

打撃試験によるトラス斜材の振動数変化の検出と FEM 解析による分析

大日本コンサルタント(株) 正会員 ○吉 岡 勉 埼玉大学 正会員 山口 宏樹
 埼玉大学 学生会員 高 橋 眞 埼玉大学 正会員 松本 泰尚

1. はじめに

近年、鋼下路式トラス橋の斜材において、床版コンクリート貫通部での局部腐食や、沿岸地域での斜材上端部の内面局部腐食、格点部ガセット近傍での疲労亀裂など、重大損傷が顕在化している。一方、振動を利用したヘルスマモニタリングとして、機械などの分野では打撃加振による健全性診断が実用化されている。

著者らは、トラス斜材を対象とした打撃加振診断法の確立を意図して、腐食した斜材および同一諸元で比較的健全な斜材の打撃加振による振動計測を行った。本稿では、打撃試験から検出された振動特性の相違と、FEM 固有振動解析により理論面から腐食による振動特性変化を分析した内容について報告する。

2. 対象橋梁の概要

対象橋梁は、図-1 に示す支間長 70.77m の単純鋼下路式曲弦ワーレントラス橋 5 連であり、1965 年に竣工した橋梁である。支点に最も近い H 断面の D1 引張斜材は、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、孔食が散見される状態のもの（写真-1(b)）と、車両の走行方向との関係から比較的健全な状態にあるもの（写真-1(a)）が複数存在する。腐食は路面位置から斜材軸方向に 1.2m 程度の範囲に発生し、フランジ内面が顕著に孔食している。

3. 打撃試験による斜材振動特性の検出

打撃試験は、腐食が進行した D1 斜材 3 本と、同一諸元で比較的健全な D1 斜材 2 本を対象として行った。試験は写真-2 に示すように、斜材長さの 1/4 点付近のフランジ面に圧電型 3 軸加速度計を設置し、ウェブの幅方向中央をインパルスハンマーで叩いて加振し、加速度 3 成分を計測する方法とした。サンプリング周波数は 1000Hz とし、一つの斜材に対して 2 回試験を行った。

トラス面内方向成分の加速度波形の一例を図-2 に、高速フーリエ変換によるフーリエスペクトルを図-3 にそれぞれ示す。図-3 より、比較的健全な斜材同士では 140Hz 以上の高次モードで若干の振動数の相違が見られるもの

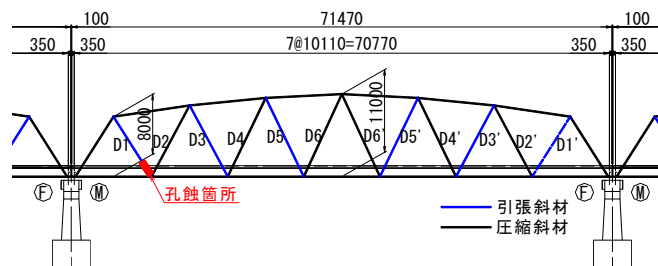


図-1 対象橋梁の側面図 (1 径間分のみ表示)



(a)第1 径間_上流側：健全 (s1-du1)
 (b)第1 径間_下流側：腐食 (s1-dl1)

写真-1 打撃試験の対象とした D1 斜材の一例

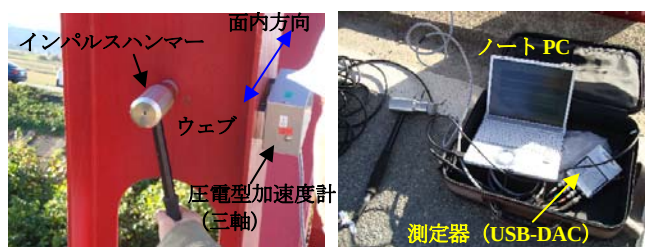
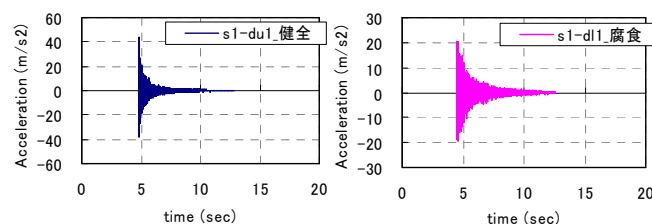


写真-2 打撃試験状況と計測システム



(a) s1-du1 : 健全 (b) s1-dl1 : 腐食

図-2 加速度波形の比較

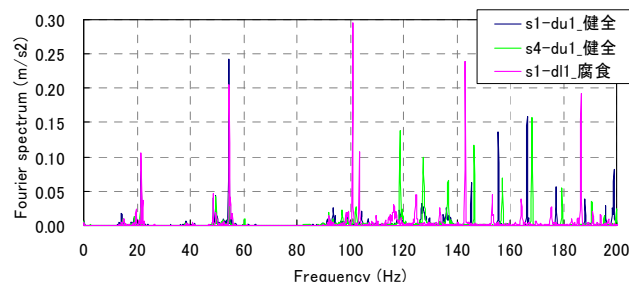


図-3 フーリエスペクトルの比較

キーワード 鋼トラス橋、打撃試験、振動計測、FEM 解析

連絡先: 〒170-0003 東京都豊島区駒込 3-23-1 大日本コンサルタント(株)保全エンジニアリング研究所 TEL 03-5394-7604 FAX 03-5394-7606

の、概ね一致しているが、腐食が進行した斜材では120Hz以上の高次モードで顕著に振動数の低下が見られる。ここでは示していないが、他の腐食斜材であっても同傾向となることを確認している。

4. FEM 解析による振動特性変化の分析

打撃試験により得られた高次モードの振動数の低下を理論面から考察するため、D1 斜材単独の FEM 固有振動解析を行った(図-4)。斜材はシェル要素でモデル化し、要素分割はフランジおよびウェブの幅方向を8分割とした。ガセット部は剛体はり要素を用いて剛域扱いとし、ピラミッド型で集約した節点の全自由度を完全拘束した。このような FEM モデルにより求めた主要な固有振動モードを図-5に示す。斜材の固有振動モードは、トラス面内・面外方向の曲げモードと、ねじれモード、フランジ・ウェブの板振動が卓越するモードに大別され、それらのモードが高次になるにつれて、腹、節の数が増えていくといった固有振動特性を示した。

次に、斜材が局所的に損傷した場合の振動数変化を理論的に把握するため、図-4に示すフランジの腐食と、ガセット近傍でのフランジの亀裂をモデル化した解析ケースを実施した。フランジの腐食は実際の断面欠損状態と同程度となるように、健全時の板厚 8mm に対して腐食範囲の残存板厚を 4mm とした。図-6は健全ケースと腐食ケースの固有振動数分布を、前述のモード種別に凡例を分けて示したものである。これを見ると、140Hz までの面内・面外曲げモード、ねじれモードおよび板振動モードには腐食による振動数変化がほとんど見られないが、140Hz 以上のねじれおよび板振動モードには顕著な振動数低下が確認できる。これは、図-3に示した打撃試験からのスペクトル特性の相違とも傾向が合っている。

健全と損傷状態との振動数の差を示した図-7を見ると、前述のとおり腐食のケースでは高次のねじれモード、板振動モードで 3Hz 以上の振動数の低下が見られる。一方、亀裂のケースでは腐食ほどの振動数の変化はないが、面内曲げモードで比較的变化が大きく、特に面内逆対称形のモードでは 2Hz 程度振動数が低下している。

5. おわりに

斜材の局部損傷による振動特性変化にはモード依存性があることを FEM 解析から捉え、実際の打撃試験から高次モードの振動数変化に着目した損傷検知の可能性が示唆された。今後は、簡単な打撃試験でねじれや板振動のモードを同定する方法について検討する予定である。

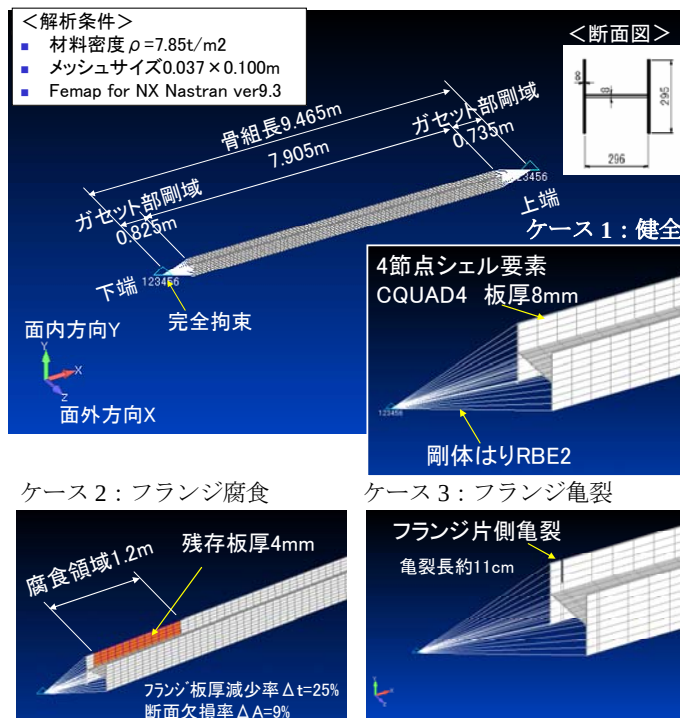


図-4 D1 斜材の FEM モデルと解析ケース

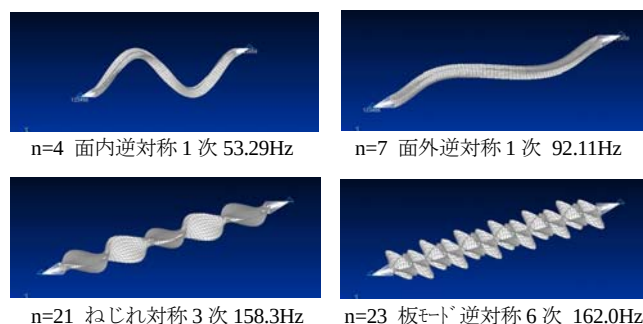


図-5 D1 斜材の主要な固有振動モード

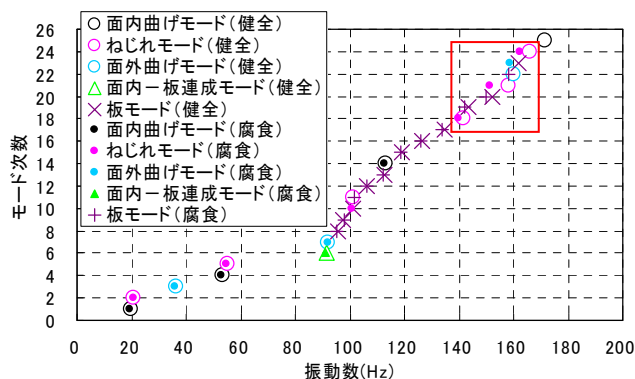


図-6 D1 斜材の固有振動数分布の比較

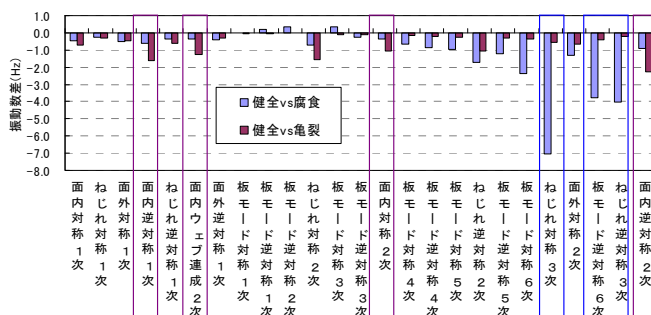


図-7 D1 斜材の健全と損傷状態との振動数差