

技術紹介

7

加速度計 JA-70SA を用いた橋梁振動モニタリングにおける固有振動数計測のばらつき低減に向けて

Approach to Reducing Variation of Natural Frequency Measurement Using JA-70SA MEMS Accelerometer for Bridge Vibration Monitoring

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 主任
富岡 昭浩	Akihiro Tomioka	商品開発センター シニアマネージャー

キーワード: 加速度計、MEMS、構造物ヘルスモニタリング、橋梁振動モニタリング、固有振動数

Keywords: Accelerometer, MEMS, Structural Health Monitoring, Bridge Vibration Monitoring, Natural Frequency

要 旨

当社ではサーボ型加速度計を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に提供しています。構造物ヘルスモニタリングの加速度計測では、計測対象となる固有振動数は低く、変位量は小さくなる傾向があります。このため加速度計には、低周波領域での安定性と、非常に低いノイズレベルが要求されます。また設置数は多くなることが見込まれることから、量産性も合わせて要求されることとなります。そこで、当社の特長である高精度と小型・低価格なMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)と呼ばれる半導体技術を融合し、構造物ヘルスモニタリング用途向けに高精度MEMS 加速度計 JA-70SA を開発してきました。

本稿では JA-70SA を用いた橋梁振動モニタリングにおける固有振動数計測のばらつき低減に向けての取り組みをご紹介します。

SUMMARY

JAE has the high-accuracy servo accelerometer product which originated from inertial navigation system for aircraft, seismic and oil drilling. Measurement of acceleration in the structural health monitoring field required the low frequency and small displacement measurement. To satisfy this requirement, accelerometers in this field must have a good stability in the low frequency area and a very low noise.

Also those must have high productivity because a number of accelerometer's installment is estimated.

Therefore, JAE is developing 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.

In this paper, we introduce the approach to reducing variation of natural frequency measurement using "JA-70SA" for bridge vibration monitoring.

1. まえがき

センサを利用した構造物の老朽化や地震の影響等を診断する構造物ヘルスマニタリングへ向け、常時微動が計測可能な高精度 MEMS 加速度計 JA-70SA を開発してきました。

我々は、橋梁の性能劣化により固有振動数が低下することを利用して、構造物モニタリングシステムの実用化を推進したいと考えています。橋梁の固有振動数は加速度を計測し、高速フーリエ変換(FFT)することにより求めることができます。性能劣化と固有振動数の相関については、2012 年 10 月に土木研究所において実施された撤去橋梁を使用した載荷試験¹⁾にて、ひび割れ発生と固有振動数の低下の関連について計測を実施し確認しています。この試験において、曲げひび割れ発生時に 10 %程度の固有振動数の低下を確認しています。

また、実橋梁での固有振動数を計測するために、橋梁振動モニタリングを 2014 年 7 月から継続的に実施しています。このモニタリングにて、固有振動数の経時変動量が、ひび割れ発生時と同等であることが観察されています。このため、橋梁の状態を正確に把握するには、固有振動数の変動を低減させる必要があると考えています。固有振動数と気温に相関があることが判明している²⁾ことから、気温が固有振動数の変動の一因と考えています。これらのことから、橋梁の状態を正確に示す固有振動数を計測するために、固有振動数の変動要因を排除する取り組みを進めています。

本報告では、長期計測により得られた振動データから温度補正、交通振動の外乱成分を排除することにより、その計測精度を 4 %程度に低減した結果について報告します。

2. 計測橋梁およびセンサ設置状況

福井県美浜町に架橋されている H 橋にて長期振動モニタリングを実施しています。構造形式は鋼 I 桁橋で橋長 119 m、支間長 60.1 m+56.9 m です。図 1 に加速度計設置位置を示します。橋梁主桁の径間中央部、橋台付近へ MEMS 加速度計 JA-70SA（図 2）を 2 個設置しました。振動計測と合わせて、周囲の気温計測のための温度計、支承の橋軸方向の変位を計測するためのレーザー変位計も設置し、同時にモニタリングしています。このため橋梁の温度変化による挙動や、支承部の状態も監視することができます。

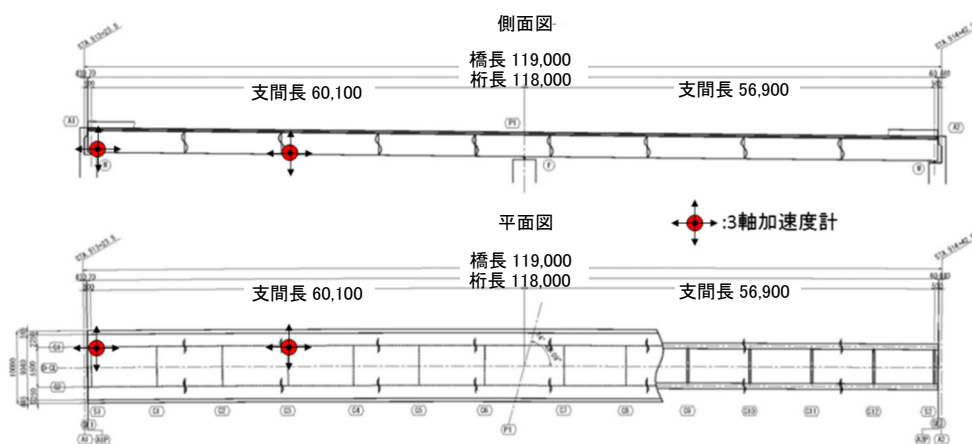


図 1. 加速度計設置位置



図 2. 加速度計 JA-70SA

3. 計測

3.1 計測内容

加速度計測は以下の条件で実施しています。

- ・ サンプル周波数：200 Hz
- ・ 加速度レンジ：0.5 G
- ・ A/D 変換精度：16 bit

加速度データは逐次 FFT が実施され、得られたピーク周波数は一定時間ごとに平均化処理されています。交通振動の有無による固有振動数変動の差についても検討しています。交通振動の影響がない時間帯での計測は常時微動計測となり JA-70SA の特長である低周波領域のノイズ成分の少なさが活用されています。温度は、橋台付近の気温を計測しています。

3.2 計測結果

図 3 に、気温と固有振動数の関係を示します。全温度域で観測された固有振動数の変動量は 0.3 Hz 発生していました。気温と固有振動数に相関があることから温度補正を行うことで、その変動量を 0.2 Hz まで低減することができます。

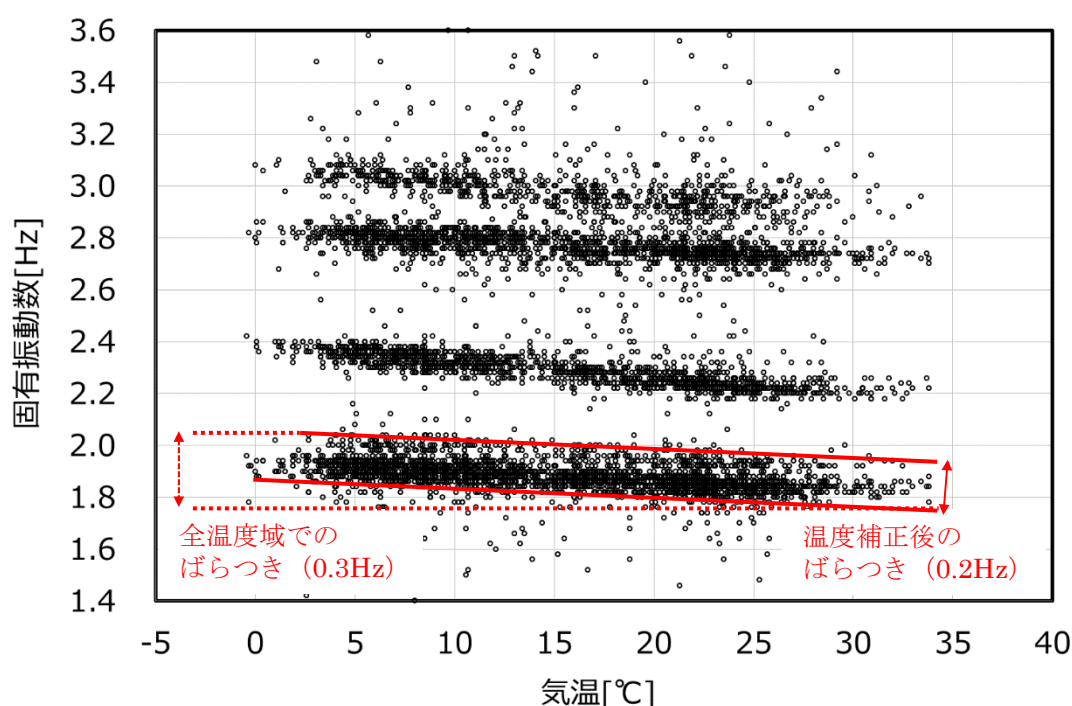


図 3. 気温と固有振動数の関係

図 4 に固有振動数とピーク強度の関係を示します。ピーク強度が大きいときは、固有振動数のばらつきが大きくなっているのがわかります。常時微動データを抽出することで固有振動数のばらつきを小さくすることができます。このことから車の通過による交通振動が、計測される固有振動に影響を与えていると考えることができます。またピーク強度-80 dB 以下でのばらつきの増加は、微動振動のピーク強度が計測限界と同程度となったことによりピークの判別精度が悪化したためと考えられます。

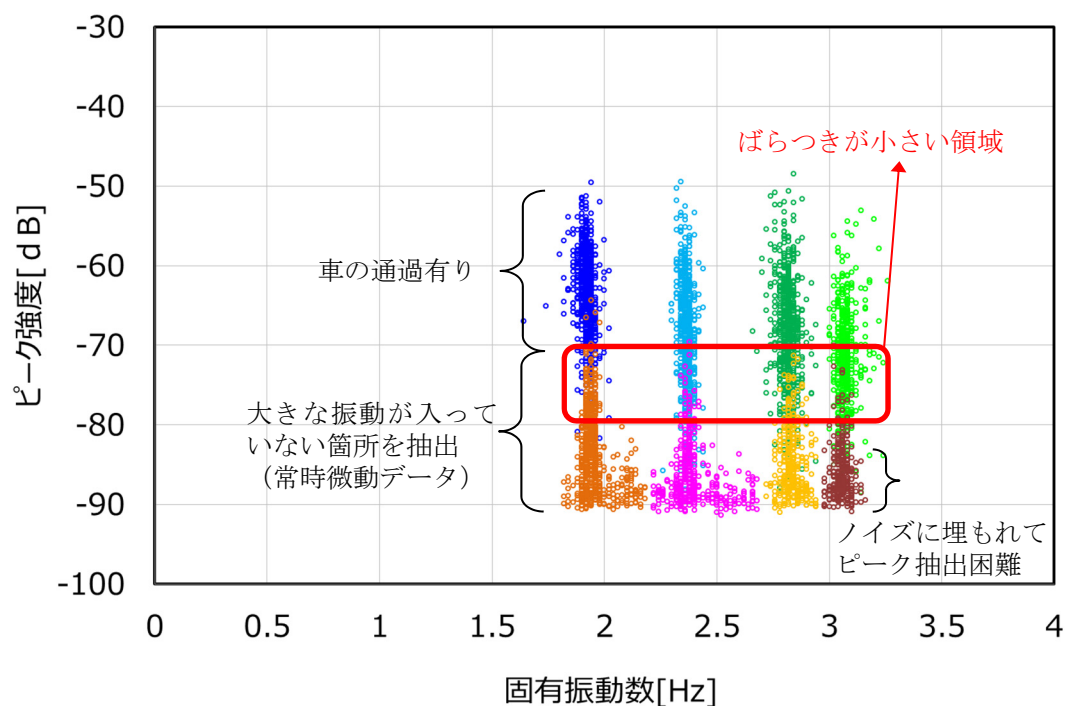


図 4. 固有振動数とピーク強度の関係

図 5 に常時微動データ抽出の効果を示します。常時微動データを抽出することにより固有振動数のばらつきは 0.08 Hz (約 4 %) に低減できることを確認しました。

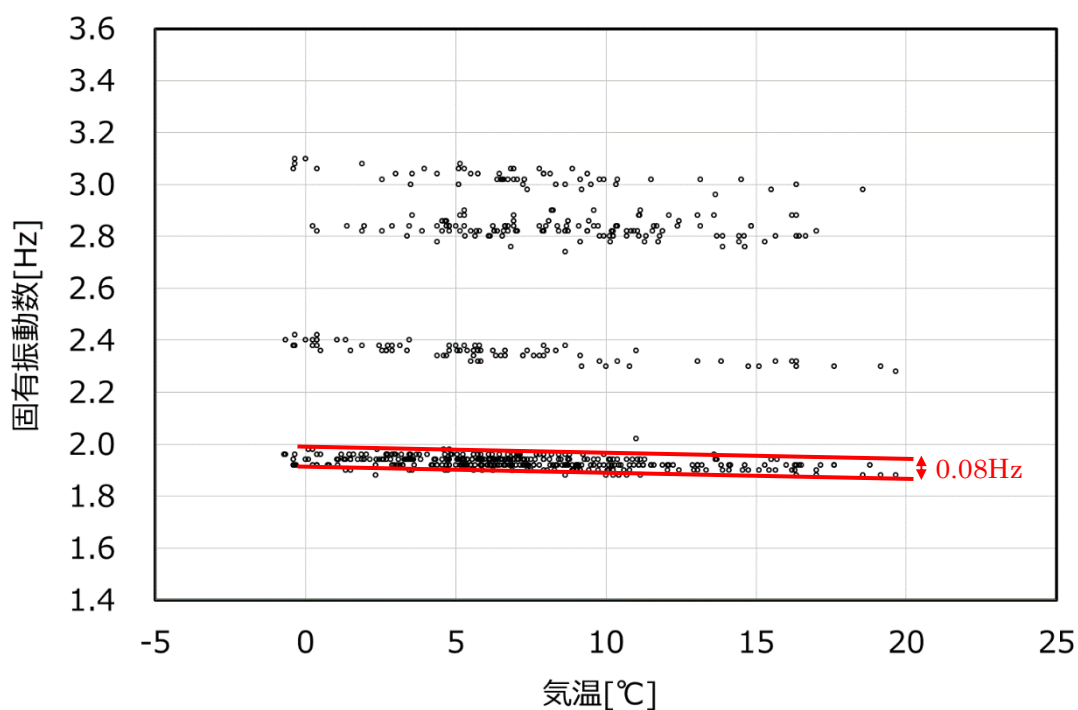


図 5. 常時微動データ抽出の効果

このように長期モニタリングにより観測される固有振動数は、外乱の影響によりその計測結果にばらつきが発生していることが予想されます。以前より固有振動数と橋梁の剛性との関連は判明していましたが、その変動量に対して観測された固有振動数のばらつきが大きく橋梁の性能を示す指標としては分解能が足りないことが指摘されていました。本報告において、固有振動数計測のばらつきは長期間のモニタリングと常時微動計測により外乱の影響を排除することで低減できる可能性を確認しました。また、今回のモニタリングでは橋梁剛性の低下は確認されませんでした。この結果は対象橋梁が新設橋であったことを考えると妥当であると判断しています。今後継続して計測することにより、長期間にわたる剛性変化の傾向も把握する予定です。さらに今回使用したセンサのノイズレベルは 1 uGrms 程度と小さいことを活用し、サンプリング周波数の最適化やフィルタリングによる計測ノイズの低減を実施し、交通振動の影響を最小化した固有振動数の評価を実施する予定です。固有振動数の計測では、損傷個所の同定は困難ではありますが、継続的にデータを取得することにより橋梁の固有振動数の変動幅、傾向および剛性の変遷過程を把握することが可能となります。このような常時微動データが蓄積されることにより異常値の判定精度も向上することが期待されます。

4. むすび

今回の橋梁振動モニタリングは、2014 年 7 月より約 3 年半継続して計測を実施することができています。加速度計の長期計測の可能性も確認できたと考えています。想定された異常に対しての各センサ（振動、温度、支承変位）の応答を予測し、実証し、橋梁の異常検知のために必要なセンサデータを蓄積していきたいと考えています。

[参考文献]

- 1) 松沢政和、木村嘉富、花井拓、本間英貴、「塩害により撤去された PC 橋の耐荷力評価」、土木技術資料、55-5、pp.26~29、2013
- 2) 井尻秀和、玉田和也、宮下剛、森山守、石川裕一、有馬直秀、「はす川橋の遠隔モニタリングに向けた研究」、土木学会第 70 回年次学術講演会、2015（岡山大学）