

地面近傍のデルタ翼によるダウンフォース特性について

Down Force Characteristics of Delta Wing near Ground

○長尾宜宗 (鳥大工), 山本直樹 (鳥大工), 川添博光 (鳥大工)

Yoshimune NAGAO, Naoki YAMAMOTO and Hiromitsu KAWAZOE
Dept. of Mech. Eng., Tottori University, Koyama, Tottori 680-8552, Japan

A delta wing has such characteristics that a leading edge vortex on the wing surface takes a part in increase of the lift. Downforce characteristics of a delta wing, which was located near the ground, was investigated in the research. The results for the static and dynamic, namely in its pitching motion, performances were compared with those of a NACA0012 wing. It was found that the delta wing generated downforces over 50 % larger than the NACA0012 wing.

1. はじめに

デルタ翼上面の流れ場は高迎角になると前縁剥離渦によって支配され、この渦によって高い揚力を発生することができる。そこで、このデルタ翼の動的特性について、地面効果も含め様々な研究^(1)③)を進めてきている。一方、デルタ翼の迎角をマイナスにとれば、前縁隔離渦が翼下面に生じ、さらに地面が存在すれば、前縁剥離渦の形成が上面の場合とは異なることが予想される。またディフューザやベンチュリー効果による圧力変化の効果も考えられ、何か特徴のあるダウンフォース特性が期待される。このダウンフォースは地上を高速走行する車両への応用にも期待ができる。

そこで本研究では、負の迎角を有するデルタ翼を任意運動が可能で 6 自由度パンタグラフ式パラレルマニピュレータに取り付け、これを地面近傍でピッチング運動させてその動特性を調べた。また対称翼(NACA0012)を用い、同様な実験を行ってデルタ翼の結果と比較した。さらにデルタ翼の周りの流れを可視化し解析を行った。

2. 実験装置および方法

本実験に用いたデルタ翼および NACA0012 翼模型を図 1 に示す。デルタ翼模型は前縁の後退角が 60° 、後縁部スパン 180mm、ルートコード長 156mm、厚さ 2mm で翼の投影面積は 140.4cm^2 、アスペクト比は 2.31 である。NACA0012 翼模型はスパン 180mm、コード長 80mm、最大厚さ 9.6mm で、翼面積は 144.0cm^2 、アスペクト比は 2.25 である。

各模型を風洞内でピッチング運動させるため、6 自由度パンタグラフ式パラレルマニピュレータを用いた(図 1 (a))。このマニピュレータにロードおよび力天秤を介してそれぞれの翼模型を取り付けた。ピッチング運動は周波数 0.5 Hz で、これを流速 10m/s の風洞気流内で行った。なお、天秤は揚力、抗力、ピッチングモーメント、およびローリングモーメントの測定が可能な 4 分力天秤で、重さが 5.8g と非常に軽量であり、これら一連の研究用に開発したものである。

可視化実験はデルタ翼の前方から発煙筒の煙を注入し、流れに対して垂直にアルゴンイオンレーザーシート光を翼の重心位置に照射し、後方からビデオカメラを用いて撮影した。

3. 実験結果および考察

図 2 にデルタ翼および NACA0012 翼のピッチング運動のない静的特性 ($C_l \sim \alpha$) を、図 3 にピッチング運動する場合

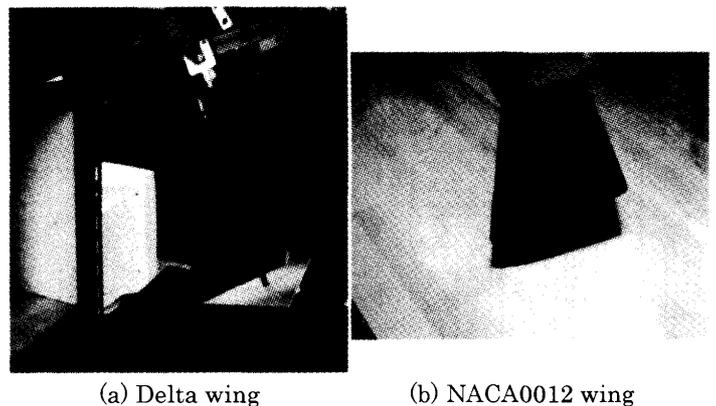
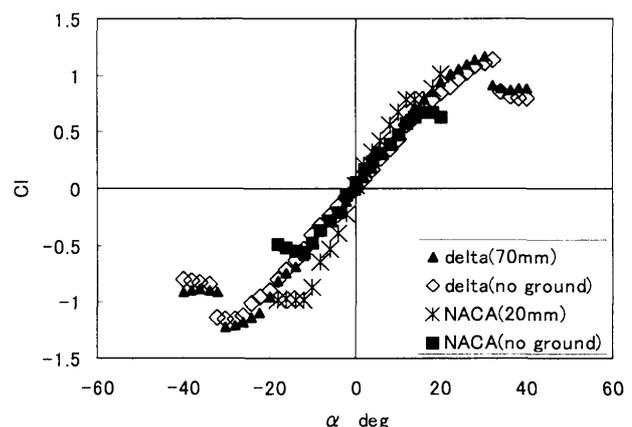


Fig.1 Delta and NACA0012 wing

の動的特性を示す。図 2 から地面なしのデルタ翼は -32° 付近まで単調にダウンフォースが増加している。これはデルタ翼が負の高迎角においても下面に生じる前縁剥離渦の効果により低圧部が形成され、強いダウンフォースを発生させるためである。一方、NACA0012 翼の地面なしの場合は、迎角 -14° 付近でダウンフォースが減少しており、デルタ翼の結果も含め、これらは正の迎角時と対称的な特性を示している。

次に、デルタ翼の地面有りの場合、迎角 -30° 付近でダウンフォースが減少しており、 C_l の値も地面なしと比べてあまり変化はない。これは地面との距離が 70mm のように大きくなると、地面による影響が小さくなるためと考えられる。一方、NACA0012 翼 (地上から 20mm 上方) では地面なし

Fig.2 Static characteristics of C_l with α .

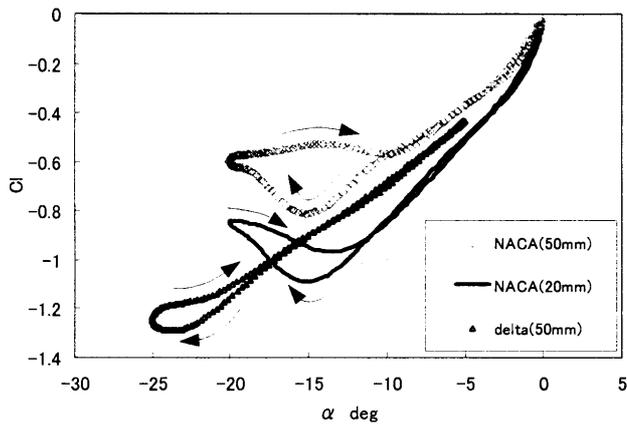


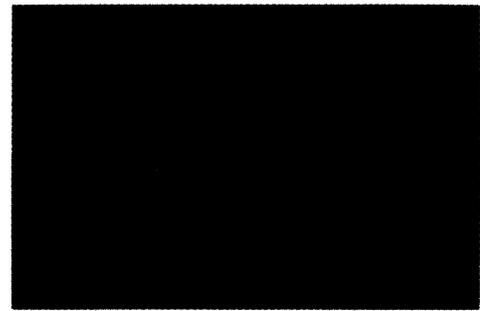
Fig.3 Dynamic characteristics of C_l with α in pitching motion, $\alpha = 15^\circ \pm 10^\circ$.

とほぼ同様の迎角 -14° でダウンフォースが減少しているが、このときのダウンフォースは地面の影響により、地面なしに比べて81%ほど大きくなっている。なお、デルタ翼の高度50mmにおけるダウンフォースは、その最大値で比べる限り、高度70mmより若干大きくなるもののその増加割合は小さなものであった。

図3のデルタ翼とNACA0012翼の動的特性について、地面との距離がどちらも50mmの場合、ダウンフォースが最大となる値で比較すると、デルタ翼はNACA0012翼に比べて59%増大しており、デルタ翼の優位性が認められる。ただし翼形状の理由から、デルタ翼は地面に50mmまでしか近づけられないのに対し、NACA0012翼では20mmまで接近することができる。この結果が図3中に示されており、高度50mmのときに比べ34%ほどの上昇につながっているものの、デルタ翼の結果より18%ほど低いものとなっている。

図4はデルタ翼下面に形成される前縁剥離渦の可視化結果である。高度50mmでデルタ翼が $\alpha = -15^\circ \pm 10^\circ$ でピッチング運動する際の $\alpha = -20^\circ$ におけるもので、(a)、(b)図はそれぞれ迎角が下がる時($d\alpha/dt < 0$)、および上がる時($d\alpha/dt > 0$)の様子である。両者を比較すると明らかに迎角が下がる時の前縁剥離渦の方が発達しており、これは図3の $C_l \sim \alpha$ の結果にも現れている。失速を伴わない正の迎角域における同様な実験($\alpha = 15^\circ \pm 10^\circ$)では、これとは逆に迎角が増すときの C_l が低下していた。これは前縁剥離渦の形成過程に時間遅れを伴うためであり、迎角が減少するピッチング運動では以前の、すなわち高迎角時の前縁剥離渦を伴うことになり、 C_l が大きくなった。しかしながら、図3の結果はそれとは逆になり、しかも、大きな負の迎角において、正の迎角時($\alpha = 15^\circ \pm 10^\circ$)では見られなかった大きなヒステリシスがこの $C_l \sim \alpha$ に見られる。さらに $\alpha = -23^\circ \sim -25^\circ$ にかけて、いわば負の失速現象すら現れている。

この原因を図4の結果もふまえて推察すると、デルタ翼の頂部が地面に近づき過ぎると前縁剥離渦の形成を拘束し、いわばその自然な発達を損う。したがって図4(b)のように負の最大迎角を迎えた後の前縁剥離渦はこの発達が抑制されたものと思われる。一方、デルタ翼頂部まわりの前縁から翼下に流入した流れは、負の迎角によるデルタ翼と地面の間のデ



(a) $\alpha = -20^\circ$ in $\frac{\partial \alpha}{\partial t} < 0$



(b) $\alpha = -20^\circ$ in $\frac{\partial \alpha}{\partial t} > 0$

Fig.4 Flow visualizations under the pitching delta wing, $h=50\text{mm}$, $\alpha = -15^\circ \pm 10^\circ$.

ィフューザ効果で圧力が回復し、その結果、これが前縁剥離渦の効果に勝り、 C_l の上昇(負の失速)につながったものと考えられる。ただし、これは通常の失速現象のように翼上面における流れの剥離現象や、デルタ翼における前縁剥離渦の崩壊現象によるものではない。これは図4(b)の前縁剥離渦が崩壊していないことから分かる。

4. おわりに

デルタ翼に負の迎角を与え、地面も考慮したダウンフォース特性について調べた。ダウンフォースについては、デルタ翼は通常の翼型よりも大きな力を発生し、本研究ではNACA0012翼の1.5倍を超える結果となった。また、ピッチング運動させた場合、通常の正の迎角において見られる失速とは異なる理由から負の失速現象が出現した。

5. 参考文献

- (1) Kawazoe, H., Tsuruta, S. and Morita, S., Location Effects of Pitching Delta Wing above the Ground on the Dynamic Characteristics, Proc. 23th ISTS, Vol.1, pp.1174-1179, 2002.
- (2) Kawazoe, H. and Morita, S., Altitude Effects of Rolling Delta Wing on the Dynamic Characteristics and the Flow Fields around the Wing, AIAA paper, No. 03-3471, pp.1-10, 2003.
- (3) Kawazoe, H. and Morita, S., Ground Effect on the Dynamic Characteristics of a Wing-rock Delta Wing, AIAA Paper, No. 04-2352, pp.1-11, 2004.