

# 単純鋼桁橋の部分損傷がモード特性に及ぼす影響に関する解析的検討

徳島大学大学院 学生会員 ○浅川 和也 四国建設コンサルタント 正会員 豊崎 裕司  
徳島大学大学院 正会員 成行 義文 徳島大学総合技術センター 正会員 源 貴志

## 1. はじめに

供用後 40～50 年が経過した道路橋は、自動車荷重の質的・量的増大、降雨・乾湿の繰り返し、および地震等の作用により劣化・損傷が蓄積されている。したがって、道路橋の各部の健全度を把握するための点検が不可欠である。近年、構造物の損傷前後のモード特性の変化を利用した損傷同定法が、現行の目視点検・診断の問題点を補う手法として注目され、様々な方面で研究が進められている。

本研究では、Ren ら<sup>1)</sup>により提案されたモード特性を用いた単純梁モデルに対する損傷同定法を実用化するための基礎的研究として単純鋼桁橋を対象とし、その部分的損傷が橋のモード特性に及ぼす影響についてモード解析結果をもとに検討した。

## 2. 構造物と解析モデル

本研究では、対象構造物を図-1 に示す単純合成 H 型鋼橋とした。損傷によるモード特性の基本的な変化を探るのが主目的であるため、損傷以外の要因はできるだけ少なくなるように、骨組み構造は直線直橋で、断面形状も左右対称とした。また、解析モデルは図-2 に示す通り床版剛性が考慮できる 3 次元 FEM モデルとし、全ての要素をシェル要素とした。

## 3. 損傷シナリオ

本研究では、損傷を主桁剛性の低下と定義して、表-1 のような損傷シナリオを設定した。すなわち主桁毎に損傷位置および損傷度を設定し、各主桁の損傷位置は、主桁全体、支間の 1/2 付近、1/4 付近および支点付近の 4 種類、また損傷度は 5%、10%、20%および 40%の 4 パターンとした。これらの 5×4×4 パターンに無損傷の場合を加えた 81 パターンに対してモード解析を実施した。

表-1 損傷シナリオ

| 損傷桁の組合せ  | 損傷度 | 損傷位置     |
|----------|-----|----------|
| G1,G2,G3 | 5%  | 主桁全体     |
| G1,G2    | 10% | 支間長1/2付近 |
| G1,G3    | 20% | 支間長1/4付近 |
| G1       | 40% | 支点付近     |
| G2       |     |          |

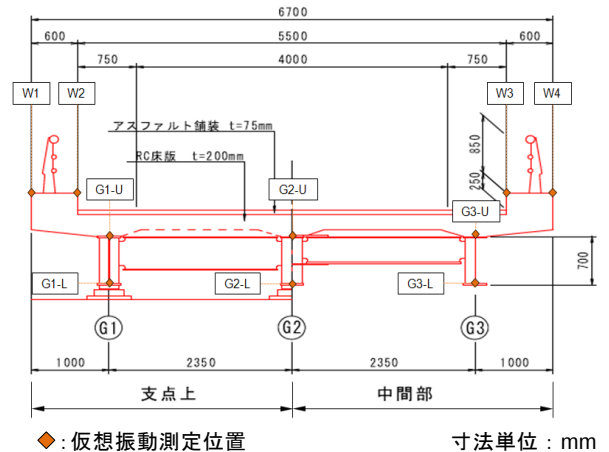


図-1 単純合成 H 型鋼橋の横断面図

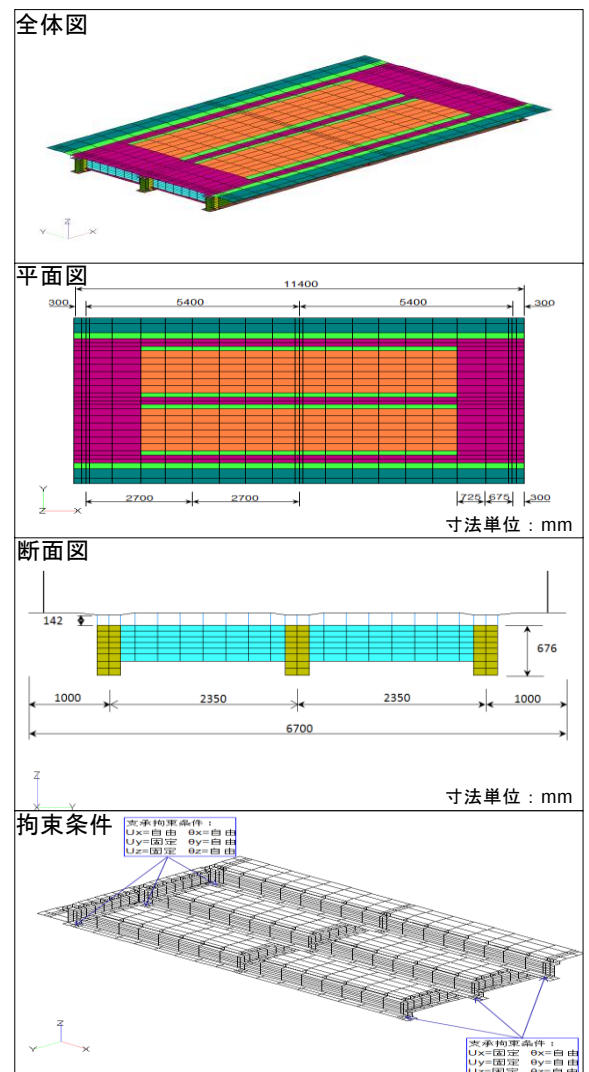


図-2 3次元 FEM 解析モデル

## 4. モード特性の変化

実橋の動的試験から同定できるモードは一般に低次モードであることを考慮して、損傷後のモード特性は1次モードに着目して整理した。

### 4.1 損傷による固有振動数の変化

桁の損傷度と固有振動数比(損傷後/損傷前)との関係を図-3に示す。これより、固有振動数は損傷度の増大に伴い線形的に低下することがわかる。それらの関係を最小二乗法により直線近似した場合の損傷シナリオ毎の近似直線の傾きを図-4に示す。

これらの図より以下のことが明らかである。

- ・ 損傷による固有振動数の低減率は、主桁全体が損傷したケースが最も大きく、次いで2本損傷、1本損傷の順に小さくなる。
- ・ 損傷主桁本数が1本の場合、外桁が損傷したケースの方が固有振動数の低減率は大きい。

### 4.2 損傷によるモード形の変化

測定位置毎の橋軸方向におけるモード形(変形形状)の損傷前後の変化を見るために、式(1)のような2つのモード間の相関を表す評価基準MAC<sup>2)</sup>を用いた。2つのモードが、一致する場合「1.0」となる。

$$MAC(\phi_a, \phi_b) = \frac{|\{\phi_a\}^T \{\phi_b\}|^2}{(\{\phi_a\}^T \{\phi_a\})(\{\phi_b\}^T \{\phi_b\})} \quad (1) \quad \text{ここで、} \phi_a: \text{損傷前のモード}$$

$\phi_b$ : 損傷後のモード

$$\alpha = 1.0 - MAC(\phi_a, \phi_b) \quad (2) \quad \alpha: \text{損傷前後におけるモード形の変化率}$$

損傷位置毎に損傷前後のモード形の変化 $\alpha$ (損傷前後におけるモード形の変化率)を式(2)で評価した。なお各測定位置は図-1に示す通りである。G2桁の1/2点付近が損傷した場合の測定位置毎の損傷前後におけるモード形の差を比較した結果を図-5に示す。図-5からG2桁の1/2点付近が損傷した場合にはG2桁上の測定位置におけるモード形が損傷度によらず相対的に大きく変化していることがわかる。この傾向は他の損傷シナリオに対しても同様であった。

## 5. おわりに

限られた計算結果からではあるが本研究で得られた主な結論を以下に列挙する。

- 1) 桁の損傷度と固有振動数の低減率との関係は概ね線形である。
- 2) 損傷が固有振動数に及ぼす影響は、主桁全体が損傷した場合が最も大きく、次いで2本損傷、1本損傷の順に小さくなる。
- 3) 損傷前後のモード形の変化率( $\alpha$ )は、損傷主桁を特定するための有力な指標となる可能性がある。

## 6. 参考文献

- 1) Wei-Xin Ren・Guido De Roeck: Structural damage identification using modal data. I: Simulation verification, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.128, No.1, pp.87-95, 2002.
- 2) Randall J. Allemang: The Modal Assurance Criterion –Twenty Years of Use and Abuse: SOUND AND VIBRATION/ AUGUST 2003.

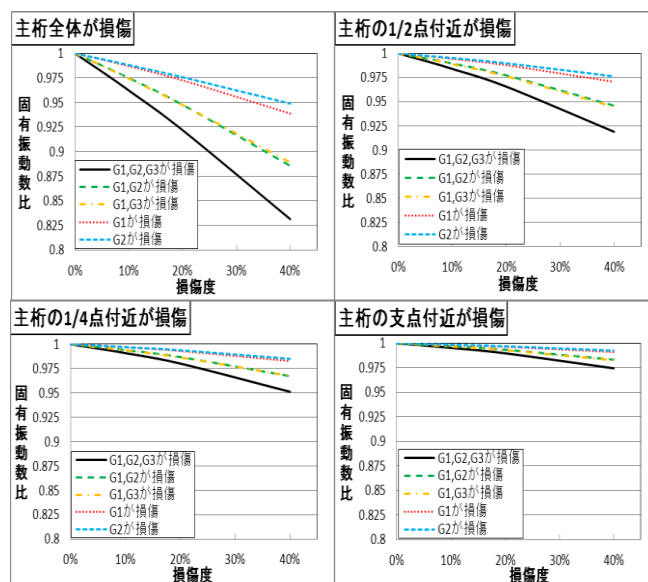


図-3 桁の損傷度と固有振動数比との関係

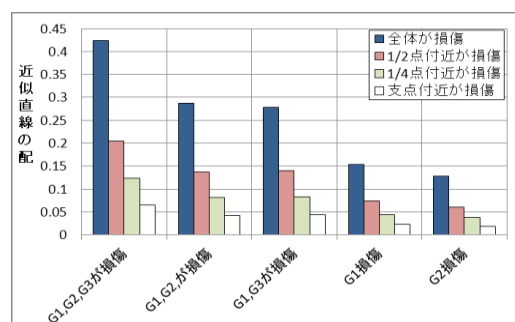


図-4 損傷シナリオ毎の近似直線の傾き量

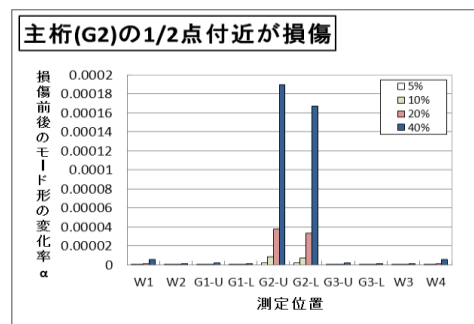


図-5 測定位置における損傷に伴うモード形の変化量