

I-12 渦パネル法による矩形断面周りの流れ解析

徳島大学大学院	学生員	○柿坂	拓也
徳島大学工学部	フェロー	宇都宮	英彦
徳島大学工学部	正員	長尾	文明
徳島大学工学部	正員	野田	稔

1. はじめに

近年急激に発展している数値流体解析の中には、実験よりもはるかに簡単に、流れの詳細な諸特性量を得られる場合も少なくない。本解析では、数値流体解析の方法として、剥離および移動境界を伴う非定常流を扱う際に有効とされる渦法を用いて矩形断面周りの流れ場の再現を行う。

また、再現した流れ場において、物体表面に働く流体力は圧力 Poisson 方程式及び非定常流に拡張された Blasius の公式を用いて計算し、検討する。

2. 解析手法

本解析で用いる渦パネル法は、非圧縮性流体に基礎式である、Navier - Stokes 方程式と連続式を渦度方程式に書き換え未知量を渦度のみにできる。そして、任意の点における流速は Biot - Savart の式より求める。また、物体表面を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、各パネルの中心に渦点を放出する参照点を設定すると、参照点ごとにパネルの循環と誘起速度を計算して、パネルの循環を与えた渦点を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、図1に示したような流れ場を再現する。また、図2は、流れ場に格子状に座標をとり、各座標と物体表面及び流れ場の渦度から流れ関数を導いた流線である。

再現した流れ場より、物体表面に働く流体力を計算する方法として用いた圧力 Poisson 方程式は、物体表面に分布させた圧力評価点ごとに、物体表面上の渦点および流れ場に存在する渦点からの寄与の重ね合わせとして、渦点の循環と誘起速度から、直接圧力係数を計算するものであり、物体表面の圧力分布を計算によって求める手法である。また、非定常流に拡張された Blasius の公式は、物体を含む閉曲線中の運動量保存則を用いて、物体全体に働く流体力を簡単に計算する手法である Blasius の公式を閉曲線と物体の間の空間が時間的に変化するとして、非定常流に拡張された公式である。このような手法を用いて物体に働く流体力を計算し、風洞実験及び、RANS モデルを用いた解析結果¹⁾を比較して、本解析の精度と有効性を検証した。

解析条件は、断面形状に辺長比 3.0 の矩形断面を用い、パネルの長さを 0.04m、分割数 200、レイノルズ数 $Re=600$ 、風速 $U=1.0\text{m/s}$ 、渦点移動時間 $(tU/D)=0.1$ と設定した。

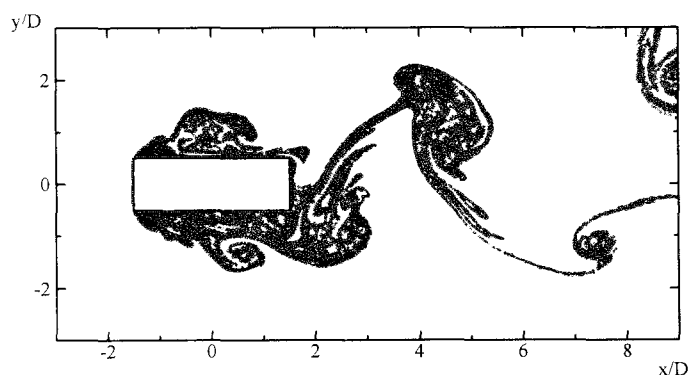


図1 渦流下状況($tU/D=725$)

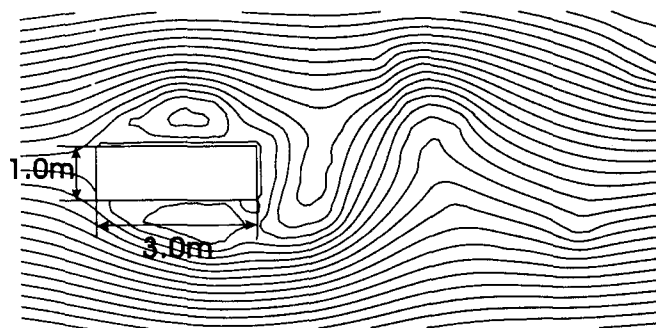


図2 瞬間流線($tU/D=725$)

3. 解析結果及び考察

図3は、本解析により再現された流れ場から計算した揚力係数の時系列変化を示したものである。圧力 Poisson 方程式及び非定常流に拡張された Blasius の公式を用いて計算した結果はいずれもほとんど同様の値を示しており、辺長比 3.0 の矩形断面における複雑な揚力の変動が得られている。

図4は、揚力係数の時系列変化より、無次元周波数ごとのパワースペクトルを示したもので、本解析では、無次元周波数 0.13 付近でパワースペクトルの卓越が見られ、ストローハル数は 0.13 であるといえる。また、実験結果による揚力係数の時系列変化の無次元周波数も卓越するパワースペクトルに幅があるものの解析結果と同様に 0.13 付近で卓越しているといえる。ここで、無次元周波数 0.03 付近で卓越しているが、複雑な再付着の影響を受けた揚力変動を表しているが、本解析では、計算回数が少なく検討は困難である。

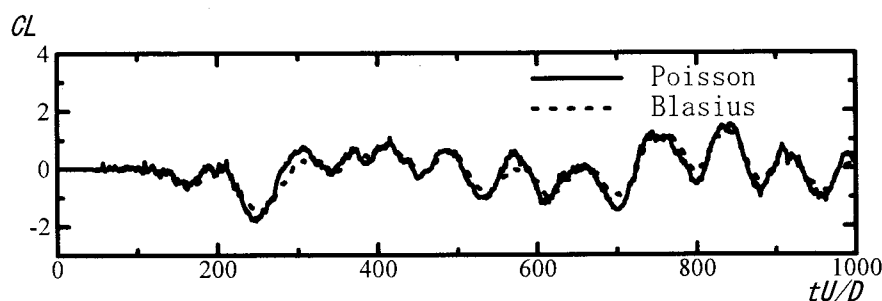


図3 揚力係数時系列変動

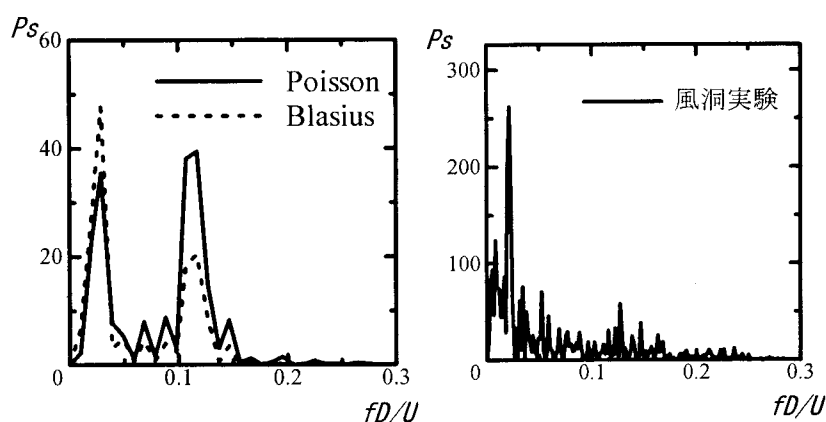


図4 揚力の無次元周波数毎のパワースペクトル

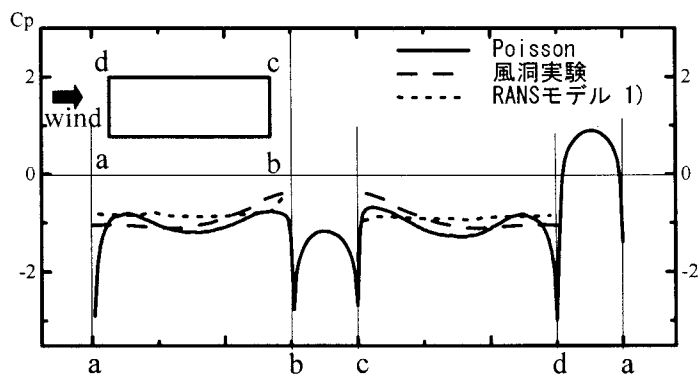


図5 平均圧力係数分布

図5は物体表面の平均圧力係数分布を示したもので、上流の物体前面のよどみ点では、圧力係数が 1.0 となり、物体側面の圧力係数分布を風洞実験及び RANS モデルを用いた解析結果と比較すると、前面の角で剥離したせん断層が側面後方で複雑に再付着するため、その部分で負圧が回復するという辺長比 3.0 の矩形断面における特徴を示し、本解析とほとんど同様の結果となることから、本解析は、有効であるといえる。

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、前面で剥離したせん断層が側面後方で複雑に再付着する辺長比 3.0 の矩形断面周りの流れ場の解析を試みた結果、満足できる精度で再現することができた。また本解析により求めた物体周りの流体力は、風洞実験や RANS モデルを用いた解析と同様の結果を示した。しかし、ここでは、紙面の都合で省略しているが、風洞実験の結果と比較して、圧力係数の変動が大きくなるという結果が得られており、この原因を解明する必要がある。

参考文献

- 1) 嶋田健司, 孟岩 “矩形断面柱の空力特性と $B/D=2$ 断面柱の空力弾性振動の $k-\epsilon$ モデルによる数値解析” 第 15 回 風工学シンポジウム 1998.