

自己励起型渦励振における後縁二次渦の必要性に関する実験的研究

九州工業大学 学生会員○柳瀬智也 九州工業大学大学院 正会員 松田一俊
九州工業大学大学院 学生会員 今村光志 九州工業大学大学院 正会員 加藤九州男

1. はじめに

自己励起渦励振は、従来、物体が振動することで生じる前縁剥離渦および後縁二次渦の一体化が発現の要因であり、前縁剥離渦は後縁二次渦と一体化することで安定するとされている¹⁾。

本学では、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ために、継続的研究を行っている。これまでの研究成果^{2), 3)}から、後縁二次渦は自己励起型渦励振の発現に必ずしも必要ではないことが明らかとなった。また、後縁二次渦が顕在化した際に応答が増大することが確認されたことにより、後縁二次渦は前縁剥離渦と一体化することで、自己励起型渦励振の励振力の大小に影響を与えている可能性が示唆された。しかし、後縁二次渦の役割についての詳細は明確化されていない。そこで、本研究では矩形断面を幾何学的に変化させ、後縁二次渦の役割をさらに明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

本研究では各断面で鉛直たわみ1自由度ばね支持実験で自己励起型渦励振の応答測定を行い、その結果をもとに流れの可視化実験で断面周りの流れを再現し、後縁二次渦の役割を考察する。

2.1 鉛直たわみ1自由度ばね支持実験

ばね支持実験では九州工業大学の回流式空力弾性試験用風洞（測定断面：1.78m×0.91m）を使用し、迎角 $\alpha=0^\circ$ 、偏角 $\beta=0^\circ$ 、一様流中で実験を行った。表-1 にばね支持実験条件を示す。対象とする模型の断面形状は後縁二次渦が生成しない、または生成しにくいと想定される3つのTYPEを選定しており、TYPE-1, 2では勾配 θ 、TYPE-3では張り出し板長さ L をそれぞれ変化させ、計9種類の断面で実験を行う。比較のため、矩形断面の実験も行った。また、ばね支持実験では、電磁ダンパーを用いて構造対数減衰率 δ_s を調節することで、応答を支配するパラメータであるスクルーン数 $Sc=2m\delta_s/\rho D^2$ (m : 単位長さ質量(kg/m), δ_s : 構造対数減衰率, ρ : 空気密度(kg/m³), D : 模型高さ(m)) を、各断面形状TYPEではば一致させて実験を行った。

2.2 流れの可視化実験

流れの可視化実験は、九州工業大学工学部建設社会工学科所有の可視化実験用小型風洞(測定風洞断面: 高さ 0.4m×幅 0.4m)を使用し、スモークワイヤー法を用いた断面周りの流れの可視化実験を行った。対象とする模型の断面形状は、ばね支持実験と同様のものとした。また、流れの可視化実験では、ばね支持実験で得られた応答測定結果をもとに、自己励起型渦励振の発現換算風速および最大振幅発現換算風速にて、加振振幅を変化させて後縁二次渦生成率を測定した。後縁二次渦は1周期で最大2個生成され、撮影周期は10周期分であるため、後縁二次渦生成率を(生成回数/20)×100(%)と定義した。

3. 実験結果および考察

TYPE-1, 2, 3 模型を用いて鉛直たわみ1自由度ばね支持実験および流れの可視化実験を行った。以下に、その実験結果および考察を示す。

表-1 ばね支持実験条件

TYPE	形状	変化するパラメーター	B/D	模型高さ D(m)	模型幅 B(m)	閉塞率 (%)	スクルーン数 Sc	
矩形		-	2	0.09	0.18	5	4.7	
1		勾配 θ (°)	5	2	0.09	0.18	5	4.7
			10					
			15					
2		勾配 θ (°)	5	1	0.09	0.09	5	1.1
			10					1.3
			15					1.3
3		張り出し板長さ L	0.25D	2	0.072	0.144	6-10	4.7
			0.50D					
			0.75D					

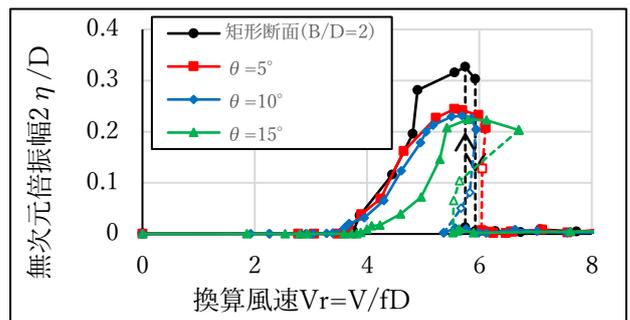


図-1 TYPE-1 応答測定結果

3.1 TYPE -1

TYPE -1 および矩形断面の応答測定結果を図-1 に示す。図-1 より TYPE-1 のすべての断面で自己励起型渦励振の発現が確認された。自己励起型渦励振の最大振幅に着目すると矩形断面に比べ、TYPE -1 の断面では最大振幅が低下しており、勾配 θ が大きくなるほど最大振幅が低下していることが確認された。写真-1 の流れの可視化実験結果から前縁剥離渦が勾配付近で模型表面から離れていることが確認されたため、これが応答低下の原因と考えられる。また、TYPE-1 における後縁二次渦生成率を図-2 に示す。図-1, 2 より無次元倍振幅 $2\eta/D=0.25$ 以下において、後縁二次渦の生成の有無に関わらず自己励起型渦励振が発現していることから、TYPE-1 の断面での自己励起型渦励振の発現・発達に後縁二次渦は必ずしも必要ないと考えられる。

3.2 TYPE-2

TYPE -2 および矩形断面の応答測定結果を図-3、TYPE -2 の空力減衰測定結果を図-4 に示す、図-3 より TYPE -2 のすべての断面で自己励起型渦励振の発現が確認されなかった。図-4 よりばらつきのある大きい低振幅域を除いた範囲で空力減衰が正である傾向が確認されており、応答減衰が常に正であるため、TYPE -2 の断面は自己励起型渦励振が発現しない断面であると推察される。

3.3 TYPE-3

TYPE -3 および矩形断面の応答測定結果を図-5 に示す。図-5 より TYPE-3 のすべての断面で自己励起型渦励振の発現が確認された。鉛直張出し板長さ $L=0.25D, 0.50D$ の断面では最大振幅が矩形断面と同程度であり、流れの可視化実験結果から、TYPE-3 の断面では後縁二次渦の生成は確認されなかったため、TYPE-3 の断面での自己励起型渦励振の発現・発達に後縁二次渦は必ずしも必要ないと考えられる。また、矩形断面と比較して TYPE-3 の断面では、自己励起型渦励振の発現風速域が高風速側に移行している。この傾向は既往の研究成果⁴⁾で述べられているように、後縁部の張出し板によって前縁剥離渦の流下速度が低下しているためと考えられる。

4. まとめおよび今後の課題

流れの可視化実験結果から、TYPE-1 および TYPE-3 における自己励起型渦励振の発現・発達において後縁二次渦は必ずしも必要ないと結論づけられる。今後の課題として、非定常圧力測定等の実験を行うことで、定量的な実験データを使用した検討を行うことが挙げられる。

参考文献

- 1) 白石成人, 松本勝: 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, pp.37-50, 1982.
- 2) 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 & Piping Division Conference, PVP2017, 65565, 2017.
- 3) 東村諒也ら: 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, 平成29年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 1-48, 2018.
- 4) 長尾文明ら: 渦励振に及ぼす矩形断面端部形状の影響, 土木学会第37回年次学術講演会概要集, 1982.

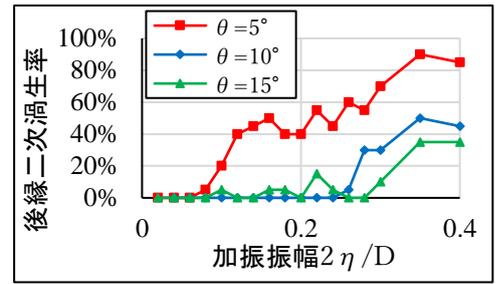
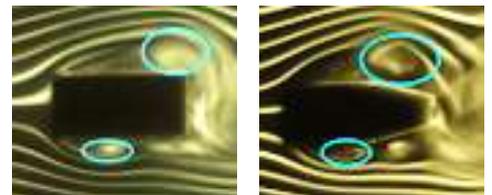


図-2 TYPE-1 後縁二次渦生成率($V_r=5.2$)



(a)矩形断面 (b)TYPE1, $\theta=15^\circ$

写真-1 流れの可視化実験結果 ($V_r=5.2, 2\eta/D=0.20$)

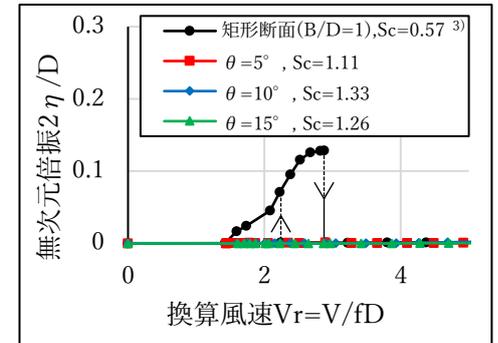


図-3 TYPE-2 応答測定結果

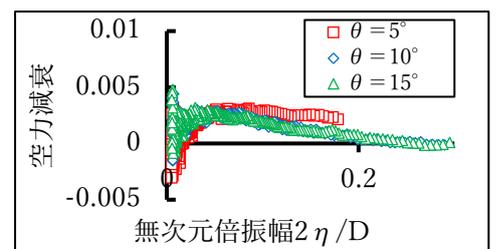


図-4 TYPE-2 空力減衰測定結果($V_r=1.89$)

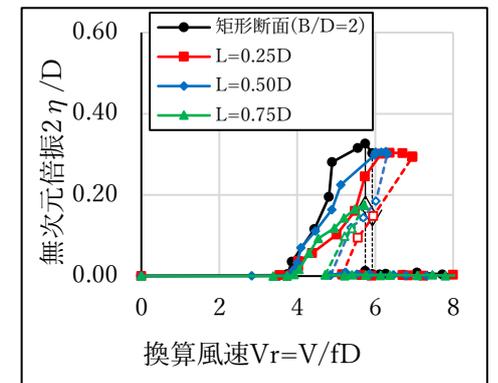


図-5 TYPE-3 応答測定結果