

(9) 地方自治体の舗装維持管理実態を考慮した 市街地道路の効果的な路面点検手法の開発

富山和也¹・川村 彰²・藤田 旬³・石田 樹⁴

¹正会員 博士(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

²正会員 博士(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

³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

⁴正会員 博士(工) (独) 土木研究所寒地土木研究所(〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目)

E-mail : t-ishida@ceri.go.jp

本研究は、地方自治体における舗装維持管理実態を整理し、その結果を基に効果的な路面点検手法について検討したものである。管理実態調査の結果、地方自治体では、高頻度に道路パトロールを実施しており、段差やポットホールなど局在する路面損傷を重視しているが、路面損傷の定量的な測定が課題となっていることがわかった。そこで、本研究では、加速度計を用いた簡易路面平坦性測定装置を導入し、効果的な路面損傷の点検手法を開発した。開発した手法は、路面測定結果にLifting Schemeに基づき設計したリフティングウェーブレットフィルタを適用することで、路面情報を効率的に処理し、データ処理結果に基づく損傷検出を自動化でき、市街地道路における効果的な路面点検に貢献するものと期待できる。

Key Words: surface distress, local government, pavement management system, monitoring, lifting scheme, wavelet

1. はじめに

急激な社会資本の老朽化が進む昨今、舗装マネジメントシステム（以下、「PMS」とする）は、道路ネットワークにおける維持・修繕の必要性や優先順位の決定において有力なツールとなる。PMSにおいて、舗装の供用性能を定量的に把握することは極めて重要である^{1),2)}が、舗装供用性能のうち、利用者評価に直結するのは、舗装の機能と関連したサービス性能であり、ラフネス(平坦性)に大きく影響される³⁾。

舗装の供用性能評価の概念は、1955年に米国で実施されたAASHO道路試験に始まり⁴⁾、特にラフネスと関係した車両の乗り心地が重要視されている⁵⁾。今日、我が国においても、国土交通省が発表した道路ストックの総点検実施要領(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)が導入されている。

PMSを効果的に稼働させ、道路ネットワークにおける路面状態をデータベース化し、将来的な劣化予

測をするためには、路面性状データの定量的かつ高頻度なモニタリングが必要である。しかし、日本の道路総延長の90%以上を管理する多くの地方自治体では、管理者の目視による路面点検が主流であり、定量的なモニタリングは行なわれていない。

そこで、本研究では、地方自治体に対して実施した道路舗装の維持管理実態調査結果を基に、(1)地方自治体がPMSを導入するにあたっての課題を整理するとともに、(2)加速度計を用いた簡易路面平坦性測定装置による市街地道路の効果的な路面点検手法を開発する。

2. 地方自治体における舗装維持管理実態調査

(1) アンケートによる実態調査

実態調査は、2008年に北海道内の人口1万人以上(2007年当時)を有する64自治体を対象に、舗装維持管理の現状と課題に関するアンケートおよびヒアリングにより実施した。アンケートは、WEBサイトを通じて行い、27自治体から回答が得られ、回答率

表-1 舗装維持管理実態調査概要

大項目	設問の狙い
道路管理データ	自治体が保有する道路舗装に関する情報の現状
予算制度・組織	舗装維持管理の予算制度、予算推移、組織体制
舗装維持管理の現状	作業内容、維持修繕判断基準、舗装劣化の重要度、苦情の状況
道路管理者の意識	現状の維持管理手法への問題意識、改善の必要性

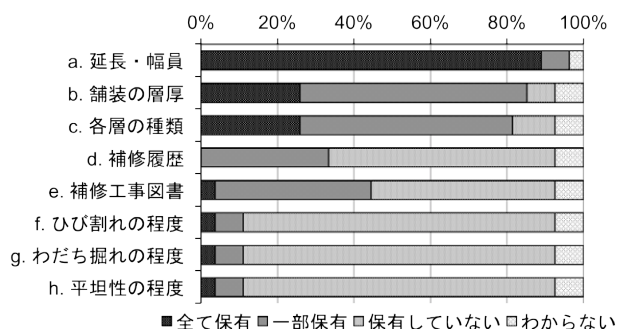


図-1 舗装維持管理実態調査概要

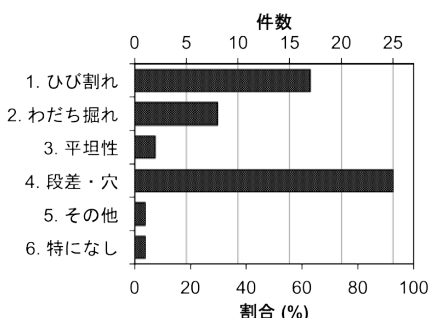


図-2 重視する路面損傷

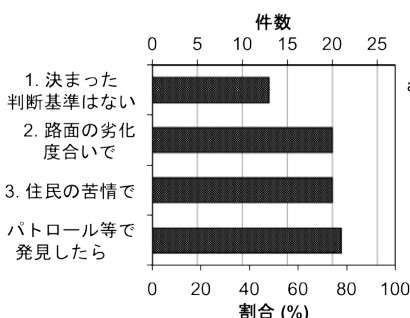


図-3 維持修繕の判断基準

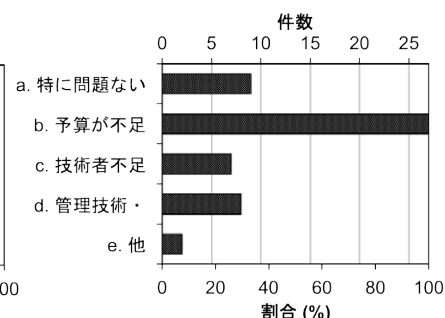


図-4 舗装維持管理上の問題点

は41.5%であった。アンケートの概要を表-1に、以下に、各項目ごとの調査結果を示す。

a) 道路管理データの現状

道路関連データは、延長と幅員が主であり、路面性状（ひび割れ、わだち掘れ、平坦性）データを保有するのは3自治体のみであった。道路管理データの保有状況を図-1に示す。

b) 予算制度・組織体制

道路関係予算は、1997年度から10年間で半分以上に減少しており、道路管理予算のうち、除雪費用が相対的に大きな割合を占めている。技術職員数は概ね人口1万人当たり1人であり、管理延長100km当たり1人程度の体制となる。

c) 舗装維持管理の現状

8割以上の自治体が、緊急対応を要する箇所の把握を目的に、週1回以上の道路パトロールを実施している。しかし、路面性状データ取得のための定量測定は実施されておらず、維持修繕実施の判断は、目視により行なわれている。なお、図-2より、最も重視される舗装損傷形態は、段差およびポットホールなど局在損傷であることがわかる。また、維持修繕は、半数の自治体において決まった判断基準がなく、8割近くの自治体が、住民の苦情や、路面の劣化度合いに応じ、道路パトロール担当者の判断で行なっている（図-3）。

d) 道路管理者の意識

管理者意識は、図-4より予算不足が最大の懸念となっており、1/3強の自治体において、対処的管理方法を早急に改善したいとする意識がある。

(2) ヒアリング調査

アンケート調査結果のうち、舗装マネジメントに取り組んでいると回答した自治体A、および特別な取り組みは行っておらず一般的な意識をもつ自治体Bに対しては、舗装維持管理の道路管理担当者から、その実態についてヒアリングを行なった。その結果を以下に示す。

a) 自治体A

財務当局ならびに納税者に対する説明責任の観点から、MCI（維持管理指数）で優先順位付けし、PSI（供用性指数）で補修工法を選定するシステムを考案し、5ヵ年毎に舗装維持計画を策定している。路面性状調査は5年に一度、管轄路線全線を対象に、独自に開発した評価チャートに従い、目視により実施している。しかし、調査員の大半は、事務職員であるため、目視点検の精度確保が課題となっている。

b) 自治体B

技術職員1名が道路管理業務全般を所掌している。そのため、自治体が行なう道路パトロールの他に、バスやタクシー等にパトロール機能の代行を依頼している。舗装の維持・修繕作業は、直営によるポットホール補修が主であるが、今後5年以内に、直営作業を行う臨時職員が半減することが懸念されている。また、農産物を輸送する重交通によるわだち掘れが顕著となっているが、予算制約上、大規模な補修が困難である。

(3) 地方自治体の舗装維持管理に関する課題の整理

以上の調査結果を基に、地方自治体が抱える舗装維持管理上の課題をPMSの観点に基づき整理すると以下の通りである。

- a) 財政的/人的制約：新たな維持管理の仕組み作りを行う余裕がない。
- b) データの不備/不足：PMSの基礎となる路面性状の定量的な情報を持っていない。
- c) 工学的知識/技術力の不足：問題意識はあるものの、改善に向けた工学的かつ具体的な方法がわからない。
- d) 手法の問題：既存PMSは、比較的高いクラスの道路が対象であり、地方自治体にとって必ずしも適切ではない。

特に、PMSを稼働させるための重要な要素である、路面性状に関する定量的な点検手法に重要な問題を抱えているといえる。そこで、次章では、加速度計を用いた簡易路面平坦性測定装置（MPM: Mobile Profilometer）による、市街地道路の効果的な路面点検手法について検討する。

3. MPMを用いた路面点検手法の開発

地方自治体における舗装の維持管理上、路面の定量的な点検手法が問題となっていることを上述した。また、多くの地方自治体が、段差やポットホール、ひび割れなど路面に局在する損傷を重視していることがわかった。近年では、機動性および経済性に優れた路面点検実現するため、加速度計を用いて路面平坦性の測定が可能な、MPMが開発・運用されている。本章では、MPMを活用し、路面評価上重要な損傷について、既存のウェーブレットに特定の性質を付加したLifting Schemeによる検出方法を開発する。

(1) MPMの概要

本研究で用いたMPMは、車両のバネ上およびバネ下に設置した2つの加速度計を用いて、IRIの算出に用いるクォーターカー（以下、「QC」とする）モデルを任意の両に実装し、路面プロファイルを基にIRIなどの平坦性指標を算出する路面測定装置である。筆者らは、本研究で用いたMPMについて、水準測量によるプロファイル測定結果と同等の測定精度を有することを確認している⁶⁾。

ここで、IRIの算出アルゴリズムは、QCフィルタと呼ばれる一種のバンドパス・フィルタとして考えられる。また、QCフィルタ適用後のラフネスプロ

ファイルは、IRIと同様に勾配の単位（mm/mやm/km）を持ち、その絶対値を任意の走行延長で平均化することで、IRIが算出できる。そこで、本研究では、IRIの算出過程において計算されるラフネスプロファイルから、後述のリフティングウェーブレットによる特徴的な損傷の検出方法を検討する。

(2) Lifting Scheme損傷検出理論

従来のウェーブレット変換結果は、マザーウェーブレットとよばれる基本関数の性質に大きく依存する。Lifting Schemeは、既存のマザーウェーブレットに、検出したい波形の特徴など、特定の性質を付加し、その分解性能を高めるための手法である。特に、任意の双直交ウェーブレットフィルタに自由パラメータを加えた、リフティングウェーブレットフィルタ（LWF: Lifting Wavelet Filter）を用いることで、QCプロファイルに含まれる特徴的な形状を検出することが可能である⁷⁾。

ここで、LWFによる距離 m の高周波成分を d_m^0 とすると、自由パラメータは、特徴点における d_m^0 が理論上0(ゼロ)となるよう最適化されており、特徴点以外では、初期ウェーブレットフィルタによる高周波成分 $\hat{d}_m^0$ と d_m^0 が等しくなる性質を有する。そのため、特徴箇所は、次式で表される類似度 I_m が $I_m > 0$ となることで特定できる。

$$I_m = \left| \hat{d}_m^0 - d_m^0 \right| \quad (1)$$

(3) 市街地道路における路面損傷の検出

ここでは、代表的な路面損傷である横断ひび割れに着目し、MPMを用いた路面点検データから、LWFによる特徴箇所の検出を試みる。横断ひび割れは、低温を原因とする場合が多く、特に寒冷地域においては極めて重要な損傷要因となる。

a) LWFの設計

LWFの設計に資する横断ひび割れのラフネスプロファイルデータは、2013年3月に北海道内の市街地道路において、MPMを用いて測定した。測定結果を図-5に示す。なお、ラフネスプロファイルのサンプリング間隔は0.1mである。図より、当該区間は、連続して横断ひび割れが発生しているため、局所的な著大成分が頻繁に発生しているのが確認できる。本研究では、図-5に示すラフネスプロファイルから、特徴的な横断ひび割れを検出するためのLWFを設計する。なお、図-5における矢印は、後述の自由パラメータ学習箇所である。はじめに、初期のスプラインウェーブレットによる多重解像度解析において、横断ひび割れの寄与率が高まった、分解レベル3における類似横断ひび割れ4箇所を図-6に示すトレ

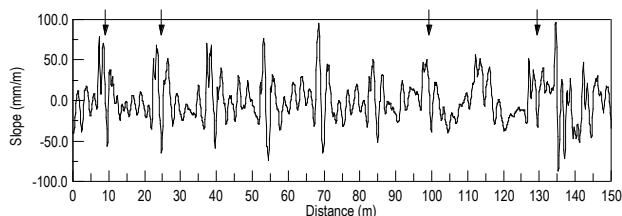


図-5 ラフネスプロファイルの測定結果

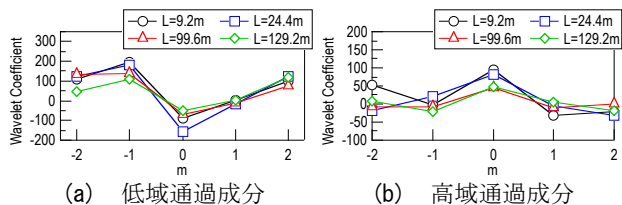


図-6 トレーニング信号

ーニング信号として、自由パラメータの学習を行なった。続いて、トレーニング信号を基に自由パラメータを学習し、Lifting SchemeによりLWFを設計した。

b) 横断ひび割れの検出結果

図-7に、設計したLWFによる横断ひび割れの検出結果を示す。図中、矢印は自由パラメータの学習箇所である。なお、類似度 I_m は最大値が1となるよう正規化した。ここで、特徴点検出時の指標である I_m の閾値については、舗装の管理目的に応じた設定が必要であるが、図より、学習したひび割れ発生箇所が強調されており、局在する路面損傷の検出が可能であることがわかる。なお、LWFの特性は、学習するトレーニング信号に依存するが、高頻度に行なわれている道路パトロール時に、MPMを用いて損傷データを蓄積し、路面実態に合わせたフィルタを設計することで、その性能を高めることができる。以上より、MPMの測定結果にLifting Schemeを適用することで、路面測定データの効率的な情報処理、およびデータ処理結果に基づく損傷検出の自動化により、市街地道路における効果的な路面点検に貢献することが期待できる。

4. まとめ

本研究では、地方自治体における舗装維持管理実態を整理するとともに、効果的な路面点検手法について検討した。その結果、地方自治体においては、高頻度に道路パトロールを実施しており、段差やポットホール、ひび割れなど局在する路面損傷を重視しているが、それら路面性状データの定量的な測定が課題となっていることがわかった。そこで、本研究では、加速度計を用いた簡易路面平坦性測定装置

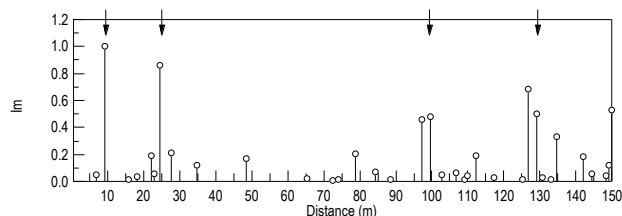


図-7 LWFによる損傷検出結果

(MPM)を導入し、横断ひび割れを例に、効果的な路面損傷の点検方法を開発した。開発した手法は、MPMの測定結果にLifting Schemeに基づき設計したリフティングウェーブレットフィルタ(LWF)を適用することで、局在する路面損傷を検出できる。そのため、路面情報を効率的に処理し、データ処理結果に基づく損傷検出を自動化できるため、市街地道路における効果的な路面点検が期待できる。

謝辞：舗装維持管理の実態調査は、北海道土木技術会の研究活動の一環として行ったものである。また、市街地道路の測定には、北海道北見市都市建設部の協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 山之口浩, 丸山暉彦: 超・舗装学入門 アスファルト舗装修繕技術 続・舗装学のすすめ・AからZまで, 山海堂, 1997.
- 2) 笠原篤: 舗装マネジメントシステム, 土木学会論文集, No.478/V-21, pp.1-12, 1993.
- 3) Haas, R., and Hudson, W.R.著 北海道土木技術会舗装研究委員会訳: 最新舗装マネジメント, 北海道土木技術会舗装研究委員会, 2000.
- 4) Mallick, R.B., and El-Korchi, T.: Pavement Engineering Principles and Practice, CRC Press, 2009.
- 5) Papet, L.M.: Federal Highway Administration – Current PMS Requirements, Pavement Management Implementation, ASTM STP 1121, Holt, F.B. and Gramling, W.L., Eds., American Society of Testing and Materials, Philadelphia, pp.3-10, 1992.
- 6) Tomiyama, K., Kawamura, A., Nakajima, S., Ishida, T., and Jomoto, M.: A Mobile Data Collection System Using Accelerometers for Pavement Maintenance and Rehabilitation, Proceedings of 8th International Conference on Managing Pavement Assets, Paper No. 142 (CD-ROM), 2011.
- 7) 富山和也, 川村 彰, 石田 樹: クォーターカーアルゴリズムを用いた舗装モニタリングにおける路面損傷の検出方法, 土木学会論文集F3 (土木情報学), Vol. 68, No.2, pp.I_127-I_134, 2013.