

積雪寒冷地における既設橋梁 RC 床版の 疲労耐久性に関する実験的研究

学位論文内容の要旨

道路橋 RC 床版は、橋梁路面の舗装の下にあって輪荷重を直接支持し、それを主桁へ伝達する極めて重要な部材であるが、輪荷重が直接作用するために劣化・損傷を受けやすい部材でもある。道路橋 RC 床版の劣化要因は、大型車両の輪荷重の繰り返し作用による疲労劣化が主たる要因とされ、それに加え床版に生じたひびわれに雨水が浸入すると疲労耐久性が著しく損なわれるといわれている。特に北海道における道路橋 RC 床版は、積雪寒冷地特有の劣化現象である凍害や凍結防止剤の散布による塩害との複合劣化が生じるなど、温暖な本州方面のものに比べ、さらに過酷な環境条件下におかれている。北海道では全国の都市圏に比べ交通量が少ないにも関わらず毎年多くの床版打替えが行われているが、更に今後は高度経済成長時代に建設された膨大な数にのぼる橋梁の維持管理時代の到来することから、維持管理に資する更なる効率化が求められ、RC 床版の耐久性確保が急務となっている。

一方、橋梁設計においては平成 14 年度の道路橋示方書を踏まえて、徐々に性能照査型設計法に移行すべき体制が整備されつつある。性能設計は、設計される構造物に要求される各種の性能を規定し、その設計された構造物が所定の性能を満足しているかを照査する設計法である。新設構造物に対する性能照査設計法の整備が進められる中、既設 RC 床版はこれまであまり注目されていなかったが、北海道の地域特性であり積雪寒冷地域特有の劣化因子である凍害や塩害などが生じた劣化損傷のプロセスの解明および残存寿命を算出するとともに、補修や補強手法を提案し、RC 床版の安全性や耐久性、さらには経済性や環境適合性を向上させることが重要である。

このような背景から、本研究では積雪寒冷地における道路橋 RC 床版の維持管理への性能照査法の導入を目的として、劣化・損傷メカニズムの解明や RC 床版における疲労寿命の予測手法および補修・補強方法について知見を得るために輪荷重走行試験機による RC 床版の疲労試験等を行った。具体的には、北海道内の既設橋梁から切り出した床版とそれをモデルとして新たに製作した床版を供試体として輪荷重走行試験機による疲労実験を行い、積雪寒冷地特有の劣化作用を受けた床版の寿命の低下と余寿命の算定を行った。さらに劣化損傷を再現した床版に超速硬コンクリートによる上面の補修や CFRP 補強材による下面の補強を行った供試体についても同様の実験を行い、補修・補強効果による疲労耐久性向上度(延命効果)を調べた。

本研究は全 7 章で構成され、各章の概要は以下のとおりである。

第 1 章では、関連する既往研究をレビューし、本研究の位置づけを行った。橋梁の RC 床版の疲労耐久性の研究における疲労試験法は、定点載荷疲労試験、多点移動載荷疲労試験、輪荷重走行試験機による疲労試験という変遷を辿り、実橋で見られる損傷床版の最終破壊状況を再現できるよ

うになった。これらの研究について紹介するとともに、RC床版の疲労損傷機構について概説している。

第2章では、凍害劣化を受けた床版の実態の報告と凍害を受けるまでの期間の予測について述べている。北海道で実施された橋梁床版の緊急点検において、凍害劣化が生じたRC床版の実態調査が行われ、この調査結果を基に凍害損傷の詳細を整理・活用することで、床版の凍害が発生するまでの期間の予測に関する分析を行った。

第3章では、本研究における実験で使用した輪荷重試験機および試験方法について述べている。試験機の性能、供試体の作成方法や支持方法、荷重の載荷方法、試験結果の評価方法や疲労寿命の評価方法について詳細に述べている。

第4章では、北海道の国道で実際に供用されていた橋梁から切り出したRC床版(以下、既設RC床版)とそれらをモデルとして新規に製作した供試体の疲労試験について述べている。既設RC床版については材料試験を実施し、いわゆる凍害以外の劣化はほとんど見られないことを確認した上で実験を行っており、積雪寒冷地域における既設RC床版の残存寿命を推定した。また、既往の研究で提示されているRC床版のS-N曲線を「本州等の温暖な地域でのS-N曲線」と位置づけ、本研究の実験結果から積雪寒冷地域における既設RC床版が、水と凍害の複合劣化により、残存寿命が著しく低下していることを示した。また、積雪寒冷地におけるRCの劣化損傷メカニズムについて説明している。

第5章では、疲労劣化した既設RC床版の疲労耐久性の向上に関する検討を行った。凍害劣化を模した床版の供試体を製作し、超速硬コンクリートによる床版上面の補修やCFRPプレートまたはCFRPストランドシートによる床版下面を補強した供試体を用いて比較実験を行い、既設RC床版の疲労寿命の延命効果について述べている。

第6章では、橋梁をはじめとする構造物の性能照査型設計法に移行すべき体制が整備されつつある中、積雪寒冷地における既設RC床版の要求性能と性能照査について述べている。新設構造物について検討されている性能照査型の設計体系を参考にし、本研究での検討結果を踏まえ、既設RC床版に対する要求性能を定義するとともに、安全性における疲労耐久性の照査方法について提案した。

第7章は結論である。各章で得られた知見を総括し、今後の展望と課題を述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 林 川 俊 郎
副 査 教 授 大 沼 博 志
副 査 教 授 後 藤 康 明
副 査 准教授 松 本 高 志

学位論文題名

積雪寒冷地における既設橋梁 RC 床版の 疲労耐久性に関する実験的研究

鉄筋コンクリート床版 (RC 床版) は道路橋の構成部材の中で、輪荷重が路面舗装を通して直接作用するため、非常に損傷を受けやすい部材である。大型車両の増加に伴う輪荷重の繰り返し走行による疲労劣化、雨水の床版ひび割れへの浸入による疲労劣化の促進、飛来塩分や凍結防止剤の散布による塩化物の浸入による鉄筋の腐食、中性化による鉄筋の腐食やアルカリ骨材反応などが RC 床版損傷の要因と考えられている。特に北海道における道路橋 RC 床版は、積雪寒冷地特有の劣化現象である凍害や凍結防止剤の散布による塩害による複合劣化が生じるなど、非常に厳しい気象環境条件下にある。北海道では他都府県に比較して交通量が少ないにもかかわらず、毎年、数多くの RC 床版打替えが行われている。今後、高度経済成長期に架設された橋梁の架け替えが更新時期を迎え、その補修補強に要する費用は膨大なものとなることが予想されるなか、道路橋 RC 床版の疲労耐久性を確保することが急務の重要課題となっている。

このような背景のもと、本論文は北海道における既設橋梁から切り出した RC 床版を供試体として輪荷重走行試験機による疲労実験を行い、余寿命の予測手法を提案している。さらに、劣化損傷した RC 床版をジェットコンクリートによる床版上面補修および CFRP プレートによる床版下面補強による疲労耐久性の向上について検討し、道路橋 RC 床版の性能照査型設計法に資する新たな知見を得たものである。

本論文は全 7 章から構成されており、各章の内容は以下のようである。

第 1 章では、研究の背景および既往の研究成果をまとめ、本研究の目的を明確に示し、各章の構成について記述している。

第 2 章では、北海道における国道橋で実施された RC 床版の緊急点検において、床版上面の損傷確認、床版下面の損傷確認、舗装撤去後の損傷確認を実施し、凍害劣化を受けた RC 床版の実態調査をまとめている。大型車交通量、凍結融解および防水工対策の要因について分析し、道路橋 RC 床版の耐用年数の予測式を提案している。

第 3 章では、輪荷重走行試験機による疲労実験方法として、試験機の性能、供試体の作成方法と支持方法、荷重の戴荷方法について詳細に述べている。疲労試験結果の評価方法とマイナーの線形

累積被害則を用いた疲労寿命の評価方法について検討している。

第4章では、北海道における既設橋梁から凍害劣化作用を受けた RC 床版を切り出し、輪荷重走行試験機による疲労実験を実施し、押し抜きせん断破壊状態までの損傷メカニズムを明らかにしている。道路橋 RC 床版の疲労耐久性低下の要因は床版上面の凍結融解作用に伴うスケーリングや砂利化現象により、RC 床版のせん断耐力低減によるものであることを明示している。特に、滞水の影響および凍害との複合劣化を受けた既設橋梁 RC 床版の疲労耐久性は著しく低下することを指摘している。

第5章では、既設橋梁から劣化損傷した RC 床版を切り出し、ジェットコンクリートによる床版上面補修および CFRP プレートによる床版下面補強した供試体を製作し、輪荷重走行試験機による疲労実験を行い、その補修・補強効果について明らかにしている。ジェットコンクリートによる床版上面補修による RC 床版の疲労寿命は数倍に延びることを提示している。さらに、CFRP プレートによる床版下面補強効果による疲労寿命は約百倍になることを明示し、既設橋梁 RC 床版の疲労耐久性の向上策として極めて有効であることを明瞭にしている。

第6章では、積雪寒冷地における既設橋梁 RC 床版に対する要求性能として、安全性、使用性、社会・環境適合性を規定し、性能照査型設計法に基づいた照査手法を提示している。既設 RC 床版、凍害劣化を受けた RC 床版、床版上面補修を施した RC 床版、CFRP プレートによる床版下面補強した RC 床版の疲労寿命算定式を提示し、安全性における疲労耐久性の照査手法に新しい知見を与えている。

第7章では、各章で明らかとなった内容を要約し、本論文を総括している。

これを要するに、著者は積雪寒冷地における既設橋梁 RC 床版の輪荷重走行試験機による疲労実験を行い、余寿命の予測手法を提案し、損傷した RC 床版の補修補強による疲労耐久性向上について検討し、道路橋 RC 床版の性能照査型設計法に資する新たな知見を得たものであり、橋梁工学、鋼構造学、メンテナンス工学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。