

## 学位論文要旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目  
(Dissertation Title)深層学習によるコンクリート道路橋の橋梁定期点検要領に準拠した  
変状検出に関する研究

氏名(Name)

青島 亘佐

我が国の膨大な社会インフラは、高度経済成長期に建設された施設を中心に、近い将来一斉に老朽化の目安とされる建設後50年に到達し、そのような施設の割合が今後加速度的に高まっていくことが予見されている。さらに、熟練技術者の退職や生産年齢人口の減少により、今後の専門技術者の不足も懸念されている。そのような社会的な潮流の中、平成26年に全国の道路構造物のうち、橋梁やトンネル等については、近接目視による5年に1回の定期点検が法律で定められた。近年のデフレが進行する社会情勢や財政事情において、この法律改正による市町村への負担の増大の影響は大きく、主要な道路構造物に対する点検は、これまで以上に膨大な予算およびマンパワーが必要となった。維持管理コストの縮減は喫緊の課題であり、特に膨大な施設数である道路橋は、社会インフラ全体の維持管理コストに占める比率が高く、縮減の必要性が高い。そこで、点検→診断→措置→記録の工程で構成されるメンテナンスサイクルの起点となる「点検」に焦点を当てて、コストの縮減に寄与する技術の研究を行うこととした。

本論文は、橋梁点検の省力化のために、コンクリート変状の画像からの検出に取り組んだ研究成果を取りまとめたものである。

第1章では、我が国における社会インフラの維持管理の現状と課題をまとめるとともに、コンクリートの画像からの変状検出に関する既往の研究動向の整理を行った。その上で本研究の目的と着眼点を整理し、本論文の構成と概要について述べた。

第2章では、深層学習によるコンクリートの変状検出の基礎検討として、変状画像のクラス分類について検討を行った。また、深層学習の課題の一つに挙げられるブラックボックス問題への懸念から、テストデータに対するクラス分類実施時の判断根拠の可視化による確認にも取り組んだ。検討の結果、深層学習による物体認識技術に転移学習等の精度向上の方策を用いることで、コンクリートの変状の画像について、画像内の適切な部分に着目した上で、変状の種類のみならず変状のランクの区分まで含めてクラス分類を精度よく行えることが検証できた。

第3章では、難易度が低いタスクであるクラス分類が適切に行われたことを受けて、クラスの分類に加えて対象とする物体の領域を特定することから難易度が数段高いタスクとなる、物体検出手法による検出とセグメンテーション手法による検出について検討を行った。本研究の主目的である、セグメンテーションによるピクセル単位での変状の検出に向けて、複数の手法についての比較評価を行い、コンクリートの変状の検出に対して適性の高い手法を選定するとともに、精度よく領域を検出する方法を検討した。具体的には、矩形領域で変状を検出する物体検出を前段で行って、その矩形領域に対して物体検出時に特定された種類の変状と背景との2クラス分類のセマンティックセグメンテーションを実行する。この手法により、多クラス分類のセマンティックセグメンテーションを一括して行った場合よりも、実際の点検における評価に沿った適切な検出結果を得ることが可能となった。

第4章、第5章では、第3章で検討を行った本研究の変状検出の主軸であるセグメンテーションを補完する技術について検討を行った。社会インフラの点検という目的の性質上、検出漏れ(False Negative)の発生を最小限に抑制する必要があるが、あらゆる多様性を有するコンクリートの変状画像への物体検出およびセグメンテーションの適用は、まだまだ難易度が高い。第4章では、本研究のセグメンテーション手法の前段部分となる、物体検出による変状の領域における不確

様式7号(第12条,第31条関係)

(様式7号)(Format No.7)日本語版

かさを排除する目的で、ピクセル単位で深度の情報を有する深度画像を併用した検出手法について検討を行った。コンクリート面に一定量以上の凹凸が併発する変状に適用が限られるが、深度という物理量を用いることで、大量の教師データから変状の特徴量と位置を統計的に学習するよりも容易に領域の検出を行えることを検証した。また、深度画像は、得られる深度の情報と撮影機器の画角を基に1ピクセルあたりの尺度を把握できることから、変状の定量値を把握する処理方法の検討も併せて実施した。深度画像についての一連の検討により、従来のRGB画像に加えて深度画像も取得できるRGB-Dカメラが、目視点検の省力化および効率化に有効なデバイスであることを立証した。

第5章では、もう一つの補完技術として、収集が容易なコンクリートの正常画像を用いた教師なし学習による異常検知手法について検討した。検討の結果、深層学習の生成モデルを応用した AnoGAN と深層学習の識別モデルを応用した DOC を併用した異常検知により、複数の変状が存在する広域的な画像に対しても何らかの異常が疑われる領域をスクリーニング的に検出でき、検出漏れを補完可能であることが検証できた。

本研究の成果は、深層学習による画像認識技術を用いて、多くの研究が行われてきたひび割れ以外の、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰という橋梁定期点検要領に規定された変状も対象として、変状のランクの区分も踏まえた検出を可能とする手法、実務的な運用に向けてエラーを最小化するために併用する補完技術を開発したことである。

(様式 14 号)

## 学位論文審査の結果及び試験，試問の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	青島 亘佐
審査委員	主 査：中村 秀明
	副 査：進士 正人
	副 査：麻生 稔彦
	副 査：河村 圭
	副 査：吉武 勇
論文題目	深層学習によるコンクリート道路橋の橋梁定期点検要領に 準拠した変状検出に関する研究 (A Study on Concrete Deterioration Detection Based on Periodic Bridge Inspection Guideline for Concrete Road Bridges by Deep Learning)
<p>【論文審査の結果及び試験，試問の結果】</p> <p>高度経済成長期に建設された膨大な社会インフラが，近い将来一斉に更新時期を迎えることが予見されている。さらに，熟練技術者の退職や生産年齢人口の減少により，社会インフラの維持管理に携わる専門技術者の不足も懸念されている。このような社会事情から，構造物の点検を合理的かつ経済的に推進していくための方策として IoT や AI 等の情報処理技術の活用が考えられる。</p> <p>本研究は，コンクリート構造物の一つである道路橋を対象とし，点検作業の効率化と省力化を目的に，一般的な点検作業で重要となる変状の検出とその損傷程度のランク付けに AI の一手法である深層学習 (Deep Learning) による画像認識技術の活用について検討を行い，適用性の確認と精度向上を図ったものである。</p> <p>第 1 章では，我が国における社会インフラの維持管理の現状と課題をまとめるとともに，画像認識を用いたコンクリート構造物の変状検出に関する既往の研究動向を整理し，本研究の着眼点を述べている。</p> <p>第 2 章では，変状を撮影した画像の収集が困難で，十分な学習データが揃わない実際の現場での利用を鑑み，深層学習による変状検出の基礎的検討として，変状画像のクラス分類について検討を行い，データ拡張や事前学習済みモデルを用いた転移学習 (Fine-tuning) の有効性を明らかにしている。</p> <p>第 3 章では，実際の点検作業において特に時間を要する変状図作成の省力化を目的に，変状領域の検出とそのセグメンテーション (領域分割) について検討を行っている。セグメンテーションでは，すべての変状に対して，一括してセグメンテーションを行うのではなく，最初に，矩形領域で変状領域の検出とクラス分類を行い，その後，検出された領域に対して，背景と変状領域の 2 クラスのセグメンテーションを行うといった，2 段階セグメンテーション手法を提案し，その有効性を示している。</p>	

第 4 章では、カメラと物体までの距離（深度）を測定することが可能な RGB-D カメラを用いて、深度情報から変状領域を検出することによって、変状領域の検出を補完する技術について検討を行っている。深度情報を用いることにより、凹凸が生じている変状については、変状領域の検出が可能であり、さらに、変状領域の定量的な把握（実際の大きさの把握）も可能であることを明らかにしている。

第 5 章では、学習データである変状を撮影した画像の収集が困難であることを鑑み、コンクリート表面の「正常」な画像から「異常」を検知する異常検知手法について検討を行っている。異常検知手法は、深層学習の識別モデル（半教師あり学習モデル）を応用した DOC と、深層学習の生成モデル（教師なし学習モデル）を応用した AnoGAN を取り上げ、両者を併用することにより、変状の検出が可能であり、変状検出の検出漏れを回避できることを明らかにしている。

第 6 章は、本研究の結論で、点検の効率化や省力化を可能とする技術として、深層学習による画像認識技術が有望で、十分なデータが揃っていない場合でも、データ拡張や転移学習、深度情報の活用、正常画像による異常検知などを併用することで、十分実用的であることを明らかにしている。

公聴会には、オンラインで学内外から 39 名の聴講者があった。公聴会における主な質問内容は、RGB-D 画像（深度データを含む画像）による変状の定量値把握の今後の見通し、研究に用いた深層学習の具体的なネットワーク構造、診断を行う際に必要となる変状原因究明への見通し、撮影条件（カメラの種類や明るさ等）の違いや、壁面の汚れの影響、撮影条件の標準化に向けた取り組みの状況、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（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容および審査会、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通りである。（関連論文 計 3 編、参考論文 0 編）

1. 青島亘佐，河村伸哉，中野聡，中村秀明：深層学習による画像認識を用いたコンクリート構造物の変状検出に関する研究，土木学会論文集 E2（材料・コンクリート構造），Vol.74，No.4，pp.293-305，2018.
2. 青島亘佐，中野聡，徳永皓平，中村秀明：深層学習による異常検知手法を用いたコンクリート表面の変状検出，土木学会論文集 A2（応用力学），Vol.75，No.2，pp.I\_559-I\_570，2019.
3. 青島亘佐，山本拓海，中野聡，中村秀明：深層学習によるセグメンテーション手法を用いたコンクリート表面の変状領域の抽出，土木学会第 1 回 AI・データサイエンスシンポジウム論文集，掲載決定，2020.