

局所的な共振周波数の測定に基づく RC 床版供試体の損傷評価

ネクスコ・エンジニアリング東北 正会員 ○黒澤 由樹
 ネクスコ・エンジニアリング東北 正会員 阿部 公一
 東北大学 正会員 内藤 英樹

1. はじめに

道路橋 RC 床版は上面が舗装によって覆われているため、床版内部の損傷が外観変状に表れにくく、ポットホールなどの舗装の異常が発見される頃には、床版上面の土砂化が広範囲に生じている事例もある。このような目視困難箇所の点検に非破壊試験の活用が期待されているが、弾性波や電磁波を用いた既存の手法は構造物表面付近の変状を捉えるものが多い。そこで、図-1 に示すように加振器を用いて床版の局所的な共振を励起し、共振周波数(剛性)の低下によって構造物内部の損傷を推定する局所振動試験に着目した。本研究では、模擬損傷を与えた RC 床版供試体の局所振動試験を行い、道路橋 RC 床版の点検への適用性を検討した。

2. 模擬損傷を与えた RC 床版供試体の局所振動試験

RC 床版供試体の外観と概略図を写真-1 と図-2 に示す。供試体寸法は長さ 5 m × 幅 2.3 m であり、厚さ 250 mm の RC 床版の上に、厚さ 75 mm の透水性舗装が転圧されている。また、供試体の半分の範囲は、床版と舗装の間にそれぞれ塗布系とシート系の防水工が施されている。そして、図-2 の 8 箇所には予め床版上面から模擬損傷を与えられており、その上に舗装が転圧されている。局所振動試験は、写真-1 に示すように舗装上から行った。長さ方向および幅方向ともに床版中央を起点として 300 mm 間隔で測定した。本検討では、実験の再現性を確認するために、1 回目の測定(119 測点)を終了した後に 2 回目の測定も行った。加振方法はホワイトノイズを用いたランダム加振¹⁾とした。加振器の基本設定は、周波数帯域 500~7000 Hz に渡って加速度パワースペクトル密度(PSD)を $1.5 (\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ に制御した。このとき、加速度時刻歴波形の振幅の実効値(RMS)は 100 m/s^2 程度である。加振点付近に加速度センサを貼付して、床版厚さ方向の周波数応答特性を測定した。

床版中央で測定した周波数応答曲線を図-3 に示す。振幅が最大となる周波数を共振周波数と定義し、図中の共振周波数 3680 Hz が得られた。実験結果を図-2 に併せて示す。1 回分(119 測点)の測定に 30 分程度を要した。1 測点あたり、移動、測定、データ保存まで含めて 15 秒程度である。データ整理は、119 測点 × 2 回分の実測データを用いて共振周波数の平均値を求め、その平均値から 20% 離れるデータを破棄し、再度、残りのデータから平均値 f_m を求めた。そして、各測点の共振周波数 f を f_m で除した共振周波数比 f/f_m を指標として、図-2 の分布図を作成した。図の共振周波数比は便宜的に、0~0.5 を赤色、0.5~0.7 を黄色、0.7~0.85 を緑色、0.85 以上を白色で表示した。これまでの基礎検討によって、床版内部の空隙長さ²⁾と共振周波数の関係は、概ね線形式に則ることを確認している²⁾。

$$\frac{f}{f_0} = 1 - \frac{D}{2L} \quad (1)$$

$$D = \sqrt{D_x D_y} \quad (2)$$

ここで、 f は共振周波数、 f_0 は健全状態での共振周波数、 f/f_0 は共振周波数比、 L は床版厚さ、 D は空隙長さ、 D_x と D_y は空隙の長辺および短辺の長さであり、それぞれ回折限界 $2L$ を上限とする。舗装は別途検討が必要であるが、ここでは簡易に舗装厚さも加えた床版厚さ $L = 325 \text{ mm}$ を式(1)に代入した。模擬損傷箇所の共振周波数比の計算値は、No.①~③と⑥~⑧が 0.23、No.④⑤が 0.32 となった。

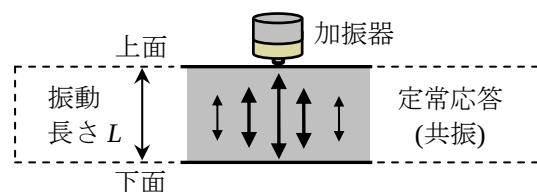


図-1 局所振動試験の概略図

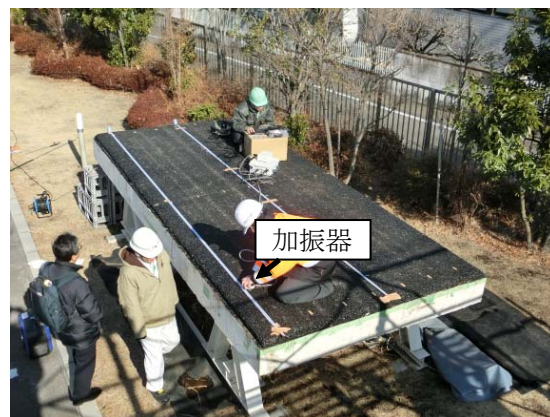
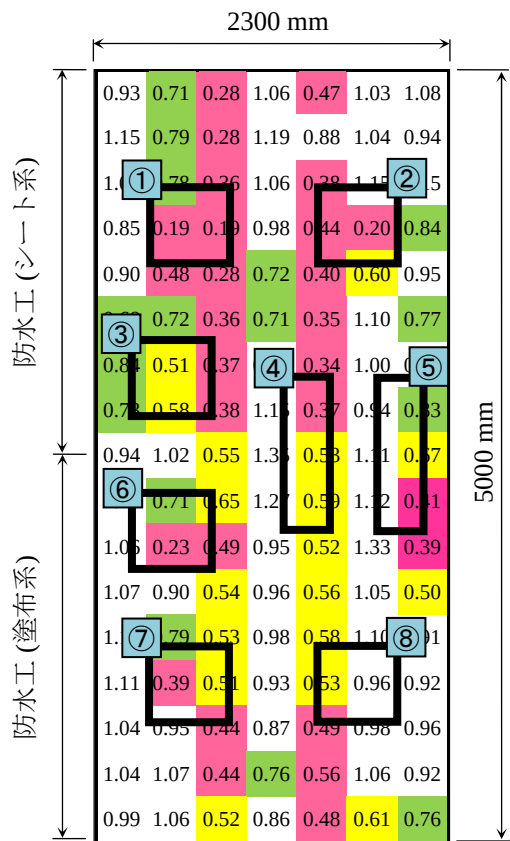


写真-1 RC 床版供試体の測定状況

キーワード：RC 床版，振動試験，損傷同定

連絡先：〒980-0013 仙台市青葉区花京院 2-1-65 TEL：022 (713) 7317 FAX：022 (263) 1422



No.	模擬損傷の形態：損傷長さ	損傷厚さ (mm)
①	土砂化 A：500 mm × 500 mm (コンクリートを細かく粉砕したもの)	70
②	土砂化 B：500 mm × 500 mm (コンクリート割ったもの)	40
③	ひび割れ：500 mm × 500 mm (0.5, 1, 2, 3, 5 mm)	70
④	浮き：300 mm × 1000 mm (かぶり 20 mm, 浮き 0.5 mm)	---
⑤	空洞：300 mm × 1000 mm (かぶり 20 mm, 空洞 20 mm)	---
⑥	土砂化 A：500 mm × 500 mm (コンクリートを細かく粉砕したもの)	70
⑦	土砂化 B：500 mm × 500 mm (コンクリート割ったもの)	40
⑧	ひび割れ：500 mm × 500 mm (0.5, 1, 2, 3, 5 mm)	70

図-2 RC床版供試体の概略図および共振周波数比の分布 (実測結果)

図-2 では床版の広範囲に渡って共振周波数比の低下が示された。表-1 の模擬損傷を個別に参照すると、土砂化を模擬した No.①②⑥⑦では共振周波数比が 0.18~0.39 まで低下しており、式 (1) との整合性が示された。表より、本手法は土砂化を模擬した損傷に対して妥当性が示されたが、その他の損傷形態に対する適用性は見出せなかった。なお、図-2 では損傷のない箇所でも共振周波数の低下が示された。図-1 の局所振動試験は、床版厚さ L の 2 倍の波長を用いた調査方法であり、模擬空隙が近接する場合には波の回折の重ね合わせによって、健全箇所でも共振周波数が低下したと推察された。本手法は損傷同定の分解能が低いため、健全箇所でも近接する損傷の影響を受ける。しかし、膨大な測点数におよぶ道路橋 RC 床版の点検において、近接する損傷も捉えられることは効率化に繋がる。また、図-2 の塗布系とシート系の防水工による実験結果の差異はなく、透水性舗装の上からでも共振周波数が測定できた。

3. まとめ

RC 床版供試体の局所振動試験では、土砂化を模擬した損傷に対して損傷評価の適用性が示された。本手法は近接する損傷も剛性低下として捉えられる可能性があり、今後も 3 次元波動解析や振動解析による検討を行い、点検・評価の高度化に繋げていく。

参考文献：1) 杉山涼亮ほか：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) 内藤ほか：局所振動試験に基づく道路橋 RC 床版の内部損傷評価，土木学会論文集 E2，2017. (印刷中)

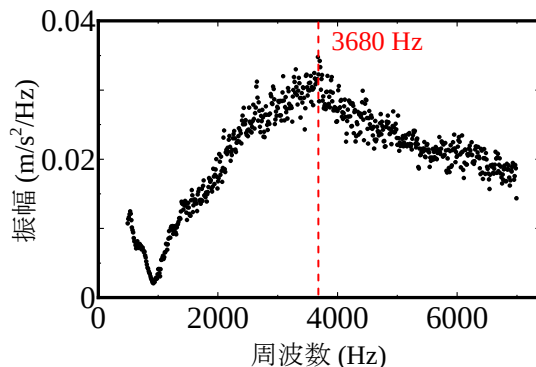


図-3 周波数応答曲線

表-1 損傷箇所における共振周波数比

模擬損傷の形態	実測値		計算値
	1 回目	2 回目	
① 土砂化 A	0.19	0.18	0.23
② 土砂化 B	0.20	0.23	
③ ひび割れ	0.51	0.67	
④ 浮き	0.58	0.71	0.32
⑤ 空洞	0.67	0.85	
⑥ 土砂化 A	0.23	0.22	0.23
⑦ 土砂化 B	0.39	0.39	
⑧ ひび割れ	0.96	0.97	