

人工知能を用いた 舗装点検手法に関する研究

法政大学 今井龍一
大阪経済大学 中村健二
摂南大学 塚田義典



0

背景

1

🔍 我が国の道路舗装点検 → 総延長 **約128万km** の道路が対象

The illustration shows a road with several defects: a pothole, a crack, and a bump. A car is driving on the road. Three inset images show examples of road defects: a bump, a crack, and a pothole. Each inset image has a label and a source.

- 凹凸(平坦性) 出典: 中日本高速道路
- ポットホール 出典: tenki.jp
- ひび割れ 出典: 中日本高速道路
- わだち掘れ 出典: 中日本高速道路

1

背景

🔍 我が国の道路舗装点検 → 総延長 **約128万km** の道路が対象



道路巡視

- ✓ 日常的に実施
- ✓ 車両からの**目視点検**
- ✓ **ポットホール**や**道路の異常**がないかを巡視

路面性状調査

- ✓ 数年に**1度**の実施
- ✓ **レーザ**や**高精度なカメラ**による精密検査
- ✓ **平坦性・ひび割れ率・わだち掘れ量**を計測し、道路舗装を定量的に評価

時間・労力・費用が課題



既存研究と課題

既存研究	概要	解析技術	取付位置		検出対象			入力データ	出力データ	参考とする仕様・基準類
			車内	車外	ひび割れ	わだち掘れ	その他			
[11],[12]	道路舗装のひび割れや道路損傷をリアルタイムで検出	深層学習	○		○ (線状4種、亀甲状)			ポットホールなど ・スマートフォンのカメラで撮影した画像	・検出対象の画像 ・検出箇所の位置情報	・舗装の維持修繕ガイドブック2013
[20],[21],[22],[23]	道路舗装のひび割れや道路損傷を検出	深層学習	○		○ (線状4種、亀甲状)		ポットホールなど ・スマートフォンのカメラで撮影した画像	・検出対象の画像 ・検出箇所の位置情報	・なし	
[24]	道路舗装のひび割れや道路損傷を検出し、損傷領域を検出	深層学習	○		○ (線状4種、亀甲状)		ポットホール ・ビデオカメラで撮影した画像	・検出画像 ・損傷の領域検出画像	・なし	
[14]	撮影した道路舗装をメッシュで分割し、メッシュ内のひび割れの有無から独自の評価指標を算出、3段階による評価	深層学習		○	○		白線、マンホール、緑石 ・MMSのカメラで撮影した画像	・CR（道路舗装のひび割れの状態を表す独自指標）とCRによるひび割れの状態を示す3段階の評価結果	・舗装点検要領	
[16]	撮影した道路舗装をメッシュで分割し、メッシュ内のひび割れの有無からひび割れ率を算出、3段階による評価	2値化		○	○		・デジタルカメラで撮影した画像	・ひび割れ率 ・ひび割れ率によるひび割れ状態を示す3段階の評価結果	・総点検実施要領（案）【舗装編】 ・舗装調査・試験法便覧	
[17]	撮影した道路舗装をメッシュで分割し、メッシュ内のひび割れの有無からひび割れ率を算出	木構造フィルタ、台形補正		○	○		・スマートフォンのカメラで撮影した画像	・ひび割れ率	・舗装調査・試験法便覧	
[18]	道路舗装のひび割れ率の算出	ナイーブベイズ法		○	○		・デジタルカメラで撮影した画像	・ひび割れ率	・舗装調査・試験法便覧	
[25]	道路舗装のひび割れ率の算出	深層学習		○	○		パッチング ・路面性状測定車のカメラで撮影した画像	・ひび割れ率	・舗装調査・試験法便覧	

※既存研究の詳細は研究成果報告書を参照ください



既存研究と課題

4

既存研究	概要	解析技術	取付位置		検出対象			入力データ	出力データ	参考とする仕様・基準類
			車内	車外	ひび割れ	わだち掘れ	その他			
[11],[12]	道路舗装のひび割れや道路損傷をリアルタイムで検出	深層学習	○		○ (線状4種、亀甲状)		ポットホールなど	・スマートフォンで撮影した画像	・検出対象の画像 ・検出箇所の位置情報	・舗装の維持修繕ガイドブック2013
[20],[21],[22],[23]	道路舗装のひび割れや道路損傷を検出	深層学習	○		○ (線状4種、亀甲状)		ポットホールなど	・スマートフォンで撮影した画像	・検出対象の画像 ・検出箇所の位置情報	・なし
[24]	道路舗装のひび割れや道路損傷を検出し、損傷領域を検出	深層学習	○		○ (線状4種、亀甲状)		ポットホール	・ビデオカメラで撮影した画像	・検出画像 ・損傷の領域検出画像	・なし
[14]	撮影した道路舗装をメッシュで分割し、メッシュ内のひび割れの有無から独自の評価指標を算出、3段階による評価	深層学習		○			白線、マンホール、緑石	・MMSのカメラで撮影した画像	・CR（道路舗装のひび割れの状態を表す独自指標）とCRによるひび割れの状態を示す3段階の評価結果	・舗装点検要領
[16]	撮影した道路舗装をメッシュで分割し、メッシュ内のひび割れの有無からひび割れ率を算出、3段階による評価	2値化	○					・デジタルカメラで撮影した画像	・ひび割れ率 ・ひび割れ率によるひび割れ状態を示す3段階の評価結果	・総点検実施要領（案）【舗装編】 ・舗装調査・試験法便覧
[17]	撮影した道路舗装をメッシュで分割し、メッシュ内のひび割れの有無からひび割れ率を算出	木構造フィルタ、台形補正	○					・スマートフォンで撮影した画像	・ひび割れ率	・舗装調査・試験法便覧
[18]	道路舗装のひび割れ率の算出	ナイーブベイズ法		○				・デジタルカメラで撮影した画像	・ひび割れ率	・舗装調査・試験法便覧
[25]	道路舗装のひび割れ率の算出	深層学習		○						

※既存研究の詳細は研究成果報告書を参照ください

車内取付のドライブレコーダーの映像から舗装調査・試験法便覧の評価方法や指標を考慮したひび割れ率の算出手法は見当たらない

4

既存研究と課題

5

既存研究	概要	解析技術	取付位置		検出対象			入力データ	出力データ	参考とする仕様・基準類
			車内	車外	ひび割れ	わだち掘れ	その他			
[11],[12]	道路舗装のひび割れや道路損傷をリアルタイムで検出	深層学習	○		○ (線状4種、亀甲状)		ポットホールなど	・スマートフォンで撮影した画像	・検出対象の画像 ・検出箇所の位置情報	・舗装の維持修繕ガイドブック2013
[20],[21],[22],[23]	道路舗装のひび割れや道路損傷を検出	深層学習	○		○ (線状4種、亀甲状)		ポットホールなど	・スマートフォンで撮影した画像	・検出対象の画像 ・検出箇所の位置情報	・なし
[24]	道路舗装のひび割れや道路損傷を検出し、損傷領域を検出	深層学習	○		○ (線状4種、亀甲状)		ポットホール	・ビデオカメラで撮影した画像	・検出画像 ・損傷の領域検出画像	・なし
[14]	撮影した道路舗装をメッシュで分割し、メッシュ内のひび割れの有無から独自の評価指標を算出、3段階による評価	深層学習		○			白線、マンホール、緑石	・MMSのカメラで撮影した画像	・CR（道路舗装のひび割れの状態を表す独自指標）とCRによるひび割れの状態を示す3段階の評価結果	・舗装点検要領
[16]	撮影した道路舗装をメッシュで分割し、メッシュ内のひび割れの有無からひび割れ率を算出、3段階による評価	2値化	○					・デジタルカメラで撮影した画像	・ひび割れ率	・総点検実施要領（案）【舗装編】 ・舗装調査・試験法便覧
[17]	撮影した道路舗装をメッシュで分割し、メッシュ内のひび割れの有無からひび割れ率を算出	木構造フィルタ、台形補正	○							・舗装調査・試験法便覧
[18]	道路舗装のひび割れ率の算出	ナイーブベイズ法		○				・デジタルカメラで撮影した画像	・ひび割れ率	・舗装調査・試験法便覧
[25]	道路舗装のひび割れ率の算出	深層学習		○			パッチング	・路面性状測定車のカメラで撮影した画像	・ひび割れ率	・舗装調査・試験法便覧

※既存研究の詳細は研究成果報告書を参照ください

わだち掘れを検出する既存研究は見当たらない

5

本研究の目的と経緯

6

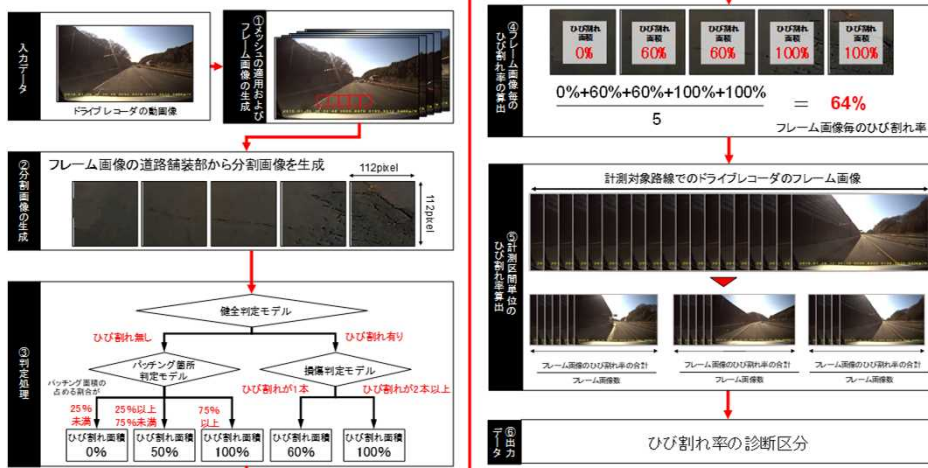
- ① 舗装点検要領に準じたAI診断の実用性の検証
 - ドライブレコーダの動画像を人工知能にて解析し、舗装点検ができる技術の実用性を検証
 - 具体的には、計測区間単位のひび割れ率を算出し、診断区分の3段階で判定できるモデルを開発し、実用性を検証
- ② 画像を用いたわだち掘れ量の算出可能性の検証
 - 高解像度画像を用いて道路舗装のわだち掘れ量の算出可能性を検証
 - 舗装面を撮影した4K・8K画像に写真測量技術（SfM：Structure from Motion）を適用して生成した点群データの精度を検証

6

① 舗装点検要領に準じたAI診断の実用性の検証

7

考案手法の処理フロー



ドライブレコーダの動画像に深層学習を適用し、
計測区間単位でひび割れ率の算出および診断区分の算出

7

① 舗装点検要領に準じたAI診断の実用性の検証

8

舗装点検支援システムの試作結果



- ✓ 画像を読み込むだけで一連の処理を一括で実行
- ✓ 舗装点検要領の診断区分を判定できるため、路面性状調査との比較も可能
- ✓ 緯度経度が記録されている場合、地図と連動可能

8

① 舗装点検要領に準じたAI診断の実用性の検証

9

考案手法の有用性の検証方法

- **対象路線** : 路線① 東京都 一般国道 (1,460m)
: 路線② 宮城県 一般国道 (2,140m)
- **ドライブレコーダ** : 解像度 1920pix×1080pix
: フレームレート 30fps
- **計測区間長** : 20m
(20m間隔毎にひび割れ率を算出し、3段階評価)
- **診断区分** : 舗装点検要領と同様

区分	ひび割れ率	状態
I	健全 20%未満程度	損傷レベル小 : 管理基準に照らし、劣化の程度が小さく、舗装表面が健全な状態
II	表面機能保持段階 20%以上40%未満程度	損傷レベル中 : 管理基準に照らし、劣化の程度が中程度
III	修繕段階 40%以上程度	損傷レベル大 : 管理基準に照らし、それを超過している又は早期の超過が予見される状態

- **正解データ** : 路面性状調査結果 (2019年1月)
- **評価の方法** : 路面性状調査結果との一致率
 - 過小評価率: ひび割れがある区間をひび割れなしと評価
 - 過大評価率: ひび割れがない区間をひび割れありと評価



9

① 舗装点検要領に準じたAI診断の実用性の検証

10

• 検証結果

- 診断区分 I、IIIは判定可能
 - 健全判定では、特徴の違いが顕著であるため診断区分 I の一致率が高くなった
 - 損傷判定の分割画像が存在する場合、診断区分 III に判定されやすい
- 過大評価に比べて過小評価が低い→ひび割れの判定漏れが少ない

• 考察

- 今回は計測1回分の画像を学習しているので解析範囲の設定が固定的
- 計測画像の追加学習により、時間帯毎の影の影響などの異なる撮影条件でも判定できる汎用性を高めたモデルにすることで一致率向上が可能

考案手法と路面性状調査との比較結果 (単位:区間)

診断区分 評価率		路面性状調査			全体の 一致率
		I	II	III	
考案 手法	I	105	5	1	
	II	33	6	2	
	III	25	6	7	
過小評価率 (III→IまたはII、II→I)			29.4%	30.0%	
過大評価率 (I→IIまたはIII、II→III)		35.6%	35.3%		
一致率		64.4%	35.3%	70.0%	62.1%

10

② 画像を用いたわだち掘れ量の算出可能性の検証

11

- アスファルト舗装を撮影した高解像度画像を用いた点群データの生成可否を確認
- 点群データの生成には、SfMソフトウェアの「Metashape」を使用

Full HD、4K 対応



iPhone 8

Full HD、4K、8K 対応



Galaxy S20+ 5G

【画像出典】NTT Docomo



撮影例

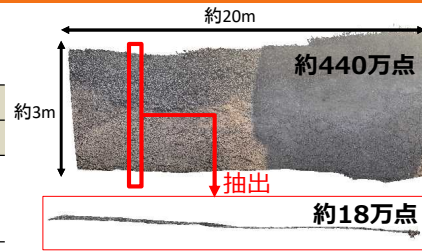
11

②画像を用いたわだち掘れ量の算出可能性の検証

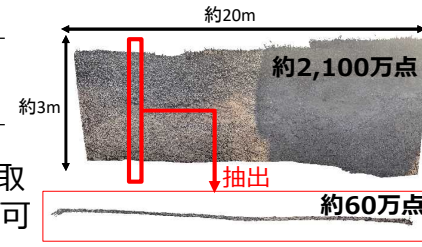
12

点群データの生成結果

解像度	点群データの生成結果	
	車内取付カメラ	車外取付カメラ
Full HD (1,920 × 1,080)	生成不可	生成可 (一部欠損あり) 約1,500点/m ²
4K (3,840 × 2,160)	生成可 (全体的に湾曲) 約4,000点/m ²	生成可 約5,000点/m ²
8K (7,680 × 4,320)	生成可 (全体的に湾曲) 約30,000点/m ²	生成可 約40,000点/m ²



4Kの画像から生成した点群データ



8Kの画像から生成した点群データ

- 4K以上の高解像度カメラを車外に取り付けることで、わだち掘れの検出が可能な感触が得られた



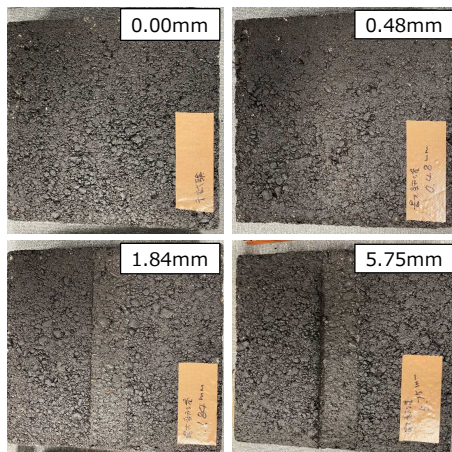
© Copyright Hosei University

12

②画像を用いたわだち掘れ量の算出可能性の検証

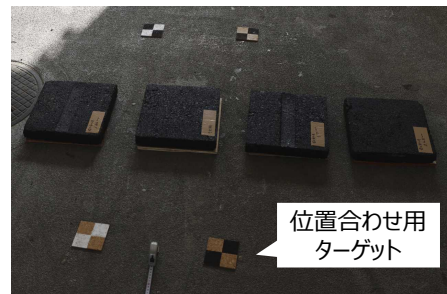
13

わだち掘れのあるアスファルト舗装の供試体を製作



アスファルト舗装の供試体

- 縦横寸法：300mm×300mm
- 舗装板の厚み：50mm
- わだち掘れの幅：55mm
- わだち掘れの深さ：左写真4種類



実験環境



© Copyright Hosei University

13

②画像を用いたわだち掘れ量の算出可能性の検証

14

• 計測方法

- 8Kカメラとレーザスキャナを用いてわだち掘れ量を計測
- カメラ画像は、アスファルト舗装の供試体から約3.5m離れた位置から一定速度で接近しながら撮影（29枚）
- 地上設置型レーザスキャナは1地点から計測



CANON EOS R5



FARO Focus S350

【画像出典】左：CANON、右：FARO



© Copyright Hosei University

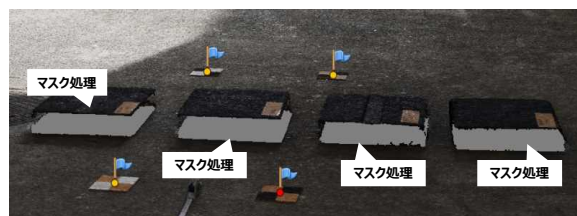
14

②画像を用いたわだち掘れ量の算出可能性の検証

15

• 画像を用いた点群データの生成方法

- 車両で走行しながら撮影した状況に極力合わせることも想定し、2パターンにて生成
 - ① 29枚のすべての画像を利用
 - ② 速度40km/hと仮定した場合に撮影可能な9枚の画像を利用
- 点群データの生成にはSfMソフトウェア「Metashape」を使用
- マスク処理後に点群データを生成



実際にはアスファルト舗装の供試体の側面は計測できないため、マスク処理後、現場に設置したターゲット（上図の青旗）に対して、地上設置型レーザスキャナで計測した同一箇所の座標値を設定することで、実空間のスケールに合致した点群データを生成



© Copyright Hosei University

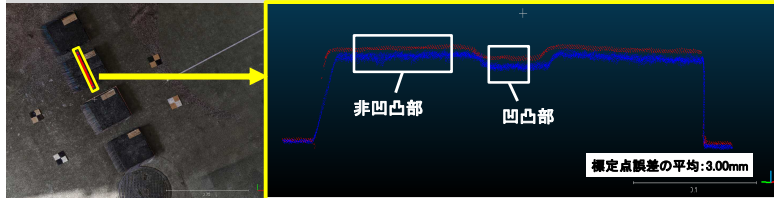
15

②画像を用いたわだち掘れ量の算出可能性の検証

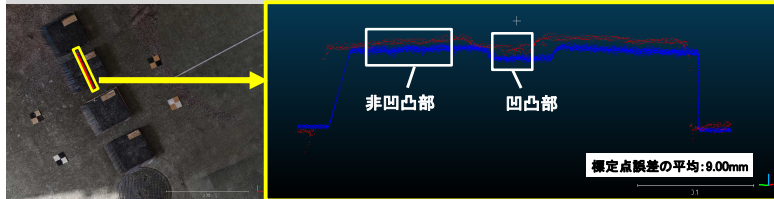
16

点群データの生成・重畳結果

29枚の画像から生成した点群データ（赤点）と地上設置型レーザスキャナの点群データ（青点）



9枚の画像から生成した点群データ（赤点）と地上設置型レーザスキャナの点群データ（青点）



- いずれもアスファルト舗装の供試体およびその周辺の点群データが生成可能で、わだち掘れの凹凸部の形状が再現できていることがわかった
- 画像枚数が多いほど標定点の精度が高いことが確認できた

16

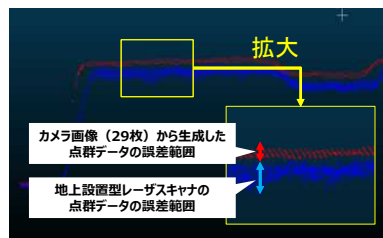
②画像を用いたわだち掘れ量の算出可能性の検証

17

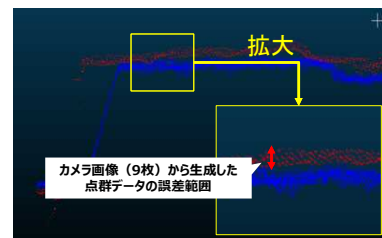
計測点の標高方向の誤差範囲

点群データの生成方法	Z座標の誤差範囲(mm)
カメラ画像 (9枚)	7.20
カメラ画像 (29枚)	2.20
地上設置型レーザスキャナ	10.30

- 供試体面の非凹凸部と凹凸部の点群データを抽出し、Z座標（標高）の最大値と最小値の差を確認
- 非凹凸部と凹凸部から各3箇所を計測し、その平均値を誤差範囲とした
- 舗装面では、レーザよりもSfMの方が標高方向のばらつきの小さい点群データを取得できることがわかった



29枚の画像から生成した点群データ（赤点）
地上設置型レーザスキャナの点群データ（青点）



9枚の画像から生成した点群データ（赤点）
地上設置型レーザスキャナの点群データ（青点）

17

②画像を用いたわだち掘れ量の算出可能性の検証

18

・ わだち掘れ量（深さ）の算出結果

点群データの生成方法	わだち掘れ量 (mm)		
	計測値	実寸値	誤差
カメラ画像 (9枚)	3.40	5.75	-2.35
カメラ画像 (29枚)	5.27	5.75	-0.48
地上設置型レーザーキャナ	4.94	5.75	-0.81

- ・ 非凹凸部と凹凸部の各点群データから近似平面を生成し、その重心点のZ座標の差をわだち掘れ量とした
- ・ 算出精度は、高い順にカメラ画像（29枚）、地上設置型レーザーキャナ、カメラ画像（9枚）であった
- ・ 29枚の画像から生成した点群データでは、実寸値と比較して誤差-0.48mmと高い精度でわだち掘れ量を算出できることが示唆された

※わだち掘れ量5.75mmのアスファルト舗装の供試体にて比較

検証結果より

- ・ 高解像度カメラを車外に設置して低速度で走行して撮影した画像であれば、わだち掘れ量が算出できる技術を確立できる可能性がある！
- ・ 振動などの撮影ノイズを考慮した実験など・・・今後も研究を継続！

18

まとめ

19

① 舗装点検要領に準じたAI診断の実用性の検証

- ドライブレコーダーの動画を人工知能にて解析し、舗装点検要領が定める診断区分Ⅰ～Ⅲ相当の道路舗装のひび割れ評価が可能な手法を考案
- 追加学習などの措置を講ずることで実用化も可能

② 画像を用いたわだち掘れ量の算出可能性の検証

- 写真測量技術（SfM）を用いてアスファルト舗装面の点群データを生成する場合は、カメラを車外に設置し、4K以上の高解像度で撮影することが望ましい
- 8Kカメラで撮影した画像を用いて生成した点群データを用いると、わだち掘れ量の算出が可能

19

【参考】研究業績

20

- 伊藤大悟, 今井龍一, 中村健二, 塚田義典, 栗原哲彦: 深層学習を用いたドライブレコーダ画像による道路舗装のパッチング箇所の判定に関する考察, 土木情報学シンポジウム講演集, 土木学会, Vol.45, No.12, 2020.
- 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), 土木学会, Vol.77, No.2, pp.I_67-I_76, 2021.
- 伊藤大悟, 今井龍一, 中村健二, 塚田義典: 深層学習を用いた道路舗装のひび割れの簡易評価手法に関する研究, 第76回年次学術講演会, 土木学会, 2021【印刷中】
- 山本忍, 今井龍一, 中村健二, 塚田義典, 山本莉子: 高解像度画像を用いたアスファルト舗装面の3次元点群データの生成実験, 第76回年次学術講演会, 土木学会, 2021【印刷中】