

スマートフォンを用いて推定された路面の平坦性とひび割れの経時的分析手法の提案

東京大学 田村峻 正会員 ○長山智則

スマートシティ技術研究所 正会員 薛凱

長崎大学 正会員 西川貴文

1. 研究背景

近年スマートフォンを車両に搭載することで、従来より低コスト高頻度で路面性状調査が行えるようになっており、スマートフォンで計測された平坦性とひび割れは実務的に使われているが、GPS の誤差や日照条件による影響もあるため、経時変化の分析が難しい。そこで、スマートフォンでの計測データにポストプロセッシングを施し精度を向上することで、経時変化を観察可能にすることが求められる。

2. 目的

そこで、本研究の目的を以下のように設定する。

1. 振動データから計算される路面プロファイル同士の相互相関関数を用いた走行方向の位置合わせを行うことで、各計測点での IRI 計測誤差を低減し、IRI の経時変化を観察する。

2. 動画データにセマンティックセグメンテーションを用いたひび割れ検知手法を適用し、その進展をより敏感に評価可能な指標を提案することで、ひび割れの経時変化を観察する。

3. IRI の経時変化分析

本研究では、同一経路を走行した任意の2レコードの走行方向の位置合わせの為に、IRI 計算時に得られる路面プロファイル(図1)を利用する。計算された路面プロファイル同士の標準化相互相関関数を計算し、最大の相関係数を取る遅延分をレコード間の走行方向 GPS 誤差として推定する。

他レコードとの最大相関係数の平均値が最も高いレコードを最も正確な代表レコードとして選び、他レコードの走行方向 GPS 誤差を、全て代表レコードを基準として補正する。またこの時最大相関係数が閾値を下回るレコードは、データセットから除外する。

実験対象とした大阪府豊中市²⁾の4区間について、10m 毎の各点での IRI の分散値の平均を表1に示す。全区間で分散が減少し、走行方向の位置精度が向上したことがわかる。

このように走行方向の GPS 誤差を補正した上で、各

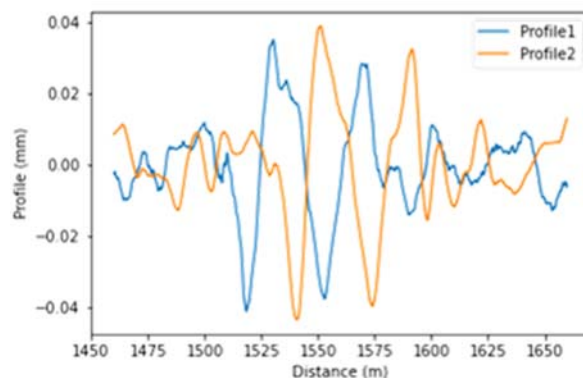


図1 路面プロファイル同士の走行方向位置誤差

表1 位置合わせによる IRI 分散の減少

| 区間 | 各点での IRI 分散の平均 | | 改善率 |
|----|----------------|-------|-------|
| | 手法前 | 手法後 | |
| A | 1.02 | 0.703 | 31.3% |
| B | 2.92 | 1.17 | 60.0% |
| C | 1.80 | 1.03 | 42.9% |
| D | 1.17 | 0.994 | 15.1% |

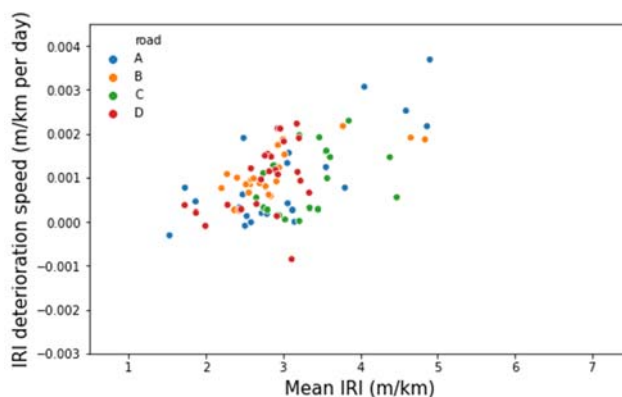


図2 手法導入後の IRI と IRI 劣化速度の関係

点での IRI の経時変化を観察する。なお、IRI が時間経過と共に改善する傾向を示す時があるものの、これは時期毎に異なる計測車両を用いたことによるパラメータ推定誤差から来るものと考えられるため、これをオフセットと見做し補正した上で、IRI と IRI 劣化速度の関係を分析した。走行方向の位置合わせを導入した後の2変数の関係を散布図で示した(図2)。

位置合わせ手法の導入前は、IRI とその劣化速度の間に解釈可能な関係性は見られなかったが、手法導入後には正の相関、つまり IRI が高い(=IRI の条件が悪い)ほど IRI 劣化速度も速いという関係性が確認できるようになった。

キーワード 簡易路面計測, IRI, 相互相関関数, ひび割れ, セマンティックセグメンテーション, 経時的分析
連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院工学系研究科 TEL 03-5841-6085

4. ひび割れの経時変化分析

ひび割れは、従来のひび割れ率に依らずひび割れの一本一本を特定することで、進展をより精度良く評価することができると考えられる。そのため、従来の画像分類を用いたひび割れ率による評価に替えて、セマンティックセグメンテーションを用いた新指標による評価を提案する。本研究では、新指標として既往研究³⁾を参考に、ひび割れ総面積、総延長、平均幅、交点数、縦横比を検討した。またこれらの指標を計算するため、細線化アルゴリズムを利用した。交点数を計算するまでの一連のプロセスを図3に示した。

ひび割れの経時変化を捉える上でこれらの新指標の有効性を検証するために、路面表面の劣化の進展に影響を与えているとされる路面の構造的強度との相関係数、各指標での単回帰の決定係数、5分割交差検証の平均決定係数を計算した。路面の構造的強度は、FWD (Falling Weight Deflectometer) と呼ばれる機器で一定負荷に対する路面のたわみ量により表される量で、路面表面のひび割れと相互的な作用があり路面のひび割れ評価を行う技術的根拠になりうるとされている。従来のひび割れ率の構造的強度との相関係数 0.32 と比較すると、総面積、総延長、交点数の3指標はより高い相関があるため、より敏感に構造的強度低下とひび割れの進展を評価しうると考えられる。

本研究では、最も相関係数の高かったひび割れ交点数を用いて、2021年3月と同11月に長野県塩尻市で行った実際の路面計測データを評価した。対象路面の構造的強度の推定結果を図4に示す。従来のひび割れ率ではこの期間における変化を殆ど推定できなかったものの、新指標を用いることで一定の変化が推定できていることがわかる。

この評価結果の妥当性を検証するため、新指標における推定で最も変化(劣化)の大きかった図4中130m付近の、二時点における元画像を図5に比較した。この画像から、新指標が視覚的なひび割れの進展を評価できていることが確認できる。

5. 結論

路面プロファイルを用いた走行方向位置合わせにより、IRI条件の悪い地点で劣化速度が速い傾向が確認できた。また、セマンティックセグメンテーションにより、構造的強度と相関の高いひび割れ新指標を提案し、その指標による経時変化観察が妥当であることを確認した。

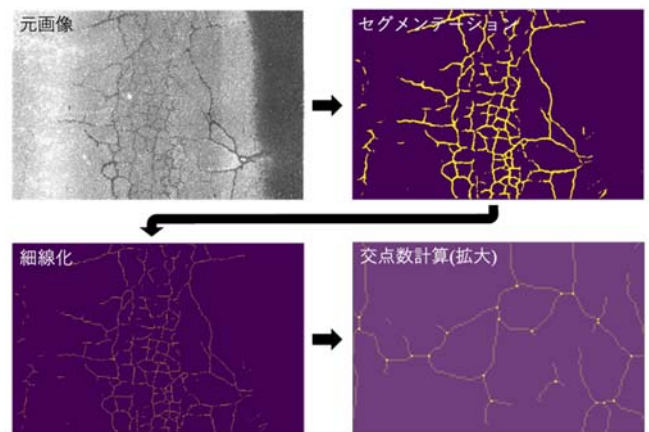


図3 指標計算プロセス(ひび割れ交点数)

表2 各指標の評価結果

| 指標 | 相関係数 | 決定係数 | 5分割交差検証 |
|-----|-------|-------|---------|
| 総面積 | 0.60 | 0.36 | 0.29 |
| 総延長 | 0.58 | 0.34 | 0.25 |
| 平均幅 | 0.33 | 0.065 | 0.043 |
| 交点数 | 0.62 | 0.38 | 0.32 |
| 縦横比 | -0.12 | 0.011 | -0.030 |

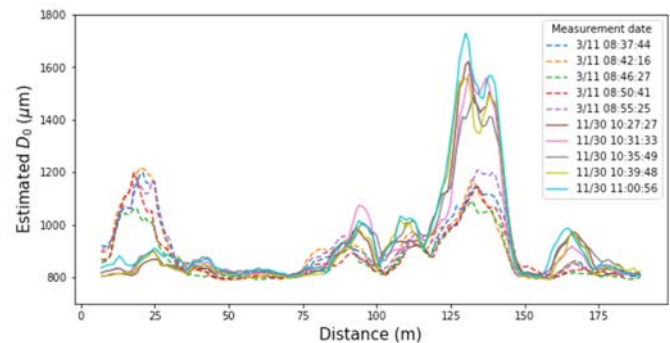


図4 ひび割れ交点数での構造的強度の推定結果



図5 推定元画像(左: 2021/3, 右: 2021/11)

謝辞 JIP テクノサイエンスの家入様・廣瀬様、ニチレキの那珂様・裕様には貴重なご意見を賜りました。ここに深く謝意を表します。

参考文献 1) 長山ら: 走行時の車体振動を利用したハーフカーモデルの同定と路面縦断形状の推定, 土木学会論文集 E1, 75(1), 2019, 2) Zhao ら: Vehicle model calibration in the frequency domain and its application to large-scale IRI estimation, Journal of disaster research, 12(3), 2017, 3) 渡邊ら: アスファルト舗装のひび割れに関する新たな評価指標の提案, 土木技術資料, 52(11), 2010, 4) 鈴木ら: 舗装の点検・診断・措置一貫システムの検討, 第73回年次学術講演会, V-652, 2018.