

斜材の亀裂損傷と当て板補強が鋼トラス橋の振動特性に与える影響

埼玉大学 正会員 ○吉 岡 勉

埼玉大学 正会員 伊 藤 信

埼玉大学 正会員 山口 宏樹

大日本コンサルタント(株) 正会員 新井 伸博

1. はじめに

振動特性の変化を利用した既設橋梁の健全度評価は、多大の労力と経験的技術を要する目視点検を補う手法として注目され、長大橋梁の対風応答や河川内橋脚の洗掘診断などに適用されている。しかし、中小橋梁の特に鋼上部構造に関しては損傷による固有振動数の変化が小さい場合が多く実用化までには至っていない。

著者らは、斜材に亀裂損傷が生じた鋼トラス橋において、損傷を有した状態と当て板補強した状態で荷重車走行試験による振動計測を行う機会を得た。斜材の部分的破断といった局所的な実損傷が、全体モード特性および局所モード特性にどれだけの変化をもたらすかを定量的に把握することを目的として、得られた振動データの詳細な分析を行ったので報告する。

2. 対象橋梁の概要と振動計測

対象橋梁は、図-1 に示す支間長 70.77m の単径間鋼下路式ワーレントラス橋 5 連であり、幅員 6m の河川を跨ぐ橋梁である。供用年数は 42 年である。2007 年 7 月に D5 引張斜材の下端で H 断面の半が破断しているのが発見され、その後、当て板により補強された(写真-1)。

走行試験に用いた荷重車は総重量 20tf の大型 3 軸ダンプトラック 1 台を使用し、一般車通行止めの状態で、上流側の車線を終点から始点に向かって単独走行させた。走行速度は 20km/h、30km/h、40km/h の 3 ケースとした。

加速度計の設置位置は、図-1 に示すとおり上流側の D5 引張斜材 1/4 点と、上下流側の下弦材 L/4 点とし、斜材は鉛直・面内・面外の 3 方向の振動を、下弦材は鉛直振動のみを計測した。荷重車の位置関係がわかるように橋梁のジョイント通過時に荷重車から信号を送って計測した。サンプリング周波数は 200Hz で、対象径間への荷重車進入直前から計測をスタートし、荷重車通過後の約 30 秒間の自由減衰波形を計測した。

3. 振動特性変化の同定

(1)斜材の振動特性変化

D5 斜材の補強前後の振動計測データのうち、20km/h

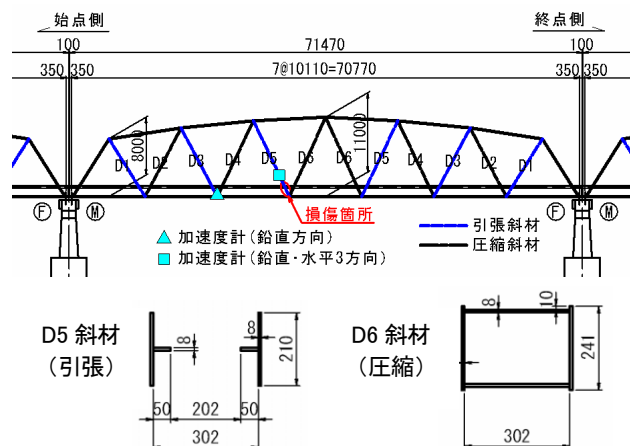


図-1 対象橋梁側面図および加速度計設置位置

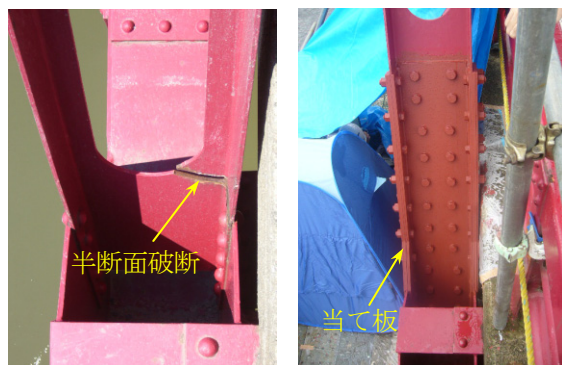


写真-1 D5 斜材の損傷状況(左)と補強状況(右)

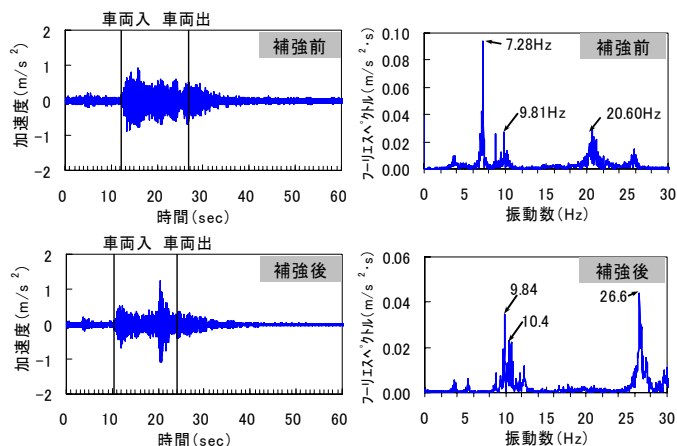


図-2 斜材面内振動の時系列波形とスペクトル(20km/h 走行時)

走行時の面内振動の時系列波形と FFT によるフーリエスペクトルを図-2 に示す。局所的損傷による振動特性変化を精緻に同定するため、本報では高精度モード同定法と

キーワード トラス橋、斜材損傷、荷重車走行試験、振動計測、ERA

連絡先：〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL/FAX 048-858-3552

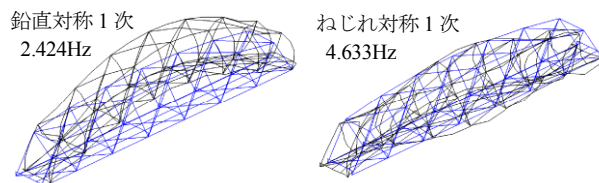


図-3 立体骨組固有振動解析による主要モードの一例

される ERA 解析 (Eigensystem Realization Algorithm) を行った。車両通過後の減衰波形から初期値の振幅レベルを揃えた形で 7.5 秒間のデータを抽出し、それを自由振動波形と仮定して ERA 解析の入力波形とした。ハンケルマトリクスを 1000×500 とし、精度指標である MAC (Modal Amplitude Coherence) の値が 0.999 以上の値を同定値とした。モード形状の推定には、別途、立体骨組モデルによる固有振動解析を行い、得られた振動数と比較することにより行った (図-3)。

同定された固有振動数とモード減衰比の平均値を示した表-1 より、同定された 3 つのモードのいずれも、補強したことにより固有振動数が 10~31%増加し、モード減衰比は 18~478%低下している。逆に言えば、斜材が部分的に破断したことにより振動数は低下し、モード減衰比は増加していると言え、振動理論と整合している。

(2)橋全体モードの振動特性変化

下弦材鉛直振動の時系列波形と FFT によるフーリエスペクトルを図-5 に示す。また、斜材の場合と同様の方法で ERA 解析した結果を表-2 に示す。

表-2 を見ると、斜材が部分的に破断したことによる全体振動モードに対応した固有振動数の変化は僅かであり、明確な傾向は見いだせない。一方、モード減衰比は、補強後では 4.6Hz と 5.3Hz の振動モードを近接モードとしたうなりが発生したことにより振幅が増大したこと、減衰比は補強前の方が小さくなっているが、それ以外のモードでは補強前の方が大きくなっている。したがって、全体モード特性においても斜材損傷による減衰変化が捉えられる可能性が示唆された。

4. おわりに

米ミネアポリスでの落橋事故を代表に、最近、相次いで異常が発見されている鋼トラス橋を対象として、実際の損傷を有した状態で振動計測およびデータの詳細分析を行った結果、トラス斜材の部分的な破断による振動特性変化を明確に捉えるとともに、健全度評価手法として減衰変化が利用できる可能性を示すことができた。減衰同定のばらつきの問題、減衰変化のメカニズムの解明などが今後の課題である。

表-1 ERA 解析による同定結果 (斜材面内振動)

モード形状 推定	固有振動数(Hz)			モード減衰比		
	補強前	補強後	変化率	補強前	補強後	変化率
面内対称 1次	7.22	9.80	-26%	0.0071 (0.0009)	0.0060 (0.0003)	18%
面外連成 1次	9.89	11.02	-10%	0.0030 (0.0003)	0.0010 (0.0002)	193%
面内逆対 1次	20.59	30.02	-31%	0.0043 (0.0001)	0.0008 (0.0001)	478%

注1) モード減衰比の括弧内は標準偏差を示す。

注2) 変化率(%) = (補強前 - 補強後) / 補強後 × 100

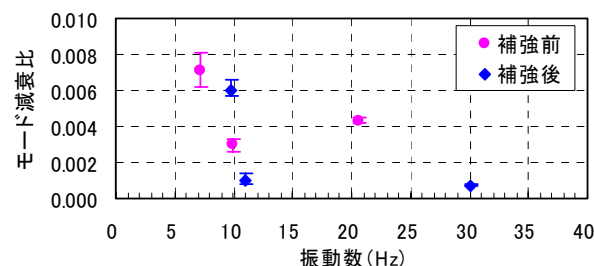


図-4 同定結果のプロット (斜材面内振動)

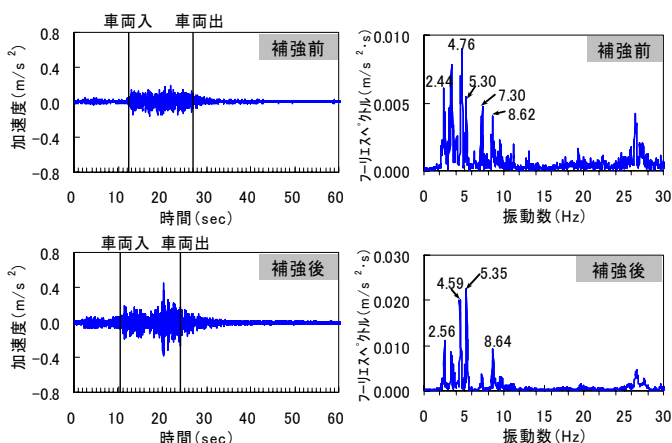


図-5 下弦材鉛直振動の時系列波形とスペクトル(20km/h 走行時)

表-2 ERA 解析による同定結果 (下弦材鉛直振動)

モード形状 推定	固有振動数(Hz)			モード減衰比		
	補強前	補強後	変化率	補強前	補強後	変化率
鉛直対称 1次	2.50	2.55	-2%	0.0104 (0.0010)	0.0063 (0.0002)	67%
ねじれ対称 1次	4.60	4.59	0%	0.0040 (0.0004)	0.0045 (0.0001)	-12%
鉛直逆対 1次	5.26	5.30	-1%	0.0052 (0.0003)	0.0074 (0.0002)	-30%
ねじれ逆対 1次	8.83	8.62	2%	0.0058 (0.0001)	0.0046 (0.0002)	28%
ねじれ対称 2次	10.85	10.91	-1%	0.0023 (0.0000)	0.0011 (0.0003)	109%

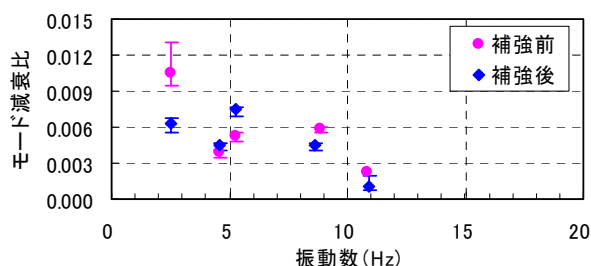


図-6 同定結果のプロット (下弦材鉛直振動)