

## 非接触振動測定システムを活用した高架橋固有振動数の取得

|            |     |        |
|------------|-----|--------|
| 東海旅客鉄道株式会社 | 正会員 | ○田中 佑児 |
| 東海旅客鉄道株式会社 | 正会員 | 畑中 達彦  |
| 鉄道総合技術研究所  | 正会員 | 上半 文昭  |
| 鉄道総合技術研究所  | 正会員 | 箕浦慎太郎  |

### 1. はじめに

東海道新幹線では、ラーメン高架橋の健全度評価の一環として 1991 年より衝撃振動試験<sup>1)</sup>による固有振動データの蓄積を行っている<sup>2)</sup>。同試験は、「IMPACT システム」を用いて、高架橋上部の地覆部に重錘等による打撃を与え、高架橋に取付けた速度センサにより応答波形を収録する方法で実施している。また、自然災害時などの健全度評価を迅速に行うため、高架橋の柱を打撃する下部打撃手法の検証も行ってきた<sup>3)</sup>。しかし、作業環境によっては高架橋の打撃やセンサの取付けが困難であり、前述の手法で固有振動数が取得できない高架橋が一部ではあるが存在している。そこで、これらの高架橋に対する健全度評価を目的に、非接触振動測定システムを用いた衝撃振動試験ならびに常時微動を活用した固有振動数推定の検証を行ったので報告する。

### 2. 非接触振動測定システム U ドップラーの概要

非接触振動測定システム U ドップラー<sup>4)</sup>（以下、U ドップラー）は、運動する物体にレーザー光を照射して、その反射光を受光し、ドップラー効果による周波数の変化から対象物の運動速度を非接触で検出するレーザードップラー速度計（LDV）に、振動センサと傾斜センサを内蔵し、LDV 自身の揺れと傾きの影響を自動補正する機能を付加した測定システムである（図-1）。そのため、本体機器自身の微振動によるノイズを高精度で除去することができ、交通振動や風の影響を受けてセンサ自身が振動しやすい環境においても、測定対象に直接振動計を取付けた場合と同等の振動データを非接触で取得できるものである。



図-1 U ドップラー

### 3. 現地試験概要

現地試験の対象高架橋諸元は、柱断面 0.6m×0.6m、RC 杭基礎形式の 1 層 2 柱式 3 径間の複線ラーメン高架橋（延長 24.0m、高さ 7.0m）である（図-2）。対象高架橋の「IMPACT システム」を用いた衝撃振動試験により得られた全体系一次モードの固有振動数は 3.60Hz であり、同システムを用いた下部打撃による固有振動数は 3.54Hz であった。

現地試験は、測定時のレーザーの照射角度および柱上の測定位置（高さ）の影響を調べるために、3 台の U ドップラーを使用して橋軸直角方向の振動を同時測定した。レーザーの照射角度については、各センサの照射角度が 20°、30°、45° となるよう機器を設置し、柱高さ 3/4 の位置の振動を測定した（図-3）。また、柱上の測定位置の影響についてはセンサの角度を概ね 30° とし、柱の上端、柱高さ 3/4、1/2 の位置の 3 箇所の振動を測定した（図-4）。なお、高架橋の加振方法は、約 30kg の重錘により高架橋に衝撃を与える上部打撃（図-5）ならびに下部打撃（図-6）と強風や列車によるノイズ振動を避けた 30 秒間の常時微動とした。上部打撃、下部打撃による強制加振を 1 回の測定あたり約 10 秒間隔で 10 回行い、得られた 10 波を重ね合わせたものを対象高架橋の衝撃振動波形とした。



図-2 対象高架橋

キーワード 衝撃振動試験, 固有振動数, 非接触振動測定システム, ラーメン高架橋, IMPACT システム

連絡先 〒100-0005 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 1 号 東海旅客鉄道株式会社 TEL 03-5218-6274

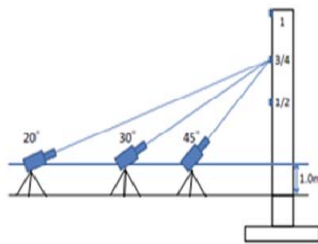


図-3 照射角度の検証

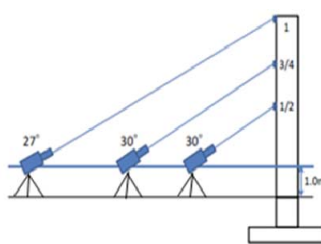


図-4 測定位置の検証



図-5 上部打撃



図-6 下部打撃

#### 4. 現地試験結果

U ドップラーで計測した衝撃振動波形のフーリエ解析および位相スペクトル解析結果の一例(図-7)と、それらにより推定された固有振動数を表-1に示す。解析結果より、上部、下部打撃による衝撃振動試験において、下部打撃で測定位置が柱高さ1/2の場合を除いて、振幅スペクトルには明瞭な卓越ピークが見られ、位相スペクトルを考慮した結果、IMPACT システムと同等の固有振動数が得られることを確認した。また、常時微動のフーリエ振幅スペクトルについても明瞭な卓越ピークが見られ、衝撃振動試験により推定される固有振動数とほぼ同等の結果が得られた。レーザー照射角度の影響の検証では、同一加振条件での卓越ピークの振幅値は同等であり、照射角度による違いは見られなかった。また、柱上の測定位置の影響については、同一加振条件での卓越ピークの振幅値が、柱上部に対して柱高さ3/4の位置で約8割、1/2の位置で約6割程度の値を示すことを確認した。なお、下部打撃の測定位置を柱高さ1/2とした場合は、打撃における卓越ピークの振幅値は上部打撃に対して約2割程度のため、振幅スペクトルが不明瞭となり固有振動数の推定が困難であった。

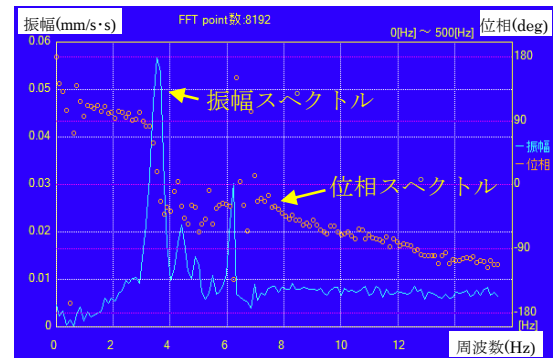


図-7 上部打撃結果の一例(柱上端)

表-1 推定される固有振動数

[単位: Hz]

| IMPACT |      | Uドップラー |      |      |
|--------|------|--------|------|------|
| 上部打撃   | 下部打撃 | 上部打撃   | 下部打撃 | 常時微動 |
| 3.60   | 3.54 | 3.60   | 3.54 | 3.5  |

#### 5. まとめ

今回の対象高架橋において、センサ照射角度を $20^{\circ}$ ～ $45^{\circ}$ とし、測定位置を柱高さの1/2より高い位置に設定することで、U ドップラーを用いた衝撃振動試験による高架橋固有振動数の推定が可能であることが確認できた。また、常時微動についても、衝撃振動試験と同等の固有振動数が推定できた。これらの結果より、これまで衝撃加振や速度センサの取付けが困難であった高架橋や、自然災害などで損傷した高架橋についても、U ドップラーを用いて安全かつ迅速に健全度を評価できる可能性があることが確かめられた。今後、諸元の異なる高架橋についても検証を実施し、今回得られた知見の一般化を図る計画である。

#### 参考文献

- 1) 西村昭彦：ラーメン高架橋の健全度評価手法の研究，鉄道総研報告，Vol. 3/No. 9，1990. 9
- 2) 石井南，西島恵五，斎藤修，鈴木佑，神田仁，畑中達彦：衝撃振動カルテの整備による異常時対応迅速化の取組み，土木学会第65回年次学術講演会概要集(CD-ROM)，2010. 9
- 3) 畑中達彦，門田祐一郎，神田仁，石川達也：衝撃振動試験の改良に関する一考察，土木学会第64回年次学術講演会概要集(CD-ROM)，2009. 9
- 4) 上半文昭：構造物診断用非接触振動測定システム「Uドップラー」の開発，鉄道総研報告，Vol. 21/No. 12，pp. 17-22，2007