

博士論文(要約)

道路橋 RC 床版の補強効果と

疲労余寿命の推定

(Estimation of Remaining Fatigue Life of RC Road Bridge Decks
and Strengthening Works)

平塚 慶達

2015.9

高度経済成長期に建設された社会基盤ストックは、老朽化と社会資本投資の縮小から何らかの形で補修補強を施し、維持管理していく必要がある。中でも道路橋床版は直接輪荷重を受ける部材であり、疲労耐久性に対する設計基準が未整備だったことも相俟って、維持管理において膨大な費用を要している部材である。現行示方書においては新設の床版に対して、疲労耐久性を確保する基準は示されているが、既存不適格の床版の補強や、補強を施した床版の再劣化についての記載はなく、補修補強の意思決定において多様な損傷状態を適切に評価できる体系的な整理が必要となってきた。

一方で電子計算機をはじめとする情報処理技術の著しい発達により、床版などの 3 次元部材に対して、数値計算による疲労劣化現象の解明が可能になりつつある。特に微小空隙中の液状水の挙動をとらえ力学的現象、特に疲労耐久性に対する現象を解明することは不可欠である。本論文では道路橋 RC 床版の損傷について、既往の研究で考慮されていない検討事項を示し、社会基盤ストックの長寿命化に資する補修補強対策の意思決定を論理的に構築する道筋を提示することを目的として取りまとめた。

本論文第 1 章は、以上の背景および既往の研究について整理し、それらを踏まえ、道路橋床版の疲労耐久性に対して数値解析に基づく力学的な説明と、再劣化対策に対する補修補強の体系的な整理を目的とすることを述べ、論文構成について明確にした。本研究で扱う RC 床版、補強床版に対して、既存の非線形連成有限要素解析プログラム DuCOM-COM3D の適用の有効性について示した。本研究で扱う道路橋床版に生じている損傷について示すとともに、既往の研究で考慮されていない検討事項を示し、本研究の論点を明確にした。

本論文第 2 章では、既往の研究における道路橋 RC 床版の劣化損傷過程を力学的見地から説明するために、異なる荷重履歴によって損傷を与えられた RC 床版について残余の寿命を推定する方法（データ同化による数値余寿命推定法）の成立性について実験、解析の双方から考察を行った。試験機の性能から荷重載荷位置を変更することは困難なため、静的に過大な荷重によって損傷を受けた場合、定点疲労載荷によって損傷を受けた場合の極端に荷重履歴が異なるケースを想定して移動載荷試験を実施し、RC 床版の疲労損傷過程を実験的に確認するとともに、数値解析法の精度の検証を行った。総たわみの増加傾向を用いることで、実験、解析の双方とも現在の損傷状態を同定でき、荷重の通行位置によらないことを示した。さらに数値解析を用いてマイナー則の適用性に関する検討を行い、荷重が増加していく範囲内では、マイナー則が適用できることを示した。

本論文第 3 章では、実験に時間がかかる移動載荷試験において、疲労損傷に与える乾燥収縮の影響について検討した。移動載荷試験では試験期間が数か月必要となるため、コンクリートの乾燥収縮は疲労損傷と同時に進行する。一方で実橋では床版架設後、供用まで

に数ヶ月を要するため、乾燥収縮はある程度進行した後に載荷される。移動載荷試験における RC 床版の疲労寿命は乾燥収縮の影響との複合作用となり、供用下における床版の疲労寿命と対応しないこととなる。このため、乾燥収縮の進行を考慮できる熱力学マルチスケール解析を用いて、疲労との相互作用を検討し、実際の試験結果と比較した。疲労荷重下のたわみの増加は、収縮と荷重による疲労損傷の複合作用であり、数値解析を使用することで、互いに影響しながら相互作用で損傷していく過程が明確になった。

本論文第 4 章では、鋼板接着工法における補強鋼板の浮きについて、既往の試験結果と比較しながら、疲労寿命に与える影響についての考察をおこなった。鋼板接着工法については施工時からの経年にともない、浮きの報告事例が散見される。また浮きとの因果関係は不明であるものの、補強鋼板ごと床版の抜け落ちに至った事例もあり、床版下面から容易に確認できる浮きが点検項目としてあげられている。しかし浮きが補強効果や疲労寿命、再劣化に与える影響についての知見はほとんどないため、数値解析を用いて体系的に整理した。結果、鋼板接着工法においては浮きが疲労寿命に与える影響はあまり顕著ではなく、補強鋼板の付着力が何らかの要因で低下した場合に、疲労寿命が低下する可能性があることが明らかになった。

本論文第 5 章では、疲労耐久性に与える影響が大きい砂利化について、コンクリート硬化体の損傷という面から数値解析に取り込むことを試みた。従来の固液二相モデルを用いて湿潤状態としてせん断伝達性能の低下を考慮した場合に加え、冠水状態として水圧上昇の影響を考慮した場合も加えて、疲労寿命に与える影響について考察した。数値解析による力学的な観点からは、鋼板接着で補強した床版は、せん断伝達機構の低下よりも、水圧上昇に伴うコンクリート硬化体の損傷が疲労寿命を大きく低下させ、実橋で観測された補強床版の疲労損傷事例を説明できる可能性が示された。また床版内部の既設鉄筋の腐食に着目し、鉄筋腐食によって層状に破壊された補強床版は疲労耐久性が著しく低下することが分かった。

本論文第 6 章では、RC 床版の補強工法について、既設の床版面をできるだけ覆わずに補強後も点検できるという観点から、数値解析を用いて力学的に曲げ補強、せん断補強の可能性について検討した。床版内に面外方向のアンカーを設置することで、特に鉄筋腐食によって層状に破壊した床版への補強効果が高いことがわかった。また現在施工されている種々の補強工法について、補強時の損傷状態が疲労耐久性に与える影響について、各工法の適用範囲を明らかにする目的で数値計算を用いて考察した。いずれの補強工法も早期に補強するほど有利であった。鋼板接着工法や上面増厚工法は数値計算上、劣化期程度まで損傷した場合にも補強効果は認められた。冠水環境下では、縦桁増設工法は縦桁上面が負曲げの範囲となって砂利化が生じにくく、むしろ効果的な補強工法であることが示された。

本論文第 7 章では、これまでの章についてまとめるとともに、本研究の中で明らかになった維持管理項目における確認項目の活用方法と将来性について述べた。また、本研究の成果を有効に活用するため、さらに信頼性を高めるために必要な検討および試験について言及した。