

圧電素子センサを活用した鋼橋の疲労損傷検知に関する基礎的な研究 Study on Fatigue Damage Detection in Steel Bridges Using Piezoelectric Sensors

森近 翔伍 (都市大・都市工) 関屋 英彦 (都市大・都市工)

葉山 瑞樹 (首都高技術センター) 永井 政伸 (首都高(株))

Shogo MORICHIKA, Tokyo City University Hidehiko SEKIYA, Tokyo City University

Mizuki HAYAMA, Shutoko Technology Center Masanobu NAGAI, Metropolitan Expressway Co., Ltd

E-mail: morichi@tcu.ac.jp

Fatigue damage in steel bridges requires appropriate countermeasures. For this purpose, it is desirable to detect fatigue damage at an early stage. We have proposed a damage detection system that combines a MEMS accelerometer and a piezoelectric sensor. This system is available in the service bridge. However, this system requires MEMS accelerometers other than piezoelectric sensors to detect fatigue damage. Therefore, this study investigated a new damage detection system that does not use MEMS accelerometers to improve the workability of conventional monitoring methods.

1. はじめに

鋼橋に発生する疲労損傷に対しては、適切な対処を必要とする。そのためには、早期に疲労損傷を発見することが望ましい。これまで、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 加速度センサおよび圧電素子センサを組み合わせた、簡易な損傷検知システムが提案されている¹⁾。本システムは、供用中の実橋梁においても適用が可能であり、実橋梁にて計測された応答から、疲労損傷を検知できる可能性が示されている。しかし、本システムでは損傷検知に必要となる圧電素子センサの計測に加え、MEMS 加速度センサが必要となり施工性に課題が残る。

そのため、本研究では従来のモニタリング手法の施工性を向上させることを目的とし、MEMS 加速度センサを使用しない新たな損傷検知システムについて検討した。

2. 従来のモニタリング手法について

著者らは、これまでに圧電素子センサおよびMEMS 加速度センサを組み合わせた損傷検知システムについて提案している。提案しているシステムのフローチャートを Fig. 1 に示す¹⁾。本システムは、MEMS 加速度センサおよび圧電素子センサを用いて、車両走行による橋梁の応答を計測し、その応答の変化から損傷の有無を判定するシステムである。MEMS 加速度センサでは、変位応答を算出し荷重の変化をモニタリングする。圧電素子センサでは、電圧積分値を算出し疲労損傷によるひずみの応答変化をモニタリングする。また、変位応答の算出および電圧積分値の算出の際に必要な積分範囲は、車両が橋梁に入退出した応答に基づいて決定されるが、その決定には MEMS 加速度センサにて計測した加速度応答が用いられている。

しかし、本システムでは損傷検知に必要となる圧電素子センサの計測に加え、MEMS 加速度センサが必要となるため、異なる計測システムを組み合わせる必要がある。そこで、本研究では MEMS 加速度センサの役割であった「荷重の変化のモニタリング」および「積分範囲の決定」を圧電素子センサに置き換えるべく、実橋梁における圧電素子センサの現場計測を実施した。本報告では、圧電素子センサを用いた積分範囲の決定手法について述べる。

3. ウェーブレット変換による積分範囲の決定

これまで、著者らは支間中央部にて計測した加速度応答に対し、ウェーブレット変換を用いたデータの分析を行っている²⁾。車両が橋梁上を走行した際の加速度の計測結果

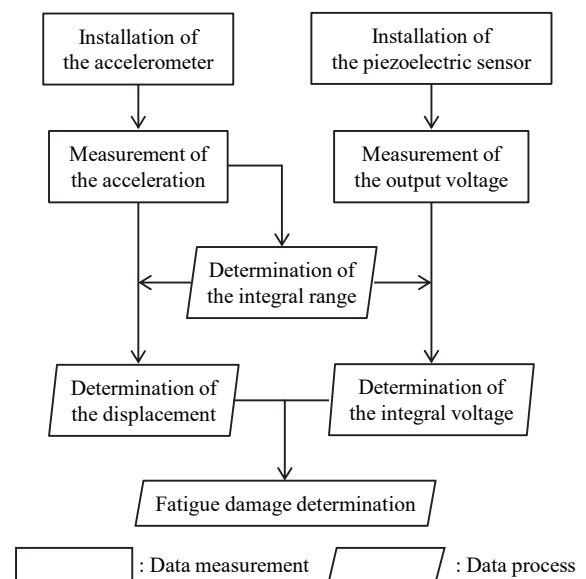


Fig. 1 Flowchart of damage monitoring system

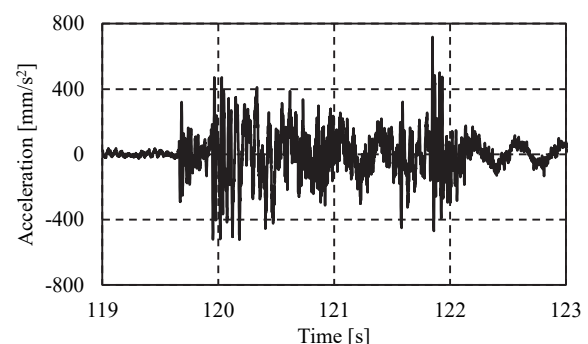


Fig. 2 Acceleration measured by MEMS accelerometer

を Fig. 2 に、Fig. 2 に対しウェーブレット変換を適用した結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 では、Fig. 2 において見られなかった車両の入退出による応答が示されており、その応答から積分範囲の決定が可能であった。本研究では、本分析手法を参考に、圧電素子センサにて計測した電圧に対しウェーブレット変換を実施した。

4. 試験概要

圧電素子センサによる積分範囲の決定手法を検討するために、供用中の実橋梁において現場計測を行った。対象とする橋梁の概要を Fig. 4 に示す。試験橋梁は RC 床版合成 5 主桁プレートガーダー橋の支間長 38 m であり、路肩、第 1 車線、第 2 車線および第 3 車線の道路構成である。圧電素子センサは、第 3 車線側の G5 桁支間中央部に設置し車両走行による橋梁の応答を計測した。圧電素子センサのサンプリング周波数は、500 Hz とした。また、圧電素子センサにて計測した応答については、ウェーブレット変換を適用し、既往研究の加速度応答と同様に、積分範囲の決定が可能であるかを検討した。

5. ウェーブレット変換による分析結果

車両走行により計測された電圧を Fig. 5 に示す。Fig. 5 より、車両の走行による応答を確認したが、車両の入退出による応答の判別は困難であった。続いて、Fig. 5 をウェーブレット変換した結果を Fig. 6 に示す。ウェーブレット変換は、一般化 Morse ウェーブレットを MATLAB Toolbox³⁾にて実行した結果である。Fig. 6 より、Fig. 3 にて示した分析結果と同様に、車両の入退出による応答が示されており、圧電素子センサにおいてもウェーブレット変換による積分範囲の決定が可能であると考えられる。

6. まとめ

本研究では、従来のモニタリング手法の施工性を向上させることを目的とし、MEMS 加速度センサを使用せずにモニタリング可能なシステムの検討を行った。その結果、圧電素子センサにて計測した電圧に対しウェーブレット変換を適用することにより、これまでの MEMS 加速度センサによる方法と同等な車両応答の把握が可能であった。

今後は、圧電素子センサにて決定した積分範囲を用いた場合における電圧積分値の算出精度の評価、および圧電素子センサのみによる新たな損傷検知システムの評価を進める。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20K14814 の助成を受けたものです。本研究の実橋梁計測は、首都高速道路株式会社および一般財団法人首都高速道路技術センターにご協力頂きました。また、セラテックエンジニアリング株式会社には、圧電素子センサをご提供いただいた。関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 森近翔伍, 関屋英彦, 葉山瑞樹, Yanjie ZHU, 永井政伸: 圧電素子センサおよび MEMS 加速度センサを活用した鋼橋の疲労損傷検知に関する研究, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 77, No. 2(応用力学論文集 Vol. 24), pp. 525-533, 2021.
- 2) S. Morichika, H. Sekiya, Y. Zhu, S. Hirano and O. Maruyama: Estimation of displacement response in steel plate girder bridge using a single MEMS accelerometer, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 21, No. 6, pp. 8204-8208, 2021.
- 3) S. C. Olhede and A. T. Walden: Generalized morse wavelets, *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol. 50, No. 11, pp. 2661-2670, 2002.

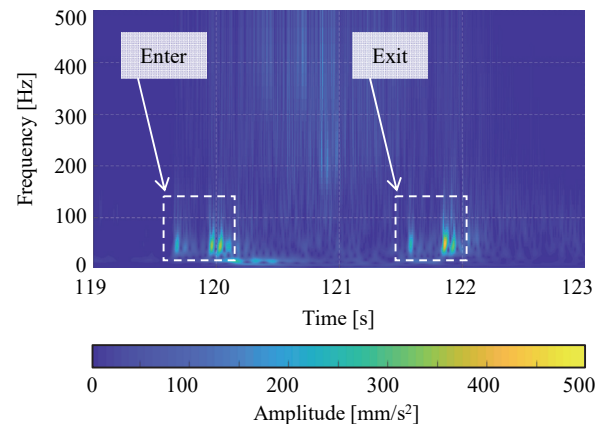


Fig. 3 Wavelet results for acceleration measured at longitudinal center of bridge

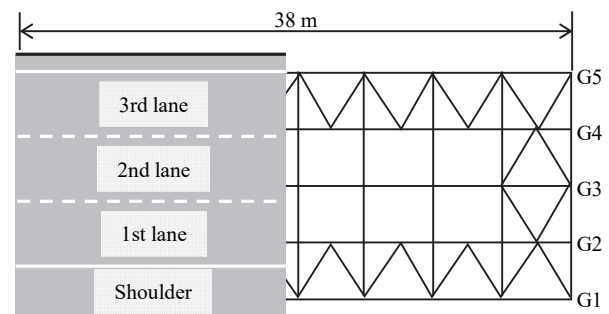


Fig. 4 Outline of the test bridge

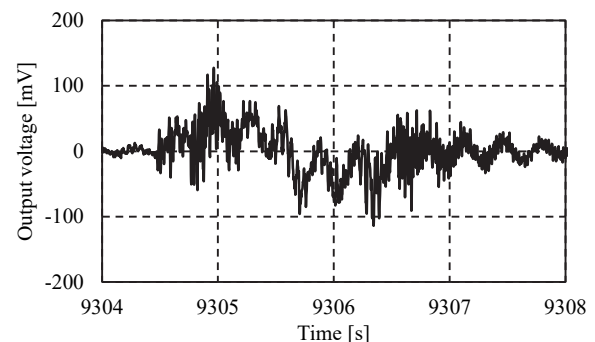


Fig. 5 Output voltage measured by the piezoelectric sensor

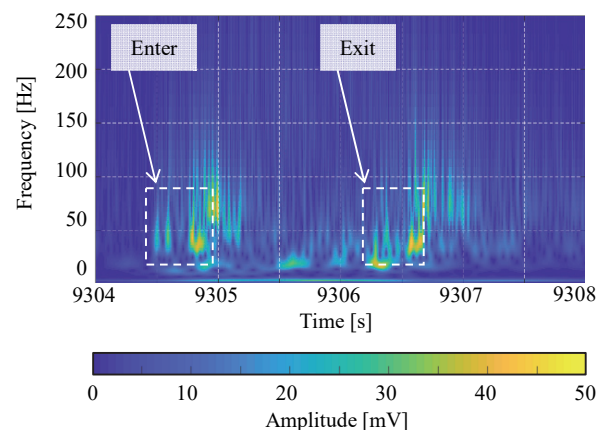


Fig. 6 Wavelet results for output voltage measured at longitudinal center of bridge