(51) 4K 車載カメラ画像に影の除去処理を適用した道路舗装のひび割れ検出に関する基礎的研究

石川　健太[1]・今井　龍一[2]・中村　健二[3]・塚田　義典[4]・梅原　喜政[5]

[1]学生会員　法政大学大学院　デザイン工学研究科（〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33）
E-mail: kenta.ishikawa.7n@stu.hosei.ac.jp

[2]正会員　法政大学教授　デザイン工学部（〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33）
E-mail: imai@hosei.ac.jp

[3]正会員　大阪経済大学教授　情報社会学部（〒533-8533 大阪府大阪市東淀川区大隅 2-2-8）
E-mail: k-nakamu@osaka-ue.ac.jp

[4]正会員　摂南大学准教授　経営学部（〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8）
E-mail: yoshinori.tsukada@kjo.setsunan.ac.jp

[5]正会員　摂南大学講師　経営学部（〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8）
E-mail: yoshimasa.umehara@setsunan.ac.jp

道路管理者は，道路舗装の状況を把握するため，路面性状調査や目視点検を実施しているが，労力および費用の面で課題を抱えている．そこで，ドライブレコーダやスマートフォンで撮影した 4K 解像度の道路舗装の動画像を深層学習により解析する技術が注目されている．しかし，既存研究では，路面に写り込んだ影がひび割れの検出精度を低下させる一つの要因であった．そこで，本研究では，深層学習を用いて，車載カメラで撮影した 4K 解像度の動画像から影を除去するとともに，路面性状調査結果に基づく健全・損傷判定モデルを構築することで，ひび割れを高精度に検出する手法を開発した．そして，実証実験を通じて，約 9 割の精度でひび割れを検出できることを明らかにした．

Key Words: *road surface condition survey, cracks, vehicle-mounted camera, 4K, deep learning*

1. はじめに

道路管理者は，約 128 万 km の道路舗装の状況を把握するため，日常的な巡視や数年ごとの精緻な路面性状調査 [1]を実施している．しかし，全国の道路舗装の調査には，多大な時間と労力が必要である．また，近年の人員不足に伴い，巡視の品質確保が困難になることが懸念されている．加えて，現行の路面性状調査は，高機能なカメラやレーザ機器等の専用機材を搭載した車両で実施するため，調査費用が高額である．これらの課題解決に向け，道路舗装の動画像を深層学習により解析し，損傷を判定する技術が注目されている．既存研究 [2),3)]では，動画像の撮影に安価かつ簡易に車両へ取り付け可能なドライブレコーダ（以下，「ドラレコ」とする．）やスマートフォン（以下，「スマホ」とする．）が利用されている．また，今井ら [4)]は，ドラレコの動画像に深層学習を適用し，路面性状調査結果を基に道路舗装のひび割れを評価する手法を考案している．しかし，道路に写っている植生や建物等の影をひび割れと誤検出する事例を報告し，対策の必要性を述べている．

そこで，本研究の目的は，車載カメラで撮影した 4K 解像度の動画像（以下，「4K 動画」とする．）を用いた道路舗装のひび割れの検出精度の向上とする．具体的には，動画像への影除去手法の適用可能性を検証する．本取り組みにより，高解像度の 4K 動画と機械学習による影除去手法をひび割れ検出に用いることの有効性を明らかにすることができる．

2. 影を考慮したひび割れ検出手法の考案

本研究で考案した処理の流れを**図-1** に示す．既存研究において，今井ら [4)]は，Full HD（1,920×1,080px）の解像度の動画像からひび割れを検出する手法を考案している．

しかし，ひび割れの有無が鮮明に写っていないため，誤判定が発生する事例を述べている．そこで，本研究では，4K（3,840×2,160px）解像度で撮影可能なドラレコとスマホを使用することで課題解消の可能性を評価する．本手法は分割画像の作成処理を経て，学習部と判定部に大別される．学習部は，教師データの作成処理，影の除去処理，健全・損傷判定モデル構築処理で構成される．判定部は，影の除去処理，健全・損傷判定処理で構成される．

(1) 分割画像の作成処理

本処理では，4K 動画から，1 秒あたり 2 枚の間隔で画像を取得する．そして，**図-2** に示すとおり，路面の状態を最も把握できる画像内の下部を 224px 四方の矩形で抽出し，抽出した画像（以下，「分割画像」とする．）からひび割れを検出する．

(2) 教師データの作成処理

本処理では，舗装点検要領 [5]に準拠して実施された路面性状調査の評価結果の中で，ひび割れ率 20%以上の地点の画像を用いる．そして，画像内のひび割れの有無を目視判断して教師データを作成する．

(3) 影の除去処理

本処理では，影によるひび割れの誤検出を改善するため，Ghost-free-shadow-removal [6]を分割画像に適用し，影を除去する．Ghost-free-shadow-removal は 2019 年に発表された GAN をベースとした影除去の機械学習であり，画像内の影を検出して輝度を調整する．本技術により，道路に写っている植生や建物等の影が除去されるため，既存手法の誤検出を抑制できる．本研究では，学習部の教師データと判定部の分割画像の双方に適用する．

(4) 健全・損傷判定モデル構築処理

本処理では，分割画像内のひび割れの有無により健全か損傷かを判定する健全・損傷判定モデルを構築する．本研究では，分割画像内のひび割れの有無の判定を画像の分類問題と捉え，VGG16 [7]を採用する．次に，ひび割れ検出における誤判定の要因である白線を考慮するため，分割画像の種類を示すクラスを 4 クラスに設定する．具体的には，ひび割れの有無と白線の有無とを掛け合わせた白線有・健全，白線有・損傷，白線無・健全および白線無・損傷の 4 クラスである．これにより，道路標示の多い市街地や交差点付近においても正確にひび割れが検出できる．そして，影の除去処理を適用した分割画像を教師データとして VGG16 に学習させ，分割画像内のひび割れの有無を判定する健全・損傷判定モデルをドラレコおよびスマホの動画像を用いて構築する．

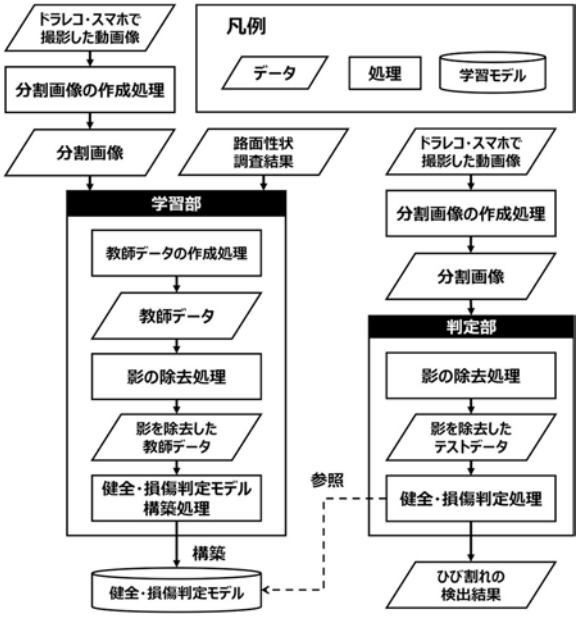


図-1 ドラレコ・スマホの動画像における考案した処理の流れ

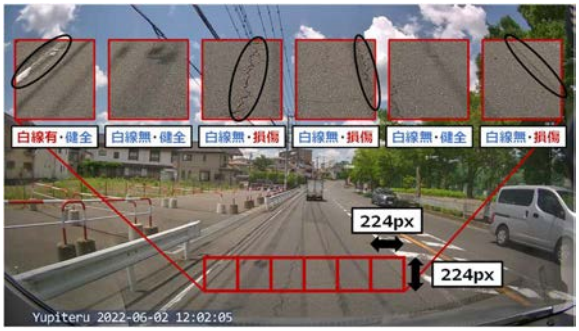


図-2 分割画像の作成イメージ

(5) 健全・損傷判定処理

本処理では，影の除去処理を適用したテストデータに構築した健全・損傷判定モデルを適用し，分割画像内のひび割れの有無を判定する．

3. 実証実験

本研究では，路面性状調査と同時に道路舗装の動画像を撮影する走行実験を実施し，路面性状調査結果を正解として考案手法の有用性を検証する．

(1) 実験概要

本研究では，路面性状測定車内のフロントガラスにユピテル社のドラレコ（ZR-4K [8]），ダッシュボードにシャープ社のスマホ（AQUOS R5G SH-51A [9]）を設置し，一定の速度（時速 30km/h）で走行する．なお，これらの車

載カメラの解像度は 4K である．また，走行実験は，静岡県静岡市で実施し，道路管理者との協議の下，ひび割れやわだち掘れ等の道路舗装の損傷やその有無および程度を網羅するため，**図-3** に示すようにルートを選定する．学習部および判定部で用いるデータは，ドラレコとスマホの各モデルにおいて，区間①の 4K 動画から作成した教師データ 2,400 枚，区間③から作成したテストデータ 400 枚とする．

(2) 評価方法

健全・損傷判定モデルは，設定したクラスに正しく分類されたか否かを確認し，再現率と適合率の調和平均である F 値により評価する．そして，構築した健全・損傷判定モデルの精度を評価すると共に，影の除去処理を適用する前の教師データを用いて構築した健全・損傷判定モデルの精度と比較し，検証する．

(3) 実験結果と考察

ドラレコの動画像における2つのモデルを用いた実験結果を**表-1**，**表-2**，スマホの画像における2つのモデルを用いた実験結果を**表-3**，**表-4**に示す．**表-1**，**表-3**では，縦軸に教師データ，横軸にテストデータにおける影の除去処理の適用前後の結果を示す．また，**表-2**，**表-4**では，影の除去処理適用前後のデータを用いた実験結果における各クラスの判定枚数を示す．なお，ひび割れの有無に着目し，健全クラスと損傷クラスの2クラスでのF値を算出して比較した．

表-1，**表-3**の右下に示すとおり，ドラレコとスマホの両方の動画像において，教師データとテストデータの両データに影の除去処理を適用した場合に，F値が最良となることがわかった．ドラレコの動画像の場合は，健全クラス0.835，損傷クラス0.854となり，また，スマホの動画像の場合は，健全クラス0.923，損傷クラス0.927となり，大幅な精度の向上が見られた．**表-2**，**表-4**に示すとおり，両データへの影の除去処理の適用により，正しいクラスに判定されるテストデータの枚数が増加した．判定結果の内訳を確認すると，適用前に正しく判定されていたものが適用後に誤判定となるケースも見られず，有用性が高いことが明らかとなった．

さらに，ドラレコとスマホの動画像を用いた実験結果を比較すると，ドラレコの動画像を用いた実験では，F値が0.850前後であるのに対し，スマホの画像を用いた実験では，F値が0.900を超える結果となり，ドラレコの動画像よりもスマホの画像を用いる場合の健全・損傷判定モデルの精度が高い結果となった．これは，スマホに比べてドラレコの分割画像が暗いため，影の除去処理を適用した際にひび割れが鮮明に映らず，発現効果が小さかったためだと考える．



図-3 走行実験の走行ルート

表-1 影の除去処理による
ドラレコの動画像を用いた実験結果

教師データ ＼ テストデータ	影の除去処理適用前		影の除去処理適用後	
	クラス	F 値	クラス	F 値
影の除去処理適用前	健全	0.728	健全	0.795
	損傷	0.767	損傷	0.781
影の除去処理適用後	健全	0.742	健全	0.835
	損傷	0.793	損傷	0.854

表-2 ドラレコの動画像を用いた実験結果における
各クラスの判定枚数の比較

影の除去処理	クラス	判定結果		F 値
		健全	損傷	
適用前	健全	143 枚	50 枚	0.728
	損傷	51 枚	156 枚	0.767
適用後	健全	157 枚	43 枚	0.835
	損傷	19 枚	181 枚	0.854

※網掛け部は正しいクラスに判定された枚数

以上の結果より，4K動画を用いてひび割れを検出できることを明らかにした．また，教師データおよびテストデータの両データに影の除去処理を適用することで，影の影響が抑制され，ひび割れの誤検出が減少した．一方，誤判定された分割画像では，影の除去処理を適用したものの，**図-4**，**図-5**に示すとおり，ひび割れが薄く写っているため，検出できていない例を確認した．これは，画像処理技術等を用いて，ひび割れが薄く写っている画像を先鋭化する処理を適用することで改善できると考える．

4. おわりに

本研究では，4K 動画を用いて，路面性状調査結果を基にひび割れの有無を判定する健全・損傷判定モデルを構築した．さらに，影によるひび割れの誤検出を改善するため，影の除去処理を分割画像に適用し精度の向上を図った．実験結果より，4K 動画を用いてひび割れを検出できることが明らかになった．また，分割画像への影の除去処理の適用により F 値が向上し，ひび割れ検出への影の除去処理の適用可能性が示された．

今後は，ひび割れが薄く写っている分割画像の誤判定の改善に向けて，画像処理技術や深層学習を用いて画像を先鋭化する処理を適用する．さらに，現行の路面性状調査で評価基準として用いられているひび割れ率の算出に向け，分割画像内のひび割れの本数を判定する深層学習モデルを構築する．そして，路面性状調査結果と比較し，構築したモデルの有用性を検証する．

謝辞：本研究の遂行にあたり，静岡市，株式会社ユピテル，株式会社トリム，株式会社ユピテルプラスおよび前田道路株式会社の関係各位には，走行実験に際し多大なるご協力を賜った．ここに記し感謝の意を表す．

表-3 影の除去処理による
スマホの画像を用いた実験結果

教師データ ＼ テストデータ	影の除去処理適用前		影の除去処理適用後	
	クラス	F 値	クラス	F 値
影の除去処理適用前	健全	0.849	健全	0.841
	損傷	0.780	損傷	0.769
影の除去処理適用後	健全	0.814	健全	0.923
	損傷	0.805	損傷	0.927

表-4 スマホの画像を用いた実験結果における
各クラスの判定枚数の比較

影の除去処理	クラス	判定結果		F 値
		健全	損傷	
適用前	健全	172 枚	38 枚	0.849
	損傷	33 枚	156 枚	0.780
適用後	健全	189 枚	11 枚	0.923
	損傷	14 枚	186 枚	0.927

※網掛け部は正しいクラスに判定された枚数

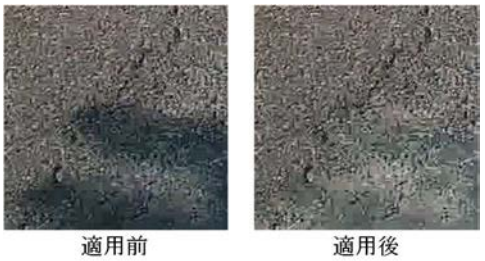


図-4 影の除去処理適用前後における
誤判定されたドラレコの分割画像

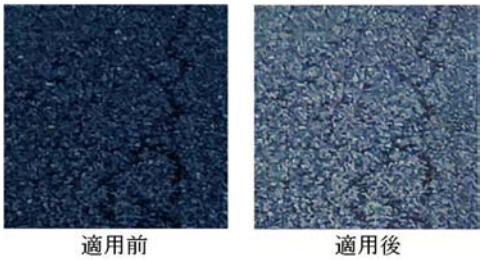


図-5 影の除去処理適用前後における
誤判定されたスマホの分割画像

参考文献

1) 横浜市：路面性状調査，＜https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukuri-kankyo/doro/iji/romenseijyou.html＞，（入手 2023.6.12）．
2) 寺野聡恭，小金丸暁，松田浩，佐々木博，古賀掲維，西川貴文：スマホを用いた道路舗装の平坦性及びひび割れ率の評価に関する研究，土木学会論文集 F4（建設マネジメント），75 巻 2 号，pp.I_88-I_95，2019.
3) 全邦釘，井後敦史，南免羅裕治，黒木航汰，大窪和明：車載カメラ画像により撮影された舗装画像からのディープラーニングによるひび割れ率評価，交通工学論文集，4 巻 1 号，pp.A_169-A_176，2018.
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），77 巻 2 号，pp.I_67-I_76，2021.
5) 国土交通省：舗装点検要領，<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo28_10.pdf>，（入手 2023.6.12）．
6) Xiaodong, C., Chi-Man, P. and Cheng, S.: Towards Ghost-free Shadow Removal via Dual Hierarchical Aggregation Network and Shadow Matting GAN. *In AAI*, pp.10680-10687, 2020.
7) Karen, S. and Andrew, Z.: Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition, INT. Conf. on Learning Representations, *ICLR*, 2015.
8) 株式会社ユピテル：ZR-4K　取扱説明書，＜https://my.yupiteru.co.jp/upload/save_image/manual/pdf/ZR-4K.pdf＞，（入手 2023.6.12）．
9) シャープ株式会社：ニュースリリース，＜https://corporate.jp.sharp/news/200318-c.html＞，（入手 2023.6.12）．
10) 亀山修一，金森弘晃，井上昌幸，浅田拓海，川端伸一郎：舗装路面の目視点検の精度に関する研究，土木学会論文集 E1（舗装工学），71 巻 3 号，pp.I_25-I_30，2015.