

氏 名	武 山 泰
授 与 学 位	博 士 ( 工 学 )
学位授与年月日	平成 4 年 7 月 8 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 58 年 3 月 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 前期 2 年の課程修了
学 位 論 文 題 目	舗装路面評価のための情報処理とその応用に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 福田 正 東北大学教授 尾坂 芳夫 東北大学教授 須田 焜 東北大学助教授 稲村 肇

## 論 文 内 容 要 旨

近年、蓄積した道路施設のストックを適切に維持管理することが道路管理者に求められており、舗装に関しても維持管理のための技術が重視されるようになってきている。このようなことから、舗装を合理的かつ科学的に管理するための舗装管理システムの確立が強く望まれている。

このためには、実際の供用成績に基づく種々の情報を処理することにより、合理的な設計法の確立や経済性を考慮した舗装の修繕計画の策定にこれらの情報をフィードバックさせることが重要である。舗装の破損情報に関しては各種の技術の発展により大量の情報を比較的容易に収集することができるようになってきているが、これを利用する側の技術は十分に開発されてきているとは言えない。

本研究においては、実際に収集されている舗装の破損に関する情報を処理することにより、舗装管理システムにおいて最も重要と考えられる舗装の破損遷移の評価手法を、情報処理に基づく統計学的なアプローチ手法を用いて構築することを目的とした。

舗装の破損遷移に固有する不確実性を確率論的に評価するためにマルコフ連鎖モデルを適用し、その適用のためのアルゴリズムの確立を試みた。さらに、得られた破損遷移モデルの応用として、舗装のライフサイクルにおける経済性評価のための破損遷移の不確実性を考慮した最適化問題に関して言及した。

本論文は全 6 章により構成され、その内容は以下のとおりである。

## 第1章 序 論

わが国は比較的低緯度に位置しており夏期において舗装は高温の下に曝される。一方、冬期においては多雪地帯に属しており、タイヤチェーン、スパイクタイヤの使用による摩耗を受ける。さらに、降水量も多く、舗装は厳しい自然環境条件に置かれているといえる。また、貨物輸送における自動車交通のシェアが高く、道路施設の蓄積が相対的に少ないことから舗装の交通荷重に対する負担が大きく、交通条件的にも破損を生じやすい状態にある。

舗装は、これらの破損に対してオーバーレイなどによる修繕によりその構造的機能と自動車の走行に対するサービス機能を回復させることにより交通供用が繰り返されるという点において、他の土木構造物にない特殊な構造物である。このため舗装管理システムにおいても、修繕を考慮した合理的な設計法の確立と、経済性を考慮した最適な修繕計画の策定が必要となる。

舗装管理システムの中で最も重要な部分は、適切な舗装のパフォーマンス評価を基本として、最適な修繕管理計画を立案し、それを踏まえて各種設計案の比較・評価を行うことである。これを実現するためには、各種の情報を収集し、それに対する情報処理の成果を設計あるいは修繕計画の立案などにフィードバックすることが重要である。

舗装管理のために必要となる路面破損の情報に関しては、大量の破損情報を比較的容易に収集することが可能となっている。これに対して、収集した情報を利用する際の技術、特に破損情報の処理技術が確立されていない。

本研究においては、このような舗装管理システムにおいて中枢的機能を持つ舗装の破損遷移の評価手法を、実際の破損情報の処理を通じた統計学的なアプローチ手法を用いて構築することを目的としている。

## 第2章 舗装路面の評価技術の現状

本章では本研究に関連する既往の技術ならびに研究の概括を行った。舗装の破損情報の収集に関しては、破損量の測定方法および各種の光学技術やエレクトロニクス技術を用いた測定の自動化に関する現況を述べた。舗装路面の供用性の評価については、現在世界各国において用いられている各種の供用性評価指標について述べた。また、舗装管理システムの概念を述べ、現在わが国において実際に運用されている舗装管理のためのデータベースやその情報処理技術の現況について述べた。さらに、舗装の経済性評価における既往の技術ならびに研究について言及した。

## 第3章 破損遷移の評価のためのアルゴリズム

本章においては、舗装の破損遷移に関する情報を処理することにより統計学的なアプローチ手法により舗装の供用性を評価する方法を構築した。破損遷移の不確実性を確率論的に評価するためにマルコフ連鎖モデルを適用することとし、その適用の際のアルゴリズムについて述べた。

修繕を考慮しない場合には、破損の遷移は吸収マルコフ連鎖モデルにより表現される。この場合の破損遷移確率を路面性状調査データに基づいて評価する際に、調査が必ずしも毎年行われていないことから1年間の舗装の破損遷移に関しては何等かの方法により推計を行うことが必要である。

本研究では、2～4年間の調査間隔において得られたデータを有効に利用してマルコフ連鎖モデルにおける1年間の破損遷移確率を求める手法を構築した。また、この吸収マルコフ連鎖モデルにより舗装の平均供用寿命、信頼性を評価する方法を示した。

舗装の路面状態は修繕によって回復される。そこで修繕確率の概念を導入することにより吸収マルコフ連鎖をエルゴード型マルコフ連鎖に拡張し、舗装の定常状態を表現する方法を開発した。また、このエルゴード型マルコフ連鎖モデルにより定常状態における舗装の状態確率、定常状態を維持するために必要となる修繕量を評価する方法を示した。

この手法を用いて舗装の破損遷移を評価する場合、事務所単位、路線単位と評価する規模が小さくなるほど得られるデータが少なくなり破損遷移の評価は困難となる。これに対して本研究では、確率関数を用いた破損遷移モデルの構築を行い、このモデルを基にシミュレーションによりデータを補完するシステムを構築した。

#### 第4章 破損遷移に関する事例的研究

本章では、事例として建設省の東北地方建設局および九州地方建設局において実施されている路面性状調査データの情報処理を試みることににより、寒冷地と温暖地の地域間、コンクリート舗装とアスファルト舗装の舗装工種間について第3章で開発したアルゴリズムの適用性を検討した。

アスファルト舗装のひびわれとわだち掘れの2特性値による破損について見ると、寒冷地においては、わだち掘れによる破損が卓越するのに対して、温暖地においてはわだち掘れの進行は緩慢であり、ひびわれによる破損が若干卓越する傾向が見られた。

コンクリート舗装のひびわれとわだち掘れの2特性値による破損については、得られたデータが少ないことから、2特性値による破損の状況を的確に把握することは困難であった。このためコンクリート舗装のひびわれ度およびわだち掘れ量の増加量についての情報処理を基に、増加量に確率関数を適用してこれら2特性値の遷移モデルを構築した。この両者を用いることにより2特性値による破損の遷移を評価することができた。

また、アスファルト舗装について、路面評価指標のMCI（維持管理指数）の減少量についても、確率関数を用いた破損遷移モデルを構築した。

これらの破損遷移モデルによりデータを補完し、舗装の破損遷移にマルコフ連鎖モデルを適用して、交通区分ごとに破損の遷移確率を求め、供用寿命・信頼性などの解析を行った。

寒冷地でのアスファルト舗装の供用寿命が6～15年であるのに対して、温暖地においては供用寿命は20年程度とかなり長く、また寒冷地においては交通区分が重交通になるほど供用寿命が顕著に短くなるのに対して、温暖地においては、交通区分による供用寿命の差は小さい。これは、スパイクタイヤ等による摩耗がない場合には、現行の設計基準により各交通区分に対して同程度の信頼性が確保されることを示すものと判断される。

寒冷地のC交通区分におけるコンクリート舗装とアスファルト舗装を比較すると、コンクリート舗装は摩耗によるわだち掘れの進行が遅く供用寿命が約30年であり、アスファルト舗装の供用寿命約7.5年の3倍以上の供用寿命であることが判明した。

また、アスファルト舗装の修繕に関する情報を処理することにより修繕確率の値を推計し、これにより修繕を実施した場合のエルゴード型マルコフ連鎖モデルの遷移確率を求め、舗装の定常状態の評価を行った。

## 第5章 ライフサイクルコストの最適化システム

本章では、マルコフ連鎖モデルによる破損遷移確率を適用した舗装の修繕管理計画の最適化について述べた。最適化の手法として動的計画法を用い、プロジェクトレベルの最適化問題に対する定式化を行い、第4章において得られた破損遷移確率に基づき修繕管理計画の最適化に関する試算を行った。

舗装の破損遷移をマルコフ連鎖過程としてモデル化することにより、舗装の修繕管理のプロジェクトレベルの最適化の問題に関して定式化を行った。また、利用者コスト・維持コスト・修繕コストなどを算定し、寒冷地および温暖地の舗装について得られた破損遷移確率を用い、純現在価値法の考え方に基づいた最適化について事例研究を行った。

この結果、経済性の観点からは同一地域においては交通区分が重交通であるほど舗装をより高いランクに保持することが経済的であることが示された。また、工事単価の安い修繕工法を採用して修繕の頻度を多くした方が経済的であるとの結果が得られた。

温暖地と寒冷地の比較においては、破損遷移が遅い温暖地の方がより高いランクで修繕が実施されると判断された。しかし、修繕費用としては破損の進行の早い寒冷地の方がはるかに多くの費用が必要となることが示された。

## 第6章 結 論

本論文では、舗装路面の破損遷移に関するデータを情報処理することによって、舗装の破損遷移を確率論的にモデル化する手法を構築した。さらに、この破損遷移モデルに基づき、長期的な経済性を考慮した舗装の修繕計画の立案に関する研究を行った。これまでに蓄積されてきている大量の破損情報の情報処理を通じて、舗装の破損遷移にマルコフ連鎖モデルを適用するためのアルゴリズムを確立した。舗装において特に重要である修繕に関してもモデルに取り入れ、修繕確率を導入することによりエルゴード型マルコフ連鎖モデルに拡張を行い、舗装の定常状態を評価する手法を示した。また、マルコフ連鎖モデルの応用として、ライフサイクルコストを考慮したプロジェクトレベルの舗装の修繕計画の最適化方法を示した。

## 審 査 結 果 の 要 旨

舗装の維持管理においては、舗装路面の破損状態に関するデータを解析し、これを舗装の修繕計画にフィードバックさせる情報処理システムが必要である。本研究は、これらの調査データを確率論的に解析処理することによって、破損遷移モデルを求める手法を示し、さらにその応用として、舗装の修繕計画の最適化に適用したものであり、全編6章よりなる。

第1章は、本研究の背景と目的を述べたものである。

第2章では、舗装路面の破損状態に関するデータの収集とその評価手法、舗装管理システム等の現状について評価を行っている。

第3章では、交通供用に伴う舗装の破損遷移に関する調査データを用いて、舗装の破損遷移のばらつきを確率論的に表現するために、マルコフ連鎖モデルを適用して破損遷移モデルを求める情報処理手法を示している。一般に道路管理においては、舗装路面の調査は数年間隔で実施されるが、マルコフ連鎖の性質を利用した年間破損遷移確率を解析する手法を構築したことなどは、実用性の観点から高く評価される。また、舗装の終局破損を対象とした吸収マルコフ連鎖モデルを、修繕確率を導入することによって、エルゴード型モデルに関係づけたことは本研究における重要な成果である。

第4章では、東北地方と九州地方における舗装路面の調査データを事例に、本研究で開発した情報処理手法を適用し、寒冷地と温暖地の地域間、アスファルト舗装とコンクリート舗装の工種間における、破損遷移確率、平均寿命、定常状態確率等を示している。これらは有用な知見である。

第5章では、本研究で求めた破損遷移モデルの応用として、舗装の破損遷移の確率的特性を考慮した修繕管理計画の最適化について論じている。道路舗装に関するプロジェクトレベルの最適管理問題に対して、動的計画理論を適用して定式化を行い、本研究で得られた破損遷移モデルに基づく修繕計画の最適化システムを構築し、本研究の実用性を高めている。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、舗装の修繕管理に必要とされる情報処理手法について述べたものであり、土木工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。