

研究助成実施報告書

助成実施年度	2020 年度
研究課題（タイトル）	デジタル道路地図を活用した車載移動設備に基づく都市路面管理システムの研究開発
研究者名※	蘇 迪
所属組織※	東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 特任准教授
研究種別	研究助成
研究分野	都市交通システム、エネルギー計画
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団 2020 年度研究助成実施報告書

所属機関名 東京大学工学系研究科社会基盤学専攻
申請者氏名 蘇 迪

研究課題	デジタル道路地図を活用した車載移動設備に基づく都市路面管理システムの研究開発
<p>(概要) ※最大 10 行まで</p> <p>多くの社会基盤の老朽化が進む近年、舗装路面の適切な維持管理の重要性が高まっている。そのため従来以上に、低コストで高頻度、かつ定量的に路面性状を把握することが求められる。申請者らは一般車両の振動応答を利用した路面評価システムを開発してき、車体に設置したスマートフォンにより車両の振動応答を計測することで路面評価を行う。本研究では、都市道路路面劣化に関わる道路属性・交通状況由来の影響要因を体系的に整理し、車載移動設備から構築された路面管理システムにおいて、計測条件に由来の変動要因を統計分析で解明し、先行研究で蓄積された路面計測データを適切な整理によって精度を向上させた。また車載移動設備で路面性状の識別可能条件を明確し、デジタル道路地図から確認した。さらに既存システムから識別できない路面変状において、車外音計測など新たな観測手法を用いて、鋼製伸縮装置の重大損傷検知の可能性を示した。</p>	

1. 研究の目的	(注) 必要なページ数をご使用ください。
<p>我が国では 120 万キロに及ぶ道路の多くが健全な一方で、総延長の 90%以上を管理する地方自治体の多くで、必要な調査が実施できていない舗装路面が少なからず存在する。申請者らは一般車両の振動応答を利用した路面評価システム (Dynamic Response Intelligent Monitoring System, 以下 DRIMS) を開発してきた。車体に設置したスマートフォンのセンサにより車両の振動応答を計測することで International Roughness Index (国際ラフネス指数, IRI) の算出を行う。車両の改造等を必要せず、安価に定量的な調査ができるため、高頻度、かつ一般道路に対しても調査可能である。</p> <p>本研究では、都市道路路面劣化に関わる道路属性・交通状況由来の影響要因を体系的に整理し、車載移動設備から構築された路面管理システムにおいて、(a)計測条件に由来の変動要因を統計分析で解明し、先行研究で蓄積された路面計測データを適切な整理によって精度を向上させる。また(b)車載移動設備で路面性状の識別可能条件を明確する。さらに(c)既存システムから識別できない路面変状を新たな観測手法で試みる。</p>	

1. 大規模走行実験データの概要と整理

内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の一環として、平成 27 年度から約 3 年間にわたり、DRIMS システムをバスやタクシー等業務車両に適用した大規模走行実験が行われた。業務車両の走行経路に沿った車両応答はビッグデータとして蓄積されている。簡易計測システムによるデータとして、SIP の大規模走行実験で集積された大阪府豊中市のデータを用いる。走行車両は 14 台の同車種のタクシーで、平成 27 年度の時点での実走行距離は 69,619km である。計測車両の相似性と、走行距離の長さ、すなわち豊富なデータ量が蓄積されていることから、豊中市を研究対象地域とした。さらに IRI 推定にあたっては、車両パラメータ同定手法等を従来手法から改善した、前後輪位置の路面縦断形状の推定量の差を最小化する。道路等級や交通条件などを踏まえ、豊中市内で、表-1 に示す 7 つの路線を対象として分析を行った。対象路面は局部変状がなく計測期間で明らかな経時変化は見られない路面 C~F とする。また、主に高速道路を対象に実施される現行の路面性状調査では、IRI 算出における評価区間長は 100~200 m に設定されることが一般的だが、局部的に路面性状が損なわれている地点の情報は平準化され識別されない。そこで本研究では、各路面に対して評価区間長は 100 m および 20 m で計算し、各ケースの統計的精度を求めた。さらに、計測条件が IRI 推定結果に及ぼす影響を考慮してデータ整理を施したうえで、簡易計測によって得られる IRI データの精度を推定する。

表-1 分析対象道路

路面	路線	対象区間長[m]	24時間当たり交通量[台]	旅行速度[km/h]	サンプル数	経時変化分析対象	局部変状分析対象
A	国道176号	240	18896	20.9	155	-	○
B	曾根箕面線	168	-	-	-	○	-
C	国道176号	78.1	18896	20.9	155	x	x
D	国道479号	33.3	31209	17.9	1021	x	x
E	国道423号	14.7	11899	14	154	x	x
F	府道2号(大阪中央環状線)	17.9	12286	14.5	312	x	x

2. 路面性状の識別可能条件の明確

一般車両を利用した計測手法が実用化されれば一般道路の路面性状調査も頻繁に行われるようになると予想される。一般道路には高速道路と比較して入り組んだ構造をしていることが多く、局部変状が起きやすいと考えられる。本研究では、IRI 簡易計測システムの現在の精度による、局部変状の識別または、局部の路面性状の経時的な変化の識別可否を明らかにすることを目的とする Google Earth を通して目視で路面性状が悪くなっているように見受けられる交差点を対象に、路面評価区間長の変更によって局部変状を識別できるか否かを検証する。また計測期間内に舗装修繕工事が行われた路面を対象に、IRI に経時変化が現れるか否かを検証する。最後に局部変状や経時変化の見られない路面を対象にして交通量が IRI に与える影響についての考察を行っている。

3. 車外音による鋼製伸縮装置の損傷検知手法提案

橋梁の伸縮装置は桁の温度による伸縮や活荷重による変位を吸収する目的で橋梁の桁間に設け

られる部材であるが、荷重を直接支持し、段差の衝撃も受けやすいことから非常に損傷しやすい。現在、伸縮装置の点検では車線規制をした上で打音検査が行われているが、時間も人員も要することから簡便な検知方法が望まれている。既存の DRIMS システムは画像と振動データを計測したが、路面に設置している伸縮装置の状態まで識別できなかった。本研究では損傷状態が既知であるテストコースにて実験を行い、車両上で録音される車外通過音を用いた鋼製伸縮装置の重大損傷検知手法を提案する。

施工技術総合研究所のテストコースには、5基の鋼製フィンガージョイントが約10m間隔で設置されており、うち1基は健全、残り4基では段階に応じた損傷が模擬してある(図-1)。鋼製フィンガージョイントは、①アンカープレート破断、②リブとフェースプレート溶接部破断、③ウェブとフェースプレート溶接部破断、④フェースプレートへの亀裂発生の4段階で損傷することが報告されている。このうち、①～③の損傷を模擬した試験体を、それぞれ損傷Ⅰ、損傷Ⅱ、損傷Ⅲとする。また、段階③において、損傷Ⅲよりも破断長さ・深さが進展したものを損傷Ⅳとする。実験に使用した車両は日産マーチ(重量約1t)とトヨタアルファード(重量約2t)の2種類、走行パターンは約30km/h、約50～60km/hの2条件とした。鋼製フィンガージョイントは走行方向奥側が損傷しやすいことが知られており、この向きに5回ずつ、マイクを車体後方に設置し、走行試験を実施した。



図-1 施工総合技術研究所テストコース

3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

1. 計測条件の影響を考慮したデータ整理

計測条件が IRI 推定結果に及ぼす影響を考慮してデータ整理を施したうえで、簡易計測によって得られる IRI データの精度を推定する。

(1) 走行経路の一致

IRI 値は評価区間長(例えば100m)の範囲の路面状態の代表値である。そのため同一の地点の数値であっても、交差点などが含まれる場合には走行経路によって評価区間が異なる。そこで本研究では、評価区間長の範囲での走行経路が一致するデータのみを抽出した。

(2) 計測車両への依存性の排除

計測には同一車種14台の車両が用いられた。計測車両への依存性を排除するため、計測車両別に IRI を算出すると HHT005 による計測精度が明らかに悪かった。そこで以降の分析において HHT005 による計測データを排除した。

(3) 統計的精度の究明

以上のデータ整理を行ったうえで、簡易計測で得られる IRI データの精度を検討した。まず IRI 結果の統計的分布モデルを調査した。路面 C~F, 評価区間長 2 種類について、計 8 つのケースを対象に、正規分布、対数正規分布、 γ 分布、ガンベル分布、一般化極値分布の最適モデルパラメータを最尤法によって特定し、簡易計測で得られる IRI データは γ 分布に従うと結論付けた。 γ 分布に従う精度は、評価区間長 100m では変動係数 18%, 評価区間長 20m では変動係数 25% であった。

2. 路面性状の識別可能条件

(1) 局部変状の識別

路面 A には Google のストリートビュー機能を用いた調査から、区間内に存在する 3 つの交差点部分において劣化がみられた。簡易計測によるデータから局部変状が定量的に識別されるかを検証した。走行経路に沿って IRI の推移をプロットすると (図-2), 評価区間長 20m に設定することで交差点にあたる地点の IRI が明らかな増大が示された。短評価区間長での精度低下を考慮しても、交差点部・非交差点部での IRI 分布は 1σ 区間の重複なく分布することが示された。

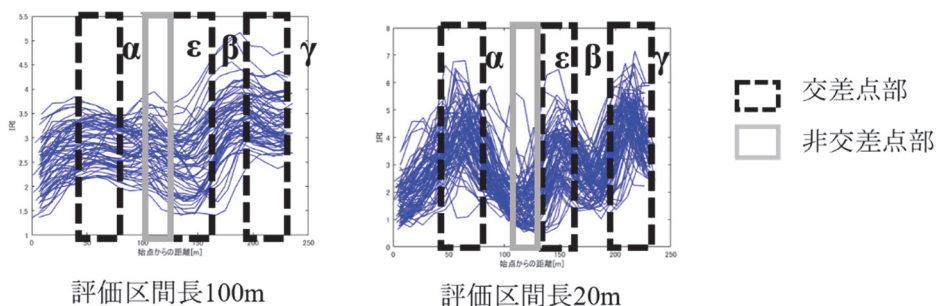


図-2 路面 A における IRI の推移

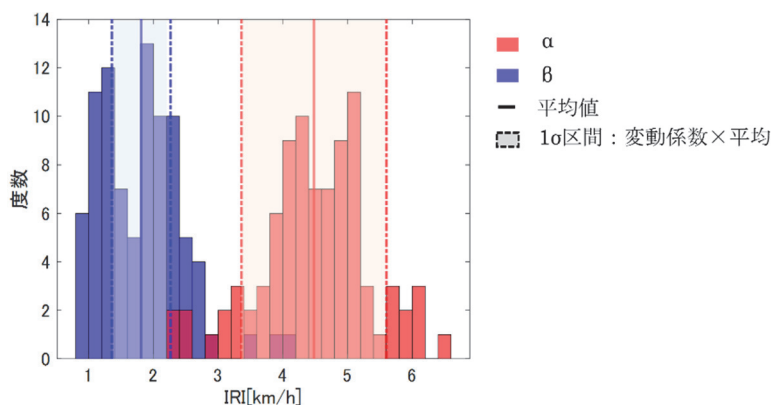


図-3 交差点部と非交差点部 IRI 分布比較

(2) 経時変化の識別

路面 B では全長 168m にわたる区間全域で、2016 年に舗装修繕工事が行われた。外観からはその変化は明らかでないが、簡易計測により定量的に改善を確認できるかを検証した。なお区間全域の IRI 平均を検討するため評価区間長 100m を採用した。計測日と区間平均 IRI 値の関係をプロットした図-5 から、2016 年 10 月 11 日以前と 2017 年 2 月 16 日以降に明らかな路面性状の改善が示された。



工事前



工事後

図-4 路面 B 工事前後の外観 (Google Streetview より)

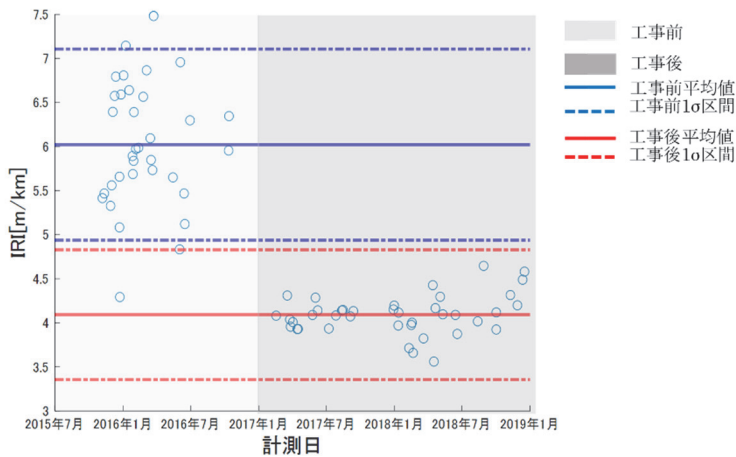


図-5 路面 B 計測日と IRI の関係

3. 損傷を模擬した伸縮装置の検知結果

約 0.6 秒の伸縮装置通過音に対し、短時間フーリエ変換を適用した。その結果、損傷I, IIの伸縮装置では目立った特徴は現れなかったが、損傷III, IVの伸縮装置を通過した際には、1000 Hz 以上に特徴が現れることが判明した。しかし、スペクトログラムは全帯域におけるフーリエ振幅を用いてスケールされるため、自動車の走行音のように、低周波音が大きい場合には、高周波音の特徴を確認しづらい。

そこで、各周波数帯域について、その帯域の振幅の最大値で振幅を割る正規化処理を施した。本研究では1000から4000 Hzの正規化後の値の和を取ることで上記の特徴を数値化することを試み、これを損傷スコアとした。5回走行した際の損傷スコアの最大値をまとめたのが図-6である。損傷IIIの伸縮装置は、健全なものに比べてどの条件でも明らかに高いスコアを出している。一方、損傷IVの伸縮装置はアルファード、60 km/h の条件以外では損傷IIIと比較して小さいスコアとなっている。これは、損傷音がウェブとフェースプレートなどの部材が接触することにより発生しており、亀裂が大きい場合、軽い車や遅い速度など衝撃が加わり辛い条件では、部材同士が接触しにくいためと考えられる。なるべく大きい衝撃を加えることで、損傷III, IVの重度損傷状態の鋼製伸縮装置を検知が可能となる。

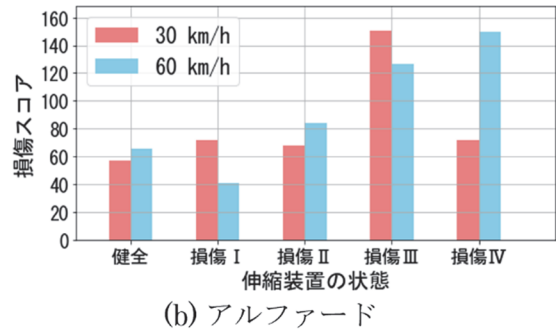
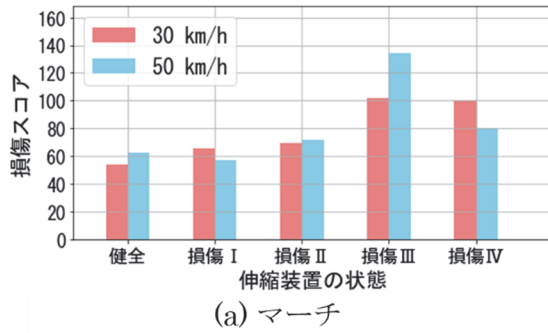


図-6 損傷スコアの最大値

4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

- 本研究では交通量の多くなる交差点や、交通量が最も多い路面においても3年間では劣化は見られなかったが、今後簡易計測システムの特性を生かし、高頻度かつ長期間にわたって継続的な計測が実現されれば、経時変化を追うことで劣化現象を観測できると考えられる。将来的には劣化現象を追うことで、一般道路に関して劣化にかかる期間の推定や劣化因子の解明に生かすことが期待できる。
- 本アルゴリズムによる、損傷レベル I や II の比較的軽微な損傷の検知は困難であることも課題である。首都高速道路の伸縮装置の損傷度スコアと、損傷レベル I, II の伸縮装置の損傷度スコアに明確な差異は確認されなかった。舗装による損傷度スコアの違いも原因の1つと考えられるが、特に伸縮装置の段差の有無が大きな原因であると思われる。今後、段差と損傷度スコアの関連を明らかにしていくことが、更に誤検出の少ないアルゴリズムの構築に必須と考える。