

低周波加速度センサを用いた6つの実橋梁における活荷重変位と振動の長期モニタリング

能美防災（株） 正会員 ○井関晃広 遠藤義英 皆川翔輝 山岸貴俊

1. はじめに

全国 70 万以上の橋梁において、維持管理技術の高度化、およびコスト縮減を目的としたモニタリングシステム開発が加速している。

著者らは、これまで MEMS 型低周波 3 軸加速度センサを用いたモニタリング技術の確立を目指し、実橋梁および模擬床板を用いた実験を継続的に進めてきた [1–3]。本稿では、6 つの実橋梁を約半年～1 年半モニタリングし、活荷重変位と固有振動を分析した結果と、本モニタリング手法の妥当性について論じる。

2. 加速度計測システムと分析可能な物理量

モニタリングに用いる自社製作センサは、重力加速度を含む 3 軸加速度（周波数範囲: DC～20 Hz, 分解能: 0.06 μG）が計測できる。加速度値から、理論的には式 1 に示す時間軸方向の 2 階積分によって、活荷重変位 D が算出できる。

$$D(T) = \int_0^T \left[\int_0^T A(\tau) d\tau \right] d\tau + V_0 T + D_0 \quad (1)$$

A, V_0, D_0, T は其々、加速度、初期速度、初期変位、時刻である。また、周波数スペクトルも、加速度の周波数軸への直交変換によって算出できる。他、重量方向の計算により傾きも算出できる（本稿では割愛）。

3. 6 橋梁の概要

表 1 の 6 橋梁にて、加速度センサを用いてモニタリングを実施した。センサは、橋梁の桁中央、および四分位点などを含む 8 ～ 12 箇所に橋梁毎に設置した。

4. 分析結果

各橋梁に設置した加速度センサのデータを分析し、活荷重変位を算出した。分析の一例として、図 1 は橋梁②の桁中央にて、ある一週間で算出した変位の確率分布である。0.14 mm 付近が最頻値となっている。事前に試験車両（22.6 t）を走行させた時の活荷重変位が 3.05 mm だったことから、この最頻値は一般的な乗用車（約 1.3 t [4]）によるものであると推測される。

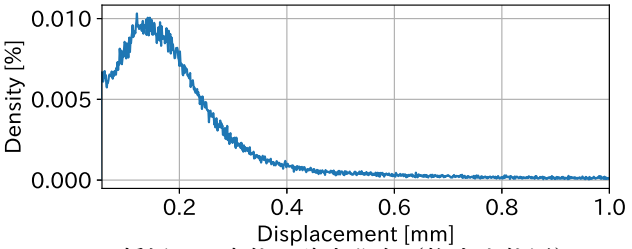


図 1 橋梁②の変位の確率分布（桁中央位置）

この桁中央での最頻値の長期的な推移について、橋梁毎に算出したものを図 2 に示す。また、実線はその移動平均である。橋梁④のみ、同時に桁の四分位点（片側のみ）での値を表示した（移動平均は点線）。

また同様に、桁中央の周波数スペクトルを求め、時系列情報も含めたスペクトログラムとして橋梁毎に算出したものを、図 3 に示す。色はパワー強度を表している（各グラフのレンジは統一されていない）。

5. 考察

(1) 活荷重変位の推移

図 2 に示した桁中央の変位については、季節性の影響（変位が夏に増加、冬に減少）や、天候の影響（橋梁②③における 2018/1 月中旬の変化は大雪の影響）等が見られるが、概ね安定している。

但し、橋梁④では、四分位点での変位が 0.04 mm 付近から緩やかに増加し、同時にバラつきも増加している。橋梁④は、損傷し易い四分位点 [3] での内部損傷の可能性がある。計測後に、センサの特性および取付をチェックし、計測自体に問題がないことは確認した。今後、橋梁④の継続的な解析が必要とみている。（他の橋梁の四分位点では、橋梁④のような傾向は見られなかったため、本稿では割愛。）

橋梁③の変位の最頻値は、6 橋梁の中で最も大きく、バラつき易い橋であることがわかる。この橋は交通量も多く、減衰振動も比較的長い。移動平均をとることでバラつきは小さくできるが、そもそもバラつきが大きい理由、また算出方法の改良は今後の課題である。

表 1 6 橋梁の概要

橋梁番号	橋梁①	橋梁②	橋梁③	橋梁④	橋梁⑤	橋梁⑥
所在地	富山県	福島県	東京都	富山県	富山県	沖縄県
管理者	富山市	NEXCO 東日本	NEXCO 中日本	富山市	富山市	NEXCO 西日本
計測期間	2016/3～2016/9	2016/8～2018/3	2017/1～2018/8	2018/3～2018/12	2018/3～2019/1	2018/7～2019/1
径間長	5.9 m	36.3 m	約 36 m	13.7 m	28.8 m	26.8 m
架設年	1927 年	1975 年	1967 年	1958 年	1972 年	1975 年
構造形式	RCT 桁	鋼単純鈑桁	鋼 3 径間連続鈑桁	RCT 桁	鋼鈑桁	鋼連続非合成鈑桁

キーワード 実橋梁, モニタリングシステム, 3 軸加速度センサ, 内部損傷, 活荷重変位, 固有振動
連絡先 〒 341-0038 埼玉県三郷市中央 1-18-13 能美防災（株） 研究開発センター 先進技術研究室 TEL 048-954-2374

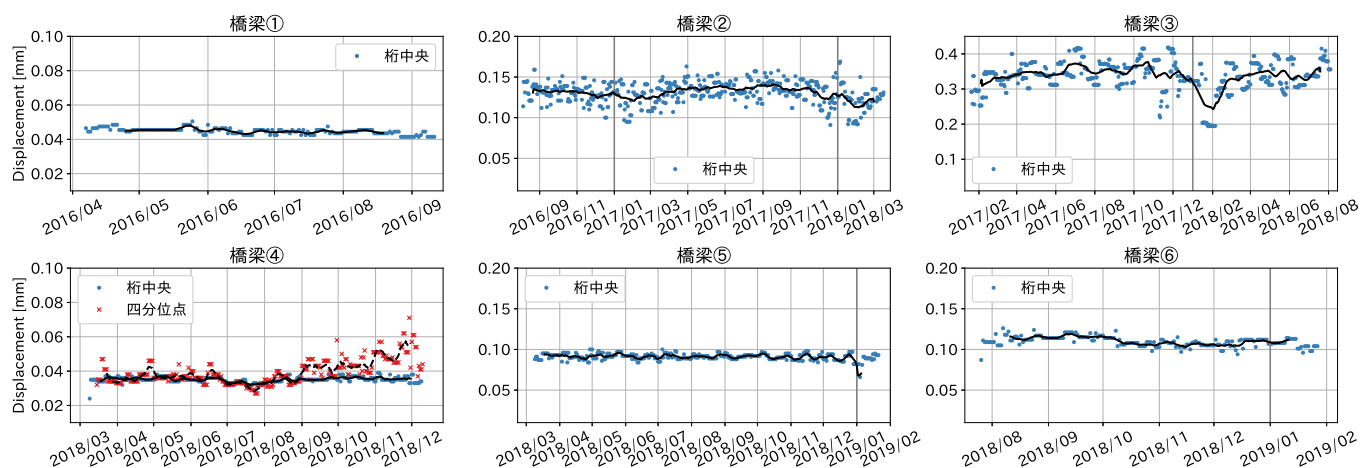


図2 各橋梁の活荷重変位（最頻値）の推移

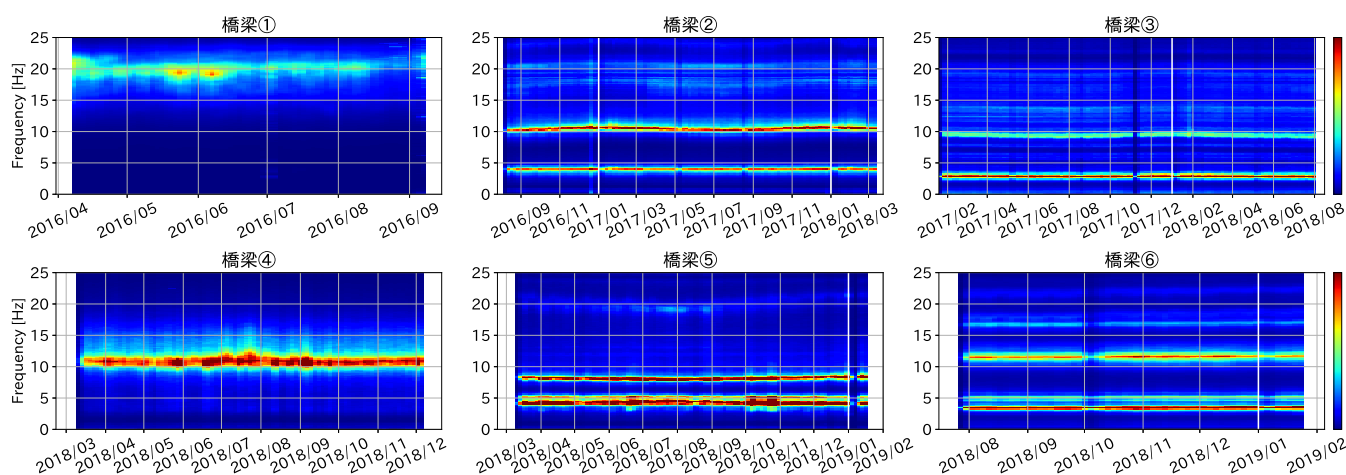


図3 各橋梁のスペクトログラム

(2) 卓越振動数の推移

全体として季節性（卓越振動数が夏に低下，冬に上昇）以外に大きな影響は見られない。損傷の可能性のある橋梁④にも，卓越振動数には顕著な変化は見られない。橋梁④の四分位点でのスペクトログラムでも，卓越振動数の変化は見られなかった。もし，疲労損傷が進み剛性低下が生じた場合，卓越振動数は低下する [3]。今後，詳細な分析が必要である。

(3) 本モニタリング手法の妥当性

このシステムは，常時 24 時間データを取得し続ける。そのため，多少の誤差が含まれようとも，データを統計処理することで，安定した変化検知が可能である。また，例えば最頻値のような簡易な統計量のモニタリングは，人より長寿命な橋梁も監視し続ける中で，システム管理を非俗人化し，容易にするのではないだろうか。

これまでの実験の結果から，筆者らは，変位と振動の両値を継続的に観測する事で，内部損傷の度合の推測が可能と考えている。今後の課題としては，どの期間でどの程度変化すれば本当に異常と判断するのか，閾値設定や検知自動化が挙げられる。

6. おわりに

本稿では，6 橋梁を分析しモニタリングした結果を示した。また，変位の長期的変化を可視化することで，

内部損傷が生じている可能性を示した（橋梁④）。

複数の橋梁を比較し，また変位と振動，両方を照合しながら分析し変化を見ることで，異常の兆候が捉え易くなる。今後も継続的に実験を行い，劣化検知の高精度化や自動化を進める。

謝辞： 本研究は，モニタリングシステム技術研究組合（RAIMS）が実施した研究であり，内閣府の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の一環として国土交通省が実施する「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」委託事業研究の成果である。

参考文献

- 1) 遠藤ら：輪荷重走行試験による RC 床版の疲労劣化に関するモニタリング技術の検討（その 2）低周波 3 軸加速度センサによる RC 床版の疲労損傷解析，土木学会第 71 回年次学術講演会概要集，CS7-037，pp. 73-74，2016。
- 2) 皆川ら：コンクリート桁橋におけるモニタリング技術活用の検討（その 2）低周波加速度解析による力学的挙動の評価，土木学会第 72 回年次学術講演会概要集，CS14-021，pp. 41-42，2017。
- 3) 皆川ら：撤去桁の疲労載荷試験におけるモニタリング技術検証（その 3）低周波 3 軸加速度の多点同期計測による疲労損傷解析，土木学会第 73 回年次学術講演会概要集，CS9-010，pp. 19-20，2018。
- 4) （財）阪神高速道路管理技術センター，湾岸線西神部活荷重検討会，資料 No. 1-5，2006。