簡易平坦性測定およびGISに基づく 市街地道路の路面モニタリング

藤田 旬¹・富山和也²・Nueraihemaitijang ABLIZ³・川村 彰⁴

¹学生員 北見工業大学大学院 工学研究科 社会環境工学専攻 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

E-mail : m1352200111@std.kitami-it.ac.jp

²正会員 博(工) 北見工業大学 助教 工学部社会環境工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

E-mail : tomiyama@mail.kitami-it.ac.jp

³非会員 北見工業大学大学院 工学研究科 社会環境工学専攻 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

E-mail : m1252208015@std.kitami-it.ac.jp

⁴正会員 博(工) 北見工業大学 教授 工学部社会環境工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

E-mail : kawamuak@mail.kitami-it.ac.jp

近年、道路構造物の老朽化が進み、舗装維持管理における質的向上の社会的重要度がますます高まっている。特に、利用者の安全性・快適性に直結する路面平坦性の定量的なモニタリングは、効率的な舗装補修箇所の特定および優先順位の決定に必要不可欠である。本研究では、加速度計を用いた簡易路面平坦性測定装置であるモバイルプロフィロメータ (MPM: Mobile Profilometer) とGIS (Geographic Information System) を用いて、市街地道路における平坦性の効率的なモニタリング方法について検討した。その結果、MPMで測定した路面平坦性情報を基に、GISを用いて平坦性の経年変化を把握することで、舗装の維持および修繕が必要となる箇所特定の効率化が期待できることを示した。

Key Words : Mobile Profilometer, GIS, IRI, Urban road, Pavement monitoring

1. はじめに

日本における道路舗装は、積極的な公共投資によって量的整備が充足し、今後は、質的向上を目的とした舗装維持管理が必要となる。現在、舗装維持管理の取り組みとして、舗装マネジメントシステム¹⁾ (以下、「PMS」とする) が効率的で有力なツールとして挙げられている。PMSにおいて、舗装の状態を的確に把握することは、舗装の計画的、効果的な管理を行うために極めて重要である。また、舗装供用機能の一つである路面の平坦性は、舗装構造が有すべき必須の性能指標²⁾であり、道路利用者の乗り心地や走行時の安心感に直接影響を与える^{3), 4)}。そのため、道路と人との接点となる舗装路面の維持管理には、道路利用者の視点を重視した対策が必要である。日本においても、国土交通省が発表した総点検実施要項 (案) において、平坦性の評価には乗り心地と関連したIRI (International Roughness Index: 国際ラフネス指数) が導入されており⁵⁾、今後、舗装を効率的に管理する上で、利用者意識に関連した平坦性の評価に基づく定量的なモニタリングは非常に重要である。

しかし現在の主な路面モニタリングは、レーザ変位計などを使用した路面性状車などにより行われているが、

図-1 北海道内の地方自治体の道路管理データ保有状況⁶⁾

高速道路など比較的高クラスの道路において、3年に一度程度の運用に限られており、測定時には片側交互通行などの交通規制を行う必要があることから、導入コストの高さや運用時の利便性の低さが指摘される。筆者らは先行研究⁶⁾において、北海道内にある地方自治体の舗装維持管理実態に関し、その現状と課題を調査している。図-1に北海道内の地方自治体の道路管理データ保有状況を示す。結果から、北海道内の人口1万人以上 (07年当時) を有する27自治体において、ひび割れやわだち掘れ、平坦性などの路面性状データを保有するのは3自治体 (11%) のみであること。また、一部の自治体では路面

図-2 世界道路協会 (PIARC) による路面特性波状分類⁸⁾

性状データ収集のための定量的な測定は実施されておらず、約8割の自治体が、管理者による目視判断によって路面点検が実施されていることが確認されている。以上から、PMSを運用するにあたって、必要不可欠な路面性状に関する情報が不足しており、路面性状の定量的なモニタリング方法の検討が課題として挙げられる。

そこで、本研究では、道路利用者の乗り心地や走行時の安心感に影響し、PMSの基礎データとなりうる「平坦性」に着目し、加速度計を用いた簡易路面平坦性測定装置とGIS (Geographic Information System) を活用し、市街地道路における平坦性評価に基づく路面性状の定量的かつ効率的なモニタリング方法について検討する。

2. MPM測定に基づく路面平坦性モニタリング

既存研究⁷⁾では、市街地の路面状況をネットワークレベルでモニタリングするため、高精度なマップデータを持つ日本デジタル道路地図協会のデジタル道路地図と、世界的に利用されているGISであるArcGISを活用することで、MPMを用いて収集したIRIによる路面平坦性情報を基に、道路区分ごとの平坦性状況をデジタル地図上にプロットし、視覚的に把握可能であることを明らかにしている。

本研究では、2011年11月及び2013年3月にMPMを用いて測定したIRIデータを使用し、市街地道路における平

坦性の経年変化について検討した。また、都市計画区域ごとにIRIを算出し、用途地域における路面平坦性の分布状況の把握についての検討も試みた。

(1) 路面平坦性について

世界道路協会 (PLARC) は、路面特性を路面の波状特性すなわち路面の波長によって分類している⁸⁾。図-2に、路面特性波状分類図を示す。

図中、路面特性の対象領域を、「マイクロテクスチャ」、「マクロテクスチャ」、「メガテクスチャ」および「アンイーブネス」の概ね4区分で分類しており、「Tire/road contact area」とは、タイヤの接地面積による路面波長を表している。またこれらの区分を基に、路面が原因となって発生する車両もしくは乗員の動的応答特性に関連する指標である「乗り心地」 (Riding quality)、「交通事故」 (Accidents)、「騒音」 (Tire/road noise) や「燃費」 (Rolling resistance fuel costs) などとの関連性を示している。その中で「平坦性」 (unevenness) は、路面の波長が0.5~50mの範囲で表され、ころがり抵抗、車両の損傷、乗り心地など道路利用者に大きな影響を与える⁹⁾。

本研究において、平坦性は、波長が0.5~50mの範囲で表された「平坦性」 (unevenness) を指すものとする。ここで、本研究における平坦性は、従来の縦断プロファイルの標準偏差から求められるσ (平たん性) とは異なることに注意を要する¹⁰⁾。

図-3 モバイルプロフィロメータ (MPM) の概要

図-4 QCモデル¹¹⁾

(2) MPMの概要

MPMは、PMSの重要特性である自動車の乗り心地と相関の高いIRIを測定することを目的として開発され¹¹⁾、これまでに本装置を用いた路面の定量的なモニタリング方法について提案・試行してきた^{6), 12)}。MPMとは、測定車両における任意の一輪のパネ下およびパネ上に加速度計を設置し、車両走行時にそれら2つの加速度計から得られる上下加速度からIRIなどの平坦性指標をリアルタイムに算出する装置である。図-3に、MPMの概要を示す。

測定車両走行時、前輪の片側のパネ下とパネ上に設置した加速度計から測定されたデータは、車両の振動パラメータを持つQCモデル下端に加速度測定時のサンプリング時間と速度に応じた水平距離区間毎の路面変位 X_0 が入力された時の質量 m_1 、 m_2 の応答加速度であるという考えから、IRIを算出する方式である¹¹⁾。図-4に、QCモデルの概要を示す。

IRIの算出手順は、以下の通りである。

- 1) 測定加速度から質量 m_1 、 m_2 の速度、変位を求め測定車両QCモデルの振動パラメータをもつ運動方程式により路面変位 X_0 を逆算する。
- 2) 1) で求めた路面変位 X_0 の水平距離区間を车速80 (km/h) 時の水平距離区間に換算し、IRI算出用のQCモデルの振動パラメータを持つ運動方程式に変位入力として加え、基準QCモデルの応答変位 X_1 、 X_2 を求めIRIを算出する。

図-5 IRI算出システムの流れ¹¹⁾

図-5に、具体的なIRI算出システム全体の流れを示す。筆者らは、本研究で用いたMPMについて、IRI算出精度を確認するため、本システムにて算出したIRI値と路面性状測定車を用いて得られたIRI値を用いて検証を行っている。その結果、 $\pm 5\%$ 以内の測定精度を有し、速度変動の影響も少なく十分な再現性が得られることを確認している¹¹⁾。

なお、MPM測定で得られた平坦性情報は、コンピュータ上にリアルタイムで表示され、GPS (Global Positioning System) データと合わせてGIS上に表示することが可能である。本装置は、従来の路面性状測定車と比べ、導入コストが安価であり、任意の車両に設置でき、一般交通を規制することなく効率的かつ経済的な路面モニタリングが可能である。

(a) 2011年度のIRIによる路面平坦性モニタリング結果

(b) 2013年度のIRIによる路面平坦性モニタリング結果

図-6 国土交通省の総点検実施要領(案)⁵⁾を参考にした2011年及び2013年のIRIによる路面モニタリング

(3) GISによる路面モニタリング

これまで、PMS支援ツールとして、地理情報システム(GIS)が幅広く利用されている¹³⁾⁻¹⁵⁾。舗装の維持管理においては、膨大な地理データを扱うため、データベースの利用が不可欠であり、また、道路に関わる情報は位置情報を必要とすることから、路面モニタリングにおけ

るGISの利用は有効な手段であると考えられる。図-6は、北海道内の人口10万人以上の中核都市を対象として、MPMで測定した2011年及び2013年のIRIを、デジタル地図上でマッピングをしたものである。同時に参考として都市計画区域ごとに色分けした。図中、IRI区分の閾値は、国土交通省の総点検実施要領(案)⁵⁾を参考にした。

図-7 2011年及び2013年の市街地道路 IRI 比較

なお、IRI区分の閾値は、管理目的や道路区分に合わせて変更可能である。

図-6より、一部路線では、特に交差点付近において、IRIが8 (mm/m) 以上となる箇所が局在し、図(a), (b)ともに路面平坦性の低下が確認できた。IRIが8 (mm/m) 以上とは、国土交通省の総点検実施要領(案)⁵⁾より、古い舗装の場合で劣化が進行し、明確な損傷が部分的に発生している状態で、10mに1箇所程度のへこみ(IRIが8mm/m 以上を超える箇所)が存在する路面である。また、50~60 (km/h) で走行中に強く認識できる揺れを感じ、車両の損傷につながりかねない状態であり、早急に補修が必要な損傷レベルである。

このように、舗装の日常点検時にMPMを用いることで、短期間で効果的に路面平坦性データが収集でき、GISにより視覚的に路面状況を把握することが可能である。また後述で述べるが、図中、都市計画区域ごとに色分けし、地域別のIRIの比較を行うことで、用途地域における路面平坦性の分布状況の把握が容易になり、舗装維持管理上、補修優先箇所特定の効率化に繋がるものと

期待できる。

(4) 平坦性の経年変化

平坦性の経年変化は、図-6で示した路面モニタリングと同様の100m区間ごとのIRI測定データを用いて、頻度分布および累積分布関数により検討した。また、経年変化の検討は、道路管理者ごとの補修・修繕の特性を把握するためにデジタル道路地図データより、一般国道、主要地方道、一般都道府県道、その他の道路(市町村道、農道や林道を含む)の4区分ごとに行なった。対象となるIRIデータは、一般国道、主要地方道、一般都道府県道、その他の道路について、2011年では、95, 83, 177, 542の計897点、2013年では91, 64, 208, 461の計824点である。図-7に、IRIの頻度分布と累積分布関数による2011年及び2013年の路面平坦性比較結果を示す。

累積分布関数より、2011年から2013年にかけて、測定地域内の道路全体において、IRIによる路面平坦性の向上が見られた。一方、頻度分布は、2011年および2013年のいずれも、一般国道、主要地方道及び一般都道府県道

図-8 2013年3月のIRI調査結果を用いた用途地域の解析

では、IRI値が1.5~3.0 (mm/m) の低い水準で分布しているのに対し、その他の道路では、IRI値が1.5~5.0 (mm/m) の間で広く分布しており、道路種別ごとのばらつきが確認できた。このことから、2013年3月の時点では、その他の道路では、一般国道、主要地方道及び一般都道府県道と比べ路面平坦性は劣っているが、2011年11月から2013年3月までに改善されていることがわかる。

このように、MPMで測定した路面平坦性情報を用いて、IRIの頻度分布と累積分布関数による比較を行うことで、測定地域内の道路ネットワーク全体における、舗装路面の劣化状況の効率的な把握が期待できる。

(5) 都市計画区域の路面状況の比較

都市計画区域ごとの平坦性の比較については、本研究で初めて行ったものであるため、用途地域の境界道路について議論が残るところであるが、今回は重複がある場合、データの取りまとめの都合上どちらにも入ことにした。またIRIは、一般的に100mの平均的な路面の性状を表しており、100mを一区切りとして測定していることから、対象地域とその地域から+100mの範囲を解析範囲とした。今回は、第1種低層住居専用地域および第2種中高層住居専用地域用途地域の2つの地域を例に、2011年および2013年のIRI測定値を用いて検討を行った。一例として2013年3月のIRI調査結果を用いた用途地域の解析範囲を図-8に示し、第1種低層住居専用地域と第2種中高層住居専用地域の頻度分布および累積分布関数の結果を図-9に示す。

(a) 第1種低層住居専用地域

(b) 第2種中高層住居専用地域

図-9 頻度分布および累積分布関数

図-10 IRIの立体表示モニタリング

図-9より、累積分布関数から、第2種中高層住居専用地域では、路面平坦性の変化は見られなかったのに対し、第1種低層住居専用地域では、2011年から2013年にかけて路面平坦性の向上が確認できた。また頻度分布において、第1種低層住居専用地域では、IRI値が1.5～3.0 (mm/m) の低い水準で分布しているのに対し、第2種中高層住居専用地域では、IRI値が2～5.5 (mm/m) の間で広く分布しており、都市計画区域ごとに平坦性のばらつきがあることが確認できた。要因として、測定地域内にある第2種中高層住居専用地域は、主要幹線道路と接しており、車による出入交通量が多い地域であると考えられることから、第1種低層住居専用地域と比べ、平坦性の水準が低下しているものと考えられる。

このような、IRIの頻度分布及び累積分布関数を用いた比較は、ある地域におけるIRIを用いた平坦性水準の変化を把握し、舗装補修が必要な地域の特定に貢献することが期待できる。

(6) 立体表示による路面モニタリング

ここでは、新たなモニタリング手法として、図-10に示したIRIの立体表示モニタリングについて提案する。立体表示モニタリングでは、IRI値に比例してポイントの高さに変化するため、IRIによる平坦性の変化をより視覚的に把握することができるという利点がある。立体表示モニタリングには、2013年6月26日にMPMで測定した100m区間のIRI測定値を用いた。測定中は、同時に測定地点の路面状況の動画を撮影した。図-10に載せた撮影画像については、動画中、IRI値8 (mm/m) 以上を示

し、路面損傷が目立つ地点の画像をキャプチャーしたものである。撮影画像より、測定地点の舗装のパッチングが確認でき、路面に段差が生じたことによって平坦性が低下し、IRI値が8 (mm/m) 以上を示したと考えられる。

このように、立体表示での路面モニタリングは、舗装の現状の調査結果を、必要に応じて詳細に表現することが可能である。また、路面状況を撮影した画像と比較することにより、測定時点における舗装を正確に把握することが可能である。

3. まとめ

本研究は、加速度計を用いた簡易路面平坦性測定装置であるモバイルプロフィロメータ (MPM) とGISを用いて、市街地道路における路面平坦性の効率的なモニタリング手法について検討したものである。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 舗装の日常点検時にMPMを用いることで、短期間での効果的かつ定量的な路面平坦性データの収集ができ、市街地道路における経済的な路面調査の実施が可能である。またMPM測定から得られたIRI測定結果を基に、GISと組み合わせることで、路面性状の定量的かつ効率的な路面モニタリングが可能である。
- (2) 道路管理者別および用途地域別に路面平坦性の経年変化を把握することで、各種道路、各地域ごとに平坦性状況が把握でき、地域内における補修箇

所特定の効率化が可能である。

- (3) 立体表示による路面モニタリングにおいて、IRIの数値データ毎に立体的に表示することで、IRIによる平坦性の変化をより視覚的に把握することができる。同時に、測定地点の路面状況の動画を撮影し、IRIが高い地点と路面状況の画像の比較を行うことで、測定時点における舗装を正確に把握することが可能である。

本研究の成果は、人的および財政的に小規模の地方自治体において、経済的かつ効率的な舗装維持管理の実施に貢献するものである。また今後の展望として、GISは、複数のデータを同じデジタル地図上に重ねることが出来るため、MPM測定から収集できるIRIによる平坦性評価の他に、ひび割れ率、わだち掘れ深さなどの路面性状データを加えることによって、舗装の総合的なモニタリングが可能になり、今後より効果的なPMS支援ツールとしてのさらなる研究が期待される。

謝辞：本研究は、平成25年度一般財団法人 日本デジタル道路地図協会の研究助成を受けて実施したものである。また、本研究による路面モニタリングは、北見市都市建設部の協力を得て実施したものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 舗装工学委員会 舗装教育小委員会：“舗装工学ライブラリー7” 舗装工学の基礎，丸善，2013.
- 2) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用，丸善，2004.
- 3) 日本道路協会：道路資産管理の手引，<http://www.road.or.jp/technique/pdf/080925.pdf>，(参照 2013.09.20)
- 4) 石田樹，岳本秀人，川村彰，白川龍生：ドライビングシミュレータによる舗装路面の乗り心地と走行安心感の評価，舗装工学論文集，第9巻，pp.49-56，2004.
- 5) 国土交通省：総点検実施要領（案），
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/pdf/roadstock06/>，（参照 2013.06.03）
- 6) 富山和也，川村彰，石田樹，中田考一：地方自治体の舗装維持管理実態と市街地道路の簡易平坦性モニタリング，土木学会年次学術講演会概要集，Vol.66，V-408，CD-ROM，2011.
- 7) 藤田旬，富山和也，川村彰：GISを活用した路面平坦性のネットワークモニタリング，土木学会北海道支部論文報告集，第69号，E-06(CD-ROM) 2013.
- 8) PIARC：Technical Committee Report on Surface Characteristics，1978.
- 9) 土構造物および基礎委員会 舗装機能の評価に関する研究小委員会：舗装機能の評価技術の現状と将来，土木学会論文集，No.472/V-20，pp.13-28，1993.
- 10) 日本道路協会：舗装の性能評価法―必須および主要な性能指標の評価法編，丸善，2006.
- 11) 中島繁則，川村彰，坂田光児，山崎元也，谷岡和範：高速道路の維持管理に向けた新小型 IRI 測定システムの開発，交通工学，Vol.44，No.2，2009.
- 12) 富山和也，川村彰：加速度計を用いたモバイルプロフィールメータによる市街地道路の路面モニタリング，土木学会年次学術講演会概要集，Vol.67，V-309，2012.
- 13) Brad, H., Johnson, and Michael J., Demetsky.: Geographic Information Systems Decision Support System for Pavement Management, *Transportation Research Record*, No.1429, pp74-83, 1994.
- 14) Medina, A., Flinisch, G. W., Zaniwski, J. P.: Geographic Information Systems-Based Pavement Management System, *Transportation Research Record*, No.1652, Vol.2, pp151-157, 1999.
- 15) Parida, M., Jain, S. S., Aggarwal, S.: Enhancing Pavement Management System Using GIS, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Transport*, Vol.158, No.TR2, pp107-113, 2005.

(2013. 10. 7 受付)

DEVELOPMENT OF A ROUGHNESS DATA COLLECTION SYSTEM FOR URBAN ROADS BY USE OF A MOBILE PROFILOMETER AND GIS

Shun FUJITA, Kazuya TOMIYAMA, Nueraihemaitijang ABLIZ, and Akira KAWAMURA

In recent years, road infrastructure has been aged, the social demand for pavement maintenance and improvement of pavement surfaces rises in quality rather than quantity. Against this background, road administrators especially for local governments face the urgent need to develop a quantitative and economical monitoring method of surface smoothness that is directly linked to the safety and comfort of road users. This study introduces, a mobile profilometer (MPM: Mobile Profilometer) by use of accelerometers enabling real-time roughness measurement and an application of GIS (Geographic Information System) to pavement surface condition survey. For this purpose, we collect roughness data in an urban area, and then visualize the measurement results on GIS. The result shows that the MPM and GIS contribute to identify deteriorated surface locations in city planning areas efficiently.