

V-136

3径間連続RC桁橋の損傷評価に対する動的感度解析の有効性

神戸大学工学部 正会員○森川英典 神戸大学工学部 正会員 宮本文穂  
 神戸大学大学院 学生員 久保田裕二

1. はじめに コンクリート橋の損傷評価法の一つとして、著者らは振動特性の変化を利用する手法に着目し、これまでRC単純T桁橋への適用を試み、その有効性を検討した<sup>1)</sup>。本手法の適用に際して最も重要なことは、各部の損傷に対して感度の高い振動パラメータを抽出することである。本研究では、従来と橋梁形式の異なる3径間連続RC-T桁橋を対象として、損傷に対する振動パラメータの感度特性を調べるとともに、予め構造系を変更し感度特性を変化させた状態で振動試験を行うことにより、損傷評価の高精度化の可能性を検討した。

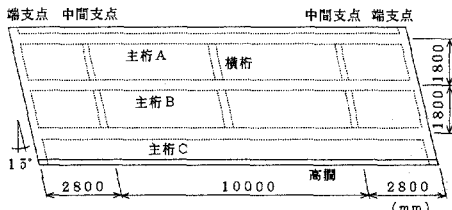


図1 「旧青木橋」の概略図

2. 減衰を考慮した動的感度解析 本研究で対象とした3径間連続3主桁RC-T桁橋の「旧青木橋」(昭和12年度架設、兵庫県佐用郡)の概要を図1に示す。本橋における各部の損傷に対する振動特性の有効性を検討するため、複素固有値解析によるパラメータ解析<sup>2)</sup>を行った。解析モデルは、図2に示すように、曲げ、せん断、ねじり剛性と減衰を考慮したはり要素による集中質量系モデルとし、損傷としては図中に示した損傷部A, Bにおける減衰定数増加(0~30%)を考慮した。局所損傷のモデルとしての一般粘性減衰

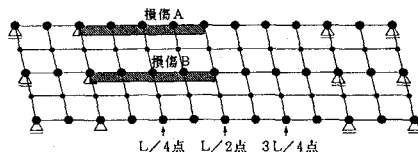


図2 「旧青木橋」の解析モデル

の評価のため、減衰マトリクスCは主桁毎に剛性マトリクスKに比例するものと仮定し、減衰比 $\xi = \alpha \omega / 2$  ( $\alpha$ :内部粘性減衰,  $\omega$ :不減衰固有円振動数)の関係から、各モード毎に比例定数 $\alpha$ を求めた。複素固有値解析はFossの方法により、各モード毎に行った。図3a), b)に各損傷部の減衰定数と橋梁全体の減衰定数との関係を示す。この結果から、1-1次(曲げ1次), 2-1次(曲げ2次)モードについては、外桁及び中桁損傷の場合ともに同程度の感度を有しているが、1-2次(ねじれ1次) 2-2次(ねじれ2次)モードについては、外桁損傷の場合のみ感度が高くなっている。次に、図4a), b)に感度が比較的高い各損傷部Aの減衰定数と主桁各点の位相差との関係を示す。ここで、1-1次モードにおける位相差は主桁BのL/2点を基準とした値で、2-1次モードの場合は、主桁A, Cの各点に対応する主桁Bの各点を基準としたものである。外桁損傷に対しては1-1, 2-1次モードの感度が高く、中桁損傷に対してはこれらの感度は非常に小さいことがわかった。以上より、2-1, 2-2次モードの減衰定数及び1-1, 2-1次モードの位相差は中桁と外桁の損傷を区別するための有効なパラメータであるといえる。

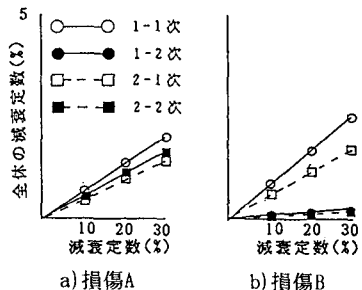


図3 損傷部の減衰定数と橋梁全体の減衰定数との関係

3. 現場振動試験における感度特性の検討 現場振動試験としては、重量300kgfの重錘を約70cmの高さから落下させ、入力及び応答加速度を測定し、モード解析により振動特性を同定した。図5に重錘落下位置と応答加速度測定位置を示す。また、損傷に対する振動特性の感度特性を変化させることを目的として、図5に示すように、予め橋梁に

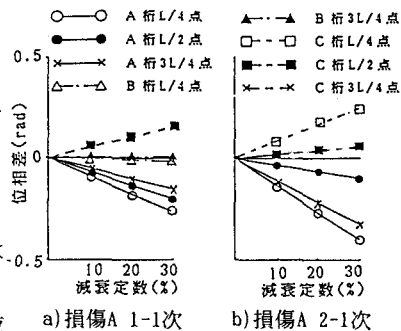


図4 損傷部の減衰定数と主桁各点での位相差との関係

トラック荷重(20tf)による質量載荷を行った上で振動試験を行った。ここで、損傷としては、主桁Cの高欄除去による剛性低下を考慮した。質量載荷位置については、事前に図5に示した解析モデルを用いて固有値解析を行って決定した。解析結果のうち、感度特性の変化が大きい振動モードの結果を表1に示す。この結果から、質量を載荷しない場合には損傷を導入した主桁Cの変化が大きく、質量を載荷することによって、それと反対側の主桁Aの感度特性が大きくなるのがわかる。次に、振動試験の結果得られた1-1次の振動モードを図6に示す。このモードからわかるように、端支承部に浮きが生じ、連続ばりと同張出しばりの中間的な挙動を示していることがわかる。次に、固有振動数及び振動モードの結果を用いてSI法<sup>1)</sup>により主桁各部の剛性を推定した。表2に高欄を除去した場合の同定結果を示す。この結果から、各主桁とも健全時に比べて剛性低下がかなり大きく、特に、主桁Cの損傷程度が大きくなっている。また、表2に列挙した、コンクリートによる材料試験で得られた各主桁毎の弾性係数の結果からも、この評価の妥当性が裏付けられている。次に、質量載荷による振動モードの変化に関する測定結果を表3に示す。この結果から、主桁Cの高欄を除去した場合、主桁Aの振動モードの変化が非常に大きくなっている。また、質量を載荷しない場合の方がむしろ振動モードの感度が大きくなっている。これは、表2に示した剛性の推定結果からわかるように、主桁Cの損傷程度が大きく、質量/剛性の比が健全時に比べて2倍以上に変化しているため、質量を載荷することと同等の効果が得られていることを示している。また、パラメータ解析により、このような感度特性の顕著な変化は張出しばりでは見られないことを確認した。したがって、3径間連続RC橋の場合、外桁の質量/剛性バランスを変えることにより、損傷に対する振動モードの感度特性を大きく変化させることができ、損傷評価の高精度化を行うことが可能であるといえる。

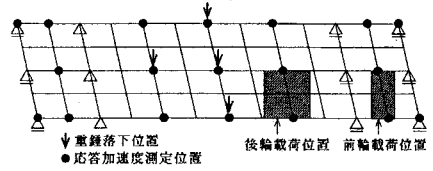


図5 実橋振動試験の概要

4. まとめ (1)3径間連続RC桁橋を対象として、複素固有値解析により損傷に対する振動特性の感度特性を調べ、有効な振動パラメータを抽出した。(2)質量載荷等により、外桁の質量/剛性バランスを変化させることにより、振動モードの感度特性を改善することが可能であることを確認した。

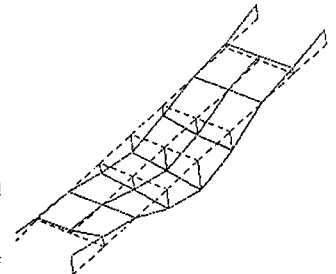


図6 1-1次の振動モード図

【参考文献】1)宮本,森川,山本,桜井:コンクリート橋の振動挙動変化に基づく損傷評価に関する研究,第12回コンクリート工学年次論文報告集,1990.6., 2)森川,宮本,山本,桜井:橋梁損傷と振動特性の変化に関する解析的検討,土木学会第45回年次学術講演会概要集,1990.9.

表1 振動モードの解析結果

|    |    | 振動モード (1-1次) |        |        |
|----|----|--------------|--------|--------|
| 質量 | 高欄 | A桁L/2点       | B桁L/2点 | C桁L/2点 |
| 無  | 無  | 0.756        | 0.888  | 1.000  |
|    | 有  | 1.000        | 0.851  | 0.653  |
| 有  | 無  | 0.410        | 0.715  | 1.000  |
|    | 有  | 0.773        | 0.923  | 1.000  |

表2 SI法および材料試験の結果

|   |     | 主桁A  | 主桁B   | 主桁C   |
|---|-----|------|-------|-------|
| 剛性(EI)<br>の同定結果<br>(10 <sup>11</sup> kgfcm <sup>2</sup> )           | 理論値 | 9.98 | 10.87 | 18.50 |
|   | 実験値 | 5.74 | 4.48  | 3.21  |
| 材料試験による<br>コンクリートの弾性係数(E)<br>(10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ) |     | 1.15 | 0.97  | 0.78  |

表3 振動モードの実験結果

|    |     | 振動モード |        |        |        |
|----|-----|-------|--------|--------|--------|
| 質量 | 高欄  | 桁     | 智頭側    | 中央     | 佐用側    |
|    |     |       | 支承     | L/2    | 支承     |
| 無  | 無   | 主桁A   | 0.4836 | 0.5617 | 0.2734 |
|    |     | 主桁B   | —      | 0.7580 | —      |
|    |     | 主桁C   | 0.4727 | 1.0000 | 0.6578 |
|    | 有   | 主桁A   | 0.3678 | 0.9850 | —      |
|    |     | 主桁B   | —      | 0.6778 | —      |
|    |     | 主桁C   | —      | 1.0000 | —      |
|    | 有/無 | 主桁A   | 0.76   | 1.75   | —      |
|    |     | 主桁B   | —      | 0.89   | —      |
|    |     | 主桁C   | —      | 1.00   | —      |
| 有  | 無   | 主桁A   | 0.5123 | 0.6718 | 0.3398 |
|    |     | 主桁B   | —      | 0.8677 | —      |
|    |     | 主桁C   | 0.5513 | 1.0000 | 0.5753 |
|    | 有   | 主桁A   | 0.6204 | 1.0000 | —      |
|    |     | 主桁B   | —      | 0.8616 | —      |
|    |     | 主桁C   | —      | 0.8611 | —      |
|    | 有/無 | 主桁A   | 1.21   | 1.49   | —      |
|    |     | 主桁B   | —      | 0.99   | —      |
|    |     | 主桁C   | —      | 0.86   | —      |