

炭素繊維シート補強された鋼道路橋 RC 床版の損傷進行の把握技術

オリエンタルコンサルタンツ

正会員 ○古賀秀幸

オリエンタルコンサルタンツ

安倍 敦

東北大学

正会員

内藤英樹

1. はじめに

道路橋 RC 床版では、主に耐荷力不足等の対策として、床版下面を炭素繊維シート等の補強材で補強することが多い。補強後も定期的な点検等による経過観察が重要であるが、補強材で覆われた RC 床版下面は、ひび割れ、漏水・遊離石灰等の損傷を直接目視できず、点検における重要な課題となっている。

著者ら¹⁾は上記課題の解決策の一つとして、図 1 に示す小型加振機を用い、床版に局所的な振動を励起し、共振周波数(剛性)の低下により、床版内部の損傷程度を推定する試験手法(局所振動試験)を検討している。前稿²⁾では床版下面が炭素繊維シート補強された RC 床版の実橋試験を行い、本手法の適用性が確認された。その後も測定システム全体のコンパクト化等の改良や、健全性評価の体系化等を進めている。

本稿では 2 年前に実橋試験を行った橋梁に対し、改良した測定システムによる実橋試験を行い、損傷進行把握への適用性、改良した測定システムの作業性向上等の評価を行ったものである。

2. 実橋測定試験の概要

対象橋梁は河川を跨ぐ主要幹線道路の 3 径間連続鋼鈑桁橋で、橋長 101m (32m+36m+32m)、有効幅員 9.5m(2 車線)、床板厚 210mm、As 舗装厚 50 mm、格間寸法は約 5m×2m である。本橋は架設後 45 年経過し、床版は炭素繊維シートで補強されている。炭素繊維は床版下面の部分的な確認、滞水防止のため、写真 1 の様に格子状に貼り付けられている。

床版に遊離石灰やひびわれ等が見られる第 1 径間(全 24 格間)から、補強 13 格間、無補強 5 格間(無補強の確認)を対象にリフト車で床版下面に近接し、格間毎に 15 点(5×3 点)に対して上向き方向に局所振動試験を行った。なお、添架物がある格間のみ対象外とした。測定状況を写真 2 に示す。加振機は手で支持し、ボルト等の機械的な固定はしていない。手ぶれ防止と床版下面の不陸調整のため、厚さ 1 mm の両面テープを介し、加振機を床版下面に接触させ振動を与えた。

加振方法はホワイトノイズ¹⁾ (全ての周波数帯域で強度が均一なノイズ)によるランダム加振とした。加振時は、周波数帯域 2000~10000 Hz に渡って、加速度パワースペクトル密度 (PSD) を $1.2 (\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ に一定制御した。このとき、加振点の近傍に圧電式加速センサを設置し、5~10 秒程度の床版の周波数応答をタブレットにより収集後、FFT を用いた平均化処理を行い、床版の周波数毎の共振曲線(図 2)を得た。フーリエ解析の分解能は 12.5Hz である。

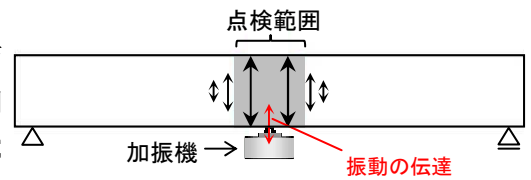


図 1 局所振動試験の概略図



写真 1 対象橋梁(桁下面)



写真 2 測定状況

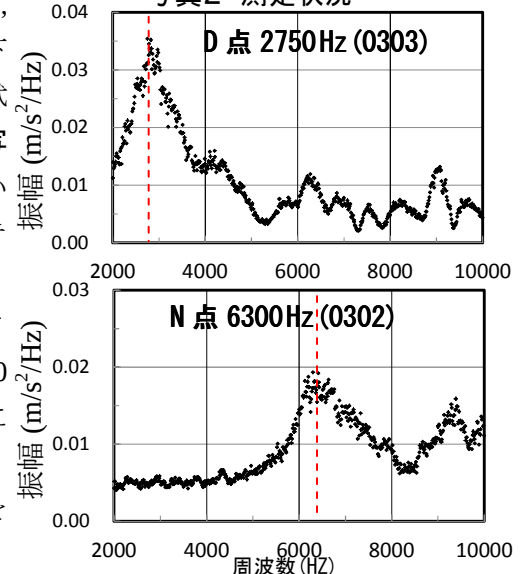


図 2 周波数応答曲線

キーワード：RC 床板、床版補強、振動試験、損傷マップ、橋梁点検

連絡先：〒980-0811 仙台市青葉区一番町 4 丁目 6-1 TEL: 022-215-5625 FAX: 022-215-5626

3. 実橋試験結果

(1) 共振周波数

試験結果の例として、測点 D (損傷箇所)、測点 N (健全箇所) の共振曲線を図 2 に示す。ここで振幅の最大点に対応する周波数を共振周波数と定義すると、測点 N は 6300Hz、測点 D は 2750Hz となる。仮定した共振周波数の計算値¹⁾は、6770 Hz となり、測点 N (6300 Hz) は計算値とほぼ等しく健全箇所、測点 D (2750 Hz) は計算値より著しく低下し、損傷箇所と判定される。また、測点 D 付近は、床版下面に漏水・遊離石灰が見られ、測定結果との相関が確認された。

(2) 共振周波数の分布と損傷の進行

床版下面の測定結果を図 3、損傷概要を図 4 に示す。図 3 は床版の劣化分布を示すが、測点毎のばらつきを含んでいる。分析は始めに全データ(第 2 径間を含む 345 個)の平均を求め、平均値から 20 % 以上離れたデータを破棄し、再度、残りのデータの平均を共振周波数の基準値 f_m (6628 Hz) とした。図 3 には、 f_m を基準に共振周波数比を色分け表示した。本手法による共振周波数比の測定精度⁴⁾ (95 % 信頼区間: 0.85~1.15) を参考に、0.85 以上を健全 (白色) とした。なお、共振周波数比の 2 乗は相対動弾性係数に相当し、赤色 (f/f_m : 0.5) は相対動弾性係数 25 %, 黄色 (f/f_m : 0.7) は 50 %, 緑色 (f/f_m : 0.85) は 70 % に概ね相当する。コンクリート標準示方書³⁾では、凍害に対する耐久性の観点から相対動弾性係数 70 % を最低値としており、本手法の共振周波数比 0.85 と対応している。

また、橋梁点検では床版格間毎に損傷度を評価しており、格間毎の劣化比率とその遷移イメージを表 1、損傷概要を図 4 に示す。橋梁点検ではひびわれの程度、遊離石灰の有無等で床版の損傷を評価するため、完全に一致しないが、図 4 に示すひびわれや遊離石灰箇所では実橋試験による劣化比率も高く、概ね傾向は一致する。

なお、前回試験と劣化比率(表 1 ①+②、()内は①の値)を比較すると床版格間 0303 は 7%(0%)→13%(13%)、0304 は 31%(8%)→33%(20%)とばらつきはあるが他格間も含め、図 4 の遊離石灰の様に損傷進行が確認される。

さらに、測定システムの無線化や手順整理等による作業性向上も図られ、345 測点に対し約 7 時間程度と測定から記録まで 1 箇所 1~2 分程度の所要時間であり、前回測定(70 測点で約 4 時間)の約 1/2 以下であった。

4. まとめ

炭素繊維シート補強により床版下面が目視できない道路橋 RC 床版の健全度、劣化進行等を調べるため、小型加振器を用いた実橋試験を行った。本試験では前回試験とほぼ同様の床版の損傷マップ(剛性分布)を示すことができ、劣化進行も把握できることがわかった。また、測定システムの改良により、作業性向上も図ることが出来た。ただし、測定結果のばらつきは、測定方法とデータ処理方法も含めて今後の課題である。

参考文献: 1) 杉山涼亮, 内藤英樹, 山口恭平, 早坂洋平, 鈴木基行: ランダム加振による RC 床版の非破壊試験法, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol. 15, pp. 471-476, 2015 2) 古賀秀幸, 安倍敦, 内藤英樹, 鈴木基行: 炭素繊維シート補強された道路橋 RC 床版の健全性点検技術, 土木学会第 71 回年次学術講演会, 2016 3) 土木学会: コンクリート標準示方書 設計編, 2012.

	01	02	03	04	05	06
01	1.09 0.93 1.02	0.97 0.92 1.12	1.07 0.75 1.11	0.85 0.91 0.92	0.65 0.32 0.90	0.99 0.91 1.11
02	0.98 0.92 1.13	0.87 0.94 0.89	1.04 0.35 0.68	1.02 0.83 0.95	1.14 0.36 0.94	1.09 1.07 1.06
03	0.94 0.90 1.04	0.88 0.88 0.93	0.92 0.87 1.06	0.96 0.87 0.94	0.70 0.31 0.98	0.94 1.16 0.77
04	1.01 0.96 1.14	0.94 0.93 1.03	0.89 0.95 0.39	0.99 1.18 0.99	1.00 1.13 0.93	1.13 1.03 0.86
05	0.93 0.88 1.14	0.87 0.92 1.07	1.10 1.07 0.79	1.00 1.04 0.92	1.14 1.17 0.91	0.97 1.10 1.00
06	0.88 0.88 0.96	0.96 0.92 0.94	0.99 1.01 1.11	0.83 1.08 0.35	0.94 1.11 0.91	0.87 0.94 0.86
07	1.11 1.09 0.89	0.95 0.94 0.97	0.97 1.04 0.70	0.51 0.98 1.02	1.10 1.14 1.01	0.87 0.37 0.87
08	0.96 0.95 1.17	0.98 0.96 1.08	0.99 0.90 1.14	0.96 1.12 0.64	0.51 1.11 1.18	0.31 0.87 0.32
09	0.76 0.95 0.39	0.96 1.02 1.07	1.10 1.08 0.42	0.88 0.97 0.32	0.36 1.08 1.08	0.34 0.55 0.70
10	1.18 0.75 0.32	0.96 0.92 1.13	0.77 0.88 0.43	1.03 0.38 1.11	0.45 1.15 0.52	0.31 0.76 1.10
11	1.07 0.69 0.88	1.11 0.57 1.07	0.90 1.10 1.00	0.80 0.94 0.92	0.90 0.82 1.09	1.17 0.96 1.10
12	1.16 0.78 1.08	0.75 1.09 0.37	1.18 1.05 0.88	1.11 1.10 1.07	0.93 1.10 1.11	1.01 1.18 1.03
13	0.83 0.77 1.12	0.91 0.31 0.68	0.94 0.85 0.84	1.14 1.04 0.97	0.95 1.18 1.11	1.02 1.10 0.97
14	0.98 0.85 0.87	0.97 0.49 0.75	0.76 0.89 1.08	1.10 1.00 0.93	1.02 0.77 0.95	0.61 1.07 0.85
15	1.02 1.04 0.88	0.71 1.10 1.13	0.91 1.06 0.93	0.89 1.03 0.67	0.91 0.98 1.04	1.11 0.91 0.96

図3 床版下面の損傷マップ

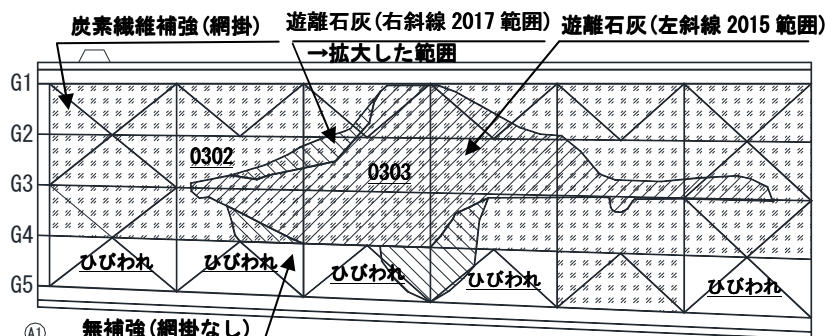


図4 床版下面の損傷概要図

表 1 実橋試験による床版の劣化比率とその遷移

第1径間格間No と測定年	赤色① 0-0.5	黄色② 0.5-0.7	緑色③ 0.7-0.85	白色④ 0.85-1.2	劣化箇所の 比率①+②
303 2017	13		13	73	13
303 2015		7	27	67	7
304 2017	20	13	7	60	33
304 2015	8	23		69	31
305 2017	13	13		73	27
305 2015		28		71	28
504 2017		7	7	87	7
504 2015				100	0
505 2017			13	87	0
505 2015				100	0
506 2017		7		93	7
506 2015				100	0