

橋梁のデジタルツインの作成と振動測定による検証

愛媛大学大学院 学生員 ○田村健悟
愛媛大学大学院 正会員 丸山泰蔵 , 正会員 中畑和之

1. はじめに

国土交通省が推進する i-Construction では、共通の 3D データを設計、施工、維持管理の各段階で活用する取り組みが提案されている。その中で、実物をサイバー上に模したデジタルツイン¹⁾が注目されている。既設橋梁は設計図面を利用することによって、デジタルツインの作成が可能である。しかし、設計図面が紛失していたり、補修・補強によって当初の設計図と異なる場合は再計測が必要となり、手間とコストの問題が発生する。本研究では、デジタル画像を利用して、3次元形状を抽出するフォトグラメトリ²⁾によって橋梁のデジタルツインを作成する。また、作成したデジタルツインを用いて振動解析を行い、デジタルツインの力学的特性の妥当性を振動計測で検証する。

2. デジタル 3 次元モデルの作成

対象とする樋ノ詰橋は 2 径間の単純合成桁構造となっており、斜角 $81^{\circ}43'$ の斜橋である。橋長 53350mm、桁長 26600mm、支間長 26100mm である。樋ノ詰橋の断面図と平面図を図 1(a) と (b) にそれぞれ示す。図 1 から分かるように、鋼製の桁の上にコンクリート床版を有している。また、主桁に対し、横桁と下横構が配置されている。桁の支持条件は片側が可動支承であり、その反対が固定支承である。

対象橋梁のデジタルツインを設計図面から作成したものを設計モデル。フォトグラメトリによって作成したものを復元モデルと呼ぶ。設計モデル作成には、Autodesk 社の CIM ツール Revit を使用した。作成したモデルを図 2 に示す。復元モデルの作成では、現地でドローンによる航空撮影と、現地踏査による地上撮影によって写真データを取得した。合計 1524 枚の写真を Agisoft 社のソフトウェア Metashape に読み込むことにより、図 3 のようなメッシュデータで構築されたモデルを作成する。

図 2 と図 3 を比較すると、設計モデルは現存する 2 次元図面からデジタルツインを作成しているため、桁や床版等の情報しか反映できないが、復元モデルでは、排水管や高欄のような図面にない箇所も再現できている。図 4 に設計モデルと復元モデルを橋脚の下から見た図を示す。復元モデルでは東側の下面の再現性が低くなっており、桁部を表現するためには、詳細部の写真がさらに必要である。

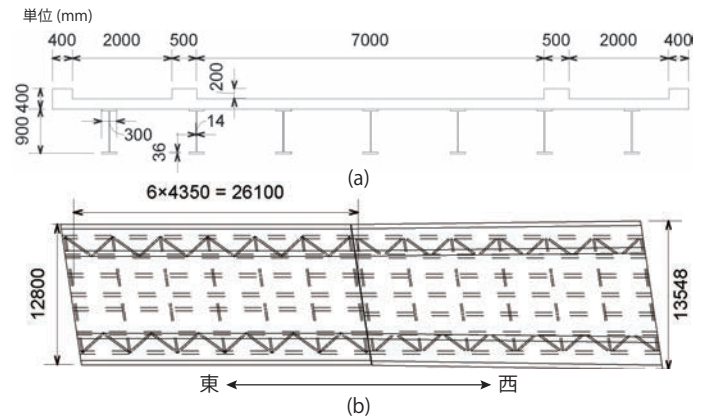


図-1 樋ノ詰橋の (a) 断面図 (b) 平面図

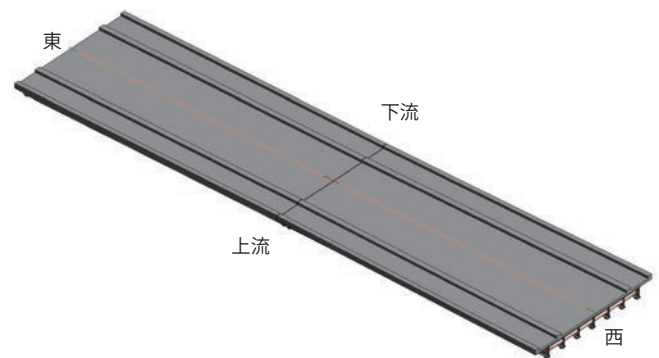


図-2 設計モデル



図-3 復元モデル

3. デジタルツインを用いた振動解析

作成したメッシュデータをボリウムデータに変換し、有限要素解析を行う。対象橋梁は 2 径間の単純桁であるので、東側と西側の上部工に分ける。低次の固有振動数におよぼす影響が小さいため、いずれも、高欄については要素を除いて計算している。設計モデルの有限要素モデルを図 5、復元モデルの有限要素モデ

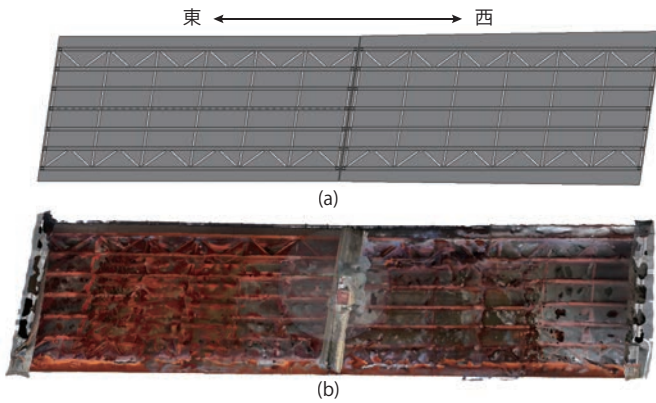


図-4 (a) 設計モデルの下面 (b) 復元モデルの下面

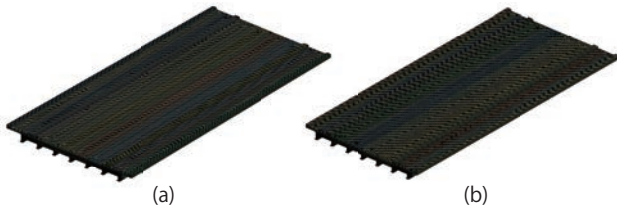


図-5 設計モデルの有限要素分割 (a) 東側 (b) 西側

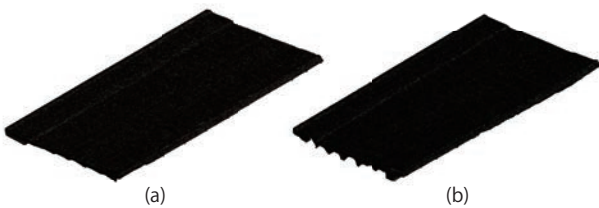


図-6 復元モデルの有限要素分割 (a) 東側 (b) 西側

りを図6に示す。メッシュサイズは全て0.05mとした。

解析対象は合成桁橋であるので、コンクリート標準示方書³⁾を参考にコンクリート床板と鋼桁で材料定数を分けて設定した。境界条件として、片側は橋軸直角方向の軸周り回転を許容するピン支持、反対は橋軸直角方向の軸周り回転と橋軸方向の変位を許容するローラー支持として設定した。

解析結果を表1にまとめる。振動モードは1次曲げ、1次ねじり、2次曲げに着目している。設計モデルと復元モデルでは、鉛直曲げのモードは振動数が概ね一致し、ねじりモードでは誤差が大きいことが分かる。また、鉛直曲げについて、東側桁の設計モデルと復元モデルの誤差が大きくなっているのは、図4で示したようにモデルの再現性が低いことが原因であると考えられる。

4. 振動計測

デジタルツインの力学的特性を検証するために振動計測を行う。計測には高感度加速度センサを使用する。センサを東側・西側それぞれの中央の上流側端部に設置し、車両通行のない状態の振動を計測した。東

表1 解析結果

	東側桁		西側桁	
	設計モデル	復元モデル	設計モデル	復元モデル
1次曲げ	3.16Hz	3.53Hz	3.08Hz	2.99Hz
1次ねじり	3.64Hz	8.31Hz	3.47Hz	7.01Hz
2次曲げ	11.67Hz	12.83Hz	11.26Hz	11.46Hz

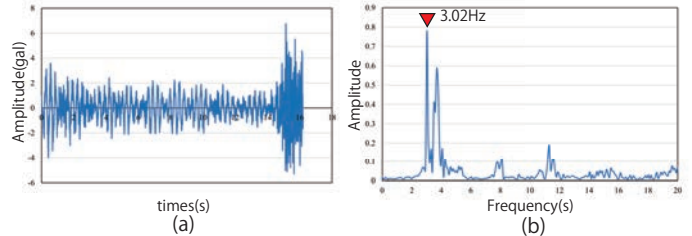


図-7 東側桁の (a) 加速度波形 (b) フーリエスペクトル

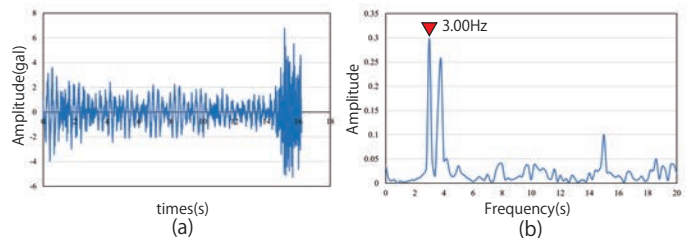


図-8 西側桁の (a) 加速度波形 (b) フーリエスペクトル

側桁での加速度波形とフーリエスペクトルを図7、西側桁での加速度波形とフーリエスペクトルを図8に示す。フーリエスペクトルより、東側桁では3.02Hz、西側では3.00Hzに卓越が見られた。

計測結果と表1の数値解析の振動数を比較する。西側桁では計測値と有限要素解析の値が概ね一致した。東側では、計測値と解析値の曲げ1次の振動数の差が約17%となった。これは、床版下部の主桁の再現性が低いことが原因であると考えられる。

5. おわりに

本研究は、設計図面から3次元モデルを作成する方法、フォトグラメトリによって復元する方法の2つの手段でデジタルツインを作成した。設計モデルでは、計測値と解析値の固有振動数が良好に一致した。復元モデルは17%の誤差があったが、この原因は桁の再現性が低いことが挙げられる。今後は、形状の再現性と力学特性の関係を詳細に検討していきたい。

参考文献

- Grievens, M.: Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems, *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*, pp.85-113, 2016.
- 村井俊治: 1. デジタルフォトグラメトリの現状および展望, 写真測量とリモートセンシング, Vol.32, No.6, pp.1-2, 1993.
- 土木学会: コンクリート標準示方書, pp.44-62, 2007.