

常時微動の計測による河川内橋脚の固有振動数算出に関する研究

西日本旅客鉄道（株） 正会員 ○吉岡 延明 正会員 濱田 吉貞
 京都大学大学院 正会員 金 哲佑
 富士電機株（株） 北川 慎治 矢尾 博信

1. はじめに

河川に架かる鉄道橋りょうでは、大雨等による増水の際に、橋脚基礎部を支える周辺地盤が洗掘され、基礎の安定性が低下する恐れがあるため、運転規制を行っている。水位低下後の規制解除では、橋りょうの安定性を確認する必要があるため、係員が橋脚まわりの河床状態の目視確認や衝撃振動試験など現地調査を行うことで安全確認を実施している。運転再開の可否をより迅速に判断するには、遠隔でも橋脚の安定性を確認できる方法が望ましく、筆者らは橋脚の固有振動数を常時モニタリングすることで、リアルタイムに橋脚基礎の洗掘安定を確認する方法の構築を目指している。

今回、実橋りょうにおいて常時微動計測を行った結果と衝撃振動試験を元に算出した固有振動数を比較した結果について報告する。

2. モニタリングの概要

2.1 対象橋りょう

計測対象橋りょうは、橋長 46m（支間 22.3m×2 連）の単線橋りょうである。対象橋りょうの外観を写真-1 に示す。橋脚は根入れの浅い直接基礎である。対象橋りょうでは 2018 年に衝撃振動試験が実施されており、橋脚直角方向の固有振動数は 9.2Hz と推定されている。

2.2 モニタリング概要

モニタリング対象橋脚天端の上流および下流端に 3 軸方向加速度センサーを設置し、橋脚の微動を測定するとともに、橋脚天端に設置した水位計によって河川水位の測定を行った（図-1）。

加速度センサーは、橋軸・橋軸直角方向の分解能 2.00×10^{-4} (m/s²)、鉛直方向の分解能 7.00×10^{-4} (m/s²) を有する。低周波の振動数帯域 (0.1Hz～50Hz) に対して高精度で測定できる。また、計測振動は、現場の計測システムで解析を行い、その結果は携帯電話回線を経由して管理用のクラウドにデータ送信する機能を持つ



写真-1 対象橋りょう

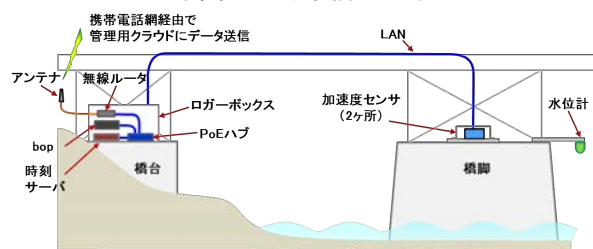


図-1 計測機器設置概要図

ため、外部からの常時モニタリングが可能である。なお、振動モニタリング際のサンプリング周波数は 200Hz である。

2.3 分析方法

対象とする橋脚天端において常時微動計測を行い、そこから得られる観測データを用いて、システム同定によって対象橋脚の振動数推定を行う。振動数推定には、周波数領域の FDD(Frequency Domain Decomposition) 法と高速ベイズ FFT 法（以下ベイズ法）¹⁾ のほか時間領域の確率部分空間法（以下 SSI）の 3 手法によって解析を実施した。なお、ベイズ法では、FDD より得られる特異値スペクトルから着目対象の振動数帯を設定し、振動数を入力情報として対象構造物のモードパラメータの事後確率分布を同定しており、同定分布の分散やモード外力の PSD から同定における不確実性の評価ができる。

キーワード 固有振動数、常時微動、モニタリング、ベイズ推定法

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-4-20 西日本旅客鉄道株式会社構造技術室 TEL 06-6305-6957

3. 試験結果

3.1 計測期間全体の結果

モニタリング期間全体（2020年8月～2021年2月）の振動数推定結果を図-2に示す。常時1分ごとに1分間データを用いて振動数推定解析を実行し、算出された120のデータ数に対する移動中央値をプロットした。また、モニタリング全期間における各解析方法に対する固有振動数の集計表を表-1に示す。

結果として、ベイズ法、FDD、SSIによる固有振動数推定結果は移動中央値をとることではほぼ安定しており、衝撃振動試験結果から求められた橋脚の固有周期9.2Hzに近い値を得ることができた。また、3手法の中ではベイズ法が最もバラツキが小さく、安定した結果を得ることができた。ただし、列車通過時やノイズ振動が含まれるような場合に外れ値を出力する場合があります。外れ値を除いて安定的な推定結果を得るためのフィルタリング処理を行う必要があると考えられる。

3.2 河川増水時のデータを用いた解析結果

台風通過による水位上昇が生じた2020年10月10日を含む10日間の常時微動データに着目した。その結果を図-3に示す。振動数推定解析については、ベイズ推定に基づくシステム同定を行った。台風通過による悪条件においても固有振動数推定結果は安定しており、モニタリングシステムは有効であると考えられる。一方、大雨による水位上昇と固有振動数推定結果の低下傾向に多少の相関はみられたものの、全体を通して水位変動と振動数推定結果に有意な相関は見られなかった。

3.3 モニタリング結果のまとめ

今回のモニタリング結果を以下にまとめる。

- ・ベイズ法、SSI、FDDによる振動数推定結果はほぼ安定しており、これらの手法を用いたモニタリングは有効と考える。
 - ・今回のモニタリング期間中に水位が上昇した期間においては、台風通過による悪条件でもモニタリングが可能であることが分かった。一方で、水位上昇による全体を通しての橋脚の振動特性変化はほとんど無かったと考えられる。
- また、今後の課題として、以下があげられる。
- ・列車通過時やノイズ振動が含まれる場合などに出力される外れ値を除くための解析結果の信頼性指標を

表-1 固有振動数集計表（全期間）

	ベイズ法	FDD	SSI
平均値(Hz)	9.388	9.556	9.418
中央値(Hz)	9.316	9.418	9.350
標準偏差(Hz)	0.324	0.344	0.422
分散	0.105	0.119	0.178

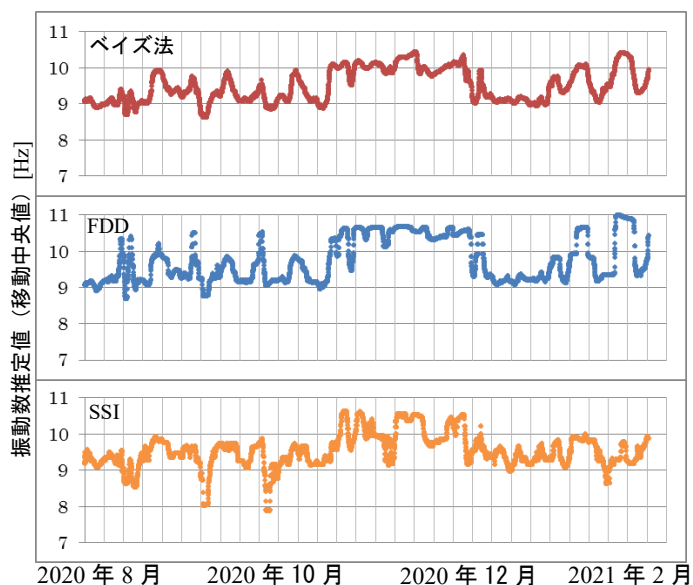


図-2 振動数推定結果（全期間）

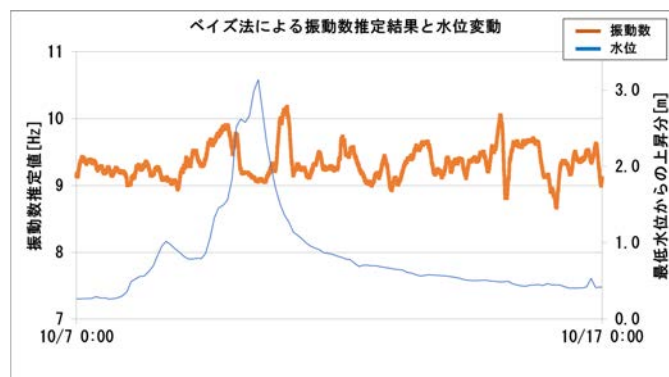


図-3 固有振動数推定結果と水位変動

用いた固有振動数推定結果に対するフィルタリング方法を確立する必要がある。

4. おわりに

河川増水時の洗掘等による災害を防ぐ取り組みとして、常時微動計測から橋脚基礎の健全性を評価する研究について紹介した。本システムは、現地橋りょうにて計測試験を実施中であり、引き続き外れ値の発生原因などを検討し振動数の推定精度向上に努めるとともに、実用化に向けて今後も開発を継続する予定である。

参考文献

- 1) 吉留 一博, 金 哲佑, 五井 良直, 濱田 吉貞, 篠田 正紀, 北川 慎治, : 常時微動モニタリングによる鉄道橋の洗掘評価に関する検討, 土木学会第 74 回年次学術講演会, I-122, 2019.3