

モバイルプロフィロメータを用いたリフティングウェーブレットによる路面損傷の検出

北見工業大学工学部 正会員 ○富山 和也
 北見工業大学工学部 正会員 川村 彰

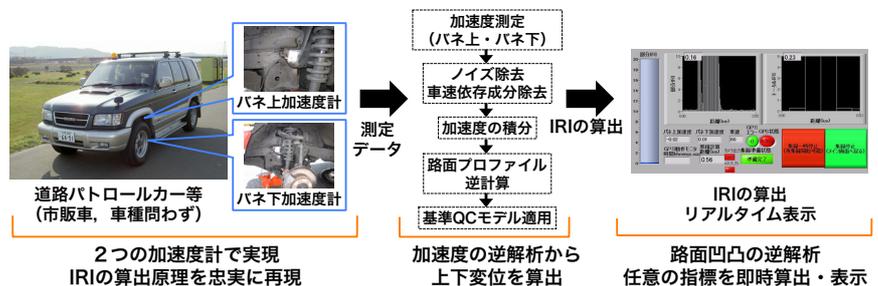
1. はじめに

舗装の維持管理上、定量的かつ精度の高い路面モニタリングにより、優先的に補修が必要となる箇所を的確に把握することは極めて重要である。そのため、近年では、機動性および経済性に優れた路面モニタリングを実現するため、加速度計を用いて路面平坦性の測定が可能で、モバイルプロフィロメータ (MPM: Mobile Profilometer) が開発・運用されている。特にこれらのシステムでは、クォーターカー (以下、QC) モデルに基づき、世界的に標準の平坦性指標である国際ラフネス指数 (IRI: International Roughness Index) の算定を指向したものが多い。本研究では、MPM の新たな活用法として、路面評価上重要な損傷について、その形状を把握し、既存のウェーブレットに特定の性質を付加したリフティングウェーブレットによる検出方法を検討する。

2. MPM を用いた損傷検出理論

2.1 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、QC 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。MPM の概要を図-1 に示す。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 フィルタ適用後のプロファイル (以下、QC 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 を求めることができる。そこで、本研究では、IRI の算出過程において計算可能な QC 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。

2.2 リフティングウェーブレットによる損傷検出理論

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。一方、リフティングウェーブレット変換は、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た手法である。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。なお、自由パラメータは、ひび割れやポットホールなどの路面損傷から、路面管理目的に応じ、トレーニング信号として、その形状を学習する必要がある。ここで、リフティングウェーブレットによる高周波成分を 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、次式で表される検出パラメータ I_m が正の値となることで特定できる¹⁾。

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

3. MPM による路面モニタリングデータを用いた特徴的な損傷箇所の特定

近年、道路センシング技術の発達により、簡便に大量の路面性状データを測定することが可能となっているが、得られたデータの利活用という点では、IRI などの要約指標を算出するに留まっており、特定の損傷形状を検出す

るには至っていない。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を用いた路面モニタリングデータから、リフティングウェーブレットによる特徴箇所の特特定を試みる。

3.1 リフティングウェーブレットフィルタの設計

図-2は、2013年3月に北海道内の市街地道路で、MPMによる路面モニタリングから得られたQCプロファイルである。当該区間は、連続して横断ひび割れが発生しており、局所的な著大成分が確認できる。なお、QCプロファイルのサンプリング間隔は0.1mである。本研究では、図-2に示すQC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リフティングウェーブレットフィルタを設計する。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かった、分解レベル3における類似ひび割れ4箇所をトレーニング信号として抽出した(図-3)。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、リフティングウェーブレットフィルタを設計した。

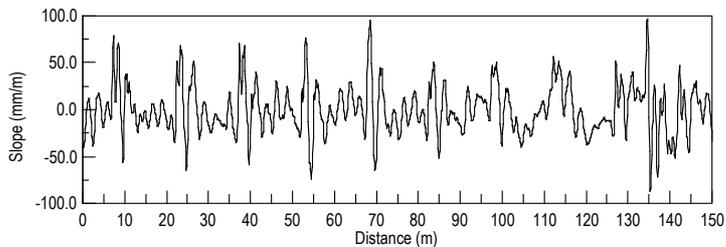
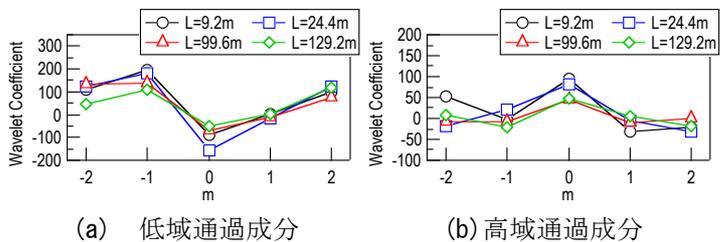


図-2 MPMで測定したQCプロファイル



(a) 低域通過成分 (b) 高域通過成分

図-3 トレーニング信号

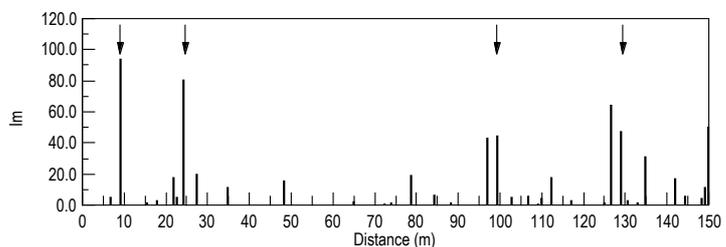


図-4 リフティングウェーブレットによる
損傷箇所の特特定結果 (矢印は学習箇所)

3.2 MPMを用いた損傷箇所の特特定結果

図-4に、前節で設計したリフティングウェーブレットフィルタによる、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。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いることがわかる。また、学習箇所以外においても、トレーニング信号と類似した横断ひび割れが検出されたことから、MPMで測定したQCプロファイルに対し、リフティングウェーブレットを適用することで、特徴的な路面損傷箇所を特定できることがわかった。これは、MPMを用いた舗装モニタリング活用範囲を広げ、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貢献するものといえる。なお、リフティングウェーブレットフィルタの特性は、学習するトレーニング信号に依存するが、管理対象路線における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、その検出性能を高めることができる。

4. まとめ

道路ストックが急速に老朽化する昨今、優先的に補修が必要となる箇所を的確に把握することは極めて重要である。本研究では、MPMを用いた路面モニタリングにおいて、リフティングウェーブレットにより特徴的な損傷箇所が特定できることを示した。本研究成果は、車両振動応答に基づく簡易型の装置を用いた路面モニタリングの高効率化に貢献するものと期待できる。

謝辞

本研究における路面モニタリングは、北海道北見市都市建設部の協力を得て実施したものである。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 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年3月.