

# 技術紹介

## 4

## 加速度計による橋梁の変位計測

### Displacement measurement method for bridges by using accelerometer

大胡 拓矢	Takuya Daigo	商品開発センター 主任
市川 真太郎	Shintaro Ichikawa	商品開発センター 技術マネージャー
富岡 昭浩	Akihiro Tomioka	商品開発センター エグゼクティブマネージャー

キーワード: MEMS 加速度計、構造物ヘルスマニタリング、橋梁振動モニタリング、変位計測、積分

Keywords: MEMS Accelerometer, Structural Health Monitoring, Bridge Vibration Monitoring, Displacement Measurement, Integral

### 要 旨

当社のサーボ型加速度計は、慣性航法装置や地震・防災機器、油田掘削など高い精度が要求される用途で使用されています。そこで培った技術と小型・低価格な MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を融合し、構造物ヘルスマニタリング用途向けに高精度 MEMS 加速度計 JA-70SA を開発しました。構造物ヘルスマニタリングへのセンサ適用に向けては、長期運用の検証や加速度計測値の活用等の実証実験を実施しています。

本稿では、加速度計による橋梁の変位計測手法についてご紹介します。

### SUMMARY

JAE has manufactured the high-accuracy servo accelerometer product originated from inertial navigation system for aircraft, seismic and oil drilling.

Therefore, JAE developed the high-accuracy MEMS accelerometer “JA-70SA” for structural health monitoring by taking the high accuracy which is the feature of JAE, and the budget prices which are the features of MEMS. JAE also carries out the demonstration experiment for applying it to that market.

In this paper, we introduce the displacement measurement method for bridges by using “JA-70SA” accelerometer.

## 1. はじめに

高度成長期以降に整備されたインフラ構造物は、建設後 50 年以上経過する施設の割合が増加し、今後急速に老朽化が進むことが懸念されています。橋梁においては、建設後 50 年を経過した割合は、現在 27 %であるのに対し、10 年後には約 52 %にまで急増します<sup>1)</sup>。一方で少子高齢化による技術者不足が進むため、老朽化するインフラ構造物の効率的な維持管理が求められています。効率化のために、高速道路会社等の道路メンテナンス事業者では、ICT の導入などの検討が進められています。ICT の活用により定量的な健全度評価や継続的な構造物の状態把握が期待されています。

加速度を計測することにより、構造物の振動特性（固有振動数、減衰率）やモード形状等を計測できます。また加速度を積分すれば、車両通過時の変位の状況を計測できることになります。従来の変位計測では、レーザ変位計や接触式変位計が用いられていますが、河川や谷などにかかる橋梁では固定点の確保に課題がありました。加速度の計測では、固定点の確保は不要となりますが、一般に積分時間が長いために大きな変位誤差が発生します。本報告では、変位誤差を低減する補正方法を提案し、レーザ変位計による計測との比較を実施しました。

## 2. 計測概要

### 2.1 計測機器

計測に使用した MEMS 加速度計 JA-70SA は、変位算出する場合に誤差となる温度によるバイアス変動および自己ノイズが小さいことを特長とします。また開発したデータ収集装置は、専用ソフトウェアによりサンプリングレート、入力レンジ、記録時間、記録周期を設定することができ、3 軸加速度計を 5 台接続できます。加速度計を増設する場合、複数台のデータ収集装置を接続することにより同期計測も可能です。MEMS 加速度計 JA-70SA の仕様を表 1、データ収集装置の仕様を表 2 に示します。

表 1. 加速度計 JA-70SA の主な仕様

感度	V/ (m/s <sup>2</sup> )	0.2039 ±5% 以内
バイアス	m/s <sup>2</sup>	X, Y軸: ±0.98 以内 Z軸: -9.81±0.98
アライメント	mrad	±20 以内
計測範囲	m/s <sup>2</sup>	X, Y軸: ±19.6 以上 Z軸: -9.8~+29.4
感度温度係数	ppm/°C	±200 以内
バイアス温度係数	μ (m/s <sup>2</sup> ) /°C	±1961 以内
自己ノイズ	(m/s <sup>2</sup> ) rms/√Hz	9.8×10 <sup>-6</sup> 以下
周波数特性	Hz (±3 dB)	200 以上
電源電圧	V (DC)	±5
消費電流	mA	17 以下

表 2. 加速度データ収集装置の主な仕様

AD変換分解能	bit	16
入力レンジ	V	±0.2, ±1, ±5, ±10
サンプリングレート	kS/s	250 以下
電源電圧	V (DC)	12
加速度計接続数	台	5 以下
チャンネル間同期精度	μs	500 以下

## 2.2 計測橋梁およびセンサ設置位置

計測は、6 径間連続合成 2 主箱桁で橋長 370 m の橋梁にて実施しました。計測位置を図 1 に示します。第 4 径間の路面上に MEMS 加速度計 JA-70SA およびデータ収集装置を設置し（図 2）、25 t のラフタークレーン車を時速 40 km で走行させたときの橋梁の加速度データを取得しました。加速度計を用いた変位計測と比較するために、変位計（RSV-150 長距離レーザドップラ振動計）による計測を橋梁の下面にレーザを照射することで行いました。変位計は橋下の地上に設置し（図 3）、レーザ照射位置は加速度計設置位置の直下に調整しました。

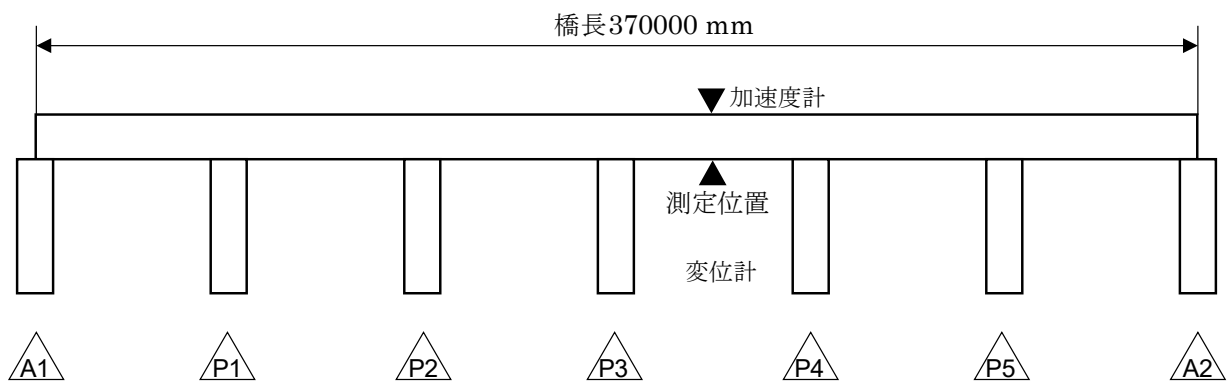


図 1. 加速度計設置位置



図 2. 加速度計およびデータ収集装置設置状況



図 3. レーザ変位計設置状況

### 3. 計測結果

ラフタークレーン車走行時の加速度データをサンプリング周波数 1000 Hz にて取得しました。取得した加速度データから直流成分を除去した後（図 4）、時間積分にて速度を算出しました。算出された速度データをそのまま積分すると、低周波成分の影響により大きな誤差が含まれます。その補正方法は多く研究されていますが、多項式による補正法<sup>2)</sup>などは解析区間の特定が必要であるという課題があります。そのため、誤差の除去方法として、速度データに低周波成分を除去するフィルタリング処理を行った後（図 5）、時間積分することで変位を算出しました。フィルタの遮断周波数により、必要な情報が遮断され得られる変位データに誤差を与える可能性があるため適切な遮断周波数を選択する必要があります。本実験において、フィルタの遮断周波数を車両の通過する時間の逆数としています。フィルタリング処理後の変位データと変位計の変位データの比較を図 6 に示します。算出された変位は、振幅、位相共にレーザ変位計の計測値と概ね一致していることを確認しました。

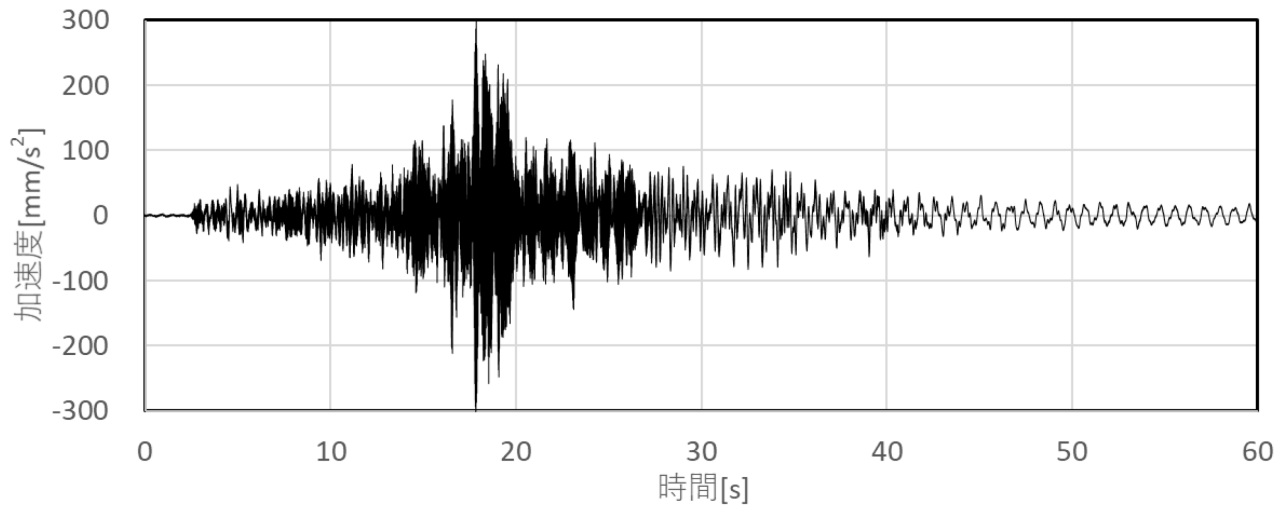


図 4. 直流成分除去後の加速度データ

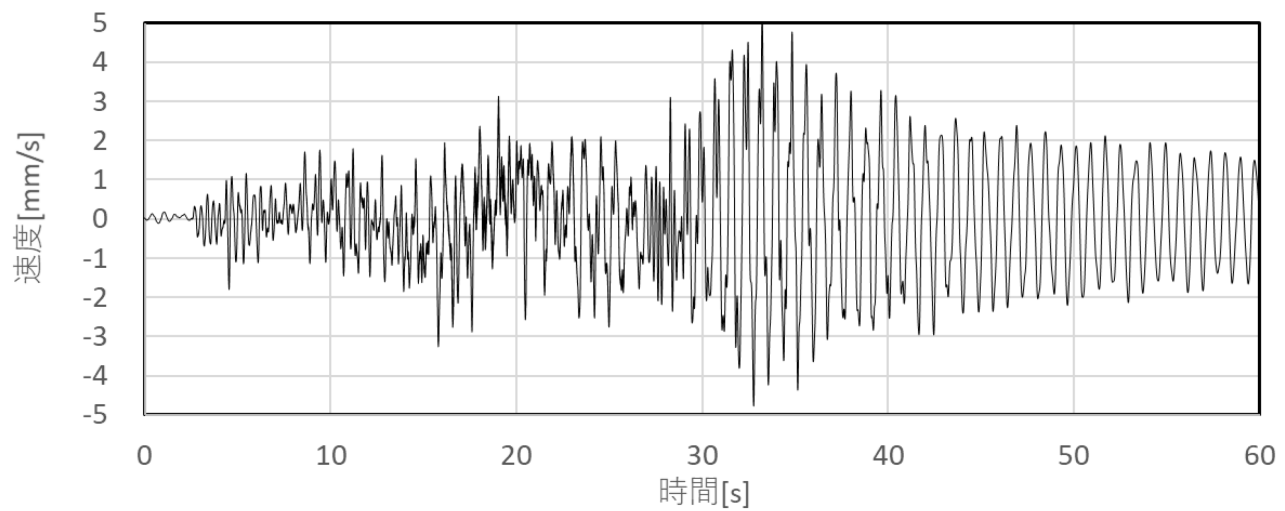


図 5. 低周波成分除去後の速度データ

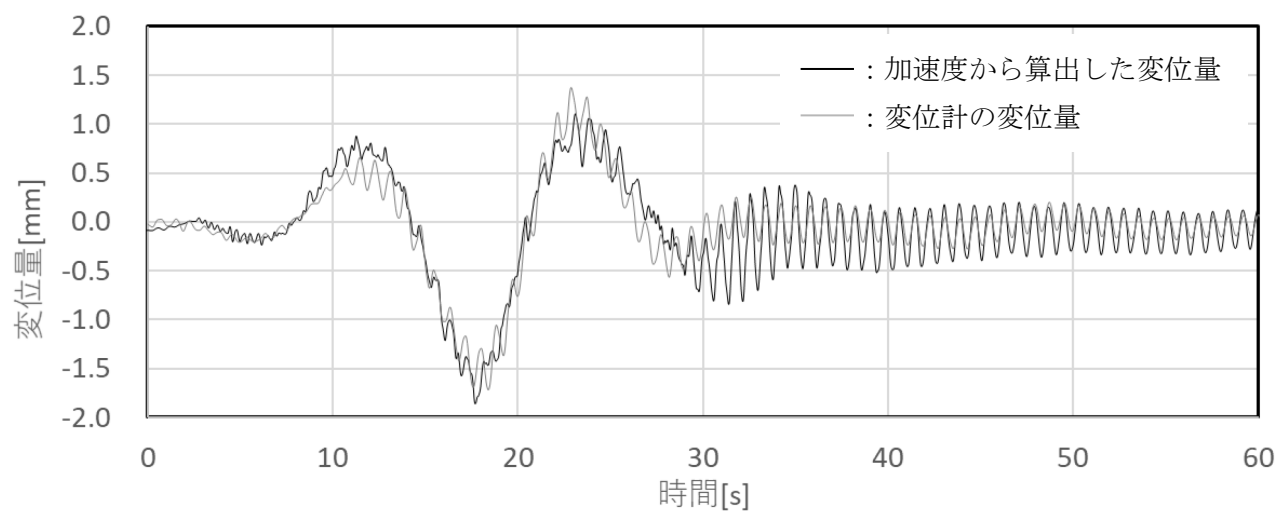


図 6. 加速度から算出した変位量と変位計の比較

## 4. まとめ

加速度データから算出される変位とレーザ変位計の計測値が概ね一致したので、本報告により得られた変位量は実際の橋梁の変位の状況を計測できたと考えています。

また当社では、構造物ヘルスマニタリングへのセンサ適用に向け、加速度計 JA-70SA を用いた実証実験を 2014 年 7 月より約 5 年半継続して実施しています。得られたトレンドデータから構造物の性能に起因する固有振動数、変位に着目することで、構造物の状態を把握するための研究も実施しています。

今後は、老朽化したインフラ構造物の効率的な維持管理に ICT を活用し、定量的な健全度評価や継続的な構造物の状態の把握に貢献していきます。

### 【参考文献】

- 1) 国土交通省、道路メンテナンス年報 令和元年 8 月
- 2) 玉田和也、富岡昭浩、土木学会第 71 回年次学術講演会 加速度計による橋梁の変位推定の検証