デルタ翼前縁剥離渦のレイノルズ数効果に関する数値的研究

Numerical Simulation of Reynolds-Number Effects for Leading-Edge Separation around Delta Wing

千葉一永, 大林茂, 中橋和博 (東北大)
Kazuhisa Chiba, Shigeru Obayashi and Kazuhiro Nakahashi (Tohoku University)

1. 序論

宇宙輸送機や超音速旅客機は高速巡航時に於ける性能向上のためデルタ翼やそれに類した主翼を持つ．デルタ翼は離着陸時高迎角飛行を行うため翼上面の流れ場は前縁剥離渦が支配的になり，空力特性に大きな影響を及ぼす．このため，デルタ翼周りの解析は実験，数値計算共に数多く行われてきたが，最近 NASA に於いて行われた実験 [1] の中で Reynolds 数効果が定量的に確かめられた．

この実験では尖った前縁と丸みを持った前縁を用い，一桁違う 2 つの Reynolds 数で実験を行っている．尖った前縁では Reynolds 数効果は現れなかったのに対し，丸みを持った前縁の場合，高 Reynolds 数では低 Reynolds 数に比べ前縁剥離位置が翼根長の約 20%後流側へ下がる結果が得られた．

この結果を受け，本研究では実験で使われた丸み付き前縁を持ったデルタ翼に対し数値流体力学手法を用いることで，表面圧力係数分布の実験値との比較を行い，Reynolds 数効果を計算で捉えられるか試みる．

2. 数値計算手法

本計算では計算格子として構造格子法・非構造格子法を採用する．構造格子法では支配方程式は 3 次元 Thin layer Navier-Stokes 方程式，また非構造格子法では支配方程式として 3 次元 Navier-Stokes 方程式を用い，セル節点有限体積法により離散化し，流束評価に HLLEW 法，時間積分に LU-SGS 陰解法を用いる．さらに，非構造格子法では数値拡散による渦の拡散を防ぐため渦中心同定法を用いた解適合格子法により渦近傍の格子細分化を行う．

また，デルタ翼周りの渦を正確に捉えるため複数の乱流モデルを用い検討する．構造格子法では Degani-Schiff による修正 Baldwin-Lomax(B-L) モデルを用いる．非構造格子法では Goldberg-Ramakrishnan(G-R)1 方程式モデルと Spalart-Allmaras(S-A)1 方程式モデル及び Fares らによって提案された修正 S-A モデル [2] を使用する．

3. 計算結果

計算で使用したデルタ翼形状は実験で用いられた前縁後退角 65° を持つ風試モデルに従い，主流 Mach 数 0.4，迎え角 13° 及び 2/3 翼根長を基準にした Reynolds 数 6×10^6 及び 6×10^7 の条件で計算を行った．

構造格子法では，$190 \times 103 \times 101$ 点の O-H 型格子を生成した．非構造格子法では非構造ハイブリッド格子を適用し，初期格子に格子点数約 100 万点の格子を用い，これに対し解適合格子法を 2 回適用した結果格子点数約 240 万点となった．さらに，表面格子数を約 2 倍に取った格子点数約 360 万点の格子を生成し計算を行うことで格子依存性を調べた．

前縁剥離渦構造を詳細に捉えた修正 S-A モデルを用いた際の渦粘性断面と瞬間流線の図を Fig. 1 に示す．各乱流モデルでの圧力分布と実験値とを比較した図を Fig. 2 に示す．

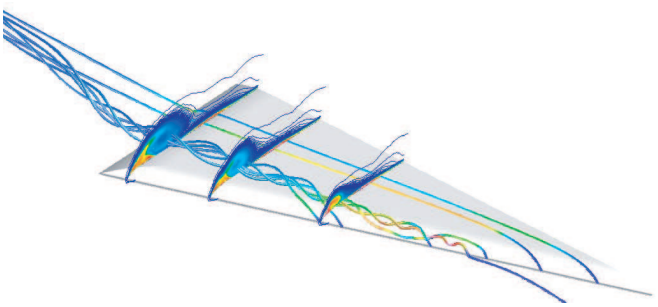

Fig.1 Eddy viscosity contours and streamlines with the modified S-A model; $Re = 6 \times 10^7$

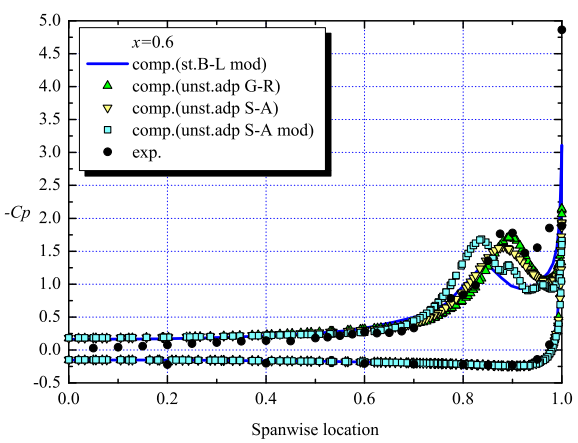

Fig.2 Surface pressure coefficients; $x = 0.6$, $Re = 6 \times 10^7$

4. 結論

本研究ではデルタ翼前縁剥離渦の Reynolds 数効果を調べるため，構造格子法・非構造格子法を用いて前縁に丸みのある形状の数値解析を行った．B-L や G-R モデルでは実験で確認された Reynolds 数効果は捉えられなかったのに対し，S-A と修正 S-A モデルでは Reynolds 数効果を定性的に捉えられることを確認したが，定量的な一致にはさらに検討の必要がある．

参考文献

[1] Luckring, J. M. “Reynolds Number and Leading-Edge Bluntness Effects on a 65° Delta Wing,” AIAA paper 2002-0419, 2002.

[2] Fares, E., Meinke, M. and Schöder, W. “Numerical Simulation of the Interaction of Wingtip Vortices and Engine Jets in the Near Field,” AIAA paper 2000-2222, 2000.