

K-50

数値解析による翼遠方後流と渦スケールの予測評価

Numerical prediction of flow field and turbulence length scale in far-wake of an airfoil

○水本達也¹, 鈴木康方²*Tatsuya Mizumoto¹, Yasumasa Suzuki²

Abstract: We focused on the prediction accuracy of the airfoil far-wake by Large Eddy Simulation (LES). In order to accurately predict the airfoil wake, it is necessary to resolve the integral scale. In this research, we aimed to investigate the high accuracy with the integral scale of far-wake by LES. The computational model was rectangular airfoil with a NACA0012 profile. The Reynolds number was $4.0E5[-]$, the Angle of Attack was 9 degrees, and total cells of the calculation grid is approximately 208million. The integral scale was calculated by the cross-correlation coefficient and the auto-correlation coefficient from the flow velocity at two points in space. The prediction accuracy of the velocity profile at the airfoil trailing edge to $X/C = 6C$ almost agree with the experimental value. The integral scale calculated by cross-correlation coefficient was the longest in the main flow direction, half in the Y direction. The integral scales increased until $X/C = 3C$, but thereafter the change became less gradual.

1. 序論

近年コンピュータの高度な発展により、様々な流体機械に対しての高精度な数値解析のニーズが高まっている。しかし、飛行機や風車などの高レイノルズ数のものを高精度に予測するのは難しい。これはレイノルズ数が高くなるにつれ境界層が薄くなり、解析に必要な格子点数が莫大に増加し、計算負荷が非常に大きくなるからである。格子点数がどの程度増えるかを Chapman^[1]が翼型を例に内層域まで解像する Large Eddy Simulation (LES) を行うのに必要な総格子点数 N_{total} を $N_{total} \sim Re^{1.8}$ と見積もった。これは Direct Numerical Simulation (DNS) に匹敵する計算コストである。

この壁面近傍での問題を解決するためには、格子点数が非常に必要となる内層域を何らかのモデル化を行い、総格子点数を減らし計算コストを抑えることが必要となる。そのために様々な数値解析手法が提案されている。代表的なものでは Spalart^[2]による Detached Eddy Simulation (DES), Piomelli & Balaras^[3]による LES/Reynolds averaged Navier-Stoke (RANS) ハイブリッドや Kawai & Larsson^[4]による Wall-Modeled LES などが挙げられる。これらを適用して例は数多くあるが、物体から遠方場における渦構造や予測精度の検証をした例は少ない。これは適用した際の比較検証用の高精度な数値解析結果が少ないことが理由の一つとして挙げられる。

そのためこの研究では、比較検証用の高精度な数値解析結果を得るために LES を用いて翼型から遠方場の渦スケール予測や速度分布をもとめた。翼から発生する渦スケールは数多くあるが、その中でも最もエネ

ルギーを持つ渦スケールの積分長 (Integral Scale) を求めた。

2. 数値解析条件

本研究で使用した計算手法は LES でありソフトウェアは東京大学生産技術研究所によって開発された Front Flow/blue^[5] (FFB) を用いた。使用した Sub Grid Scale Model は Dynamic Smagorinsky Model を使用した。

使用した翼型は NACA0012 を使用し、レイノルズ数 Re は $4.0 \times 10^5[-]$ であり、コード長と主流速度によって無次元化している。翼型周りの解像度は $(\Delta x^+, \Delta y^+, \Delta z^+) = (40, 4, 10)$ としており翼型後方は $1[\text{mm}]$ の渦をとらえられるようにしている。迎い角は流入角度をつけることによって再現しており、 9° としている。また、総格子点数は約 2.08 億となっている。

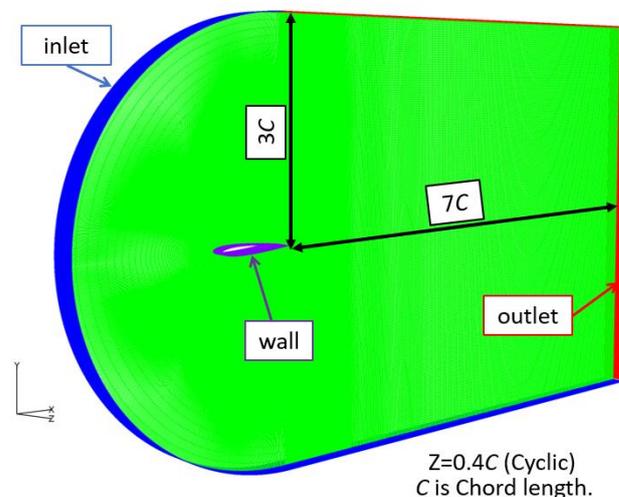


Fig.1 Computational grid

3. 解析結果および考察

まず後流の発達の様子を比較するために遠方場である $X/C = 6$ での平均流速分布を図2に示す. 平均化するために翼型のスパン方向に21ラインとり, 10000step計算した結果を使用した. また, 計算の妥当性を検討するために実験値^[6]と比較している

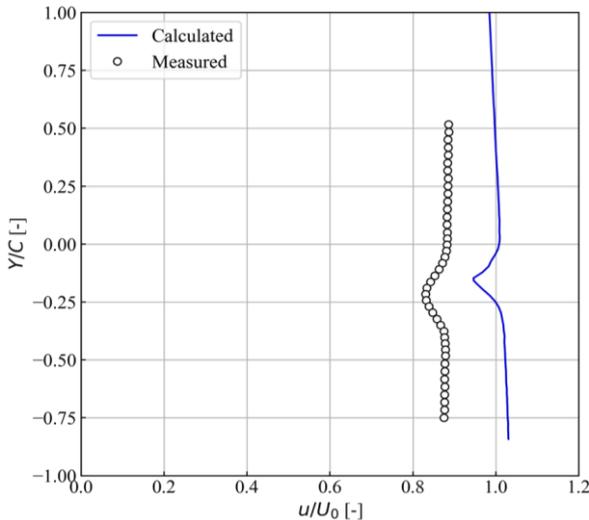
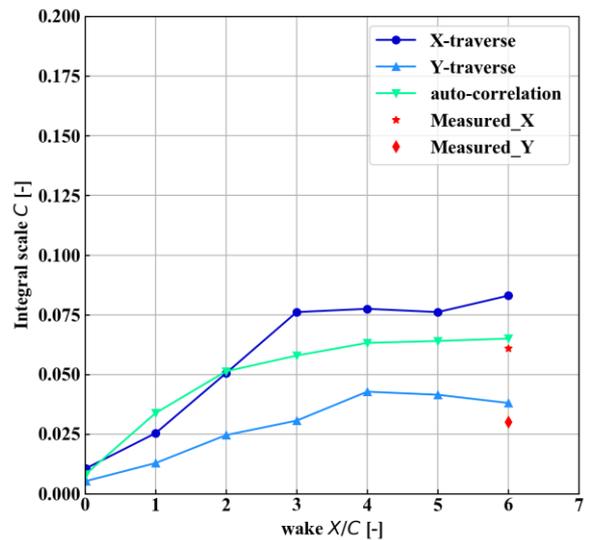


Fig.2 Time-averaged profile at $X/C = 6$

計算結果と実験値どちらも速度欠損するピークがあることがわかる. このピークでの座標が約 $0.01[C]$ 異なるが実験と計算とで完全に座標を一致させることは非常に困難であるため, ここではピークから主流速度になるまでの y 方向のサイズと主流速度からどれほど速度を欠損しているかを比較する. 図2より計算結果は実験値を一致していることがわかる.

積分長は相関係数から求めており, 基点から距離を話していった時の相関である相互相関と基点での時間変化による相関である自己相関の2種類の相関係数より積分長を求めた. 基点は速度欠損のピーク点 (MVD), 流速変動のピーク点各2点 (Peek1, Peek2) の3点とした. 検討用の実験値^[6]は相互相関によって求めたものであり, x, y 方向の2種類ある. 求めたものを図3に示す.

図3より相互相関および自己相関から求めた積分長はいずれも $X/C = 3$ までは単調に積分長が大きくなっており, $X/C = 3$ 以降では増大が緩やかになっていることがわかる. また, 相互相関より求めた積分長の x 方向に移動させたものと y 方向に移動させたものでは x 方向移動させたものの方が約2倍大きくなっていることがわかる.



4. 結論

- 翼型から遠方場での速度分布は実験値と座標のずれが $Y/C = 0.01$ ほどあったが速度欠損の幅を比較すると一致していた.
- 相互相関と自己相関の2種類の相関により積分長を求め, どちらの積分長も $X/C = 3$ まで単調増加していたがそれ以降では変化が緩やかになっていた.
- 相互相関では x, y 方向に分けて積分長を求め, x 方向の方が y 方向よりも各点約2倍程度大きくなっている.

5. 参考文献

- [1] D. R. Chapman. Computational aerodynamics development and outlook. AIAA Journal, Vol. 17, No. 12, pp. 1293–1313, December 1979.
- [2] P. R. Spalart. Detached-eddy simulation. Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 41, pp. 181–202, 2009.
- [3] U. Piomelli and E. Balaras. Wall-layer models for large-eddy simulations. Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 34, pp. 349–374, 2002
- [4] S. Kawai and J. Larsson. Wall-modeling in large eddy simulation: Length scales, grid resolution, and accuracy. Physics of Fluids, Vol. 24, No. 1, p. 015105, January 2012.
- [5] Download link for Front Flow/blue version.8.1 is <http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/dl/>
- [6] Y.Suzuki, C.Kato, Measurement of flow field and turbulence length scale in far wake of an airfoil, The 24th National Symposium on Power and Energy Systems, No.19-16, 2019.