

LiDAR と深層学習を活用したコンクリート橋における剥離・鉄筋露出の自動検知

日本電気株式会社
日本電気株式会社
長崎大学

正会員 ○安倍 次郎 正会員 小倉 一峰
非会員 住谷 達哉 非会員 カーン ナグマ
正会員 山口 浩平

1. 研究背景と目的

国内橋梁の老朽化は深刻さを増し、2031年には約57%の橋梁が建設後50年を超過する¹⁾。橋梁点検における技術者不足が社会課題となっており、2020年に実施された橋梁点検の4割以上は研修・資格をともに有さない実施者によるものであった¹⁾。橋梁点検の効率化を目的として、2019年に改正された『橋梁定期点検要領』²⁾では、橋梁の状態把握において近接目視に対する代替技術の利活用が容認された。代替技術の例としては、カメラ画像によるひび割れ検知などが盛んに研究されている。ただし、画像は各画素の色の違いを利用するため、損傷及びその周辺で色に変化がない場合、損傷有無または損傷境界を判断することが困難である。また、単眼カメラの画像のみから損傷の位置やサイズを得ることは一般的に難しいといった課題もある³⁾。

本研究では画像の代わりにLiDAR (Light Detection and Ranging) が取得する点群上での損傷検知を扱う。LiDARは現実世界の構造物を原寸大でデジタル空間上に再現する三次元スキャナであり、LiDARが取得する三次元データは点群とよばれる。原寸大という特長により、点群上で損傷検知ができれば、損傷の位置が分かるだけでなく、補修設計を見据えた損傷のサイズ・深さの定量化も可能となる。カメラとは異なり、LiDARと橋梁の距離が変わったとしても点群上に現れる損傷の大きさは変わらない。

本稿では、点群上での損傷検知の一検討として、深層学習(ディープラーニング)を用いたコンクリート部材の剥離・鉄筋露出の自動検知手法を提案する。コンクリート表面の損傷に関する形状特徴を深層学習に獲得させ、点群上での剥離・鉄筋露出の自動検知や、損傷のサイズ・深さの定量化を実現する。

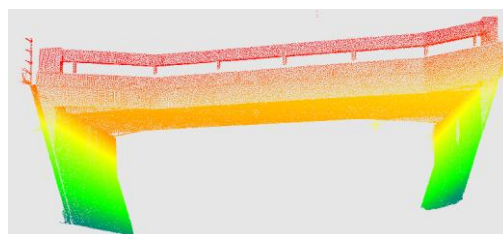


図1 取得した点群の例(橋梁A)

2. 提案手法

点群上での損傷検知手法に関して、まずLiDARを用いた橋梁の点群取得方法を述べ、続いて深層学習による損傷検知方法を説明する。

2. 1. 橋梁の点群取得方法

点群は橋梁下にLiDARを設置して取得する。LiDARはレーザを用いた三次元スキャナであり、対象物にレーザを照射し、その反射光を解析することで対象物までの距離や対象物の形状を測定する。

本研究ではLiDARとしてFARO社Focus S 350を用いた。このLiDARは対象物を1mmの精度で点群化できるため、剥離・鉄筋露出の形状を捉えられる。

図1は今回取得した点群の例である。点群はXYZ座標値を持つ点の集まりであり、この図ではZ座標(鉛直方向)値に応じて着色して表示している。

2. 2. 深層学習による損傷検知方法

点群上での損傷検知は、深層学習により点群の各点をクラス分類(今回は「損傷」「非損傷」のいずれかに分類)することで実現される。

本研究では点群を扱う深層学習として、PointNet++⁴⁾を用いた。ただしPointNet++は一般的に約10万点以下の点群を扱い、100万~1億点規模からなる橋梁全体の点群を一度に扱えない。また、検知する損傷は橋梁全体に対してサイズが小さいため、橋梁の点群を直径1mの領域に分割し、領域ごとに

キーワード 橋梁点検, LiDAR, 点群, 剥離・鉄筋露出, 深層学習

連絡先 〒211-8666 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753 日本電気株式会社 TEL 044-431-7663

深層学習の結果を得ることとした。

3. 実橋梁に対する剥離・鉄筋露出の検知性能評価

検知性能評価のために6橋梁で点群を取得し、人手により剥離・鉄筋露出箇所のラベル付けを行うことでデータセットを作成した。6橋梁のうち3橋梁（橋梁A,B,C）を用いて深層学習に剥離・鉄筋露出の形状を学習させ、残る3橋梁（橋梁X,Y,Z）に対する検知性能を評価した。図2はLiDAR設置場所から撮影された橋梁B,Cの写真である。6橋梁の内訳として、橋梁A,B,Xは床版橋、橋梁C,YはT桁橋、橋梁Zはコンクリート製橋脚であった。

3. 1. 評価結果

表1は橋梁X,Y,Zにおける剥離・鉄筋露出の検知率と偽陽性率である。検知率は損傷と判定すべき点を損傷と判定した割合であり、偽陽性率は非損傷と判定すべき点を損傷と判定した割合である。橋梁Xと橋梁Zの損傷はほぼ全て検知することができ、検知率は100%に近かった。一方で、T桁橋である橋梁Yに対しては検知漏れが見られ、検知率は約7割であった。偽陽性率はいずれも10%前後であった。

図3に橋梁Xの検知結果を示す。図3(a)の赤い点は人手により損傷のラベルを割り当てた点であり、図3(b)の黄緑から赤色で示された点は提案手法により損傷と判定された点である。特に赤色は損傷可能性が高いと判定された点であり、ラベル付けされた箇所に多い。偽陽性の多くは、損傷の境界付近や、コンクリートの継目に現れていた。

3. 2. 損傷形状の表示

図4に示すように、検知された損傷のサイズや深さを点群上で分析できる。図4(a)は図3に示された損傷aの拡大表示であり、図4(b)はその形状情報の表示例である。形状情報の色は橋梁表面からの深さであり、青色は深さ0mm（正常な表面）を表し、赤色は深さ30mmを表している。また、点群上の二点を選択することで損傷のサイズも取得できる。

4. 結論

LiDARで取得した点群上での損傷検知を提案した。提案手法により、損傷のラベル付けをした橋梁の点群さえ用意すれば、学習データに無い未知の橋梁に



(a) 橋梁B (b) 橋梁C

図2 学習に用いた橋梁

表1 検知性能の評価結果

橋梁	X	Y	Z
検知率	99.2%	73.0%	98.5%
偽陽性率	11.8%	8.2%	8.9%

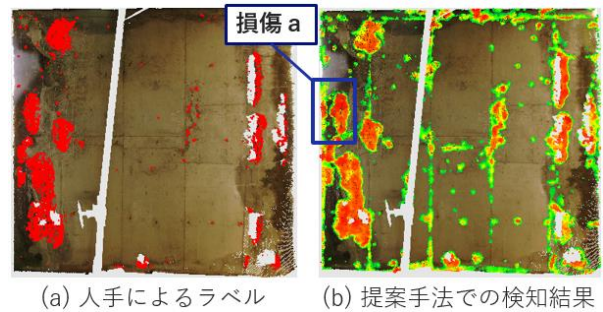


図3 橋梁Xにおける剥離・鉄筋露出の検知結果

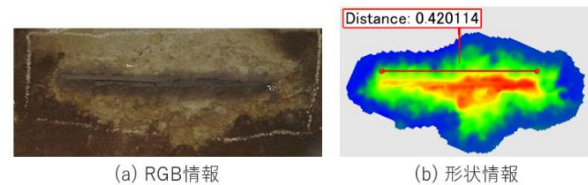


図4 点群上での損傷形状分析の例（損傷a）

対する剥離・鉄筋露出の自動検知が可能となる。上部工形式によって検知性能にばらつきがあるものの、損傷と判断できる箇所を概ね検知できる結果を得た。

今回は損傷有無の分類を扱った。損傷程度の区分を判定できるよう拡張するには、ラベル付け段階での分類など、さらなる検討が必要である。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路メンテナンス年報，2021.
- 2) 国土交通省：橋梁定期点検要領，2019.
- 3) 加戸 啓太，平沢 岳人：Structure from Motionによる写真撮影位置推定の建築分野における活用に関する研究，日本建築学会技術報告集，2018.
- 4) C. R. Qi, L. Yi, H. Su, and L. J. Guibas: PointNet++: Deep hierarchical feature learning on point sets in a metric space, NIPS 2017, 2017.