

## 常時微動の計測による橋脚健全度評価手法に関する研究

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○宮腰 寛之  
 東日本旅客鉄道株式会社 非会員 足立 啓二  
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 加藤 健二

### 1. はじめに

河川増水により橋脚基礎周辺の土砂などが流出する洗掘は、最終的に橋脚の傾斜や沈下に至り列車運行の安全を脅かす災害である。そこで、洗掘から列車の安全を確保するため、水位計や洗掘検知装置の測定値に基づいて列車運転規制を行っている。現行の洗掘検知装置では傾斜計を用いて洗掘による橋脚の傾斜を検知する。一方で、洗掘が発生して橋脚の安定度が低下しても橋脚が傾斜しない場合がある。そこで、加速度計を用いて橋脚の傾斜に加え、傾斜には至っていない洗掘状態の把握も可能な新しい洗掘検知装置の開発を進めている(図1)。

新しい洗掘検知装置における橋脚傾斜の検知には、橋脚が傾斜すると橋脚の天端に設置した加速度計の鉛直方向がズレて、加速度計のゼロ点に変化することを利用する。このゼロ点の変化を橋脚の傾斜角度に換算することで、橋脚の傾斜を検知することができる<sup>(1)</sup>。

一方、傾斜には至っていない洗掘状態の把握は橋脚の常時微動(以下微動と記述)を測定し、得られたスペクトル波形から固有振動数を抽出し、健全度を推定する手法が試みられており、JR 東日本では、一定時間ごとに微動の振幅スペクトルからピーク振動数を抽出して時系列的にプロットし追跡することで、洗掘の有無を把握する研究に取り組んできた。昨年度から複数の鉄道橋脚に計測装置を設置し、長期観測を行っている。その観測事例について報告する。

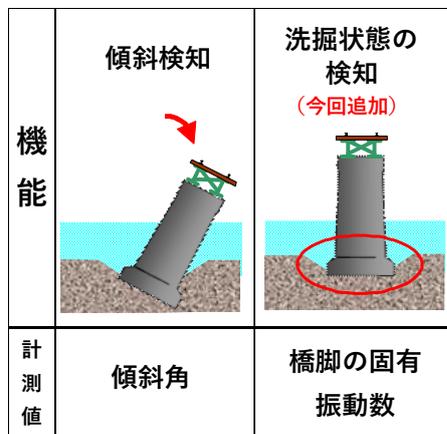


図1 洗掘検知装置の機能比較

### 2. 橋脚健全度評価手法の概要

洗掘が発生して橋脚の支持力が低下すると、橋脚の固有振動数が低下することから、衝撃振動試験<sup>(2)</sup>により橋脚の支持力の健全度評価が行われている。図2(a)に衝撃振動試験による橋脚の固有振動数の評価手順を示す。重錘で橋脚天端を打撃して、橋脚天端で測定した応答波形から振幅と位相差のスペクトルを算出する。振幅スペクトルには、図2(a)中段のように、橋脚のほかに橋桁や電化柱等の固有振動数に対応するピークが含まれる。そのため、振幅スペクトルだけでは、どのピークが橋脚の固有振動数に対応するか特定できない場合がある。そこで、衝撃振動試験のような強制振動では固有振動の位相が打撃に対して加速度で90度、速度で180度遅れる性質を利用して、図2(a)下段のように、橋脚の固有振動数は振幅スペクトルがピークかつ位相差が前述の値をとる振動数として決定している。

一方、ランダム振動である微動を用いて橋脚の固有振動数を評価する方法では、衝撃振動試験のように位相差の情報が使用できない。そこで、位相差の代わりに、固有振動数の時間変化を追跡する方法を用いることにした。この方法では、あらかじめ、衝撃振動試験により、図2(b)中段のように橋脚、橋桁や電化柱等の固有振動数を特定する。その上で、一定時間ごとに微動の振幅スペクトルからピーク振動数を検出して、図2(b)下段のようにピーク振動数を時

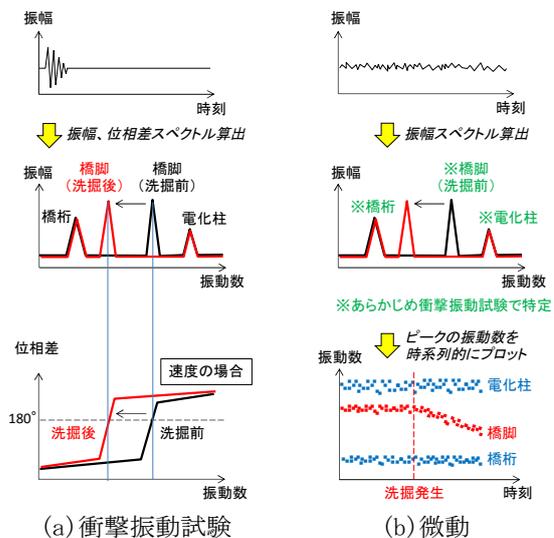


図2 橋脚の固有振動数の評価イメージ

キーワード：橋脚・洗掘・固有振動数・微動

連絡先 (埼玉県さいたま市北区日進町 2-479・048-651-2693・048-651-2683)

系列的にプロットする。橋脚に洗掘が発生すると、橋脚の固有振動数に対応するピーク振動数は低下するが、橋桁や電化柱等の固有振動数に対応するピーク振動数は変化しない。このように、橋脚の固有振動数に対応するピーク振動数を追跡できれば、洗掘の有無が確認できると考えられる。

### 3. 長期観測の実施

本手法によるピーク振動数算出の長期安定性の検証や増水時における変動傾向を分析するため、複数の鉄道橋脚に計測装置を設置し、長期観測を行うこととした。

設置個所の選定にあたっては、微動から固有振動数の抽出が可能な橋脚と、困難な橋脚があることが想定されたため<sup>(3)</sup>、予め設置候補橋脚の微動測定を行い、微動から固有振動数の抽出が可能かどうか確認した。

#### 3.1 増水時の観測データ例

ここでは、2019年10月の台風19号に伴う河川増水時に観測された微動データから抽出した橋脚固有振動数付近のピーク振動数の時系列変化を紹介する。

図3に、増水前、増水中、増水後のスペクトル例を示す。図4に上記スペクトルから算出したピーク振動数（赤点）と水位（青線）の時系列変化を示す。ピーク振動数の算出は10分毎に以下により行う。10分間の加速度波形を10分割し、1分間の10波形を各スペクトル変換したものを足し合わせたスペクトルから、設定区間内のスペクトル強度が最大となる振動数を抽出する。設定区間は、予め計測した衝撃振動試験による橋脚固有振動数付近とした。

両橋脚は増水に伴い洗掘は発生しておらず、ピーク振動数の抽出結果からは次のような共通の傾向が読み取れた。

i) 増水の前後においてピーク振動数に大きな変化はなく、増水中にも安定的にピーク振動数を抽出することができた。

ii) 増水中にピーク振動数のばらつきが小さくなる傾向がみられた。これは、図3に示すように増水中は橋脚が増水前後に比べ大きく加振されたためであると思われる。また、増水前後より増水中のほうがピーク振動数が低めに出現の傾向がみられた。

### 4. おわりに

本研究ではJR東日本で開発中の橋脚健全度評価手法の概要と増水時における橋脚固有振動数に対応するピーク振動数の抽出事例を示した。引き続き増水時を含む観測データの蓄積および分析を進め、本手法の実用化を図ってきたい。

## 文 献

- 1) 櫻健典、鈴木修：橋脚の健全度モニタリングが可能な新しい洗掘検知装置の開発、JR East Technical Review, No.45, pp.53-58, 2013.
- 2) 西村昭彦、棚村史郎：既設橋梁橋脚の健全度判定法に関する研究、

鉄道総研報告、Vol.3、No.8、pp.41-49、1989.

- 3) 足立啓二、宮腰寛之、加藤健二：常時微動により固有振動数の特定が可能な橋脚に関する分析、J-RAIL2019 講演論文集、pp.235-237, 2019.

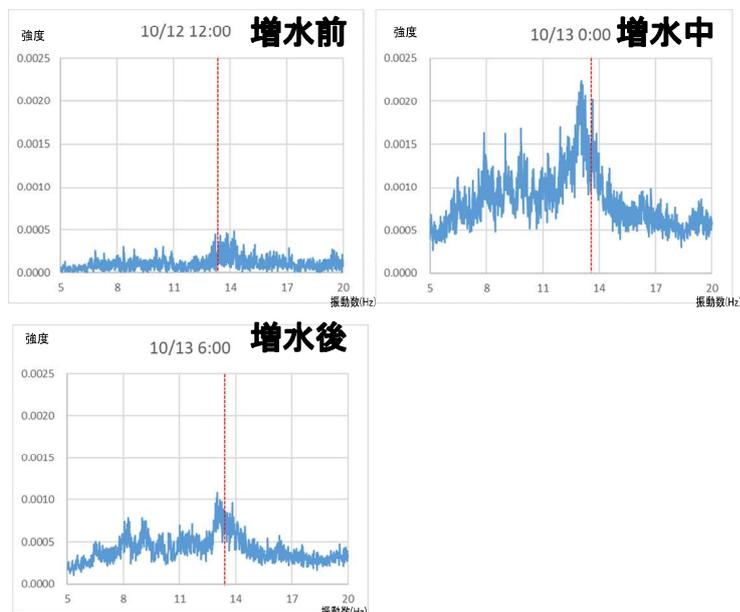


図3 増水中とその前後のスペクトル例（A橋脚）  
（赤線は衝撃振動試験による橋脚固有振動数（13.7Hz））

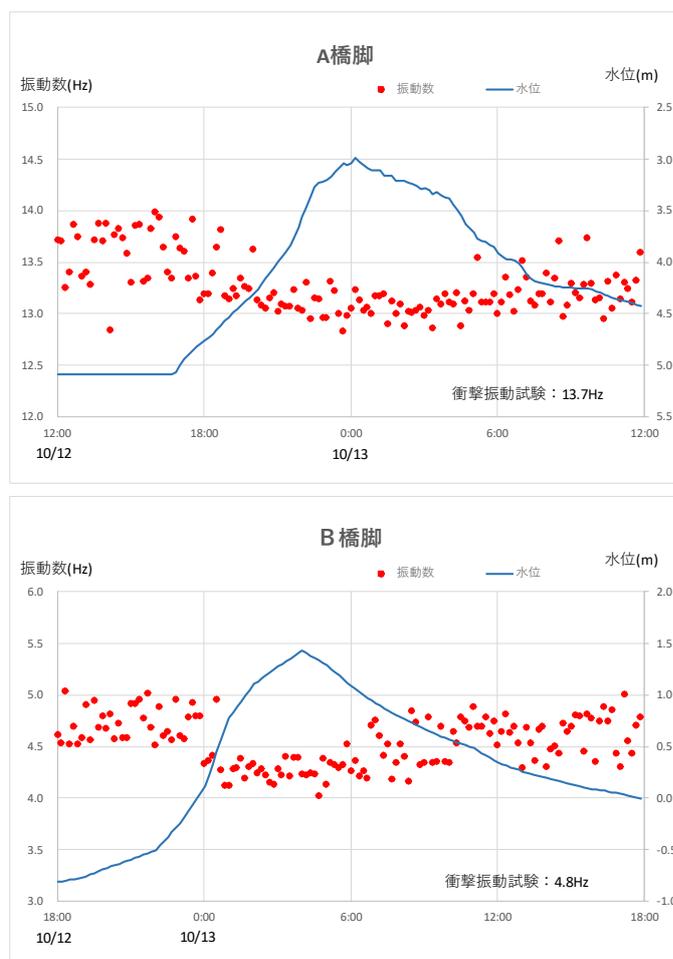


図4 ピーク振動数と水位の時系列変化