

光学振動計測技術を活用した 振動発電デバイス設置位置の検討

Ngo Le Hoang Minh¹・高田 巡²・北 翔太³・深田 宰史⁴・
上野 敏幸⁵・鈴木 海風⁶・三坂 岳広⁷・伊勢野 暁彦⁸

¹ 非会員 金沢大学大学院 環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: ngolehoangminh97@gmail.com

² 非会員 一般財団法人 電力中央研究所 グリッドイノベーション研究本部 (〒240-0196 神奈川県横須賀市長坂 2-6-1)

E-mail: takada3778@cripi.denken.or.jp (Corresponding Author)

³ 非会員 金沢大学 先端科学・社会共創推進機構 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: kita-s@staff.kanazawa-u.ac.jp

⁴ 正会員 金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: saiji@se.kanazawa-u.ac.jp

⁵ 非会員 金沢大学 理工研究域 電子情報通信学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: ueno@ec.t.kanazawa-u.ac.jp

⁶ 正会員 前田建設工業株式会社 土木事業本部 (〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2)

E-mail: suzuki.ar@jcity.maeda.co.jp

⁷ 正会員 前田建設工業株式会社 ICI 総合センター (〒302-0021 茨城県取手市寺田 5270)

E-mail: misaka.t@jcity.maeda.co.jp

⁸ 正会員 愛知道路コンセッション株式会社 (〒475-0975 愛知県半田市彦洲町 3-100)

E-mail: iseno.a@arcc.jp

センサと無線伝送を活用した橋梁ヘルスモニタリングの課題の一つに電力確保がある。振動発電はその解決策になり得るが、実橋において振動発電デバイスが効率的に発電できる設置位置を短時間で選定することは困難である。そこで本研究では、固有振動解析によりターゲットとする振動モードおよび振動発電デバイスの設置位置候補を抽出したあと、試験車走行試験を行い、光学振動計測技術を用いて、設置位置候補の中から効率的な発電ができる設置位置の検討を行った。また、同時に、本研究で用いた光学振動計測技術の本橋梁部材への適用性について明らかにした。さらに、本技術により抽出した設置位置で計測された加速度波形を用いて室内にて起振機試験を行い、振動発電デバイスの発電量を評価した。

Key Words: vibration power generator, bridge vibration, image analysis, sensing, visualization

1. はじめに

我が国では社会インフラの老朽化に伴い、その安全性を確保することが大きな社会課題となっている。今後は労働人口が更に減少すると見込まれることから、ICTを活用した維持管理の省力化・効率化・高度化に期待が高まっている。近年では、構造物の変状を監視するために様々なモニタリングが多く行われている¹⁾。しかし、電池交換が容易にできない場所や太陽光の確保が期待できない場所では、電池フリーのエナジーハーベスティング技術を検討しなければならず、センサや無線送信機器の

電力確保が大きな課題となる。

そのような課題を克服するために、電磁式、圧電式、静電式など様々な方式が提案されている²⁴⁾。本研究における著者の一人が開発した磁歪式振動発電デバイス⁵⁾(図-1 参照)は、出力、耐久性において他の方式に比べて優位性⁶⁾がある発電方式であり、幹線道路や高速道路など交通量が多い箇所に設置した場合、安定的な電力確保が期待できる。この振動発電デバイスを用いた実績として、高速道路橋の床版に対して行った鋼材腐食モニタリング⁷⁸⁾では、1年以上の長期運用に成功している。

振動発電デバイスの発電量は、そのデバイスの設置位

置における振動振幅、頻度に大きく左右される。安定的かつ高頻度にセンサ情報を送信するためには、発電量を確保できる場所にデバイスを設置することが望ましい。

橋梁振動を対象としたこれまでの振動発電の研究では、橋梁の主桁²⁾や腹板³⁾などに設置し、ターゲットにする振動領域を決めて振動数の調整を行っている。この設置位置の選定作業は、橋梁の多点に接触式センサを設置して振動を計測するため、負担が大きいという問題があった。

そこで本研究では、南知多道路の浦戸橋を対象として、まず、事前の固有振動解析によりターゲットとする振動モードおよび振動発電デバイスの設置位置候補を抽出した。そのあと、試験車走行試験を行い、光学振動計測技術を用いて、その候補位置の中から車両走行時に大きな振動振幅を有し、効率的な発電ができる設置位置の検討を行った。その際に、カメラと動画画像解析により遠隔非接触で振動計測可能な光学振動計測技術の本橋梁部材への適用性を確認した。最後に、設置位置候補における対象振動数に対して、試験室にて再現加振試験を行い、振動発電デバイスの発電量を評価した。

2. 橋梁振動を対象とした振動発電技術

本研究では、磁歪式振動発電デバイス（図-1 参照）を用いて、橋梁振動を電力に変換する振動発電技術を利用した。この振動発電デバイスは、磁歪材料、U字型のフレーム、コイル、磁石で構成され、磁歪材料として鉄ガリウム合金（Fe-Ga 合金）を使用している。この磁歪材料には、磁化すると伸びる磁歪効果という特徴があるが、このデバイスは、変形を与えることで磁場を変化させる逆磁歪効果を利用している。

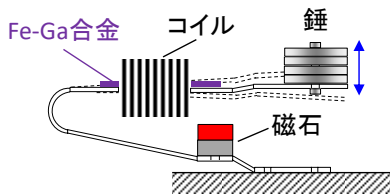


図-1 磁歪式振動発電デバイス

すなわち、振動発電デバイスが、図-2のように外部の振動に同調して錘を上下に振ることで、磁歪材料に圧縮や引張のひずみが与えられ、逆磁歪効果により大きな磁束の変化を発生させている。この磁束の時間変化により、巻線コイルに交流電圧が生じる発電原理になっている。

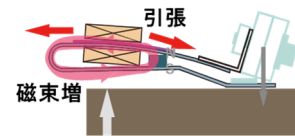
この振動発電デバイスには、デバイスサイズに応じて効率よく発電する周波数領域が図-3のように存在する。

図-3は、小型の振動発電デバイスを1とし、付加する重りで調整可能な動作周波数の範囲とその周波数において

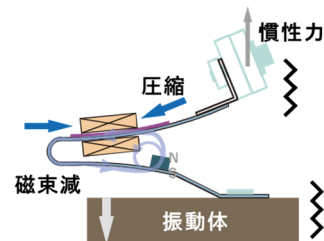
振動発電デバイスで得られる最大変位から求めた実測の発生電力を直線近似したグラフ（対数）であり、その他の大きさの振動発電デバイスをスケール効果で推定したものである。なお、スケール効果として、動作周波数は1寸法倍、発生電力は寸法の3乗倍とした。

本研究において適用可能な振動発電デバイスは、小型、中型、大型および超大と考えられるが、無線通信可能な発生電力を考慮すると大型または超大になる。超大ではサイズが大きく設置位置が限られること、重いため、設置位置によっては振動特性が変化してしまうことから、大型を選定することにした。

この大型サイズの振動発電デバイスは、10～30Hzで最も効率的に発電することが別途行った加振試験により明らかになっており、本研究では、10～30Hzの振動数領域で大きな振動振幅が得られる橋梁部材を固有振動解析により探すことにした。



(a) 磁歪材料が引張を受ける場合



(b) 磁歪材料が圧縮を受ける場合

図-2 振動発電デバイスの原理

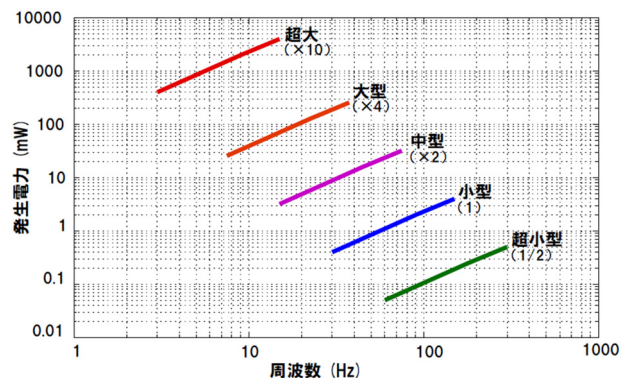


図-3 振動発電デバイスの発電性能

3. 固有振動解析

振動発電デバイスが効率的に発電できる 10～30Hz の振動数領域において、大きな振動振幅が見込める設置位

置を探すために、3次元FEモデルを用いた固有振動解析を行うことにした。なお、本解析はDIANA⁹⁾を用いた。

解析モデルは、図4に示す3次元FEモデルとした。床版はソリッド要素、主桁はシェル要素、対傾構および横構部材は梁要素にそれぞれモデル化した。鋼材およびコンクリートの弾性係数は、それぞれ200kN/mm²および25.5kN/mm²とした。

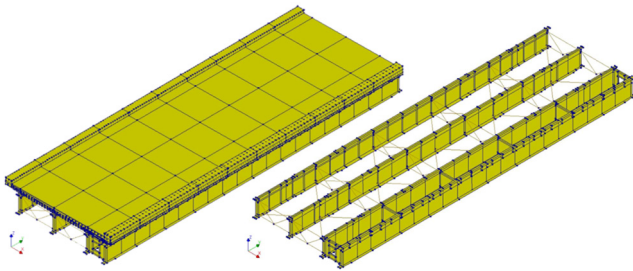


図4 解析モデル（左：全体、右：鋼桁、対傾構および横構）

この解析モデルを用いて固有振動解析を行った。前章で述べたように本研究で用いる振動発電デバイスが効率よく発電する振動数領域は10-30Hzであるため、この振動数領域で大きな振動を得られる部材を抽出した。

その結果、図5に示すように20Hz付近では、横構が振動するモードが卓越することがわかった。この振動数領域において、赤丸で記した複数横構が連成していたことから、この位置を振動発電デバイスの設置可能な場所として検討することにした。

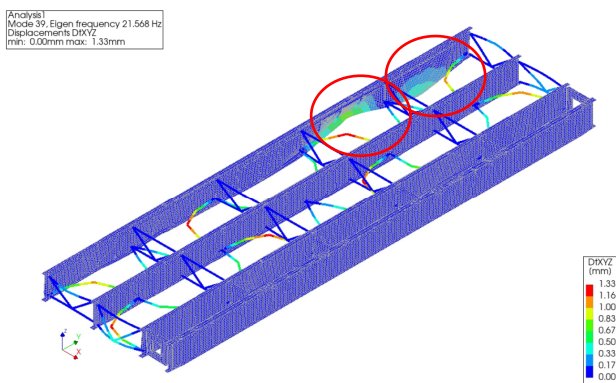


図5 20Hz付近に卓越する横構の振動モード

固有振動解析により、ある程度ターゲットとする横構部材の振動モードを絞ることができたが、あくまで理論上のシミュレーションであるため、実橋における振動挙動と整合しない可能性がある。そこで、この横構部材の振動挙動を次章に述べる光学振動計測技術を用いて検討することにした。

4. 光学振動計測

光学振動計測技術は、カメラと動画画像解析による変位・振動計測技術の一種であり、単眼カメラで撮影した対象物の表面模様の動きを精密に追跡することにより、視野内全点の時系列変位が得られる（図6）。また、この各点の変位ベクトルをもとに画像内の各部分領域の3次元方向（縦・横・奥行）の変位や回転角を算出することができる。

これまでの遠隔非接触計測として、レーザードップラ法¹⁰⁾やサンプリングモアレ法¹¹⁾などが考案されてきたが、本技術はマーカーレスで3次元変位計測が可能であるため、計測機材の設置位置の制約が少なく、視野内の多点の変位情報が事前準備無く得られるといった利点がある。

使用機材はカメラ、三脚および照明などで構成され、カメラは任意のものが利用でき、録画データに解析処理を適用することで時系列変位が得られる。得られた変位は、レンズ焦点距離や撮影距離などの情報によって対象表面での物理サイズに変換することができる（サイズ既知の物体が写っていれば、それを基準として算出することも可能である）。

本技術の適用例として、変位の時系列計測を行ったコンクリート桁のひび割れの開口変位の計測¹²⁾、橋梁支承の挙動解析¹³⁾、変位から加速度への変換を行った水車発電機の振動計測¹⁴⁾、変位計測を可視化した電柱の振動計測¹⁵⁾などがある。

ひび割れ開口変位の計測では、クラックゲージに対し二乗平均平方根誤差0.69-0.82 μ m（画像上で0.013-0.016画素に相当）で概略一致することが確認されている。また、支承挙動計測では、支承の回転角から計算された鉛直変位と実際に計測された鉛直変位との差が0.05 mm程度であり、支承機能の判定に利用可能であることが報告されている。さらに、水車発電機の振動計測では、計測された120Hz以下の周波数領域において既存の接触式加速度センサと周波数ピーク位置がほぼ一致すること、空間分解能として奥行方向0.28 μ m、水平垂直方向0.012 μ m（画像上で0.16 $\times 10^3$ 画素に相当）が得られることが報告されている。本技術により得られた変位をもとに電柱の自然振動を可視化した事例では、画像内各点の変位を指定倍率で拡大したうえで動き補償画像を生成することによって、肉眼で確認しづらい電柱の振動姿態を可視化することに成功している。この手法により、構造物における最大振動点を視覚的に理解する目的でも本技術を活用することができる。このようにこれまで多くの実績を積んできたが、複数点間における指定した周波数の振幅を比較したことがなく、本研究が初めての試みである。

本技術を使用する際の留意点として、時間分解能が比較的低い点が挙げられる。本技術の時間分解能はカメラ

の撮像速度（フレームレート）により制約を受ける。現在、一般的なカメラのフレームレートは 60 fps、高速撮像可能なカメラでも数百 fps 程度以下のものが多いため、接触式加速度センサなどのように数 kHz という高い時間分解能を得ることはできない。ただし、本研究で対象とする橋梁の振動数領域は、10-30 Hz 程度になるため、本技術の性能で十分に対応可能と考えられる。

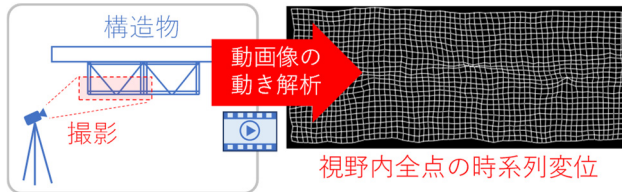


図-6 光学振動計測の概要

5. 車両走行試験

光学振動計測技術により横構部材の振動を計測し、振動発電デバイスが効率よく発電する設置位置を調査するために試験車両を用いた車両走行試験を行った。

(1) 対象橋梁

対象とした橋梁は、支間長 27.7 m の 4 本主桁を有する鋼橋である（G4 桁は増設桁である）。一般図を図-7 に示す。また、光学振動計測で対象とした計測点を図-8 に示す。計測点 A、C および D は、走行車線下の横構中央、点 B は対傾構の中央に設定した。試験車は総重量 245kN を有する 3 軸エアサス車 1 台とした。試験車両の寸法および軸重を図-9 に示す。走行速度は 80 km/h とした。走行試験は、計 3 ケース行い、ケース 1 は点 A、ケース 2 は点 B および C、ケース 3 は点 D の振動を計測した。

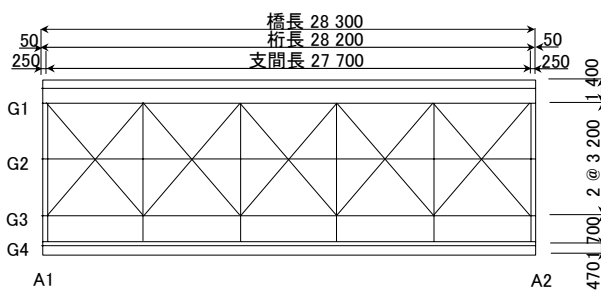


図-7 対象橋梁の一般図

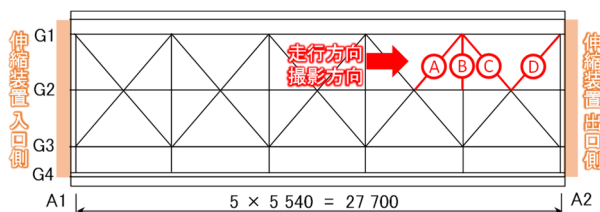


図-8 振動計測点

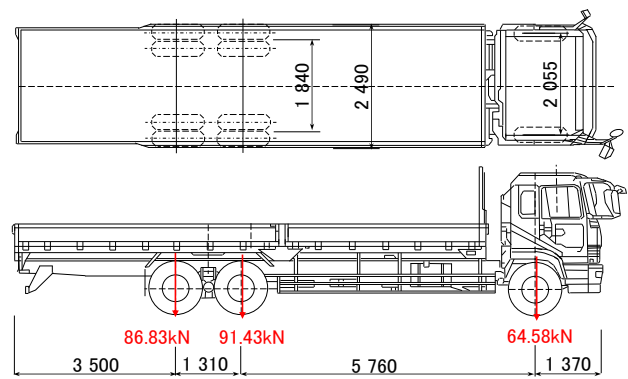


図-9 試験車両の寸法および軸重

表-1 計測機材

機材	機種
カメラ 1	BlackmagicDesign URSA Mini Pro 12K
カメラ 2	Ximea MC124MG-SY
レンズ	SIGMA Art 14mm F1.8 DG HSM
	SIGMA Art 24mm F1.4 DG HSM
	TAMRON SP 45mm F1.8 Di VC USD (F013)
加速度センサ	TEAC 707LF

主な使用機材を表-1、機材設置状況を写真-1 に示す。対象橋梁下には用水路が流れているが、計測点 ABCD の直下は土手になっており、この土手に三脚を立てカメラを設置した。また、比較用としてカメラ 2 機種を使用し、検証用に接触式加速度センサも設置した。カメラ 1 は高解像度な民生用シネマカメラ（最大 12288×6480 画素）、カメラ 2 はグローバルシャッターを備えた産業用高速カメラ（最大 4112×3008 画素）であり、いずれも解像度とフレームレートの設定にトレードオフがある。実際の各点の撮影条件を表-2 に示す。



(a) 設置場所の全景



(b) 上記枠内の拡大

写真-1 機材設置状況

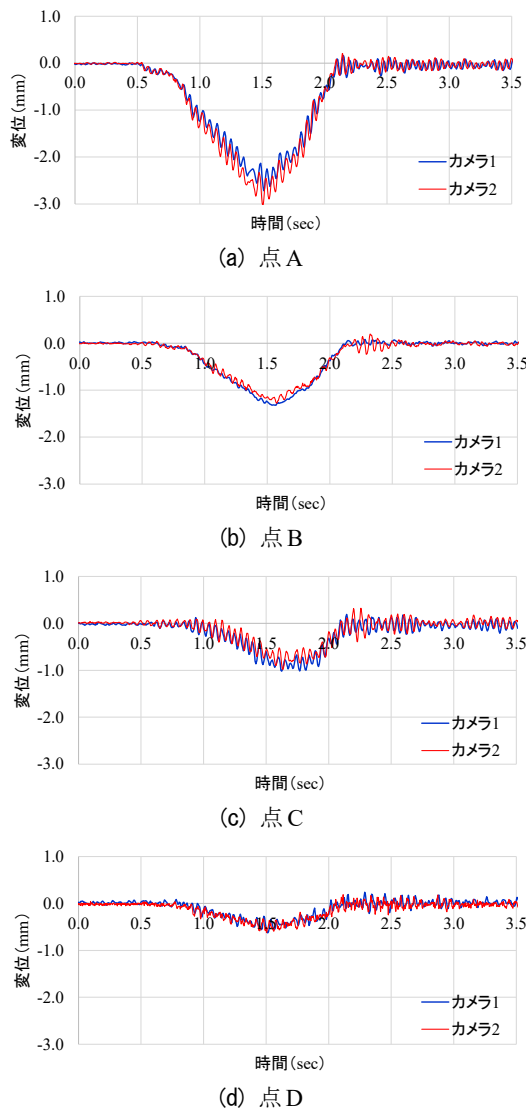


図-10 光学振動計測による各点の時系列変位

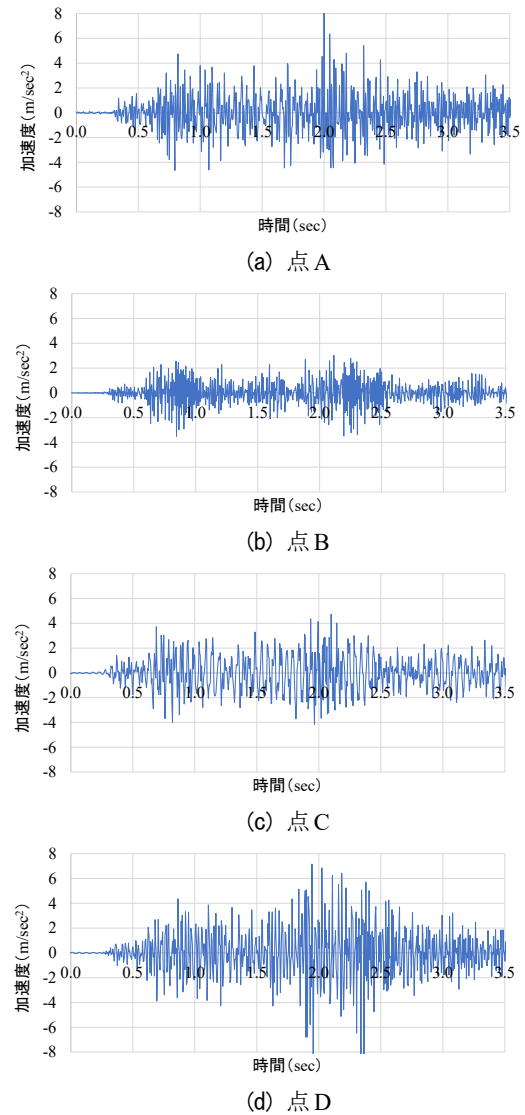
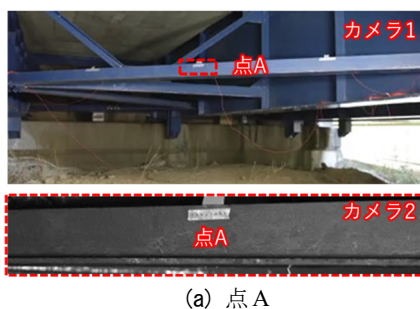


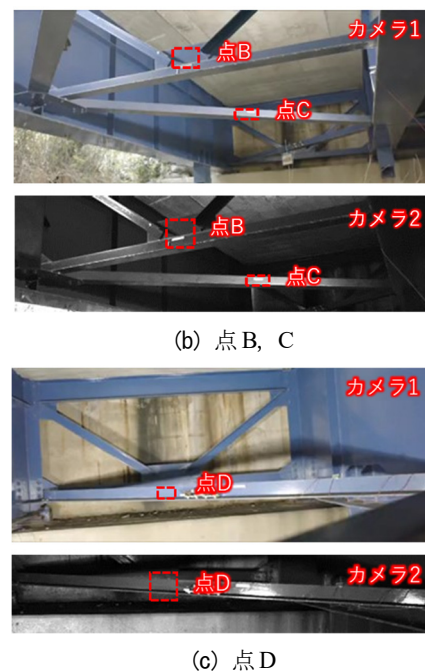
図-11 接触式センサによる各点の時系列加速度

なお、対象橋梁では対象部材に手が届く距離であったが、一般的には手の届かない高い位置にあり、今後の展開を想定して検証用として加速度センサを用いた。

実際の計測用映像を写真-2に示す。基本的に対象部材の全長が視野に入るよう設定したが、撮影画角や解像度が計測結果に与える影響を見るため、点Aのカメラ2では計測点付近のみを望遠レンズで撮影した。今回の計測では精密な検証のため撮影領域付近に目盛り付きマスキングテープを貼付した。実運用時には対象部材のサイズから実寸法を算出することも可能である。



(a) 点 A



(c) 点 D

写真-2 各点計測用の映像 (破線：変位計測領域)

表-2 撮影設定

点	カメラ	画素数	fps	レンズ	撮影距離
A	1	8192×3408	160	24 mm	2892 mm
	2	2056×384	366	45 mm	2817 mm
B	1	8192×3408	160	24 mm	3193 mm
	2	2056×576	252	14 mm	3001 mm
C	1	8192×3408	160	24 mm	4545 mm
	2	2056×576	252	14 mm	4271 mm
D	1	8192×3408	160	24 mm	3062 mm
	2	2056×384	366	14 mm	3461 mm

(2) 結果

光学振動計測により得られた各点の鉛直方向変位（画面垂直方向変位，上方向が正）を図-10，加速度センサにより得られた各点の鉛直方向加速度を図-11 に示す。いずれも 0.5-1.0 秒付近で試験車の前軸が進入し，2.0-2.5 秒付近で後輪後軸が退去している。

図-10 から，カメラ 1 とカメラ 2 で得られた変位は，概ね一致しており，車両通過に伴うたわみ（0.5～3 mm）が検知できていることがわかる。たわみ量は，支間中央

に近い点 A が最も大きく，桁端に近い点 D が最も小さかった。これは，主桁間の横構や対傾構自体の変形よりも桁のたわみが影響しているものと推察される。また，加速度については，桁端に近い点 D の振動が最も大きく，退去側のジョイント段差が影響したものと考えられる。

つぎに，各波形の周波数特性についてスペクトルを算出して比較した。光学振動計測により得られた変位波形については 2 階微分して加速度としてスペクトルを算出した。減衰自由振動に注目するため，車両退去後の 7 秒間を抽出した波形に対して離散フーリエ変換を適用し，加速度フーリエ振幅スペクトルを得た（図-12 参照）。

各点のスペクトル形状は，カメラ 1，2 および加速度センサで概ね一致した。とくに，横構上の点 A，C，D は 30 Hz 以下のスペクトル形状が整合しており，20 Hz 付近やそれよりやや低い 18 Hz 付近が卓越するなど共通の特徴を持っていた。30 Hz 以下の振幅は支間中央に近い点 A が最も大きく，点 D が最も小さかった。また，点 D では 37 Hz 付近に別の卓越振動数が見られた。対傾構上の点 B は横構上の点 A，C，D とはスペクトル形状が異なり，全体的に振幅が小さかった。

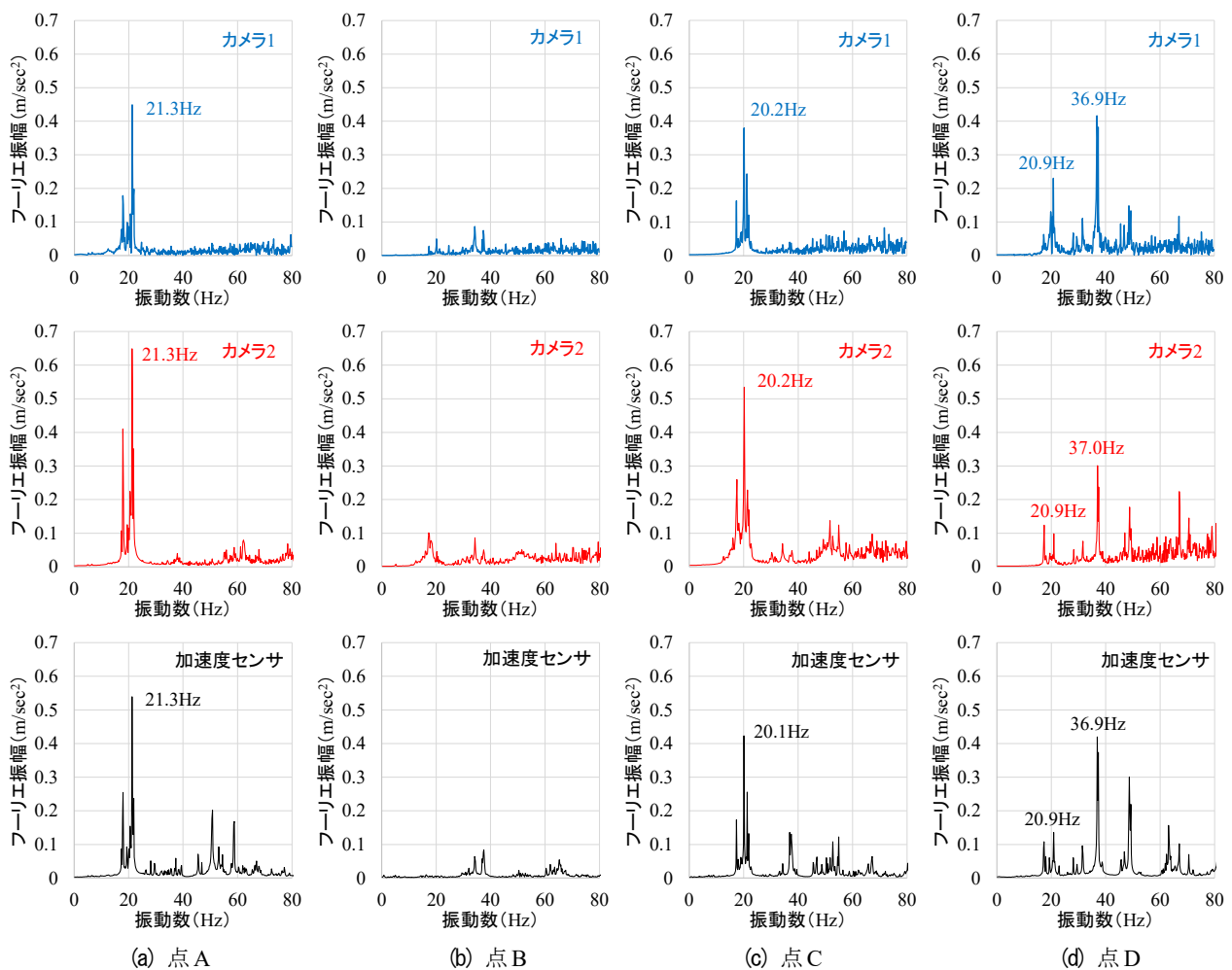


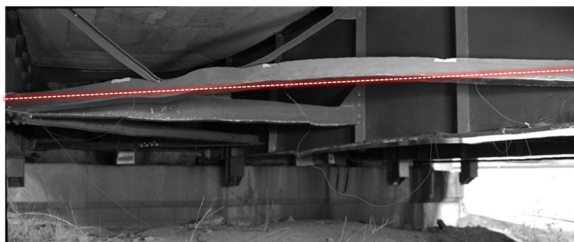
図-12 各点の加速度の振幅スペクトル

光学振動計測により直接得られる情報は変位であるため、一般的には、高周波になるほど加速度振幅に対応する変位振幅が小さくなり、精度の限界に達する。これに対して、点Aのカメラ2は望遠カメラを用いたことによって十分な画素数で計測点を捉えることができている、高周波領域のノイズが軽微に抑えられている。なお、点Bにおけるカメラ2の17.5 Hz付近にカメラ1および加速度センサより大きなピークが認められるが、この原因は不明である。何らかの計測誤差が混入した可能性がある。

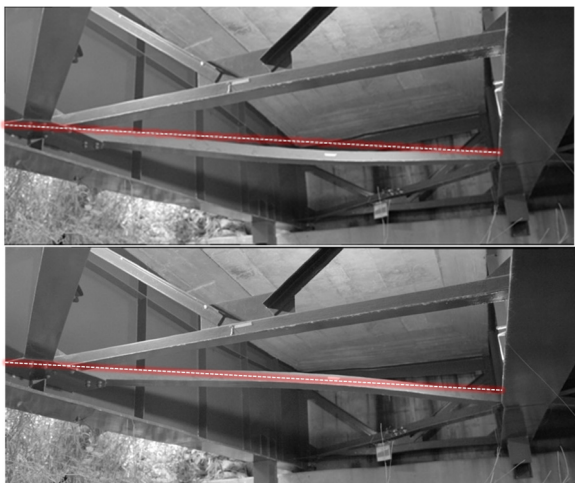
加速度センサと対比すると、30 Hz以下の低周波領域や 0.2 m/s^2 を超える加速度振幅については概ね同様のピークの検出に成功しており、今回のような最大振幅点を探索する目的での分析には支障がないものとする。

つぎに、横構を通して見られる20 Hz付近の成分、および、点Dで特に見られる37 Hz付近の成分について、振幅を5000倍して振動姿態を可視化した(写真3)。この結果20 Hz付近では各横構の中央付近を腹とする1次モードと推察される挙動が確認できた。また、点Dの37 Hz付近では、横構の中央付近を腹とする上下動のモードのほか、振れモードと考えられる成分が見られた。

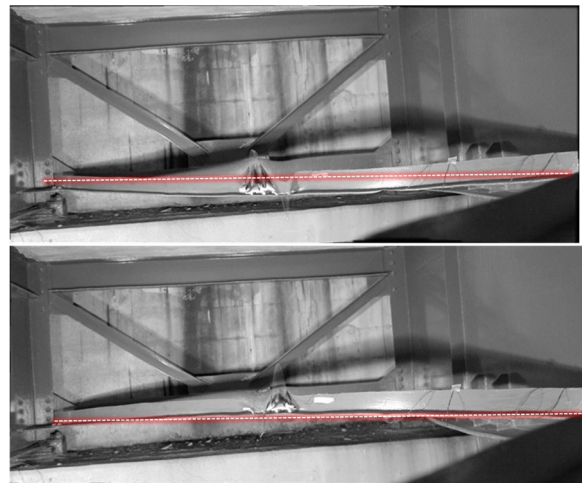
以上の結果から、振動発電デバイスの設置位置として、20 Hz付近の卓越振動数を共振周波数にした場合、支間中央に近い点A、次に点Cにおいて振幅が大きいため、設置位置として好適である。また、共振周波数として37 Hz付近を設定する場合、点Dへの設置が望ましい。



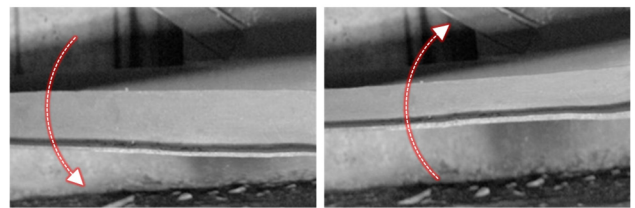
(a) 点A (21.3Hz成分, 振幅5000倍)



(b) 点C (20.2Hz成分, 振幅5000倍)



(c) 点D (20.9Hz成分, 振幅5000倍)



(d) 点D部分拡大 (36.9Hz成分, 振幅5000倍)

写真3 カメラ1による点A, C, Dの可視化(振幅強調)

今回の結果から、支間中央付近の方が横構の振幅が大きかったため、更に支間中央に近い横構でより大きな発電量が期待できる。ただし、支間中央の下には水路があり、デバイス設置のために足場が必要になることから、その負担を勘案しても設置が有益であるかを判断する必要がある。

6. 再現加振試験による発電量の評価

以上の計測結果から、大きな振幅が得られた点A, CおよびDの周波数を用いて、振動発電デバイスの共振周波数をそれぞれ21 Hz, 20 Hzおよび37 Hzに設定した。つぎに、実測の加速度波形を小型加振機上で再現加振することで、それぞれの設置位置での発電量を評価することにした。なお、小型振動試験機にはm060-CE, IMV製を用いた。小型振動試験機を用いた加振試験の状況を写真4に示す。

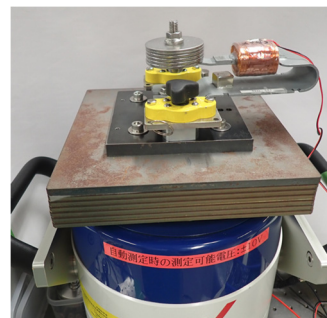


写真4 小型振動試験機を用いた加振試験の状況

実測の加速度波形を小型加振機上で再現加振するうえで、その再現性が問題となるが、本試験では、図-13に示すように再現波形と現地での実測波形の誤差比率（再現波形の rms 値／実波形の rms 値）が約 0.98 あることを確認して試験を行った。

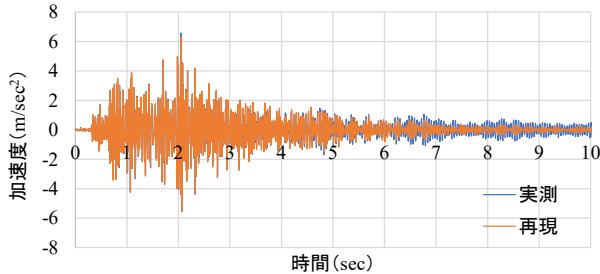
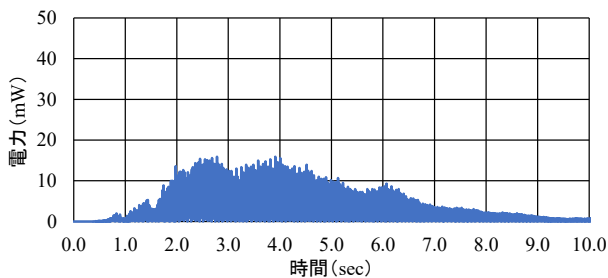
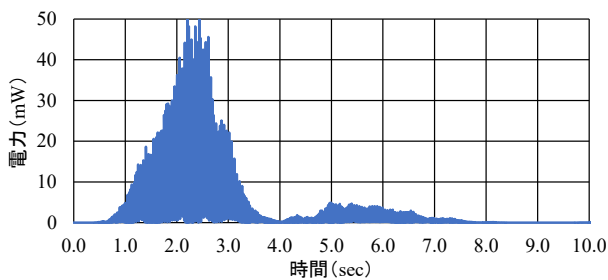


図-13 実測の加速度（点 A）と加振機上で再現波形の比較

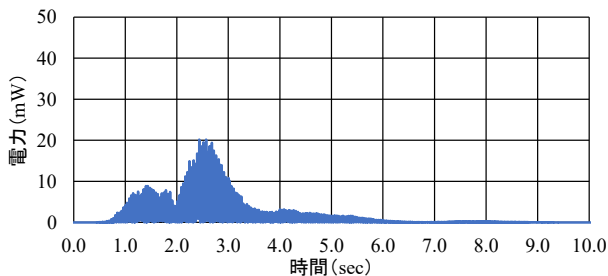
点 A、C および D で計測した加速度波形を用いて再現加振した結果、得られた振動発電デバイスの電力波形（整合抵抗 $2\text{k}\Omega$ 付加）を図-14 に示す。



(a) 点 A



(b) 点 C



(c) 点 D

図-14 加振試験による各振動デバイスの電力

これより、点 A、C および D のなかで最大となった電力は、点 C において 50mW 程度得られた。しかし、この

電力波形を積分した電力量で評価すると、点 A、C および D において、 40mJ 、 43mJ および 23mJ となり、点 A および C で同程度になった。これは、継続時間が影響したためと考えられる。

なお、この結果はあくまで起振機試験上での結果であり、実際の横構部材に設置した場合、振動発電デバイスの重さや温度による振動数の変化などが影響し、常に加振試験と同様な結果を得られるとは限らないことに留意する必要がある。

7. まとめ

本研究では、振動発電デバイスが効率的に発電できる設置位置を短時間で選定するため、固有振動解析と光学振動計測技術を活用した検討を行った。

本研究で明らかとなった知見は以下の通りである。

- 1) 光学振動計測において、高解像度な民生用シネマカメラ（カメラ 1）とグローバルシャッターを備えた産業用高速カメラ（カメラ 2）を用いて計測したところ、両者で得られた変位は、概ね一致しており、試験車両の通過に伴うたわみを検知できていた。
- 2) 試験車が走行した際の光学振動計測（変位を 2 階微分）と加速度センサから得られたスペクトルを比較したところ、各点のスペクトル形状は、カメラ 1、2 および加速度センサで概ね一致した。とくに、横構上の点 A、C、D で卓越していた 30Hz 以下のスペクトル形状が整合していた。
- 3) 固有振動解析と光学振動計測技術を活用して選定した横構上の点 A、C、D で得られた加速度波形を室内の起振機で再現して、振動発電デバイスの発電量を評価した。

以上から、加速度センサを併用した検証実験により、光学振動計測を活用して各橋梁部材の振動計測および振動発電デバイス設置位置の探索が可能であることが確認できた。これにより、従来最適な設置位置を選定することが難しかった対象構造物にも振動発電の適用を広げることができるものと期待される。また、これまでより発電効率の高い点の探索が容易になるため、より高頻度および安定的なセンサデータ収集が可能になることが期待できる。

なお、今回の実験は比較的短い撮影距離（ $2.8\sim 4.5\text{m}$ ）であり、かつ振動方向に対してほぼ直角に撮影できた。また、加振源として既知重量の試験車を利用できたため、計測条件としては比較的容易であった。本技術は人が近接しにくい計測点に適し、計測準備が容易であることが特徴であるため、今後はより長い撮影距離や様々な撮影方向、様々な加振状態について検証を拡大し、適用可能

範囲を明らかにしていきたい。また、本技術は橋梁以外の振動発電デバイス設置位置の探索にも利用が期待できるため、用途拡大についても検討を進めていきたいと考えている。

謝辞：本研究は、文部科学省 地域イノベーション・エコシステム形成プログラムの研究開発の一環として実施したものであり、愛知アクセラレートフィールド[®]の仕組みで実験を行った。関係各位に深く感謝いたします。

REFERENCES

- 1) 石田雅博, 廣江亜紀子: モニタリング技術の社会インフラの維持管理業務への適用, コンクリート工学, Vol.56, No.1, pp.30-33, 2018.
- 2) 竹谷晃一, 佐々木栄一, 岩吹啓史, 長船寿一, 洞宏一, 名児耶武: 橋梁振動を対象とした同調質量系発電デバイスの開発と実橋梁への適用, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.72, No.2, pp.290-301, 2016.
- 3) 吉田善紀, 小林裕介, 内村太郎: 鋼鉄道橋の振動発電を利用したモニタリングシステムの開発, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.70, No.2, pp.282-294, 2014.
- 4) Khan, F. U., Ahmad, I.: Review of Energy Harvesters Utilizing Bridge Vibrations, *Shock and Vibration*, Hindawi Publishing Corporation, Vol. 2016, Article ID 1340402, 2016.
- 5) Ueno, T.: Performance of improved magnetostrictive vibrational power generator, simple and high power output for practical applications, *Journal of Applied Physics*, Vol.117, 17A740, 2015.
- 6) Ueno, T.: Magnetostrictive vibrational power generator for battery-free IoT application, *AIP Advances*, Vol.9, No.3, 2019.
- 7) 深田宰史, 上野敏幸, 木綿隆弘, 北翔太, 青山敏幸, 山品剛, 菅原保仁, 阿部雅人: 振動発電技術を用いた鋼材腐食モニタリングシステムの開発と応用展開, *AI・データサイエンス論文集*, Vol.3, No.12, pp.438-445, 2022.
- 8) 北翔太, 上野敏幸, 深田宰史: 磁歪式振動発電による電池フリーヘルスモニタリングシステムの高速度路実装試験, *日本 AEM 学会誌*, 29 巻, 3 号, pp.570-575, 2021.
- 9) DIANA FEA BV: DIANA User's Manual, 2022.
- 10) 牧野高平, 松田浩, 森田千尋, 一宮一夫: レーザドップラ速度計を用いた振動計測による実橋梁の構造同定, *実験力学*, Vol.11, No.3, pp.201-208, 2011.
- 11) 藤垣元治, 原卓也, 生駒昇, 村田頼信: 列車通過時における鉄道橋の動的な変位計測へのサンプリングモアレカメラの適用, *実験力学*, Vol.12, No.3, pp.179-184, 2012.
- 12) Takada, J. and Ohta, M.: Robustness Improvement in Optical Deformation Analysis by Matching a Motion Field to Stress Imposed on a Surface, *Proceedings of International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)*, pp.767-774, 2020.
- 13) 米山良平, 大懸重樹, 羽守紀幸, 岩橋啓行, 鈴木康寛, 太田雅彦: 光学振動解析システムによる PC 橋の支承機能調査および補修設計, *インフラメンテナンス実践研究論文集*, Vol.2, No.1, pp.86-95, 2023.
- 14) 高田巡, 伊藤雅彦: カメラによる振動計測法の発電設備への適用性検証—水車発電機振動の試験計測—, *電力中央研究所研究報告*, C20013, 2021.
- 15) 高田巡: 光学振動計測技術を用いた電柱の振動状態の可視化, *電力中央研究所研究報告*, GD21008, 2022.

(Received September 30, 2023)

(Accepted November 30, 2023)

INVESTIGATION OF INSTALLATION POINTS FOR VIBRATION POWER GENERATION DEVICES USING OPTICAL VIBRATION SENSING TECHNOLOGY

Hoang Minh Ngo LE, Jun TAKADA, Shota KITA, Saiji FUKADA, Toshiyuki UENO
Arashi SUZUKI, Takehiro MISAKA and Akihiko ISENO

One of the challenges in bridge health monitoring using sensors and wireless transmission is securing power. Vibration power generation is a potential solution, but it is difficult to select an installation point on a real bridge where the vibration power generation device can generate power efficiently in a short time. In this study, after extracting the target vibration modes and candidate installation positions through eigenvalue analysis, a test vehicle running test was conducted and the installation positions that could generate power efficiently were investigated from among the candidate installation positions using optical vibration sensing technology. At the same time, the applicability of the optical vibration sensing technology used in this study to this bridge member was clarified. The vibration of the bridge members were measured using this technology and accelerometers, and the results showed that the spectral shapes were roughly consistent and that the amplitude of the bridge member could be estimated at a dominant frequency of around 20 Hz. The acceleration of the bridge members extracted by this technology was used in a vibration generator test to evaluate the electric energy generated by the vibration power generation device.