the wing surface. It is found that monoplane aerodynamic characteristics are greatly influenced by flow field involving a separation bubble.

1. はじめに

昨今のUAV(Unmanned Air Vehicles)やMAV(Micro Air Vehicles)は様々なシステム技術の発達によって災害支援な どの幅広い分野で活躍している.また自動制御システムの 発達から空力特性を理解することは重要であると考える. これらの航空機は一般的な航空機に比べ、低速かつ小型で あるため、レイノルズ数はRe=10⁴~10⁵程度で飛行する. このような低レイノルズ数領域の流れ場では層流剝離や剝 離泡などを含む複雑な流れ場が翼面上に現れる¹⁾.

UAV が市街地や建物内を飛行する際,安全性や操縦性の 面から低速での飛行が望ましい.加えて機体サイズに制限 があるため,翼面積が限られる.そこで飛行速度を低速に 保ち,機体サイズを維持しつつ揚力を増加させる手段とし て,主翼に複葉翼を採用し主翼面積を増加させる手段が挙 げられる.主翼に複葉翼を採用するメリットとして離着陸 距離を短くすることや,ペイロードを増やせることが挙げ られる.一方で,抗力の増加や,揚抗比が小さくなるなど のデメリットも報告されている²⁾.秋山らによると,上翼 と下翼で発生する層流剝離泡の発達と崩壊の挙動の違いが 空力特性に強く影響を及ぼしていると報告されている³⁾.

本研究は、複葉翼の翼配置を変化させた際の空力特性と 流れ場の違いを明らかにすることを目的とし、使用する翼 模型の単葉翼での力の計測と蛍光リキッドフィルム法⁴⁾に よる流れ場の可視化を行った結果を報告する.

- 2. 実験装置および方法
- 2.1 単葉翼の空気力測定

空気力の測定は吹き出し口寸法0.3m×0.3mの回流型風洞を用い,測定部にはClark Y 翼型の上面の曲線部を翼型と

するアミニウム合金製の翼模型(Fig.1)を取り付けた. 翼 弦長 c = 120 mm, 翼厚比 t/c = 1.25% である. レイノルズ 数は $Re = 5.8 \times 10^4$ とし, 迎角は $\alpha = -10 \sim 20$ deg.まで 0.5 deg. 刻みで変化させて測定を行った.



Fig. 1 Wing model

2.2 単葉翼の翼面上の流れ場の可視化

可視化実験は0.5 m×0.5 mの回流型風洞を用い,アクリ ル製の翼模型を使用した.レイノルズ数は*Re*=5.8×10⁴と し,迎角は1 deg.刻みで変化させた.Fig.2 に翼模型とカメ ラ,光源の配置図を示す.可視化手法には蛍光リキッドフ ィルム法を適用した.光源にはブラックライトを使用し, 撮影にはビデオカメラを使用した.



Fig. 2 Experimental apparatus of visualization of flow field by fluorescent liquid film method

1:日大理工・学部・航宇 2:日大理工・教員・航宇

3. 結果および考察

3.1 単葉翼の空力特性

Fig.3 に単葉翼の $Re = 5.8 \times 10^4$ における揚力係数と抗力 係数の変化を示す. 揚力係数をみると、a = 1 deg.で揚力傾 斜が減少し、a = 9 deg.から揚力傾斜は急激に0 に漸近する. その後 a = 15.5 deg.から再び C_l 値が増加し、a = 17 deg.から a = 20 deg.にかけて減少する. 抗力係数は a = 6 deg.付近で 最小値を取り、下に凸の放物線を描いている. a = 15.5 deg. で C_a 値が急増していることから、この迎角付近で失速して いると考えられる. $a = 9 \sim 15$ deg.にかけて揚力傾斜が急激 に0 に漸近する現象に関しては、抗力係数がa = 9 deg.から 増加していることから迎角の増加に伴う空気力の変化が、 抗力方向にのみ寄与しており、揚力方向への増加には寄与 しなかったためと考えられる.



3.2 単葉翼の翼面上の流れ場

Fig.4 に揚力・抗力係数の特性が変化した迎角における塗 膜の動きをまとめた. 使用した写真は逆流が停止したと考 えられる時間でのキャプチャ写真である. 迎角変化に伴う 剝離位置,逆流停止位置,再付着位置を図中の黄,赤,青 の線で示している. α=0 deg.では翼表面に沿って流れてお り, 逆流領域等は見られなかった. α=2 deg.で前縁から約 20%位置と約70%位置に塗膜がとどまり、70%より後流 では、塗膜が後縁に流れ落ちていく様子が観測された. ま た20%から70%の間は塗膜がほとんど静止していたため、 この領域が死水領域と考えられる. これらの結果より層流 剥離泡が形成されていたと判断できる. 塗膜は再付着位置 から剝離泡内の逆流によって前縁方向に集められていき停 止した. この剝離泡は迎角の増加に伴い前縁部に移動しな がらその全長を縮めているため、short bubble に分類できる. short bubble として翼面に再付着していた流れが突如再付着 しなくなる現象を burst という¹⁾. $\alpha = 15 \deg$. で観察できた short bubble が, $\alpha = 16$ deg.では急激にその全長を縮めたよ うに見られることから $\alpha = 15$ deg.から $\alpha = 16$ deg.の間で burst が起きていたと考えられる. しかしα=16 deg.で, 前 縁付近で剝離した流れが約 10 %位置で再付着していることが確認できたため、 $\alpha = 16 \deg$.でも新たに剝離泡が形成されていたと考えられる.この時の迎角と C_l 値が再び増加する迎角が同じである.



Fig.4 Visualization of separation and reattachment position on the wing surface by fluorescent liquid film method $(Re = 5.8 \times 10^4)$

4. まとめ

複葉翼の翼配置が流れ場に与える影響を調べるため、ま ず単葉翼での空力特性の計測と、流れ場の可視化を行った. 空力特性の計測では、迎角の増加に伴い空力係数に特徴的 な変化が確認された. 蛍光リキッドフィルム法による可視 化実験では、short bubble の出現と burst を確認することが できた. 今後、複葉翼ではどのような流れ場が形成され、 空力特性がどのように変化するのかを調査し、蛍光リキッ ドフィルム法以外の可視化手法も用いて、翼周りの流れ場 の変化を再考察する必要がある.

参考文献

- Tani, I.: Low-speed flows involving bubble separations, Prog. in Aerospace Sciences, 5, 1964, pp.70–103.
- Stinton, D.: The Design of the Airplane, 2nd ed., AIAA, Washington, 2001.
- 秋山 他: 複葉型超小型航空機の主翼揚力特性に関 する実験,日本航空宇宙学会論文集,57,2009, pp.476-485.
- 大竹 他: 低Re数におけるIshii翼型まわりの流れ場, 航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
 2013論文集, JAXA-SP-13-011, 2014, pp.121-125.