

常時微動を用いた新たな固有振動数同定手法の実橋りょうへの適用性に関する検証

鉄道総合技術研究所 正会員 ○渡邊 諭 正会員 内藤直人 正会員 湯浅友輝

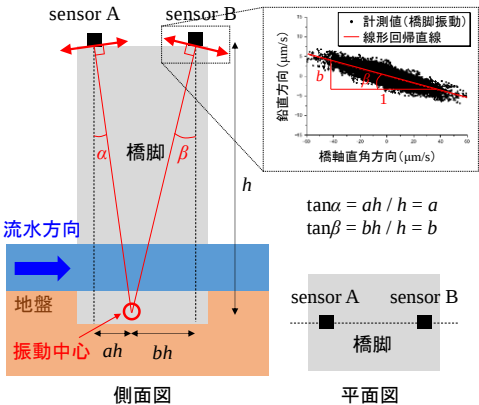
鉄道総合技術研究所（現 JR 東日本） 正会員 樺 健典

1. はじめに

豪雨時には河川の増水により橋脚周囲が洗堀を受け、基礎が不安定化して傾斜や沈下などの災害に至る場合がある。従来、橋脚基礎の健全度を評価する指標として橋脚天端一か所の常時微動計測により固有振動数の変化を捉える（以下、従来手法という）試みがなされてきた。しかし、付帯構造物の振動が卓越する橋脚や、健全性が高い橋脚の場合などは固有振動数の同定は困難であるなど適用性に課題があった。そこで本研究では、橋脚天端両端部に設置した二か所の微動計測結果を用いてこれらの課題を解決する新たな固有振動数同定手法（以下、提案手法という）を開発し¹⁾²⁾、同手法の適用性を模型実験により検証してきた³⁾。本稿では、提案手法を実橋りょうに適用し、同手法の実用性について検証した内容について報告する。

2. 提案手法の概要

洗堀による河床低下時の橋脚振動はロッキング振動が卓越すると仮定する。図1に示すように橋脚天端に設置した2台のセンサそれぞれの橋軸直角方向と鉛直方向のリサージュの線形回帰直線の傾きから橋脚の振動中心を推定し、橋脚直下の地盤振動を推定する。その際、実測した微動データのスペクトルに対して例えば1Hz刻みで2Hz幅のバンドパスフィルタ処理を行い、両端部に対応する二つのリサージュからバンドパスフィルタ処理後のすべての微動波形に対し、それぞれ橋脚の振動中心を算出して地盤振動を推定している。その推定地盤振動と実測した橋脚振動との伝達関数（計測値）を算出して、粘性減衰を有する1自由度系振動モデルに地盤から強制振動を与えた際の伝達関数の理論解をフィッティングさせ、その決定係数とリサージュの回帰直線の決定係数（両端部の平均値）を足し合わせた指標が最も高くなるときの結果を橋脚の固有振動数とした。提案手法のさらに詳細については文献2)を参照されたい。



3. 対象橋梁

表1に、提案手法を適用した7橋りょう全12橋脚を示す。基礎形式は一部木杭を併用した直接基礎である。図2に対象橋脚の一例を示す。

図1 ロッキング振動を仮定した橋脚の振動中心：文献1)に加筆

4. 検証結果

実橋脚の常時微動計測結果に対し、従来手法と提案手法をそれぞれ適用した結果の例を図3に示す。従来手法では同定困難であるが、提案手法では衝撃振動試験による固有振動数と

表1 実橋脚諸元と固有振動数同定結果

橋梁	橋脚	躯体高 (m)	橋脚間 距離 (m)	躯体構造／基礎形式	固有振動数 (Hz)		提案手法 乖離 A÷B (±5%以内)	従来手法 (卓越振動数 読取り)
					A提案 手法	B衝撃 振動試験		
A	P4	6.7	13.5	コンクリート／直接基礎(木杭)	6.0	6.0	○	—
	P5	6.7	13.5	コンクリート／直接基礎(木杭)	12.1	11.0	—	—
B	P1	7.3	12.9	コンクリート／直接基礎	12.6	12.8	○	—
	P4	7.3	12.9	コンクリート／直接基礎	12.7	12.6	○	—
C	P19	25.0	60.0	コンクリート／ケーソン基礎	5.6	5.6	○	—
D	P19	6.6	12.2	コンクリート／直接基礎	5.1	5.1	○	—
	P20	6.6	12.2	コンクリート／直接基礎	11.4	10.7	—	10.72
E	P2	10.3	24.0	レンガ・石造／直接基礎	7.6	7.3	○	7.28
F	P3	17.4	34.0	鉄筋コンクリート／直接基礎	9.1	9.2	○	—
	P4	17.4	34.0	鉄筋コンクリート／直接基礎	11.3	11.3	○	—
G	P112	10.3	不明	鉄筋コンクリート／直接基礎	9.6	9.7	○	9.79
	P113	10.3	不明	鉄筋コンクリート／直接基礎	2.7	2.7	○	2.74

キーワード 橋脚, 直接基礎, 固有振動数, 微動

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 地盤防災 TEL 042-573-7263

ほぼ同値が同定できていることが分かる．図 4 (a) は実橋脚 12 基に提案手法を適用した結果と衝撃振動試験結果との関係を示している．ここでは，衝撃振動試験で得られた固有振動数に対する提案手法で得られた固有振動数の乖離が $\pm 5\%$ 以内のとき適用可能と評価した．これは，鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）基礎構造物・抗土圧構造物に記載されている健全度評価に際しての固有振動数の判定区分が 15%毎に区切られており，衝撃振動試験に対する提案手法の固有振動数の乖離が $\pm 5\%$ 以内であれば判定可能な同定精度を有すると判断したことによる．また，図中には従来手法の適用結果も併せて示している．従来手法では 4 橋脚しか固有振動数を判定できなかったが，微動データに提案手法を適用することにより 10 橋脚の固有振動数を同定できた．橋脚別の適用可否については表 1 に合わせて示している．



図 2 実橋りょうの例

図 4 (b) は図 4 (a) に示した従来手法および提案手法にて固有振動数を同定できた 10 橋梁に対してそれぞれ固有振動数と減衰定数との関係を示している．なお，従来手法である 1 つのセンサで計測した常時微動の卓越振動数の読取りでは減衰定数が得られないため，提案手法で得られた減衰定数を用いてプロットしている．図から，従来手法により固有振動数を判別できる条件は減衰定数 0.11 程度であることに対し，提案手法では 0.24 程度まで同定可能となっており，従来と比較して固有振動数付近の橋脚振動が半分程度の小さい条件でも適用可能であることが分かった．

5. おわりに

橋脚天端両端部での微動計測結果を用いた新たな固有振動数同定手法を開発し，同手法を実橋りょうに適用してその実用性について検証した．その結果，提案手法では従来手法よりも 6 基多い合計 10 基の橋脚において固有振動数の同定が可能であり，同手法により常時微動計測による固有振動数評価の適用性が大幅に向上できることを確認した．一方，提案手法は同手法の理論的な前提条件から地盤振動が入力振動となって橋脚の振動が生じている場合に適用可能と考えられる．そのため，桁や付帯構造物の振動が入力振動となって橋脚の振動が生じている場合には，提案手法でも固有振動数の判定は

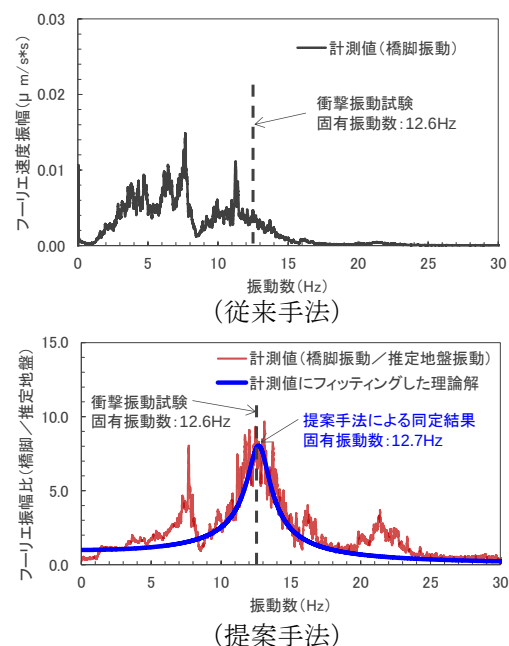
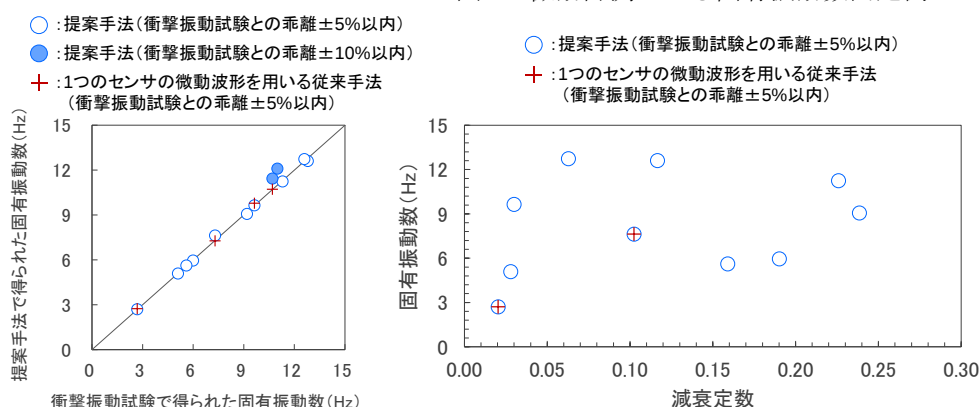


図 3 微動計測による固有振動数同定例



(a) 衝撃振動試験結果との比較

(b) 提案手法と従来手法の適用範囲

図 4 実橋脚への提案手法の適用結果

困難となる．また，地盤振動を入力振動とした場合でも防護工等により著しく強固な基礎条件の橋脚に対しても同様に固有振動数の判定が困難となる．今後も実橋りょうにおける適用事例を蓄積し，より詳細な適用範囲について検討を行う予定である．

参考文献

- 1) 樺ら：橋脚の両端部で計測した微動に着目した固有振動数同定手法，鉄道工学シンポジウム論文集，Vol.20，pp.61-68，2016．
- 2) 樺ら：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性評価手法，地盤工学ジャーナル Vol. 13，No. 4，319-327
- 3) 渡邊ら：断面形状が異なる橋脚模型を用いた新たな固有振動数同定手法の適用性の検証，第 54 回地盤工学研究発表会概要集（投稿中）