

## 学 位 論 文 要 旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	道路トンネル照明施設マネジメントのための数理的劣化状態予測モデルの活用に関する研究
氏 名(Name)	前田 典昭

現在の道路施設は、高度経済成長期に建設されたものが多いため、老朽化が顕著になってきている。一方、社会経済情勢は、少子高齢化や人口減少化による国家財政の逼迫から、道路施設の維持更新財源は減少傾向にある。このような条件下では、施設の機能を確保し、維持更新費用を最小化する管理手法として、アセットマネジメントは、大きな効果を発揮している。しかし、今後の維持管理技術者減少は、従来の技術者経験知で維持管理するマネジメント継続に対する深刻化が予想される。この課題解決には、施設の点検データを数値解析して、劣化の把握や予測から維持管理するマネジメントに転換することが必要である。このような背景から、本論文は、道路トンネル照明施設の維持管理において、点検データから数理的な劣化状態予測モデルを活用した実効的なアセットマネジメント運営を検討したものである。なお、本論文での劣化状態予測モデルとは、施設状態の段階評価した点検データを連続的な健全度に置換して、状態の遷移確率と初期の状態確率からマルコフ確率過程によるマスター方程式で時間変化する状態確率を決定する数理解析モデルである。このため、本モデルは、遷移確率をインプットして時間変化する健全度をアウトプットとする解析プロセスの簡易性を有したものである。この簡易性は、マネジメントに携わる関係者に対して状態の変化について、解析プロセスまで含めた同認識での理解が可能となる。このような理由から、本モデルは、状態変化の可視化や共有化ができるマネジメントの基本ツールとなるものである。

本論文は、はじめに本モデルによる施設の状態変化の把握からの更新補修計画や地震災害時の更新補修計画における実効的な活用方法を提案した。次に、実際のマネジメント運用において、本モデルが、マネジメント関係者に対する情報の可視化や共有化の支援ツールとして活用可能であることを示した。これらから、本モデルの実効的な活用は、アセットマネジメント運用における実務的な品質向上や経営的な意志決定の担保に貢献することを明示したものである。

その具体内容として、各章の概要は、次に示すとおりである。

第1章では、本論文の目的と全体構成を明確化した。また、本論文の研究対象をトンネル照明施設とした理由をマネジメント論と一般システム論から解説した。

第2章では、アセットマネジメントが、狭義的な施設機能維持と広義的な維持費用最適化のマネジメントであることを解説した。そして、マネジメント構造は、品質面の狭義的マネジメントと経営面の広義的マネジメントが相互作用することを示した。これらより、このマネジメントの課題は、狭義的マネジメントの品質向上と広義的マネジメントの効率運営であることを解説した。更に、この課題解決には、施設の状態変化の可視化とその情報の共有化が重要であることを示して、数理解析モデルの実効的な活用の必要性を示唆した。

第3章では、第2章の狭義的マネジメントの課題解決として、トンネル照明施設の劣化解析を適用事例とした本モデルの実効的な活用方法を提案した。その際、本モデルが、課題解決の支援ツールと

なることを具体事例から、次の3点で示した。

第1点は、点検データの内容(量や質)に対応した健全度算出が可能であり、その結果が、施設の状態把握や更新補修計画の可視化に反映できることを示した。

第2点は、劣化が早い鋼板製材質灯具の予防保全として、トンネル内の全灯具数に対する補修数割合を用いて、最適補修率を算出することで、補修計画への適用性を示した。

第3点は、自然劣化に地震災害を加味した健全度予測と更新時期を算出することで、地震リスクまで拡張したアセットマネジメントに対する適用性を示した。

第4章では、第2章の広義的マネジメントの課題解決として、組織の構造や役割から、効率運営に向けた実効的なコミュニケーションの重要性とそのあり方について理論的提案をした。

実効的なコミュニケーションとは、組織内関係者間で、施設の状態変化等のマネジメント情報に対する理解とその共有を可能とするものであることを解説した。そして、マネジメント情報の理解には、情報を可視化するコミュニケーション支援ツールの必要性を社会システム論から解説した。その支援ツールには、数理解析モデルが有効であることを示すため、第3章における本モデルの具体的な活用方法を提案した。更に、組織成長と適用モデルの関係では、マネジメント定着段階までの簡易モデルの適用性と成長段階からの複雑モデルへの拡張性を理論的に示した。

第5章では、技術者減少や情報技術発展に対応した将来型マネジメントについて、狭義的・広義的マネジメントでの数理解析モデルのあり方を具体的に提案した。

狭義的マネジメントでは、人的な点検と各種センサーでのモニタリングが共存したマネジメントの具現像を示した。その際には、本モデルの連続データ対応として、遷移確率の時間発展へのモデル拡張事例を示した。広義的マネジメントでは、準フォーマル組織を付加した体制でのマネジメントの機能強化を提案した。その際には、準フォーマル組織内での本モデルの実効的な活用方法を提案し、コミュニケーションの活性化に貢献できることを示した。

第6章では、各章の成果を整理して、マネジメント価値を高める条件を示した。

最後に、本論文の成果は、アセットマネジメント運用で、数理解析モデルがマネジメントの重要ツールとなり、そのツールの実効的活用がマネジメントの品質向上や効率運営に貢献することを明確にしたものである。そして、本論文の手法は、今後の環境変化に対応したマネジメント運営にも適用可能であることを明示したものである。

(様式9号)

## 学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏名	前田 典昭
審査委員	主査： 河村 圭
	副査： 進士 正人
	副査： 田村 慶信
	副査： 中村 秀明
	副査： 柳原 宏
論文題目	道路トンネル照明施設マネジメントのための数理的劣化状態予測モデルの活用に関する研究 (Study on Utilization of Mathematical Deterioration Prediction Model for Asset Management of Road Tunnel Lighting Facilities)
<p>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</p> <p>近年、日本国内では高度経済成長期に建設された道路施設の老朽化が顕著になってきている。一方で、少子高齢化や人口減少による国家財政の逼迫から、道路施設の維持更新財源は減少傾向にある。さらに、維持管理技術者が減少しており、従来の技術者の経験知でのアセットマネジメントが難しい状況にある。</p> <p>このような背景から、本研究は、道路トンネル照明施設の点検データから劣化状態を予測する数理解析モデルを提案するとともに、数理解析モデルのアセットマネジメントへの実効的な導入手法を提案している。具体的には、本研究では、施設状態を段階評価した点検データを連続的な健全度に置換し、状態の遷移確率と初期の状態確率から、マルコフ確率過程によるマスター方程式で時間変化する状態確率を決定する解析モデルを提案している。続いて、本モデルの更新補修計画や地震災害時の更新補修計画への活用方法を提案している。次に、実際のマネジメント運用において、本解析モデルが、マネジメント関係者に対する情報の可視化や共有化の支援ツールとしても活用可能であることを示し、実務的な品質向上や経営的な意志決定に貢献することを示している。</p> <p>本論文は、全6章から構成されている。第1章では、本研究の目的と対象範囲について、マネジメント論と一般システム論から述べている。第2章では、アセットマネジメントが、狭義的な施設機能維持と広義的な維持費用最適化のマネジメントであることを述べている。第3章では、アセットマネジメントに関連した既往の劣化状態予測モデルの研究についてレビューするとともに、トンネル照明施設の劣化解析を事例として、狭義的なマネジメントの観点より、実点検データの量や質に対応した劣化状態予測モデルを提案し、その結果が、施設の状態把握や更新補修計画の可視化に反映できることを示している。また、劣化が早い鋼板製材質灯具の予防保全として、トンネル内の全灯具数に対する補修数割合を用いて、最適補修率を算出することにより、補修計画へ適用できることを提案している。さらに、自然劣</p>	

(様式 9 号)

化に地震災害を加味した健全度予測と更新時期を算出することで、地震リスクまで拡張したアセットマネジメント手法を提案している。第 4 章では、広義的マネジメントの観点から、組織の構造や役割から、効率的な運営に向けた実効的なコミュニケーションの重要性とそのあり方について提案をしている。第 5 章では、技術者減少や情報技術発展に対応した将来型マネジメントについて整理しており、狭義的・広義的マネジメントにおける数理解析モデルのあり方を具体的に提案している。第 6 章では、各章の成果を整理し、本研究で得られた成果と今後の研究課題についてとりまとめている。

なお、本審査申請時の論文題目は、「道路トンネル照明施設マネジメントのための数理的劣化状態予測モデルに関する研究(Study on a Mathematical Deterioration Prediction Model for Asset Management of Road Tunnel Lighting Facilities)」であったが、本審査会での意見を受けて、「道路トンネル照明施設マネジメントのための数理的劣化状態予測モデルの活用に関する研究(Study on Utilization of Mathematical Deterioration Prediction Model for Asset Management of Road Tunnel Lighting Facilities)」に修正された。

公聴会はオンラインのみで実施し、学内外から 20 名の聴講者があった。公聴会における主な質問内容は、材質が異なる鋼板製灯具とステンレス鋼板製灯具の劣化状態予測モデル式の相違理由について、トンネル坑口部と中央部での鋼板製灯具とステンレス鋼板製灯具の使い分けについて、将来マネジメント像での準フォーマル組織の実現性について、などであった。いずれの質問に対しても発表者からの確かな回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士(学術)の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。(関連論文 計 5 編、参考論文 0 編)

- 1) 前田典昭, 河村 圭: 簡易動的マクロモデルによるトンネル照明設備の健全度予測, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol.71, No.1, pp.19-32, 2015.
- 2) 前田典昭, 河村 圭: 地震のイベント・リスクを考慮したトンネル照明設備におけるインフラアセットマネジメントの手法提案, 日本地震工学会論文集, Vol.19, No.7, pp.27-40, 2019.
- 3) 前田典昭, 河村 圭: トンネル照明設備の効率的な補修対応策における提案, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.75, No.2, pp.I\_30-I\_39, 2019.
- 4) Noriaki Maeda, and Kei Kawamura : A PROPOSAL OF DETERIORATION PREDICTION MODEL FOR TUNNEL LIGHTING FACILITIES USING MARKOV STOCHASTIC PROCESS, Proceedings of the 4th International Conference on Civil and Building Engineering Informatics, 2019, pp.162-169, 2019.
- 5) N. Maeda and K. Kawamura : AN ASSET MANAGEMENT MODEL FOR LIGHTING FACILITIES IN A TUNNEL CONSIDERING SEISMIC RISK, The 17th World Conference on Earthquake Engineering, 8b-0047, pp.1-11, 2020.