

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12083

研究課題名（和文）深層学習を用いた護岸壁面のひび割れ検知Webシステムの開発

研究課題名（英文）Development of Web System for Detecting Cracks on Wall Surface using Deep Learning

研究代表者

吉田 大介（YOSHIDA, Daisuke）

大阪公立大学・大学院情報学研究科・准教授

研究者番号：00555344

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究者は、自治体の実務で使用される小型汎用ドローンの空撮画像を対象に、深層学習を活用した検知プログラムを開発し、自動的にひび割れ箇所を検知するWebシステムの研究開発を、インフラを維持管理する地方自治体（特に、大阪港湾局）と連携して進めた。研究では、いくつかの港湾岸壁で計測実験を実施し、検知システムの性能評価をおこなった。現状の評価結果では幅3mm以上（3mmから数cm）のひび割れを、正解率89%の検知性能が実現できているが、現場によっては1mm程度のひび割れについても正確に検知できている場合もあり、プログラムの改良余地が多く、さらなる研究開発の必要性が明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、将来的に研究成果の他自治体・部局への横展開を想定しているため、高価で取り扱いが難しい産業用ドローンではなく、実際の業務で使用している比較的安価な小型汎用ドローンで得られる画像データを対象とし、深層学習を用いた物体検出手法の実装により、港湾施設点検に必要な検知性能を目指す点があげられる。また、この本研究を通じ、自治体職員のドローンの操縦を含めた計測データの活用がおこなえる人材育成についても同時に進めた。

研究成果の概要（英文）：The researchers have developed a detection program that utilizes deep learning for aerial images taken by small general-purpose drones used in the practice of local governments, and are researching and developing a web system that automatically detects cracks. We proceeded in cooperation with local governments that maintain and manage infrastructure (especially the Osaka Ports and Harbors Bureau). In the research, measurement experiments were carried out at several harbor quay walls and the performance of the detection system was evaluated. The current evaluation results show that the detection performance achieves an accuracy rate of 89% for cracks wider than 3mm (ranging from 3mm to several centimeters). However, in some field cases, it is possible to accurately detect cracks as small as 1mm, indicating significant room for improvement in the program. This reveals the need for further research and development.

研究分野：空間情報学

キーワード：深層学習 Webシステム ドローン ひび割れ検知 3次元モデル

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

現在、日本を含む先進国では、高度経済成長期に整備された社会インフラの老朽化対策が重大な課題となっている。国土交通省の調査（社会資本の老朽化の現状と将来予測）では、2033年に建設後50年以上経過する道路橋が約63%、港湾岸壁が約58%にのぼり、戦略的な対策が必要と報告している。このようなインフラの補修や点検などの維持管理には莫大なコストが必要であることや、点検作業を適切に実施できる人材が不足しているなど、インフラ維持管理における課題が多く存在する。国土交通省が i-Construction（土木や建設分野における ICT の全面的な活用）を進めているように、これらの課題の解決策の一つとして、小型無人航空機（ドローン）や深層学習などを含めた様々な ICT の活用が注目されている。特に、インフラデータの収集や状態監視を、ICT の活用により効率的かつ安全におこない、不具合が発生する前に修繕できる仕組み作りが重要と考えられている。しかしインフラを維持管理する現場では、ドローンや深層学習の活用による作業のシステム化だけでなく、それらを扱える人材育成を含め、ICT の導入が進んでいないのが現状である。この背景には、予算の制限やシステムの利用に高度な知識や技術を要することなど様々な要因が存在する。

2. 研究の目的

本研究では、大阪港湾局が管理する港湾岸壁の点検作業にフォーカスをあて、業務で導入している小型汎用ドローンの空撮画像を研究の実験データとする。研究では、ドローンの自動飛行により大量に取得する空撮画像データから、コンクリート構造物のひび割れを自動検知する Web システムの研究開発をおこない、点検作業のスマート化を目指す。具体的な研究目的としては以下があげられる。

(1) 複数の深層学習フレームワークやアルゴリズムを比較検証し、護岸や防潮堤を対象としたひび割れ検知システムに最適なものを明らかにし、検知性能や機能の改良をおこなう。

(2) ひび割れの点検結果を効率的に管理するために、Web システム上で検知結果をわかりやすく可視化し、過去に検知したひび割れとの変状を把握できる仕組みを実装する。

(3) 実験対象を大阪港湾局が維持管理する港湾岸壁（エプロン）とし、システムによりひび割れの検知・可視化した結果と、人の目による確認結果とを比較することでシステムの性能評価をおこない、課題を明らかにする。

3. 研究の方法

港湾岸壁を対象とした点検作業では、幅 3mm 前後のひび割れの確認が重要であるため、幅 3mm 程度のひび割れを高精度に検知できるよう、使用する機体や飛行高度などの検証をおこなった。これには複数の小型汎用ドローン用いて撮影画質や機能を比較検証し、その結果、本研究では、5.5K (5,472×3,648) の画像が撮影可能な Autel Robotics 社製の EVO II Pro を採用した。この機体を用いることで、GSD（地上画素寸法：ドローンの空撮画像における 1px ごとの地上での実際の距離を表す指標）の値から、飛行高度 10m の空撮画像で 2.3mm 程度の物体を認識できる（表 1）。本研究では理論値である GSD と、開発した検知プログラムの検知精度の比較検証をおこなう。

表 1 小型汎用ドローンの搭載カメラの仕様と GSD (飛行高度 10m)

機体名	センサー幅 [mm]	焦点距離 [mm]	画像幅 [px]	GSD [cm/px]
DJI Mavic 3	17.3	12.29	5280	0.26
DJI Phantom 4 Pro	13.2	8.8	5472	0.27
Autel Robotics EVO II Pro	13.2	10.57	5472	0.23

研究目的(1)の研究方法として、ひび割れ検知システムのプロトタイプでは検知機能の改良と性能評価を進める。深層学習を構成するソフトウェアには多くのものが存在し、それぞれ様々な特徴がある。開発や性能の進化速度が速いため、複数のソフトウェアを検証し、護岸・防潮堤のひび割れ検知に最適なものをシステムに実装する。

(2)の研究方法では、検知結果の地理的な位置や検知箇所などの詳細を、わかりやすく可視化するために、3次元モデル上に検知結果を表示する機能について実装をおこなう。また、検知したひび割れが時間の経過とともに、どのように変位しているかを視覚的に理解できるようにする。また、本研究で開発する機能(ひび割れ検知や可視化など)を、誰でも容易に操作できるように Web システムとして実装し、有用性について検証する。

(3)の研究方法では、港湾岸壁で数 mm~数 cm の様々なひび割れ幅のある箇所を検証エリアとして設定した。この検証エリアにおいて、システムによりひび割れの検知した結果と、人の目で実施したひび割れのスケッチ図とを比較することでシステムの性能評価をおこない、検知性能を数値評価した(ただし、具体的な数値については、論文発表前のために非公開とする)。図 1 に、性能検証に用いたスケッチ図を示す。

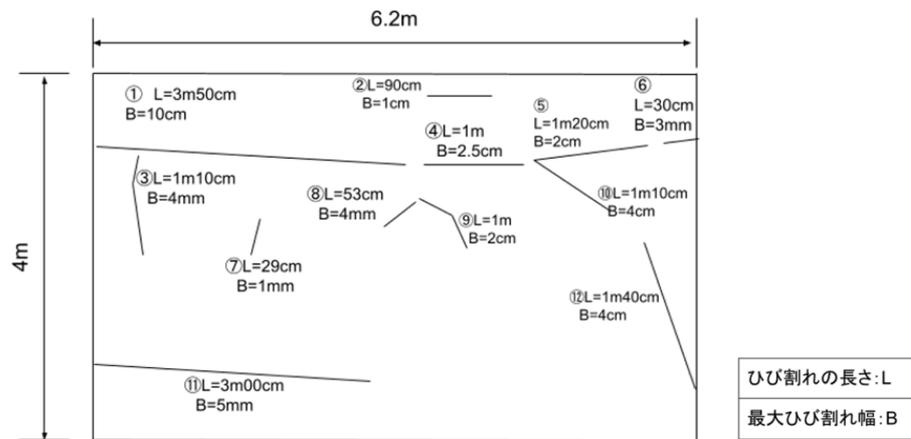


図 1 目視点検によるスケッチ

4. 研究成果

研究目的(1)の成果として、複数の深層学習フレームワークやアルゴリズムを比較検証し、最新のプロトタイプではオープンソースの深層学習フレームワークに PyTorch, アルゴリズムに YOLOR を採用し、ひび割れ検知プログラムを開発した。これまでに比較検証したフレームワーク・アルゴリズムとして、Darknet+YOLOv3, Darknet+YOLOv4, PyTorch+YOLOv5 があり、検証エリアでの検知性能や、学習計算や実装のしやすさ等の理由から、最終的に PyTorch+YOLOR の採用に至った。この構成で開発した検知プログラムをベースに、本研究では、開発したシステムを容易な操作でかつ、システムを広く利用できる環境を想定して、Web システムの開発を進めた。具体的には、開発した検知プログラムをベースに、Web ブラウザから入力画像をアップロードし、検知処理を実行、そして、結果を Web ブラウザ上で表示すること

ができる。

検知システムで検知した結果を図 2 に示す。図中の枠色はひび割れの存在確率を表し、緑色は存在確率が高く (0.8 以上)、黄色が中程度 (0.6 以上 0.8 未満)、赤色が低確率 (0.4 以上 0.6 未満) を示す。なお現段階の検知プログラムでは、継ぎ目もひび割れと同様に検知する仕様となっているが、継ぎ目箇所の検知を除去する機能について実装を現在進めている。



図 2 飛行高度 10m の画像を検知プログラムにより検知した結果

研究目的 (2) の成果として、オープンソース 3 次元地図プラットフォームの Cesium (プラグイン不要で 3 次元表示や時系列表示など, Web ブラウザ上で高度な可視化表現が可能なライブラリ) や 3 次元点群描画ライブラリの Potree を採用し, 検知結果の 3 次元表示がおこなえる機能を開発した。この可視化機能により, 検知したひび割れ箇所を含む画像データを, 3 次元モデル上に可視化が可能となる。これには, 空撮画像から撮影時の位置やジンバルの姿勢情報を取り出し, そのデータをもとに, 検知画像を 3 次元モデル上に正確にマッピングした。図 3 は, コンクリート構造物の 3 次元モデル (左) とひび割れ検知した箇所 (桃色枠) を含む画像 (右) を, 並べて表示した Web システムの画面である。このシステムでは, 空間的に近い画像の検索や, 異なる時期の画像の比較などが行える。



図 3 3 次元モデル (左) とひび割れ検知した画像 (右) を並べて表示した画面

研究目的(3)の成果として、大阪港湾局が管理する複数の現場(特に、岸壁エプロンのひび割れが多く見られる現場を選定)にて計測実験を実施した。計測に使用する機体には、複数種類の小型汎用ドローンと、比較検証のリファレンスのために、フルサイズセンサーカメラ(DJI社製 Zenmuse Pi)を搭載した大型産業用ドローン(DJI社製 Matrice 300 RTK)を用いて検証をおこなった(図4)。



図1 DJI社製 Matrice 300 RTK(左)と Autel Robotics社製 EVO II Pro(右)

検証では1mmから数cmのひび割れが多数存在する箇所を検証エリアとして設定し、飛行高度別(5m, 10m, 15m, 20m, 25m)に撮影した空撮画像を用いて、開発中の検知プログラムの定量評価を実施した。異なる飛行高度別に検証した理由としては、飛行高度が低ければ地上分解能の高い画像が得られるが、計測作業に時間がかかることや、現場によっては電柱などの高い構造物により自動飛行がおこなえない場合がある。検知性能も考慮し、最適な飛行高度について本研究で検証をおこなった。その結果、小型汎用ドローンのEVO II Proを用いることで、飛行高度10mにおいて幅3mm以上のひび割れを検知することができた。このことにより、開発した検知プログラムでは、理論値(GSD)に近い解像度のひび割れを、高い精度で検知できることを確認した(検証エリア一箇所のみ結果となるが、正解率は89%)。

本研究では、小型汎用ドローンの搭載カメラで撮影する空撮画像を入力データとして、自動的にひび割れを検知するWebシステムを開発し、システムの性能検証を、大阪港湾局が管理する複数の港湾岸壁において検証実験を実施した。本研究で開発した検知プログラムは、目標にしている幅(3mm程度～数cm)のひび割れについては、高い精度で検知できている結果は得られたが、検知性能を優先しているために、誤検知が多く(例えば、雑草や継ぎ目、海面の波など)、実用面で活用するためには、まだ多くの課題を解決する必要があると認識した。この課題には、後継の科研費プロジェクトにおいて対応する研究開発を進めており、開発したシステムの実用化に向け、引き続き研究を進める予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Atsushi Takizawa, Haruka Narumoto, Shinpei Ito, Nagahiro Yoshida	4. 巻 2
2. 論文標題 Comparison of Physical Distances Between Pedestrians on a Street in the Central Area of Osaka City Before and After the Covid-19 Pandemic Based on Deep Learning Techniques	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 hitectural Informatics Society	6. 最初と最後の頁 a1-a28
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.50926/ais.2.1_a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 2件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 川合忠雄, 中馬涼兵
2. 発表標題 ドローンを用いた法面の検査
3. 学会等名 日本機械学会 第20回 評価・診断に関するシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小見 大騎, 吉田 大介, 亀山 智仁, 上田 直生
2. 発表標題 港湾岸壁のオルソ画像を対象としたひび割れ検知Webシステムの開発
3. 学会等名 第31回地理情報システム学会研究発表大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小見 大騎, 亀山 智仁, 吉田 大介, 上田 直生
2. 発表標題 物体検出手法とセグメンテーション手法を組み合わせたコンクリート構造物のひび割れ検知システムに関する研究
3. 学会等名 測位技術振興会 第4回研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田 大介
2. 発表標題 ドローンを活用した構造物の計測とデータ活用
3. 学会等名 センサー/DX 技術展2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金 幸隆, 吉田 大介, 根本 達也, 原口 強
2. 発表標題 ドローン写真測量による串本袋港周辺の波蝕棚と海食台の形成水深
3. 学会等名 日本第四紀学会2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀧澤重志, 衣川 雛
2. 発表標題 複数の深層学習手法による街路の全方位の深度推定と都市景観評価への応用
3. 学会等名 地理情報システム学会第30回学術研究発表大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田大介
2. 発表標題 ドローンを活用した構造物の計測とデータ活用
3. 学会等名 第84回 オープン・ラボラトリー『未来都市へと紡ぐインフラ管理技術とデータ活用』(招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	川合 忠雄 (KAWAI Tadao) (20177637)	大阪公立大学・都市科学・防災研究センター・特任教授 (24402)	
研究 分担者	瀧澤 重志 (TAKIZAWA Atsushi) (40304133)	大阪公立大学・大学院生活科学研究科・教授 (24405)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------