

実走行作用を考慮した輪荷重走行試験による道路橋 RC 床版の損傷度評価

日本大学工学部 学生会員 ○小野 貫太郎 正会員 前島 拓 フェロー 岩城 一郎
 一般社団法人 首都高速道路技術センター 正会員 青木 聡 正会員 水谷 亮勝
 日揮株式会社 正会員 門 万寿男 正会員 吉村 直樹

1. 目的

道路橋 RC 床版は交通作用の繰返しによりひび割れが発生し、そこに雨水が浸入することで損傷が促進され急激な破壊に至る。今後、膨大な道路橋 RC 床版を適切に維持管理していくには、床版の損傷度を早期に検知し、適切な時期に補修・補強を行う必要がある。当研究室ではこれまでに、構造物の常時モニタリングに有効な光ファイバセンサを用いて、床版の損傷度評価手法について検討を進めてきた。その結果、床版下面に設置した光ファイバセンサにより得られるひずみ振幅(最大ひずみと最小ひずみの差)が、従来の評価指標である活荷重たわみやひび割れ密度、共振周波数比と高い相関があることを明らかにした。しかし、既往の輪荷重走行試験では、高荷重レベル(98kN)からの段階荷重方式が採用されており、実橋に作用する荷重レベルにおいて、補修時期の選定に必要な段階でのひずみ応答について十分な検討がなされていない。そこで本研究では、実橋で作用する荷重を模擬した新たな輪荷重走行試験方法を考案し、床版の損傷度に応じた低荷重レベルのひずみ応答を評価することで、光ファイバセンサによる RC 床版の損傷度評価方法について実験的に検討した。

2. 実験概要

図-1 に供試体概要を示す。本実験に使用した供試体は水セメント比 64%の複鉄筋 RC 床版(3000×2000×160mm)であり、床版下面中央に長さ 1m の光ファイバセンサを十字に設置した。また、図中の青線範囲内に常時水を湛水させた状態で試験を行った。計測項目は、床版のたわみ、床版下面のひび割れ密度、強制振動試験による共振周波数、光ファイバセンサによる縦横断方向のひずみである。図-2 に載荷プログラムを示す。本実験での載荷プログラムは実橋における実走行荷重作用を模擬した段階荷重方式を採用した。STEP1 では 10kN から 90kN まで 10kN ずつ漸増させ、各荷重で 100 回走行させた後、98kN 載荷でひび割れ密度が 4.0m^2 に到達するまで試験を継続し、その後は同サイクルをひび割れ密度が 2.0m^2 程度増加した段階で繰返し実施した。なお、STEP1-1 で計測機器の不備により 60kN~80kN のデータが取得できていなかったことから、STEP1-2 のみ、50kN から載荷を開始している。STEP2 については段階載荷後に 127.4kN で 5 万回走行させ、STEP3 では段階載荷後に 156.8kN で床版が疲労限界状態に至るまで試験を行った。STEP4 は疲労限界状態での段階載荷を行い、各荷重レベルでのひずみ応答を計測した。

3. 実験結果及び概要

図-3 に各損傷度で 98kN を載荷した 1 往復分のひずみ波形を示す。図より、損傷度が進行するに伴いひずみが増加する傾向であり、特に疲労限界後(STEP4)では、ひずみの増加が顕著であった。図-4 に各荷重で 100 回走行させた際の最大ひずみ振幅を示す。図より、センサのキーワード 光ファイバセンサ、輪荷重走行試験、レインフロー解析

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地 日本大学工学部 TEL 024-956-8721

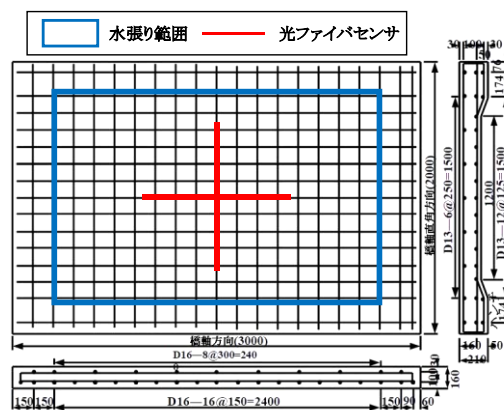


図-1 供試体概要

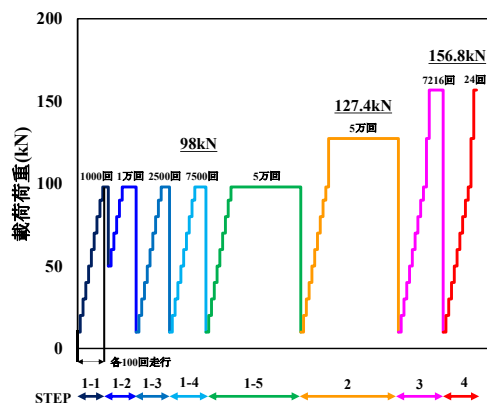


図-2 載荷プログラム

方向によりひずみの大きさに差があるものの、いずれも STEP の進行に伴い各荷重に対する最大ひずみ振幅が増加する傾向であり、最大ひずみ振幅により、床版の損傷度が評価可能であることが示唆された。図-5 に 50kN 載荷時における橋軸方向ひずみのレインフロー解析結果を示す。レインフロー解析とは、応力やひずみ振幅の大きさを任意の範囲ごとにカウントする頻度計数法の一つである。分析波形は各段階載荷時で 3 分間動的に計測したひずみである。なお、ひずみ範囲は 5μ 毎に区別した。図より、低ひずみ範囲の頻度は STEP の進行につれて増加する傾向はない。一方で、最大ひずみ範囲(赤線部)に着目すると、STEP の進行に伴い漸増する傾向であった。図-6 に加重平均と載荷荷重の関係を示す。なお、加重平均は前述したレインフロー結果を用いて、以下の式(1)により算出した。

$$\mu_w = \frac{\sum_{i=1}^N w_i x_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (1)$$

ここで、 μ_w : 加重平均、 w_i : 頻度数、 x_i : ひずみ範囲である。なお、本研究ではレインフロー結果で大量に出現した 5μ のひずみ範囲を試験装置の振動によるものと判断し、これを除いたもので加重平均を算出した。図より、加重平均は STEP の進行に伴い増加する傾向であった。また、健全状態(STEP1-1)と RC 床版の補修判断基準として用いられるひび割れ密度 4.0m/m² に到達した STEP1-3 以降では、20kN 程度の低荷重レベルにおいても加重平均の値に乖離が認められ、加重平均を求めることで、RC 床版の補修時期を判断可能であることが示唆された。

4. まとめ

本研究では、光ファイバセンサによる RC 床版の損傷度評価手法について実験的に検討した。その結果、床版の損傷が進行するに伴って各荷重に対する最大ひずみ振幅が増加することを明らかとし、車両通行時の最大ひずみ振幅から床版の損傷度が評価可能であることを示した。また、動的に計測したひずみをレインフロー分析して加重平均を求めることで、床版の補修が必要となるタイミングの変化点を捉えられる可能性が示唆された。今後はランダムに荷重が生じた際の適切な評価方法について検討を進めるとともに、実高速道路橋におけるひずみ応答について検証していく予定である。

参考文献 1) 門万寿男ら(2015):長尺ストランドセンサを用いた道路橋 RC 床版の疲労損傷度評価手法に関する研究, 土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造), Vol.71, No.4, pp323-327

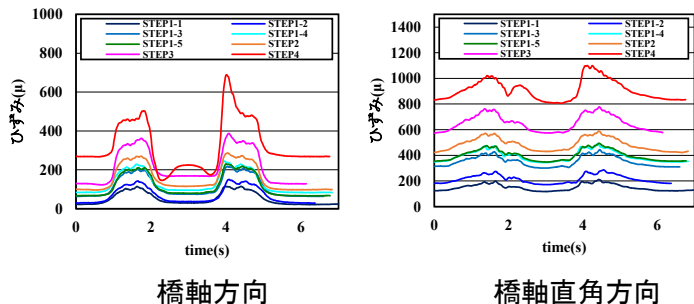


図-3 各損傷度のひずみ波形 (98kN 載荷時)

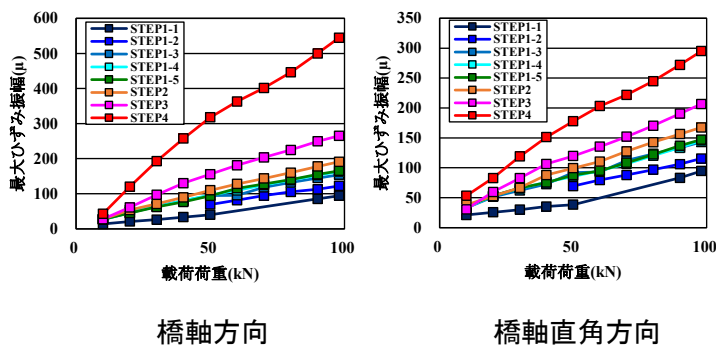


図-4 最大ひずみ振幅と各載荷荷重の関係

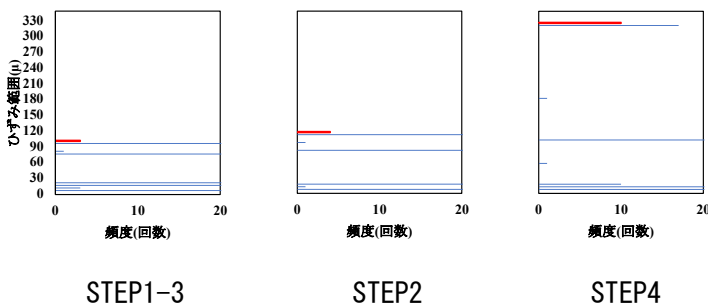


図-5 50kN 載荷時のレインフロー結果 (橋軸方向)

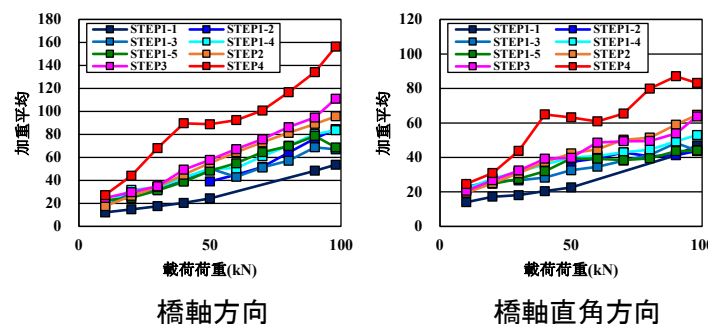


図-6 加重平均と各載荷荷重の関係