

車両振動ベースの橋梁状態推定の及ぼす GPS 精度の影響

筑波大学大学院 学生会員 ○金子 直樹
 筑波大学大学院 学生会員 酒井 真清
 筑波大学大学院 学生会員 佐久間活機
 筑波大学大学院 学生会員 秦 涼太

八千代エンジニアリング(株) 正会員 高橋 悠太
 筑波大学システム情報系
 筑波大学人工知能科学センター 正会員 山本 亨輔

1 研究背景

我が国の橋梁は現在、老朽化や維持管理に関わる人材の不足という課題に直面している。橋梁点検効率化のため、様々な損傷検知方法が提案されているが、本研究では移動センシングによる間接モニタリングに注目する^[1]。車両振動データから橋梁損傷を感度良く検知するには、損傷の空間的な局所性^{2),3)}に留意する必要がある。そこで、山本ら^{4),5)}は、空間的な指標である振動モード形状に着目し、その有効性を示した。特に空間的な指標であるモード形状を用いた指標である SSMA (Spatial Singular Mode Angle: 空間特異モード角)に着目する。損傷による変化の大きい高感度の指標と考えられる SSMA は、走行中の加速度振動を正確に橋梁走行時の加速度振動を抽出しなければ、複数回の走行で分散が大きくなる。橋梁上走行データ (VVoB: Vehicle Vibration on Bridge) の抽出に GPS の位置情報を使用する場合、GPS センサの捕捉精度が大きく SSMA に影響を及ぼすと考えられる。そこで、本研究では、GPS 精度が SSMA へ与える影響を評価するため、異なる精度の GPS センサを基に抽出した VVoB について SSMA を算出・分析する。

2 評価手法

振動センサと GPS を搭載した車両で、同一の橋梁を複数回走行して、データ収集を行う。振動センサは、車両の前後輪軸に設置する。また、2 種類の GPS センサを比較用に用意し、車上の近い位置に設置した。得られた車両位置データに基づいて、2 種類の GPS センサで得られた位置情報を使用して VVoB を抽出する。

ここで、同一橋梁を同一車両が走行した時に得られる車両振動データは、位置同期すれば概ね全て一致すると仮定する。VVoB を評価するため、異なる走行回の振動データ間で相互相関を求める。その上で、SSMA 計算値を異なる GPS 間で比較する。

2.1 相互相関による評価

n 回走行した前後輪の加速度振動の内、比較する 2 つの振動データを GPS データに基づき位置同期した上で、さらに、片方のデータ位置を Δx だけずらし、その時の相互相関を $s_{ij}^{(\Delta x)}$ とする。 $|\tau_{ij}|$ は、 $s_{ij}^{(\Delta x)}$ を最大化する Δx の絶対値で、ラグと呼ばれる。 τ_{ij} がゼロに近いほど、GPS の空間同期精度が高いことを示す。また、 τ_{ij} の平均を $\bar{\tau}$ とす

る。

2.2 SSMA の比較

SSMA は、中小スパン橋梁に生じる軽微な損傷に感度の高い指標で、ノイズに強い。先ず、基底関数を導入し、移動点計測データを固定点での推定データに変換する。その推定データの特異値分解し、推定モード形状を SSMA⁵⁾ とする (図 1 参照)。同じ車両振動データを用いる場合でも、位置データが異なる場合は、異なる SSMA が算出される。

3 実環境計測

今回対象とする橋梁は茨城県内 24 号線にかかる筑波大学内道路かえで通り内の陸橋である松美橋とした。松美橋は全長約 31m の PC 箱桁橋である。また、総重量 13.8t のトラックのばね下前後輪左側に加速度センサを各 1 点、2 種類の GPS センサを左側前輪直上に各 1 点設置した (図 2)。

各センサシステムの仕様はサンプリング周波数 300Hz、測定レンジ $\pm 2g$ 、量子分解能 24bit である。また、車両の前輪直上に A 型 GPS (太陽誘電社製 AE-GYSFDMAXB) と B 型 GPS (Septentrio 社製 mosaic-CLAS) の 2 種類の GPS センサを設置した (図 3)。A 型 GPS はサンプリング周波数 1Hz、受信周波数 L1 の安価なセン

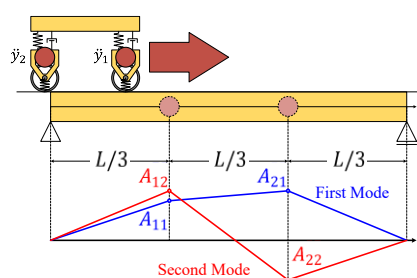


図 1 車両と橋梁と推定モード形状

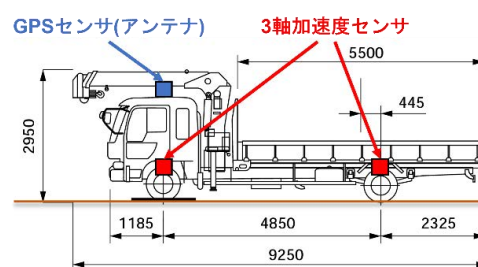
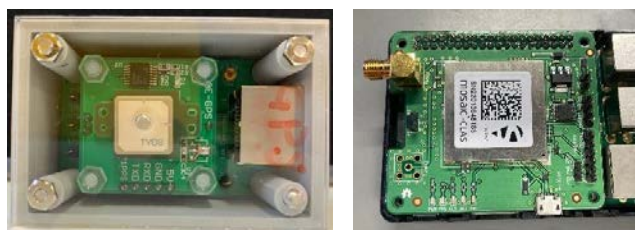


図 2 センサ設置位置

キーワード 車両応答分析, 橋梁モード形状, 実環境計測
 連絡先 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1



A 型 GPS (AE-GYSFDMAXB) B 型 GPS (mosaic-CLAS)

図3 実計測で使した2種類のGPS

サで、B 型 GPS はサンプリング周波数 100Hz、受信周波数 L6, CLAS 対応の高性能センサである。また、VVoB 抽出には橋梁の位置座標は Google マップを参照した。本研究では、橋梁上を 137 回走行したデータを使用し、2 種類の GPS センサを用いて VVoB を抽出し、ラグの平均 $\bar{\tau}$ と SSMA の変化を確認する。

4 結果

4.1 相互相関による評価結果

ラグ τ_{ij} の分布を図 4 に、ラグの平均 $\bar{\tau}$ の比較を表 1 に示す。 $\bar{\tau}$ は各 VVoB について得られたラグから算出されるため、類似度が高いほど相互相関は 0 に近くなる。図 4、表 1 から、A 型と比較して、B 型を用いて抽出した VVoB は 10 倍以上類似度が高いと分かる。

4.2 異なる GPS を用いた時の SSMA 比較

SSMA の車両速度による分布を図 5 に示す。B 型を用いて VVoB を抽出した場合、A 型と比べ、外れ値はあるものの SSMA は概ね一定の値に収束していることが分かる。SSMA の分散比較(表 2)について、B 型を用いた場合、SSMA の分散抑制が確認できる。

5 まとめ

本研究では、GPS 精度が SSMA へ与える影響を評価するため、異なる精度の GPS センサを基に抽出した VVoB について SSMA を算出・分析した。同一車両かつ橋梁であれば車両加速度データは概ね類似するという

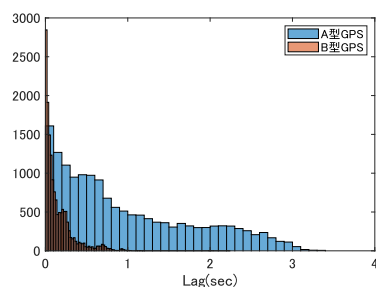


図4 ラグ τ_{ij} の分布

表1 ラグ τ_{ij} の比較

A 型 GPS	$1.27 \times 10^{-3} [\text{sec}]$
B 型 GPS	$0.146 \times 10^{-3} [\text{sec}]$

仮定のもと、異なる精度を持つ 2 種類の GPS センサを用いて抽出した VVoB のうち、前輪バネ下 Z 軸加速度について各回の相互相関を最大化するラグを算出した。2 種類の GPS による橋梁上加速度データ抽出したデータで SSMA を算出した。得られた知見を以下に示す。

1. GPS センサの捕捉精度が高くなると、相互相関を最大化するラグの平均は小さくなる。
2. 捕捉精度の高い GPS によって VVoB を抽出した場合、得られる SSMA の分散は抑制される。

今後の課題として、橋梁位置を Google マップから参照するのではなく、直接橋梁に GPS センサを設置し、そのデータによる橋梁位置の定義手法が挙げられる。

謝辞

本研究は、特別研究員奨励費：22J10994 によって実施した。

参考文献

- 1) Yang, Y. B., Lin, C. W. and Yau, J. D.: Extracting bridge frequency from the dynamic response of a passing vehicle, Journal of Sound and Vibration, 272, pp.471-493, 2004.
- 2) Yang, Y.B., and Chang, K.C.: Extraction of bridge frequencies from the dynamic response of a passing vehicle enhanced by the EMD technique, Journal of Sound and Vibration, 322, pp.718- 739, 2009.
- 3) Xiang, Z., Dai, X., Zhang Y. and Lu, Q.: The Tap-Scan Damage Detection Method for Beam Structures, Advances Interaction & Multiscale Mechanics, pp.541-553, 2010.
- 4) 山本亨輔, 大島義信, 杉浦邦征, 河野広隆: 車両応答分析に基づく橋梁モード形状推定手法の開発, 土木学会論文集, 土木学会論文集 A1, 67, pp.242-257, 2011.
- 5) 山本亨輔, 大島義信, 金哲佑, 杉浦邦征: 車両応答データの特異値分解による橋梁損傷検知技術の提案と検討, 構造工学論文集, 59A, pp.320-331, 2013.

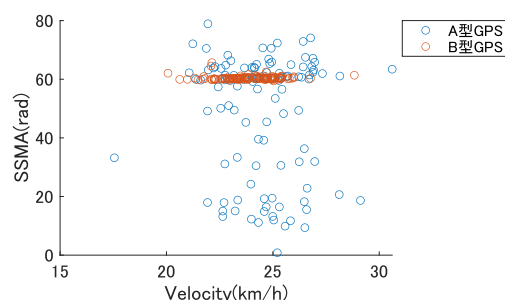


図5 SSMA の車両速度による分布

表2 SSMA のばらつき比較

A 型 GPS	414.1
B 型 GPS	0.5849