

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：17104

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656280

研究課題名(和文) 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方法に関する研究

研究課題名(英文) Study on a countermeasure against vortex-induced vibration of bridge girders using plasma actuators

研究代表者

松田 一俊 (MATSUDA, Kazutoshi)

九州工業大学・工学(系)研究科(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) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：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し、この手法の妥当性を風洞試験で確認することによって、実橋に適用する技術を構築することが研究の最終目的である。本研究はそのための挑戦的萌芽研究と位置付けて、プラズマアクチュエータを橋梁基本断面に適用した風洞試験を行い、本手法の妥当性を検証する。

研究成果の概要(英文)：In order to suppress wind-induced vibrations of bridge girders, two general methods are applied: aerodynamic and mechanical countermeasures. 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. In this study, it was found that there is a possibility that DBD plasma actuators could be used in the future as the devices for suppressing wind-induced vibrations of bridge girders.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学 構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：風工学 耐風工学 橋梁 風洞試験 プラズマアクチュエータ 渦励振 制振 流れの可視化

1. 研究開始当初の背景

従来、風による橋梁振動の制振方法は、大別してフラップや水平プレートを橋梁本体に取り付けることにより橋梁周りの流れを制御する流体力学的手法と、同調型質量ダンパー(TMD)やアクティブ制振装置(AMD)等を用いる構造力学的手法の2種類がある。本研究では、近年とくにガスタービンエンジンへの適用など航空宇宙工学関係で活発に研究が推進されているプラズマアクチュエータに着目し、この技術を風による橋梁振動の制振方法として実用化することに主眼を置いた。本研究は、この新しい制振法の実用化に向けた適用可能性にチャレンジするものである。

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し、本手法の妥当性を確認した上で実橋に適用する技術を構築することが研究の最終目的である。本研究はそのための挑戦的萌芽研究と位置付けて、プラズマアクチュエータを橋梁基本断面に適用した各種風洞試験を行い、本手法の妥当性を検証する。

3. 研究の方法

(1)使用風洞

使用した風洞は、九州工業大学の可視化風洞(測定洞断面0.4m×0.4m)である。

(2)プラズマアクチュエータ

近年、誘電体バリア放電により生成されるプラズマを利用した流体制御技術として、図1に示すDBD(Dielectric Barrier Discharge)プラズマアクチュエータが注目されている。これは2枚の電極とその間に挟まれる誘電体層からなるシンプルな構造をしており、電極間に交流高電圧を印加することで、上部電極から下部電極方向にプラズマが発生し、その周辺に流れが誘起される。図2にプラズマアクチュエータを模型に設置した状況を示す。さらにプラズマ発生時の写真を図3に示す。本研究における電源入力には、電圧4kV、周波数4kHzの矩形波を常に印加した。

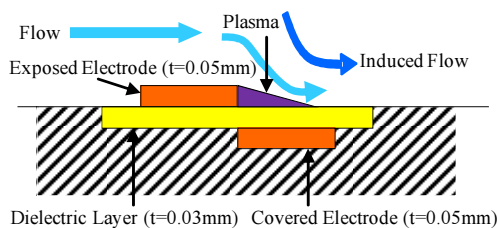


図1 プラズマアクチュエータ



図2 プラズマアクチュエータ設置状況



図3 プラズマ発生時

(3)PIVによる流れの可視化試験

図4にPIVを用いた流れの可視化試験の概略図を示す。PIV(Particle Image Velocimetry)とは、粒子画像流速測定法のことである。風洞内にトレーサー粒子という微細な粒子を充満させ、極めて短い時間間隔でレーザーを2度照射することで、その粒子の移動量を把握し、流速を求める手法のことである。

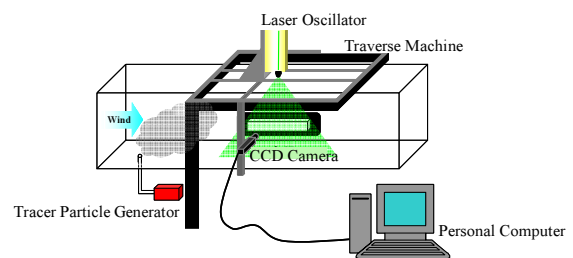
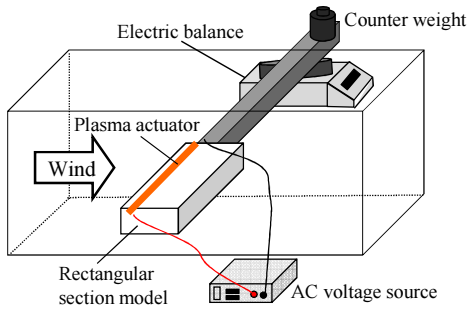


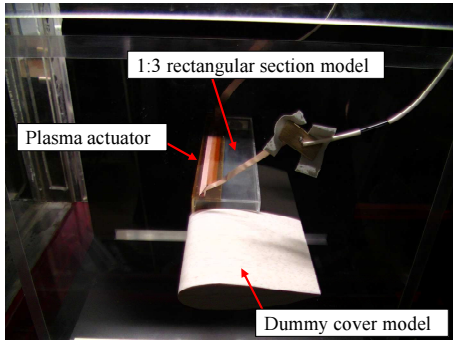
図4 PIVによる流れの可視化試験

(4)揚力計測試験

電子天秤を用いた揚力計測試験の計測システムと試験状況の写真を図5に示す。風洞内に設置した矩形断面模型はアルミ製支持棒で剛結しており、風洞壁に小さな穴を設けることで風洞外に支持棒を延ばすことのできる仕組みになっている。風洞外に設置した電子天秤の上に支持棒を渡らせることで、支持棒を介して矩形断面に作用する揚力を測定した。



(A) 計測システム



(B) 試験状況

図5 揚力計測試験

(5) 煙を用いた流れの可視化試験

プラズマアクチュエータを設置した矩形断面模型および模型設置状況をそれぞれ図6および図7に示す。

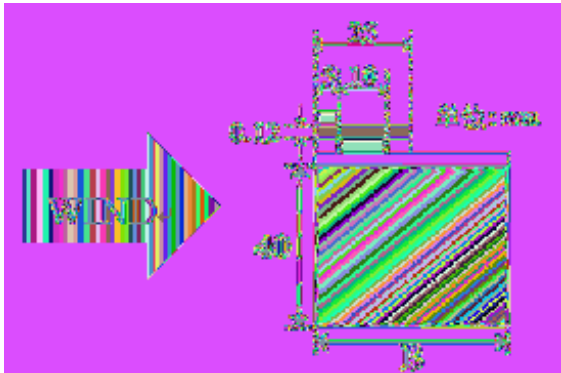


図6 模型概略図

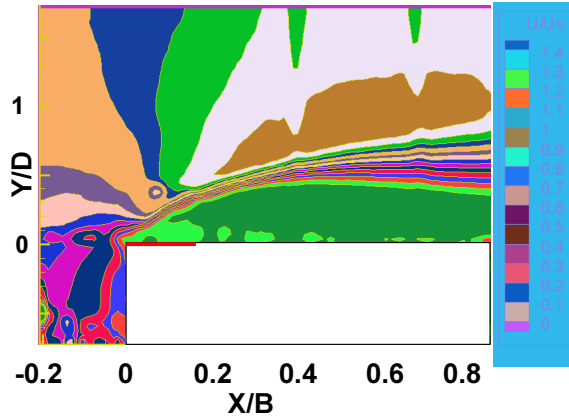


図7 プラズマアクチュエータ付き模型の設置状況

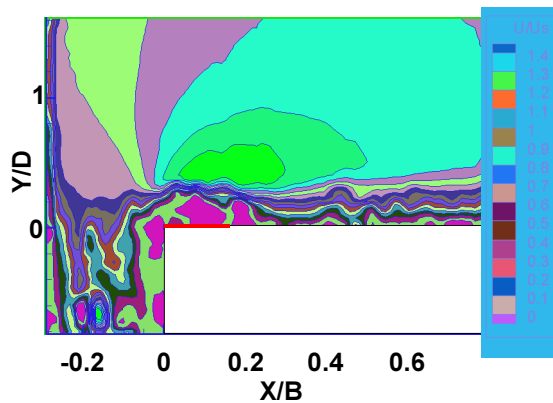
4. 研究成果

(1) プラズマアクチュエータの制御効果

風洞風速を 1m/s としたときの実験結果を図8に示す。プラズマアクチュエータを駆動させる(ON)と、駆動させない場合(OFF)に比べて上流側端部からの流れの剥離が抑制されていることから、プラズマアクチュエータによる制御効果が確認できた。



(A) プラズマアクチュエータ OFF



(B) プラズマアクチュエータ ON

図8 プラズマアクチュエータの制御効果
(辺長比 $B/D=3$ の矩形断面)

プラズマ発生に伴う誘電体テープの変色状況を図9に示す。下部電極幅 10mm 以上の場合、この変色の幅は 5~7mm であった。したがって、下部電極幅 5mm の場合、プラズマの進展距離よりも短いために効果がやや劣る結果になったと推察される。よって、下部電極の最適幅は、プラズマの進展距離と密接な関係があると考えられる。本実験条件における下部電極の最適幅は 10mm であることが分かった。

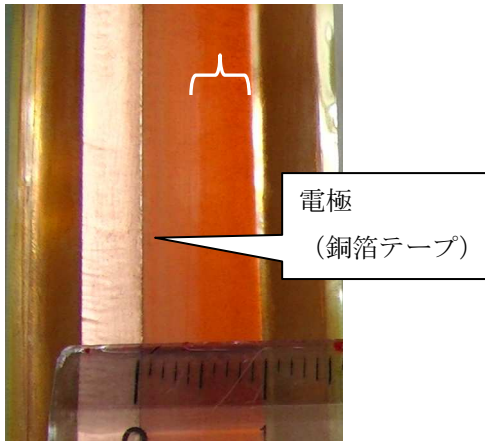


図9 プラズマ発生に伴う誘電体テープの変色状況

(2) 矩形断面の揚力係数 (模型静止時における気流制御効果)

前節ではプラズマアクチュエータの制御効果をPIVを用いた流れの可視化から確認したが、本節ではその効果を定量的に確認する。具体的には、電子天秤を用いて矩形断面に作用する揚力を計測し、その揚力を式(1)に示すように揚力係数 C_L として評価した。

$$C_L = L / (1/2 \times \rho \times V^2 \times B) \quad (1)$$

ここで、 L ：単位長あたり揚力(N/m)、 ρ ：空気密度(kg/m³)、 V ：風速(m/s)、 B ：模型の幅(m)

まず既往の試験値と比較することにより、本計測システムの妥当性を確認した。その結果を図10に示す。迎角5(deg)において大きな誤差が生じているが、これは既往の試験結果において、迎角5(deg)付近で揚力係数のばらつきが大きく不安定になっていることが要因であると考えられる。その他の迎角において両者はほぼ一致しており、本試験方法の妥当性を確認することが出来た。

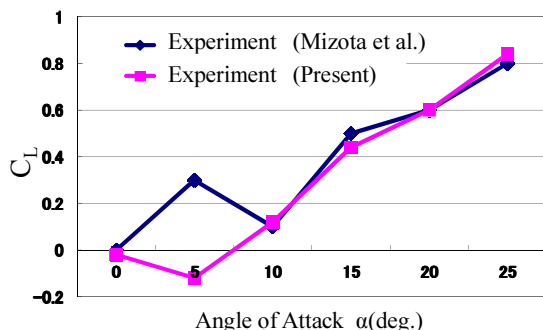


図10 既往の試験値との比較結果

計測システムの妥当性を確認した上で、次にプラズマアクチュエータによる制御効果

を定量的に確認する。その結果を図11に示す。プラズマアクチュエータを駆動させることにより、揚力係数が大きく変化していることが確認できた。

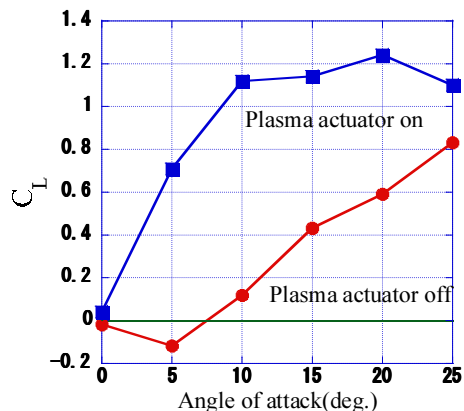


図11 揚力計測結果

(3) 煙による流れの可視化 (模型加振時における気流制御効果)

前節は模型が静止した状態におけるプラズマアクチュエータの気流制御効果を確認した。しかし、実際の橋梁は風的作用を受けて渦励振等の振動を発生する。プラズマアクチュエータによる制御手法が実用に供するためには、橋梁が振動している状況下においてもプラズマアクチュエータによる制御は有効であることを確認しておく必要がある。

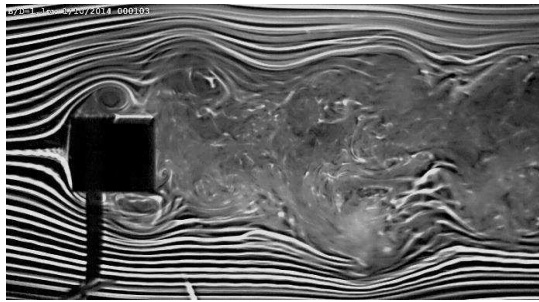
そこで、ここでは模型を加振させた状態で、プラズマアクチュエータを駆動させ、その効果を確認する。

検討対象風速域は、自己励起型渦励振およびカルマン渦励振の各風速域である。各風速域における試験結果をそれぞれ図12および図13に示す。矢印はプラズマアクチュエータの設置位置を示しており、模型上面側にのみ設置している。また、 η は加振振幅、 D は模型高さを表す。

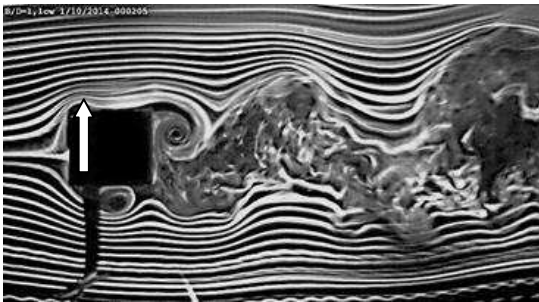
図12の自己励起型渦励振風速域では、プラズマアクチュエータOFF状態で前縁剥離渦が発現しているが、プラズマアクチュエータON状態では前縁剥離渦がみられないほど、プラズマアクチュエータが自己励起渦の発生を抑制していることが分かる。

図13のカルマン渦励振風速域では、プラズマアクチュエータOFF状態で前縁からカルマン渦が大きく発現しているが、プラズマアクチュエータON状態ではそのカルマン渦が模型上面で再付着していることから、プラズマアクチュエータがカルマン渦の発生を抑制していることが分かる。

したがって、自己励起型渦励振風速域およびカルマン渦励振風速域において、模型加振時におけるプラズマアクチュエータの気流制御の有効性が確認することができた。

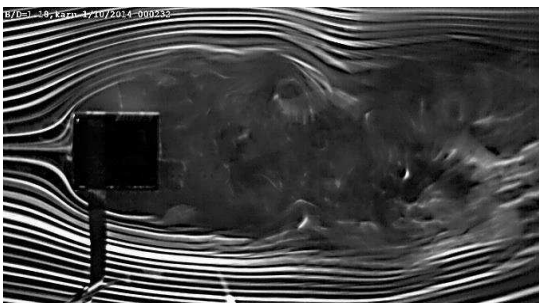


(A) プラズマアクチュエータ OFF

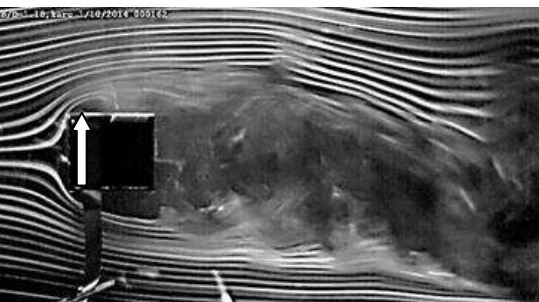


(B) プラズマアクチュエータ ON

図 1 2 自己励起型渦励振風速域における
プラズマアクチュエータによる気
流制御効果(加振時 $2\eta/D=0.1$)



(A) プラズマアクチュエータ OFF



(B) プラズマアクチュエータ ON

図 1 3 カルマン渦励振風速域における
プラズマアクチュエータによる気
流制御効果(加振時 $2\eta/D=0.1$)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 5 件)

- ① Kazutoshi Matsuda, Flow Control of Bridge Deck Sections Using Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuator, The 6th European-African Conference on Wind Engineering, July 18, 2013, Cambridge, UK.
- ② 松田 一俊, 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, 平成 25 年度日本風工学会年次大会, 2013 年 5 月 30 日.
- 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高効率化に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会, 2013 年 3 月 9 日.
- ④ 松田 一俊, プラズマアクチュエータを用いた矩形断面のはく離制御に関する実験的研究, 第 62 回理論応用力学講演会, 2013 年 3 月 8 日.
- ⑤ 内田 達大, プラズマアクチュエータを用いた気流制御の研究, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 2012 年 9 月 6 日.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松田 一俊 (MATSUDA, Kazutoshi)
九州工業大学・大学院工学研究院建設社会
工学研究系・教授
研究者番号: 20609466

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし