部分的な剛性低下が単純合成Ｈ型鋼橋の１次モード特性に及ぼす影響

四国建設コンサルタント(株)　正会員　○豊﨑　裕司　　徳島大学大学院　　学生会員　浅川　和也
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，経年劣化に加え自動車荷重の質的・量的増大等に伴う損傷が蓄積されていることから，道路橋の健全度を把握するための点検が不可欠である．近年，構造物の損傷前後における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[1]により提案された損傷前後におけるモード特性の変化を利用し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

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 に示すとお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．解析には汎用解析ソフト「T-ＤＡＰⅢ」を使用した．

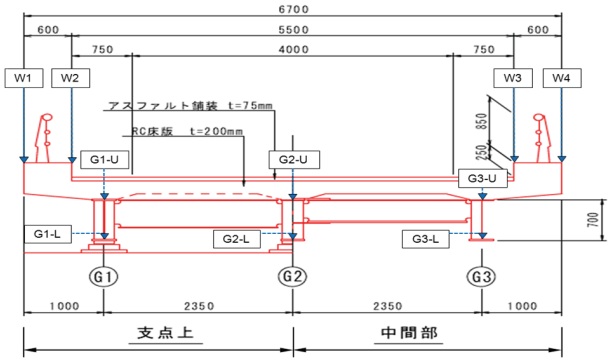

図-1　単純合成 H 型鋼橋の横断面図

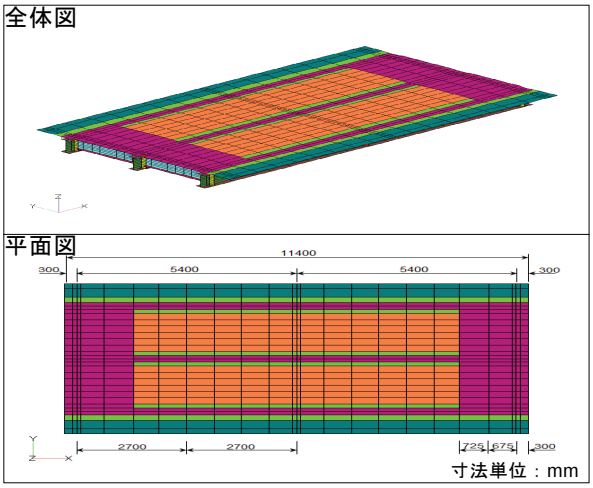

図-2　3 次元 FEM 解析モデル

3. 損傷シナリオ

損傷を主桁剛性の低下と定義し，表-1 のような損傷シナリオを設定した．検討ケースとして，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 80 パターン(5×4×4)に無損傷のケースを加えた 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		損傷位置		損傷度
G1,G2,G3		主桁全体		5%
G1,G2	×	支間1/2点付近	×	10%
G1,G3		支間1/4点付近		20%
G1		支点付近		40%
G2				

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から，本研究では 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

主桁全体が損傷したケースにおける剛性低下率と固有振動数比(損傷後/損傷前)との関係を図-3 に示す．これより，損傷桁の組み合わせによらず，固有振動数は損傷度の増大に伴い線形的に低下し，損傷桁が多

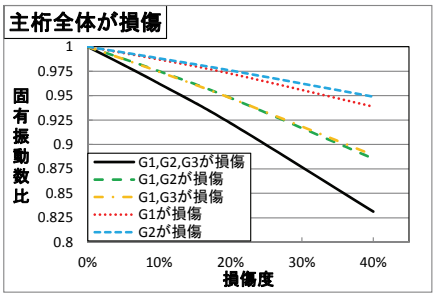

図-3　損傷度と固有振動数比

キーワード　損傷同定，単純合成H型鋼橋，１次モード，解析，剛性低下
連絡先　〒771-1156　徳島県徳島市応神町応神産業団地3-1　四国建設コンサルタント(株)　E-mail: toyosaki-y@yoncon.co.jp

いほど低下勾配は大きいことがわかる．また，他の損傷位置に対しても同様な傾向が見られる．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(絶対値)を図-4 に示す．

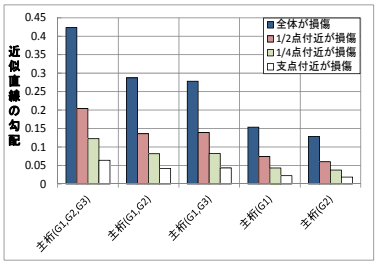

図-4　近似直線の傾き

4.2　損傷によるモード形の変化

本研究では，1 次モードにおける各測定位置での鉛直成分を便宜上各測定位置でのモード形と呼ぶこととする．損傷前後におけるモード形の変化を評価するために，式 (1)のような 2 つのモード間の相関を表す評価基準 MAC[2)]を用いた「モード形の変化率 α」を式(2)のように定義した．損傷前後の 2 つのモード形の変化が少ないほど，MAC→1.0，α →0 となる．

$$MAC(\phi_a,\phi_b)=\frac{|\{\phi_a\}^T\{\phi_b\}|^2}{(\{\phi_a\}^T\{\phi_a\})(\{\phi_b\}^T\{\phi_b\})} \quad (1)$$

$$\alpha=1.0-MAC(\phi_a,\phi_b) \quad (2)$$

ここに，
ϕ_a :損傷前のモード
ϕ_b :損傷後のモード

表-1 に示す 4 種類の損傷位置のうち，最も大きい変化率を示した 1/4 点付近が損傷したケースにおける測定位置毎の変化率を比較した結果を図-5（(a)～(e)）に示す．これらの図より，以下のことが明らかである．

- 左右対称な剛性低下が生じる場合には，損傷桁位置における変化率が大きくなる．（図-5(a)(b)(c)）
- 全ての桁が同様に損傷した場合には，中央の G2 桁位置での変化率が他の桁位置の変化率に比べて大きい．（図-5(a)）
- 左右非対象な剛性低下が生じる場合には，ねじれ剛性の低下により損傷桁の反対側の上フランジ位置のモード形も損傷桁と同程度の変化率を示す．（図-5(d)(e)）

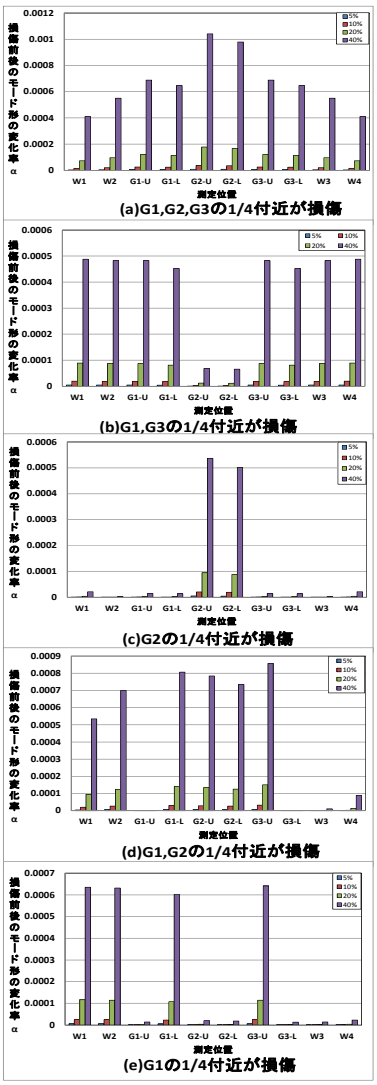

図-5　測定位置毎の変化率 α

主桁の損傷位置毎の変化率比（測定位置毎の最大値で正規化）を図-6 に示す．これから，橋軸方向に非対称な剛性低下となる 1/4 点付近が損傷する場合の変化率が最も大きく，また，対称な剛性低下となる 1/2 点付近が損傷する場合が最も変化率は小さいことがわかる．また，変化率比は損傷桁の組合せパターンおよび測定位置(変化率が極めて小さい場合は除く)によらず，概ね支点付近損傷，1/4 点付近損傷，1/2 点付近損傷における変化率比はそれぞれ 0.6，1.0(基準)，0.4 となった．

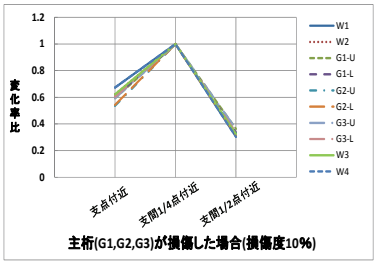

図-6　損傷位置毎の変化率比

5. おわりに

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)損傷主桁が左右対称の場合には，損傷桁に近い測定位置におけるモード形の変化率が相対的に大きい．

3)橋軸直角方向の対称性が失われる損傷が生じた場合，ねじれ剛性の低下に起因して，損傷桁位置におけるモード形の変化と同等の変化が，損傷していない対称位置にある主桁の位置でのモード形にも生じる．

4)橋軸方向の損傷位置の違いによる各変化率の相対的な比は，変化率が相対的に極めて小さい場合以外は損傷桁の組合せパターンおよび測定位置等によらず各々ほぼ一定である．

5)モード形の変化から損傷位置を，また，固有振動数の変化から損傷度を推定し得る可能性がある．

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.