

令和元年6月14日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06470

研究課題名(和文) プラズマアクチュエータを用いた橋梁制振対策の研究

研究課題名(英文) Study on Aerodynamic Flow Separation Control Using Plasma Actuator of Bridge Deck Sections

研究代表者

松田 一俊 (MATSUDA, Kazutoshi)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：20609466

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、従来の風による橋梁振動の制振方法とは異なるプラズマアクチュエータ(PA)を用いた制振手法を提案することを目的とした。具体的には風速10m/sにおいて制振効果を有するPAの機構を開発することである。風速3m/sの低風速では、制振効果を確認できたものの、風速10m/sでは、十分な制振効果が得られなかった。この理由として、従来の研究は、鉄道車両のパンタグラフ等風によって振動しない構造物が対象であるのに対し、本研究では振動する橋桁が研究対象であることの違いが考えられる。風速3m/sであれば、制振が可能であったが、風速10m/sの高風速では橋桁周りの気流制御が困難になったためと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

風速が3m/sと低風速域という限定的な条件であればプラズマアクチュエータを用いた風による橋梁振動の制振対策として有効であることが明らかとなった。さらに高風速においても高い制振効果が得られる仕組みを構築できれば、従来の橋梁の制振対策である構造力学的対策および空気力学的対策に次ぐ制振対策が確立できる。そのためには、風的作用によって振動する橋桁に対しても高い制振効果が得られる仕組み作りが必要である。また、本制振手法に類似したものとして、例えば日本航空宇宙学会や日本機械学会の研究者が研究しているシンセティックジェットを用いた方法が挙げられる。この手法についても今後検討されることが望まれる。

研究成果の概要(英文)：In this study, a new approach to suppress wind-induced vibrations, "a dielectric barrier discharge (DBD) plasma actuator", was investigated through wind tunnel experiments to determine its potential as a device for flow control around bridge deck sections. It has not been quantitatively confirmed yet if the air flow control actually affects aerodynamic vibration. Therefore, this research was conducted aiming at quantitatively confirming the vibration control effect on aerodynamic vibration using a plasma actuator by a spring-supported test on the rectangular cross-section of the side ratio of $B/D = 2$. It was found that the vibration control method using a plasma actuator was proven to quantitatively have more vibration control effect than without using any countermeasure from the result of a spring-supported test targeted at the rectangular cross-section of the side ratio of $B/D = 2$ in a wind speed range of less than 3m/s.

研究分野：風工学，耐風工学

キーワード：プラズマアクチュエータ 橋梁 渦励振 制振対策 風洞実験 気流制御 固有振動数

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 国内・国外の研究動向

機械や航空分野ではプラズマアクチュエータを用いた研究が活発に実施されているが、橋梁を対象とした研究事例は代表者らの研究以外では見当たらない。

(2) 代表者のこれまでの研究成果^{1),2)}

図1に示す1:3矩形断面の上流端に設置したプラズマアクチュエータをON,OFFすることにより揚力係数を求めた結果を図2に示す。揚力係数に差が認められることからプラズマアクチュエータの有効性が確認できた。

(3) 着想に至った経緯

実験装置の制約からプラズマアクチュエータの有効性を検証する風速は約1m/sであった。しかし、実橋の渦励振が発現する風速域は10m/s以上であることから、その風速領域で有効性を検証すべきとの考えに至った。

(4) 発展させる内容

挑戦的萌芽研究においてプラズマアクチュエータによる気流制御効果を風速約1m/sで確認したが、本研究では風速約10m/sで気流制御効果を確認し、ばね支持実験で渦励振の制振効果を確認することにより実用化を目指す。

<引用文献>

- 1) Kazutoshi Matsuda, Kusuo Kato, Tatsuhiro Uchida, Chikako Hirano and Akimi Sawata: Flow Control of Bridge Deck Sections Using Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuator, Proceedings of EACWE, 2013.
- 2) 松田一俊,加藤九州男,平野智香子,内田達大,澤田陽未: プラズマアクチュエータを用いた気流制御の高効率化に関する実験的検討, 日本風工学会誌, 第38巻第2号, pp.173-174, 2013年4月.

2. 研究の目的

従来の風による橋梁振動の制振方法とは制振メカニズムが異なり、また構造的にも従来と異なる新しい方法としてプラズマアクチュエータを用いた制振手法を提案することを目的とする。具体的には風速10m/s程度においても制振効果を有するプラズマアクチュエータの機構を開発し、その気流制御手法の有効性及び渦励振制振効果を風洞実験で確認することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 研究概要

既往の研究³⁾を参考にして、10m/sのより高風速に対応したプラズマアクチュエータを駆動させる電極、誘電体の寸法、厚さを実験的に決定し、本研究で用いるプラズマアクチュエータの機構を確立する。次に煙による流れの可視化実験によって、プラズマアクチュ

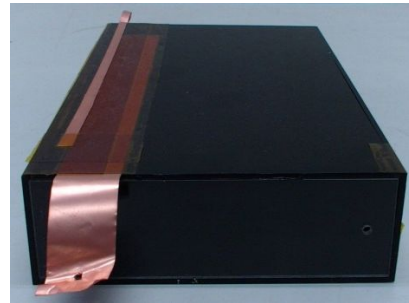


図1 1:3矩形断面模型(九工大)

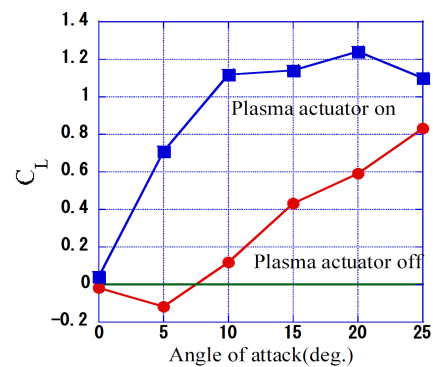


図2 揚力係数(九工大)

エータの制御効果を定性的に確認し，三分力実験によってプラズマアクチュエータの効果
を定量的に確認する．さらに渦励振の制振効果をばね支持実験によって確認する．この実
験で制振効果が大きい断面および制振効果が小さい断面を対象に断面周りの流れパターン
を比較することにより，制振メカニズムの考察を行う．検討対象断面は，基本的な矩形断
面 1 種類（断面辺長比 $B/D=2$ ）とする．

(2)各年度の研究方法

平成 28 年度

平成 28 年 10 月 21 日付で追加交付内定の連絡を受けたが，当年度の学生研究はすでに 4
月から別の研究を行なっているため，実際のところ等年度に本研究課題の追加実験を実施
する余裕がなかった．そのため，当年度は研究に関連するシンポジウムにおいてプラズマ
アクチュエータに関する情報収集に注力した．

平成 29 年度

矩形断面模型を用いたばね支持実験および流れの可視化実験によりプラズマアクチュエ
ータの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．具体的には，まず模
型幅を B ，模型高さを D としたときの断面辺長比 B/D （以下，本文中では $B/D=2$ の矩形
断面模型を用いて，自己励起型渦励振およびカルマン渦励振を対象にばね支持実験を行い，
既往の研究と比較することにより実験手法の妥当性を確認し，その後プラズマアクチュエ
ータによる空力振動抑制効果を応答の変化により確認した．その際，風速の違いがプラズ
マアクチュエータの振動抑制効果に与える影響を検討するために，3 種類の振動系の固有
振動数でそれぞれ実験を行った．その後，プラズマアクチュエータによる応答の抑制が見
られた風速において，ばね支持実験装置にて模型が渦励振で振動している状態で，スモ
ークワイヤー法による流れの可視化実験を行い，プラズマアクチュエータによる気流制御効
果を確認した．風洞風速は 5m/s までの範囲とした．

平成 30 年度

まず模型静止時で従来よりも剥離抑制効果の高い PA の印加条件について再検討を行う．
既往の研究⁴⁾では模型静止時で風洞風速 10.0m/s における剥離抑制効果が確認されており，
この研究をもとに実験ケースを決定し，PIV 実験により模型周りの平均風速比分布図を得
ることで，PA による剥離抑制効果を確認し印加条件を選定する．次に，鉛直たわみ 1 自由
度ばね支持応答実験を行う．実験ケースは，自己励起型渦励振，カルマン渦励振およびギ
ャロッピングについて，風速の違いが PA による振動抑制効果に与える影響を検討するた
め，振動数を 2 段階に変化させる．このとき，構造減衰のパラメーターであるスクルー
トン数 Sc を一致させて実験を行う．

<引用文献>

- 3) 平野智香子:プラズマアクチュエータを用いた気流制御の効率化に関する研究,九州工業
大学大学院平成 24 年度修士論文,2013.
- 4) 吉田一輝,小里泰章,菊地聡,今尾茂樹:周期的変動付加による角柱周りの流れの制
御,日本流体力学会年会 2017 講演論文集,2017.

4. 研究成果

(1)平成 28 年度（シンポジウム参加）

先述した理由により，平成 28 年度は，本研究に関連するシンポジウムに参加して情報収
集することに注力した．シンポジウムの概要は以下のとおりである．

シンポジウム名称：日本機械学会流体工学部門プラズマアクチュエータ研究会第4回シンポジウム， 期間：平成29年3月18日（土），19日（日）， 場所：東北大学青葉山キャンパス， 参加者数：94名， 内容：基調講演3件，一般講演5件他， 情報収集内容：機械系の先生方やメーカー研究者にヒアリングした結果，風洞風速10m/sにおいてもプラズマアクチュエータの制御効果が得られる電圧，周波数等の設定条件を入手できた。

(2)平成29年度

平成29年度の研究では，プラズマアクチュエータの空力振動抑制効果を定量的に明らかにするため， $B/D=2$ の矩形断面模型を用いてばね支持実験および流れの可視化実験を行った。その結果，プラズマアクチュエータによって気流を制御することによる自己励起型渦励振およびカルマン渦励振の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風速域においては，高風速側での振動抑制効果は確認されなかった。これは，高風速ではプラズマアクチュエータによる気流制御ができなかったためと考えられる。また振動抑制の傾向として，自己励起型渦励振発現風速域では高風速側，カルマン渦励振発現風速域では低風速側で振動の抑制効果が大きいことという結果が得られた。

(3)平成30年度

図3に自己励起型渦励振風速域の実験結果を示す。横軸は無次元風速 V_r であるが， $V_r=5$ のとき風洞風速 $V=1.5\text{m/s}$ に相当する。図中 PA-ON はプラズマアクチュエータ作動時を意味するが， $V_r=5$ 付近において，制振効果が得られていることがわかる。しかし，図4にカルマン渦励振風速域の実験結果を示す。横軸の無次元風速 $V_r=35$ （風洞風速 $V=10.5\text{m/s}$ 相当）において，プラズマアクチュエータによる制振効果が十分得られていない。このように，風洞風速 10.5m/s で振動抑制効果はほとんど確認されなかった。初めにプラズマアクチュエータの印加条件の再検討を行ったが，その印加条件ではプラズマアクチュエータによって，気流制御することが十分出来なかったと考えられる。また，カルマン渦励振風速域およびギャロッピング風速域において，風洞風速が高くなるほどプラズマアクチュエータによる振動抑制効果が小さくなった。この要因として風洞風速が高くなるにつれて，PAによる誘起流速と風洞風速との差が大きくなり，気流制御効果が小さくなったからだと考えられる。さらに，自己励起型渦励振風速域では振幅ピーク時の風洞風速が高い場合，プラズマアクチュエータによる振動抑制効果が得られなかった。これは，自己励起型渦励振の場合，後縁側の方が前縁剥離渦による変動圧力係数が高く，プラズマアクチュエータの設置位置が前縁部のみであるため，後縁部までプラズマアクチュエータの効果が及ばなかったと考えられる。

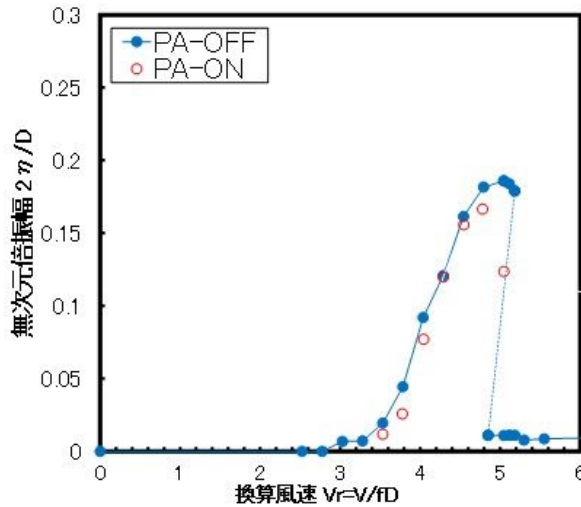


図3 自己励起型渦励振風速域($f=7.48\text{Hz}$, $S_c=7.6$, $V_r=5$ のとき風洞風速 $V=1.5\text{m/s}$)

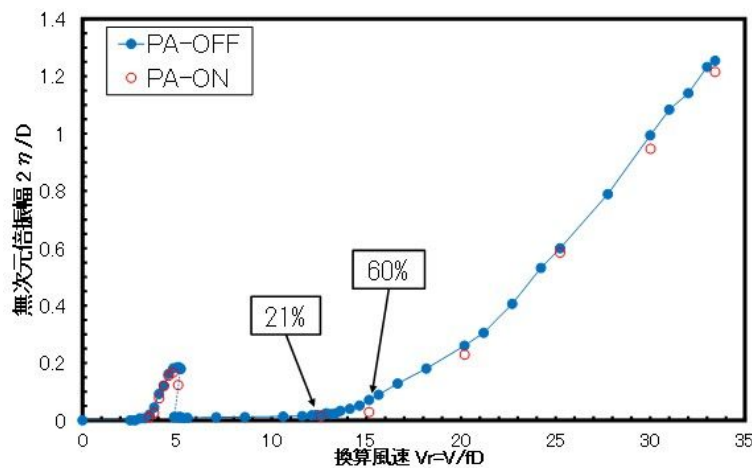


図4 カルマン渦励振風速域($f=7.48\text{Hz}$, $S_c=7.6$, $V_r=35$ のとき風洞風速 $V=10.5\text{m/s}$)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

戸田勇帆, 今村光志, 松田一俊, 加藤九州男: プラズマアクチュエーターを用いた断面辺長比2の矩形断面の空力振動抑制効果, 平成30年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, -8, 2019年3月2日.

中村雄太, 松田一俊, 加藤九州男, 須田健太郎, 今村光志: 断面辺長比2の矩形断面におけるプラズマアクチュエータによる空力振動抑制に関する研究, 第6回九州橋梁・構造工学研究会シンポジウム論文集, 2018年12月14日.

Kazutoshi Matsuda, Kusuo Kato, Kentaro Suda, Mitsushi Imamura, and Nade Cao : Aerodynamic Flow Separation Control Using Plasma Actuator of Rectangular Cross Section with a Side Ratio of $B/D=2$, Proceedings of 13th UK Conference on Wind Engineering, Leeds, U.K., September 3-4, 2018.

今村光志, 須田健太郎, 松田一俊, 加藤九州男: 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, 土木学会第73回年次学術講演会講演概要集, -276, 2018年8月29日.

今村光志, 須田健太郎, 松田一俊, 加藤九州男: 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, 平成29年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, -2, 2018年3月3日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：なし

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：なし

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。