

車載カメラと Grad-CAM を用いたポットホール損傷度の簡易評価手法

A simple method for pothole detection by using car-mounted camera and Grad-CAM

室蘭工業大学工学部建築社会基盤系学科 ○学生員 鷲見総一朗 (Soichiro Washimi)
室蘭工業大学大学院工学研究科 正 員 浅田拓海 (Takumi Asada)

1. はじめに

積雪寒冷地では、春先にポットホールが多発し、道路利用者や沿道住民からの苦情が多く、走行の快適性や安全性の面から即座に補修することが求められている。従来は、日常パトロールで目視により発見した後、その場で補修するケースが多い。また、昨今では、スマホを活用した住民報告システムも実用化されているが、社会的・地理的バイアスが指摘されている¹⁾。優先順位に基づいた補修を行うためには、客観的かつ網羅的な調査が必要である。また、このようなデータが蓄積されることで、地域・路線別の特性分析や発生予測に基づく予防保全型の舗装維持管理が可能となる。

このようなニーズから、昨今では、低コストな機器と一般車両を用いた簡易なポットホール検出手法が幾つか提案されている。ただし、以下のような課題が残っている。加速度センサを用いる手法²⁾では、車輪通行部以外のポットホールは検出できない。車載カメラによる路面画像に機械学習³⁾を適用する手法も提案されているが、画像処理パラメータの設定に恣意性が残る。このような課題に対して、深層学習を用いた検出手法が幾つか提案されている⁴⁾⁵⁾。しかしながら、深層学習によるアプローチでは、教師データ構築のために、路面画像の中からポットホール部をクロップするアノテーション作業を必要とし、大きな時間と労力を要する。また、単に検出に留まり、ポットホール部の損傷度を評価しないため、補修検討、さらには発生予測などへの展開が難しい。一方、著者らが構築した、市販カメラを用いた舗装点検システム（簡易カメラ搭載型舗装点検システム）では、深層学習によるひび割れ率推定⁶⁾やひび割れ形状判別⁷⁾が可能であり、わだち掘れや平坦性の評価などについても検討を行っている。本システムにポットホールの損傷度評価を追加し、多様な計測データを統合することで、ポットホールの要因分析や発生予測などへ展開が期待できる。

そこで、本研究では、上記システムにポットホールの損傷度評価を組み込むことを目的として、簡易なアノテーションによる深層学習（CNN：Convolutional Neural Network）モデルと Grad-CAM を用いたポットホール損傷度評価手法を開発する。

2. 方法

2.1 データ

著者らが開発した簡易カメラ搭載型舗装点検システムでは、市販のアクションカメラ（GoPro HERO6）を採用しており、走行しながら前方路面を動画撮影し、同時に取得した GPS データから 5m 間隔で静止画を抽出する。

著者らはこれまでに、北海道内の一般国道、道道、市町村道において広範囲で撮影を行っている。また、全ての静止画は、解析の前処理として、正射変換が適用済みであり、車線部（幅員 3.5m、奥行き 5m）を真上から見た画像（以下、路面画像）として保存されている。本研究では、それらの路面画像の中から、ポットホールが有る画像 577 枚、無い画像 597 枚を目視により判定、選出した。なお、目視判定は、学生 1 名と専門研究者 1 名がクロスチェックしながら行った。

2.2 CNN によるポットホール画像の判別

CNN には、代表的なアーキテクチャである VGG16 を採用した。また、簡易なアノテーションとしては、上記のように、PC 上で路面画像を見て目視判定し、フォルダ分けする方法とした。従来手法のように、ポットホール部を細かくクロップ、トレースするアノテーション作業を必要としないため、迅速かつ容易に学習データを構築できる。アノテーションされたポットホール「有」画像 577 枚、「無」画像 597 枚をそれぞれ 7:3 にランダムに分けて、前者を学習データ（有り 403 枚、無し 417 枚）、後者をテストデータ（有り 174 枚、無し 180 枚）とした。学習時には、ファインチューニングを適用し、全結合層のみでポットホールの判別を学習させた。

2.3 Grad-CAM と GLCM によるポットホール評価

Grad-CAM は、CNN の判別根拠箇所を可視化する手法であり、土木分野でも説明可能な AI として導入ケース⁷⁾が増えている。本研究では、VGG16 によりポットホール「有」と判別された路面画像に Grad-CAM を適用することで、ポットホール部を抽出できると考えた。

次に、抽出されたポットホール部に対し損傷度評価を行う。ポットホール部の発生位置や損傷度は、補修を判断するための重要な因子となる。例えば、表層が剥がれ、路盤材が見えるまでに発達すると、自動車の走行快適性に加えて、生活道路などでは歩行者や自転車の安全性にまで影響を及ぼす。そこで、本研究では、Grad-CAM で検出された箇所を同時生起行列（Gray Level Co-occurrence Matrix：GLCM）を用いて損傷度評価を行う。GLCM はテクスチャの特徴量を算出する場合に用いられる。様々な種類の特徴量があるが、本研究では、表層剥がれや路盤材の特徴を定量化することを目的に、エントロピーを採用した。路面画像に対して、3×3 ピクセルのウィンドウサイズとして、ムービングウィンドウ方式で、GLCM を作成し、以下の式(1)により、エントロピーを算出した。なお GLCM を計算する角度は、0° とした。

$$\text{エントロピー} = -\sum_i \sum_j P(i, j) \log P(i, j) \quad (1)$$

3. 結果

3.1 本手法の精度

CNN のテスト結果を図-1 に示す。正答率 (Accuracy) は 87.0%, ポットホール「有」画像の見逃しの少なさを意味する Recall は 85.1%, 誤検知の少なさを示す Precision は 88.9%を示した。見逃しがあった画像を調べたところ、車や木の影に覆われたポットホールは検知されていなかった。また、路面上の濃い影、湿潤箇所、汚損箇所を誤検知していた。今後は、撮影条件を厳密にしつつ、モデルの再学習により精度向上を図る。

次に、ポットホール「有」画像に Grad-CAM を適用した例を図-2 に示す。ポットホール箇所を的確に捉えており、これらの箇所を2値化処理により抽出できる。その抽出箇所の平均エントロピーを5分割したレーン毎に示した。画像Aでは、車線左側に路盤材が見えており、平均エントロピーは14~18となった。画像Bでは、中央部に小さなポットホールがあり、平均エントロピーが4~7となり画像Aよりも小さい。およそではあるが、平均エントロピーによって損傷度を評価できている。このようなポットホールの発生位置別の損傷度評価は、自動車走行だけではなく、車線左側を通行する自転車などを考慮した路面管理にも役立つと考える。なお、損傷度評価の精度検証は今後の課題とする。

3.2 実路線への適用

本手法を道道117号線(2020年7月に調査)に適用した例を図-3 に示す。ここでは、100m 区間毎の集計結果として、ポットホール「有」画像の枚数および平均ひび割れ率を示している。ひび割れが著しく修繕(オーバーレイなど)の必要性が高い区間が複数あるが、その一方で、ひび割れがほとんどないが、ポットホールが多発している区間も多い。このように、ひび割れ率などの統合分析により、修繕あるいはポットホール部の応急補修の診断や区間選定を支援できる。また、このような複合的なデータを蓄積し、ポットホールの発生予測が可能になれば、予防保全型の舗装維持管理を展開できる。

4. まとめ

本研究では、市販の車載カメラで撮影された路面画像に CNN と Grad-CAM を適用してポットホールを検出し、さらに損傷度を評価する手法を開発した。本手法では、路面画像毎にアノテーションを行う方法を採用し、学習データの構築を効率化した。また、Grad-CAM により抽出したポットホール箇所の平均エントロピーにより、発生位置と損傷度を考慮した補修を検討できる。ただし、CNN のテストや実路線への適用結果を調べたところ、路面上の影や汚損などが精度低下要因となっていた。今後は、本手法の簡易なアノテーションを生かして学習データを集め、精度向上を図る。

参考文献

- 1) Kontokosta, C and Hong, B : Bias in smart city governance: How socio-spatial disparities in 311 complaint behavior impact the fairness of data-driven decisions, Sustainable Cities and Society, Vol.64, 2021.

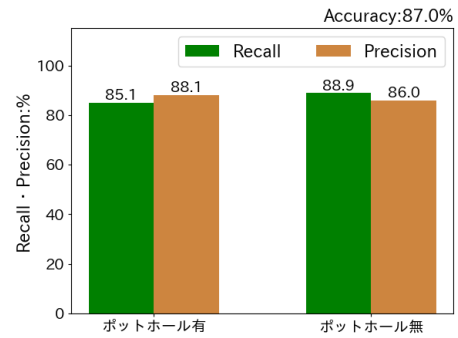


図-1 CNN の判別精度

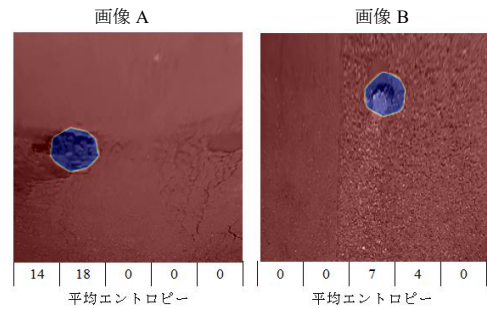


図-2 Grad-CAM による検出とレーン別エントロピー (例)

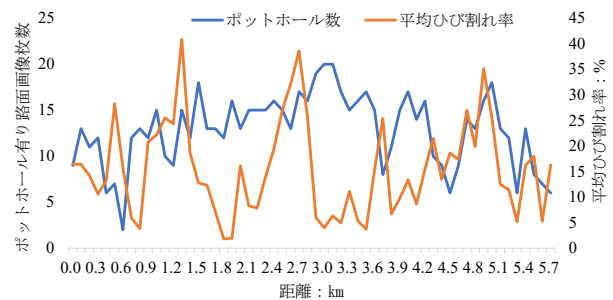


図-3 道道117号におけるポットホールとひび割れの発生状況

- 2) 黒木幹, 峰岸順一, 岩井茂雄: 走行車両の車軸の加速度測定による路面の段差評価方法とその適用性, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.67, No.3, pp.1_59-I_64, 2011.
- 3) 穀力果奇, 阿栄, 村上茂之, 佐々木博: スマートフォンによる路面性状の平坦性の簡易診断における SVM の適用可能性, 交通工学論文集, Vol.4, No.4, pp.1-10, 2018.
- 4) 今井龍一, 中村健二, 塚田義典, 伊藤大悟, 栗原哲彦: ドライブレコーダ画像を用いた深層学習による道路舗装のひび割れ評価手法に関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.77, No.2, pp.1_67-I_76, 2021.
- 5) 佐藤公紀, 紺野康二, 高野淳, 長田隆信: 首都高におけるカメラ点検システムと AI 損傷自動検出を活用した巡回点検の高度化, AI・データサイエンス論文集, Vol.2, No.2, pp.1_539-I_544, 2021.
- 6) 浅田拓海, 居駒薫, 長屋弘司, 亀山修一: U-net によるひび割れスケッチを導入した簡易カメラ搭載型舗装点検の精度検証, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.76, No.2, pp.1_123-I_131, 2020.
- 7) 長屋弘司, 浅田拓海, 亀山修一: 説明可能な AI を用いた舗装のひび割れ発生原因判別システムの開発, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.77, No.1, pp.28-38, 2021.