

局所モードを利用したトラス斜材の健全度評価に関する検討

埼玉大学 学生会員 ○高橋 真

埼玉大学 正会員 吉岡 勉

埼玉大学 正会員 山口宏樹

埼玉大学 正会員 松本泰尚

JR 東日本 正会員 伊藤 信

1. はじめに

近年、米ミネアポリスでのトラス橋崩落事故や国内でのトラス斜材破断事故などが相次いで発生した。これら事故は、見た目からの健全性だけでは部材の性能低下を適切に評価できない可能性を示唆している。本検討では、目視点検を補う手法として振動特性変化に基づく方法に着目し、実橋梁において打撃加振によるトラス斜材の振動計測および実験モード解析を行った。対象とした鋼トラス橋は、斜材端部の亀裂発生、その当て板補強、著しい腐食の進行など、同一諸元の斜材ごとに健全性が明確に異なると考えられる状態であり、それら斜材の局所モード特性にどのような相違があるかを捉えることを目的として、データ分析を行ったので報告する。

2. 対象橋梁と打撃試験の概要

対象橋梁は図-1 のとおり支間長 70.77m の単径間鋼下路式ワーレントラス橋 5 連で、幅員 6m の河川を跨ぐ橋梁である。D5 斜材の端部には、亀裂や穴あき H 断面のうちの半分が破断しているのが発見され、4 本の D5 斜材に対して当て板補強が施された(図-2(a))。また、いくつかの D1 斜材は、大型車のジョイント通過時の泥跳ねによる水分・塩分の付着が原因と考えられる腐食が進行し、孔蝕が散見される状態であった(図-2(b))。

打撃試験は、D5 斜材に対して補強なしの状態、上下端どちらか 1 箇所を当て板補強した状態、両端の 2 箇所を補強した状態の 3 パターンを試験対象とした。D1 斜材は、孔蝕が散在する状態のものと孔蝕がない比較的健全な状態のものを対象とした。試験方法は図-3(a) に示すように斜材長さの 1/4 点のフランジ面に 3 軸加速度計を取り付け、ウェブ幅の中央をインパルスハンマーで叩いて加振し、加速度 3 成分を計測した。また、打撃加振する際、SN 比が小さく低次モードの同定が困難となる可能性があったため、ハンマー先端のチップを柔らかくし、低次モードを励起するよう配慮した。なお、一つの斜材に対して 2 回試験を行い、サンプリング周波数は 1000Hz とした。

3. 試験データのモード解析

加振方向と同一のトラス面内振動の加速度データについてモード解析を行った。解析には高精度モード同定法とされ、固有振動数と併せてモード減衰比も同定できる ERA(Eigensystem Realization Algorithm)解析を用いた。打撃直後の自由減衰波形 7 秒間を ERA の解

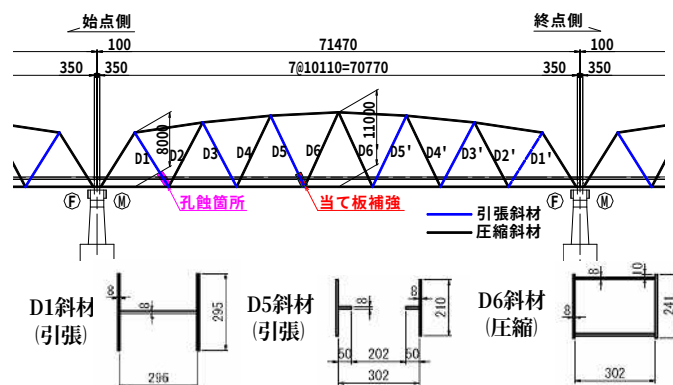


図-1 対象橋梁側面図と斜材代表断面

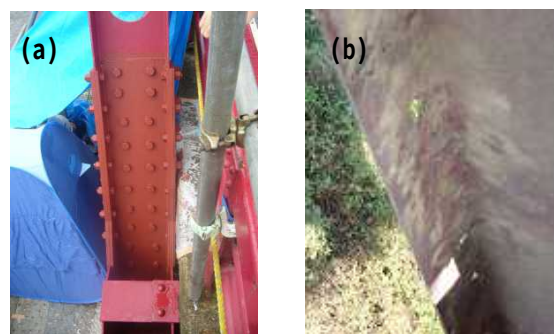
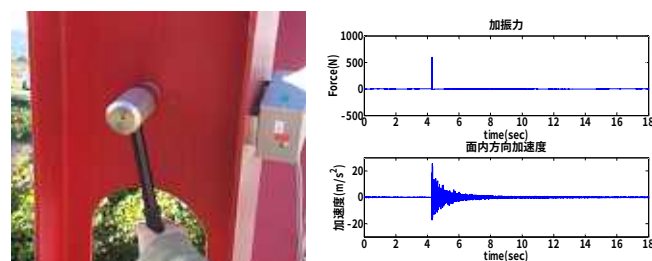


図-2 D5 斜材の当て板補強(a)と D1 斜材の孔蝕箇所(b)



(a) 加振方法

(b) 入力波形と応答波形

図-3 打撃試験方法

キーワード 鋼トラス橋, 打撃試験, 振動計測, ERA

連絡先: 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究所 TEL/FAX048-858-3552

析対象とし、ハンケルマトリクスは 6000×1000 とした。また、精度指標である MAC(Modal Amplitude Coherence) が 0.99 以上をとる値を同定値とした。

図-4 にまず、FFT 解析による D5 斜材当て板補強なし、1 箇所、2 箇所のスペクトルを示す。同図には ERA 解析結果として当て板補強なしの場合の stabilization diagram を代表として併記しているが、スペクトルのピークと ERA の同定値がほぼ一致していることから、ERA 結果は妥当といえる。図-5 に低次モードの 10Hz 付近で同定された固有振動数とモード減衰比、初期振幅値の ERA 結果を拡大して示す。同定結果のばらつきを示すため平均値のほかに最小値と最大値のレンジも示している。斜材 1/4 点での単点計測であるためモード形状まで同定できないが、別途行った理論モード解析との対比より、丸で囲った同定値群が面内対称 1 次モード、四角で囲った同定値群がねじれ対称 1 次モードと推定される。当て板補強で剛性が増加したことにより両モードの固有振動数が 15% 程度増加している(表-1)。一方、図-5(a)のモード減衰比に着目すると、当て板補強により減少する傾向が見られる。図-5(b)の初期振幅も同様に減少傾向があることから、減衰の振幅依存性の現れているといえるが、加振力が一定となるよう配慮して打撃したこと、端部補強が減衰性能の低下に繋がったともいえる。

次に D1 斜材についての同様の分析結果を図-6 および図-7 に示す。図-7 より、最低次モードの振動特性には孔蝕の有無による明確な相違は見いだせない。しかし、図-6 のフーリエスペクトルを見ると、100~200Hz 帯で周期的に現れているピークの振動数が孔蝕ありの場合は総じて減少傾向にある。これらのモードはウェブの板振動と推定されるが、このような高次モードに着目すれば鋼材の局所腐食を振動数変化として捉えられる可能性が示された。今後は、この 100~200Hz 帯に着目した実験・理論両面からのさらなるモード分析を進めていく予定である。

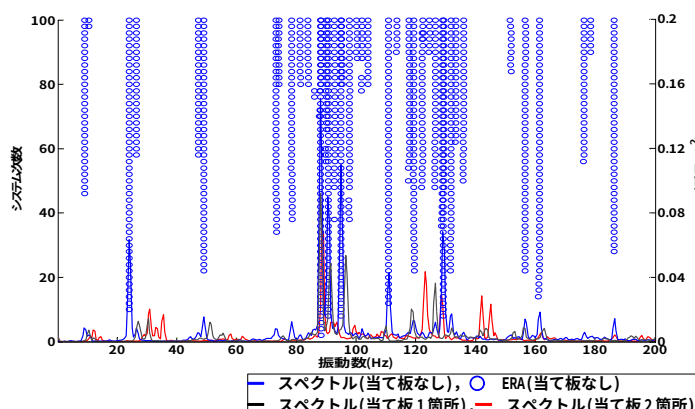


図-4 D5 斜材のスペクトルと ERA 同定結果

表-1 D5 斜材の ERA 同定値(低次モード)

モード形状	固有振動数			モード減衰比		
	当て板なし	1箇所	2箇所	当て板なし	1箇所	2箇所
面内対称1次	9.10	10.47 (15%)	12.22 (34%)	0.00450	0.00104 (-77%)	0.00129 (-71%)
ねじれ	10.70	12.45 (16%)		0.00401	0.00199 (-50%)	

注1)同定値は郡の中での平均を表す

注2)括弧内の数字は当て板なしに対する変化率を示す

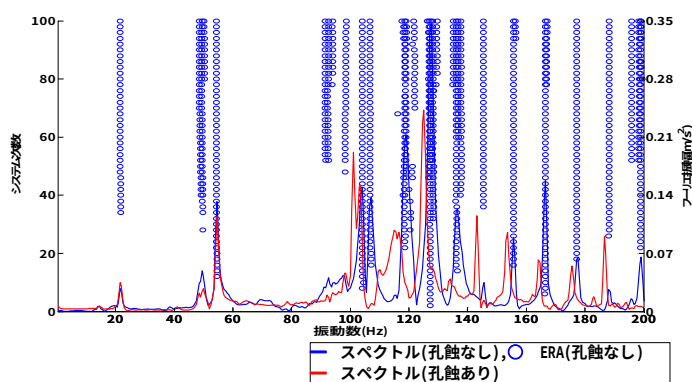


図-6 D1 斜材のスペクトルと ERA 同定結果

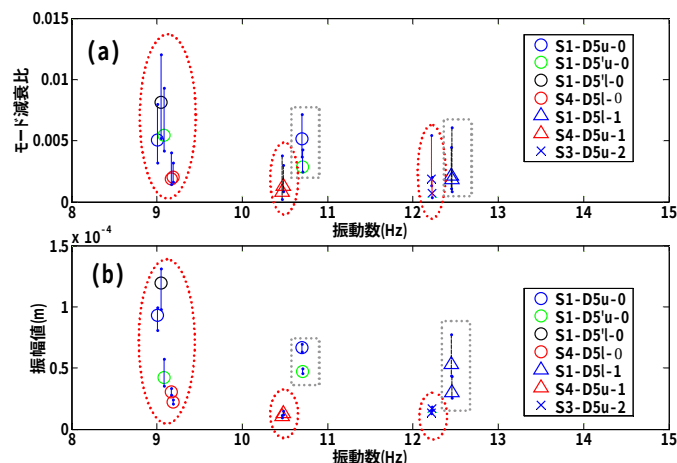


図-5 D5 斜材の ERA 同定結果(低次モード)

((a)モード減衰比 vs 振動数, (b)振幅値 vs 振動数)

注) <記号説明>

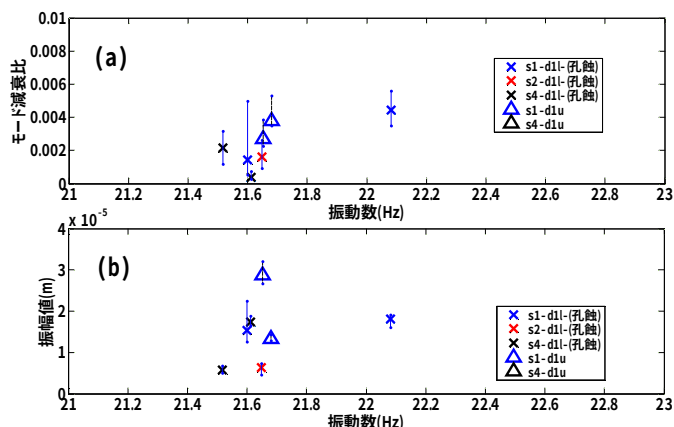
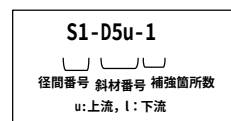


図-7 D1 斜材の ERA 同定結果(低次モード)

((a)モード減衰比 vs 振動数, (b)振幅値 vs 振動数)