

橋梁異状検知システムの開発（予兆検知に向けた取り組み）

株式会社シーエス・インスペクター 正会員

○福本哲也 吉田育央

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 非会員

武田克史

1. はじめに

河川橋梁では局所的豪雨等に伴う河川増水によって橋脚基礎周辺の土砂等が流出することで洗堀が進行し、橋脚が不安定化して傾斜、沈下するリスクがある。橋脚の不安定化を検査する代表的手法として衝撃振動試験があるが、センサの取り付けや重錘による打撃等、検査の実施にあたっては現地での作業が必須となる。また、南海電鉄では、橋脚が一定以上沈下、傾斜した場合に橋梁の異常を検知するシステムを導入した。橋梁の異常を検知した場合に列車運行を抑止できる有効な対策であるが、機器の特性上、橋脚が一定以上沈下、傾斜した時点で初めて異常を検知することになる。洗堀が発生する可能性の高い橋脚や、すでに洗堀の兆候がみられる橋脚では、いつ不安定化するかが定かでない。したがって、これらの橋脚においては、常時モニタリングにより橋脚の不安定化の予兆を検知することで、列車運行の更なる安全性向上を図ることが可能といえる。

常時モニタリングを実施するにあたっての課題点として、主に評価指標の選定、計測機器（センサ）の選定の2点がある。指標の選定に関しては、既往の研究において変位量や加速度振幅の比等の指標を用いた手法が提案されている¹⁾。また、計測機器の選定は、求められる計測精度及び許容できるコストに依る所が大きい。

今回、傾斜角と加速度を一機で同時に計測できるという特徴を有する水晶加速度計を供用中の橋脚1基に設置し、上記の課題点のうち評価指標の設定に着目して検証することとした。本稿ではその途中経過について述べる。

2. 水晶加速度計の概要

(1) 原理

水晶加速度計は安定性の高い水晶加速度センサを搭載し、加速度/傾斜角/傾斜角速度を安定して計測することが可能なセンサである。加速度と周波数の変化が比例関係にある原理を利用し、センサを構成する水晶双音叉振動子の周波数変化から加速度を得ることができる。図-1に水晶加速度計を橋脚天端に設置した状況の写真を示す。

(2) 精度検証

水晶加速度計の計測精度について、2018年6月から2019年5月までの1年間、南海電鉄の健全な1橋脚に設置して得られた変位量のデータにより検証した。図-2に検証結果を示す。基準計器としては、近接施工に伴い高精度での計測が必要となる既設構造物の変位計測において、南海電鉄で実績のある渦電流方式の全方位傾斜計を採用した。水晶加速度計は基準計器に比べるとドリフトの幅が若干大きいものの、橋脚の異状検知に活用できる可能性があることを確認できた。



図-1 水晶加速度計の設置例

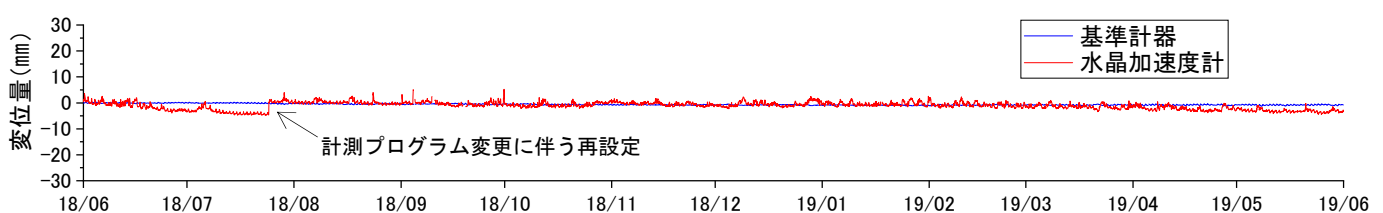


図-2 長期計測結果

キーワード 河川橋梁, 洗堀, 異状検知, 予兆検知, 加速度計

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

3. 予兆検知を目指した検証（評価指標に着目して）

（1）検証方針

加速度のデータを取得して予兆検知に向けた検証を実施するため、供用中の橋脚に水晶加速度計を設置することとした。供用中の橋脚を不安定化させて検証することは不可能であるため、2020 年秋頃に補強工事を予定している橋脚を選定し、2019 年 12 月から工事終了後までの間の加速度データを取得して分析することとした。

（2）評価指標の検討

今回設置した水晶加速度計は高密度で加速度を計測でき、FFT 解析等の周波数分析も可能である。よって、橋脚に水晶加速度計を設置して得られる加速度データを分析し、予兆検知の指標として活用できるか検討することとした。検討に用いる指標は、（i）FFT 解析から求まる卓越周波数、（ii）加速度の時系列データ、の 2 つとした。

（i）FFT 解析から求まる卓越周波数

洗堀等によって橋脚が不安定化すると、図-3 のように固有振動数が低下することが知られている。この固有振動数の変化をリアルタイムで捉えることが出来れば、予兆検知に活用できると考える。

2019 年 12 月から計測した加速度データのうち、列車通過後の振動波形を FFT 解析したところ、複数の卓越周波数が得られた。このような場合、水晶加速度計では位相の算出ができないため、固有振動数の同定は困難である。そこで、

図-4 のように、衝撃振動試験により得られた固有振動数付近の一定範囲を抽出範囲として設定した。その結果、卓越周波数のうちの 1 つが固有振動数近傍となる傾向が見られた。よって、抽出範囲に含まれる卓越周波数を固有振動数と同等の指標として扱えるものとする。今後、この卓越周波数が補強工事前後でどのように変化するかを確認し、予兆検知の指標として活用できるかどうかを検証していく予定である。

（ii）加速度の時系列データ

橋脚基礎部が洗堀され、橋脚の安定性に変化が生じれば、加速度の時系列データに変化が生じる（図-5）という仮説を立てた。そして、橋脚の補強工事前後の加速度の時系列データを比較することで、上記の仮説を検証することとした。2019 年 12 月に水晶加速度計を対象橋脚に設置して以降、加速度の時系列データは正常に取得できている。今後、工事期間も含めて継続的に加速度データを収集し、データ処理方法も含めて検討を進める。

4. まとめ

（1）水晶加速度計を用いた予兆検知について、長期計測結果から、橋脚の異状検知に活用できる可能性を確認できた。（2）水晶加速度計による予兆検知を目指した検証概要、とりわけ評価指標に関する検討の方向性を示した。（3）水晶加速度計によって得られた加速度データを FFT 解析した結果、複数の卓越周波数が表れるが、衝撃振動試験の結果を加味することにより、固有振動数と同等の指標として扱うという考えを示した。今後、補修前後の加速度データを用いて卓越周波数以外の評価指標についても検討するとともに、橋梁の状態に応じて複数の予兆検知手法から選択できるようにし、適正精度かつ低コストな常時モニタリングの実現を目指したい。

参考文献

- 1) 樺健典 他：橋脚の健全度モニタリングが可能な新しい洗堀検知装置の開発，第 20 回鉄道技術連合シンポジウム，2013

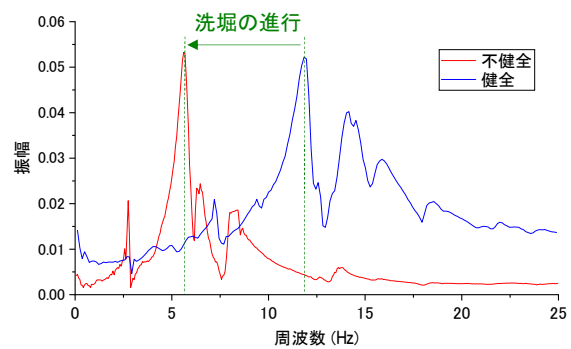


図-3 固有振動数の低下イメージ

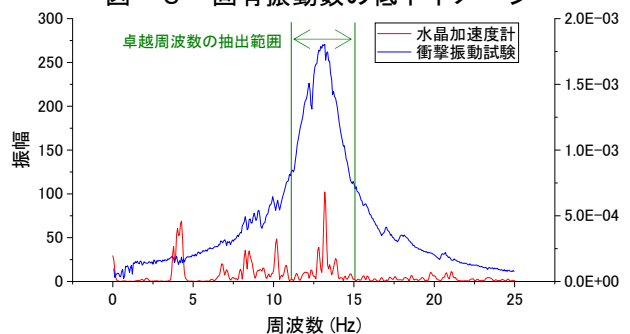


図-4 卓越周波数による固有振動数の同定例

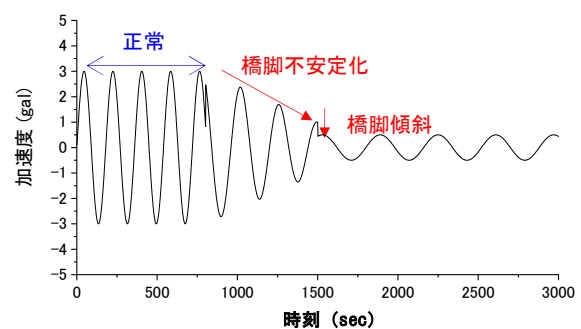


図-5 加速度データの変化イメージ