

氏名(本籍)	内堀 大輔		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第 10020 号		
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査学術院	理工情報生命学術院		
学位論文題目	画像認識による劣化検出を用いた通信用マンホールの点検手法に関する研究		
主査	筑波大学 教授	博士(工学)	庄司 学
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	松島 亘志
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	金久保 利之
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	北原 格
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	西尾 真由子

## 論文の要旨

本論文では、通信土木設備の中でも特に高齢化の割合が高く、かつ、点検時のコストが大きい通信用マンホールを対象として、これらに発生した劣化・損傷を画像認識に基づいて効率的に検出する手法の開発が試みられている。併せて、マンホール内部の非 GPS 環境下における UAV による点検用画像の撮影・取得手法の提案がなされている。

第 1 章では、通信土木設備を構成する管路、洞道、橋梁通信設備、マンホールの高齢化の現況と点検内容を統計データに基づき総括し、特に通信用マンホールの点検手法の課題を明らかにした上で、研究目的を設定し本論文の構成を示している。第 2 章では、対象とするマンホール構造の鉄蓋部と躯体部の劣化発生メカニズムに焦点をあてて、これらに対して各 4 段階の劣化ランクを定義し、本研究の課題と独自性を明確にしている。第 3 章では、マンホールの鉄蓋部の劣化事象である段差と上蓋表面模様の摩耗を対象として、それらの凹み段差量と摩耗量を画像認識により推定する手法を提案し、これらの検出精度に対して定量的な評価を試みている。それを踏まえ、画像認識手法を適用して上蓋表面模様の摩耗状態を判定しやすい模様形状の提案が行われている。第 4 章では、マンホールの躯体部の劣化事象である露筋と金物腐食の検出を対象として、深層学習に基づく画像認識手法を提案し、これらの検出精度に対して劣化ランクごとに特徴を明らかにしている。第 5 章では、地上の鉄蓋部と地下の躯体部を UAV で撮影する手法が示され、躯体部の撮影において非 GPS 空間を飛行するための UAV の制御方法が提案されている。その上で、現用のマンホールに対する実証実験を行ない、第 4 章の検出手法に基づいた躯体部の露筋の劣化検出結果が示されている。第 6 章では、以上の知見をまとめ結論づけ、今後の課題が示されている。

## 審査の要旨

### 【批評】

本研究では、通信用マンホールの点検技術の効率化を目標として（1章）、a. 鉄蓋部上蓋の段差と表面摩耗、及び、b. 躯体部上床版の露筋と c. 躯体部内部の金物設備の腐食に焦点を絞り（2章）、これらの劣化を画像認識に基づいて定量的かつ高精度に検出する手法の開発が試みられている（a：3章、b, c：4章）。併せて、それらの劣化検出を目的とした UAV による点検用画像の撮影・取得手法の提案を行い、現用マンホールに対する実証実験を行うことで、その精度検証を試みている（5章）。

3章では、鉄蓋部上蓋の凹み段差の検出に対して、テクスチャ処理により対象領域を2値化した上で5°ずつ回転方向をシフトさせ最適化した合成フィルタを求め、段差による陰影の幅と長さを抽出するエッジ検出方法を提案している。上蓋の表面摩耗の検出については、174か所の上蓋模様の画像を取得した上で、各画像における1辺50画素のそれぞれの分割領域に対してrotated LBP特徴量を算出し、これらのヒストグラムと摩耗量実測値のデータセットに基づく表面摩耗量の推定方法を提案している。提案方法に基づく段差量並びに表面摩耗量の推定値はノギスによる実測値に対して1.00mm未満の誤差範囲を示し、精度が高く、実用性に富む手法が提案されていると言える。

4章では、躯体部上床版の露筋並びに躯体部内部の金物設備の腐食の検出を対象とし、露筋に対しては480画素×320画素、金物設備の腐食に対しては512画素×512画素の1,000枚ずつの画像を取得し、各画像における劣化領域をタグ付けした上で、これらのRGB画像配列をもとに深層学習による画像セグメンテーションの一手法であるU-netを適用することで、損失関数を最適化した新たな識別子モデルを提案している。微小な露筋が少数あるいは点在する初期の劣化ランクですら95%近くの再現率を示すとともに、露筋が鉄筋の軸方向に進行しコンクリートの剥離が生じる重度の劣化ランクとなると98%前後の極めて高い再現率を示している。金物設備の腐食についても同様の結果が得られており、通信用マンホール躯体部の点検実務の効率化に資する学術的に有用な知見が得られている。

5章に関しては、非GPS環境という通信用マンホール内部の困難な環境下において、UAVによる点検用画像の撮影・取得手法を現用マンホールに対して実証し得たという点において、本研究には大きな独自性が認められる。一方、具体の劣化検出に際して、躯体部上床版の露筋の検出に関しては、4章の提案手法に基づく偽陽性の検出領域が増えてしまうという課題が残されている。これについて、UAVの飛行時の揺れの制御や撮影時の照度調整の方法を再検討する必要があるだろう。

### 【最終試験の結果】

令和3年2月8日、理工情報生命学術院において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。この結果とシステム情報工学研究群構造エネルギー工学学位プログラムにおける達成度評価による結果に基づき、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。