

モバイルプロフィロメータを利用した 高速道路における絶対プロファイルの推定

富山和也¹・川村 彰²・大廣智則³

¹正会員 博士(工) 北見工業大学 工学部 (〒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 工学部 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

³非会員 (株)ネクスコ・エンジニアリング北海道 (〒003-0005 北海道札幌市白石区東札幌5条4丁目3-20)

加速度計を用いた簡易ラフネス測定装置である、モバイルプロフィロメータ(MPM)で得られるプロファイルは、*IRI*(国際ラフネス指数)のリアルタイム計算に最適化されているため、固有の路面波長検出特性を持つ。そこで、本研究では、波長検出特性をキャンセルする特殊な応答を持つ復元フィルタを、FFT(高速フーリエ変換)を用いた信号処理に基づき設計し、MPMによる絶対プロファイルの推定方法について検討した。その結果、MPMによる測定プロファイルは、水準測量との比較で、逆解析における相対誤差が20.6%から32.7%であるのに対し、復元フィルタによる推定では、3.8%から12.6%と、測定精度が大幅に改善された。また、MPMによる、リアルタイムでの*IRI*測定は、水準測量に対する相対誤差が最大でも5.8%と、実用上十分な精度であることを確認した。

Key Words: mobile profilometer, true profile, Fast Fourier Transform, signal processing, accelerometer, expressway

1. はじめに

道路構造物の老朽化が急速に進行する昨今、高速道路の維持管理には、常に走行車両の安全性と快適性を確保するための、定量的かつ高精度な路面モニタリングシステムが必要不可欠である。しかし、従来の定量的な路面モニタリングは、レーザ変位計や慣性測定装置を用いた路面性状測定車により行なわれており、導入コストの高さや運用時の利便性の低さから、日常点検時に実施する事が困難であった。そのため、近年では、加速度計を用い、車両の振動応答に基づき*IRI* (International Roughness Index: 国際ラフネス指数)や路面段差を測定する、簡易型のシステムが開発され^{1)~3)}、高速道路の路面管理においても実用化されている⁴⁾。

ラフネスの測定装置は、プロファイル方式とレスポンス方式に大別され、クラス1からクラス4の、4つのカテゴリに分類される⁵⁾。簡易型のラフネス測定装置は、プロファイルを基に*IRI*やその他の指標を算出するクラス2相当のシステムと、加速度測定値と既知の*IRI*との相関式を基に指標を算出するクラス3相当のシステムがある。ここで、前者のシステムは、プロファイルの測定が可能であるため、路面の損傷要因および形態に関する情報を得ることができる。一方、後者は、比較的容易にシステムを構

築できる利点がある。社会基盤の維持管理時代にあつて、今後、簡易ラフネス測定装置は、広く普及するものと考えられる。

そこで、簡易ラフネス測定装置の、舗装の出来形管理から日常および定期点検いたるトータルでの運用を考え、プロファイル方式のシステムにより絶対プロファイル (True Profile) の測定が可能であれば効率的である。ここで、絶対プロファイルとは、路面上に描かれた仮想線に沿って得られる物理的な2次元形状であり、プロファイル解析の対象とする路面波長に応じた、測定間隔に依存するものである。

絶対プロファイルの測定には、水準測量やディップスティックなど、静的なプロファイル測定装置 (以下、「プロファイラ」とする) が有効である。また、ローリングディップスティックや路面性状測定車など、動的なプロファイラによる方法も提案されている。ここで、動的プロファイラの場合、機種によっては、固有の路面波長検出特性を有するため、測定値を絶対プロファイルとして扱う場合には注意が必要である。

上述の背景に基づき、本研究では、2つの加速度計を用いて、リアルタイムに*IRI*の測定が可能な、モバイルプロフィロメータ (以下、「MPM (Mobile ProfiloMeter)」とする) を用いた、高速道路路面における絶対プロファイルの推定方法について検討する。

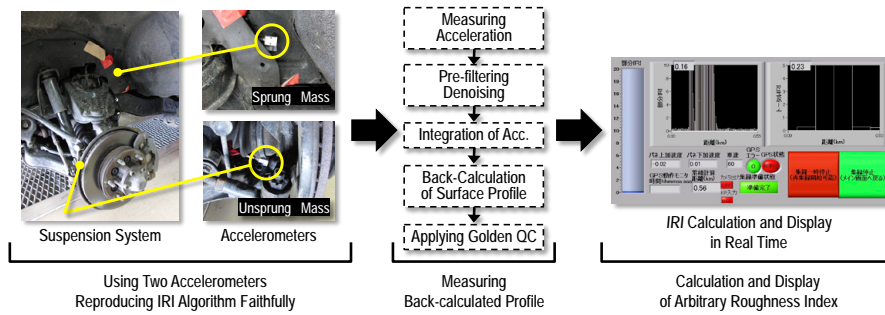


図-1 モバイルプロフィロメータ (MPM) によるIRI測定原理の概要

2. MPMの概要

MPMのIRI測定原理は、1つのサスペンションシステムのバネ上とバネ下に設置した2つの加速度計により、実車両上でクォーターカー（以下、「QC」とする）を再現するため、IRIの算出原理に忠実である。また、加速度測定値の逆解析により、路面プロファイルデータを取得することができる。本章では、MPMのIRIおよび路面プロファイル測定原理について述べる。

(1) QCモデル

QCモデルとは、二軸四輪車の一輪を取り出した2自由度の車両運動モデルである⁶⁾。QCモデルの特徴として、比較的単純なモデルでありながら、車両上下振動に関して、一般的な乗用車と同様の応答を持つ⁷⁾。IRIは、規格化された諸元を有するQCモデル（ゴールデンカー）を用い、80km/hで走行した際のサスペンションストローク累積値を、走行延長で正規化した値である。

(2) MPMのラフネス測定原理

MPMは、任意の車両のバネ上およびバネ下に設置した2つの加速度計により得られた上下加速度について、車両の速度依存成分を除去した後、逆解析により路面プロファイルを測定し、プロファイルを基にIRIをリアルタイムで算出する（図-1）。本装置は、40km/hから120km/hの範囲で、発進停止にかかわる急な加減速時を除き、実勢走行速度での測定が可能である。路面プロファイルの測定結果に基づきIRIを算出することから、ラフネス測定装置として、クラス2の精度を有し、クラス3と同等の利便性での運用が可能である。MPMによる、ラフネス測定原理は、以下の通りである。

a) 加速度の測定

はじめに、2つの加速度計を用い、バネ上および

バネ下の上下加速度（ \ddot{X}_s および \ddot{X}_u とする）を測定する。なお、測定値は、以後の手順において、数学的に変位へ変換される。

b) 事前フィルタ処理

事前処理として、カルマンフィルタにより、トレンドおよび直流成分を、狭域バンドストップフィルタにより、車速依存成分を取り除く。合わせて、ローパスフィルタにより、30Hz以上の周波数成分を減衰させる。

c) 加速度の積分演算

\ddot{X}_s および \ddot{X}_u の一階の時間積分により速度 \dot{X}_s および \dot{X}_u を、二階の時間積分により変位 X_s および X_u を得る。

d) 路面プロファイルの逆解析

QCモデルの運動方程式を用い、加速度データの逆解析により路面プロファイル X_p を計算する。QCモデルの運動方程式は、以下の通りである。

$$m'_s \ddot{X}_s + c'_s (\dot{X}_s - \dot{X}_u) + k'_s (X_s - X_u) = 0 \quad (7)$$

$$m'_u \ddot{X}_u + c'_s (\dot{X}_u - \dot{X}_s) + k'_s (X_u - X_s) + k'_t X_u = k'_t X_p \quad (8)$$

ここで、各係数にかかるプライムは、測定値から得られた値であることを表す。

e) ゴールデンカーシミュレーション

上記で得られた路面プロファイル X_p を入力とし、以下の式によりゴールデンカーシミュレーションを行なう。

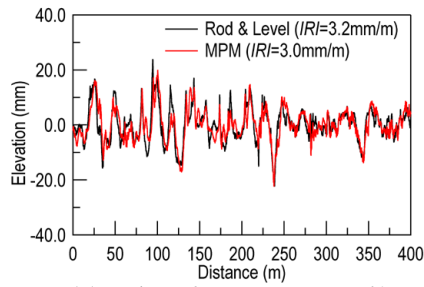
$$m_s \ddot{x}_s + c_s (\dot{x}_s - \dot{x}_u) + k_s (x_s - x_u) = 0 \quad (9)$$

$$m_u \ddot{x}_u + c_s (\dot{x}_u - \dot{x}_s) + k_s (x_u - x_s) + k_t x_u = k_t X_p \quad (10)$$

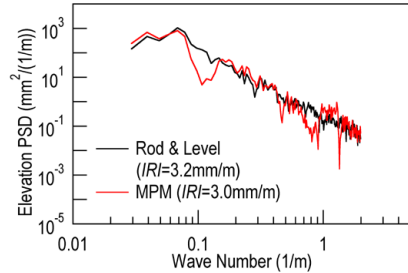
ここで、測定値と計算値を区別するため、 X を x と置き換えた。

f) IRI計算

プロファイル勾配に関する、ゴールデンカーシミュレーション結果を用いて、任意の間隔におけるIRIを計算する。IRIは勾配の単位（mm/m）を持ち、プロファイルのサンプル数を n として次式で計算できる。



(a) 路面プロファイルの比較



(b) 路面プロファイルPSDの比較

図-2 MPMおよび水準測量による測定結果の比較

$$IRI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |s_{s,i} - s_{u,i}| \quad (11)$$

ここで、運動変数 x_s および x_u は、 IRI の定義に従い、隣り合うサンプル点に対する差分方程式により、勾配に関する変数 s_s および s_u として、再定義した。

(3) MPMによる路面プロファイル測定の問題

MPMの特徴は、加速度データを用いて、路面プロファイルデータを逆解析し、その結果に基づき IRI をリアルタイムで算出することである。そのため、路面プロファイル逆解析の事前処理として、車速に応じて正規化された遮断周波数をもつ、狭帯域のバンドストップフィルタにより、加速度の車速依存成分が除去される。その結果、MPMでは、車速変動の影響を受けることなく、クラス2に相当するプロファイルとして、プロファイル方式でのラフネス測定が可能である。しかし、逆解析により得られた路面プロファイルは、リアルタイムでの IRI 計算に最適化されているため、車両のバネ下、バネ上およびタイヤの固有振動数に対応する路面波長成分が過小計測されてしまう。図-2に、80km/hで走行した際のMPMから得られた逆解析プロファイルと、クラス1プロファイルの代表である水準測量により得られた路面プロファイル、およびそれらのパワースペクトル密度(PSD: Power Spectral Density)による比較を示す。図より、一見して空間領域でのプロファイル形状に大差はみられない。しかし、PSDの比較より、バネ下およびバネ上固有振動数に対応する波長1.5m(波数：約0.7(1/m))および14m(波数：約

0.07(1/m))付近での振幅の過小計測が確認できる。また、波長0.7m(波数：約1.5(1/m))付近では、タイヤの固有振動の影響により、水準測量結果との相違が生じている。そこで、次章において、MPMにおける、路面プロファイルの過小測定箇所を補う復元フィルタを設計し、絶対プロファイルを推定する方法について検討する。

3. MPMによる絶対プロファイルの推定方法

前述のように、MPMによる路面プロファイルの測定は、 IRI のリアルタイム計算に最適化されているため、車両の振動応答に依存した固有の路面波長検出特性を持つ。そのため、MPMを用いて絶対プロファイルを推定するためには、固有の波長検出特性をキャンセルする特殊な波長復元フィルタが必要である。本研究では、水準測量の測定結果を絶対プロファイルとし、MPMのための、絶対プロファイル復元フィルタを信号処理理論に基づき設計する。本手法では、MPMにより、予めプロファイルが既知の路面を測定することで、測定車両に固有のフィルタを得ることができる。以下に具体的な方法を示す。

(1) 解析対象とする路面波長の設定

路面プロファイルは、さまざまな波長と振幅を有する波の複合体として捉えることができ、図-3に示す波状特性による分類が可能である⁸⁾。図は、「マイクロテクスチャ(Microtexture)」、「マクロテクスチャ(Macrotexture)」、「メガテクスチャ(Megatexture)」、「平坦性(Unevenness)」および「線形(Cross-slope)」の5区分で分類しているが、これらは、いずれも路面の有する波状特性の波長により区分されるものである。図中、これらの区分毎に、路面が誘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尺度である「乗り心地」、「安全性」、「騒音」や「オペレーティングコスト」などとの関連性が示されている。波状特性の解析精度は、測定プロファイルのサンプリング間隔と評価延長に依存するため、路面モニタリングにおいては、解析対象とする特性に対応した波長帯域を設定することが効果的である。本研究では、平坦性モニタリングを目的とし、波長0.5～50mの帯域を解析対象とした。

(2) 復元フィルタの設計

MPMを用いて、絶対プロファイルを推定するた

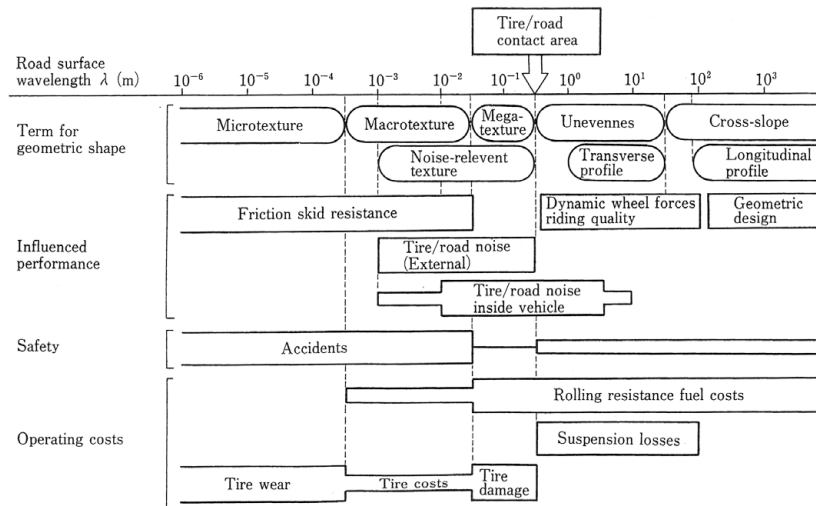


図-3 路面の波状特性分類⁹⁾

めには、検出特性値と逆数の波長応答を持つ特殊な復元フィルタが必要である。復元フィルタは、空間領域での設計と空間周波数領域での設計が考えられる。前者で急峻なフィルタ特性を実現するためには、フィルタ次数が長くなり、また、波長毎に異なる振幅利得(Gain)を要する場合、帯域毎にフィルタを設計する必要がある。一方、後者では、FFT(Fast Fourier Transform: 高速フーリエ変換)およびその逆変換(IFFT)を適用することで、容易に任意の波長における振幅利得を線形に変化させることが可能であり、フィルタ特性も急峻である。そこで、本研究では、FFTを用いた方法により、周波数領域において復元フィルタの設計を行なう。MPMおよび、基準データとして同一箇所での水準測量による路面プロファイル測定結果を用いた、復元フィルタの設計手順は以下の通りである。

a) 事前フィルタ処理

測定プロファイルデータを、6次のバターワース・バンドパスフィルタにより、平坦性モニタリングに必用な波長0.5～50mに帯域制限する。

b) 測定プロファイルの分割

FFTによるスペクトル推定では、 2^n ($n=1, 2, 3, \dots, n$) 個のサンプリングデータが必要であり、サンプリング間隔が固定されている場合、周波数分解能はデータ長により決定される。また、スペクトルの瞬時的な位置変化をみる場合には、距離分解能を上げる(解析セグメント長を短くする)必要があり、より少ないデータ数でのFFTを実行する必要があるが、この場合、周波数分解能は低下する。一般に、有限データ長の信号を分析しPSDを推定する場合、解析セグメント長を極度に大きくしても統計的精度は改善されず周波数分解能が上がるだけである。そのため、路面プロファイルのFFTでは、解析対象とする波長

帯域を考慮し、できるだけ短いセグメント長でスペクトルの平均化回数を増加させることが望ましい。そこで、ここでは、所要の波長分解能を有する複数の解析セグメントを得るため、単位データ点数を1024($=2^{10}$)とし、測定プロファイルを分割する。なお、プロファイル始終点は、後述の窓関数により振幅が減衰するため、データの50%が重複するよう分割する。

c) 窓関数による重み付け

FFTは、前項で分割した各セグメントの無限繰返しを仮定し計算を行なう。そのため、この無限に拡張されたプロファイルデータは、始終点部が不連続となるエッジ効果により分割位置によってFFT結果に誤差を生じる。そこで、分割したプロファイルデータのエッジ効果を低減するため、信号始終点に向かい振幅が減衰させるよう、ハミング窓による重み付けを行なう。

d) 波長検出特性の算出

MPMの波長検出特性を算出するため、はじめに、測定プロファイルデータを、FFTにより空間領域から空間周波数領域に変換する。ここで、FFTの計算結果は複素数であるため、MPMの水準測量に対する振幅利得を求めるにあたり、各セグメント毎にPSDを算出する。続いて、得られたPSDデータから、各セグメントにおけるMPMの振幅利得を求める。水準測量およびMPMから得られプロファイルのPSDを $P_x(f)$ 、 $P_y(f)$ とすると、振幅利得は次式により得られる。

$$|H(f)| = \sqrt{P_y(f)/P_x(f)} \quad (12)$$

最後に、得られた各セグメントの振幅利得は、データ始終点の50%が重複するため、前後セグメン

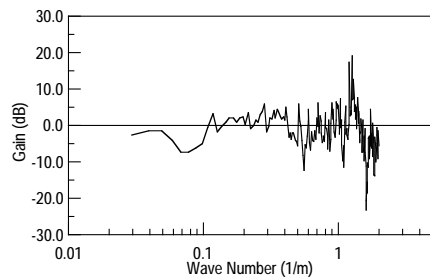


図-4 MPMの波長検出特性の例（80km/h走行時）

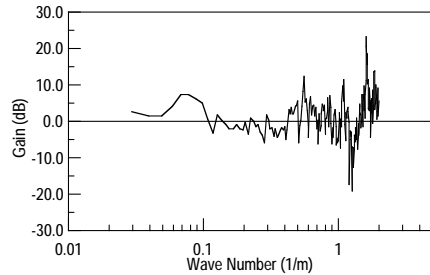


図-5 復元フィルタの波長応答例（80km/h走行時）

トの重複区間を平均化し、プロファイル全体の振幅利得を求める。80km/hで走行した場合の、MPMの波長検出特性例を図-4に示す。

e) 復元フィルタの算出

MPMを用いた絶対プロファイル推定のための復元フィルタには、波長検出特性値の逆数となる応答が要求される。そこで、前項の波長検出特性の逆数を計算し復元フィルタとする。復元フィルタの波長応答例を図-5に示す。なお、復元フィルタの応答特性は走行速度に依存することに注意を要する。図-4および図-5より、復元フィルタは、MPMの波長検出特性と逆の波長応答を有することがわかる。

(3) 復元フィルタを用いた絶対プロファイルの推定

フーリエ変換は可逆変換であるため、空間周波数領域で波長毎の重み付けをし、逆変換により空間領域へ戻すことで、フィルタ処理が可能である。そこで、MPMによる測定プロファイルを、FFTで空間周波数領域に変換し、前節で求めた復元フィルタを適用することで、絶対プロファイルの推定が可能である。以下に、復元フィルタを用いた絶対プロファイルの推定手順を示す。

a) 測定プロファイルの拡張

前述の通り、測定プロファイルのFFTは、計算過程において、複数セグメントへ分割し、エッジ効果を低減させるための窓関数による重み付けし、データ長の50%を重複させ分割する必要がある。ここで、測定プロファイルの始終点512データは、重複させるためのデータが存在しないため、フィルタ処理における過渡応答区間となる。そこで、測定プロファイル前後に、始終点の512データを左右対称に

折り返して連結し、復元フィルタ適用後切り離すことで、過渡応答区間を処理する。

b) 測定プロファイルの分割

拡張した測定プロファイルについて、波長検出特性算出時と同様、FFTの空間周波数分解能と距離分解能のトレードオフに対処するため、データ数1024点の解析セグメントに分割する。

c) 窓関数の適用

MPMの計算過程におけるエッジ効果を低減させるため、各解析セグメントのプロファイルに対し、ハミング窓による重み付けを行なう。

d) 復元フィルタの適用

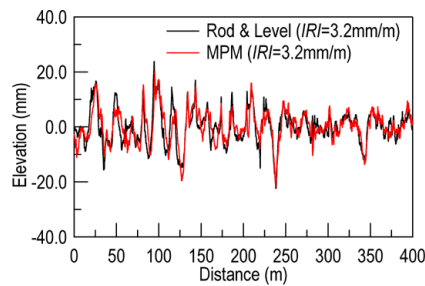
各解析セグメントのプロファイルについて、1024点のFFTにより空間領域から空間周波数領域に変換し、復元フィルタを適用する。

e) 絶対プロファイルの推定

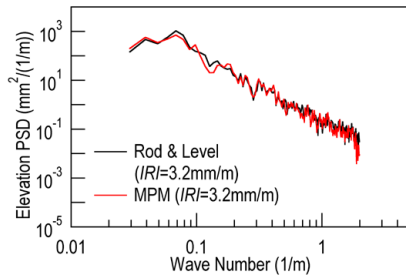
復元フィルタを適用した各解析セグメントのプロファイルに対し、1024点のIFFTにより空間領域へ変換する。また、空間領域へ逆変換されたデータに対し、ハミング窓の逆関数を乗じ、低減された振幅を復元する。ここで、得られた各セグメントの復元プロファイルは、データ始終点の50%が重複するため、前後セグメントの重複区間を平均化することで、絶対プロファイルを算出する。図-6に、図-2に対応した、復元フィルタ適用後のMPMと水準測量による絶対プロファイルの比較結果を示す。図-6より、図-2に示す過小計測箇所の改善が確認できる。このことから、MPMのプロファイル測定結果に対し、オフライン処理ではあるが、復元フィルタを適用することで、交通規制を実施することなく、動的にクラス1プロファイラの代替となる絶対プロファイルの測定が可能になるものと期待できる。

4. 絶対プロファイル推定精度の検証

本章では、供用中の高速道路から得られた路面プロファイルを用い、MPMによる絶対プロファイルの推定結果について検証する。なお、MPMは、セダン（前輪ストラット式・後輪トーションビーム式サスペンション、車重1,250kg）、SUV（前輪ダブルウィッシュボーン式・後輪マルチリンク式サスペンション、車重2,100kg）、およびミニバンタイプ（前輪ストラット式・後輪トーションビーム式サスペンション、車重1,550kg）の三車種に設置し測定を行なった。セダンは国内販売台数の最も多い乗用車とし、低燃費性に優れていることから、近年、道路パトロール車としての導入事例も増えている。



(a) 路面プロファイルの比較



(b) 路面プロファイルPSDの比較

図-6 MPMによる絶対プロファイルの推定結果
(80km/h走行時)

SUVは機動性に優れており、従来から道路パトロール車として用いられている。また、ミニバンは、スライドドアによる機能性から、近年、道路パトロール車として注目されている。

(1) 路面プロファイルの測定概要

検証に用いるプロファイルは、2013年3月に北海道内の供用中路線において、MPMおよびクラス1プロファイラとして水準測量を用い測定した。なお、MPMを設置した車両の走行速度は、60, 80, 100km/hの3水準である。測定延長は400mであり、プロファイルのサンプリング間隔は、MPMが0.1m、水準測量が0.2mである。ここで、本研究で対象とする路面の波状特性は、平坦性と関連する0.5~50mであるため、何れの測定装置も十分な解像度を有する。なお、事前処理として、水準測量のサンプリング間隔が0.1mとなるよう線形補間処理を行った。

(2) 路面プロファイル測定値の比較

MPMによる絶対プロファイルの推定精度を検証するため、空間周波数領域において、オクターブバンド毎に振幅スペクトルの実効値（二乗平均平方根）を求め、水準測量結果との相対誤差を求めた。図-7に、オクターブバンド毎に算出した、実効値の相対誤差を示す。図より、逆解析では、オクターブバンド毎の相対誤差にばらつきを生じるのに対し、復元フィルタによる推定では、ミニバンの100km/h走行を除き、相対誤差±20%以内のばらつきとなった。これは、路面入力による車両振動に対して不利な車

体形状およびリアのサスペンション形式であるためと考えられる。なお、ミニバンの100km/hにおいても、相対誤差は±30%以内である。また、各オクターブバンドにおける、相対誤差の絶対値を平均した結果を表-1に示す。表より、逆解析における相対誤差が20.6%から32.7%であるのに対し、復元フィルタによる推定では、ミニバンの100km/h走行を除き相対誤差10%以下と、プロファイルの測定精度が大幅に改善された。ただし、ミニバンの100km/hは、測定時の逆解析誤差も他に比べ大きいことを考慮する必要がある。ここで、路面性状測定車の認定試験における、平坦性測定の許容誤差が、標準偏差30%以内であることを鑑みると、MPMによるプロファイル測定は実用上十分な精度を有しているといえる。

(3) IRI測定値の比較

MPMによる逆解析プロファイルは、IRIのリアルタイム計算に最適化されている。表-2に、逆解析および復元フィルタ適用後のプロファイルから求めたIRIの、水準測量に対する相対誤差を示す。表より、MPMのIRI測定精度は、逆解析プロファイルから求めた場合でも、セダンを除いて相対誤差±10%以内と、高精度であることがわかる。ここで、セダンの、特に高速走行時に誤差が大きくなった原因について考察するため、図-8に、水準測量および100km/hで走行した際のMPMから得られた、5m連続IRIを示す。図より、距離180mおよび280m付近にみられるように、局所的にIRI値の高い箇所で差異が生じている。これは、本研究で用いた車種が、低燃費性能を重視し、タイヤ空気圧が高めに設定されており、局所損傷箇所でのタイヤの接地性が低下し、タイヤが路面と離れたためと考えられる。この点については、今後、MPMのキャリブレーションも含め検討を要する。

一方、復元フィルタ適用後のプロファイルから求めたIRIは、ミニバンの100km/h走行を除き相対誤差±5%以下と良好な結果となった。ただし、ミニバンの100km/h走行においても、相対誤差は5.8%と実用上問題のない範囲である。

5. まとめ

本研究は、信号処理技術に基づき、加速度計によるモバイルプロフィロメータ（MPM）を用いた、絶対プロファイルの推定方法について検討したもの

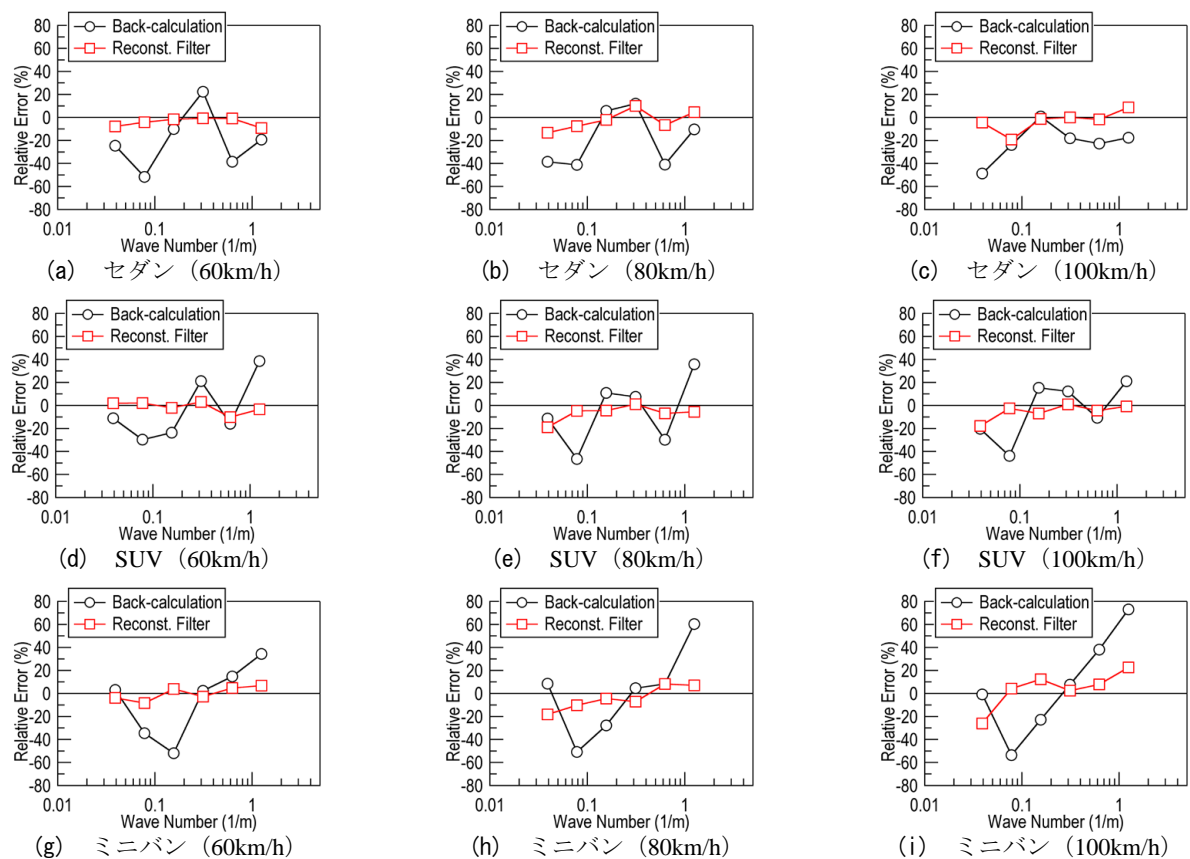


図-7 オクターブバンド毎に算出したプロファイル実効値の相対誤差

表-1 MPMのプロファイル測定精度

Vehicle Type	Operation Speed (km/h)	Absolute Relative Error (%)	
		Back-Calculation	Reconst. Filter
Sedan	60	27.7	4.1
	80	24.8	7.4
	100	22.0	5.9
SUV	60	23.3	3.8
	80	23.6	6.9
	100	20.6	5.6
Van	60	23.5	5.0
	80	26.7	9.2
	100	32.7	12.6

表-2 MPMのIRI測定精度

Vehicle Type	Operation Speed (km/h)	Relative Error (%)	
		Back-Calculation	Reconst. Filter
Sedan	60	-6.4	1.2
	80	-14.0	-0.1
	100	-20.4	-2.9
SUV	60	-6.1	2.2
	80	-7.0	-0.6
	100	-5.3	0.4
Van	60	-8.7	4.0
	80	-3.7	-2.8
	100	4.9	5.8

である。MPMの逆解析により得られた路面プロファイルは、リアルタイムでのIRI計算に最適化されているため、固有の路面波長検出特性を持つ。そこで、本研究では、検出特性と逆数の波長応答を持つ特殊な復元フィルタを、FFTベースに空間周波数領域で設計し、絶対プロファイルの推定を行なった。その結果、水準測量結果との、オクターブバンド毎の振幅スペクトルの実効値比較において、セダンとSUVにMPMを設置した場合の相対誤差 $\pm 20\%$ 以内、ミニバンでは $\pm 30\%$ 以内の精度を得た。また、水準測量に対する相対誤差の絶対値を平均して比較したところ、逆解析における相対誤差が20.6%から32.7%であるのに対し、復元フィルタによる推定では、

3.8%から12.6%と、プロファイルの測定精度が大幅に改善された。

IRIの測定精度は、逆解析プロファイルから求めた場合でも、セダンを除いて相対誤差 $\pm 10\%$ 以内の高精度であることが確認できた。ここで、セダンは、低燃費性能を重視し、タイヤ空気圧が高めに設定されており、局所損傷箇所でのタイヤの接地性の低下が考えられるため、今後の検討を要する。一方、復元フィルタ適用後のプロファイルから求めたIRIは、相対誤差が最大でも5.8%と実用上問題ない範囲であることを確認した。

従来、路面プロファイルの測定には、ローリングディップスティックや路面性状測定車が用いられて

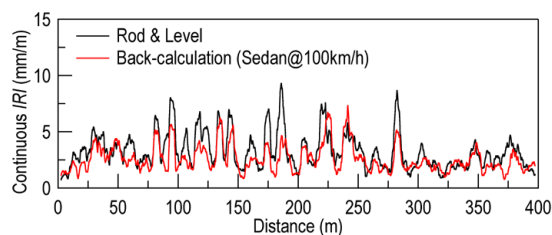


図-8 水準測量およびMPMから得られた5m連続IRI

きたが、前者では交通規制が必要であり測定に時間を要する点や、後者では導入費用が高価であるなど、それらの運用に際して問題があった。本研究成果により、道路パトロール車を活用した簡易なプロフィロメータの、舗装の出来形管理から日常および定期点検いたるトータルでの運用が期待できる。

謝辞：本研究はJSPS科研費25870026の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 城本政一，川村 彰，坂田光児，中島繁則：IRI測定装置の一般道への適用に関する検討，土木学会年次学術講演会概要集，Vol.66，V-405，pp.809-810（CD-ROM），2011.
- 2) 遠藤哲雄，鬼倉一展，金井利浩：多機能路面測定シス

テムの標準化に関する検討（その2）-路面の段差量の推定方法の考案-，土木学会年次学術講演会概要集，Vol.66，V-407，pp.813-814（CD-ROM），2011.

- 3) 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.
- 4) 大廣智則，岡部浩紀，川島正人，川村彰：高速道路路での効率的な路面管理を行うための簡易IRI測定機の基礎的研究，舗装，Vol.46，No.6，pp.13-20，2011.
- 5) 日本道路協会：舗装・調査試験法便覧，丸善，2007.
- 6) Karamihas, S. M.: *Critical Profiler Accuracy Requirements*, University of Michigan Transportation Research Institute, 2005.
- 7) Sayers, M. W. and Karamihas, S. M.: *The Little Book of Profiling, - Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles*, The University of Michigan, 1998.
- 8) 土木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.

LONGITUDINAL TRUE PROFILE ESTIMATION BY A MOBILE PROFILOMETER FOR EXPRESSWAYS

Kazuya TOMIYAMA, Akira KAWAMURA, and Tomonori OHIRO

In recent years, expressway authorities require an effective method for monitoring and measuring surface characteristics of their pavements. This study examines an estimation method of a longitudinal true profile by an accelerometer-based mobile profilometer (MPM) for express way pavements. One of the advantages of the MPM is to capture the information from profile measurements. However, since the measurement algorithm of the MPM is optimized to compute the *IRI* in real-time, the back-calculated profile is distorted by the natural frequencies of suspension components. In this study, we examine an estimation technique of a true profile by developing a reconstruction filter to attenuate the distortion in the spatial frequency domain by the Fast Fourier Transform (FFT) method. As the result of a validation experiment, the MPM with reconstruction filters satisfies practical requirements as a profiler that is within 30% error compared with a rod & level survey. The result also indicates that the MPM basically has a capacity to measure the *IRI* in real-time, and the back-calculated profile is appropriate for the purpose.