

## 橋脚基礎の健全度低下の予兆検知を目指した取り組み

株式会社シーエス・インスペクター 正会員 ○吉田育央 福本哲也  
 南海電気鉄道株式会社 正会員 窪田勇輝  
 構造物設計株式会社 正会員 湯尻克宏 加藤大輝

### 1. はじめに

近年、同じ地域での長雨や集中豪雨の発生が頻発している。そのため、河川の流量や流速が急激に増加して橋脚基礎周辺の洗堀が短期間で進行し、橋脚が傾斜・沈下するリスクが高まっている。特に、洗堀の兆候が既に見られたり、洗堀が発生する可能性が高い橋脚では、リスクが高いといえる。こうした橋脚基礎の健全度が低下する予兆をリアルタイムに検知できれば、橋脚の傾斜・沈下が発生する前に必要な対策を講じることも可能となる。

こうした中、南海電気鉄道では、橋脚が一定以上沈下・傾斜した場合に異常を検知して列車運行を抑止するシステムを導入している。このシステムは橋梁異常発生時に列車運行を抑止できる有効な対策だが、機器の特性上、橋脚が沈下・傾斜する予兆を捉えることができない課題点がある。列車運行の更なる安全性向上を図るためには、橋脚基礎の健全度を評価できる指標のデータを連続的に取得できるような仕組みの構築が求められる。

橋脚基礎の健全度を定量的に評価する方法として、鉄道橋脚では衝撃振動試験によって固有振動数を同定し、橋脚基礎の支持力性状を評価する方法が採られている<sup>1)</sup>。しかし、通常、衝撃振動試験はセンサの取り付けや重錘の打撃等の現地作業が必要であり、この方法で橋脚基礎の健全度を評価するための指標を連続的に取得することは困難である。この課題点を解決するためには、衝撃振動試験と異なる方法で橋脚の振動を計測し、基礎の健全度を評価するための定量的指標を連続的に把握することが求められる。こうした背景の下で、本件は橋脚基礎の健全度低下の予兆検知を目指して取り組んでいるものであり、これまでの取組内容について報告する。

### 2. 検証概要

橋脚基礎の支持力性状が悪化すると固有振動数は低下する<sup>1)</sup>。ここで、固有振動数は、橋脚の振動を解析して得られたフーリエスペクトル波形において卓越した周波数の中から同定する。そのため、常時微動や列車通過時の振動波形を解析して得られた卓越周波数についても、固有振動数と同等の指標として扱える可能性があると考えた。そこで、橋脚基礎の健全度が変化する前後において、列車通過時の振動波形を解析して得られた卓越周波数と、衝撃振動試験で同定した固有振動数を比較して検証することとした。ただし、供用中の橋脚の健全度を低下させて検証することは困難であるため、基礎周辺の洗堀が発見されて補強工事を実施することになった橋脚を対象に検証することとした。なお、常時微動は多くの外乱が作用して生じる振動であり、固有振動数を推定することが困難な場合が多い<sup>2)</sup>ため、まず列車通過時の振動から得られた卓越周波数によって検証を進めている。

計測機器については、周波数分析等の解析が可能な加速度データが得られること、電源確保や計測データの収集が比較的容易に行える点を踏まえ、水晶加速度計を選定した。そして、計測対象の橋脚天端に補強工事開始前から水晶加速度計を設置した。約1年間の加速度データを確認した結果、原因不明の異常値は見られず、本検証に適用可能と判断した。



図-1 水晶加速度計の設置例

### 3. 橋脚補強工事前及び工事中におけるモニタリング状況

#### (1) 補強工事の概要

計測対象の橋脚で実施する補強工事は、橋脚基礎下部の空隙を無収縮モルタルにて充填した後、基礎から岩盤へ高耐力マイクロパイル杭を打設して、橋脚の安定性向上を図るものである。2020年12月より本工事に着手し、

キーワード 河川橋梁, 健全度低下, 卓越周波数, 予兆検知

連絡先 〒556-0011 大阪市浪速区難波中2丁目7-2-3F シーエス・インスペクター TEL 06-6644-7210

2021年2月末時点で橋脚基礎下部への充填工が完了している。

## (2) 補強工事前の比較検証

補強工事前の比較検証として、水晶加速度計による計測で得られたフーリエスペクトル波形と、衝撃振動試験で得られたフーリエスペクトル波形を比較した(図-2)。補強工事前における対象橋脚の固有振動数は、衝撃振動試験の結果から13.06Hzと同一している。ここで、水晶加速度計による計測は列車通過時に計測したものであり、本来は列車の振動成分等を詳細に分析した上で取り扱うべきだが、本検証では簡易的な方法で列車の振動成分等を除外した上で、卓越周波数を確認することとした。具体的には、水晶加速度計の計測で得られた波形が衝撃振動試験で得られた波形よりも大きく卓越した周波数帯は、列車通過による影響で表れたものと考え、これらの周波数帯を除外した上で卓越周波数を確認した。その結果、衝撃振動試験によって得られた固有振動数近傍で、水晶加速度計による計測で得られた卓越周波数(13.1Hz)が表れる結果となった。よって、衝撃振動試験による橋脚の振動データからフーリエスペクトル波形と固有振動数が得られている場合、列車通過時における卓越周波数を固有振動数と同等の指標として扱える可能性がある。補強工事は2021年6月に完了する予定であり、工事完了後に衝撃振動試験を実施してフーリエスペクトル波形と固有振動数が変化するか調査すると共に、列車通過時の卓越周波数にも同様の傾向が見られるか検証する予定である。

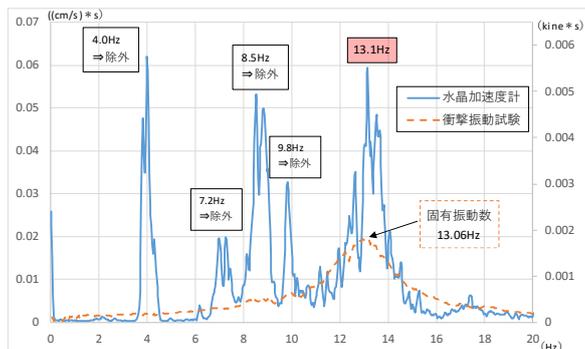


図-2 フーリエスペクトルの比較図

## (3) 補強工事中における卓越周波数の推移

列車通過時の卓越周波数が固有振動数と同等の指標として扱える前提の下で、工事中における列車通過時の卓越周波数の推移についても確認している。工事中の異なる段階において、列車通過時の振動波形から得られたフーリエスペクトル波形の一部を(図-3)に示す。(2)と同様の方法で列車通過による影響で卓越していると推測した周波数帯(図-3の着色範囲)を除外し、その上で卓越周波数を確認した。充填工の準備で橋脚基礎を削孔した段階における卓越周波数が11.9Hzであったが、その他の段階においては13Hz付近で推移している。

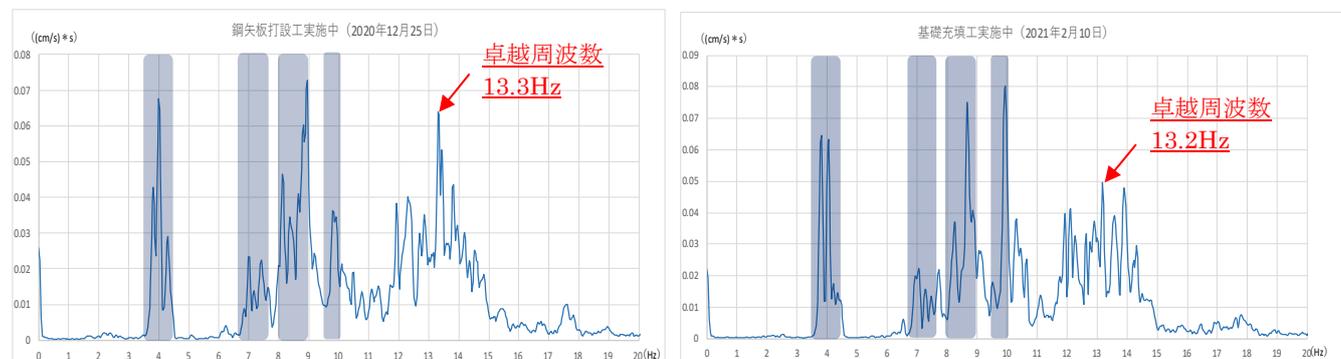


図-3 補強工実施中の主な段階におけるフーリエスペクトル

## 4. まとめ

衝撃振動試験による橋脚の振動データからフーリエスペクトル波形と固有振動数が得られている場合に、列車通過時における卓越周波数を固有振動数と同等の指標として扱えるかどうかを検証中である。まず、補強工事開始前の橋脚を対象として、列車通過時に水晶加速度計で計測した卓越周波数と、衝撃振動試験で得られた固有振動数を比較した。その結果、両者はほぼ同じ数値であることを確認した。今後、補強工事後に同様の検証を実施すると共に、工事完了までの間における列車通過時の卓越周波数の推移についても確認していく予定である。

## 参考文献

- 1) 国土交通省監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）基礎構造物・抗土圧構造物，2007
- 2) 阿部慶太，他：固有振動数と相関を有する健全度診断指標を用いた鉄道橋梁橋脚の健全度の状態監視手法，土木学会論文集 A1, Vol.72, 2016