

## 橋梁センサシステムによる実橋梁での実証実験報告

首都高速道路技術センター 正会員 ○村野益巳, 正会員 張 広鋒, 正会員 式田直孝  
日本電気 佐藤 正, 高取成毅

### 1. はじめに

近年、高度経済成長期に集中整備された社会インフラの老朽化が深刻な問題となっている。直近では、平成29年9月の高知県犬吠橋のトラス斜材破断事故、平成30年10月の和歌山県恋野橋の橋脚傾倒事故が記憶に新しいが、何れも直近の定期点検（近接目視）で健全度判定Ⅲ（早期措置段階）又はⅡ（予防保全段階）と判定されてから5年以内に発生した事故であり、このような橋梁を対象とした常時モニタリングの必要性が高まっている。日本電気（株）と（一財）首都高速道路技術センターでは、（国研）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託研究により、平成26年度から「道路橋の維持管理及び防災・減災を目的としたセンサシステムの研究開発」を行ってきた。今回、開発システムを用いた実橋梁での実証実験結果について報告する。

### 2. 橋梁センサシステムの概要

開発したセンサシステムは、車両通過直後の橋梁振動（加速度）を測定し、各種分析（3章に詳述）により卓越振動数を抽出、モニタリングするものである。システムの機器構成を図-1に示す。橋梁には振動センサに接続した無線子機を各主桁に設置し、現地ゲートウェイでセンシングデータを集約、3G回線経由で遠隔サーバにデータ転送するものである。遠隔サーバでは収集データの分析・管理が行われ、温度補正を加えた卓越振動数の変化を監視している。

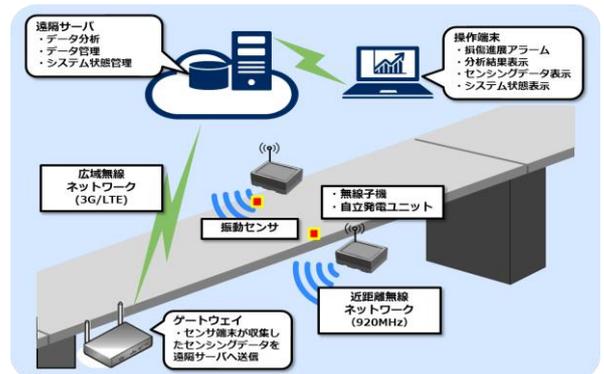


図-1 橋梁センサシステム機器構成

### 3. 振動センサ特徴量の分析方法

センシングデータの卓越振動数分析手順を①～④に示す。なお、一連の処理は専用ソフトにより自動処理される。

#### ①有効データの抽出

車両通過時の振動波形を抽出し、加振直後の減衰振動波形をサンプリング200Hzで1.25秒間取得する。

#### ②周波数分析

サンプリングデータをAR法（自己回帰法）により周波数分析し、卓越振動周波数を周波数の低い側から第1卓越振動数、第2卓越振動数、第3卓越振動数として抽出する。

#### ③正規化Q値の算出

Q値とは振動系の共振の先鋭度であり、図-2に示すように抽出したピーク周波数 $f$ と3dB振幅が低下する周波数の幅 $\Delta f$ から算出される。Q値は無次元であるが、さらにピーク周波数 $f$ の値に依存しない指標として $Q/f$ を正規化Q値とした。

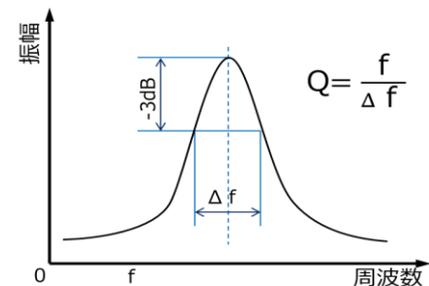


図-2 共振におけるQ値

#### ④橋梁固有の卓越振動数推定

抽出した卓越振動数に対する正規化Q値の分布図を図-3に示す。データは4章 実証実験橋梁の2017年12月の1ヶ月間観測データを分析したものである。正規化Q値の分布は卓越振動数のピークを明確に示しており、この正規化Q値の分布をガウス近似（図の点曲線）して橋梁の卓越振動数を安定抽出した。

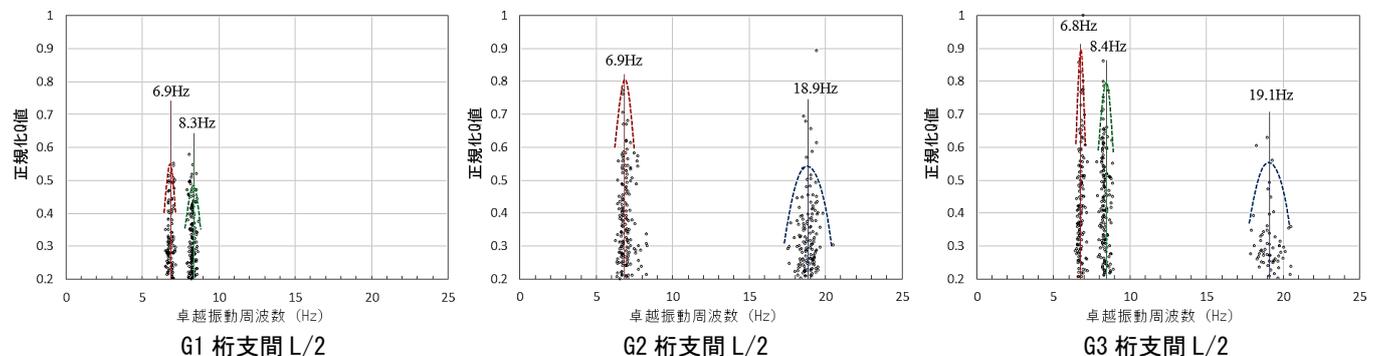


図-3 正規化Q値の分布とガウス近似曲線（2017年12月1ヶ月間データ）

キーワード nedo, センサシステム, モニタリング, 加速度, 卓越振動数, 実証実験

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-10-11 (一財)首都高速道路技術センター TEL 03-3578-5765

4. 実証実験の実施

実証実験は福島県の協力の下、郡山市のA橋（単純合成鋼鉄桁橋）で1年間のモニタリングを行った。定期点検結果からも対象橋梁は健全状態であり、モニタリング期間中に大きな損傷の発生、進行は見込まれない。そこで、期間中の1日間、振動特性を強制的に変化させるために、支承近傍の主桁をジャッキアップすることによる支承の回転を拘束する試験も行っている。

図-4 にA橋の外観及び緒元，図-5 に振動センサの設置状況を示す。振動センサは3主桁の支間L/2，及びG3桁L/4の4箇所（図-6）に設置した（図-6）。観測頻度は、事前調査により設定した毎正時120秒間である。



図-4 A橋外観（福島県郡山市）



図-5 振動センサ設置状況

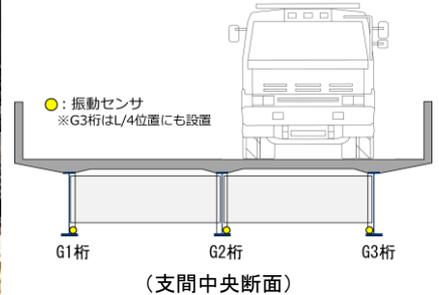


図-6 振動センサ設置図

5. 実証実験の結果

2017年12月の1ヶ月間観測データから分析，抽出した卓越振動数を表-1に示す。曲げ1次モードと思われる第1卓越振動数はすべての桁で安定抽出できた。第2卓越振動数はG2桁（中桁）で抽出してないことから，ねじれ1次モードの振動であることが推定でき，FEM解析結果からも，ねじれ1次モードであることを確認している。次に1年間の月毎の第1卓越振動数の推移を図-7に示す。期間中に損傷の発生は無く，値(青色)の変化は桁温度に依存するものである。年間測定データから温度補正した値(赤色)は安定しており，標準偏差0.02Hzから管理限界線を3σで設定した場合，上下1%未満の変化を検出可能である（表-2）。

表-1 A橋の卓越振動数（1ヶ月データ）

	第1卓越振動数	第2卓越振動数	第3卓越振動数
G1桁中央部	6.9Hz	8.3Hz	-
G2桁中央部	6.9Hz	-	18.9Hz
G3桁中央部	6.8Hz	8.4Hz	19.1Hz

表-2 温度補正前後の第1卓越振動数のばらつき

	補正前	補正後
平均値(Hz)	6.76	6.70
標準偏差(Hz)	0.07	0.02
3σ/平均値(%)	3.1	0.9

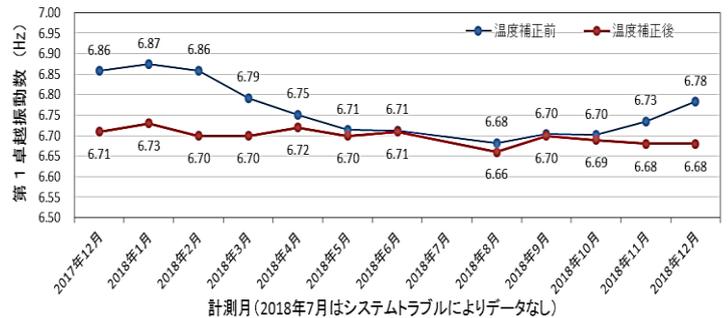


図-7 第1卓越振動数の月別推移（G1桁）

支承の回転拘束を模擬したジャッキアップ試験の実施状況を図-8に示す。支承近傍に設置した各ジャッキの導入荷重は，橋台の安全性照査結果から10tとした。これは1支承あたりの死荷重21tの約半分を受け代えており，ある程度の支承の回転拘束を模擬していると考えられる。

case1:現状，case2:G3桁ジャッキアップ，case3:G2,G3桁ジャッキアップ，case4:G1-G3桁ジャッキアップでの一般車両による第1卓越振動数を図-9に示す。case1からcase2の変化率は1.4%であり，この程度の損傷の進行は本システムで捕らえることが可能である。既往の文献<sup>1)</sup>から，橋梁の1次固有振動数はRC桁の全面的なひび割れ状態で3%程度の変化が確認されており，通行に支障を来す直前の状態を本システムで検出できると考える。

6. まとめ

開発したセンサシステムを用いた実橋梁での実証実験を行った。1年間のモニタリングでは橋梁の卓越振動数を安定抽出し，振動数の1%の変化を検出可能なことを確認した。また，ジャッキアップ試験では桁の剛性変化を卓越振動数の変化として検出できることを確認した。本報告は，(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト」の開発研究成果の一部である。

参考文献

- 1) 垂井高架橋の損傷に関する調査特別委員会最終報告書（平成20年3月，土木学会コンクリート委員会）



図-8 ジャッキ桁仮受け状況

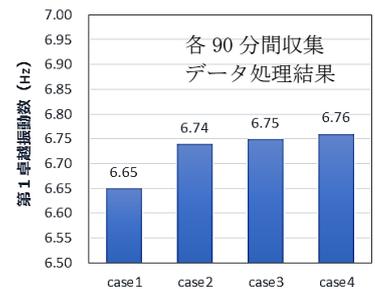


図-9 第1卓越振動数の変化