

弾性運動体の壁面の移動による渦度の生成および成長メカニズムの解明

淵脇 正樹 (九州工業大学)

1. 緒言

運動体まわりの流れは、流れの基礎現象の一つとして知られているが、その複雑な渦の振る舞いや非定常流体力特性は、学術的関心も高く、流体機械の実用的問題の観点からも古くから注目された現象である。近年では、バイオミメティクス (生物模倣) の観点から、科学技術の各分野において弾性運動翼が注目され、そのまわりの流れ場に関する基礎研究が報告されている。特に、運動による渦のはく離、渦の再付着、また、渦列の生成など流れのマクロな構造とその圧力場や非定常流体力特性の関係が明らかにされているが、マクロな構造の可視化やその流体力測定に終始している。これらの起源は、剛体、弾性体に関わらず、壁面近傍の渦の発達過程 (生成—成長—放出) の変化であり、この発達過程こそが、最終的に、はく離、流体騒音・振動に起因している。本研究では、運動と変形により、境界層を含む壁面から巻き上がる渦度の生成および成長過程を明らかにすることを最終目的とする。本研究課題では、ANSYS 16.1 / ANSYS-CFX 16.1 を用いた流体構造連成解析により、静止状態ではく離が生じる迎え角 16 度において、ヒービング運動する弾性翼後部の弾性変形が、翼前縁近傍の渦構造、さらには、その翼面 (近傍) 上の渦の成長・発達過程に与える効果を明らかにすることを目的とする。

2. 解析モデルおよび解析条件

本研究では NACA0010 翼を解析対象とし、供試翼の翼弦長およびスパン長さはそれぞれ 60[mm] および 5[mm] である。弾性翼は、翼前縁から 25%($x/c=0.25$) までの位置を剛体部としており、後半部を弾性部とする。供試翼には、ヒービング運動を剛体部に与えている。流体解析における支配方程式は連続の式および N-S 方程式であり、構造解析における支配方程式は多自由度減衰系の運動方程式である。運動翼の弾性部は非線形性の強い構造解析となるため、20~30%の大きな変形、ひずみおよび一次のモード変形に適用できる Neo-Hookean モデルを用いる。本研究では流体構造連成解析を用いており、翼面上に流体解析の圧力と構造解析の変位を受け渡す境界面を設けることで、流体領域と構造領域を相互に解く、分離型 2-Way 弱連成解析を行う。

3. 解析結果および考察

運動翼前縁から巻き上がる前縁はく離渦の渦構造は、ほぼ同等に見えるが、遅れて成長していることがわかった。特に、 $0.4 < t/T < 0.8$ において弾性運動翼前縁近傍の前縁はく離渦の成長が剛体翼に比べて遅れている。また、前縁から巻き上がる渦の最大渦度も異なり、 $t/T=0.5$ においては剛体翼では $-120.45 [s^{-1}]$ 、弾性翼では $-170.74 [s^{-1}]$ となり、弾性翼では前縁から巻きあがる渦の渦度が強く、さらには、この渦度は前縁はく離渦形成時から、前縁を離れて翼面上に存在する $0.4 < t/T < 1.1(0.1)$ においても強い。弾性翼は、翼後縁部の弾性変形分だけ相対迎え角が小さくなるため、前縁はく離渦の成長が遅れると考えられる。

ヒービング運動する弾性翼面 (近傍) 上に生成する渦度を図 1 に示す。ヒービング運動する剛体翼および弾性翼面上に生成される渦度は、 $t/T=0.4$ において、翼前縁で強い正の渦度を生成していることがわかった。これは、前縁はく離渦直下にある反時計回転の渦度を意味している。いずれも t/T に対して渦度は減少する傾向にあるものの、弾性翼は、図 1 に示すように、渦度がほぼ同じ割合で減少しており、さらには、その値も剛体翼に比べて大きい。すなわち、弾性翼の翼面上に生成された反時計回転の渦は、翼前縁近傍で前縁はく離渦と干渉していることが予想され、その結果、前縁はく離渦はその回転を強めるだけでなく、その成長が遅れていると予想できる。その後、弾性翼の翼面上に生成された反時計回転の渦は、翼後縁へと発達している。これは、弾性翼後部の弾性変形による壁面の移動により、その渦度は消失することなく、翼後縁部まで存在していると考えられる。

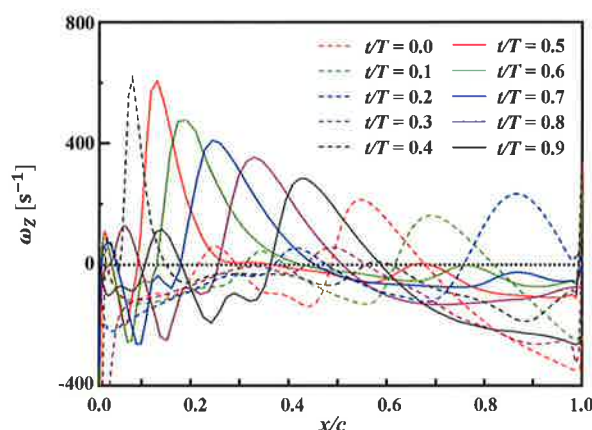


Fig. 1 Vorticity distributions on second grid point in heaving airfoils