

振動発電デバイスを用いた鋼材腐食モニタリング

金沢大学 正会員 ○深田 幸史

金沢大学 非会員 北 翔太

金沢大学（連携講座） 正会員 青山 敏幸

金沢大学大学院 非会員 Ngo Le Hoang Minh

金沢大学 非会員 上野 敏幸

1. はじめに

全国的にインフラ構造物の老朽化が問題になっている状況において、健全度の低い構造物の安全性を把握できるモニタリングが必要と考えられる。近年では、IoT 技術の普及によるインフラ維持管理の高度化や効率化が求められ、スマートインフラマネジメントシステムの構築が求められている。

本研究では、橋梁振動のエネルギーを電力に変換する振動発電技術を用い、鉄筋の自然電位を無線送信できる鋼材腐食モニタリングシステムを開発し、凍結防止剤により塩害劣化したコンクリート床版内の鉄筋腐食モニタリングに適用した。

2. 振動発電デバイスの概要

本研究では、著者の一人が発明した磁歪式振動発電デバイス¹⁾ (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、このデバイスでは、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-2 に示すように、振動により錘を上下に振ることで、磁歪材料に圧縮や引張が生じる変形を与え、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、巻線コイルに電圧を発生させる発電原理になっている。

3. 無線送信システム

近年のモニタリングでは、低消費電力で長距離のデータ通信を可能とする IM920, LoRa (プライベートまたは WAN) および Sigfox など、LPWA (Low Power Wide Area) の無線通信技術を用いた事例がある。本研究では、対象橋梁から観測点までの送信距離、送信データ量およびネットワークサービスエリアなどを

考慮して、現場にて様々な LPWA の無線通信技術を用いた無線送信の実証試験を繰り返した結果、Sigfox を用いることにした。Sigfox を用いた場合、1 回のデータ転送量は 12 バイト、1 日 4 回の無線送信を行うと仮定した場合、本システムでは平均 $100 \mu\text{W}$ 程度の電力量が必要となる。なお、本システムでは蓄電に二次電池 (ニチコン, SLB シリーズ, 容量: 150mAh) を用いている。

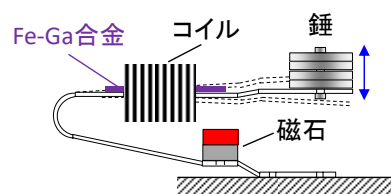


図-1 磁歪式振動発電デバイス

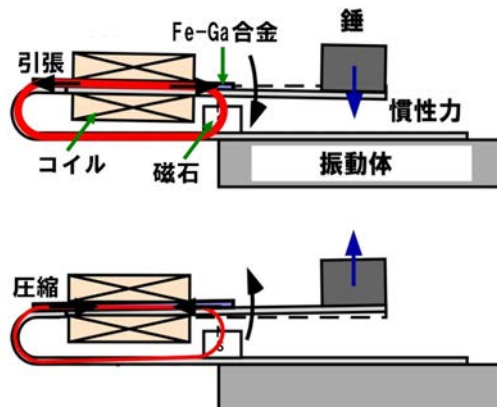


図-2 振動発電デバイスの原理

4. 鋼材腐食モニタリング

これまで著者らは、鋼材腐食モニタリングとして、塩害による劣化が問題となっているコンクリート内の鉄筋の自然電位をチタンワイヤーセンサーにより計測してきた。チタンワイヤーセンサーは、直径 3 mm, 長さ 100 mm 程度あり、高純度チタンに特殊被覆を施し、ケーブルに接続した安価なセンサーである。コンクリート床版に設置した概要を図-3 に示す。具体的な施工としては、直径 10-20mm 程度の孔をドリルにて削孔し、チタンワイヤーセンサーを鉄筋近

キーワード 振動発電, 電位, 腐食, モニタリング

連絡先 〒920-1192 石川県金沢市角間町 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系 TEL 076-234-4605

傍まで挿入した後、断面修復材で充填する。また、自然電位の測定においては、プラス側の端子を鉄筋に、マイナス側の端子をチタンワイヤーセンサーに接続することで鉄筋の自然電位を計測することができる。なお、電位値は、飽和塩化銀照合電極とほぼ同等であり、ASTM C 876 の腐食判定基準²⁾を準拠し、 -80mV より貴の場合は90%以上の確率で腐食なし、 $-230\text{mV} \sim -80\text{mV}$ の場合は不確定、 -230mV より卑の場合は、90%以上の確率で腐食ありとして判定している。

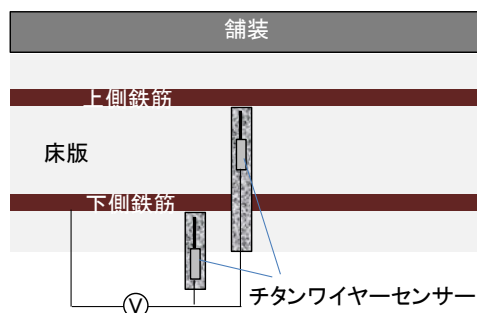


図-3 チタンワイヤーセンサーの設置概要

5. 実橋梁への適用

本研究で対象とした橋梁は、4 径間鋼鈑桁橋（4@支間長 30m）である。事前の振動調査および固有振動解析から、対象橋梁では、大型車両がジョイント段差上を通過後、図-4 に示す逆対称 2 次形状をした振動（約 12-13Hz）が大きく卓越していることが明らかとなった。そこで、この振動モードを対象として、第 2 径間の支間 3/4 点付近に振動発電デバイスを設置した。主桁間の検査路横に設置した磁歪式振動発電デバイスを写真-1 に示す。

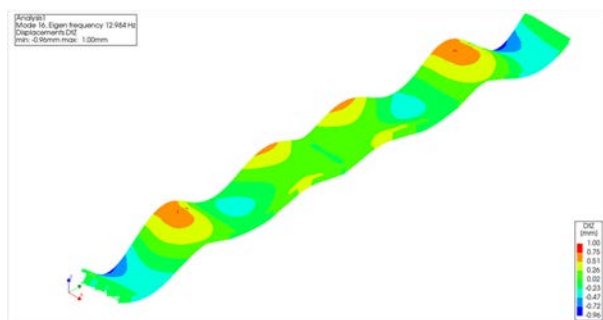


図-4 対象とした振動モード

対象橋梁のコンクリート床版では、凍結防止剤による塩害が問題となっており、鉄筋の腐食が進行している箇所と比較的健全な箇所を対象とし、鉄筋の自然電位データを振動発電技術により無線送信することにした。鉄筋の自然電位および蓄電電圧のモニタリング結果を図-5 にまとめた。

これより、秋から冬にかけて卑側への変動がみら

れるが、大きな変化は見られない。また、蓄電電圧も一定に保たれており、現状の交通量でモニタリング可能な振動エネルギーを得ていることがわかる。このデータを今後も継続的にモニタリングすることにより鉄筋の腐食状況を電池フリーで把握できる。



写真-1 磁歪式振動発電デバイスの設置状況

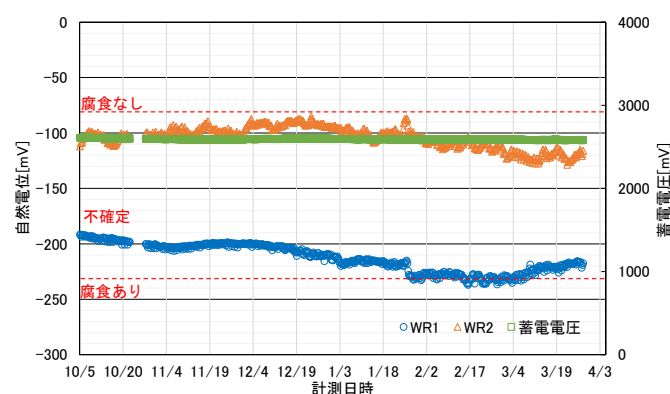


図-5 自然電位のモニタリング結果

6. まとめ

本研究では、橋梁振動のエネルギーを電力に変換できる振動発電デバイスを用いたインフラモニタリングシステムを開発し、塩害による劣化を生じている実橋のコンクリート床版を対象とした鉄筋の自然電位データのモニタリングに適用した。本システムは、腐食モニタリング以外にも拡張可能であり、その他のインフラモニタリングへの拡張が期待される。

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る。関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 上野敏幸：電池フリーIoT の実現に向けた磁歪式振動発電デバイスの量産構造の提案，日本 AEM 学会誌，Vol.26，pp.185-190，2018。
- 2) ASTM C 876-91: Standard Test Method for Half-Cell Po-tential of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, Annual Book of ASTM Standards, Vol.03.02, pp.457-462, 1999。