S053014

SD7037 翼型の低レイノルズ数域における 空力特性に対するラフネスの影響について

川合 寿来^{*1}, 新井 啓之^{*2}, 福田 紘大^{*2}, 平岡 克己^{*2}

Influence of Roughness for Aerodynamic Characteristics

at Low Reynolds Numbers field around SD7037 airfoil

Juki KAWAI^{*1}, Nobuyuki ARAI^{*2}, Kota FUKUDA^{*2} and Katsumi HIRAOKA^{*2}

^{*1} Tokai Univ. Graduate school Course of Aeronautics and Astronautics
4-1-1 Kitakaname, Hiratsuka-city, Kanagawa, 259-1292, Japan

Tokai University and King Abdulaziz University (KAU) in Kingdom of Saudi Arabia has developed a solar powered unmanned aerial vehicle (UAV) under the collaborative project between the universities. In this study, in order to obtain the detail aerodynamic data of main wing, the wind tunnel tests of the three-dimensional wing model, which is based on the same airfoil, SD7037, as the actual main wing of our solar UAV, was performed by using the low speed wind tunnel in Tokai University and its aerodynamic characteristics such as lift coefficient and drag coefficient were obtained. From the results, it was cleared that the roughness is effective to control the boundary layer on the surface of the wing and the aerodynamic characteristics were improved by attaching the roughness using the carborundum, which are two types of size, #100 and #1000.

Key Words : Wind Tunnel Test, Fluid Dynamics, Aerodynamics, surface roughness

1. 緒言

本研究は、現在本学とサウジアラビアのキング・アブドゥールアズィズ大学が共同で行っているソーラーUAVプロジェクトに属するものである。このプロジェクトでは、学生自らが設計、製作した飛行機を用い、太陽光発電によって得たエネルギーを使いながら自律制御による5日間の連続飛行を目指しており、現在は第一段階として早朝から日没までの連続飛行を目的とした機体の開発を行っている。太陽光発電に用いるソーラーパネルは機体の主翼に搭載される。この時、主翼表面には翼とパネルとの接合部分で凹凸が出来、滑らかな翼面と比較して、この凹凸が空気の流れに影響を及ぼすことが考えられる。特にこれが抗力を生み出す場合や、揚力を低下させる効果がある場合、主翼の製作を行う上でこれらの影響とそれを軽減するための措置をとる必要がある。そこで、本研究では、このソーラーパネルを搭載することによる主翼の性能の変化を調べるために、実験の実例が多いラフネスを用いた実験¹⁾を行うことで、SD7037翼型の翼表面の凹凸が流体特性にどのような変化をもたらすかについて検討した。

2. 実験方法

実験に使用した翼模型(図1)は、主にバルサ材を用いたスパン長1115.9[mm]、コード長143.1[mm]の矩形翼の3次元翼模型で、アスペクト比は7.8である。模型はコア材のバルサを翼型に削り出し、表面はパテを塗って滑らかに加工した後にフィルムを貼ってコーティングしている。ラフネスにはサンドペーパーに用いられるカーボランダム(炭化珪素粒子)を粗さ別に用意し、今回はその中で粗い粒子番号#100(粒子径約125[μm])と細か

^{*1} 学生員, 東海大学大学院 工学研究科 (〒259-1292 (神奈川県平塚市北金目 4-1-1))

^{*2} 正員, 東海大学 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1)

E-mail: 3bnjm007@mail.tokai-u.jp

い粒子番号#1000(粒子径約 11.5[μm])を使用する。図 2 に示すように、カーボランダムは翼模型の前縁から 14[mm] の位置に幅 3[mm]の位置に市販のヘアスプレーを用いて接着する²⁾。ヘアスプレーを用いたのは、ラフネスを貼りなおす際に水で容易に洗い流せるためである。実験に使用した風洞の概要を表 1 に示す。風洞実験では、ラフネス無しの状態、#100 のカーボランダムのラフネスを貼付した状態、#1000 のカーボランダムのラフネスを貼付した状態において、それぞれ風速を固定した状態で、翼型の迎角を -6° から 20° まで 1° ごとに变化させていき、揚力、抗力を測定した。また風速を変え、10, 20, 30, 35[m/s]でそれぞれ測定を行った。各風速で測定した際のレイノルズ数はそれぞれ、 0.91×10^5 , 1.8×10^5 , 2.7×10^5 , 3.1×10^5 である。各計測は 3 回行い、その平均値を用いた。

Fig.1 SD7037 Wing Model

Fig.2 Roughness (#100)

Table.1 Specification of Low Speed Wind Tunnel

	Specification
Wind tunnel	Göttingen-type
Test section	Width 1,500[mm] × Height 1,000[mm]
Wind velocity range	1~40 [m/s]
Wind velocity distribution accuracy	$\pm 1.0\%$ 以下 (Wind velocity above -5 [m/s], In 80% cross section of outlets)
Wind turbulence accuracy	below 1.0%RMS (Wind velocity above -5 [m/s])

3. 実験結果

図 3 の揚力係数の各分布から、レイノルズ数 $Re=0.91 \times 10^5$ のみ、迎角 -4° から 1° にかけて、他のレイノルズ数と比較して揚力係数が低い特徴がみられる。これは翼の前縁で層流剥離が発生し³⁾、揚力が十分に発生していないと考えられる。またそれ以外のレイノルズ数においては、迎角 -6° から -2° にかけて、迎角 -1° から 10° までとで線形性を失っている。ここから、迎角 -6° から -2° においては剥離した流れが再付着していないことが考えられる。一方抗力係数は図 4 より、どのレイノルズ数においても、ほぼ同じ傾向を示している。

Table.2 Reynolds number in each

	Re
Case1	0.91×10^5
Case2	1.8×10^5
Case3	2.7×10^5
Case4	3.1×10^5

Fig.3 Lift Coefficient (No-Roughness)

Fig.4 Drag Coefficient (No-Roughness)

図 5, 6 は#100 のラフネスを貼付したときの揚力係数と抗力係数の各分布である。揚力係数に関しては、レイノルズ数 $Re=0.91 \times 10^5$ において、他の風速と同様の傾きで揚力係数が上昇しているものの、全体的な揚力係数の大きさが低い値を示している。ここから、粗いラフネスによって剥離を引き起こし、揚力低下を引き起こしていると考えられる。しかし、図 3 で見られた迎角 -6° から -2° における傾きの変化が、#100 においては見られないため、#100 のラフネスは再付着を誘発させる効果を持つ可能性が考えられる。これは図 6 の抗力係数が最小となる位置が迎角 0° の位置にわずかながら移動している傾向からも確認できる。

Fig.5 Lift Coefficient (Roughness (#100))

Fig.6 Drag Coefficient (Roughness (#100))

図 7, 8 は#1000 のラフネスを貼付したときの揚力係数と抗力係数の各分布である。揚力係数に関しては、 $Re=0.91 \times 10^5$ の迎角 -4° から 1° において揚力係数が低い傾向が図 3 のラフネスが無い状態に近く、かつ揚力係数の値はラフネス無しに比べて 1.7%下がっている。一方抗力係数は、傾向は図 5 に近いものの、最小揚力係数が図 8 同様にわずかながら迎角 0° に近づいている傾向がある。さらに、実際の最小抗力係数の値はこの#1000 の時が一番小さく $Re=3.1 \times 10^5$ において、迎角 0° で 0.022 である。

Fig.7 Lift Coefficient (Roughness (#1000))

Fig.8 Drag Coefficient (Roughness (#1000))

揚抗比は、各速度における値を図9から図12に示す。いずれもラフネスの#100において最も揚抗比が悪い。一方、ラフネスの#1000では $Re=2.7 \times 10^5$ のときに迎角-3°から5°にかけて揚抗比はラフネスが無い状態と比べて高く、 $Re=3.1 \times 10^5$ のときも迎角-3°から6°にかけて揚抗比はラフネスが無い状態と比べて高い。

Fig.9 Lift Drag ratio ($Re=0.91 \times 10^5$)

Fig.10 Lift Drag ratio ($Re=1.8 \times 10^5$)

Fig.11 Lift Drag ratio ($Re=2.7 \times 10^5$)

Fig.12 Lift Drag ratio ($Re=3.1 \times 10^5$)

4. まとめ

実験結果から、前縁にラフネスを貼付することによってSD7037翼型の空気力学的特性に変化が起きることが確認された。前縁に#100や#1000の粗さのラフネスを貼付することによって、揚力係数は下がるものの、迎角0°付近にみられるような迎角に対する揚力係数の分布の非線形性がより線形に近い分布に改善することが確認された。一方、抗力係数に関しても、#1000のラフネスをつけることで、ラフネスが無いものに比べ抗力の最小値が低減した。今後は、より多くの粗さのラフネスを用い、また貼付する位置を変化させた場合の空気力学的特性の変化を実験的手法で確認していくと同時に、ソーラーパネルの表面の粗さにより起きている実際の流体力学的現象を解明する。

文 献

- 1) A. L. Braslow, R. M. Hicks, and R. V. Harris, Jr., "Use of Grit-Type Boundary -Layer-Transition Trips on Wind -Tunnel Models", NASA TND-3579, 1966.
- 2) Rae Pope, "Low-Speed Wind Tunnel Testing Second Edition", John Wiley & Sons, 1984, pp.449 - 450.
- 3) Bryan D. McGranahan and Michael S. Selig, "Surface Oil Flow Measurements on Several Airfoils at Low Reynolds Numbers", AIAA 2003-4067, 2003.