

学位論文題名

実績データに基づく橋梁の劣化予測と マネジメントに関する研究

学位論文内容の要旨

我国では高度経済成長期以降、社会資本施設の整備が進められ膨大な数の橋梁が建設されてきた。現在ではそれらの橋梁は建設後 30～40 年が経過し、今後、多くの橋梁が架替えを必要とする更新時期を迎えることになるため、補修や更新に必要となる費用は、爆発的に増加すると言っても過言ではない。社会資本施設への投資が削減され、財政難の深刻化が予想されるなか、このような橋梁の更新が容易に許されない状況となり、戦略的な維持管理により維持補修事業の効率化および社会資本ストックの延命化を図ることが急務の課題となっている。老朽化に伴う安全の危機や補修費の増大による経済への圧迫に対して、安全かつ安心な生活環境を確保するためには、橋梁の現状を的確に評価して迅速に対応するとともに、長期的な視点から積極的に予防的な補修を取り入れて、橋の長寿命化ならびにライフサイクルコスト (Life Cycle Cost, 以下 LCC) の低減を図ることが必要である。そのため、膨大な量の橋梁ストックを効率的に管理し、長期的な維持管理計画の検討を可能とする橋梁管理システム (Bridge Management System, 以下 BMS) の構築が必要とされている。

このような背景から、近年、BMS の構築に関連した各要素技術の研究およびシステム開発が盛んに行われている。橋梁の維持管理のための BMS が持つ機能としては、点検・橋梁諸元等のデータベース、健全度評価、劣化予測および事業計画が主要機能とされており、将来の維持管理経費の予測や橋梁の LCM (Life Cycle Management) として維持補修工事の最適化が必要である。一方で、橋梁は架橋環境によって様々な外的要因が影響し、耐力や機能が低下するため、橋梁各部材の劣化傾向を自然条件や荷重条件に応じて把握することが不可欠と考えられる。

本研究では BMS の構築を目指して、BMS が持つ主要機能の 1 つである劣化予測に着目し、橋梁各部材の劣化予測手法の検討、ならびに積雪寒冷地における劣化要因の分析およびそれらの結果を考慮した劣化予測手法の検討を行った。さらに、検討した劣化予測に基づき維持管理計画の策定方法を検討した。

第 1 章では本研究の背景と目的、および本研究に関連する既往の研究について整理して示している。第 2 章では北海道における国道橋の現況、橋梁点検や維持補修業務の実施状況やデータ管理の状況、および橋梁維持管理経費の推移より橋梁維持管理の現場における実状と課題について取りまとめている。

第 3 章では BMS の構築に関連して、基となる橋梁点検およびデータの概要と、BMS 構築に関する内容の既往研究として、健全度評価および橋梁資産の劣化について概説している。

第 4 章では BMS の利用を前提として、北海道の国道橋に関する実測の橋梁点検データに基づいて、マルコフ過程の遷移確率を応用した橋梁各部材の劣化予測手法を検討した。その結果、橋梁の部材別

に架橋環境や劣化要因を考慮した劣化の遷移確率を算出し、健全度評価へ適用させることで、BMSで活用可能な各部材の劣化予測手法を提案した。

第5章では道路橋RC床版を対象として、これまで蓄積されてきた橋梁点検データに基づいて、積雪寒冷地である北海道の環境条件を考慮した劣化予測手法について検討した。

まず、北海道における積雪寒冷地の環境条件として、実橋環境における橋梁周辺の水分量および温湿度の測定を行った。その結果、表層水分量と損傷発生を結びつけることができ、さらに表層水分値と温度の相関が見られた。次に、寒冷地特有の劣化因子である凍結融解作用および凍結防止剤散布による床版劣化への影響度について点検データを用いて分析した。その結果、凍結融解作用を促進する冬期の水の供給量と損傷の関連性、ならびに凍結防止剤散布実績と地覆および床版端部の損傷との関連を得ることができた。次に、シュミットハンマーによる実橋床版圧縮強度の測定し、測定値の分布に基づいたマクロ的な床版の疲労劣化予測手法を検討した。その結果、測定により得られた構造形式別の強度の確率分布を用いて疲労予測を行い、予測範囲を実橋の点検データと比較し、環境因子が劣化に与える影響が大きい傾向が伺えた。最後に、寒冷地特有の環境条件である凍結融解作用や凍結防止剤散布の影響を融解する水の影響と仮定して床版の劣化予測に考慮することを提案した。

第6章では、寒冷地における鋼橋の塗装劣化に着目した劣化予測を検討するため、ACMセンサによる実橋測定試験および供試体促進腐食実験を実施した。実橋測定試験により、実橋の架設環境、構造形式、各部位の腐食特性が明らかになった。実橋測定試験および塗膜下ACM供試体促進腐食実験の結果から、塗膜劣化予測式の6耐久性係数のうち4耐久性係数を示すことができ、それらの耐久性係数を用いることで劣化予測の精度向上が確認できた。また、劣化予測に用いる劣化環境要因が少ないことから、BMSへの適用が容易と考えられた。さらに、ACM供試体促進腐食実験より、塗装を施したACMセンサによって塗膜下の腐食環境のモニタリングが可能であることを示した。

第7章では、第4章で提案したマルコフ過程を用いた劣化予測値について妥当性の検証を行った。また、橋梁補修補強実績データに基づいて、補修補強効果の評価を実施するための要素技術について検討した。検討の結果、第4章で算出した予測結果に対して、繰り返し計算で求めた値や実際の補修データと比較により妥当性を示すことができ、補修後の劣化予測への適用法についても示すことができた。また、維持管理経費の予測シミュレーションにより、維持補修計画の立案例として、橋梁健全度指数BHIをある管理基準で確保した場合の計画を策定できることを示した。また、設定した3つの維持管理シナリオのうち、予防保全型の補修補強により、将来の健全性の確保およびLCCの低減という観点から有効であることを示した。

第8章では以上の検討結果を整理し、本論文を総括している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 林 川 俊 郎

副 査 教 授 三 上 隆

副 査 教 授 大 沼 博 志

副 査 教 授 大 島 俊 之（北見工業大学）

学 位 論 文 題 名

実績データに基づく橋梁の劣化予測と マネジメントに関する研究

我国では昭和 28 年に道路特定財源制度が創設され、昭和 29 年に第一次道路整備五ヶ年計画が策定された。これ以降、各次の道路整備五ヶ年計画により、我国の道路整備が確実に進められてきた。とくに、昭和 30 年から昭和 40 年代の高度経済成長期における交通車両の増大にともない、数多くの橋梁が建設されてきた。現在ではそれらの橋梁は建設後 30～40 年が経過しており、今後、高度経済成長期に架設された橋梁の架け替えが必要となる更新時期を迎え、その補修補強に要する費用は膨大なものとなる。近年、社会資本施設への投資が削減され、財政難の深刻化が予想されるなか、老朽化した橋梁の更新が容易に許されない状況となり、戦略的な維持管理により補修補強事業のコスト縮減や社会資本施設の長寿命化を図ることが急務の重要課題となっている。

本論文は、橋梁点検、構造諸元、補修補強履歴等の実績データに基づき橋梁維持管理システムの構築を目指し、橋梁各部材レベルでの劣化予測手法を提案し、橋梁維持管理計画の策定に新たな知見を得たものである。

本論文は全 8 章から構成されており、各章の内容は以下のようなものである。

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の建設状況、橋梁点検や維持補修業務の実施状況、道路管理データベース、および橋梁維持管理経費の推移について述べており、現状における検討課題を明確にしている。

第 3 章では、橋梁維持管理システムの構築に関連して、橋梁点検や補修補強履歴に関するデータベース化、健全度評価、劣化予測、さらにコスト分析や事業優先順位付けを含めた事業計画立案までを可能とするシステム開発を提示している。

第 4 章では、橋梁点検実績データに基づいて、マルコフ過程の遷移確率を応用した橋梁各部材の劣化予測手法を提案している。橋梁部材別に架設環境や損傷要因を考慮した劣化予測に必要な遷移確率を算出している。さらに、損傷ランクごとに算出した遷移確率から健全度評価への適用が可能であることを述べている。

第5章では、北海道における積雪寒冷地の環境条件を考慮した道路橋 RC 床版の劣化予測について検討し、劣化因子の影響度を明確にしている。実橋環境における橋梁周辺の水分量、温度および湿度を測定し、表層水分量が道路橋 RC 床版の損傷に与える影響が大きいことを明確にしている。さらに、凍結融解作用を促進する冬期間の水分供給量および凍結防止剤散布実績と地覆ならびに床版端部の損傷との関連性を明らかにしている。また、シュミットハンマーによる約 250 橋に及ぶ実橋 RC 床版圧縮強度測定を実施し、構造形式別の強度確率分布を求め、道路橋 RC 床版の疲労劣化予測手法を提示している。

第6章では、寒冷地における鋼橋の塗装劣化予測を検討するために、ACM センサによる実橋測定試験および供試体促進腐食実験を実施している。実橋の架設環境、構造形式、各部位の腐食特性を明らかにし、耐久性係数を用いることにより劣化予測の精度向上が図られることを明らかにしている。さらに、塗装を施した ACM センサによって塗膜下の腐食環境のモニタリングが可能であることを提示している。

第7章では、橋梁補修補強実績データに基づき、補修補強効果の評価を実施するための要素技術について検討し、マルコフ過程を用いた劣化予測値と実橋の補修補強データとの比較により、その妥当性を確認している。さらに、補修補強後の劣化予測への適用性についても確認し、橋梁維持管理システムの構築が可能であることを示している。また、維持管理経費の予測シミュレーションにより、橋梁健全度指数をある管理基準で確保した場合の維持補修補強計画の策定が可能であることを明らかにしている。橋梁の健全性確保およびライフサイクルコスト低減という観点から、設定した維持管理シナリオのうち予防保全型の補修補強が有効であることを示している。

第8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、著者は実績データに基づき橋梁の劣化予測と維持管理システム構築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。