

## 鋼トラス橋の振動モニタリングにおける損傷検出限界の解析的検討

長岡技術科学大学	学生会員	白田 幸忠
長岡技術科学大学	学生会員	石崎 寛史
長岡技術科学大学	正会員	宮下 剛
長岡技術科学大学	正会員	長井 正嗣

### 1. はじめに

2007年木曾川大橋において腐食破断が見つかり、既設橋梁に対する効率的な維持管理が喫緊の課題である。現在、構造物の健全性を定量的かつ効率的に評価する構造ヘルスマニタリングが注目されている。その中でも、損傷による剛性低下が動特性の変化に結びつくことから、振動モニタリングに関する研究が積極的に行われている<sup>1)</sup>。しかし、モニタリングにおける計測位置、計測量、損傷の検出限界が明確とされていない。

本研究では、既設橋梁の振動モニタリングで要求される計測位置、計測量、損傷の検出限界の把握を目的とする。まず、対象橋梁の振動計測を行い、現況動特性を把握する。次に、現況動特性を反映した FEA モデルの作成と修正を行い、耐荷力解析により、応力が許容値を超過する部材を特定する。そして、特定した部材に対して損傷を与え、構造物の冗長性を評価するリダンダンシー解析を行う。そして、固有値解析を実施して、損傷が固有振動数や固有振動モード形などの動特性に与える影響を調査する。

### 2. 振動計測

本研究で対象とする橋梁は、建設後約 50 年が経過した橋長 42m の曲弦プラットトラス橋である(図-1)。垂直材に片側 6 台ずつ、計 12 台のサーボ型加速度計を設置し、鉛直方向の振動を計測した。計測時間は 45 分間、サンプリング周波数は 200Hz とした。計測結果から、固有振動数ならびに振動モード形を同定した。

### 3. FEA モデルの作成と修正

解析モデルの作成では、汎用構造解析ソフトウェア DIANA9.3 と車両と構造物の動的連成解析を可能とする DALIA を利用した。

まず、設計図面に基づいて FEA モデルを作成し、次に、同定された動特性と一致させるため、モデルの修正(アップデート)を行った。アップデートでは、境界条件、部材長さなど、計 16 パターンの条件を考慮した。現況の動特性に最も近くなった固有振動数を表-1 に示す。

### 4. 耐荷力解析

アップデート後の FEA モデルに対して、耐荷力解析を



図-1 対象橋梁

表-1 実測と解析の固有振動数の比較

振動モード形	実測	単位: Hz	
		DIANA	DALIA
対称1次モード	3.80	3.88	3.88
逆対称1次モード	6.50	6.81	6.87
対称1次ねじれモード	7.10	7.31	7.29
対称2次モード	10.20	10.02	10.06
逆対称1次ねじれモード	11.80	11.95	11.99
逆対称2次モード	12.10	12.00	12.02
対称2次ねじれモード	17.30	18.84	18.56
逆対称2次ねじれモード	20.60	21.99	22.07

行い、各部材グループ(下弦材、上弦材等)において、応力が超過する部材(危険部材)を特定した。ここでは、既設橋梁の耐荷力照査実施要領に基づく<sup>-3</sup>照査<sup>2)</sup>に準じた。解析結果から各部材グループにおいて、応力が最大となる部材を図-2 に示す。ここで、赤で囲まれている部材は、既に許容応力度を超過していることを示すが、これは耐荷力照査の基準が改訂されたことに起因する。

### 5. リダンダンシー解析

耐荷力解析から特定された各部材グループにおいて、最も大きな応力が作用している部材に擬似的損傷(ここでは破断)を与え、リダンダンシー解析を行う。そして、橋梁崩落の危険性ならびに部材の点検優先順位について言及する。

解析方法は、健全時の耐荷力解析結果に、部材の破断による衝撃力<sup>3)</sup>を破断位置に作用させた解析結果を重ね合わせる。解析の結果、破断することで崩落に至る部材

を図-3 に示す．これらは，上弦材 203，208，斜材 305，306，垂直材 404，406 であった．この中で，垂直材 404，406 の健全時の応力は 232MPa であり，塑性化するまで余裕がないことから，優先的に点検を行う必要があると考える．

6. 計測位置・計測量の検討

アップデートした FEA モデルに対して損傷を与え，固有値解析を行い，動特性の変化から計測位置，計測量，損傷の検出限界について検討する．

垂直材 406 を破断させた場合の橋梁全体系の固有振動数変化を表-2 に示す．case1 は垂直材と下弦材の結合部を破断，case2 は中央部を破断，case3 は上弦材との結合部を破断させたケースである．表-2 より，固有振動数の低下が確認される．特に，逆対称 1 次モードの固有振動数の低下が大きく，1.4Hz 低下した．この他にも，上弦材は対称 1 次で 2.05Hz，斜材は逆対称 1 次で 1.45Hz のように損傷位置が大きく変形する振動モードほど，固有振動数の低下が大きくなる傾向が見られる．

次に，局所系の固有振動モードに着目する．垂直材 406 を破断させた場合の健全時と損傷時の局所振動モード形の変化を図-4 に示す．このとき，部材の強軸方向モードの固有振動数の低下が大きく，24.3Hz 低下した．このことから，全体系のモードよりも，局所系のモードの方が，損傷の検出に適していると言える．また，下弦材，縦桁，横桁に損傷を与えた場合，固有振動数ならびに固有振動モード形の変化は見られなかった．この理由として，これらの部材は床版と結合しており，部材の損傷では床版の剛性が低下しないためと考える．

7. まとめ

本研究では，既設橋梁の振動モニタリングで要求される計測位置，計測量，損傷の検出限界の把握を目的とした．その結果，上弦材の損傷(ここでは破断)は，橋梁全体系の固有振動数の変化から検出される．また，垂直材・斜材の損傷は，全体系ならびに部材局所系の固有振動数の変化から検出される．しかし，下弦材・縦桁・横桁の損傷は，床版の影響が大きいことから，固有振動数の変化から検出することは難しい．

今後は，桁端部における局所的な腐食に対する検出限界を把握するためにシェル，ソリッド要素を用いた詳細な 3 次元有限要素モデルを作成する予定である．

参考文献

- 1) 吉岡勉，山口宏樹，伊藤信，原田政彦：鋼トラス橋の振動特性の同定と斜材損傷が及ぼす減衰性能への影響，構造工学論文集 A vol.55 pp295-208
- 2) (財)道路保全技術センター：既設橋梁耐荷力照査実施要領(案)，1993．5
- 3) URS corporation：Fatigue evaluation and redundancy analysis，Bridge No.9340,I-35W over Mississippi river, Draft report 2006

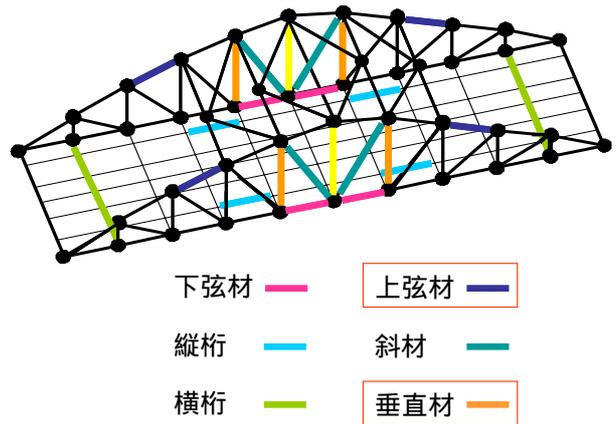


図-2 各部材グループにおける危険部材

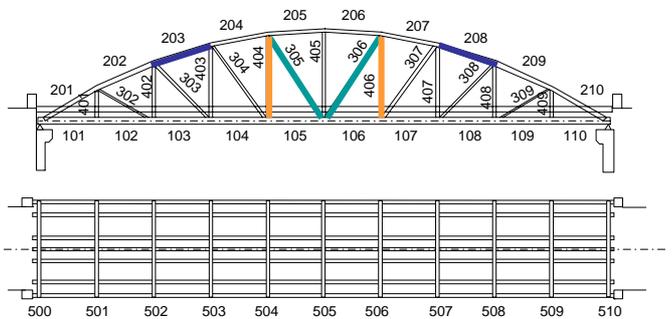


図-3 崩落危険部材

表-2 損傷による固有振動数の変化

固有振動モード形	固有振動数(Hz)			
	健全	case1	case2	case3
対称1次モード	3.88	3.72	3.72	3.71
逆対称1次モード	6.81	5.53	5.52	5.5
対称1次ねじれモード	7.31	7.35	7.29	7.36
対称2次モード	10.02	9.73	9.73	9.75
逆対称1次ねじれモード	11.95	10.36	10.35	10.34
逆対称2次モード	12	12	11.99	12.01
対称2次ねじれモード	18.84	18.93	18.93	18.95
逆対称2次ねじれモード	21.99	21.08	20.66	21.04

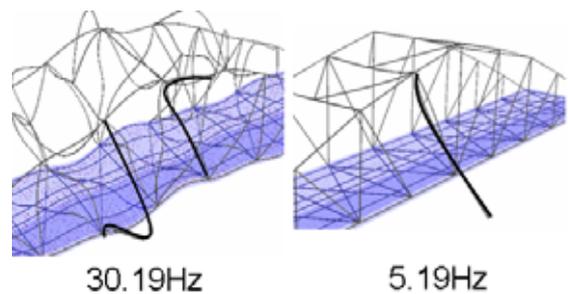


図-4 垂直材の局所固有振動モード形の変化