

## 審査の結果の要旨

氏名 房 捷

道路橋鉄筋コンクリート床版（RC床版）は、交通荷重を直接受ける部材であり、他の部材と比べて比較的薄い断面を有することから、環境作用の影響を強く受ける。特に、積雪寒冷地域においては凍結防止剤が大量に散布されることもあり、塩害、ASRおよび繰返し荷重による疲労の複合劣化が発生し、床版の砂利化や抜け落ちといった深刻な維持管理上の問題が発生している。本研究は、これらの背景を踏まえ、統計的手法および物理化学モデルに立脚したマルチスケール統合解析手法という全く異なる方法論を組み合わせることで、RC床版の劣化メカニズムの解明と劣化因子のリスク評価、さらにそれらの知見に基づいて維持管理への示唆を与えることを目的としている。

第1章では、研究の背景と目的および論文の構成について述べている。

第2章では、本研究で用いる統計手法として生存時間解析の概要を説明している。道路事業者によって蓄積が進む豊富な点検データを活用して新しい知見を得るために、医学薬学分野において適用実績が豊富な Kaplan-Meier法と COX 回帰分析に着目し、各々を概説している。

第3章では、東北地方の道路橋を対象として、生存時間解析を用いた分析を行っている。山崎・石田らの先行研究において、説明変数相互の交絡が無視できないほど高いことを指摘し、その理由として点検データの質に課題があることを指摘している。生存時間解析における死亡イベントとして、RC床版下面の2方向クラック発生を定義しているが、使用する点検データ内に複数回の死亡イベントが発生していること等を、点検データセットを丁寧に吟味することで発見した。その知見に基づいてデータクレンジングを実施し、生存時間解析を再度行った結果、説明力が向上することを示した。さらに、東北地方における床版劣化の支配因子は凍結防止剤散布量と降水量であり、交通量ならびに床版厚は一般的な知見と異なり影響が少ないことを統計的に確認した。

第4章においては、首都高速道路が管理する橋梁を対象として、生存時間解析を用いた分析を行っている。前章と同様に、点検データの質を詳細に分析し、データクレンジングを行ったうえで、重交通環境下におけるRC床版は、交通量の増大および床版厚が小さくなることで劣化リスクが大きく向上することを明示した。

第5章においては、第3章および第4章の結果に基づき生存時間解析

の長所と短所を述べたうえで、RC床版の更なる劣化機構の解明の必要性を述べている。そのために、RC床版の実疲労挙動を現時点で最も忠実に再現可能なマルチスケール統合解析システムに着目し、実橋を再現したフルスケール解析による研究アプローチの意義を説明している。

第6章では、マルチスケールモデルを用いた疲労解析にあたって重要となるRC構成則の概要を説明するとともに、橋梁1スパンを再現したフルスケール有限要素解析モデルとして、計算時間を短縮するために三次元ソリッドモデルと梁モデルのハイブリッドでの解析手法を提案し、そのモデルの妥当性を検証している。

第7章では、マルチスケールモデルを用いた解析的なアプローチによって繰返し輪荷重作用下における破壊のプロセスを注意深くトレースし、RC床版の疲労メカニズムと損傷に与える各種要因の定量評価を試みている。初めに、一般に疲労試験で用いられる単一RC床版を用いた破壊プロセスと、鋼桁とRC床版から構成される実橋フルスケールを模擬した床版の破壊プロセスを相互に比較し、床版内のひずみ分布が異なることによって、湿潤条件と乾燥条件では、疲労破壊の進展が全く異なることを示している。さらに、フルスケールモデルを用いて床版厚さや乾燥・湿潤条件について検討した結果、乾燥環境では床版厚の増大に伴い疲労寿命が劇的に向上すること、一方湿潤環境では、床版厚を増大させたとしても疲労寿命の増加は数倍程度に留まることを明らかにした。さらに、湿潤環境での疲労破壊のプロセスとして、比較的早い段階から床版上部に水平クラックが発生・進展することを見出している。これらの解析結果は、生存時間解析で得られた首都高速道路および東北地方の道路橋の劣化分析と符合する結果であり、本研究の妥当性を示唆するものである。さらに、湿潤状態の解析結果から、床版上部の水平クラック発生と土砂化が卓越し、床版下面に損傷が現れにくいことが示されたことから、現行点検手法の課題を指摘し、今後の維持管理のあるべき姿を論じている。

第8章では、主桁と輪荷重の位置の関係について解析的検討を行い、輪荷重の位置によって疲労損傷過程が異なることを示し、構造諸元と輪荷重の位置を厳密に考慮した詳細解析の必要性を示している。

第9章は結論であり、本論文で得られた成果についてまとめている。

以上のように、生存時間解析とマルチスケール解析という異なるアプローチによって、道路橋RC床版の疲労劣化のメカニズム解明と、影響要因の定量評価を行っており、今後の設計・維持管理の高度化に資する成果が認められ、学術的および工学的観点の両者から研究の意義が認められる。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。