

車両振動データから橋梁検出を行うための GPS 情報利用に関する検証

Basic Examination on GPS information utilization for Bridge Detection from vehicle vibration data

高橋 悠太 (八千代エンジニアリング) 金子 直樹 (筑波大) 秦 涼太 (筑波大) 山本 亨輔 (筑波大)
Yuta TAKAHASHI, Yachiyo Engineering Co., Ltd.
Naoki KANEKO, University of Tsukuba
Ryouta SHIN, University of Tsukuba
Kyousuke YAMAMOTO, University of Tsukuba
E-mail: yt-takahashi@yachiyo-eng.co.jp

Bridge monitoring by sensors is often high cost for middle-short span bridges. This study focus the drive-by inspection which can measure the bridge vibration without place of sensor on bridge. The vehicle vibration through over bridge must be extracted from continuous data. This study try to verify whether the relative distance between GPS device on bridge and vehicle can be used for extraction of vehicle vibration through over bridge. For first step, the vehicle vibration data which is seem to be through over actual bridge is extracted by proposal method, and the validity of method is confirmed with estimated mechanical value of bridge.

1. 背景

我が国は道路総延長 127km, 橋梁数 70 万基を有し, 技術者減少が懸念される将来, 点検維持の負担増大が想定される。橋梁点検では近接目視点検が基本とされてきたが, 平成 31 年 2 月に橋梁定期点検要領¹⁾が改訂されている。これによると, 近接目視点検に代わる手段として, ドローン画像などが使用可能となった。加えて, 令和 2 年 6 月, 点検支援技術性能カタログ²⁾が更新され, いくつかの技術を近接目視と同等の情報が得られる技術として参考とできている。対象技術に, 橋梁上に加速度センサーを設置し, 得られた橋梁応答から劣化や異常を検知する技術も含まれている³⁾。振動計測であれば, ドローン画像と異なり, 常時モニタリングも可能となるが, 橋梁 1 基あたりの設置コストが高く, 長大橋を除いて導入は進んでいない。これに対し, 現在未記載の技術に, 車両に搭載した加速度センサーから車両振動を得て, 車両-橋梁間相互作用システムの運動方程式に基づいて橋梁振動を推定し, 劣化や異常を検知する車両応答分析技術が開発されている⁴⁾。橋梁振動は直接計測せず, 間接的に推定された橋梁振動から橋梁の状態把握を目指すため, 推定精度の低下が考えられるが, センサーを個々の橋梁に設置する必要がなく, 道路面のデータも収集可能なスクリーニング技術になると期待される。

本技術をモニタリング技術とした場合, 車両振動データから, 橋梁上を走行した部分を抽出する必要がある。センサーシステムに GPS デバイスを追加することで, 位置情報を付与できるが, 自動運転などでの利用を想定された高精度高周波数の RTK デバイス等はいまだ高価である。GPS の精度は電離層などの影響を受けるが, 相対距離については比較的精度が維持されることから, 従来精度の安価な GPS デバイスを複数利用することを考える。ただし, 正解となる位置情報は測量で決定されるものであり, 完全な位置情報は得られない点に留意する。また, 補完的な技術として, 振動データから力学的特徴量に基づいた抽出方法も考えられる⁵⁾。なお, この方法は LSTM (Long-Short Term Memory: 長短期記憶)⁶⁾を用いる。車両振動データの中で, 凡そ橋梁通過中と思われる部分を取り出し, 教師を付けて学習させる。この時, LSTM は構造変化を特徴量の変化として捉えられていると考えられ, 繰り返し学習を用いることで, GPS 精度に因らず, 橋梁上の振動データが抽出可能である。本

研究では, この教師の抽出に用いる GPS 情報を, 橋梁出入口に設置した簡易な GPS デバイスと, 車両に搭載された GPS デバイスの相対距離から算定可能か, 検証を行う。

2. 実験概要

実橋梁の出入り口に, Fig. 1 のような小型の GPS センサーデバイスをそれぞれ 1 つずつ設置する。また車両前輪に同様の GPS デバイスを設置する。それぞれ GPGL 形式で緯度経度を出力し, 両者の相対緯度経度差が 10^{-14} 以下となると, 橋梁に進入したと定義する。取得頻度は 1Hz とする。実験橋梁は橋長 3m 程度, 橋幅 5m 程度のコンクリートラーメン橋で, 前回定期点検に健全度判定 IV とされた後, 修繕が終えていると考えられる。車両は中型トラック (Table.1) を用いた。追加の積載物はほとんどない状態で走行する。センサー位置はバネ上下・前輪後輪・右輪左輪の組み合わせで 8 か所, それぞれ 3 軸で, 24 軸の加速度データを計測する。ADC の量子分解能は 20bit, 時間分解能は 300Hz とした。橋梁には ADC 分解能 24bit, 時間分解能 300Hz の 1 軸加速度センサーを片側 6 か所, 合計 12 か所設置して橋梁振動を計測した。得られた橋梁振動は, 車両振動との相関性を確認し, 本手法の妥当性検証に使用する。

まず, 橋梁センサーで得られた振動データから, 同橋梁上に設置された GPS デバイスの位置情報と車両で得られた位置情報の相対距離を用いて, 橋梁上を車両が走行していたと推定される範囲を抽出する。橋梁側の振動データから直接車両通行時のデータを抽出する場合, 橋梁データは複数入手可能であり, 相互相関を取ることによって時刻同期の精度をより高めることができる。よって車両振動から抽出するという本来の検討より前段階の検討として, 今回行う。

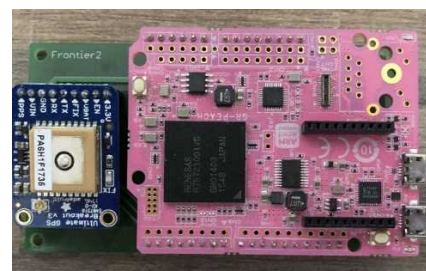


Fig. 1 GPS device

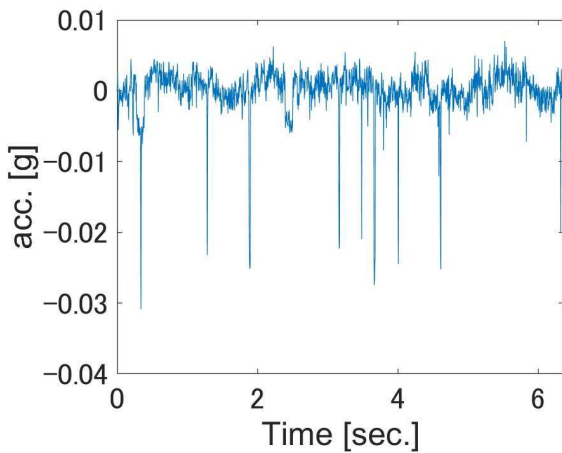


Fig. 2 Acceleration on Bridge

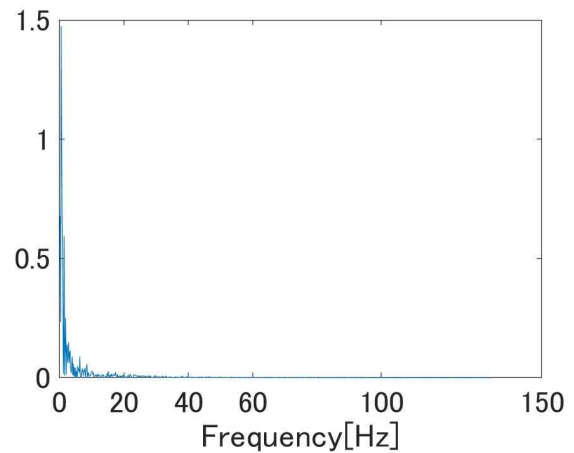


Fig. 3 Power Spectrum Density of Acceleration on Bridge

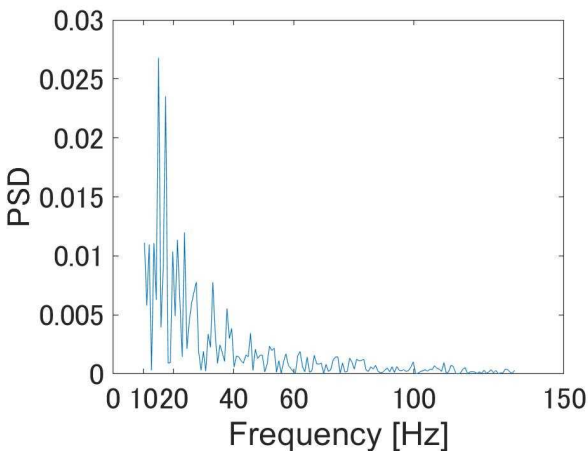


Fig. 4 PSD over 10Hz which is seem to be electrical trend

Type	Medium truck
Estimated Unsprung Natural Frequency [Hz]	34.6
Wheel Elasticity [MPa]	2
Dry Weight [kg]	1900
Estimated Unsprung Weight [kg]	1500

3. 結果と考察

抽出された橋梁振動の内、橋梁中点付近（6つのセンサーの内、入口から3つ目）での加速度振動とそのパワースペクトル密度（PSD）を Fig. 2 に示す。加速度振動を見ると、ほとんど揺れていないことが分かる。そのため、PSD(Fig. 3)についても、センサーの電氣的なトレンドと同程度の 10Hz 以下の周波数が卓越している。10Hz 以下をフィルターした結果を Fig. 4 に示す。15~20Hz の間を超えると、PSD は大きく低下している。既往研究から、4m 程度の RC コンクリートラーメンが同程度の卓越振動数を有している。また、既往研究⁴⁾を参考に中型トラックのバネ下振動数を推定すると、タイヤ弾性率を 2[MPa]、概算タイヤ径を 0.9[m]とし、概算バネ下重量を 1500[kg]とすると、使用車両のバネ下固有振動数は 34.6[Hz]付近と考えると、計測データから抽出した車両走行中の橋梁振動として、ある程度の妥当性を有していると考えられる。ただし、橋梁・車両共に、今回推定した振動数は概算であるため、同時に計測した他の橋梁振動データや、車両振動データと照合し、力学的な妥当性を検証する必要がある。

4. まとめと今後の課題

連続的な車両振動データから橋梁データを抽出するため、GPS デバイスの相対距離を用いた手法を検討した。前段階の検討として、橋梁で得られた振動から車両走行中データの抽出を試みた。車両走行中、橋梁はほとんど揺れていなかったが、FFT 結果として、橋梁の卓越振動数と考えられ

ている範囲を得られた。今後、車両データとの照合を行い、また、複数実験で得られたデータと照合し、本手法の実現性について、明らかとする。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局 国道・技術課: 橋梁定期点検要領, 2019.
- 2) 国土交通省: 点検支援技術性能カタログ(案), 2020.
- 3) 例えば, A. Malekjafarian, C.W. Kim, E. J. O'Brien, L. J. Prendergast, P. C. Fitzgerald, S. Nakajima: Experimental Demonstration of a Mode Shape-Based Scour-Monitoring Method for Multispan Bridges with Shallow Foundations, *Journal of Bridge Engineering*, 25(8), 04020050 - 04020050, 2020
- 4) 例えば, 高橋悠太, 山本亨輔, 岡田幸彦: 空間特異モード角度を用いた比較的軽度な橋梁損傷検知の可能性検討, *構造工学論文集*, Vol. 65A, pp.283-292, 2019.
- 5) R. Murai, R. Miyamoto, K. Yamamoto and Y. Okada: Numerical Experiments of Bridge Position Estimation for On-Going Monitoring, *Proceedings of the World Congress on Engineering 2019*, pp.1-6, 2019.
- 6) F. A. Gers, J. Schmidhuber, and F. Cummins, "Learning to forget: Continual prediction with LSTM," *Neural Computation*, vol. 12, no. 10, pp. 2451-2471, 2000.
- 7) 原田和洋, 曾我部正道, 杉崎光一, 貝戸清之: 鉄道 RC 高架橋における部材振動性状の簡易推定法, *土木学会第 63 回年次学術講演会*, 2008.