



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Prediction-based maintenance of existing structures considering multi-influential factors [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	苗, 鹏勇
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14679号
Issue Date	2021-09-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/83259
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Miao_Pengyong_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 苗 鵬 勇

審査担当者 主 査 教 授 蟹江 俊仁
 副 査 教 授 渡部 要一
 副 査 教 授 杉山 隆文
 副 査 名 誉 教 授 横田 弘

学位論文題名

Prediction-based maintenance of existing structures considering multi-influential factors

(複数の劣化要因を考慮した予測モデルに基づく既存構造物の維持管理)

社会基盤施設は、社会の持続可能性を確実なものとするためにも、供用中に的確な維持管理が行われる必要がある。維持管理では点検調査により施設の部位・部材の変状を確認し必要な対策を検討することになるが、点検時の状態のみならず将来の劣化進行を予測する必要がある。材料の品質、施工の状況、周辺環境、外的作用等の複数の要因を同時に受けることから、劣化の要因と進行の関係を明確にすることが難しく、またこれら要因の相対的影響度も十分に解明されていない。また、コンクリート構造物の主たる変状は表面にひび割れである。ひび割れは点検診断時に画像データとして収集・蓄積されるが、ひび割れの定量化に多くの時間と労力が必要であり、直感的なマネジメントは容易ではない。特に一般的な基盤施設は複雑なシステムとして成り立っており、予測に基づく最適な維持管理を行う際には、上述の情報を一元的なプラットフォーム上で展開し、包括的に理解していく必要がある。

このようなことから、本研究では、ニューラルネットワーク、感度分析、マルコフ連鎖、**BIM** を使用して、予測に基づいた維持管理を実現する方法を検討している。特に、リカレントニューラルネットワークとマルコフ連鎖を用いて劣化進行を予測し、感度分析による劣化機構を明らかにしている。また、畳み込みニューラルネットワークと新たに開発したアプリケーションを統合して、コンクリート構造物の点検時の画像からひび割れを識別するモデルを構築している。最後に、これらを **BIM** プラットフォーム上で統合し、ひび割れ等の損傷を 3D で視覚化することで、より効率的な維持管理を実現する手法を提案している。

本論文は全 7 章から構成されており、各章の内容は次のとおりである。

第 1 章では、研究の背景と既往の研究成果をまとめており、研究の目的および意義を示している。

第 2 章では、本研究で用いた劣化予測手法について述べている。はじめに、ニューラルネットワークによるモデル化を試み、多層パーセプトロン (MLP) と回帰型ニューラルネットワーク (RNN) を適用して劣化度の進展を予測するための手法を説明し、ネットワークパラメータが適切に設計されている場合には、満足し得る予測が可能であることを示している。また、従来の確率モデルとしてマルコフ連鎖を適用し、これらの相互比較を行っている。次に、シャープレイ値法とソボル指数法を適用して感度分析を行うことで、劣化の機構を明らかにしている。ひび割れに対しては、取得画像を畳み込みニューラルネットワーク (CNN) に導入する方法を示し、精度等を評価している。最後に、劣化予測モデル、ひび割れ識別モデル、構造三次元モデルを連携した **BIM** プラットフォームを新たに構

築している。

第 3 章では、劣化進行モデルの構築および提案するモデルの精度について詳細に論じている。北海道内の橋梁の点検診断データを用いて MLP, RNN, マルコフモデルによる予測を行い、RNN による予測は 8 割を超える精度が得られることを示している。橋梁の劣化に大きな影響を与える因子は、使用年数、交通量、橋面積、飛来塩分量、最低気温であることも明らかにしている。

第 4 章では、代表的な劣化現象としてひび割れを取り上げ、画像データでのひび割れの識別モデルを CNN により構築し、その検証を行っている。ひび割れを検出するために新たに近隣スキニング法を提案し、ひび割れ幅の平均相対誤差が従来法に比べて約 6 割低減できることが明らかにしている。

第 5 章では、ケーススタディとして札幌市内にある 5 橋梁を対象に BIM プラットフォームを構築し、その検証を行っている。橋梁の 3 次元モデルと第 3 章で構築した劣化予測モデル、第 4 章で構築したひび割れ識別モデルを統合して BIM プラットフォームを生成し、これを用いて橋梁のひび割れ損傷を評価し、劣化（ひび割れ）の発生理由とその進展状況を示し、補修等が必要となるまでの期間を予測している。BIM プラットフォームにより、ひび割れを 3D で視覚化でき、劣化の進行をわかりやすく提供できることを示している。

第 6 章では、ここまでで述べた成果および課題に基づいて実用的な劣化予測の点からさらなる考察を加え、構築した各モデルの適用限界について述べている。特に、複数の劣化要因のそれぞれの重要度を推定することで、より効果的な補修戦略を立案する手法を提示している。

第 7 章は、本論文の総括であり、本研究の結論として得られた知見をまとめ、今後の課題を示し、実施すべき研究を示唆している。

これを要するに、著者は、ニューラルネットワークにより社会基盤施設の劣化進行予測モデルを構築しそれが十分な精度を有することを明らかにするとともに、構築したひび割れ識別モデルを BIM プラットフォームに実装して、補修時期等の推定に有用であることを提示した。これはひび割れを有する施設の予測に基づいた効率的な維持管理を実現できる実用的な知見を得たものであり、コンクリート工学、構造工学、維持管理工学の発展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があるものと認める。