

自己励起型渦励振における後縁二次渦と断面辺長比の関係性

九州工業大学 学生会員 ○東村諒也

九州工業大学大学院 正会員 松田一俊 加藤九州男

九州工業大学大学院 学生会員 曹納徳 江尻和史 中村雄太

1. はじめに

従来、自己励起型渦励振は前縁剥離渦と後縁二次渦の一体化によって発現すると考えられ、断面辺長比 $B/D=2.0\sim8.0$ の矩形断面についてその発現が確認されている¹⁾。

しかし、本学において $B/D=2$ 以下の断面を対象にばね支持応答実験が行われた結果、 $B/D=0.62, 0.75, 1.00, 1.18$ の断面でも確認され²⁾、流れの可視化実験の結果、その発現に後縁二次渦は必ずしも必要ないという結果³⁾が得られた。

また、流れの可視化実験において強制加振された模型を 10 周期撮影したとき、後縁二次渦は最大で 20 個生成する可能性があることからその生成率を(後縁二次渦生成回数/20)×100(%)で定義し、 B/D の変化と振幅の大きさについて考察すると B/D が大きいほど後縁二次渦生成率が 0%から 100%に至るまでの領域が広がる傾向がみられた³⁾。

本研究では $B/D=2, 4, 6$ の断面についてばね支持応答実験および流れの可視化実験を行うことにより自己励起型渦励振における後縁二次渦の役割を明らかにすることを目的としている。

2. 実験概要

回流式空力弾性試験用風洞(測定風洞断面:高さ 1.8m×幅 0.9m)にて 2 次元剛体模型(模型高さ $D=90\text{mm}$ 、模型長 $L=828\text{mm}$)を用いて、閉塞率 5%、迎角 0° 、一様流中で鉛直たわみ 1 自由度ばね支持応答実験を行った。実験条件および概略図をそれぞれ表-1 および図-1 に示す。また、 $B/D=2.8\sim6.0$ の断面では自己励起型渦励振とカルマン渦励振の発現換算風速が近接する⁴⁾ことから、カルマン渦を抑制する目的でスプリッタープレート(以下 S.P.) (厚さ $t=13\text{mm}$ 、長さ $l=1800\text{mm}$)を断面後流域に設置し、それらの干渉現象についても検討を行う。S.P.の設置位置(模型-S.P.間隔 g)はカルマン渦の抑制が効果的な位置で実験を行った。S.P.の設置による応答の違いを比較するため、振動の大きさを支配する無次元量であるスクルートン数 $S_c(=2m\delta/\rho D^2)$ 、 m :単位長さ質量、 δ :構造減衰(対数減衰率)、 ρ :空気密度、 D :模型高さ)を B/D ごとに近い値にして実験を行った。

また、渦励振の発現時における後縁二次渦の生成傾向を明らかにするため、自己励起型渦励振の発現換算風速 V_{cr} 付近において流れの可視化実験を行った。無次元倍振幅 0.02 間隔でそれぞれ 10 周期の撮影を行い、撮影画像から各加振振幅における後縁二次渦の生成率を算出した。表-2 に示すように $B/D=2, 4, 6$ の 3 ケースについてそれぞれ S.P.なし、S.P.あり として実験を行い、風洞風速 V を可視化が良好となる 0.8 m/s に設定し、自己励起型渦励振の発現無次元風速から加振振動数 $f=V/(V_{cr}D)$ を設定した。

表-1 ばね支持応答実験条件

B/D	$D(\text{mm})$	$B(\text{mm})$	S.P	g		S_c 数
2	90	180	なし	-	-	4.7
			あり	0.50D	0.25B	5.2
4		360	なし	-	-	10.1
			あり	1.25D	0.31B	10.1
6		540	なし	-	-	14.4
			あり	2.0D	0.33B	14.4

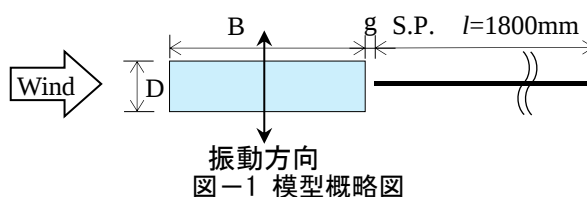


図-1 模型概略図

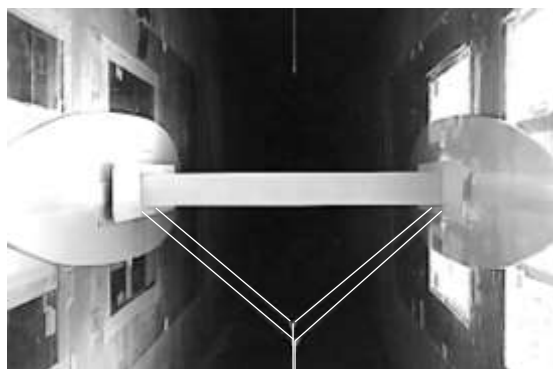


図-2 風洞内設置状況

表-2 流れの可視化実験条件

B/D	D (mm)	B (mm)	f (Hz)	S.P	g	
2	20	40	12.0	なし	-	-
				あり	0.50D	0.25B
4		80	12.0	なし	-	-
			6.00	あり	1.25D	0.31B
6		120	8.00	なし	-	-
			4.00	あり	2.0D	0.33B

3. 実験結果および考察

図-4 に $B/D=2$ の S.P.の有無による応答の比較図を示す. S.P. なしでは発現換算風速が $V_{cr}=1.67B/D$ ($=3.33$)である自己励起型渦励振が生じ, さらに高風速域においてカルマン渦励振からギャロッピングへの移行が確認された. S.P.を設置すると自己励起型渦励振の応答振幅の低下およびカルマン渦励振が抑制されていることが確認できる.

写真-1 に示すような流れの可視化実験の撮影画像から計測した後縁二次渦の生成率を図-5 に示す. 加振振幅 $2\eta/D$ の増大に伴い, 後縁二次渦生成率が増大する傾向がみられた.

図-6 に $B/D=4$ の S.P.の有無による応答の比較図を示す. 発現換算風速が $V_{cr}=0.83B/D$ ($=3.33$)および $V_{cr}=1.67B/D$ ($=6.67$)の渦励振がいずれのケースでも確認された. S.P.を設置しても発現換算風速がほぼ同じことから, これらの渦励振はカルマン渦励振ではなく自己励起型渦励振と考えられる. S.P.により自己励起型渦励振の応答が増大した要因としてカルマン渦の抑制により干渉現象が弱まり, 前縁剥離渦が顕在化したことが考えられる.

$B/D=6$ では, いずれのケースでも発現換算風速が $V_{cr}=0.83B/D$ ($=5.00$)である自己励起型渦励振の応答のみが確認された. $B/D=4$ の場合と同様に S.P.を設置すると自己励起型渦励振の応答が増大する結果が得られた.

4. 結論

$B/D=2$ におけるばね支持応答実験では S.P.により自己励起型渦励振の応答振幅の低下およびカルマン渦励振の抑制が確認できた. また, 流れの可視化実験では, 加振振幅 $2\eta/D$ の増大に伴い, 後縁二次渦生成率が増大する傾向がみられた.

$B/D=4, 6$ におけるばね支持応答実験では S.P.により自己励起型渦励振の応答が増大する結果が得られ, カルマン渦の抑制により前縁剥離渦が顕在化したことが要因であると考えられる.

なお, $B/D=4, 6$ における流れの可視化実験結果については, 発表当日に示す.

参考文献

- 1) 白石成人ら: 充腹構造断面の渦励振応答特性に関する研究, 土木学会論文報告集第 322 号, 1982.
- 2) K. Matsuda et al.: Experimental study on aerodynamic vibrations of rectangular cross sections having low side ratios, 8th International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications, 2016.
- 3) K. Matsuda et al.: Study on the relation between side ratios of rectangular cross sections and secondary vortices at trailing edge in motion-induced vortex excitation, Proceedings of the ASME 2017 Pressure Vessels and Piping Division Conference, 2017.
- 4) 八木知巳ら: 矩形断面のギャロッピング不安定性と渦放出の関係について, 構造工学論文集 Vol.59A, 2013.

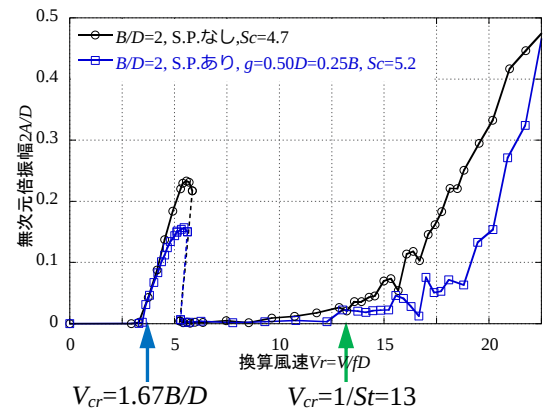


図-4 ばね支持応答実験結果 ($B/D=2$)

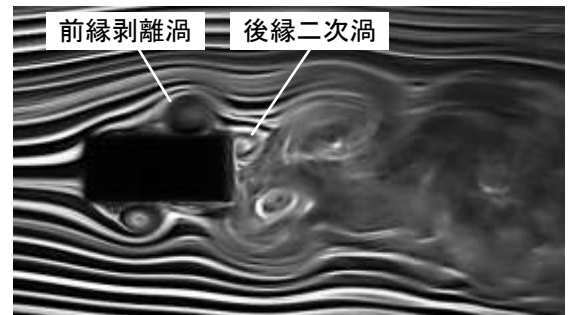


写真-1 撮影画像 ($B/D=2$, $V_r=3.34$, $2\eta/D=0.20$, 変位最上点)

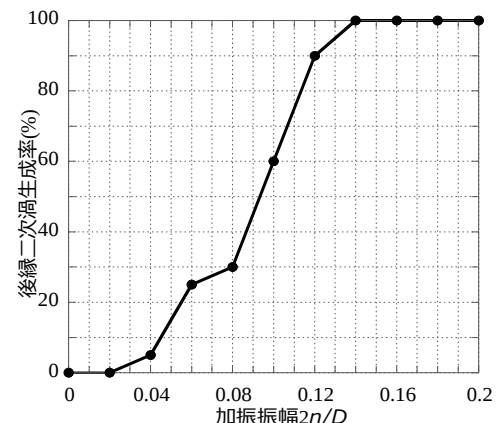


図-5 後縁二次渦生成率 ($B/D=2$, $V_r=3.34$)

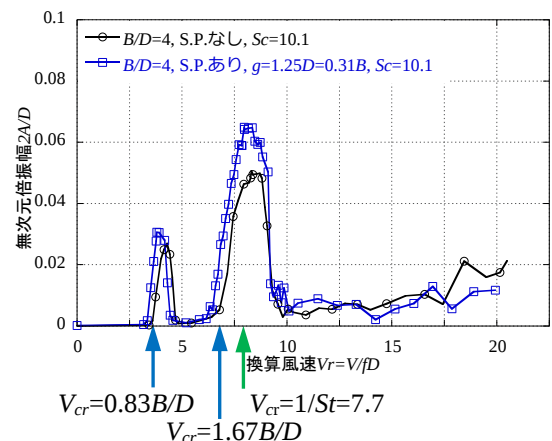


図-6 ばね支持応答実験結果 ($B/D=4$)