

### 鋼ランガー橋における振動計測を利用した損傷同定の基礎的研究

埼玉大学 学生員 ○佐藤達也, 河原井耕介 正会員 山口宏樹, 松本泰尚  
JR東海 高橋 眞 大日本コンサルタント 正会員 吉岡 勉

#### 1. はじめに

近年、国内外で鋼橋の崩落や部材破断・損傷が報告され、現行の目視点検だけでは部材の性能低下を適切に評価できない可能性が示唆されている。本研究では、目視点検を補う手法として振動特性変化に基づく方法に着目し、鋼ランガー橋を対象に2つの方法を用いて研究を行った。1つは、供用時振動計測を行い、得られたデータに高精度モード同定手法 ERA (Eigensystem Realization Algorithm) を適用して振動特性を同定、損傷検知の可能性を検討した。2つ目は、鉛直材に対して打撃試験を行い、高次固有振動数の変化を捉えることによって、部材の変状を検知することを試みている。

#### 2. 対象橋梁と実験概要

対象橋梁は図-1に示す、支間長86.3mの鋼ランガー橋3径間である。対象とした橋梁3径間のうち2径間では、一部の鉛直材に車両の衝突が原因と考えられるフランジの変形(図-2(a))、および歩道地覆のコンクリートが鉛直材へ接触(図-2(b))している変状が認められた。

供用時振動計測では、変状の無い径間で13点加速度同期計測を行った(図-1(a))。サンプリング周波数は100Hz、計測時間10分とした。一方、打撃試験では、図-3(a)に示すように、対象部材に加速度計を取り付け、ウェブ中央をインパルスハンマーで叩いて加振し、加速度を計測した。一つの斜材に対して2回試験を行い、サンプリング周波数は1000Hzとした。

#### 3. 鋼ランガー橋の実験モード同定と損傷検知の可能性

本研究では鋼ランガー橋の振動特性を同定するために、ERA解析を用いている。ERAは自由振動波形からモードを同定する手法である。そのため、常時微動計測の結果から車両走行の無い時間帯の波形を自由振動波形とみなして解析を行っている。計測で得られた桁と鉛直材の波形の1例を図-4に示す。得られた波形に対して全13点の多点ERA解析を行った結果、10個のモードが同定された。同定結果をモード形状で分類すると、鉛直材がほとんど振動せず、桁の振動が支配的な全体振動モード(a)、鉛直材の振動が支配的な鉛直材卓越振動モード(b)、桁の振動に連成し、鉛直材も大き

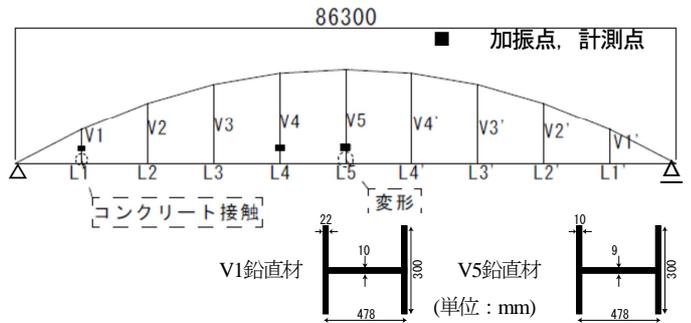
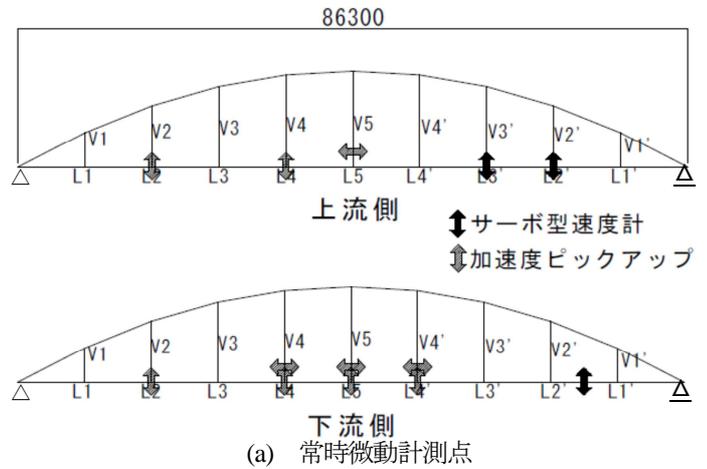


図-1 計測位置と橋梁側面図



図-2 鋼材の変状

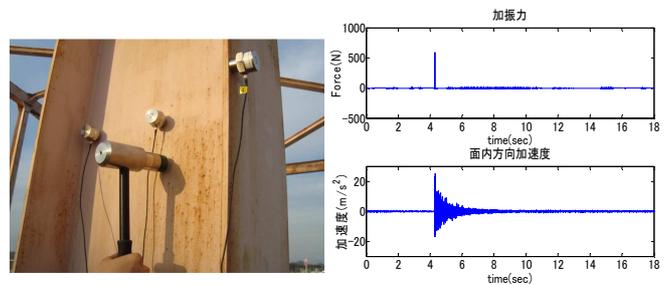


図-3 打撃試験方法

キーワード：鋼ランガー橋, 振動計測, ERA, 打撃試験, 連成モード

連絡先：〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL/FAX 048-858-3552

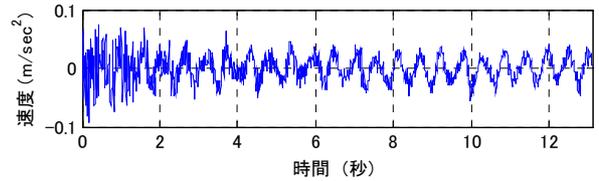
く振動している連成モードの3つに分けられ、その代表例をNastranによる解析結果とともに図-5に示す。既往の研究では、損傷前後での鋼トラス橋において、上下弦材と斜材が連成しているモードの減衰を指標にすることにより、損傷斜材の計測をすることなく、斜材の損傷を検知することができるとしている。本研究で対象とした鋼ランガー橋においても連成モードの同定ができたため、この連成モードに対する減衰を指標にすることにより、限られた点での桁振動計測で、鉛直材の損傷を捉えられることの可能性が示されたと言える。

4. 損傷を有する部材の振動数変化

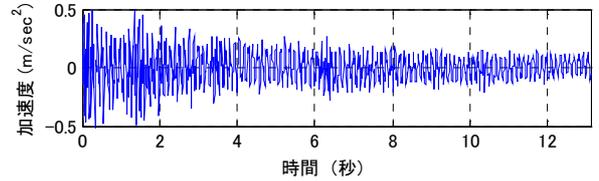
打撃試験で得られた振動波形にERA解析を行い、鉛直材の振動特性を同定した。その同定結果から健全な部材を基準として、変状のある部材のモードごとの振動数差を算出したものを図-6に示す。V5変形鉛直材については、Nastranによる変形モデルに対して行った理論モード解析の結果も合わせて示している。V5鉛直材では高次のモードになるにつれて振動数の低下は大きくなっているが、原因として、部材の中立軸方向に局所的な変形が存在するため、健全時に比べ断面2次モーメントが低下したことによると考えられる。一方、V1鉛直材の振動数は、高次振動数において明らかに増加しているモードが存在する。コンクリート突出部が境界部付近でフランジと接触していることが原因で、フランジの動きが拘束されてしまうモードで振動数が増加しているものと推察される。本研究では、図-3(a)のような少数のセンサを想定し、また、振動数変化が表れるのが極めて高次のモードであるため、健全時のモードと一つ一つ対応付けることは難しい。そこで、振動数に大きく変化が生じている高次モードを群として扱い、その振動数差の平均を求めることで定量的に振動数変化を求めた(表-1)。部材の変状が平均振動数差に明確に、かつ定量的に示されており、構造健全度評価における打撃試験の可能性を示している。

5. 結論

以上の結果から、2つの知見が得られた。1つは、局所部材を持つ鋼ランガー橋は全体振動と局所振動が連成するモードが存在し、このモードの減衰を指標にすることで、局所部材の損傷を、部材を直接計測することなく検知できる可能性があること、2つ目は、打撃試験を用いることで、部材の損傷による構造特性変化を高次モードの振動数差として検知し、その高次モードを群として扱うことにより定量的に評価できること、である。



(a) L5桁振動波形



(b) V5鉛直材振動波形

図-4 自由振動波形

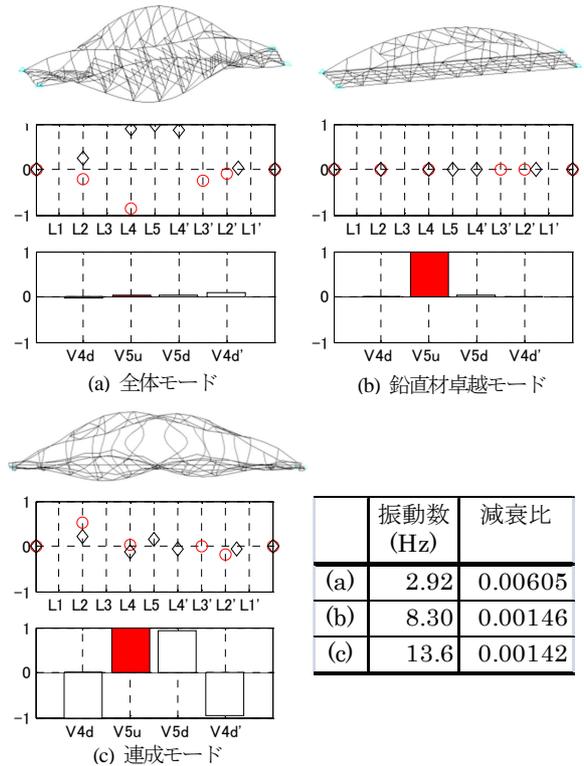


図-5 鋼ランガー橋の同定モード

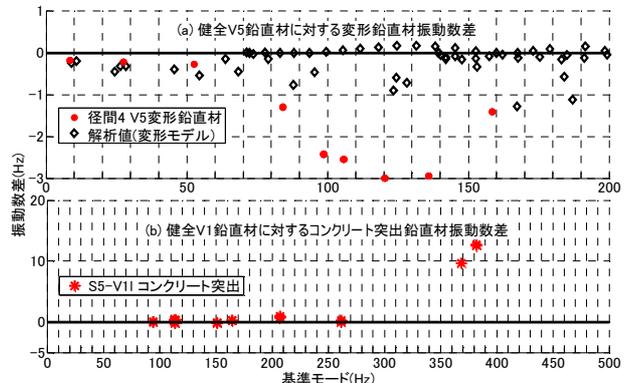


図-6 健全な部材を基準とした各損傷時の振動数差

表-1 高次振動数群における振動数差

損傷形態	健全状態に対する振動数差
変形	-1.78 Hz
コンクリート突出	+16.30 Hz