

### 炭素繊維シート補強された鋼道路橋 RC 床版の健全性点検技術(その2)

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  
 東北大学 学生会員 神宮裕作

#### 1. はじめに

昭和 30 年頃に架設された鋼道路橋 RC 床版では、床版の耐荷力不足や経年劣化への対策として、床版下面を炭素繊維シートや鋼板等で補強することが多い。補強済み箇所は再劣化の可能性があるため、補強後も定期的な点検等による経過観察が重要である。しかし、補強材で覆われた RC 床版下面は、ひび割れ、漏水・遊離石灰などの再劣化を直接目視確認できず、点検実施面での課題となっている。

著者ら<sup>1)</sup>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、床版に局所的な縦振動(重複反射波)を励起し、共振周波数により、床版内部損傷を評価する試験手法(局所振動試験)を検討している。前稿<sup>2)</sup>では連続鋼鈹桁橋による試験結果を報告した。本報告は床版下面を炭素繊維シート補強した単純鋼鈹桁橋に対し、実橋測定試験を行い、本手法の健全性点検技術への適用性を検討したものである。

#### 2. 実橋測定試験の概要

対象橋梁は、河川を跨ぎ主要幹線道に架かる多径間の単純鋼鈹成鈹桁橋で、平均支間長 31.2m、床版支間 3.2m、床板厚 180mm、アスファルト舗装厚 50 mm である。本橋は架設後 54 年が経過し、RC 床版の下面全体が炭素繊維シートで補強されている。炭素繊維シートは、床版下面の状況確認、滞水防止のため、**写真 1・2**に示すように格子状に貼られている。本試験の対象範囲では、ひび割れ、漏水、遊離石灰等が見られたが、炭素繊維シートの剥離等は見られなかった。

河川敷上で漏水等の損傷が見られる第 3・14 の二径間を対象に、第 3 径間は各格間 21 点(7×3 点)、第 14 径間は各格間 12 点(4×3 点)とし、リフト車で床版下面に近接し、上向き方向に振動試験を行った。添架物がある格間は対象外とした。測定状況を**写真 2**に示す。

加振器、加速度センサとも機械的な固定はせず、手で支持した。接触面の不陸と手ぶれ防止から両面テープ(0.8mm 厚)を着けた鋼製治具(新規製作)で、加振器を床版下面につけて振動を与えた。

加振はホワイトノイズ<sup>1)</sup>(全ての周波数帯域で強度が均一なノイズ)を用いたランダム加振とした。加振器は、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 1.25 (m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz に設定し制御した。この時の加速度波形の振幅の実効値 (RMS) は 100 m/s<sup>2</sup>となる。そして、加速度センサにより、5 ~ 10 秒間の床版の周波数特性を測定し、周波数応答曲線のデータとして保存した。その後、平均化処理等の解析を行った。

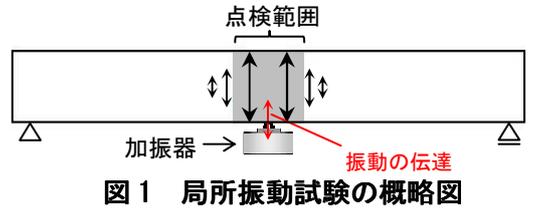


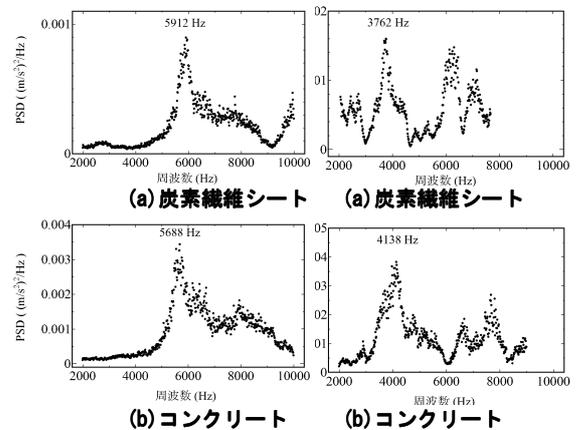
図 1 局所振動試験の概略図



写真 1 対象橋梁(桁下面より)



写真 2 測定状況(炭素繊維上)



① 間 0405 ② 格間 0306

図 2 周波数応答曲線の例

キーワード：RC 床板、炭素繊維シート補強、振動試験、損傷同定、損傷マップ

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

本試験は加振機とセンサの操作に2名、タブレット操作1名、計3名とした(写真2参照)。タブレットはwi-fi接続で、加振器操作とデータ取得を行っている。

0301 5475 6562 6125 6288 2888 6650 8375 4962 6625 8125 6400 6725 7850 6512 6775 5675 6850 6588 5150 6212 6962	0302 5800 4512 6050 6412 6650 6638 5738 4338 6250 5125 4400 6688 8588 3388 6800 6175 2875 6300 3850 6738 5412	0303 5525 2825 4400 6562 6738 5700 6462 6562 4900 6150 5825 6212 6012 6412 5925 6325 7162 5650 6625 5325 4162	0304 3025 4262 5200 5100 6100 5200 6200 5962 4500 5950 6075 5325 6212 6775 6838 6188 6262 6275 6100 5475 5962	0305 5150 5288 2012 6238 6062 7075 6325 6575 5712 5938 6638 6038 7050 6762 5900 2662 6025 4812 4300 4525 6625	0306 5450 5988 6538 5400 5150 6475 5512 4438 6262 5562 3762 6288 6025 4138 6262 2612 5012 6412 5962 3888 6275
0401 6900 6175 5738 6625 6275 5500 6538 6350 6450 6700 6112 6588 6288 6088 6150 6362 6788 5962 6425 6650 5362	0402 5575 5200 5412 6325 7112 6538 7388 6800 6150 6012 6400 6225 6938 6212 5862 6038 6100 6038 3600 6302 5950	0403 5350 5938 5325 6300 6075 5500 5988 5825 5900 5900 5950 5900 5850 5575 5862 5900 6038 5725 6438 6038 3050	0404 5525 5525 6450 6338 6212 5738 7188 6138 6038 5900 5950 5900 5888 5712 5825 6075 5575 5838 5975 5825 5425	0405 5888 5450 6100 6238 6025 6212 6250 5700 6138 5912 5950 6138 5688 5488 6175 6000 5875 5975 5350 6262	0406 4875 5525 6150 5850 5512 6575 5575 5350 6100 5762 5612 5975 5575 5338 6000 5512 5325 6425 5675 4900 5862

図3① 第3径間の共振周波数(Hz)

(単位: Hz)

0301 0.90 1.08 1.01 1.04 0.48 1.10 1.38 0.82 1.09 1.34 1.06 1.11 1.29 1.07 1.12 0.94 1.13 1.09 0.85 1.02 1.15	0302 0.96 0.74 1.00 1.06 1.10 1.10 0.95 0.72 1.03 0.85 0.73 1.10 1.42 0.56 1.12 1.02 0.47 1.04 0.64 1.11 0.89	0303 0.91 0.47 0.73 1.08 1.11 0.94 1.07 1.08 0.81 1.01 0.96 1.02 0.99 1.06 0.98 1.04 1.18 0.93 1.09 0.88 0.69	0304 0.50 0.70 0.86 0.84 1.01 0.86 1.02 0.98 0.74 0.98 1.00 0.88 1.02 1.12 1.13 1.02 1.03 1.04 1.01 0.90 0.98	0305 0.85 0.87 0.33 1.03 1.00 1.17 1.04 1.08 0.94 0.98 1.10 1.00 1.16 1.12 0.97 0.44 0.99 0.33 0.71 0.75 1.09	0306 0.90 0.99 1.08 0.89 0.85 1.07 0.91 0.73 1.03 0.92 0.62 1.04 0.68 1.03 1.06 0.43 0.85 1.06 0.98 0.64 1.04
0401 1.14 1.02 0.95 1.09 1.04 0.91 1.08 1.05 1.06 1.11 1.01 1.09 1.04 1.00 1.01 1.05 1.12 0.98 1.06 1.10 0.88	0402 0.92 0.86 0.89 1.04 1.17 1.08 1.22 1.12 1.01 0.99 1.06 1.03 1.14 1.02 0.97 1.00 1.01 1.00 0.59 1.05 0.98	0403 0.88 0.98 0.88 1.04 1.00 0.91 0.99 0.96 0.97 1.01 0.95 0.93 0.97 0.92 0.97 0.97 1.00 0.94 1.06 1.00 0.50	0404 0.91 0.91 1.06 1.05 1.02 0.95 1.19 1.01 1.00 0.97 0.98 0.97 0.97 0.94 0.96 1.00 0.92 0.96 0.99 0.96 0.89	0405 0.97 0.90 1.01 1.03 0.99 1.02 1.03 0.94 1.01 0.98 0.98 0.98 1.01 0.94 0.91 1.02 0.99 0.97 0.99 0.88 1.03	0406 0.80 0.91 1.01 0.97 0.91 1.08 0.92 0.88 1.01 0.95 0.93 0.99 0.92 0.88 0.99 0.91 0.88 1.06 0.94 0.81 0.97

図3② 第3径間の共振周波数比(f/fm)

表1 実測に基づく共振周波数の基準値

対象径間	測点数	実測に基づく共振周波数の基準値fm(Hz)	理論式に基づく共振周波数fo(Hz)
第3径間	252	6062	6849
第14径間	144	6560	

表2 共振周波数比を指標とした損傷箇所数の割合

対象径間	赤色 0.0~0.5	黄色 0.5~0.7	緑色 0.7~0.85	合計 0.0~0.85
第3径間	5.2%	3.6%	2.4%	11.1%
第14径間	4.2%	4.9%	0.7%	9.7%

(1)周波数応答による損傷評価  
振動試験による測定例として、第3径間格間0405の共振曲線を図2①に示す。本試験により、炭素繊維シート及びコンクリート

面で、同様の共振周波数が測定された。この結果は、炭素繊維シート面から振動を与えても、コンクリート床版に生じた損傷の有無、程度が評価可能なことを示している。

(2)損傷箇所の推定

床版の共振周波数を、1次元の縦振動の共振周波数として概算<sup>1)</sup>する。対象橋梁は床版厚180mm、舗装厚50mmで、コンクリートとアスファルトの見掛けの音速として750m/sと2000m/sを仮定すると、共振周波数は6849Hzとなる。図2①の共振周波数は(a)5912Hzと(b)5688Hzと概算式よりやや低い。

さらに、図2②の第3径間格間0306の共振周波数は3800~4100Hz程度と低く、損傷箇所と推定される。このような損傷箇所も炭素繊維シート面(a)とコンクリート面(b)で同程度の共振周波数が得られた。

(3)共振周波数の分布(共振周波数比による床版の損傷マップの作成)

対象径間毎に全データの平均値を求め、平均値から20%以上離れたデータ除き、残りの平均値を共振周波数の基準値fmとした。このfm(表1参照)は床版の平均剛性である。第14径間の基準値fmは6600Hz程度で概算式(6849Hz)と概ね一致した。しかし、第3径間の基準値fmは6062Hzと他径間に比べ低い値であった。

測定例として第3径間の測定箇所と測定結果を図3に示す。基準値fmに対する共振周波数比f/fmを色分け表示し、床版の損傷マップを相対的に示した。コンクリート標準示方書<sup>3)</sup>では、凍害に対する耐久性の観点から相対動弾性係数(剛性)70%を最低値とし、共振周波数比0.85に相当する。さらに測定のばらつきも勘案し<sup>3)</sup>、共振周波数比0.85を閾値とした。また、剛性25%と50%に相当する共振周波数比として、0.5(赤色)と0.75(黄色)に区分した。共振周波数比f/fmを指標とした損傷箇所の割合を表2に示す。第3径間は全体的な剛性は低い(共振周波数の基準値が低い)が、顕著な損傷は見られない。また、第14径間も同傾向であった。

4. まとめ

炭素繊維シートにより床版下面が目視できない道路橋RC床版の健全度を調べるため、小型加振器を用いた健全性診断技術による実橋試験を行った。本試験から床版の損傷マップ(剛性分布)を示すことができ、改めて炭素繊維上からも損傷を把握出来ることを確認した。なお、計測結果の検証は課題である。また、本試験は前稿から治具の改良、測定機器の無線化・小型化による測定作業の軽減や現場対応の向上が特徴である。今後も道路橋RC床版の実橋試験・分析を重ね、計測機器・方法の合理化・簡素化を図り、実用化に繋げる所存である。

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鋼道路橋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. 4) 土木学会: 材料劣化が生じるコンクリート構造物の維持管理優先度研究小委員会 委員会報告書, コンクリート技術シリーズ, 110, 2014