

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

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	学生会員	諸橋拓実
東北大学	正会員	内藤英樹
東北大学	フェロー	鈴木基行

1. はじめに

道路橋 RC 床版では、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されることが多い。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・遊離石灰などの損傷を直接目視点検できず、点検における課題となっている。

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、床版に局所的な縦振動(重複反射波)を励起し、共振周波数の低下により、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²⁾では鋼板接着補強による試験結果を報告した。本報告は、炭素繊維シート補強した鋼鈑桁橋 RC 床版に対し、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、河川を跨ぐ主要幹線道の3径間連続鋼鈑桁橋で、橋長101m(32+36+32)、有効幅員9.5m(上り2車線)、床板厚210mm、アスファルト舗装厚50mmである。本橋は架設後43年経過し、RC床版の損傷の著しい格間を炭素繊維シートで補強している。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2のように格子状に貼り付けられている。本試験の対象範囲では、ひび割れや漏水、遊離石灰等の損傷が見られたが、炭素繊維シートの剥離は見られなかった。

床版に遊離石灰が見られる第1径間から、補強5格間、無補強2格間(無補強状態の確認から)を抽出し、格間毎に15点(5×3点)を基本に、リフト車により床版下面に近接し、上向き方向に局所振動試験を行った。なお、添架物等がある箇所は測定していない。測定状況を写真2に示す。加振機は手で支持し、機械的な固定はしていない。手ぶれ防止などのため、厚さ1mm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。本試験の加振は、周波数帯域2000~10000 Hzのパワースペクトル密度(PSD)を $1.2 \text{ (m/s}^2\text{)}^2/\text{Hz}$ に制御したホワイトノイズ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。

このとき、加速度波形の振幅の実効値(RMS)は 96 m/s^2 である。5~10秒程度の床版の応答を測定し平均化処理後、周波数応答曲線のデータを保存し、解析した。なお、この加振方法では、多くの周波数成分の正弦波を足し合わせて同時に加振するため、測定時間を短縮できるメリットがある。

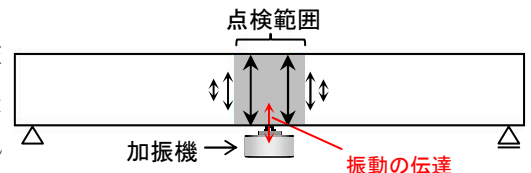


図1 局所振動試験の概略図



写真1 対象橋梁(桁下面)



写真2 測定状況

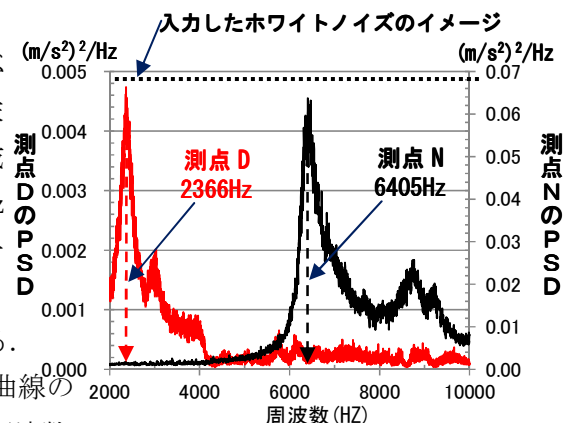


図2 周波数応答曲線

キーワード：RC 床版，炭素繊維シート補強，振動試験，損傷同定，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. 実橋測定試験結果

(1) 損傷と周波数応答曲線

測定した周波数応答曲線の例として、測点 D (損傷箇所)、測点 N (健全箇所) を図 2 に示す。さらに、共振周波数の低下が見られる測定 D の床版下面と橋面の状況を写真 3、4 に示す。

コンクリートとアスファルト内の伝播速度を 3750 m/s と 2800 m/s に仮定した共振周波数の計算値¹⁾は、6770 Hz であった。

このため、測点 N (6405 Hz) は計算値とほぼ等しく健全箇所、測点 D (2366 Hz) は計算値と比較し著しく低下しており、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・漏水・遊離石灰、遊離石灰、橋面には舗装の補修跡が見られ、測定結果との相関が確認された。

(2) 共振周波数の分布

床版下面の測定箇所を図 3、測定結果を図 4 に示す。測定は、70 測点に対し 4 時間程度を要した。データ分析は、始めに全データ(70 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 (6140 Hz) とした。図 4 は、 f_m を基準に共振周波数比を色分けして表示したものである。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(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⁴⁾、共振周波数比 0.85 を閾値と考えた。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。図 4 より、走行車線と追越車線の間に位置する G2-G3 間の床版(繊維シート補強あり)では、支間中央付近に共振周波数の低下が見られた。しかし、路肩側の G4-G5 の無補強床版では、共振周波数の低下は見られなかった。

4. まとめ

道路橋 RC 床版の健全度を調べるため小型加振機を用いた測定結果を基に、健全性診断技術による実橋試験を行った。提案する技術は、炭素繊維シート補強によって床版下面が目視点検できない事例に対して、局所加振試験・分析により、床版の剛性分布(共振周波数比による損傷マップ)を示すことができた。本手法は、軽量小型加振機の使用とホワイトノイズを用いたランダム加振により、測定時間の短縮を図ったことが特徴であり、車両走行の振動影響下でも測定結果は乱れることなく、桁下から床版の点検(振動計測)が実施できた。

今後も道路橋 RC 床版の実橋計測試験・分析を重ね、データと損傷レベルの整合、床版厚毎の標準的な閾値や具体的な損傷推定等の解決、さらに測定方法・機器の合理化・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: 鋼板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 70 回年次学術講演会, 2015 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

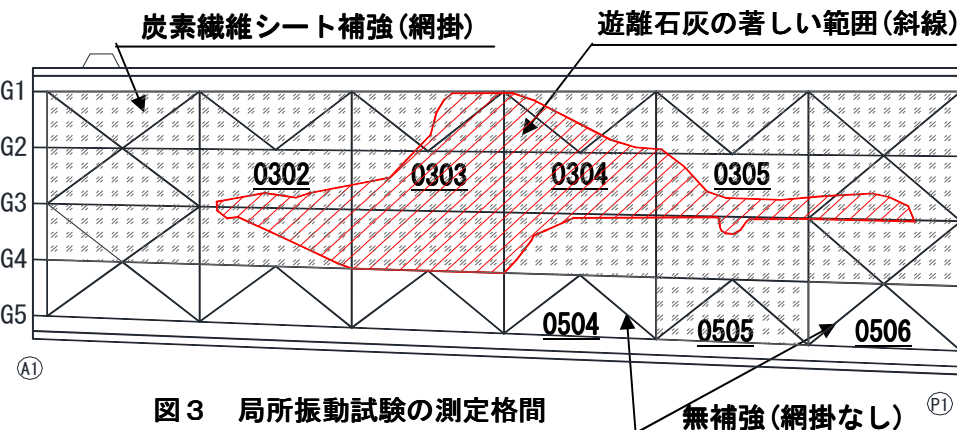


図 3 局所振動試験の測定格間

0302					0303			0304			0305		
1.05	1.05	1.09	1.03	0.89	0.71	0.51	0.99	0.60	-	1.10			
1.04	1.05	1.06	1.03	0.82	1.27	-	-	1.05	-	1.11			
1.06	1.05	1.06	1.05	0.70	1.21	0.87	0.90	0.90	0.65	1.09			
1.07	1.04	-	1.01	1.05	0.62	1.26	0.90	0.39	0.65	0.97			
1.00	1.07	-	1.07	1.04	0.76	0.90	1.28	0.63	1.09	-			

測点N

健全
↑
↓
損傷

→0.85以上

→0.7以上0.85未満

→0.5以上0.7未満

→0.5未満

0504

測点D

0505

0506

-	0.97	-
0.82	1.27	0.95
0.92	1.08	0.91
-	1.09	0.89
0.90	1.01	0.89

床版格間番号

測点 N

健全

↑

損傷

↓

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

損傷

図 4 床版の損傷マップ(共振周波数比の分布)



写真 3 床版下面状況(0304)

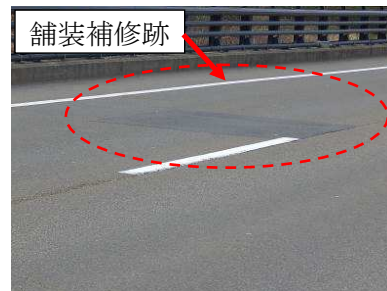


写真 4 橋面状況(0304)