

(別紙2)

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書

1. 研究課題名 小型加振器を用いた道路橋 RC 床版と踏掛版の健全性評価

2. 研究期間 平成 24 年度～平成 26 年度

3. 代表者及び研究代表者、共同研究者

代表者	鈴木 基行	東北大学・教授
研究代表者	鈴木 基行	東北大学・教授
共同研究者	久田 真	東北大学・教授
	皆川 浩	東北大学・准教授
	内藤 英樹	東北大学・准教授
	岩城 一郎	日本大学・教授
	子田 康弘	日本大学・准教授
	村越 潤	土木研究所・上席研究員
	石田 雅博	土木研究所・上席研究員
	高橋 実	土木研究所・主任研究員

4. 補助金交付総額 34,370,000 円

5. 研究・技術開発の目的

社会基盤施設の劣化対策として、小型加振器を用いたコンクリート構造物の非破壊検査技術を新たに開発し、その実用化に向けた検討を行う。本研究では、特に道路橋を対象として RC 床版と踏掛版の点検・評価について重点的に検討する。RC 床版では疲労による損傷状態の把握と性能評価、踏掛版では構造物の健全性評価と踏掛版背面の土砂の空洞探査について提案技術の適用可能性を検討し、加振条件と測定精度、健全性判定に用いる指標と閾値について整理する。

6. 研究・技術開発の内容と成果

本研究では、RC 床版の健全性評価、踏掛版の健全性評価、道路橋の現場試験の 3 つの検討項目を進めている。それぞれの内容と成果について、以下に概要を示す。

RC 床版の健全性評価

加振器を用いて床版厚さ方向の縦振動を励起させることで加振器周りの局所的な動的応答を測定し、共振周波数(剛性)の低下に基づいて構造物内部のコンクリートひび割れを検知する点検方法を提示した。

この試験方法を用いて、i) 模擬空隙を埋め込んだ RC 床版供試体の点検・調査、ii) RC 床版供試体の輪荷重走行試験、iii) 道路橋から採取した実 RC 床版の振動試験と解体・調査を実施し、以下の成果が得られた。

- 提案する振動試験の検査範囲や測定精度、入力と応答の関係、理論との整合性などを整理した。
- 床版上面にアスファルト舗装がある場合や、床版下面が鋼板や炭素繊維シートによって補強された場合でも、これら舗装や補強材の上から小型加振器を用いて点検可能であり、床版内部の疲労損傷や再劣化によるひび割れを検知できることが示された。
- 輪荷重走行試験では、床版供試体の水張りの条件や初期劣化状態に依らず、共振周波数の低下率(共振周波数比)を指標として床版の損傷状態を評価できた。特に、疲労損傷が急速に進展する前段階の損傷が検知できるため、時間的余裕をもって対策に繋げることができる。

- 道路橋から採取した撤去床版の振動試験と解体・調査結果より、床版内部の水平ひび割れの性状と共振周波数比との関係が整理できた。このような共振周波数とひび割れ性状の関係を基にして、共振周波数の測定値から床版の損傷状態を把握することができる。

踏掛版の健全性評価

踏掛版下面の地盤条件をパラメータとした供試体の振動試験を行った。その結果、土砂の有無に依らず、踏掛版の共振周波数を得ることができた。共振周波数の測定精度についても、土砂の影響は見られず、床版と同じ方法によって踏掛版の健全性評価が可能になると考えられる。下面から点検できない踏掛版の他にも、水路、擁壁、橋台などの土砂が接しているために点検できない構造物に対しても提案技術は適用可能であり、点検・調査の高度化に大きく貢献できる成果が得られた。

道路橋の現場試験

3年間で6橋の道路橋の現場試験を行った。これまでの現場試験での課題を整理し、さらなる技術の向上に取り組んだ。得られた成果を以下に列挙する。

- 道路橋の点検・調査に必要な加振条件と機器類の仕様を定めることによって、最大加振力 50N、質量 1.8kg の軽量小型加振器の開発に成功した。さらに計測機器類の軽量化や配線の軽減にも努め、現場作業性を向上させることができた。
- 版、桁、柱を含めた部材寸法と測定データを整理し、最大加振力 50N の加振器を用いて、厚さ 150mm の歩道橋スラブから長さ 20m の桁まで適用可能であることを確認した。このとき加振器の周波数範囲は 100 ~ 15000Hz である。
- 健全箇所の現場試験データを整理し、測定精度のばらつきを明らかにした。
- ホワイトノイズを与える加振方法を検討することによって、1 測点あたりの測定時間を研究開始当初の 1/4 程度まで短縮できた。現在では、測点の移動、加振器の設置、振動試験の開始、データ処理、再現性の確認、データ保存までを 1 測点あたり 15 秒程度で行うことができる。
- 道路橋の現場試験では、1 径間に対して 200 ~ 300 点程度の測定を行い、橋梁の損傷マッピングと剛性分布を示すことができた。特に、ホワイトノイズを用いた加振方法は 1 日に 1 径間分の測定データが得られるなど、研究開始当初と比較して格段の進歩が見られた。
- このような剛性分布を FEM の入力値とし、材料構成則を適切に与えれば、従来の構造解析方法によって劣化・損傷した道路橋 RC 床版の使用性や安全性を照査することができる。このように提案技術は、補修設計や維持管理の高度化に繋がるものと期待される。

7. 研究成果の刊行に関する一覧表

査読付き論文 他にも、成果の速報版として、学会での口頭発表 - を含めた。

刊行書籍又は雑誌名（雑誌のときは雑誌名、巻号数、論文名）	刊行年月日	刊行書店名	執筆者氏名
コンクリート工学年次論文集、Vol.36、No.2、pp.781-786、強制加振試験による RC 部材の曲げひび割れの検知	2014 年 7 月 9 日	日本コンクリート工学会	内藤英樹・長谷川俊・上田博之・鈴木基行

構造工学論文集、Vol.61A、pp.777-787、共振周波数の低下に着目した実道路橋 RC 床版の疲労損傷度評価	2015年3月	土木学会	前島拓・内藤英樹・子田康弘・岩城一郎・鈴木基行
土木学会年次学術講演会、1-581、pp.1161-1162、疲労荷重を受けた RC 床版の内部ひび割れ性状と振動特性に関する研究	2012年9月5日	土木学会	小林珠祐・黒田千砂子・内藤英樹・岩城一郎・子田康弘・鈴木基行
土木学会年次学術講演会、I-405、pp.809-810、強制加振試験に基づく RC 床版供試体の健全性診断	2013年9月4日	土木学会	土屋祐貴・小林珠祐・八嶋宏幸・内藤英樹・早坂洋平・光岡達也・鈴木基行
土木学会年次学術講演会、I-406、pp.811-812、強制加振試験に基づく実道路橋 RC 床版の健全性診断	2013年9月4日	土木学会	内藤英樹・小林珠祐・土屋祐貴・八嶋宏幸・山田金喜・早坂洋平・鈴木基行
土木学会年次学術講演会、I-021、pp.41-42、振動試験に基づく実道路橋 RC 床版の疲労損傷評価	2014年9月11日	土木学会	八嶋宏幸・土屋祐貴・山口恭平・早坂洋平・内藤英樹・鈴木基行
土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集、V-4、ホワイトノイズを用いた強制加振試験による RC 床版の損傷評価	2015年3月7日	土木学会	杉山涼亮・八嶋宏幸・内藤英樹・山口恭平・早坂洋平・鈴木基行

8. 研究成果による知的財産権の出願・取得状況
なし

9. 成果の実用化の見通し

本研究では、共同研究機関以外にも道路管理者や設計・調査会社などを含めた外部委員会を設置するなど、産学官による連携体制を築くことができた。3年間の研究成果として、軽量小型加振器の開発や測定時間の大幅な短縮に成功するなど、現場作業性を格段に高めることができた。また、床版や踏掛版の健全性評価に用いる基礎データについても、輪荷重走行試験などの取り組みによって順調に収集・整理することができた。

3年間の研究によって、提案技術は実務に適用できるレベルに達している。今後も産学官による連携体制を活用しながら研究を進める一方で、橋梁点検の一部に提案技術を試行的に取り入れていくなど、実績を積み重ねていく。これと並行して、特許の活用や点検マニュアルの整備など、実用化に向けた活動を進めていく。