

実橋梁に長期間設置可能な常時微動計測システムの開発

鉄道総合技術研究所 正会員 ○入 栄貴

鉄道総合技術研究所 正会員 渡邊 諭

1. はじめに

降雨災害の激甚化により、鉄道では河川増水により橋脚基礎周辺地盤が洗掘され、橋脚の傾斜や沈下、転倒等の被害が多数発生している。洗掘災害は鉄道の安全輸送に甚大な影響を与えるため、より適切な列車運行を実現するためには、洗掘の進行過程を把握できる常時モニタリングを目的とした橋脚基礎の健全度評価システムを開発することが重要である。そこで本稿では、新たに開発した橋脚天端両端部の常時微動を長期間計測可能なシステムを用い、実橋梁において実施した長期的な連続計測の結果を示す。

2. 橋脚天端両端部の微動計測による健全度評価手法

橋脚基礎の健全度は、常時微動計測結果から健全度評価指標である固有振動数を推定する手法を用いて評価する^{1) 2)}。本手法は、図1に示すように、橋脚天端両端部の2か所で計測された常時微動から地盤振動を推定し、入力（推定地盤振動）と応答（計測値）のフーリエ振幅比に対して、理論解をフィッティングすることで、固有振動数を推定する。本手法の利点は、推定した地盤振動から得られる伝達関数を共振曲線（理論解）でフィッティングすることで、作業員の経験の有無によることなく自動的かつ連続的に固有振動数を推定できる点である。

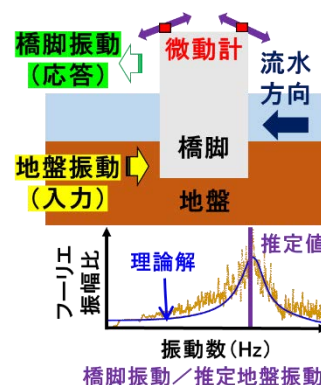


図1 評価手法

3. 設置型常時微動計測システムの製作

本稿では、加速度計を用いたセンサ部、計測条件の設定・計測データの収集を担う本体部、安定した長期稼働を実施するための電源部から構成される設置型常時微動計測システム（図2）を製作した。本システムは、実橋梁に設置可能な防水性や堅牢性を有し、内部電源駆動により長期間の常時微動計測を可能とした。ただし、本システムにデータ処理・分析機能は付与していない。

4. 実橋梁への適用

近年の洗掘災害を考慮し、図3の直接基礎形式の橋梁に計測システムを設置した。橋脚は円形断面で高さは約21mである。2021年8月に鉄道事業者が実施した衝撃振動試験では固有振動数を6.8Hzと推定している。橋脚天端両端部への設置状況を図4、図5に示す。計測期間は約2年間実施したが、本稿では2021年10月7日～2022年1月7日の3ヶ月を対象とした。計測頻度を30分に1回（エラーデータは除く）、サンプリング周波数を200Hz・5分計測で設定した。



図2 計測システム
（本体部）



図4 センサ部の設置



図5 本体部・電源部の設置



図3 対象橋脚

キーワード 橋脚基礎、洗掘、常時微動、現地計測、モニタリング

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 （公財）鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7263

5. 計測結果

計測中は洗掘を発生させる規模の増水は発生していないため、衝撃振動試験の結果を真値として比較する。計測値に対する理論解のフィッティング結果例を図6に示す。計測データは午前5時頃に計測し、安定した微動波形を収録したものである。計測値では5Hz付近に卓越振動数帯が確認できるが、橋脚の固有振動数と考えられる卓越部分を理論解により固有振動数として精度よく推定していることが分かる。図7に対象期間の30分ごとの固有振動数の推定結果を示す。ばらつきはあるものの推定結果は概ね6.8Hz付近に集中している。また、図8には対象期間の計測値と理論解の一致度を示す決定係数を示す。大多数が0.7以上となり、精度の高い推定結果が得られていることを確認した。図7の推定値のばらつきの原因として、常時微動は様々な環境要因に起因する振動を含んでいるため、計測中に列車通過等の大きな振動が含まれていたり、強風等の気象条件により橋脚以外の振動が卓越したりする場合に推定精度が低下してしまうことが考えられる。しかしながら、連続計測により、一時的なばらつきであることは確認でき、洗掘による影響ではないと判断できる。ここで、列車通過等の影響がない深夜帯（午前0時～5時）の連続的な固有振動数の変化を図9に示す。6.8Hz付近に推定結果が集中していることが確認でき、一定でばらつきの少ない推定値であることが確認できる。この時の6.8Hzとの誤差平均値は4.9%であり、模型試験による衝撃振動試験と本手法との誤差平均実績7%と比較すると³⁾、深夜帯の限られた計測データではあるが、実橋梁でも高い推定精度を有することを示した。

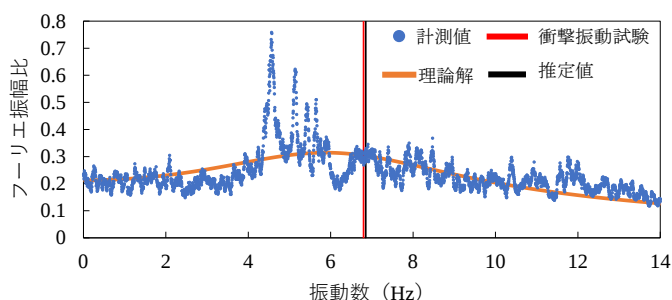


図6 フィッティング例

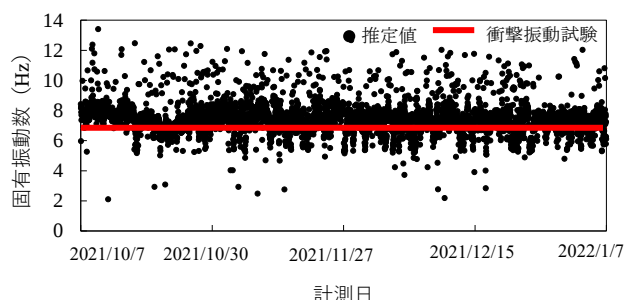


図7 固有振動数（30分ごと）

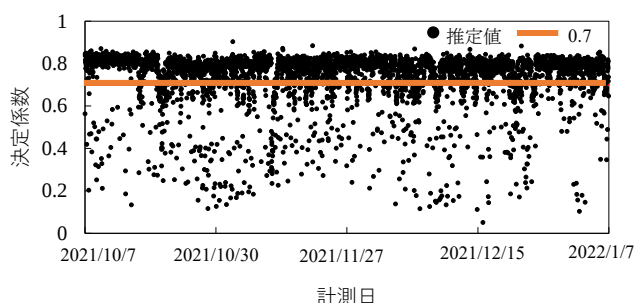


図8 決定係数（30分ごと）

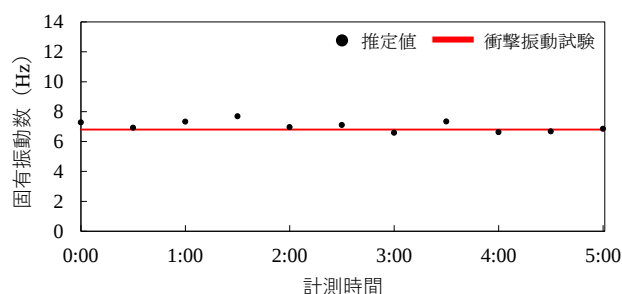


図9 固有振動数（深夜帯）

6. まとめ

本稿では、橋脚天端両端部で常時微動を長期間計測可能なシステムを開発し、実橋梁での連続計測を実施した。現在、常時微動計測システムを改良し、遠隔地から操作可能かつ分析機能も付与した健全度評価システムを製作しており、実橋梁での適用を検討する。

参考文献

- 1) 樺健典, 湯浅友輝, 内藤直人, 渡邊諭: 橋脚天端両端部の微動計測による橋脚基礎地盤の洗掘に対する健全度評価手法, 地盤工学ジャーナル, Vol.13, No.4, pp.319-327, 2018
- 2) 渡邊諭, 入栄貴, 藤原将真: 常時微動による橋脚の固有振動数の同定精度向上に関する基礎検討, 土木学会全国大会第77回年次講演会, III-37, 2022
- 3) 入栄貴, 渡邊諭, 藤原将真: 河川橋脚の洗掘に対する常時微動を活用したモニタリング手法に適用するセンサの比較, 土木学会全国大会第77回年次講演会, III-38, 2022

【謝辞】本研究は、国土交通省の交通運輸技術開発推進制度（JPJ002223）の助成を受けたものである。