渦法による半円柱まわりの流れの解析

徳島大学工学部　学生員　竹内　雅哉　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

半円形断面は，古くより迎角に対する揚力勾配が負となり，ギャロッピングが起こる空力的に不安定な断面としてよく知られている。しかし，静的空気力特性についての詳しい情報はなく，ギャロッピングの特性を推測する上でも静的空気力特性は必要な情報である．本研究は，二次元半円形断面模型を対象とした静的空気力を三分力計測実験および渦法による数値解析の両面より求め，渦法の解析精度を確認するとともに半円形断面の静的空気力特性について検討するものである．

2.解析手法

解析には，二次元非圧縮 N-S 方程式と連続の式に基づいた渦法を用いた．迎角の選定に関しては，実験結果において抗力および揚力係数の値が特徴的な変化を示した迎角とした．図‐1 に示すように迎角は風軸を基準とする．また，境界層近似には亀本により分類されているところのレベル 3[1)]，すなわち表面全体より渦を放出する方法を適用し，流体力の計算については境界要素法による圧力 Poisson 方程式の解析方法[2)]を用い，物体表面上の圧力係数より C_D，C_L を算出した．また，無次元時間は T=t･U/D として与えられている．表-1 に解析条件を示す．

表-1　解析条件

断面形状	半円形（直径 d=1.0m）
風速 U レイノルズ数 Re=U･D/ν	1.0m/s 1500
迎角 α（度）	0　15　40　45　60　80 90　100　120　140　160　180
渦点配置間隔 DS=ds/d	0.05（50 分割）
渦点移動時間間隔 DT=dt/t	0.04
計算ステップ数 Nc	1000
無次元時間 T	40

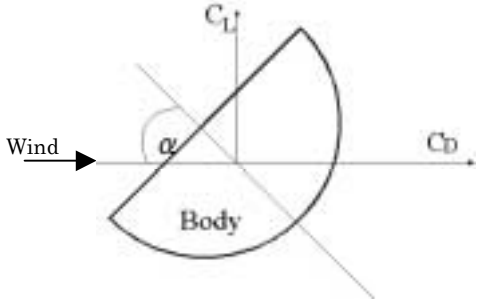

図-1　C_D，C_L，迎角の定義

3.並列計算[3)]

本研究では，従来のレベル 3 を用いた渦法では，計算の経過とともに放出渦が増加していくので，非常に長い計算時間を要するという問題点を解消するため，プログラムの並列化を行うことで高速化を図った．

本プログラムにおいては MPI（Message Passing Interface）というプロセッサ間でメッセージを更新しながら並列処理を実現するという方式を用いた．これにより，1 台(PentiumⅢ850MHz)で約 90 時間費やされていた計算作業が 4 台のパソコン(PentiumⅢ850MHz×2 台と Pentium4 1.8GHz×2 台）を使った結果約 10 時間に短縮されるという成果が挙げられた．

4.実験概要

本研究の実験では，１組の荷重計に半円柱模型を固定し二種類（4m/s，8m/s）の風速で，迎角を変化させながら三分力（C_D：抗力，C_L：揚力，C_M:空力モーメント）を計測した．なお，空力モーメント係数に関してはギャロッピング特性に関係しないため，ここでは省略する．表-2 に実験条件を示す．

表-2　実験条件

断面形状	半円形（直径 60mm）
風速 U レイノルズ数 Re	4.0m/s　8.0m/s 16000　32000
迎角 α	0～45°　（3°間隔） 45～180°（9°間隔）

キーワード：渦法，数値流体力学，半円形断面，並列計算，三分力，ストローハル数
徳島大学工学部風工学研究室　〒770-8506　徳島市南常三島町 2-1 TEL/FAX 088-656-7323

5.解析結果と実験結果の比較

解析および実験より得られた三分力の結果を図-2 に示す．

実験結果は以下の通りである．抗力係数に関しては迎角 0～40 ° 付近までに徐々に減少し，迎角 45 ° 付近で値が急激に減少し，その後迎角 90 ° で最小となり，その後増加に転じている．また，迎角 140 ° 以降についてはあまり大きな変化は見られない．また，揚力係数に関しては迎角 0～45 ° まで負勾配となり，その後迎角 90 ° でピークとなった後，迎角 180 ° まで緩やかな放物線を描きながら減少していくという傾向が認められる．なお，風速 4.0m/s と 8.0m/s の空気力係数に，ほとんど差が見られないことよりこの Re 数の範囲での Re 数依存性はほとんどないと考えられる．

次に，実験値と解析値を比較すると，迎角 45 ° までは負勾配となり一致していることが確認でき，Re 数の影響はないと考えられる．迎角 90 ° 以降では再付着など Re 数の影響があるために解析値と実験値に差が生じた原因として考えられるが，解析結果は実験値と定性的に一致していることが確認できる．このことから，本解析で用いた渦法プログラムは一定の精度は確保できたと考えられる．

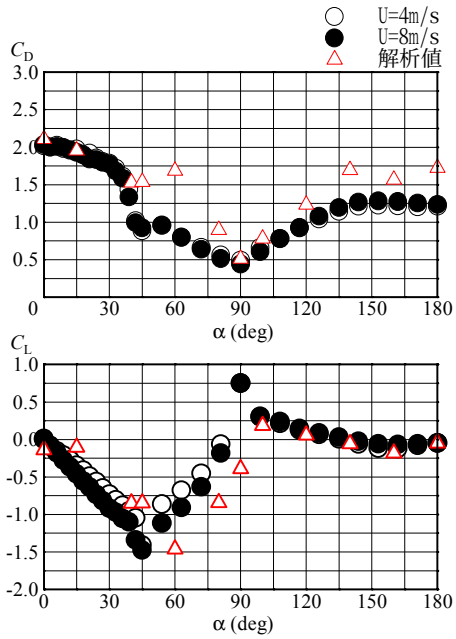

図-2　解析および実験の三分力の結果

6.各迎角におけるストローハル数の変化

各迎角における変動揚力より求めたストローハル数 [4] を図-3 に示す．ここで，St 数の計算において代表長は直径を用いた．

迎角 90 ° でストローハル数が最大となっている．これは，図-4 にも示すように風向に対する幅が迎角 0 および 180 ° と比較して半分となる．よって，放出渦の発生振動数が高くなり，St 数が最大となっていると考えられる． また，解析結果についても実験値に対応していることが確認できる．

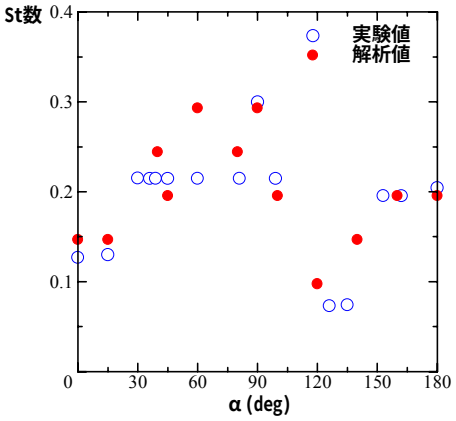

図-3　各迎角におけるストローハル数

7.まとめ

渦法を用いて，解析精度を確認するとともに半円形断面の三分力特性について検討を行った．実験結果より，空気力係数には Re 数の依存性はないと考えられる．実験および解析により得られた空気力係数の結果比較より，本解析で用いた渦法プログラムはかなり精度の高いものであると考えられる．今後の課題として，ギャロッピングが起こる空力的に不安定な断面とされる二次元半円形断面模型を対象とした静的空気力に関する検討のみであったが，今後は応答実験および解析を行うことにより，半円形模型の振動特性をも包合できるように，渦法の解析精度を高めていくことが挙げられる．

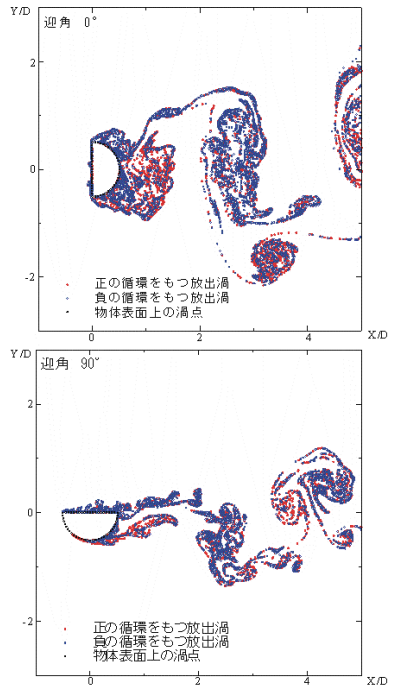

図-4　迎角 0,90 における渦の流下状況

8.参考文献

1）数値流体力学編集委員会“乱流解析”東京大学出版社，1995

2）亀本　喬司，中西　祐二“渦法のための非定常圧力計算法”
日本機会学会論文集（B 編），59 巻，568 号，1993-12

3）超並列計算研究会“PC クラスタ超入門 2000”，2000

4）日野　幹雄“スペクトル解析”朝倉書店，1977-10