

わだち掘れ簡易評価手法の開発と MCIの自動算出による点検業務の生産性向上

東京大学大学院工学系研究科 教授 長山智則

関東地方整備局 技術シーズマッチングに関する公募

「車両内設置カメラを利用した準リアルタイム広域路面ひび割れ率評価技術の開発」 (R2-R3)

「わだち掘れ簡易評価手法の開発と、MCIの自動算出による点検業務の生産性向上」 (R4-)

(東京大学, スマートシティ技術研究所, ニチレキ)

予断を許さない健康状態，自動化・省人化で生産性向上へ

2020 インフラ健康診断書



インフラメンテナンス総合委員会
インフラ健康診断小委員会

道路部門



橋梁	C	▶	トンネル	D	▶
路面 (舗装)	C	▶			

A健全からE危機的までの5段階の健康診断

	国道	都道府県道/政令指定市	市町村道	高速道路
舗装	C要注意	C要注意	D要警戒	B良好

舗装処方箋 (要約)

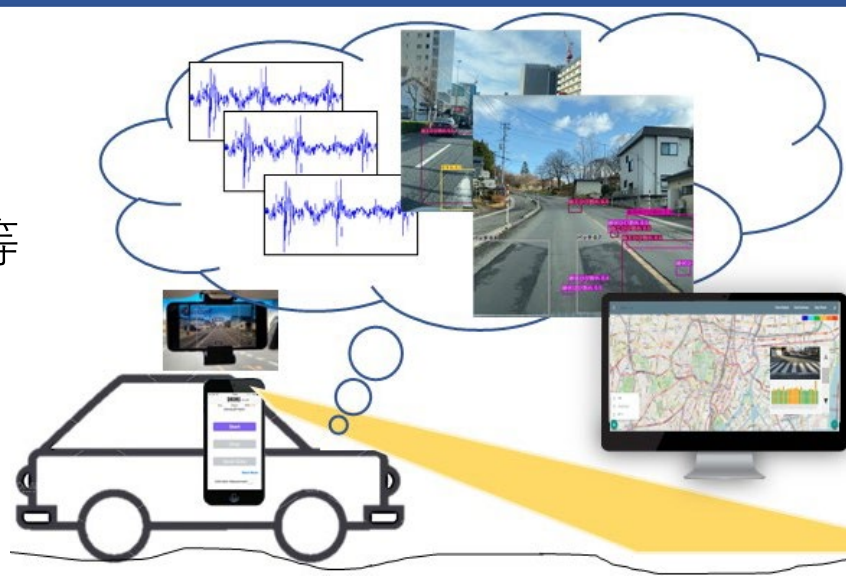
- ...舗装長寿命化計画/舗装維持修繕計画を作成し実行する。
- ...路線の重要度などを考慮して...目視あるいは計測機器による方法で...
点検する。
- 予防的な措置も含め損傷箇所の適切な修繕を行う。

- 予算・人的資源の制約の下，高規格道路の維持管理を遍く適用することは困難。
- 関東地整R1現場ニーズ：舗装点検を直営で実施。目視観測に手間とばらつき。
- 自動・省人で道路の状態を把握・予測して，早期対応。生産性向上へ

簡易な路面評価技術の現状

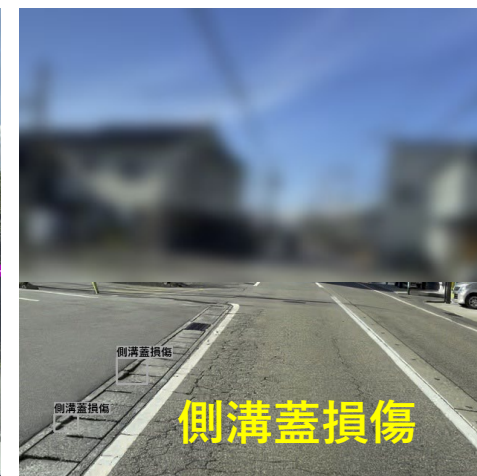
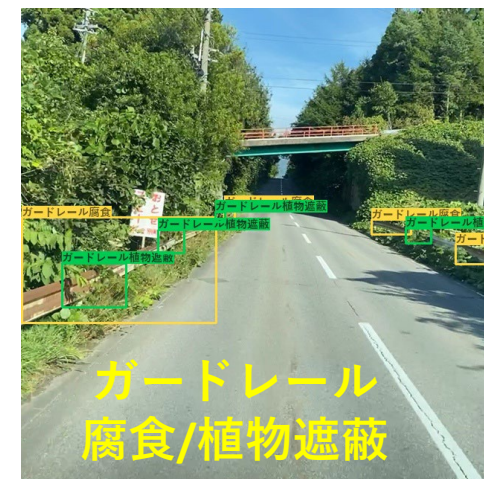
➤ 簡易な路面評価技術

- ✓ スマートフォン等の利用
- ✓ 車両動揺, 路面画像, 位置情報等
- ✓ 高頻度, 広域計測
- ✓ 安価, 汎用性
- ✓ 国内外でシステム多数



道路付属施設点検：明瞭に画像上で判断できるものは得意.

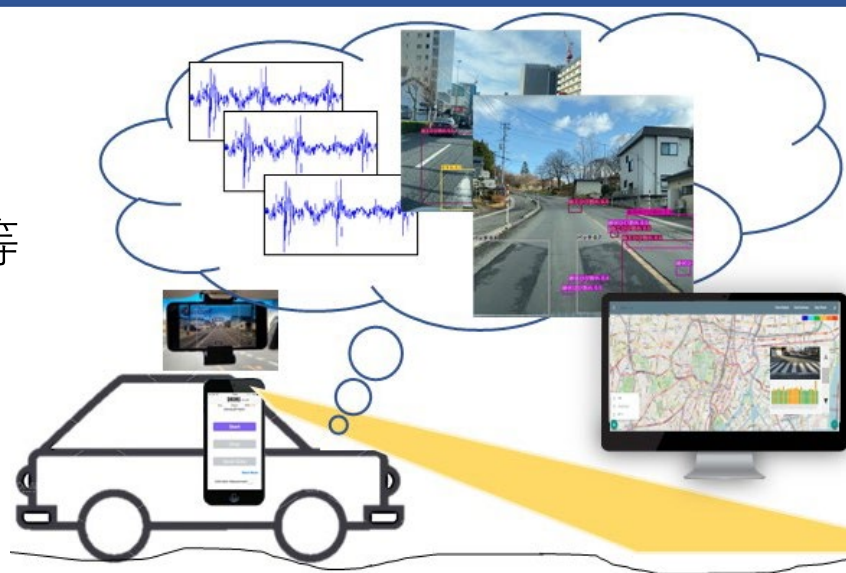
パトロールデータから自動的に施設点検 9割程度の再現率・適合度



簡易な路面評価技術の現状

➤ 簡易な路面評価技術

- ✓ スマートフォン等の利用
- ✓ 車両動揺, 路面画像, 位置情報等
- ✓ 高頻度, 広域計測
- ✓ 安価, 汎用性
- ✓ 国内外でシステム多数



➤ 「AI技術活用による路面性状検出について」 (清野, スキルアップセミナー関東, 2022)

- ✓ ポットホールや亀甲状ひび割れの検出システムを複数選定し, 試験走行により効果を検証
- ✓ 検出率の高いシステムがある一方で, 検出できないものもある

➤ 「路面性状を簡易に把握可能な技術」の試験結果(四国地整, 2018)

- ✓ A (精度80%以上) からE (精度20%以下) まで様々

- 簡易評価技術のコンセプトは浸透. しかし多くは精度, 信頼性が限定的.
自動・省人化, 生産性向上は具現化されていない.

高信頼な簡易路面評価技術の開発

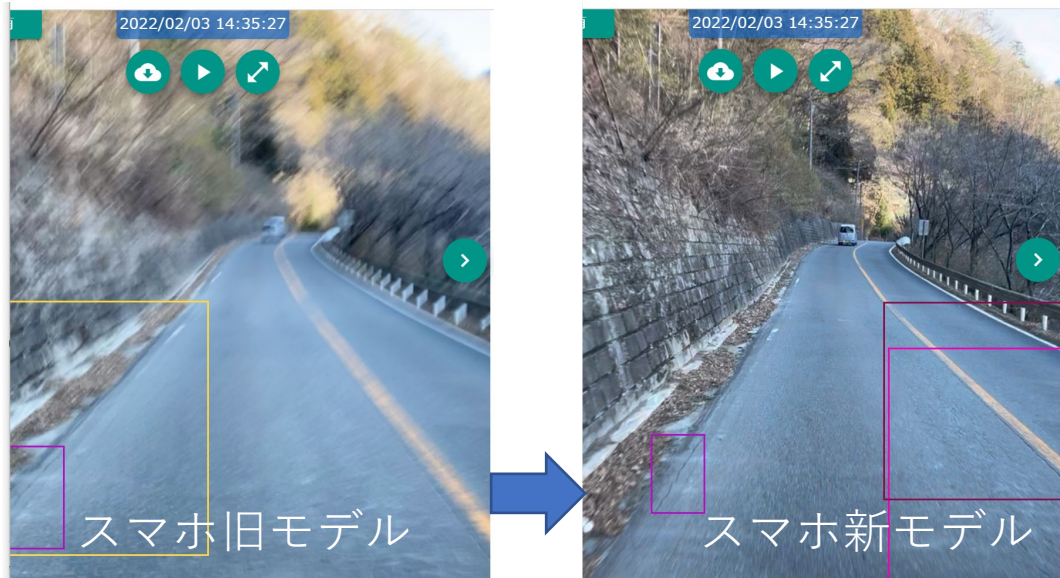
SIP第1期 インフラ維持管理・更新・マネジメント

- ▶ 「インフラ予防保全のための大規模センサ情報統合に基づく路面・橋梁スクリーニング技術の研究開発と社会実装」（研究責任者：JIPテクノサイエンス家入正隆）

関東地方整備局 技術シーズマッチングに関する公募

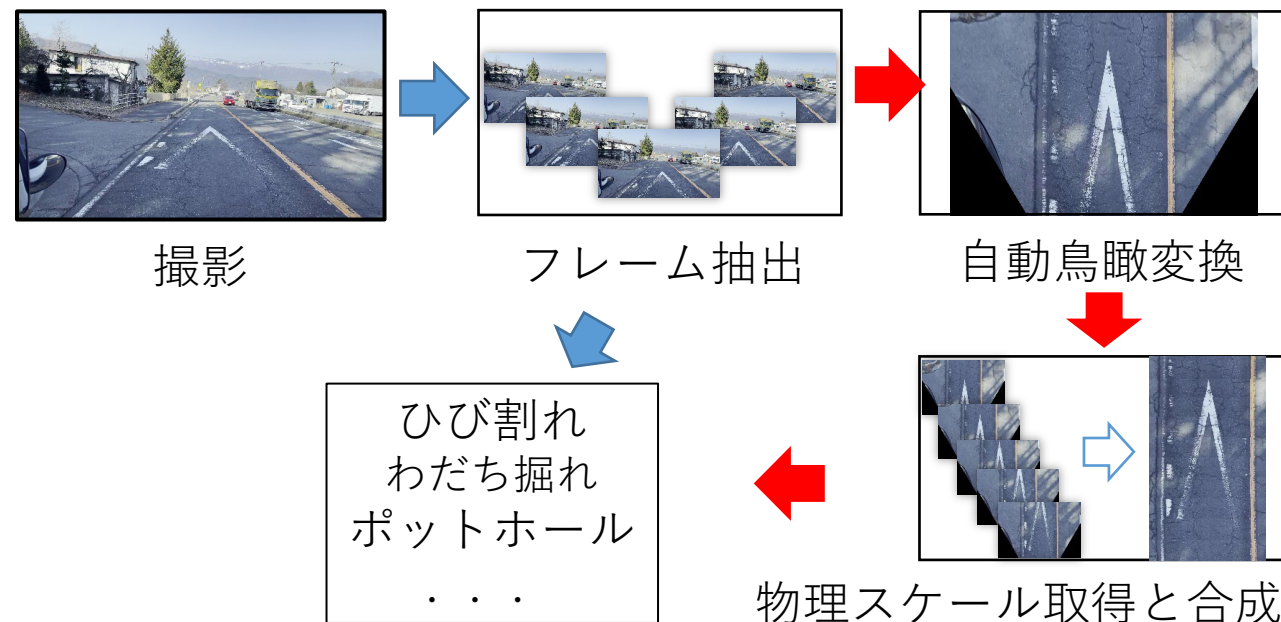
- ▶ R2-R3 「車両内設置カメラを利用した準リアルタイム広域路面ひび割れ率評価技術の開発」
- ▶ R4- 「わだち掘れ簡易評価手法の開発と、MCIの自動算出による点検業務の生産性向上」
（研究責任者：長山智則， 参画機関：東京大学， スマートシティ技術研究所， ニチレキ）

ハードウェアの進化



スマホ1年の違い

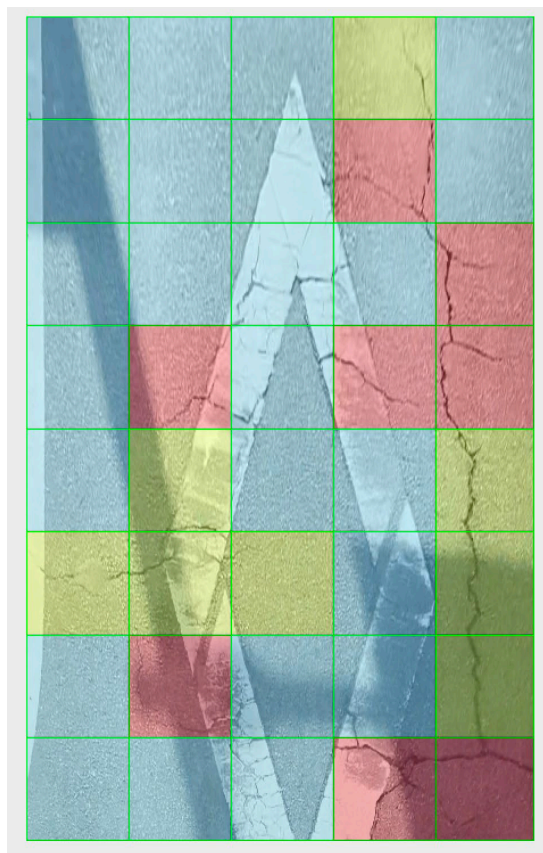
解析アルゴリズムの進化



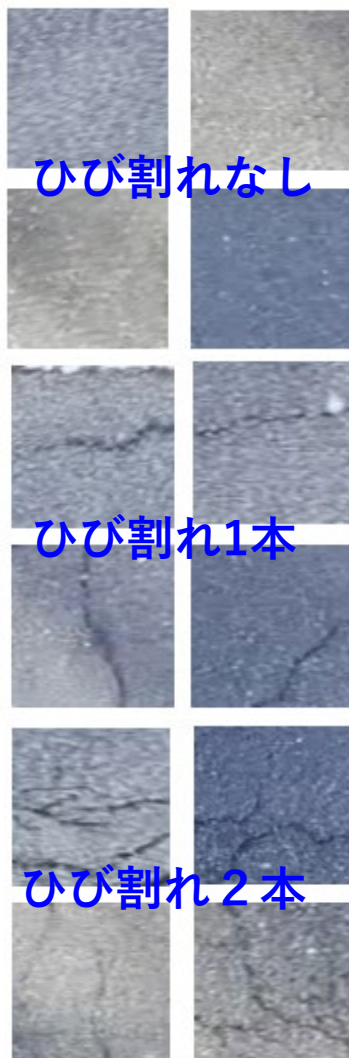
ひび割れ率の評価の仕組み R2-3技術シーズマッチング

機械学習（分類）を利用した，定義通りのひび割れ率評価

教師画像の作成

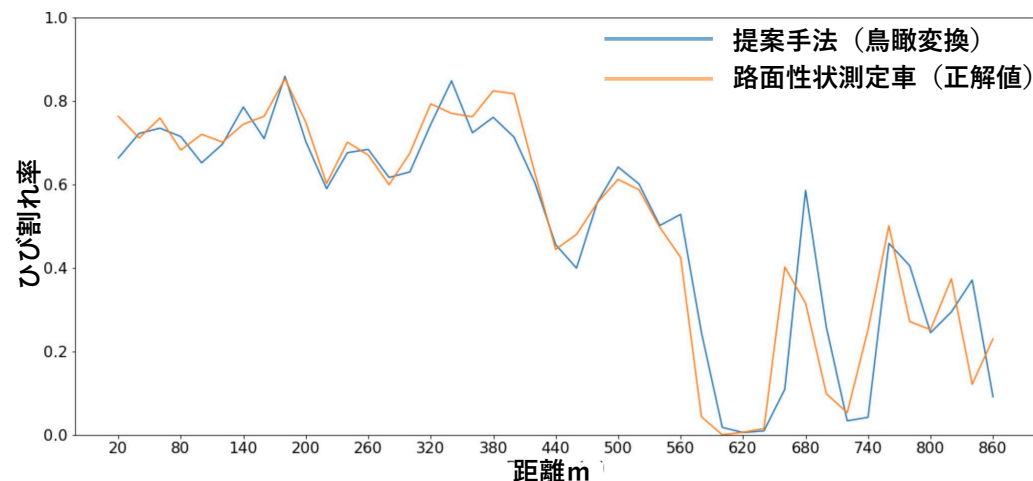


50cm x 50cm マス目



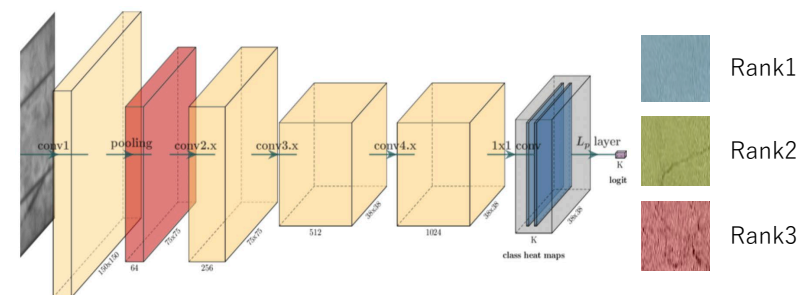
教師画像ラベルが正しいことの確認

教師画像に基づくひび割れ率評価



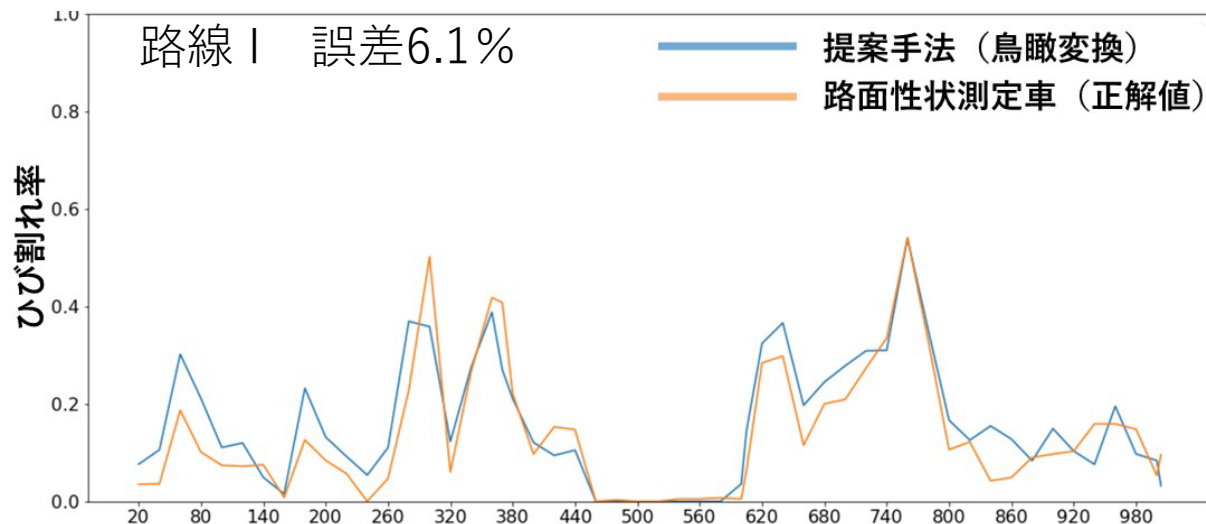
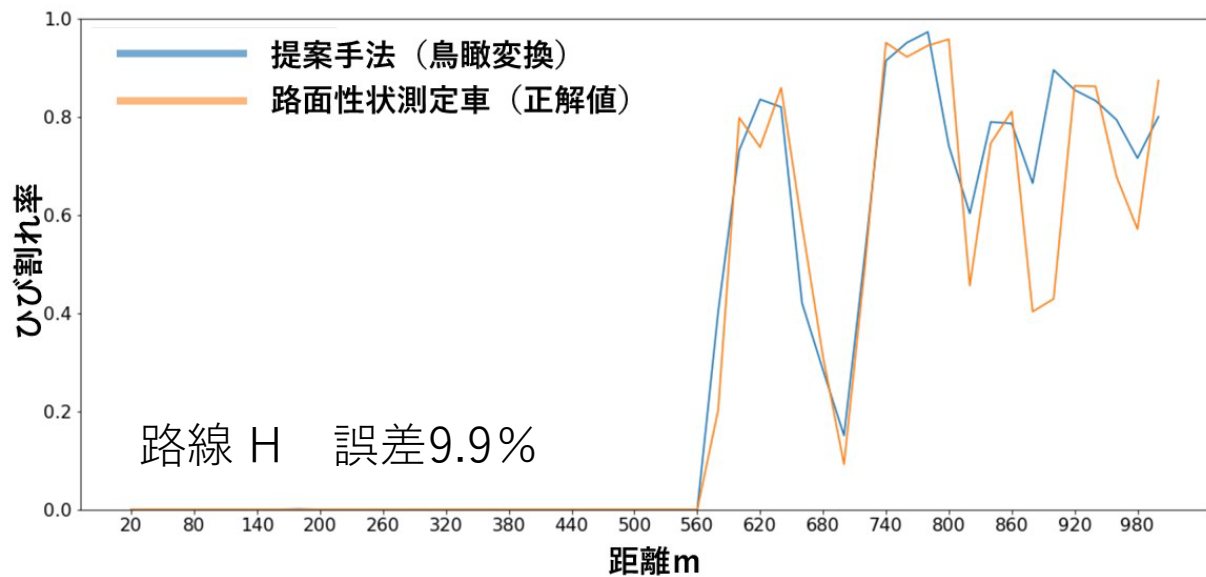
正確な教師画像に基づいて学習

224*224 pixel



機械学習によるひび割れ率推定 適用結果

教師画像取得箇所とは別都道府県の画像に適用



路線	舗装タイプ	長さ (m)	誤差RMSE(%)
路線 A	PO	1,015	2.7
路線 B	PO	1,000	4.0
路線 C	AS	900	5.3
路線 D	PO	996	3.3
路線 E	PO	496	9.5
路線 F	AS	1,000	4.7
路線 G	AS	620	3.0
路線 H	AS	1,000	9.9
路線 I	AS	1,004	6.1
路線 J	AS	896	2.9
路線 K	AS	1,000	8.8
路線 L	AS	1,010	6.4
路線 M	PO	1,005	30
路線 N	AS	1,045	0.6
路線 O	AS	1,005	1.7

透水性舗装の1路線で誤差が大きいもののそれ以外は10%以下の誤差。

ひび割れ 専用車の性能確認試験に合格

GLOCAL-EYEZ搭載車両が2022年度路面性状自動測定装置の性能確認試験に「平たん性」および「ひび割れ」の両項目に同時合格 <https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000003.000107939.html>

2017年



SIPインフラの共同研究

スマートフォン搭載車両として初めて「平たん性」に合格

「パトロール」「日常管理」から定量的な「点検」へ。さらに「措置」まで。

2022年



スマートシティ技術研究所、ニチレキとの共同研究

スマートフォン搭載車両として初めて「平たん性」「ひび割れ」に合格

路面性状を表す3要素:

- 平たん性
- ひび割れ率
- わだち掘れ

(R4-5開発中)

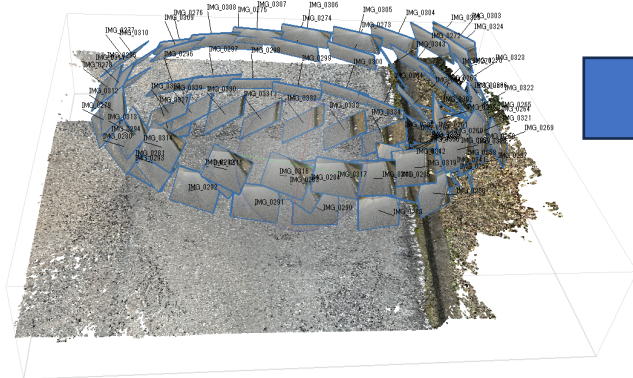
3要素揃うと舗装維持管理指数MCIベースの維持管理に準拠。知見蓄積活用可。路面性状調査・維持管理業務の生産性向上へ

現状の管理指標に対応。さらに、DXを活用して新たな管理指標や管理体系の提案も

• SfM(Structure from motion)によるわだち掘れ推定

- SfMとは、多角度の撮影写真から、対象物の3次元モデルを復元する技術。
- 前方画像からSfMを用いて横断形状の点群を構築する研究を行った。

SfMによる3次元構築



車載カメラ

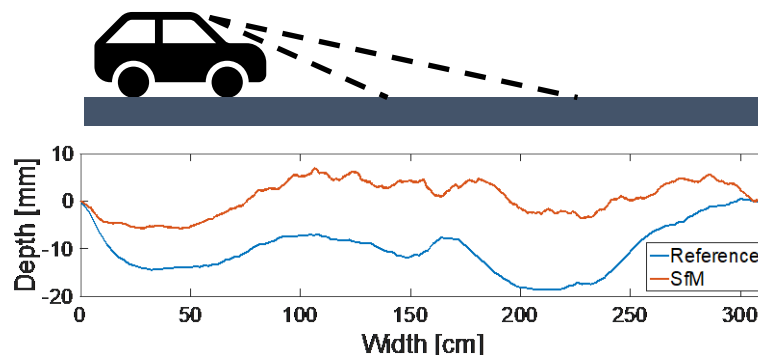


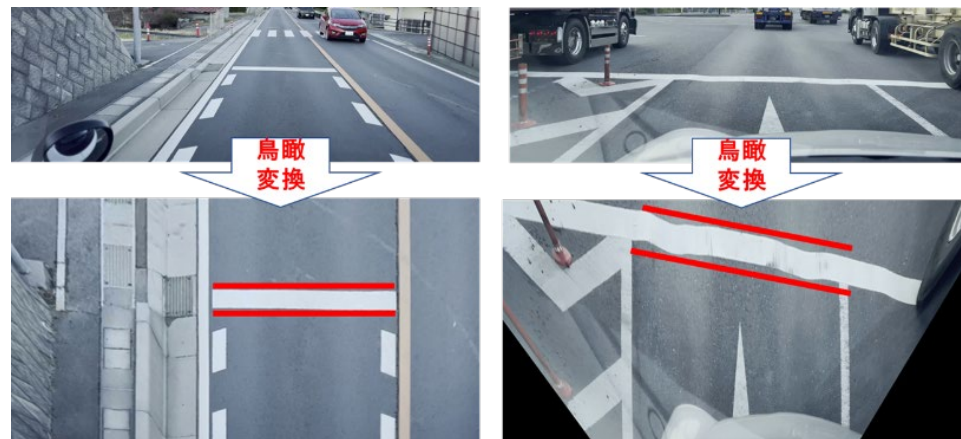
図 横断形状比較
(赤：SfM 青：人力測定)

課題：

- 画像方向の単一性により、SfMによる横断形状の構築精度が限定的
 - SfMの処理の重さ、点群データの大きさ
- ⇒ SfMに依らない2次元画像ベースのわだち掘れ評価手法の開発

わだち掘れによる鳥瞰画像の歪み

- 路面を凸凹のない平面だと仮定する鳥瞰変換では、路面にわだち掘れがある場合、画像に歪みが生じる。



車載カメラ画像の鳥瞰変換

- カメラが近づくほど歪み量も小さくなる



遠い

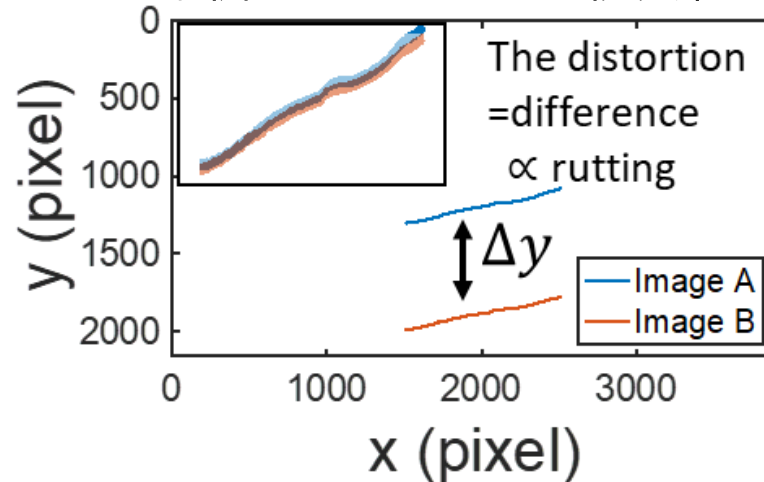
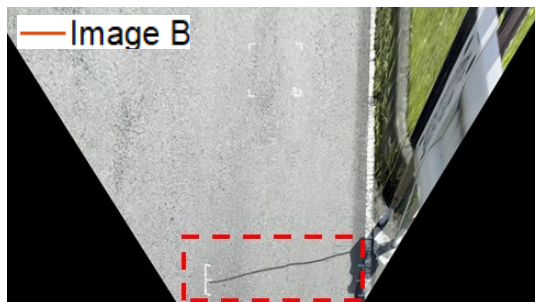
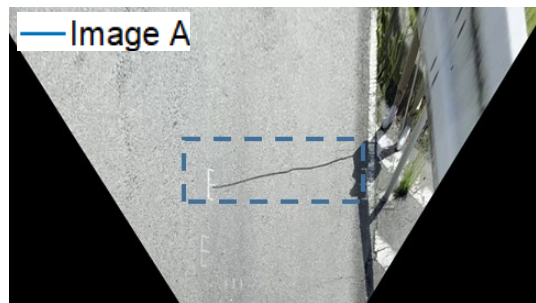
影と車載カメラ間の距離

近い

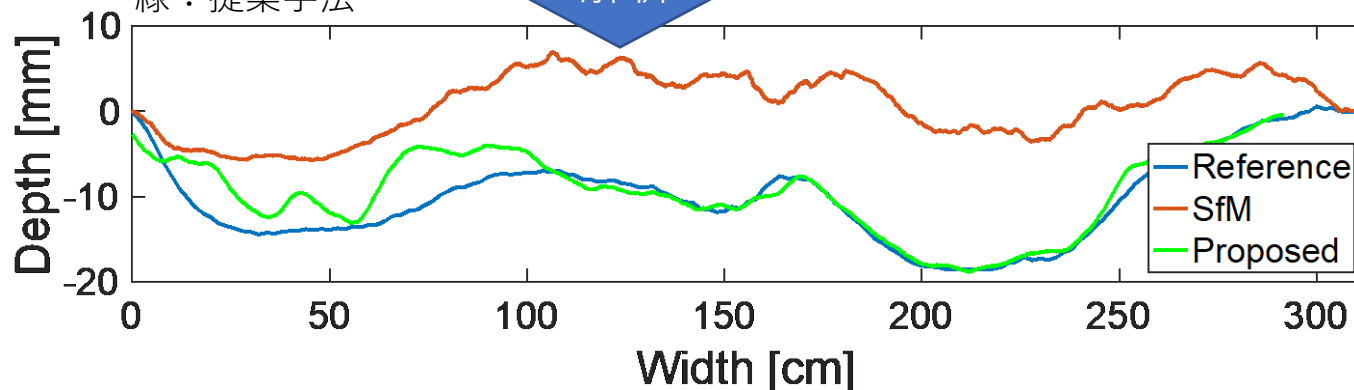
カメラの移動に伴う路面上の影の変化

白線や影等の特徴量を利用したわだち掘れ評価

カメラの移動に伴う影の歪みの変化量を逆解析することで横断形状を構築



青：人力測定値
赤：SfM
緑：提案手法



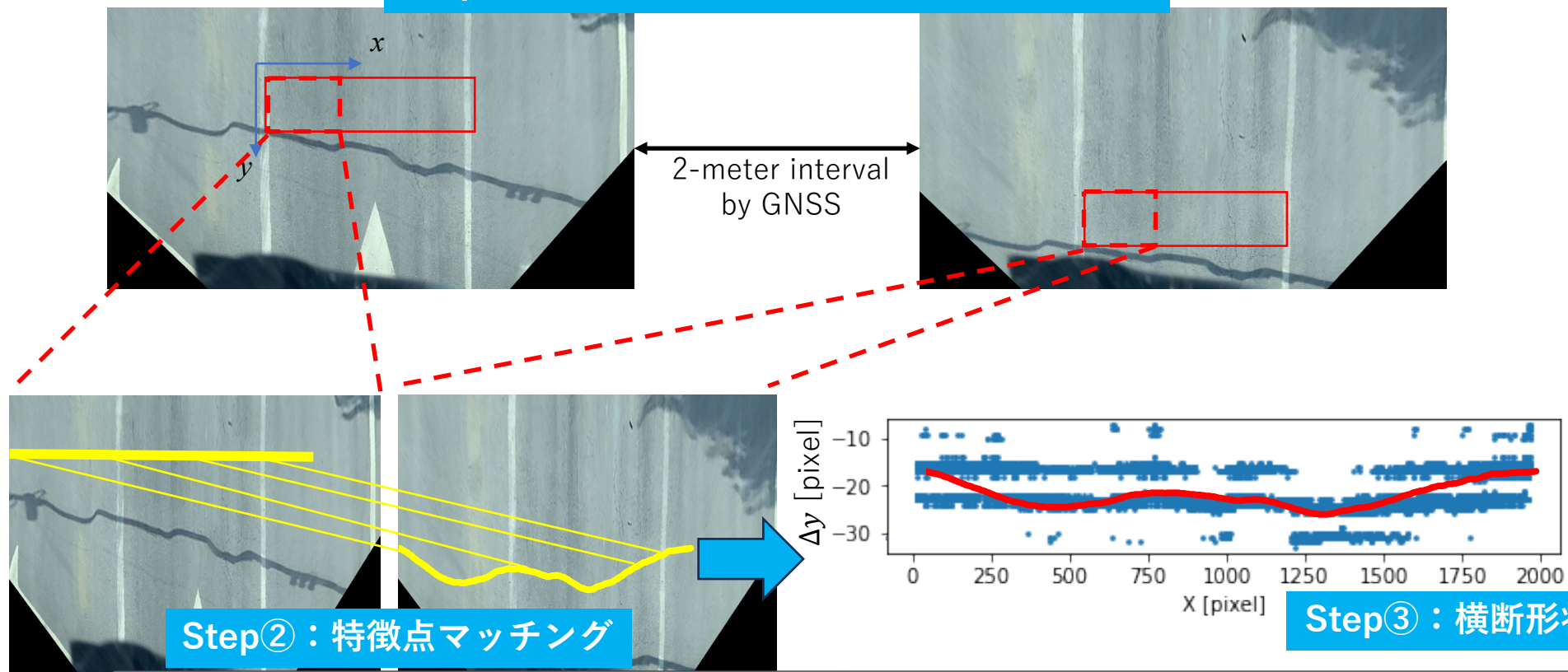
2枚の画像から白線や影等の歪み量を分析し、横断形状を逆解析することが可能

白線や影を必要としない、わだち掘れの評価手法

鳥観画像の歪み量を特徴点マッチングにより算出し、横断形状を推定
従来の特徴点マッチング手法は路面には適用困難。Transformerを用いた機械学習モデルにより路面の特徴点マッチングを実現

特願：2023- 80856

Step①：2枚の連続鳥観図から同一箇所を抽出



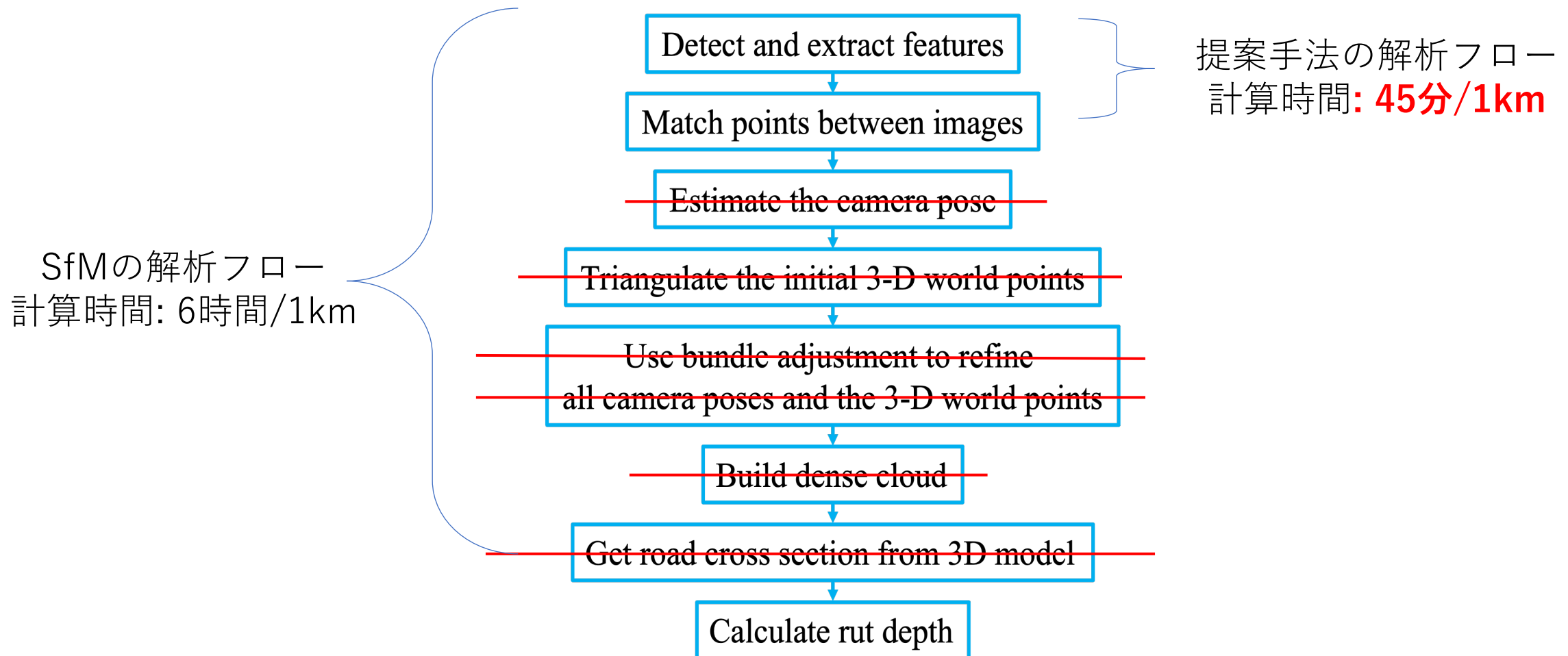
Step②：特徴点マッチング

Step③：横断形状を構築

機械学習ベースの特徴点マッチングにより、
白線や影の無い一般道路においても横断形状推定に成功

2次元画像処理に基づくわだち掘れ評価の計算コスト

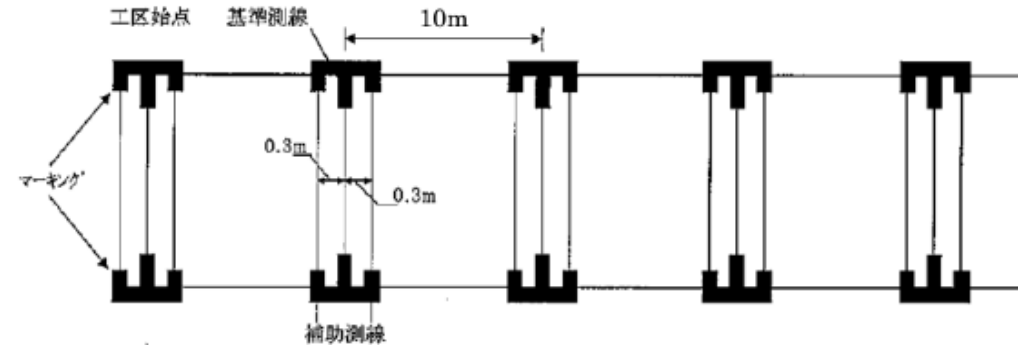
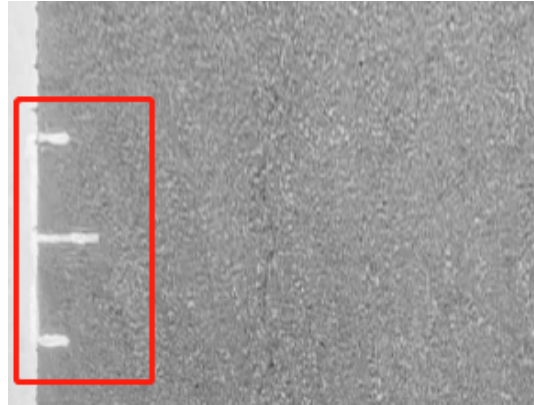
- 提案手法の計算時間は、SfM手法に比べて、90%程度短縮



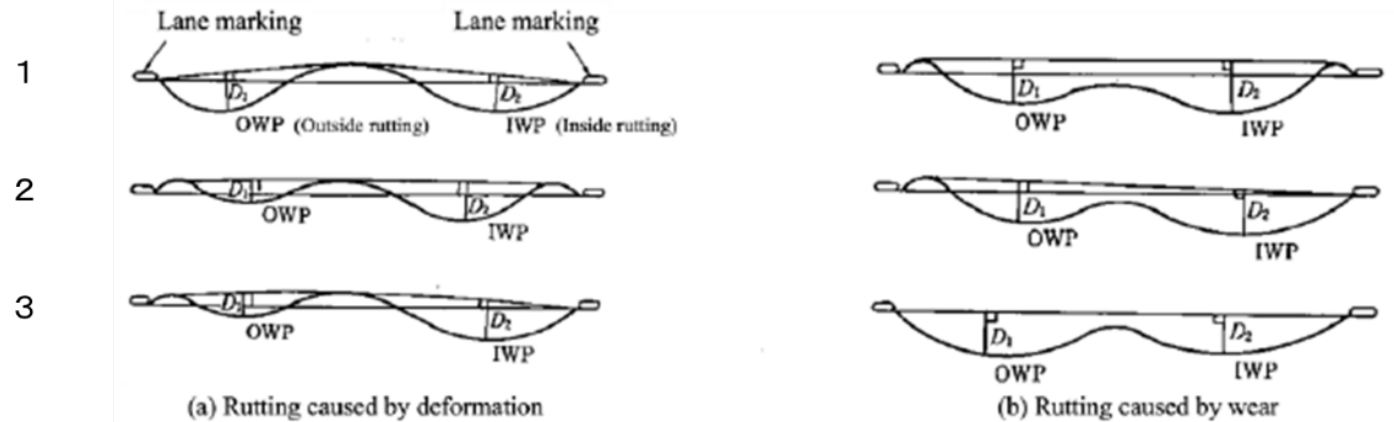
- 試験車両：本田N-BOX
- 計測機材：iPhone13



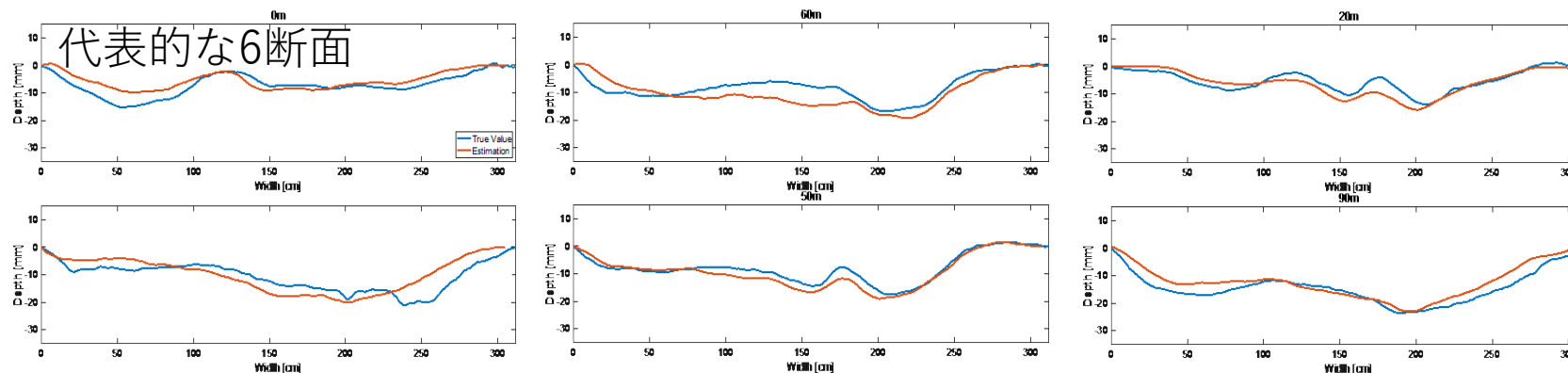
- 試験コース
11断面に基準測線をマーキング



- 正解値の測定方法
 - ・横断形状の計測は横断プロファイルメータにより行った。



人力測定との比較

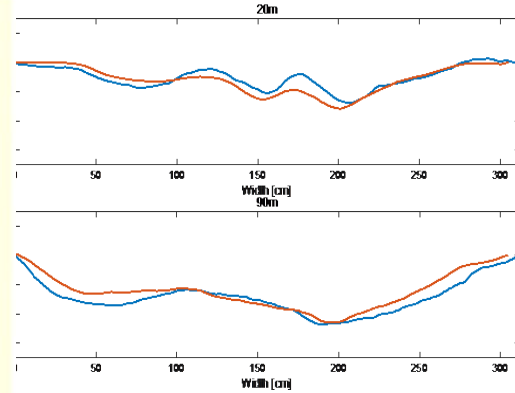
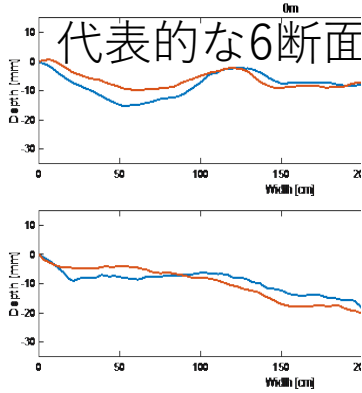


青：人力測定
赤：提案手法

距離 [m]	人力測定			提案手法			誤差 [mm]	
	算出方式	D1 [mm]	D2 [mm]	算出方式	D1 [mm]	D2 [mm]	D1 [mm]	D2 [mm]
0	b-2	15.3	9.4	b-1	10.3	9.4	-5.0	0.0
10	b-3	9.0	21.2	b-3	4.9	20.0	-4.1	-1.2
20	b-2	9.0	14.7	b-3	6.5	15.8	-2.5	1.1
30	b-3	25.9	31.1	b-2	20.3	28.8	-5.6	-2.3
40	b-2	14.1	20.0	b-2	14.5	23.5	0.4	3.5
50	b-2	15.2	18.7	b-2	17.5	20.1	2.3	1.4
60	b-2	11.5	17.0	b-1	11.0	19.3	-0.5	2.3
70	b-3	12.1	18.3	b-2	12.1	22.7	0.0	4.4
80	b-2	12.5	17.8	b-3	14.5	19.3	2.0	1.5
90	b-3	17.1	23.5	b-3	16.7	23.0	-0.4	-0.5
100	b-3	12.2	7.6	b-3	10.6	13.6	-1.6	6.0

大多数は誤差 ±3mm以下で推定可能

人力測定との比較



青：人力測定
赤：提案手法

距離 [m]	算出方式	D
0	b-2	
10	b-3	
20	b-2	
30	b-3	
40	b-2	
50	b-2	
60	b-2	
70	b-3	
80	b-2	
90	b-3	
100	b-3	

土研七道路性第 2382 号

2023 年度 性能確認証書

路面性状自動測定装置（車両搭載機器型）
 スマートフォン 「シリアルナンバー：WG9PQV3PY9」
 RTK-GNSS 受信機 「シリアルナンバー：356456083158273」

標記の路面性状自動測定装置について、下記のとおり性能を有することを証します。
 令和 5 年 9 月 19 日

一般財団法人 土木研究センター
 理事長 伊藤 正秀

記

- 性能確認試験
 - 試験月日 令和 5 年 5 月 24, 25 日
 - 試験場所 一般国道 294 号 茨城県常総市中裏町地内
国土交通省国土技術政策総合研究所試験走路
 - 試験項目 距離、ひび割れ、わだち掘れ、平坦人性
路面状態 乾燥
- 路面性状自動測定装置の概要
 - 距離測定方式 RTK-GNSS 測位方式
 - ひび割れ測定方式 スマートフォンカメラ方式
 - わだち掘れ測定方式 スマートフォンカメラ方式
 - 平坦人性測定方式 スマートフォンの 6 軸センサ方式
- 性能確認結果

試験項目	認定範囲	昼間	夜間	確認結果
距離測定精度	光学測量機による距離の測定値に対し、±0.3%以内の精度である。	昼間 合格	夜間 -	
ひび割れ測定精度	幅1mm以上のひび割れが識別可能な精度である。	昼間 合格	夜間 -	
わだち掘れ測定精度	横断プロファイル計によるわだち掘れ深さの測定値に対し、±3mm以内の精度である。	昼間 合格	夜間 -	
平坦人性測定精度	縦断プロファイル計による標準偏差の測定値に対し、±30%以内の精度である。	昼間 合格	夜間 -	
- 本性能確認証書の有効期限 令和 6 年 10 月 1 日
- 性能確認試験の依頼者
 - ニチレイ株式会社
所在地：東京都千代田区九段北 4 丁目 3 番 2 9 号
 - 株式会社スマートシティ技術研究所
所在地：東京都足立区竹の塚 3-5-2 0
 - 東京大学大学院
所在地：東京都文京区本郷 7-3-1

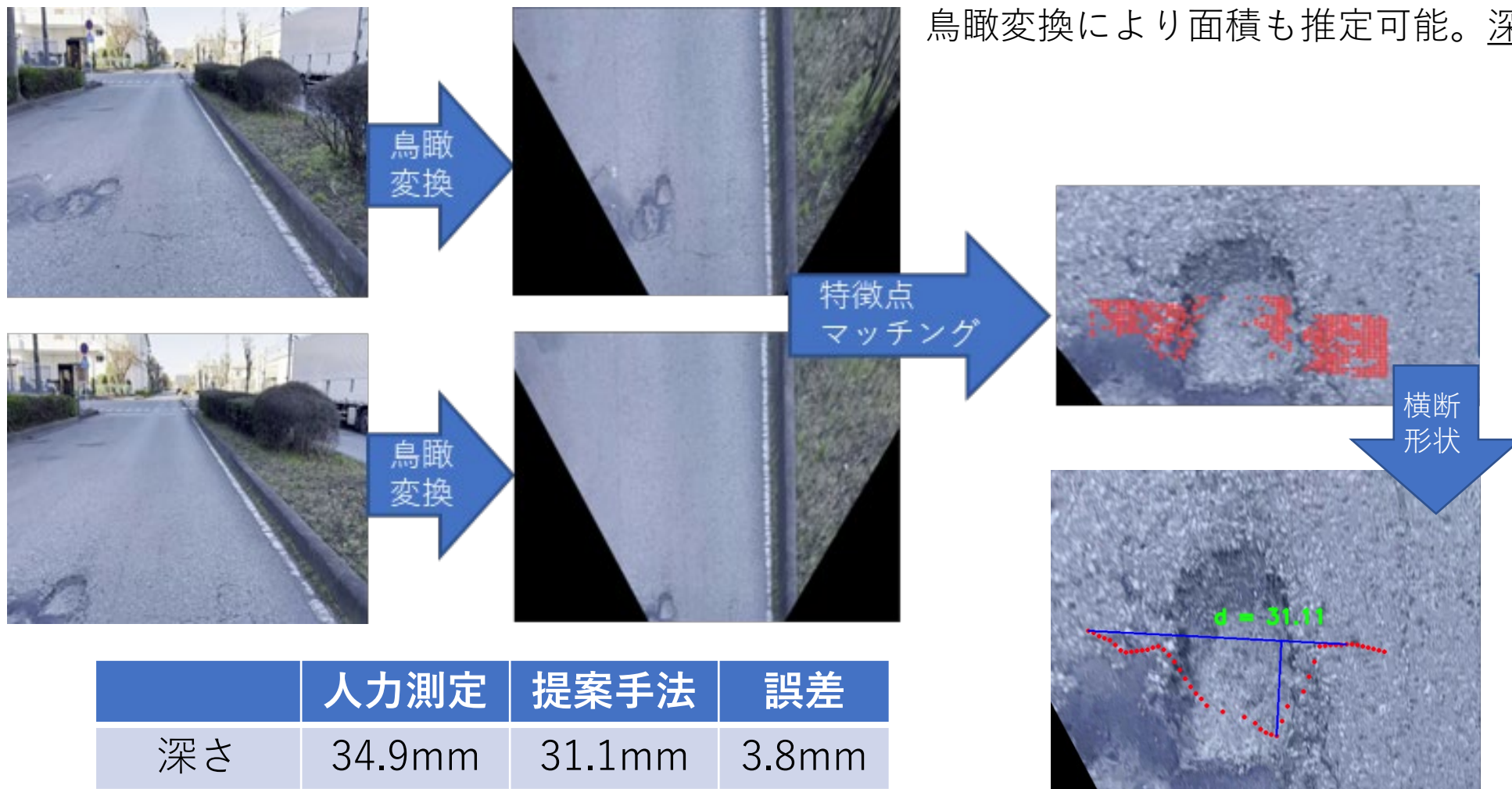
[mm]	誤差 [mm]	
	D1 [mm]	D2 [mm]
0.4	-5.0	0.0
0.0	-4.1	-1.2
5.8	-2.5	1.1
8.8	-5.6	-2.3
3.5	0.4	3.5
0.1	2.3	1.4
9.3	-0.5	2.3
2.7	0.0	4.4
9.3	2.0	1.5
3.0	-0.4	-0.5
3.6	-1.6	6.0

スマホベース技術で初めて「わだち掘れ」の性能確認試験に合格

ポットホールの深さ推定への活用

本提案手法をポットホールの深さ推定に応用。

機械学習によりポットホールの検知は可能かつ高精度。
鳥瞰変換により面積も推定可能。深さ推定は困難だった



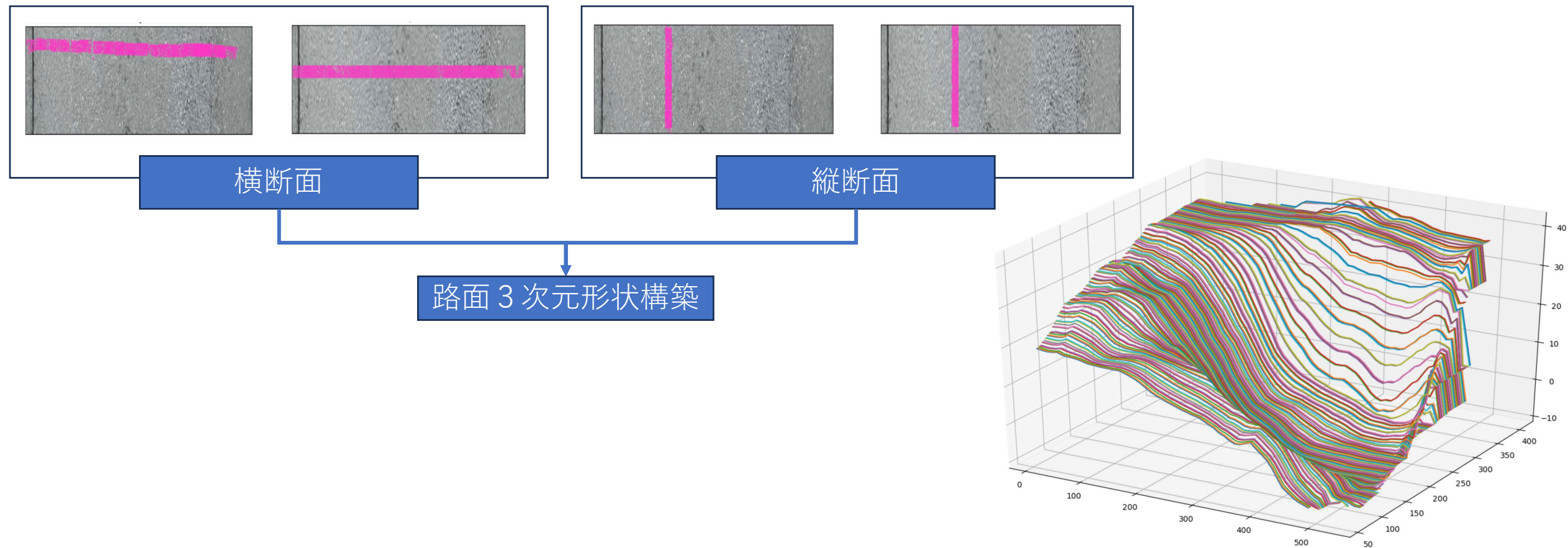
	人力測定	提案手法	誤差
深さ	34.9mm	31.1mm	3.8mm

ポットホールの深さ推定への活用が可能

路面 3次元形状構築への活用

本提案手法を路面3次元形状の推定にも適用可能（開発中）

- SfMと同様に3次元形状を出力可能。ただし2枚の画像から対象領域を絞って推定できる。軽い、データ量限定的、高頻度モニタリングに有利。



路面の3次元形状を構築することが可能

技術シーズマッチングに関する研究開発状況のまとめ

- 車両内設置カメラの撮影画像に対して、鳥瞰変換と特徴点マッチングを組み合わせることにより、舗装わだち掘れ量の評価手法を開発した。レーザ等の高精度センサーを利用せず、前方画像を利用しながらも、わだち掘れ量を推定できることを確認した。
- SfMによるわだち掘れの検出手法に比べ、計算コストは9割程度を削減できた。
- 人力測定値と比較した結果、概ね3mm以下のわだち掘れ量の誤差を実現した。
- 提案手法はポットホールの深さ推定にも適用できることを確認した。
- 今後、平坦性/IRI、ひび割れ率の推定とあわせて、舗装の維持管理指数 (MCI) を算出。

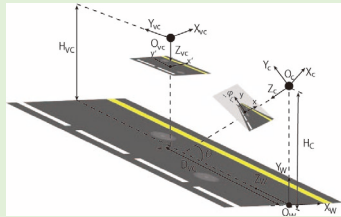
鳥瞰変換画像の合成による詳細な路面展開図作成と路面の時系列解析・予防保全

鳥瞰図の自動変換・解析手法



前方画像

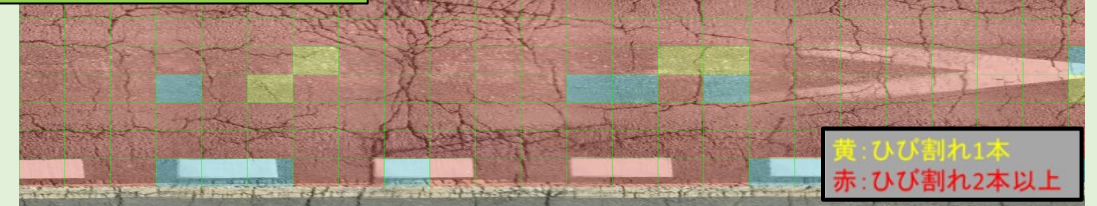
自動
鳥瞰変換



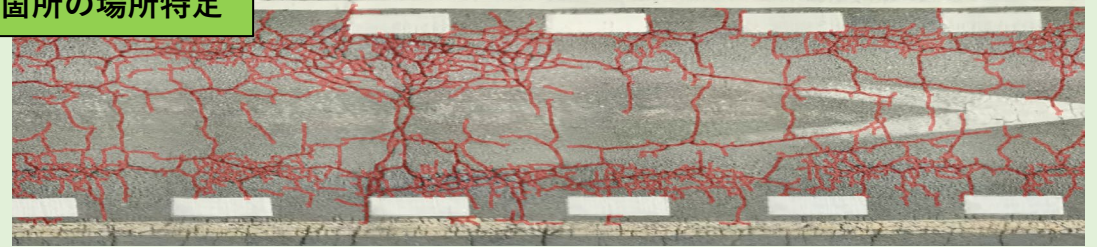
鳥瞰図

画像連続化

試験便覧法によるひび割れ率

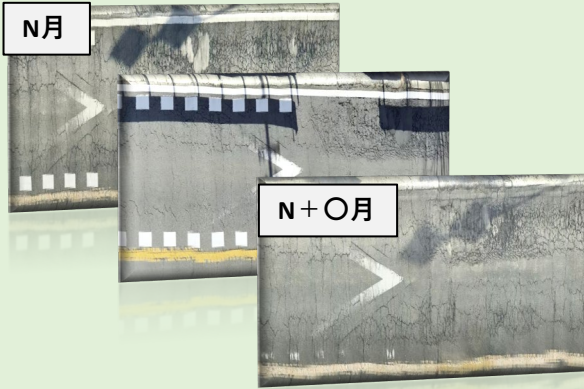


変状箇所の場所特定

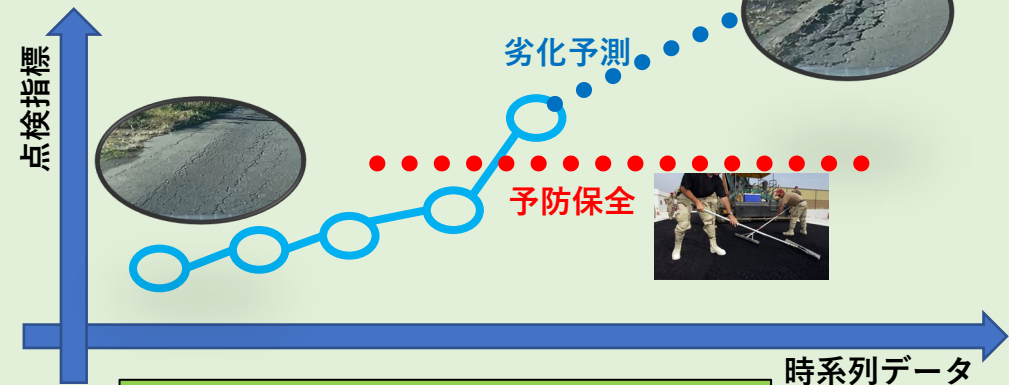


■令和2年度 国土交通省関東地方整備局マッチング事業研究成果
https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000835631.pdf

事後対応から予防保全への転換を実現



時系列画像の高精度位置合わせ



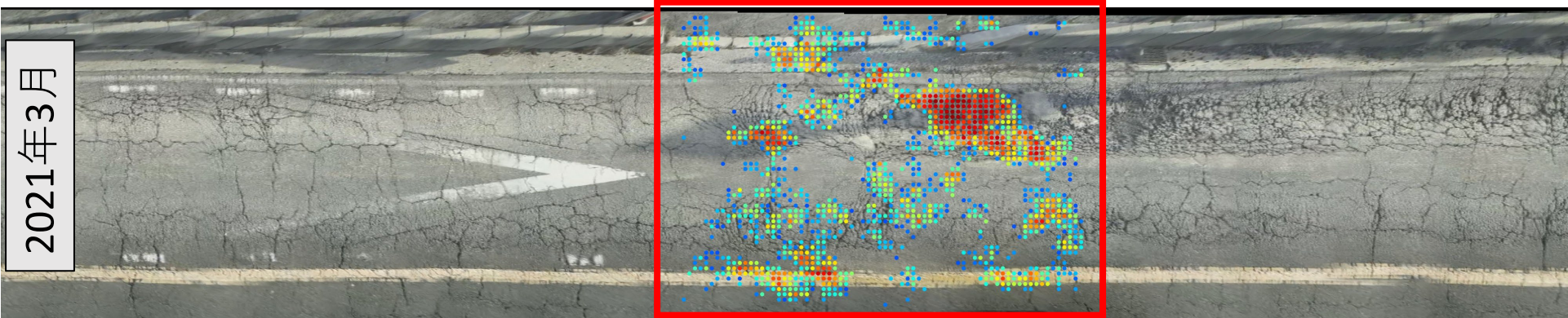
時系列解析による劣化予測・予防保全

経時変化の評価に向けて GPS誤差による位置ずれの補正

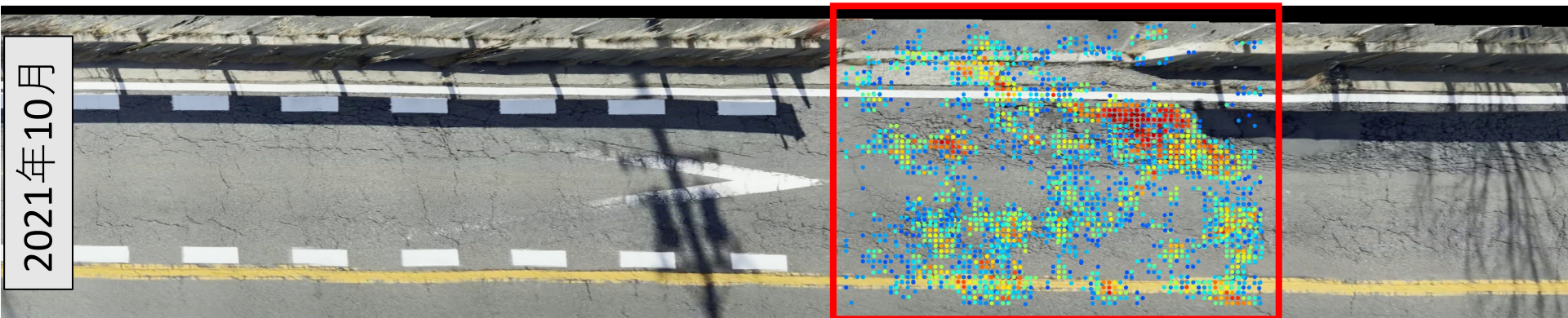


特徴点マッチングによる厳密な位置合わせ

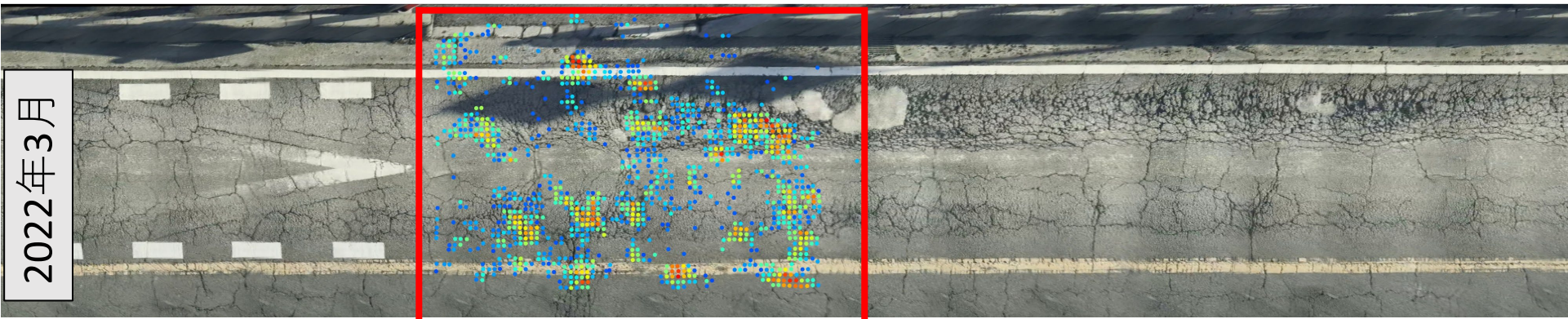
2021年3月



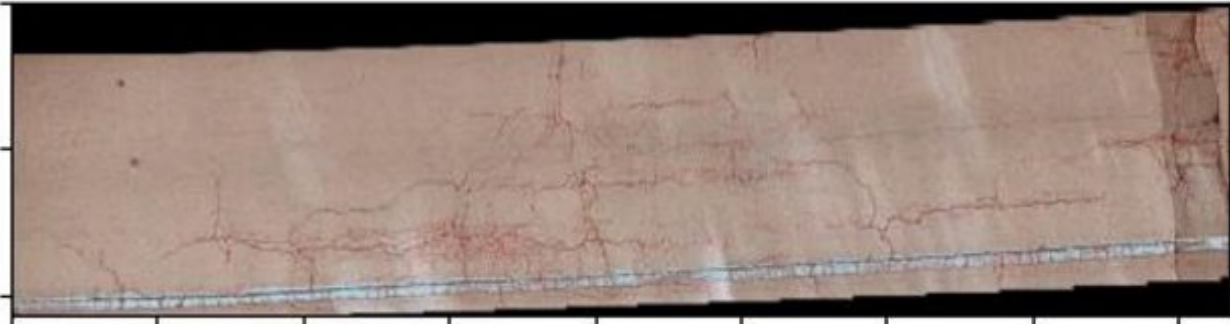
2021年10月



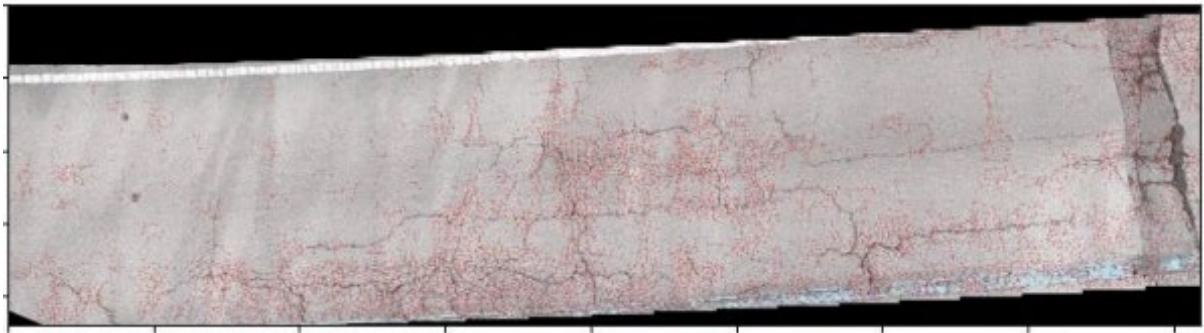
2022年3月



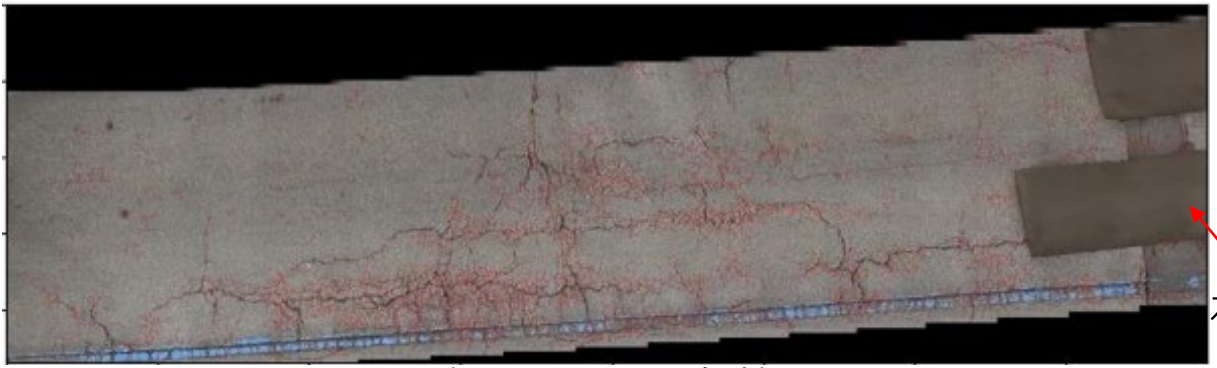
特徴点マッチングによる厳密な位置合わせの自動化



2022年11月 交点数1165

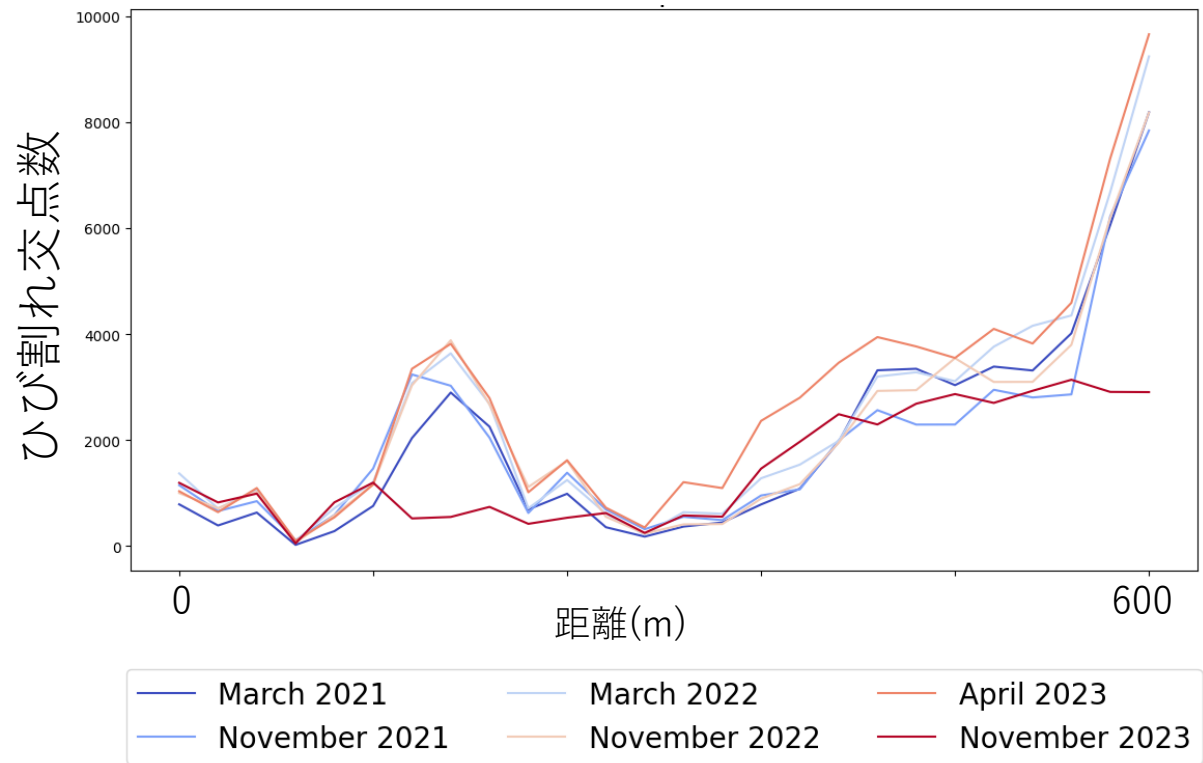


2023年4月 交点数1162



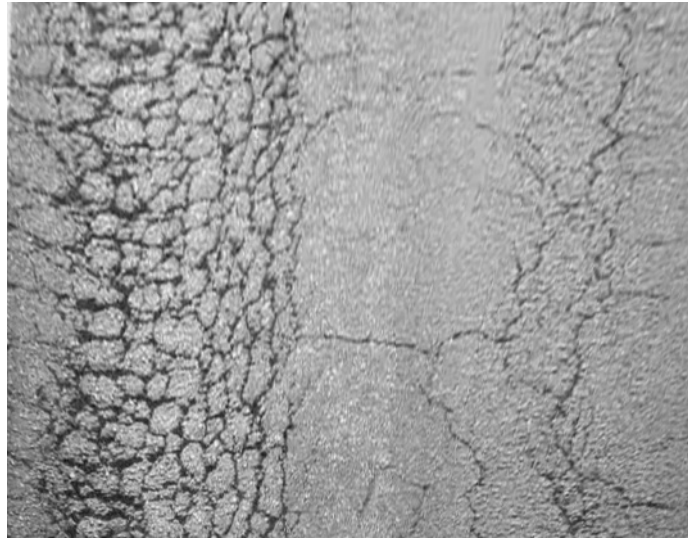
2023年11月 交点数1198

補修跡

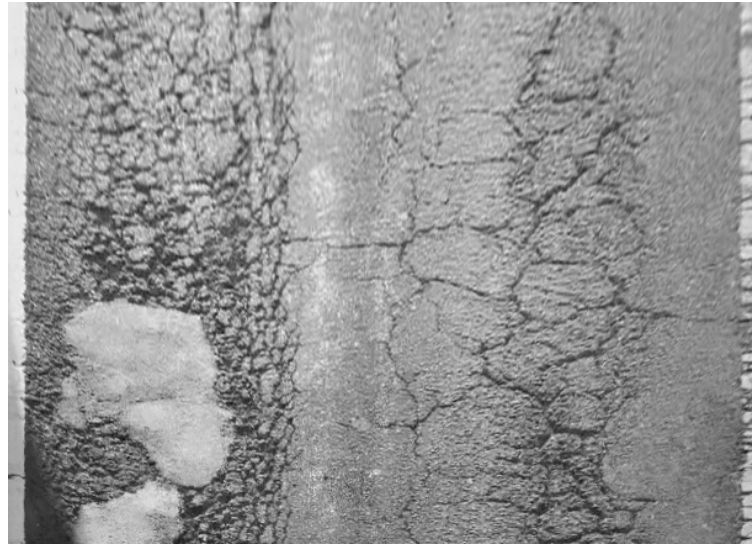
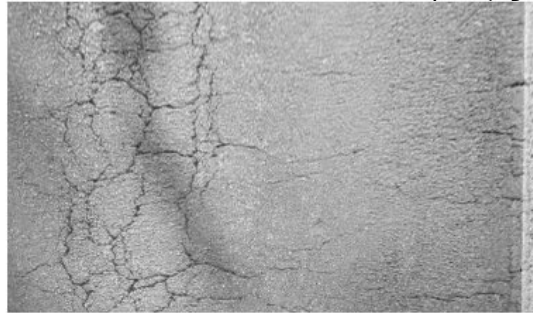


3年間のひび割れの変化を追跡

ミクロなひび割れ変化の評価



2021年3月



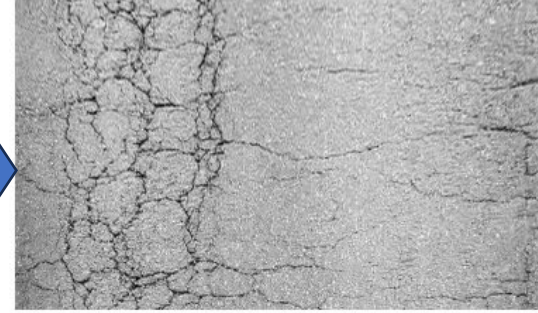
2022年3月



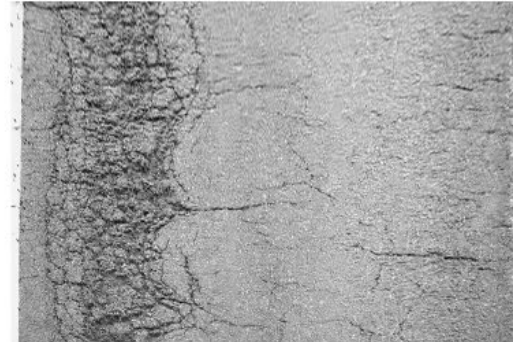
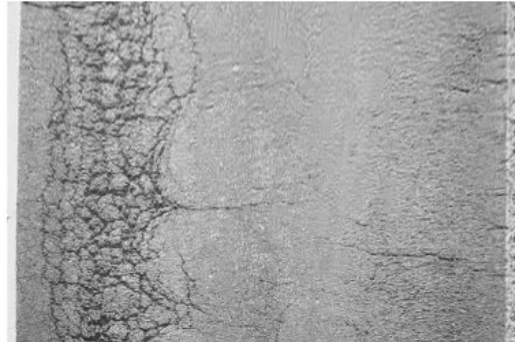
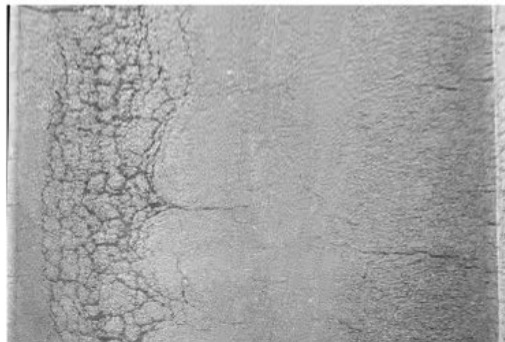
車両内設置カメラ画像から
あたかも定点カメラのような
画像データを抽出可能

経時変化分析へ。

2023年4月



局所的なひび割れ、
わだち掘れ
IRIの経時変化分析へ



- ▶ 高精度な位置合わせを実現。路面の劣化を詳細に経時評価することが可能に。
- ▶ 今後、経時変化の追跡と劣化予測に基づく、合理的な管理方法の検討へ。