

第 I 部門

振動発電デバイスを用いた橋梁振動特性変化の検知に関する基礎的検討

京都大学 学生員 ○川端康平 橋本勝文 松本理佐 服部篤史 正会員 河野広隆

表 1 固有振動数

	劣化前	劣化後
1次モード	7.14	5.96
2次モード	13.31	8.17
3次モード	27.43	22.13

1.研究

年間一兆個ものセンサを消費するトリリオンセンサ社会¹⁾において、センサ端末には電池や配線による電力供給ではなく自立電源が必須となる。本研究は環境振動で発電する小型振動発電デバイスを構造物の健全性を評価するためのセンサとして用いた橋梁の維持管理モニタリングシステムの確立を目指す。特に、本研究では鋼-コンクリート単純桁の床版の劣化前後における振動特性の変化を数値解析的に評価するとともに発電量を算出し、適切なセンサ設置位置について検討した。本研究では発電量はセンサの設置位置を検討する指標であり、適切な設置位置を検討することが目的である。

2.固有値解析

2.1.解析概要

解析モデルは京都府にある A 橋²⁾で橋長は 13.4m、幅員は 3.6m である。実際の計測結果からこの橋梁の卓越周波数は 13.4Hz であり、2 次モードで卓越していたため、解析モデルにも同様に 2 次の固有振動数が 13.4Hz となるようにヤング率・ポアソン比・密度を設定した。また、劣化後の床版コンクリートは弾性波伝搬速度が半分になると仮定し、その時のヤング率が 4 分の 1 になることを利用した。

2.2.解析結果

本研究の対象が小規模橋梁であり、低次の振動モードで卓越する傾向²⁾から、表 1 に庵垣内橋の劣化前後の 3 次モードまでの固有振動数を示す。また、3 次モードまでの振動解析の結果を図 1 に示す。

表 1 より、どのモードにおいても劣化後で固有振動数が低下している。これは、固有振動数は剛性を質量などで除した平方根で表現されるものであり、劣化前後で剛性を低下させたことで固有振動数も低下するためである。

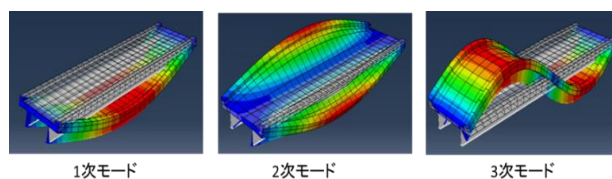


図 1 各振動モード

3.発電量算出と振動発電デバイスの設置位置の検討

3.1.発電量算出

解析結果を基に任意に設定した 6 節点の 1～3 次モードの発電量を算出した。節点の位置は図 2 に示す。発電量は静電アクチュエータの線形等価回路から変換効率を考慮した式(1)および式(2)で表される³⁾。

$$P = \frac{ma^2Q}{4\omega_0} \cdot \eta \quad (1)$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \left(\frac{kC_0}{QA^2}\right)^2} \quad (2)$$

ここで、 $P[W]$ は発電量、 $m[kg]$ は質量、 $a[m/s^2]$ は加速度、 $Q[-]$ は品質係数、 $\omega_0[rad/s]$ は角周波数、 $\eta[-]$ は効率、 $k[N/m]$ はばね定数、 $C_0[F]$ は静電容量、 $A[C/m]$ は力係数である。式(1)から発電量は加速度に依存することが分かる。また、デバイスの構造上、発電量は 1 方向の振動のみに依存するため x , y , z それぞれの振動方向による発電量を算出した。

Kohei KAWABATA, Katsufumi HASHIMOTO, Risa MATSUMOTO, Atsushi HATTORI and Hiroataka KAWANO.

kawabata.kohei.85n@st.kyoto-u.ac.jp

3.2.発電量算出結果と考察

例として1次モード、全節点の x , y , z 方向での発電量を図3に示す。青が劣化前、橙が劣化後の発電量を示している。これより、発電量は劣化前より劣化後で低下していることが分かる。これは、劣化により固有振動数が低下し、加速度が減少したためと考えられる。 y 方向の節点2, 4, 6のように劣化後において発電量が増加する場合もみられたが、これは劣化により振幅が増加し加速度も大きくなったためと推察できる。これらの結果より、節点ごと、振動方向ごとに大きく発電量が異なることが確認できた。したがって、振動発電デバイスを設置する位置と方向を検討することが重要である。

3.3.振動発電デバイスの設置位置の検討

振動発電デバイスが劣化・損傷を検知する閾値を検出・設定しやすいことから、発電量が大きく、劣化前後での差が明瞭な位置がデバイスの設置位置として理想的である。そのため、各節点ごとで最も振幅が大きくなった振動モードのみで劣化前後の発電量を比較し、節点ごとで振幅が大きくなった固有振動数のみで劣化前後の発電量を比較した結果を図4に示す。以上より、節点3および節点4付近に振動発電デバイスを設置した場合にセンサとして有用に働くと考えられる。

3.4.結論

鋼-コンクリート小規模橋梁をモデル化し、固有値解析の結果から振動発電デバイスの発電量を予測し、構造物の健全性を把握するためのセンサとして用いるための設置位置を例示することができた。

参考文献

- 1) 神永晋, 金尾寛人: トリリオンセンサ社会の到来と今後の課題, pp.91-94, 2015
- 2) 古賀英明, 三屋裕幸, 藤田博之, 年吉洋, 杉山達彦, 橋口原: 実環境における高出力静電型エネルギーハーベスタの充電特性, pp.3-4, 2017
- 3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 「エネルギー・環境新技術先導プログラム/トリリオンセンサ社会を支える高効率 MEMS 振動発電デバイスの研究」, pp.71-100, 2017.

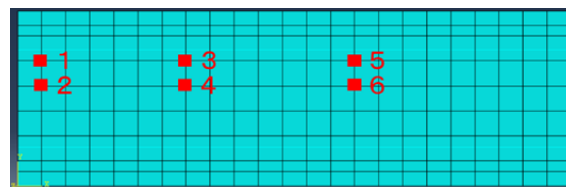
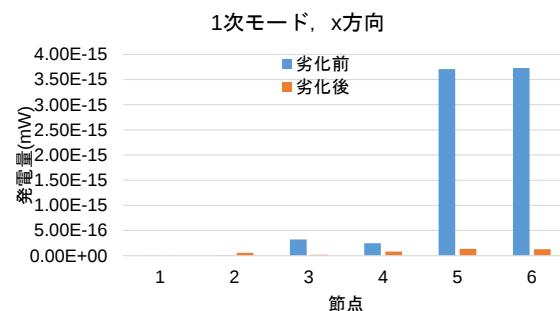
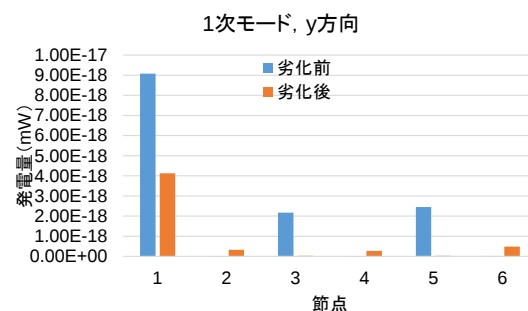


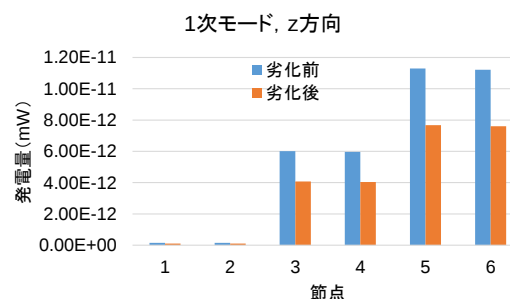
図2 節点位置



a) x方向の振動による発電量



b) y方向の振動による発電量



c) z方向の振動による発電量

図3 発電量

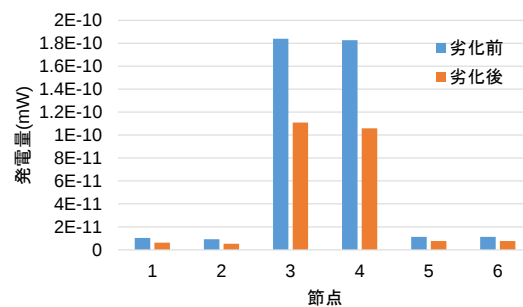


図4 卓越周波数での発電量の比較