

プラズマアクチュエータを用いた断面辺長比 $B/D=2$ の矩形断面における空力振動抑制

九州工業大学 学生会員 ○今村光志

九州工業大学大学院 学生会員 須田健太郎

九州工業大学大学院 正会員 松田一俊 加藤九州男

1. はじめに

著者らは、風による橋梁の振動に対する新たな制振装置となりうる流体制御デバイスとして、図-1 に示す DBD (Dielectric Barrier Discharge) プラズマアクチュエータの研究を行っている。DBD プラズマアクチュエータ¹⁾ (以下、PA) は、二枚の電極とその間に挟まれた誘電体層から成るシンプルな構造をしており、電極間に交流高電圧 (印加電圧 $\pm 4\text{kV}$, 周波数 4kHz)²⁾ を印加することで、上側電極から下側電極に向けてプラズマが発生し、その周辺において流れが誘起される。既往の研究成果³⁾から、可視化実験によって加振中での PA の気流制御効果が定性的に確認されている。本研究では、実際の空力振動抑制効果という観点から、自己励起型渦励振およびカルマン渦励振の各風速域においてばね支持応答実験・流れの可視化実験を行うことにより、PA による空力振動抑制効果を定量的に明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

初めに断面辺長比 $B/D=2.0$ の模型を用いて、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。PA 設置後の模型概要を図-2 に示す。風速の違いが PA の振動抑制効果に与える影響を検討するために、振動系の固有振動数 f を $f=7.22\text{Hz}$, 5.47Hz , 3.26Hz と変化させ、またスクルートン数 $Sc=2m\delta s/\rho D^2$ (m : 単位長さ質量, δs : 構造減衰 (対数減衰率), ρ : 空気密度, D : 模型高さ) をおよそ 4.2 に一致させ、実験を行った。実験条件を表-1 に示す。さらに、スモークワイヤー法による流れの可視化実験を行い、PA の剥離抑制効果を流れの面から確認した。

3. 実験結果および考察

PA-OFF 時の応答実験結果を図-3 に示す。固有振動数を変化させても応答特性は一致することを確認した。なお、実験上の制約により、 $f=3.26\text{Hz}$ のケースでは自己励起型渦励振の発現は確認できていない。次に PA-ON 時の応答実験結果を図-4 に示す。縦軸を無次元倍振幅 $2\eta/D$, η : 振幅 (mm), D : 模型高さ (mm), 横軸を換算風速 $Vr=V/fD$, V : 風洞風速 (m/s), f : 固有振動数 (Hz), D : 模型高さ (m), と風洞風速 $V(\text{m/s})$ としている。また、グラフ内の数字は振動の抑制率 $\{=(\text{PA-OFF 時}-\text{PA-ON 時})/\text{PA-OFF 時の無次元倍振幅} \times 100\}$ を示している。自己励起型渦励振発現風速域およびカルマン渦励振発現風速域における流れの可視化実験結果をそれぞれ図-5 および図-6 に示す。矢印の位置が PA の設置位置である。

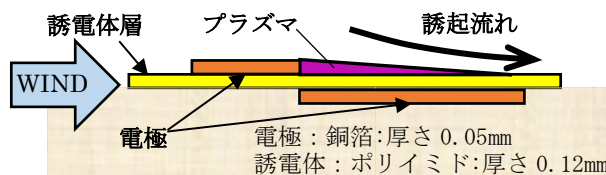


図-1 PA 概略図

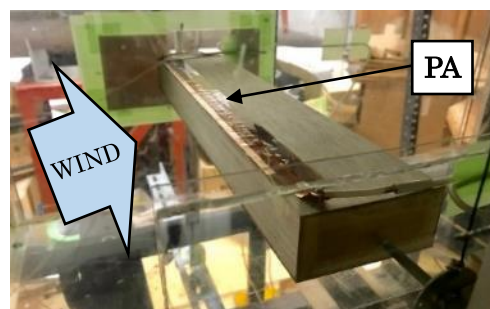


図-2 PA 設置概要

表-1 ばね支持応答実験条件

断面 辺長比 B/D	模型幅 $B(\text{mm})$	模型高 $D(\text{mm})$	模型長 $L(\text{mm})$	Sc	固有 振動数 $f(\text{Hz})$	PA
2.0	40	80	380	4.2	7.22	OFF
						ON
					5.47	OFF
						ON
					3.26	OFF
						ON

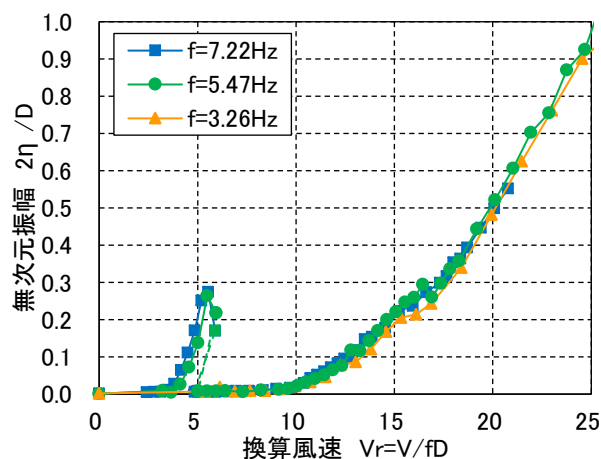


図-3 PA-OFF 時応答実験結果

3.1 自己励起型渦励振発現風速域

図-4(a)の $f=7.22\text{Hz}$ のケースは、自己励起型渦励振発現風速域においてPAによる振動抑制効果が確認できる。抑制率をみると低風速より、高風速の方が抑制率は高く、PAによる振動抑制効果が大きいことがわかる。また、図-5の流れの可視化実験結果より、PA-OFFでは前縁剥離渦が発現しているが、PA-ONでは前縁部で再付着していることから、PAによる気流制御効果を確認することができた。なお、図には示していないが $f=5.47\text{Hz}$ の場合も $f=7.22\text{Hz}$ と同様の振動抑制効果及びPAによる気流制御効果を確認している。

3.2 カルマン渦励振発現風速域

図-4(b)より、カルマン渦励振発現風速域において、PAによる振動抑制が確認できる。抑制率をみると、風洞風速が低い $f=3.26\text{Hz}$ のケースの低風速域において値が高いことから、カルマン渦励振発現風速域では、高風速より低風速の方がPAによる振動抑制効果が高いことがわかる。図-6の流れの可視化実験結果より、PA-ONにおいて、模型中央部でカルマン渦の再付着が確認でき、PAによる気流制御効果を確認することができた。一方、図-4(a)より $f=7.22\text{Hz}$ のケースの高風速域においては、PAによる振動抑制がほとんど確認されなかった。これは高振動数、高風速であることが原因で、PAによる気流制御ができなかったためと考えられる。

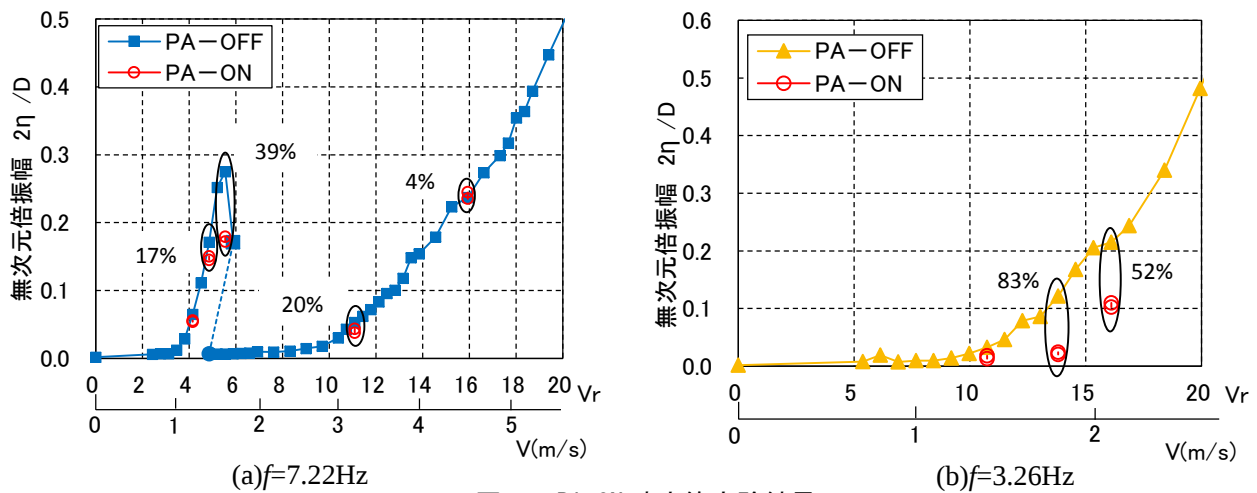


図-4 PA-ON 時応答実験結果

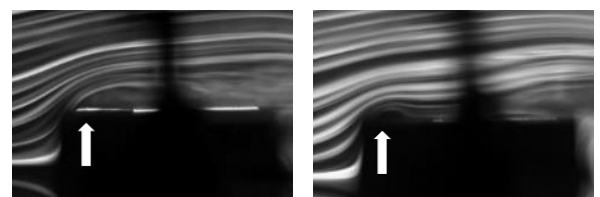
4. 結論及び今後の課題

本実験結果より、自己励起型渦励振及びカルマン渦励振に対して、PAによる振動抑制は可能であることが明らかとなった。ただし、カルマン渦励振発現域においては高振動数、高風速の場合、PAによる振動抑制は確認されなかった。今後は、高風速域でも気流制御が可能な、誘起流速の大きい、高電圧に耐えるPAの開発、また模型の上下面にPAを設置した際の振動抑制を検討する必要があると考える。

本研究は、JSPS 科研費 JP16K06470 の助成を受けたものです。

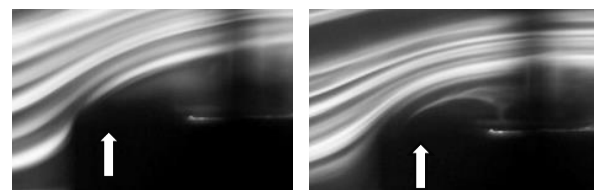
参考文献

- 1) Croke, T. C., Enloe, C. L., and Wilkinson, S. P., "Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuators for Flow Control," *Annual Review of Fluid Mechanics*, 42, pp.505-529, 2010.
- 2) Matsuda, K., Kato, K., Uchida, T., Hirano, C., and Sawada, A., "Flow Control of Bridge Deck Section Using Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuators," *Proc. of 6th European and African Conference on Wind Engineering*, 2013.
- 3) Matsuda, K., Kato, K., "Aerodynamic Flow Separation Control of Bridge Deck Sections Using Plasma Actuators," *Proceedings Of The 2015 Pressure Vessels & Piping Division Conference*, 2015.



(a)PA-OFF($2\eta/D=0.28$) (b)PA-ON($2\eta/D=0.17$)

図-5 流れの可視化実験結果
($f=7.22\text{Hz}$, $V_r=5.5$, 変位最上点)



(a)PA-OFF($2\eta/D=0.14$) (b)PA-ON($2\eta/D=0.09$)

図-6 流れの可視化実験結果
($f=3.26\text{Hz}$, $V_r=13.8$, 変位最上点)