

I-50 渦パネル法による翼断面周りの流れ場の数値流体解析

徳島大学大学院 学生員 ○柿坂 拓也
 徳島大学工学部 正員 野田 稔
 株式会社一条工務店 大下 直之

徳島大学工学部 正員 長尾 文明
 東京工芸大学 正員 白澤 多一

1. はじめに

近年コンピュータの発達に伴い耐風工学の分野においても実験による検討に加え、コンピュータを用いた数値流体解析が盛んに行われている。数値流体解析を行う利点としては、多大な時間と費用を必要とする風洞実験を行う前に実験対象について空力特性を検討することができ、実験に必要とする時間や費用を大幅に削減できることや実験が困難な対象にも容易に適用することが可能なことである。

本研究では、数値流体解析の中でも流れ場に格子を構成する必要がなく、複雑な形状の断面や動的な解析にも断面の座標や解析条件を入力するだけで容易に適用できるといった長所を持つ渦パネル法を用いて図1に示すような対称翼 NACA0012 断面周りの流れ場を再現する。また、翼断面に働く流体力の解析は、紙面の都合上省略する。

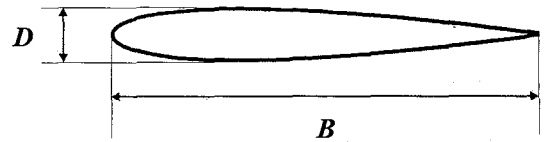


図1 NACA0012 翼断面

2. 渦点放出による解析

本解析で用いる渦パネル法では、非圧縮性流体解析の基礎式である Navier - Stokes 方程式と連続式を渦度方程式に書き換えることで未知量を渦度のみにし、任意の点における流速を Biot - Savart の式より求めて流れ場を再現する¹⁾。また、物体表面は、隣接する渦度の強さの差を線形的に変化すると仮定した渦パネルを連結することで近似している。

放出渦要素に渦点を用いる場合、図2に示すように物体表面の各パネルの中心に渦点を放出する参照点を設定する。そして、参照点ごとにパネルの循環と誘起速度を計算し、パネルの循環を与えた渦点を境界層厚さだけ離れた位置にタイムステップ毎に放出する。放出された渦点は、2次精度の Euler 法により、移動させタイムステップ毎に追うことで流れ場を再現する。解析条件は、断面形状に図1に示す NACA0012 翼断面を用い、分割数 48 分割、レイノルズ数 $Re=600$ 、風速 $U=1.0\text{m/s}$ 、渦点移動時間 $tU/B=0.05$ と設定した。

放出渦要素に渦点を用いて再現した流れ場を図3に示す。図3(a)は、迎角を与えずに再現した流れ場である。流れが物体表面に沿って流れており風洞における可視化実験の報告²⁾と同様の結果が得られた。しかし、図3(b)に示す迎角 5deg を与えて再現した流れ場では、翼前縁から大きな剥離が見られ、風洞での可視化実験では、迎角 13deg 付近まで剥離は見られないという報告よりも小さい迎角で剥離が生じている。この原因としては、放出渦要素に渦点を用いたことで、渦点の位置に渦度が集中し、渦点の位置

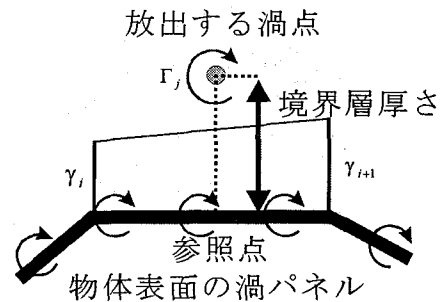
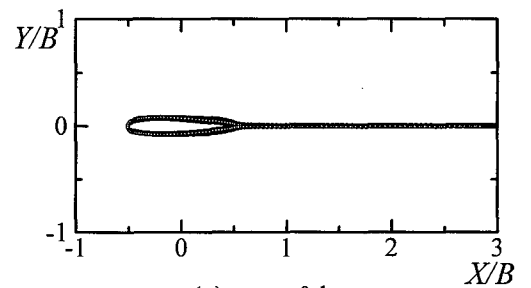
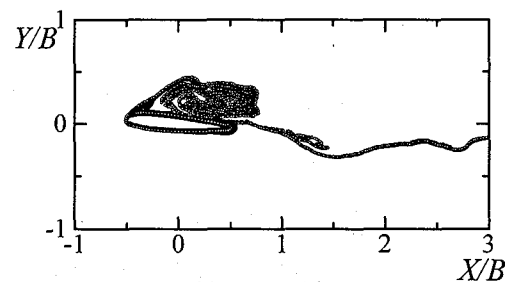


図2 渦点放出



(a) $\alpha=0\text{deg}$



(b) $\alpha=5\text{deg}$

図3 渦点放出による流れ場

で渦度の分布が実際よりも強くなることで風洞実験の結果よりも小さな迎角で剥離を生じたと考えられる。そこで次節では、新たな放出渦要素モデルを提案した解析の検討を行う。

3. 渦パネル放出による解析

渦点の位置に循環が集中しないように、放出渦要素モデルに渦パネルを用いて放出渦の渦度を分布させて解析した流れ場の検討を行う。図4に示すように物体表面を近似する渦パネルから、境界層厚さだけ離れた位置に渦の循環を与えずに渦パネルを放出する。放出された1つの渦パネルは、端点ごとの誘起速度を計算し、端点を移動させ、直線で結ぶことで移動させる。そして、渦パネルを移動させた後に渦パネルが放出された物体表面の渦パネルの循環を保存するように移動後の放出渦パネルの長さに反比例させた渦度を放出渦パネルの端点の渦度とする。また、放出渦パネルの渦度も線形的に分布すると仮定して流下させることで、流れ場を再現する。ここで、放出渦要素に渦点を用いた時と同様の解析条件で行い、再現した流れ場を図5に示す。

図5(a)は、放出渦要素に渦パネルを用い迎角 5deg を与えて解析した流れ場である。渦点を用いて行った解析に見られたような前縁での剥離は見られず、流れは物体表面に沿って流れるという風洞における可視化実験の結果と同様の流れ場を再現できた。しかし、図5(b)に示す迎角 15deg を与えて解析した流れ場では、物体前縁に小さな剥離が見られるものの完全な剥離は見られない。これは、風洞の可視化実験において 13deg 付近で剥離が始まるという報告よりも剥離が生じる迎角が大きくなってしまった結果となった。この原因としては、風洞実験における2次元性と数値流体解析における完全2次元性の相違や入力断面の分割数による違い、解析条件によるもの等も考えられるが、放出渦要素に渦パネルを用いたモデルの更なる検討も必要である。また、放出渦要素に渦パネルを用いることで、計算に10倍以上の時間が必要となるという問題も今後の課題となった。

4. まとめ

渦パネル法を用いて、物体周りの複雑な流れ場を再現することを目的として、NACA0012 翼断面周りの流れ場を解析した。放出渦要素に渦点を用いると渦点の位置に渦度が集中し、その位置での渦度が強くなるために風洞実験の結果よりも小さな迎角で剥離が見られたと考えられる。そこで、放出渦要素を渦パネルにすることで、流れ場に渦度を渦点に集中させるのではなく渦パネルとして分布させることで、実際の流れ場により近い再現を行う事に成功した。しかし、今後の課題として放出渦要素に渦パネルを用いることで、剥離が発生する時の迎角が実験結果よりも大きくなる問題の解決や計算量が大幅に増加したことに対する計算時間の短縮などが挙げられる。

- 参考文献 1) 数値流体解析編集委員会, 乱流解析, 東京大学出版会
2) 西山哲男, 翼型流れ学, 日刊工業新聞社

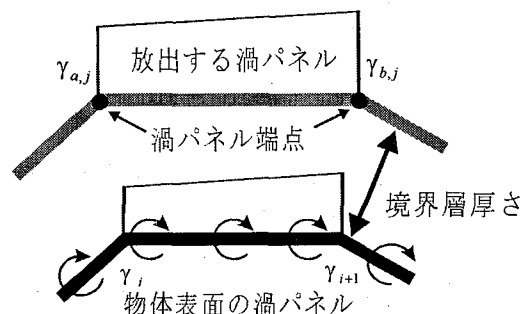


図4 渦パネル放出

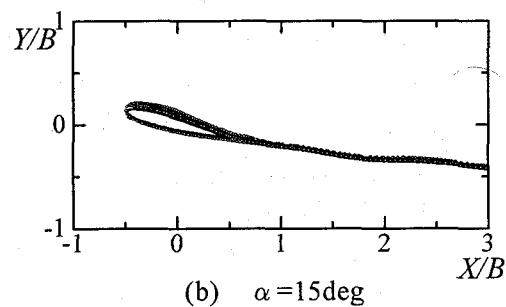
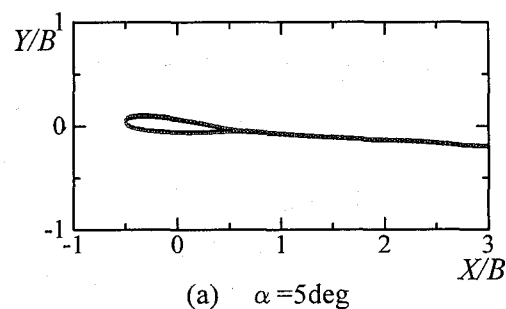


図5 渦パネル放出による流れ場