

矩形柱に生じる発生メカニズムの異なる2種の渦励振に関する数値流体解析

ニチゾウテック 正会員 ○松田 良平 立命館大学 フェロー 小林 紘士
立命館大学 正会員 伊津野和行 ニチゾウテック 正会員 畑中 章秀

1. はじめに

渦励振は古くから研究が行われ、これまでに数多くの成果が得られているが、いまだに未解明な部分が多い。渦励振などの流体振動問題の研究は風洞試験が主流であるが、複雑な流体計算を大型計算機でシミュレートする数値流体解析の報告も増えてきている。しかし、両者ともハード面やコスト面で、実施するにはハードルが高い。

そこで、本研究では、比較的計算負荷の軽い離散渦法に着目し、2次元バネ支持試験を模擬して、矩形断面に生じる2種類の渦励振の基礎的な検討を行った。

2. 解析手法および解析モデル

離散渦法は境界要素法の1つであり、諸式は文献¹⁾²⁾に拠った。対象とする断面は、迎角によって2種類の渦励振(前縁剥離型、カルマン渦型)を生じる、辺長比 $B/D=2.0$ ($B=100\text{mm}$, $D=50\text{mm}$)の矩形柱とした³⁾。断面を表す離散渦数は140(無次元渦点間隔: $\angle X/B=0.02$, $\angle Y/D=0.05$)とした。

解析1stepの無次元時間刻みは $0.004(\angle t \cdot N_0)$ とし、2step毎に物体4隅から渦放出を行った。放出渦の接近に伴う異常な誘起速度の発生を回避するため Gauss 渦¹¹⁾モデルを用い、かつ粘性核の時間的な拡散を考慮した。また、計算時間短縮のため、ある程度流下した渦は順次統合し渦数を抑制した。

振動モデルは鉛直1自由度系とし、固有振動数は $N_0=2.0\text{Hz}$ 、スクルートン数 $Sc(2m\delta/\rho D^2)$ は、19.9および4.5($\alpha=0^\circ$)、4.0($\alpha=20^\circ$)とした。運動方程式の数値積分は Newmark β 法($\beta=1/6$)を用いた。なお、 $Sc=19.9$ のケースは、 $Sc=4.5$ や 4.0 のケースに比較し、早期に応答が定常化するため、風速と応答振幅の関係などの全般的な傾向を把握する目的で実施した。

3. 解析結果

図1に風速応答図を示す。解析結果は実験値^{3)~5)}と比較的良好な対応をしている。渦励振の応答ピーク風速は既往の実験結果³⁾⁵⁾¹⁰⁾と符合し、 $\alpha=0^\circ$ では $V_{cr2}=5.3$ 付近、 $\alpha=20^\circ$ では $V_{cr1}=9.0$ 付近となった。ここに、 V_{cr1} はカルマン渦の共振風速($=1/\text{Strouhal 数}$)、 V_{cr2} は前縁剥離渦励振の最大応答発生風速($=2.4B/D+0.5$)¹⁰⁾である。応答値は全般的に実験値より高めであるが、他の解析手法⁹⁾の結果と概ね一致している。このため実験値との差異は文献⁹⁾同様、減衰の振幅依存性が実験では現れることなどが要因と考えられる。

図2は揚力係数の卓越振動数をプロットしたものである。 $\alpha=0^\circ$ では V_{cr2} 付近および V_{cr1} を超え $V_{cr}=15$ 付近までの風速で固有振動数に近い。これらの風速域の応答は自励振動の要素が強いことが伺える。 $\alpha=20^\circ$ では卓越周波数がすべての風速域でカルマン渦の発生周波数となっており、応答が強制振動の要素が強いことを示している。なお、応答変位の卓越周波数は全て角柱の固有振動数に近いものであった。

図3に外力と応答振幅の時刻歴を示す。波形は、外力・応答ともDC成分と5Hz以上の成分を除去している。 $\alpha=0^\circ$ の前縁剥離渦励振時の図3(a)では、応答変位は一定振幅で外力は変位とほぼ同位相である。図3(b)に示す V_{cr1} 付近の場合は応答・揚力ともにランダムである。 $\alpha=20^\circ$ のカルマン渦励振時の図3(c)は、応答・揚力ともにランダムで振幅発達時には揚力の位相が進んでいる。

図4、図5に渦点配置図を示す。前縁剥離渦励振時の図4では、前縁B点からの放出渦が角柱の上下変位1サイクルで発達して流下する様子が分かる。これは文献⁵⁾¹⁰⁾の結果と、上述の位相差の関係にも対応するため、前縁剥離渦が物体の応答の支配要因と分かる。図4の $\alpha=20^\circ$ では側面で発達・流下する前縁剥離渦の生成は見られず、カルマン渦列のみである。

キーワード 渦励振, 数値流体解析, 離散渦法, 前縁剥離渦, カルマン渦, 応答解析

連絡先 〒551-0023 大阪市大正区鶴町2丁目15番26号 TEL 06-6555-7055

4. まとめ

本研究では、2次元の離散渦法により、矩形柱の渦励振の数値流体解析を行った。解析結果は既往の実験結果と傾向の一致が見られ、前縁剥離渦励振時とカルマン渦励振時の応答の違いを確認することができた。

今後は加振振幅の影響や物体周りの流れと流体力の関係などについて、より詳細な検討を進める予定である。

最後に、本解析の遂行にあたり立命館大学の中尾尚史氏に多くの協力を得た。ここに感謝の意を表する。

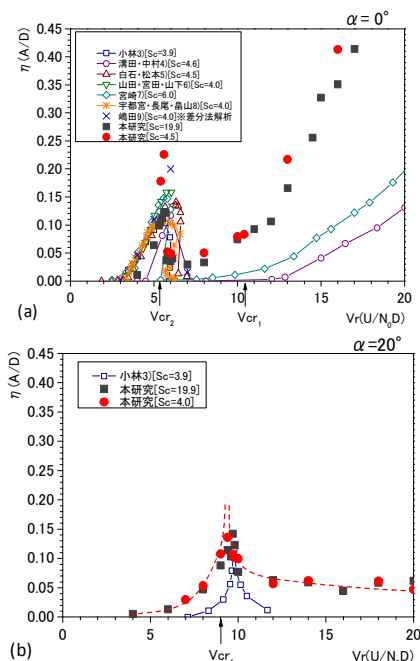


図1 風速応答図

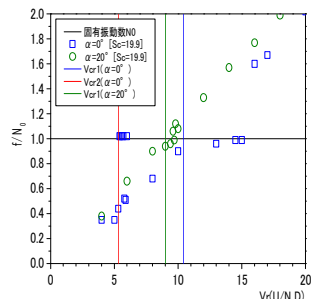


図2 揚力係数の卓越振動数

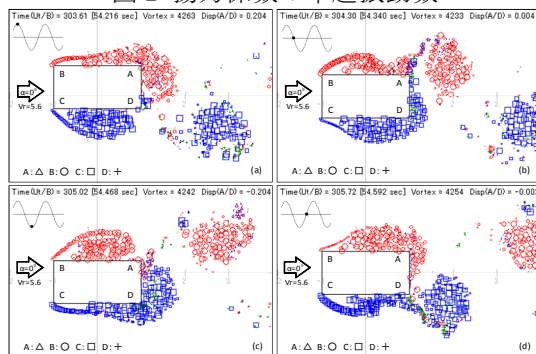


図4 渦点配置図 ($\alpha=0^\circ$ 前縁剥離渦励振時)

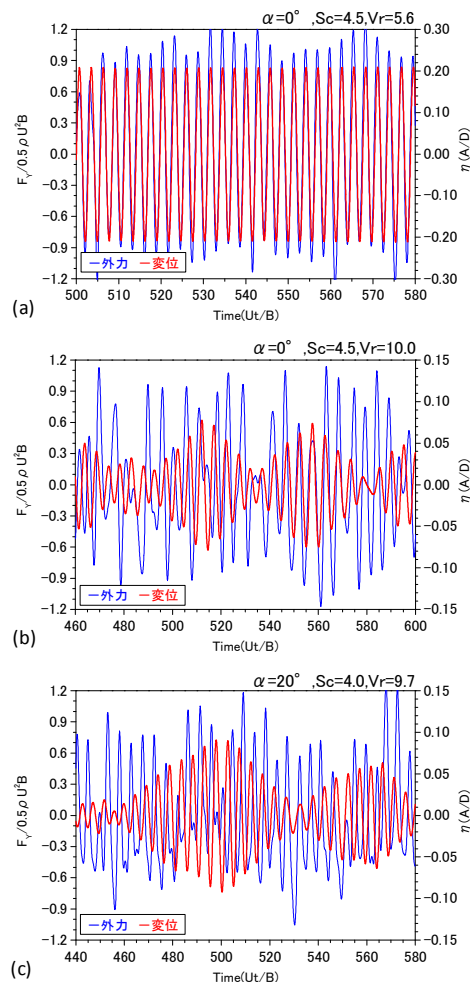


図3 外力と応答振幅の時刻歴

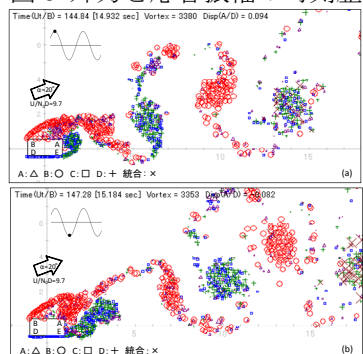


図5 渦点配置図 ($\alpha=20^\circ$ カルマン渦励振時)

参考文献

- 1) 稲室・斎藤・足立: 第7回風工学シンポジウム論文集 P123-P130, 1982年12月
- 2) 稲室・足立: 日本機械学会論文集 B編 52巻 476号 P1600-P1607, 1986年4月
- 3) 小林: 第7回風工学シンポジウム論文集 P235-P242, 1982年12月
- 4) 溝田・中村: 第3回風工学シンポジウム論文集 P201-208, 1974年12月
- 5) 白石・松本: 土木学会論文集第322号 P37-P50, 1982年6月
- 6) 山田・宮田・山下: 第7回風工学シンポジウム論文集 P243-250, 1982年12月
- 7) 宮崎: 第7回風工学シンポジウム論文集 P187-P194, 1982年12月
- 8) 宇都宮・長尾・畠山: 第8回風工学シンポジウム論文集 P327-332, 1984年12月
- 9) 嶋田: 第13回風工学シンポジウム論文集 P287-P292, 1994年12月
- 10) 小林: 大阪大学博士学位論文, 1978年11月
- 11) Guido Morgenthal: Cambridge 大学博士学位論文, 2002年10月