

微動の計測条件が橋脚の健全度評価に及ぼす影響の考察

鉄道総合技術研究所（現 JR 東日本）正会員 ○ 櫻 健典

鉄道総合技術研究所 正会員 内藤 直人 正会員 渡邊 諭

1. 目的

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ため、橋脚基礎の健全度を把握することが橋りょうの維持管理において重要である。従来、橋脚基礎の健全度を評価する手法として橋脚天端一か所の橋軸直角方向の常時微動計測結果から固有振動数の変化を捉える試みがなされてきた。しかし、水位が低い場合や健全性が高い橋脚の場合などに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。そこで著者らは、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）を開発した¹⁾。提案手法に対して、これまで風速や水位といった外乱の影響や橋脚の諸元に基づく適用性の確認を行ってきた^{2),3)}が、計測条件によっても適用性に影響が生じることが考えられる。特に提案手法では計測波形に対して複数の演算処理を行うため、従来の手法より計測条件の要求が厳しくなる可能性が考えられる。そこで本稿では、提案手法を適用するに際して要求される計測条件について、サンプリングレートに着目し基礎的な検討を行った内容を報告する。

2. 提案手法の概要

洗堀による河床低下時の橋脚振動は一般的にロッキング振動が卓越する。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。その推定地盤振動と実測した橋脚振動とのフーリエ振幅比を算出して、これに粘性減衰を有する 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

$$R(f) = \frac{1 + \left(\frac{2hf}{f_0}\right)^2}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{2hf}{f_0}\right)^2}} \quad (1)$$

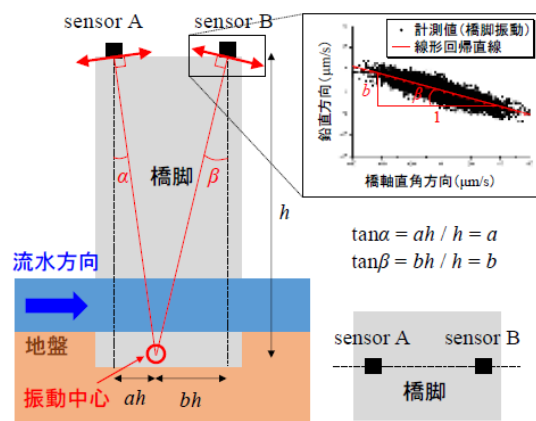


図 1. 提案手法の概要

（ただし f_0 : 固有振動数、 h : 減衰定数）の理論解をフィッティングさせ、その決定係数が最も大きくなるときの f_0 、 h を求める。 f_0 の値の大きさから橋脚の健全度を判定することができる。提案手法のさらに詳細については文献 1) を参照されたい。

3. 計測条件が提案手法の適用性に与える影響の検討

鉄道橋りょうにおいて、速度計 CR4.5-2s を使用してサンプリングレート 200Hz で計測した微動波形データを用いて検討する。検討対象とした橋脚は高さ 17.4m の直接基礎橋脚で、根入れ深さは 8.0m、衝撃振動試験による固有振動数は 11.3Hz である。計測は列車の通過が無い時間帯に 1 回を 5 分間として複数回実施した。

本計測では、時間帯により計測された波形の振幅の大きさにばらつきがみられた。これは、入力となる地盤振動（常時微動）の大きさが近傍の道路交通などの人間活動や風などの自然現象の影響を受けて常に変化しており、地盤振動が大きいと橋脚の応答振動も大きくなるためである。そこで、計測結果のうち速度波形の振幅の RMS 値（2 乗平均平方根）が $7.31\mu\text{m/s}$ 、 $3.92\mu\text{m/s}$ および $1.42\mu\text{m/s}$ の 3 ケースの波形を検討対象とした。それぞれについて、200Hz で計測した微動波形データを一定の時間間隔ごとに抽出する方法で低サンプリングレ

キーワード 橋脚, 直接基礎, 固有振動数, 減衰定数, 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 TEL 042-573-7263

ートの波形データを作成し、提案手法から固有振動数および減衰定数を求めた。

提案手法による各ケースの固有振動数と減衰定数の同定結果を図2に、計測データを式(1)にフィッティングした際の決定係数を図3に示す。さらに決定係数と同定結果の関係を図4に示すが、決定係数と同定結果の間に線形の関係性がみられ、決定係数が大きいほど固有振動数が衝撃振動試験の結果と近く、同定結果の精度が良いことが推定される。このことと図2、図3から、サンプリングレートが大きくなるほど固有振動数、減衰定数の値が真値に向けて収束していくと考えることができる。サンプリングレートが100Hzと200Hzの場合を比較すると結果の差異が小さいことから、本橋脚においては最低100Hzが同定に必要な計測条件と考えられる。

また、RMS値が小さいとサンプリングレートによる同定結果への影響が大きくなることが図2、図3から示唆される。入力となる地盤振動が小さい状況においては、桁や電化柱といった構造物により式(1)で考慮されていない振動の影響を相対的に強く受けると考えられ、かつこれらの構造物の卓越振動数がいずれも橋脚の固有振動数よりも低い振動数帯にある。サンプリングレートが小さいと式(1)へのフィッティングで考慮できる振動数帯が限定され、上記の低い振動数帯の影響が相対的に大きくなることから、サンプリングレートにより同定結果への影響が生じる要因として考えられる。ただし、本橋脚は減衰が比較的大きく固有振動数における地盤と橋脚上のフーリエ振幅比が小さいため、RMS値が小さいことによる同定結果への影響がより強く現れた可能性がある。

4. まとめ

本検討から、提案手法の適用にあたっては、サンプリングレートが小さいほど固有振動数および減衰定数の同定誤差が大きくなる傾向が示唆された。このことから、計測した波形を用いて提案手法を適用した結果と、計測した波形を例えば半分のサンプリングレートに間引いた波形を用いて提案手法を適用した結果とを比較して、有意な差が生じないことを確認することが、提案手法の適用にあたり計測のサンプリングレートが十分であるかの判断方法の一つになると考えられる。また、本橋脚では、サンプリングレートが小さいことにより同定誤差が大きくなる傾向は、計測された波形のRMS値が小さいと顕著にみられた。RMS値が小さい計測環境では、式(1)へのフィッティングの決定係数も考慮しつつより慎重にサンプリングレートを検討する必要があるといえる。

本稿では提案手法の計測条件としてサンプリングレートに着目した検討を行ったが、同様の手順で計測時間や計測に用いるセンサの分解能などについても検討が可能と考えられるので、引き続き取り組んでいく。

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性評価手法, 地盤工学ジャーナル, Vol. 13, No. 4, pp. 319-327, 2018.
- 2) 樺健典, 内藤直人, 渡邊諭: 外乱作用下における河川橋脚の常時モニタリング, 土木学会論文集 F4, Vol. 75, No. 1, pp. 24-37, 2019.
- 3) 渡邊諭, 内藤直人, 湯浅友輝, 樺健典: 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, 第74回土木学会年次学術講演会, III-206, 2019.

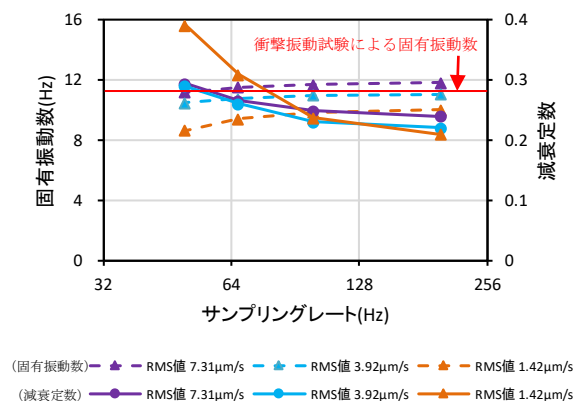


図2. サンプリングレートと同定結果の関係

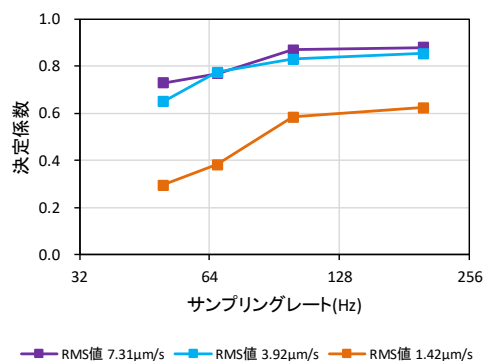


図3. サンプリングレートと決定係数の関係

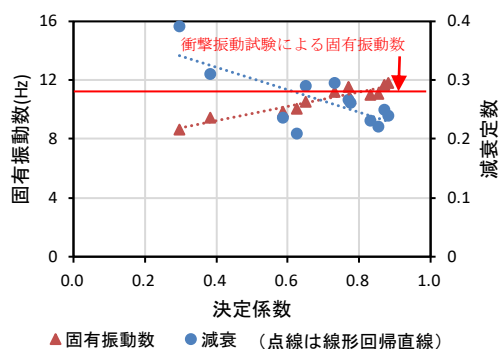


図4. 同定結果と決定係数の関係