

## K3-61

## 低レイノルズ数における NACA0015 翼型の空力特性について

### Aerodynamic Characteristics of NACA0015 Airfoil at Low Reynolds Numbers

○ 佐々木一馬<sup>1</sup>, 大竹智久<sup>2</sup>, 村松旦典<sup>2</sup>\*Kazuma Sasaki<sup>1</sup>, Tomohisa Ohtake<sup>2</sup>, Akinori Muramatsu<sup>2</sup>

Abstract: The object of this study is to clarify aerodynamic characteristics of airfoil which is thicker than NACA0012 at low Reynolds number region. Aerodynamic characteristics of NACA0015 were measured at Reynolds number for 20,000 to 60,000. A maximum lift coefficient at Reynolds number of 30,000 is smaller than maximum lift coefficient at Reynolds number for 40,000 to 60,000. In addition, the nonlinearity of lift coefficient appeared strongly and drag coefficient is increased at low angles of attack at Reynolds number of 30,000. Therefore, NACA0015 airfoil has large dependence of Reynolds number.

#### 1. 緒言

現在、災害現場での観測や軍事活動で偵察を目的とした無人航空機(UAV)および超小型航空機(MAV)の開発および研究がされている。それらの航空機は機体サイズが小さく、低速であるため、低レイノルズ数領域( $Re = 10,000 \sim 100,000$ )で飛行する。そのため、低  $Re$  数領域での翼の空力特性に関する研究が必要とされている。岡本は  $Re = 15,000$  において、流線形翼型の特性を知るため、翼厚の異なる Clark-Y の空力特性を調査した。その結果、厚い翼型は空力特性が悪く、薄い翼型の方が良好になることが報告された<sup>1)</sup>。低  $Re$  数領域において、翼表面上の境界層が層流状態のまま剥離を起こす層流剥離が生じ、その流れが翼の後縁付近に再付着することが実験により観測されている<sup>2)</sup>。このような特有の流れ場が空力特性に大きく影響していると考えられる。また、翼厚によって空力特性が変化するが、流れ場との関連性については報告されていない。厚い翼型と薄い翼型の空力特性と流れ場の関連性を知るとは UAV や MAV の開発にあたり必要なことと考えられる。本研究では、厚い翼型と薄い翼型の空力特性と流れ場の関連性を知る一環である厚い翼型の空力特性を知るため、厚い翼型の空力特性の測定を行う。

#### 2. 実験方法および実験装置

本実験では、船橋校舎 3 号館に設置された吹出し口寸法が  $0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$  の回流型低速風洞を使用した。

##### 2-1 空気力の測定

空力特性の測定するために 3 分力検出器を使用する。Figure.1 に示すように翼弦長に対する接線方向力  $T$ 、法線方向力  $N$ 、モーメント  $M$  を測定し、力を分解することで揚力・抗力を算出する。翼模型は固定壁測定部に垂直に設置した。

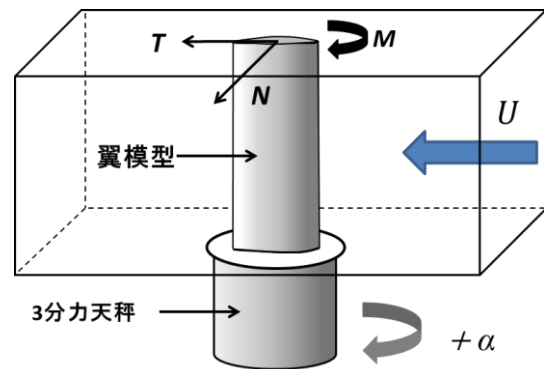


Figure 1. 実験装置の概略図

##### 2-2 翼模型

翼型が NACA0015 の翼模型 (翼弦長 100 mm, 翼幅 300 mm, アスペクト比 3) を使用した。



Figure 2. NACA0015 翼模型の断面

##### 2-3 実験条件

一様流速  $U$  と翼弦長を基準とし  $Re$  数を用い、 $Re = 20,000 \sim 60,000$  の範囲を 10,000 間隔で測定した。迎角は  $\alpha = -20 \sim 20 \text{ deg}$  まで  $0.2 \text{ deg}$  刻みで変化させた。

#### 3. 実験結果および考察

##### 3-1 揚力係数の変化

Figure.3 に  $Re = 20,000 \sim 60,000$  の迎角  $\alpha$  に対する揚力係数の変化を示す。 $Re = 30,000$  と  $Re = 40,000$  以上を比べると  $C_l - \alpha$  曲線の特性が大きく異なることが分かる。 $Re = 30,000$  では  $\alpha = 0 \sim 2 \text{ deg}$  付近で揚力係数が低下し、その後に増加して  $\alpha = 5 \text{ deg}$  付近になると迎角  $\alpha$  に対して不連続に増減となり、強い非線形性が現れた。その後  $7 \text{ deg}$  付近で最大揚力係数となり、緩やかに減

少して再び緩やかな増加となった。NACA0012 翼型でも  $Re = 30,000$  で低迎角での揚力の低下と非線形性が現れることが報告されており<sup>3)</sup>、今回は非線形性がより現れた。一方  $Re = 40,000$  以上になると、 $\alpha = 0 \sim 2$  deg 付近で揚力係数の低下が見られなくなり、急激に増加をしていく。その後は揚力傾斜が小さくなって緩やかに増加していき、最大揚力係数となった後は急激に低下した。これらのことから、NACA0015 は  $Re = 30,000$  になると最大揚力係数が大きく低下して翼特性が悪くなる可以说。また、 $Re = 30,000$  での  $C_l - \alpha$  曲線は  $Re$  数に大きく依存する翼型である可以说。

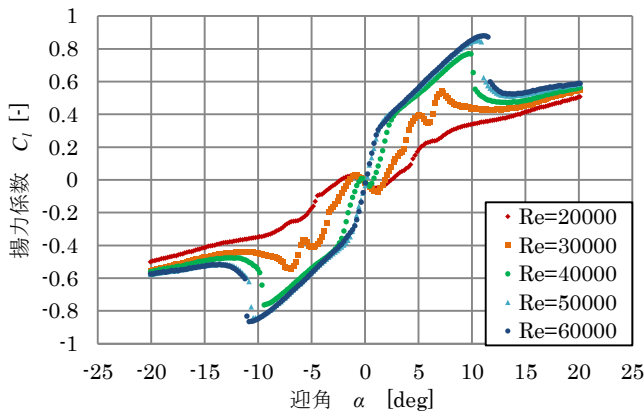


Figure 3. 揚力係数と迎角の関係

### 3-2 抗力係数の変化

Figure.4 に迎角  $\alpha$  に対する抗力係数  $C_d$  の変化を示す。 $Re = 40,000 \sim 60,000$  の結果を比較すると抗力係数の変化が似ていることが分かる。まず、Figure.3 で示すような最大揚力係数となった迎角を境に急激に抗力係数が増加した。その後は直線的な増加をした。 $Re = 30,000$  では、最大揚力係数となった  $\alpha = 6 \sim 7$  deg 付近で一時的に抗力係数の増加がなくなり、その後は直線的に増加した。 $Re = 40,000$  以上と比較すると、低迎角で全体的に抗力係数が増加していることが分かる。また、Figure.3 と Figure.4 の結果から揚力係数の急減が起きる迎角では抗力係数が急増する可以说。

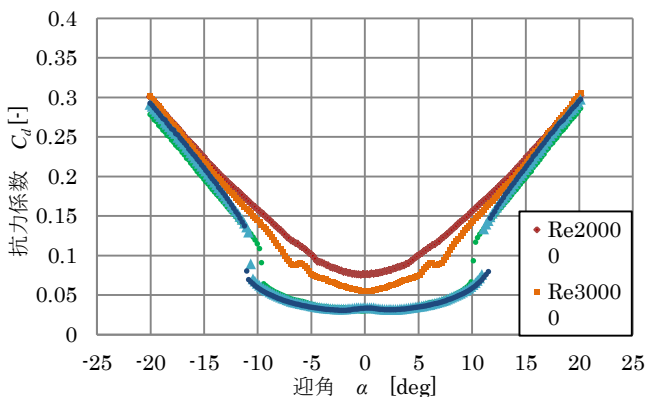


Figure 4. 抗力係数と迎角の関係

### 3-3 モーメント係数の変化

Figure.5 に迎角  $\alpha$  に対するモーメント係数  $C_{mc/4}$  の変化を示す。 $Re = 40,000 \sim 60,000$  の結果を比較すると  $Re$  数の依存性が無いことが分かる。まず、低迎角で負の値をとった後にモーメントが最大揚力係数となる迎角まで増加していった。そして、その後はモーメントは急減していき再び負の値をとった。一方、 $Re = 30,000$  以下では、低迎角でモーメントは増加していき、その後は変動を伴いながら高迎角につれて負の値となり、高  $Re$  数領域でのモーメントとは大きく異なる可以说。

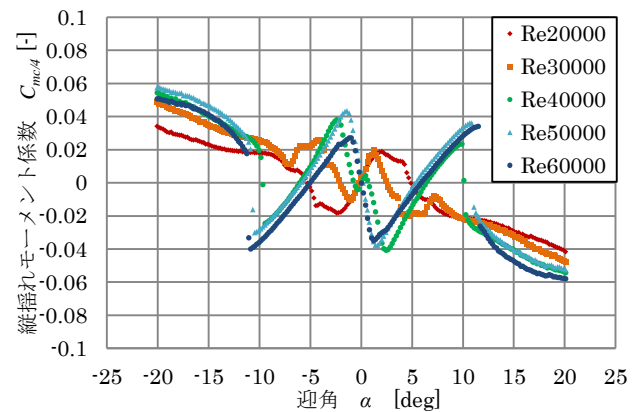


Figure 5. モーメント係数と迎角の関係

### 4. まとめ

本研究では、空気力の測定を行い、厚い翼型である NACA0015 の空力特性を調査した。その結果、 $Re$  数が  $30,000$  になると  $Re = 40,000 \sim 60,000$  に比べて最大揚力係数が大きく減少し、低迎角で抗力係数が増加したことから翼特性が悪くなり、 $Re$  数の依存性が大きいことが分かった。今後は NACA0006 翼型の空力特性を測定し、NACA0015 翼型との比較をしていきたい。また、揚力の非線形性が強く現れた  $Re = 30,000$  付近での流れ場を観察するためにスモークワイヤーを使った可視化なども行っていきたいと考えている。

### 参考文献

- (1) 岡本正人：“低  $Re$  数における定常・非定常翼型空力特性の実験的研究”，日本大学大学院修士論文，2007。
- (2) 大竹智久，他：“低い速度域における NACA0012 翼の空力特性と剥離泡の挙動について”，第 38 回流体力学講演会講演集，2006，pp49-52。
- (3) 大竹智久，他：“低レイノルズ数領域での NACA0012 翼の非線形空力特性”，日本航空宇宙学会論文集，vol. 55 (2007)，pp439-44。