

# 複数加速度センサを用いた橋梁のたわみ算出方法の適用性および精度向上に関する検討

株式会社 TTES 正会員 ○梅川 雄太郎, 菅沼 久忠  
岐阜大学 正会員 木下 幸治

## 1. はじめに

橋梁の維持管理の重要性が叫ばれている中、近接目視点検の性状評価だけでなく、橋梁の性能を評価できる技術が必要とされている。耐荷力調査において、たわみは重要な指標であり、耐荷力の評価や初期状態の把握の観点からたわみ計測の進歩が期待されている。

近年、センシング技術の進化および計算手法の開発により、加速度の2階積分を活用した活荷重たわみ計測<sup>1)</sup>は高精度化を遂げている。しかしながら、加速度計の特性から長大橋梁や渋滞走行などの橋梁への適用は困難である。

本稿では、従来の加速度を用いた活荷重たわみ計測の適用が困難な周辺環境や形式の橋梁を、複数の加速度センサを用いることで計測可能とする手法を検討する。

## 2. 対象橋梁概要および計測・走行試験概要

対象橋梁の概要および計測機器の設置位置を図1に示す。対象橋梁は、1車線であり、支間長 $L=24[m]$ 、有効幅員 $4.9[m]$ の鋼単純H桁橋である。

地覆上には加速度センサを橋軸方向に8ヶ所設置し、断面A-A'の位置には加速度センサと変位計を設置した。各加速度センサと変位計は同じデータロガーで時刻同期して計測した。サンプリングは $200[Hz]$ とした。

走行試験では、全重量 $7.8[ton]$ の2軸トラック、マイクロバスおよび乗用車を試験車輦として、橋

面上を通常走行、徐行および一時停止走行し、その際の加速度およびたわみを計測した。

## 3. 複数の加速度センサを用いたたわみ算出アルゴリズムの検討

傾斜角に着目する<sup>2)</sup>と、図2に示すようなたわみとの関係性より数値積分を用いずにたわみを算出できることが期待される。

時刻 $t$ における橋軸方向 $x$ のたわみ関数 $\delta(x)$ は橋軸方向の傾斜角関数 $\varphi(x)$ の積分で表される。

$$\delta(x) = \int \varphi(x) dx \quad 3.1$$

橋軸方向桁全体の傾斜角を多項式関数として定義すると上式より $\delta(x)$ は次の式で表される。

$$\delta(x) = \frac{a_1}{n+1} x^{n+1} + \frac{a_2}{n} x^n + \dots + a_{n+1} x \quad 3.2$$

ここで $a_n$ は $n$ 次関数の係数である。

時刻 $t$ の計測位置 $x_{\varphi_i}$ における計測データの傾斜 $\varphi_i(t)$ を用いて、上記の式関係より最小二乗法を用いて各次数の係数 $a_n$ を求めることで、各時刻 $t$ におけるたわみ $\delta(t)$ を算出する。

各計測点における橋軸方向の傾斜角は加速度を用いて、次の式より算出した。

$$\varphi_i(x) = \arcsin \frac{A_x}{G} \quad 3.3$$

$\varphi_i(x)$ ,  $A_x$ は計測位置 $x$ における橋軸方向の傾斜角および橋軸方向加速度である。 $G$ は重力加速度である。

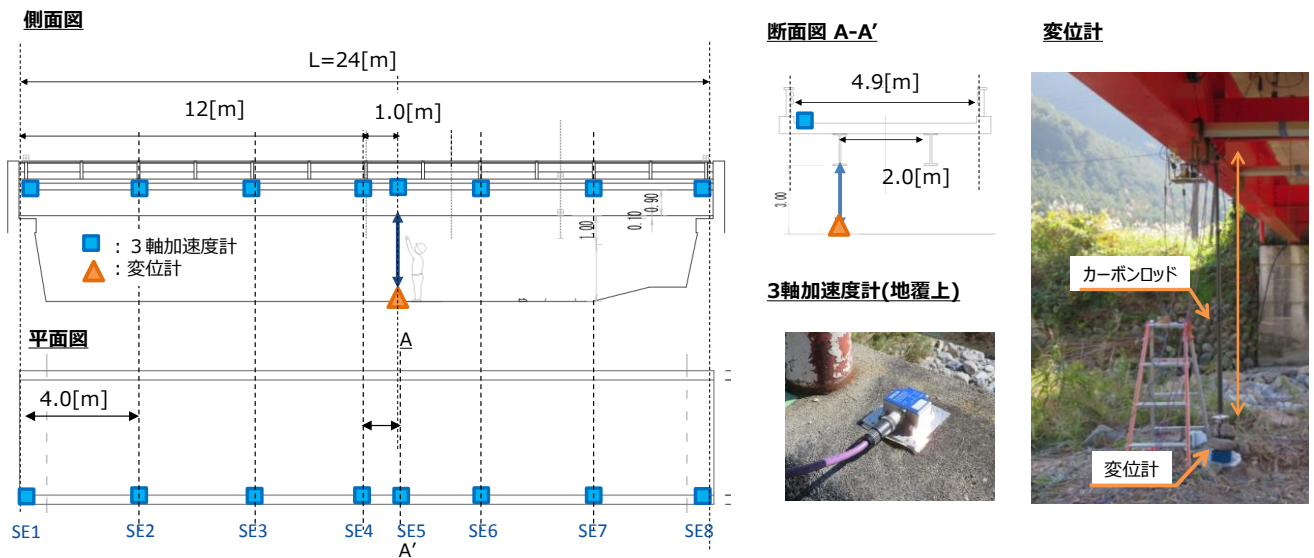


図1 対象橋梁および計測機器設置位置概要

キーワード たわみ, 加速度計, 傾斜, 耐荷力, 性能照査

連絡先 〒153-0051 東京都目黒区上目黒3-30-8 S2 (株)TTES TEL:03-5724-4011

既存手法では、橋梁の固有振動や試験車輛からの動的な影響により傾斜角関数の推定精度が下がる。本稿では様々な走行条件に対する適用性の検証および精度向上に関する検討を行った。

4. 適用性・精度向上に関する検討

各試験車輛が通行した際に取得された各計測点の橋軸方向への傾斜角を図3に示す。時間経過につれて、基線がドリフトする挙動が確認された。

本稿では既存の手法に加えて、以下に示すデータ前処理を適用し、算出精度向上を試みた。

- ① 加速度より傾斜角へ変換
- ② ローパスフィルターで傾斜成分を抽出
- ③ ドリフト成分をHampelフィルタで補正
- ④ 複数傾斜角より多項式を推定
- ⑤ 各時刻におけるたわみの算出

4. たわみ算出結果の比較・評価

各試験車輛が通過した結果を図4に示す。車輛の入退出の境界条件を用いずに、連続的に車輛通過時のたわみを算出することができた。また、各車輛の重量とたわみは線形に比例しており、簡易的なB-WIMへの応用にも期待される。

また、徐行時のたわみを算出した結果を図5に示し、一時停止時の結果を図6に示す。通過時間25秒(対象周波数=0.02Hz)でも、 $3\sigma=0.13[\text{mm}]$ の精度で算出された。また、一時停止時も $3\sigma=0.15[\text{mm}]$ の精度でたわみを算出された。各試験の算出結果の精度評価を図7に示す。

6. まとめおよび今後の展望

大型橋梁等に対しても適用が期待される手法として、複数の加速度センサを用いたたわみ算出方法の実測データに対する適用性および精度向上に関する検討を試みた。

- 1). 複数の加速度計を用いて、各試験車輛のたわみを算出することができた。また、境界条件なしで連続的なたわみを算出できることが確認された。
- 2). 徐行時および一時停止時など車輛通過時間が長い状況であっても、 $3\sigma=0.15[\text{mm}]$ の精度で活荷重たわみを算出できることが確認された。

本稿で複数加速度を用いたたわみ算出方法の徐行や一時停止などの長周期たわみ成分に対する適用性および精度向上に関し検証された。

センサの設置位置・数を最適化することで、連続桁や長大橋の実橋梁でも適用可能であると期待される。

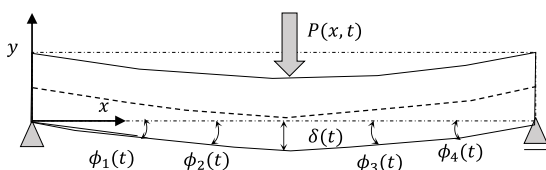


図2 橋梁のたわみとたわみ各関数の概念図

今後は実橋梁で実証実験を進めると同時に、必要なセンサの設置数やそれに伴う精度への影響についても検討を進める所存である。

【謝辞】この研究は岐阜県山県市様に現場提供いただき実施されました。ここに感謝を表します。

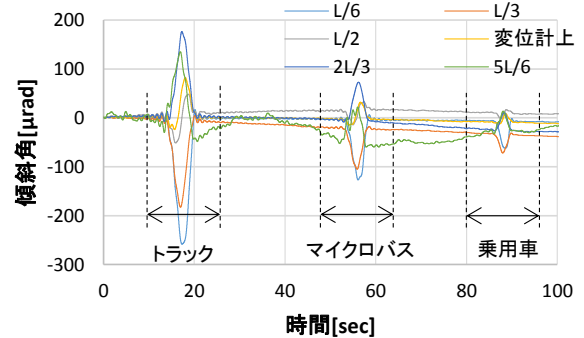


図3 各計測点の傾斜成分 (通常走行)

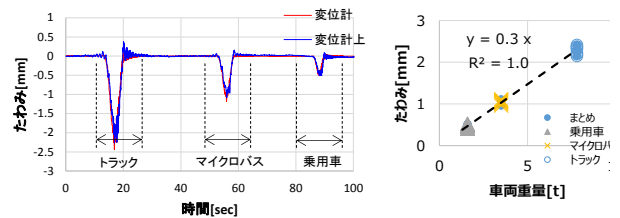


図4 たわみ算出結果 / たわみと荷重車重量の関係

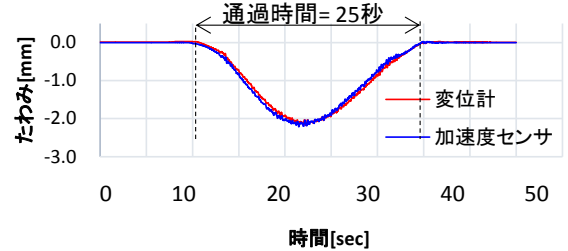


図5 たわみ算出結果 (トラック：徐行)

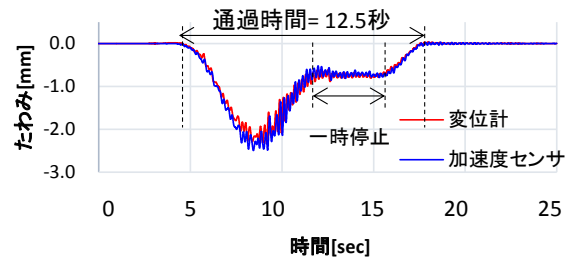


図6 たわみ算出結果 (トラック：一時停止)

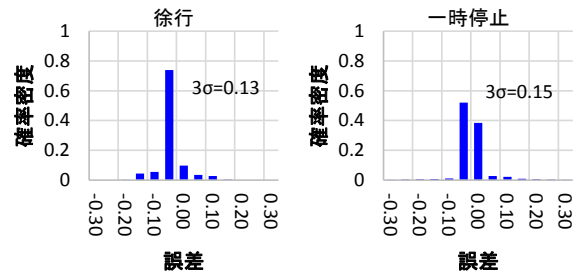


図7 たわみ算出結果の精度評価結果

参考文献

- 1) 梅川ら：“車両通行に伴う加速度データを用いた橋梁の変位モニタリングに関する検討”，第72回土木学会年次学術講演会
- 2) Helmiら：“Reference free method for real time monitoring of bridge deflections”，Engineering Structures, 103, 116-124, 2015.