

点群データと画像情報を統合した深層学習による
ダムコンクリートのひび割れ検出

Deep Learning-Based Crack Detection in Dam Concrete using Point Cloud and RGB Data

○柴野一真*, 伊藤久也**, 千代田淳**, 末松格太郎**, 鈴木哲也***

○Kazuma SHIBANO*, Hisaya ITO**, Atsushi CHIYODA**,
Kakutaro SUEMATSU**, and Tetsuya SUZUKI***

1. はじめに

農業水利施設やダムなどのコンクリート構造物は、長期供用に伴う経年劣化や環境作用によるひび割れの発生が深刻な問題となっている。従来のひび割れ検出は、目視点検や二次元画像解析に依存してきたが、これらの手法は検査員の主観に左右されやすく、また三次元的な損傷形状を正確に把握することが困難であるという課題があった。近年、地上型レーザースキャナ（TLS）による三次元点群データの取得技術が発展し、構造物の高精度な三次元形状計測が可能となっている。解析においても、深層学習技術の進歩により、複雑なパターン認識タスクにおいて優れた性能を発揮することが示されている。しかし、三次元点群データは画像やボクセルデータと異なり順序やグリッド構造を持たないため、従来の畳み込みニューラルネットワーク（CNN）をそのまま適用することができない。本研究では、TLSによって取得した三次元点群データの PointNet によるダムコンクリートのひび割れ検出手法を提案する。TLS 点群は三次元座標に加えて RGB 情報も有しているため、三次元座標以外の考慮によるコンクリート表面のひび割れの三次元的な検出の高精度化を検討する。

2. 計測方法および解析方法

損傷が顕在化している農業水利コンクリート構造物を対象に、TLS 計測を行った。TLS は FARO® Focus S150 Laser Scanner を用いた。TLS の技術仕様を Table 1 に示す。TLS では、測距された点群に対して RGB 画像からマッピングされ、RGB 点群が取得される。Fig. 1 に示す通り、ひび割れと非ひび割れの分類を行った。解析的検討では、TLS 点群を深層学習で取り扱うために提案された PointNet¹⁾によりひび割れ検出を試みた。PointNet のモデ

Table 1 TLS の技術仕様
Specification of TLS device

指標	TLS
測定範囲	0.6-150 m @90%
波長	1,550
スポット サイズ	6.3 mm @10 m
測距方向 分解能	1mm
走査範囲	水平：360° 垂直：300°
走査範囲 分解能	15 arcsec (水平・垂直)
最近傍点間距離	3.1 mm @10 m

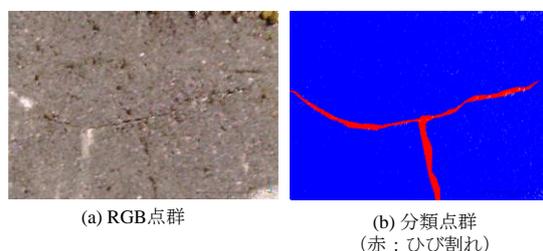


Fig. 1 ひび割れ部の RGB 点群と分類された点群
RGB point clouds of crack and classified point clouds.

*新潟大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Science and Technology, Niigata University

**株式会社日本水工コンサルタント Nihon Suiko Consultant Co.,Ltd.

***新潟大学自然科学系（農学部） Institute of Agriculture, Niigata University

キーワード：地上型レーザースキャナ、点群、深層学習

ル図を Fig. 2 に示す。三次元点群は、画像やボクセルデータと異なり順序やグリッド構造を有していない。PointNet では、順不同なデータを扱うために提案された Shared MLP と (Max-) Pooling を組み合わせたネットワークが用いられている。Shared MLP とは、各点について、チャンネル方向に同一の MLP (Multi-layer Perceptron) を適用する手法である。Max-Pooling では、各点の特徴量が集約される。関数に最大値を用いることで、点の順序が変わっても点群全体での最大値に変化がないため、点の順序によらない出力となる。訓練・検証用データのひび割れ部は精度を得るのに十分ではなかったため、公開されているひび割れ検出用の TLS 点群データを追加した²⁾。解析ケースは、三次元座標のみと三次元座標+RGB 情報の二ケースとし、正解率、適合率、再現率、F1 値を比較した。

3. 結果および考察

コンクリート構造物のひび割れ検出において、三次元座標のみを用いた場合と、RGB 情報を統合した場合の性能比較を行った。

Table 1 に異なる変数を用いた PointNet によるひび割れ検出結果を示す。実験結果は全ての評価指標において性能向上を示し、特に再現率が 0.516 から 0.595 へと 0.079 の相対的な向上が確認された。これは RGB 情報が微細なひび割れの未検出を低減する上で効果的であることを示している。適合率は 0.691 から 0.712 へと向上し、色情報の付加が誤検出を増加させることなく検出能力を向上させることが確認された。F1 値においても 0.591 から 0.649 へと 0.058 の相対的な向上を示し、総合的な分類性能の改善が実証された。この性能向上のメカニズムとして、入力特徴量の次元拡張による表現能力の向上、形状変化としては捉えにくい微細なひび割れの色彩変化による検出が挙げられる。RGB 情報は

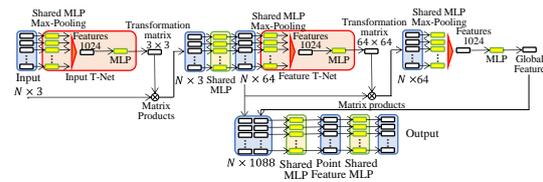


Fig. 2 PointNet のモデル図

Architecture of PointNet.

Table 1 異なる変数を用いたひび割れ検出結果
Crack detection results using different variables

指標	三次元座標	三次元座標+ RGB 情報
正解率	0.730	0.756
適合率	0.691	0.712
再現率	0.516	0.595
F1 値	0.591	0.649

環境光の変化に対して脆弱性を有する一方、座標情報のみでは微細なひび割れと周囲の形状差異が小さく検出が困難であるため、両者を相補的に活用することで各々の欠点を相互に補完するアプローチが有効である。特に再現率の顕著な向上は検出漏れの低減に直結し、計測時に取得される RGB 情報の付加という比較的容易な方法で有意な性能向上が達成された。

4. おわりに

本研究では、TLS 点群データを用いたコンクリート構造物のひび割れ検出において、RGB 情報を統合することの有効性を実証した。三次元座標のみの場合と比較して全ての評価指標で向上が見られ、特に検出漏れの低減が確認された。今後の課題として、TLS 点群が有する反射強度の指標の活用と局所特徴量の抽出により、検出精度の向上を検討する必要がある。

謝辞 農業水利構造物の地上型レーザスキャナ計測では、新潟県農地部の協力を得た。ここに記して感謝申し上げる。

引用文献

- 1) Qi, C. R., Su, H., Mo, K. and Guibas, L. J. (2017) : Pointnet: Deep learning on point sets for 3d classification and segmentation, In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 652-660.
- 2) Stałowska, P. and Suchocki, C. (2022) : TLS data for cracks detection in building walls, Data in Brief, 42, 108247.