

自動車のばね上観測加速度からの 路面縦断プロファイルの推定とその精度検証

八木浩一¹

¹正会員 バンプレコーダー製作委員会 (〒115-0054 東京都北区桐ヶ丘 1-20-8-203)

E-mail : yagi@bumprecorder.com

自動車の車内ダッシュボード面などばね上にスマートフォンを設置し、内蔵の加速度センサと GPS の情報だけを使い、ばね下の上下変位量すなわち路面縦断プロファイルを推定する手法とその精度について報告する。本技術はばね上設置であるため実施が容易であり、路面プロファイルそのものを推定しているため平坦性や IRI など各種指標の算出も可能である。はじめに計測原理を述べ、次にこれを実装したスマートフォンアプリケーションにより計測した値と、路面プロファイラにより計測した値の比較結果を述べる。今回行った 280[m] 区間での走行実験では、走行速度 20~60[km/h] の速度域において、20m 区間の平坦性の比較で寄与率 $R^2=0.63\sim0.78$ 、15m 区間の平均面に対する凹凸量の地点ごとの比較で寄与率 $R^2=0.63\sim0.80$ の高い相関が確認できた。

Key Words : road surface longitudinal profile, measuring method, accelerometer, spring model

1. はじめに

2012 年の笹子トンネルの事故以降、道路などの社会インフラの総点検が行われている。日本の総道路延長は 120 万[km] を超え、短期間の間にすべての道路について定量的に路面性状を把握することは容易ではない。このような問題は以前より存在し、日本だけでなくアメリカでも研究がおこなわれてきた。たとえば 1970 年代には RTRRM (Response Type Road Roughness Meter) システムが研究され、K. H. McGhee ら¹⁾ はリアアクスルハウジングとリアダッシュパネルの間の距離、すなわち後輪のショックアブソーバの伸び縮み量を計測する Roadmeter による計測評価を実施している。この方法では計測機器の取り付けに手間がかかるという問題があった。近年ではより簡便な方法として車両に取り付けた加速度センサにより路面性状を計測する手法が研究されている。たとえば富澤らの研究²⁾では、車両前軸の左右端部に加速度センサを取り付け、サンプリングレート 2[kHz] でばね下加速度を取得し、その標準偏差と IRI (International Roughness Index : 国際ラフネス指数) との間に寄与率 $R^2=0.57$ の相関がみられることを実験により示している。國分らの研究³⁾では、エンジンの振動の影響を避け左側後輪のサスペンション下部に加速度センサを取り付け、走行速度に応じてサンプリングレートを 2~5[kHz] で変

化させながらばね下加速度を取得し、重力加速度を除いた加速度の実効値 (Root Mean Square) すなわち観測加速度の標準偏差を求め、IRI との間に寄与率 $R^2=0.53\sim0.64$ の相関がみられることを実験により示している。いずれの研究でもばね下に加速度センサを設置しているため、これらの方法では計測車両の台数を増やすことは容易ではなく、短期間に定量的に路面性状を把握するにはなお困難が残る。一方、長山らの研究⁴⁾ではスマートフォンを車両に搭載し、ばね上の加速度をサーバーに送信して局所的に生じている大きな応答を抽出するシステムが試みられている。これによるとセンサのサンプリングレートが 100[Hz] 程度と遅いこと、加速度分解能が粗いことが懸念点として挙げられている。これら既往研究では、一定区間ごとに加速度の標準偏差など代表値を求め、IRI や平坦性など既存の評価指標との間に相関があることを示すにとどまっておき、路面縦断プロファイルそのものの推定には至っていない。

これに対しバンプレコーダー製作委員会では、汎用のスマートフォンのみを用い、自動車ダッシュボード面などばね上で加速度を観測し、そこからばね下・上下変位量すなわち路面縦断プロファイルを推定する手法を開発してきた。これまで、基本となるばね上・上下変位量の計測手法⁵⁾、ばね上・上下変位量の標準偏差と平坦性との相関⁶⁾ (図-1) について報告してきた。図-1 を見る

と走行速度が 20[km/h]未満の低速域では比較的相関が良いが、速度依存性が大きく、速度が上がるにつれ相関が悪くなる課題があった。特に 40[km/h]以上の交通の流れに乗った状態では計測結果が良好でなく実用的でない点は大きな課題であった。

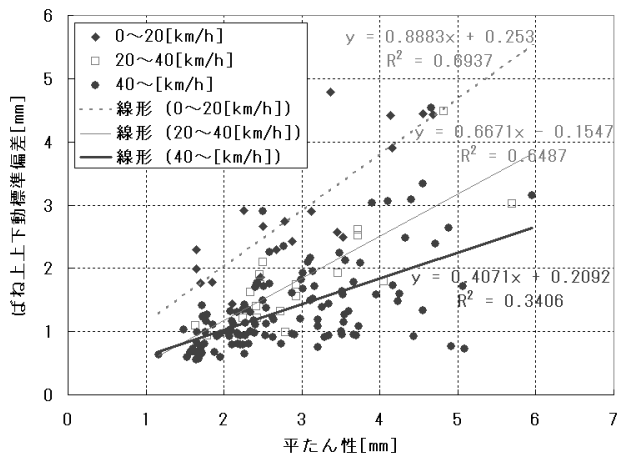


図-1 ばね上・上下変位量標準偏差と平たん性の相関

本稿では、これらの知見を踏まえ、ばね下・上下変位量を推定することで課題であった速度依存性を低減する方法を述べるとともに、路面プロファイラを用いた計測精度の検証実験を行い、3m プロフィールメータでの 20m 区間平たん性との比較と、15m 区間の平均高さに対する凹凸量との比較を行ったのでその結果を報告する

2. ばね上・上下変位量の計測手法

(1) 観測加速度の傾き補正

車両走行時に生じる加速度は路面の上下変位に起因するものだけではなく、加減速や右左折に起因するものも含まれる。加速度センサは上下方向の加速度を観測するように観測軸が路面に直交するように設置するが、わずかも傾いていると加減速に伴う前後加速度や、右左折に伴う左右加速度がセンサで観測され誤差の原因となる。たとえば図-2 のように道路の上下方向 Rz 軸、前後方向 Ry 軸に対して、加速度センサの上下方向 Sz 軸、前後方向 Sy 軸が傾いていると、減速時に生じた Ry 軸方向の力が Sy 軸だけでなく Sz 軸に上下動に起因しない見掛け上の加速度として観測される。

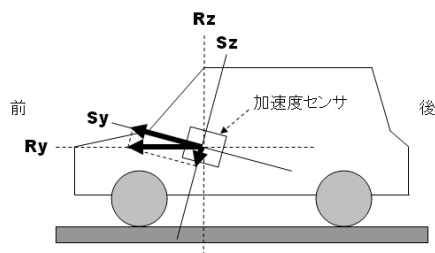


図-2 加速度センサの傾きの影響

これを軽減するため傾きの補正を行う。左右方向を X 軸、前後方向を Y 軸、上下方向を Z 軸として述べる。スマートフォンをダッシュボード上に目視でおおよそ水平になるように設置して走行した時の X 軸、Y 軸の観測加速度と Z 軸の観測加速度の関係を図-3 に示す。道路の上下方向とセンサの上下軸が一致していれば見掛け上の加速度は生じない。しかし図-3 を見ると左右方向の X 軸の加速度に対する上下方向の Z 軸の加速度はわずかに右上がり、前後方向の Y 軸の加速度に対する上下方向の Z 軸の加速度はわずかに右下がりの関係にあることが見て取れる。ここで X 軸と Z 軸、Y 軸と Z 軸に対して最小二乗法により回帰直線を当てはめ、その傾きをセンサの傾き角の正接とみなしてみる。図-4 に右折時の X 軸、Y 軸の観測加速度を示す。図-5 に Z 軸の観測加速度と 1 秒間の平均を示す。図-5 の 1 秒間平均を見ると分かりやすいが、加減速、右折の際に Z 軸にも加速度変化が生じている。加速度センサの座標を道路に垂直な方向に修正したのちの上下加速度と 1 秒間の平均を図-6 に示す。図-6 を見ると加減速、右折の際の Z 軸の加速度変化が小さくなり、センサの傾きにより生じる見掛け上の加速度の影響が低減できていることが分かる。

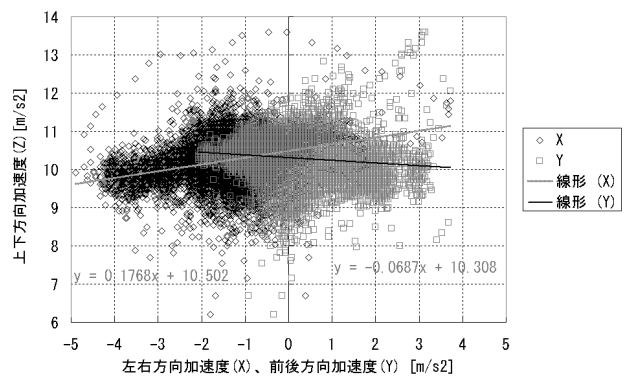


図-3 X 軸、Y 軸と Z 軸加速度の関係

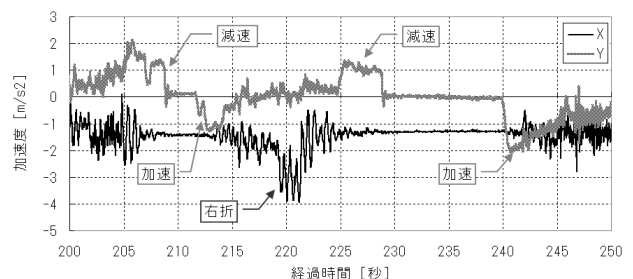


図-4 走行時の X 軸、Y 軸の加速度変化

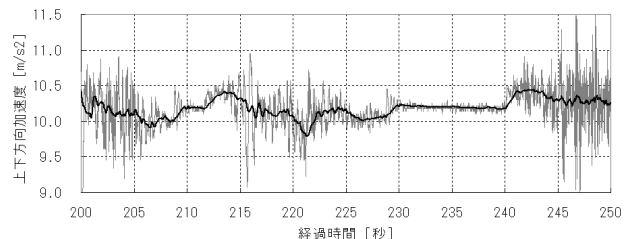


図-5 走行時の Z 軸の加速度変化

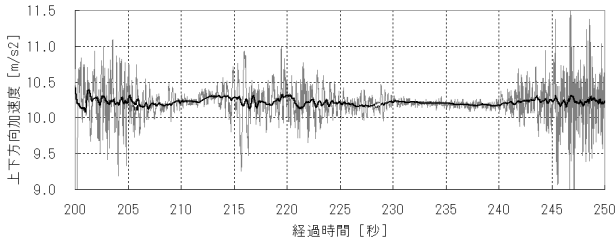


図-6 座標修正後の上下加速度の加速度変化

(2) ばね上・上下変位量の算出

原理的には上下加速度を二階積分すれば上下変位量となる。しかし、単純な二階積分では重力や登坂上昇速度、計算上の丸め誤差などの影響で値が発散し実用に堪えない。そこでステップごとに補正をかけ積分する。

ステップ1：観測加速度から上下動に起因しない加速度（以下、静加速度）を除去する。静加速度の主なものは重力加速度だが道路の登坂勾配の変化により重力方向に対する加速度センサの軸方向が変化するため観測加速度に含まれる静加速度の大きさは変化する。また加速度センサの温度ドリフトによる観測値変化もある。そこでそれぞれの時刻における静加速度を推定し減算する。観測周期を N [Hz]、 i 番目の上下加速度を $Z(i)$ [m/s²]とする。前後5秒ずつ（計10秒）の上下加速度の平均を静加速度成分とみなして減じ、動加速度成分 $dZ(i)$ [m/s²]を式(1)で求め、 $dZ(i)$ を和分し上下速度 $Vz(i)$ [m/s]を式(2)で求める。

$$dZ(i) = Z(i) - \frac{\sum_{j=i-5N+1}^{i+5N} Z(j)}{10N} \quad (1)$$

$$Vz(i) = Vz(i-1) + \frac{dZ(i)}{N} \quad (2)$$

ステップ2：登坂上昇速度など段差に起因しない速度成分を除去する。前後5秒ずつ（計10秒）の平均を静的速度成分とみなして減じ、動的上下速度 $dVz(i)$ [m/s]を式(3)で求め、 $dVz(i)$ を和分しダッシュボード面（ばね上）の上下変位量 $Lz(i)$ [m]を式(4)で求める。

$$dVz(i) = Vz(i) - \frac{\sum_{j=i-5N+1}^{i+5N} Vz(j)}{10N} \quad (3)$$

$$Lz(i) = Lz(i-1) + \frac{dVz(i)}{N} \quad (4)$$

従来の報告⁵⁾⁶⁾では式(1)の時間幅を前1秒（計1秒）とし、式(3)の時間幅を前後1秒（計2秒）としてきた。式(1)の時間幅を前1秒、後ろ0秒としたのは、スマートフォン上でリアルタイムに計算結果を表示し、体感と比較できるようにするため、後ろ側の時間を意図的に短く設定した結果である。本稿では4章の路面プロファイルとの比較結果から、ともに前後5秒（計10秒）に変更している。その理由は次のとおりである。ばね上の加速度は

路面縦断プロファイルによるばね下の上下変化がショックアブソーバのばねを介して伝わったものである。自動車のショックアブソーバの固有振動数は通常1.5[Hz]前後であり、振動現象の解析として考えると式(1)、(3)には1周期以上のデータを含めるのが望ましい。日本の高速道路での最高速度は100[km/h]であり、1周期0.67[s]の間に18.5[m]走行する。高速時に18.5[m]区間を含めるのであれば、低速時にも同様に18.5[m]区間を含めるべきであり、安定して走行できる下限速度を10[km/h]程度と考えると6.7[s]必要となる。そこで切りの良い秒数に切り上げ計10秒間での計算に変更した。これにより、従来の報告⁹⁾でみられた走行速度により計測結果が異なる問題を軽減している。

3. 路面縦断プロファイルの計測手法

(1) 車両特性の推定

車両を図-7に示すばねとダンパーからなる1質点系のバネモデルでモデル化し、ばね下の上下変位量を推定して、これを路面縦断プロファイルとみなして評価する。このバネモデルは、ばね上・上下変位量を Lz 、ばね下・上下変位量を u 、角振動数を ω 、減衰比を h とすると、式(5)の運動方程式で表現される。角振動数 ω はばねの共振周波数を f [Hz] とすると式(6)となる。

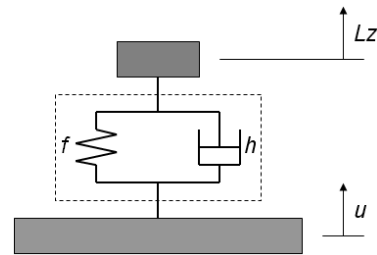


図-7 1質点系バネモデル

$$\ddot{Lz} + 2h\omega(\dot{Lz} - \dot{u}) + \omega^2(Lz - u) = 0 \quad (5)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (6)$$

これに従い実際に演算するには、ばねの共振周波数と、ダンパーの減衰比を把握する必要がある。そこで、走行中のばね上の上下加速度をFFTで周波数分析し1.5[Hz]前後にある振幅の大きな周波数をばねの共振周波数 f [Hz]として抽出する。次に減衰比 h を求める。大きな段差を通過した際に観測された加速度の隣合う振幅の比から対数減衰率を求める方法や、先のFFT結果から共振周波数周辺の振幅の山の広がりから判定する半値幅法があるが、すでにFFT解析を行っていることからここでは半値幅法により減衰比 h を求めた。

(2) ばね下・上下変位量の算出

式(5)を用いたばね下・上下変位量の算出は次のとおりである。 \ddot{Lz} に式(1)の $dZ(i)$, \dot{Lz} に式(3)の $dVz(i)$, Lz に式(4)の $Lz(i)$ を用いる。 i 番目のばね下変位量を $u(i)$ とするとばね下の上下速度と上下変位量には式(7)の関係が成り立つ。

$$u(i) = u(i-1) + \frac{\dot{u}(i) + \dot{u}(i-1)}{2N} \quad (7)$$

式(5)の \dot{u} に $\dot{u}(i)$, u に $u(i)$ を当てはめ, $u(0)=0$ を初期値として順次, ばね下の上下変位量 $u(i)$ を得て, これを路面縦断プロファイルとみなす。

4. 路面プロファイラによる計測結果との比較

(1) 計測条件

つくば市内の 280[m] 区間においてクマタカエンジニアリングの路面プロファイラ MRP-3000 での計測結果と, 提案手法を実装した Android スマートフォン用アプリケーション BumpRecorder での計測結果を比較した。

路面プロファイラの計測は 1 回, BumpRecorder での計測は, 走行速度を 10~60[km/h] まで 10[km/h] ごとに変化させ, それぞれの速度で 2 回ずつ (合計 12 回) 行った。使用したスマートフォンは SAMSUNG Galaxy S2 (docomo SC-02C) で, 助手席前のダッシュボード上の左端にマウンタを用いて固定した。加速度のサンプリングレートは 99[Hz] であった。車両はプリウスを用い, 周波数分析の結果, サスペンションのばねの共振周波数は 1.6[Hz], 減衰比は 0.33 と推定された。

(2) 比較方法

路面プロファイラでは登坂勾配に起因する標高変化も含んだ計測値が得られる。一方 BumpRecorder では式(1)と式(3)に計 10 秒間の区間平均を用いており, 平均を基準とした相対的な値を計測値として得ている。このように両者の計測値では長い周期のうねり成分が異なるため, ハイパスフィルタをかけた値で比較する。走行速度などの条件によらず一定の評価ができるよう, 時間変化に対するフィルタではなく, 距離変化に対するフィルタを用いて比較する。

(3) 3m プロフィルメータでの読み値の比較

距離変化に対するハイパスフィルタとして 3m プロフィルメータを想定し, これで計測した際に期待される読み値に変換して比較を行う。路面プロファイラ, BumpRecorder それぞれから得た計測値をもとに, 起点から L [m] における観測値を $u(L)$, それより 1.5[m] 手前の観測値を $u(L-1.5)$, 1.5[m] 先の観測値を $u(L+1.5)$ としたとき,

3m プロフィルメータでの読み値 $p_3(L)$ を式(8)で定義し比較する。

$$p_3(L) = u(L) - \frac{u(L-1.5) + u(L+1.5)}{2} \quad (8)$$

路面プロファイラと BumpRecorder それぞれについて式(8)で求めた値を縦軸とし, 起点からの距離を横軸としたグラフを図-8 に示す。これは計測区間内の平均走行速度が 37[km/h] のときのものである。

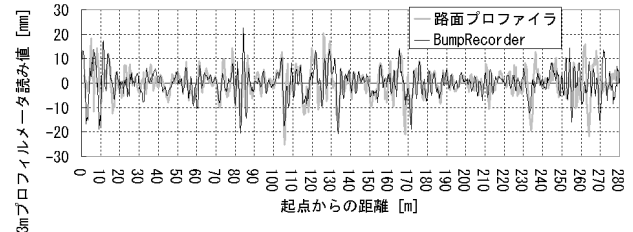


図-8 距離ごとの 3m プロフィルメータ読み値

図-8 を見ると路面プロファイラと BumpRecorder で振幅は概ね合っているが, ところどころで山谷の位置にずれがみられる。これは BumpRecorder が GPS により緯度経度を取得し, それをもとに起点からの距離を求めているが, 緯度経度の測位誤差や, 距離変換時の誤差などが山谷の位置ずれの要因になると考えられる。全体的な位置ずれを修正するための平行移動や, 緯度経度から距離を求める際の地球の直径を修正するための一様な拡大縮小を行っても山谷が合わなかったため注目した地点の前後それぞれ 10[m] (計 20[m]) 区間の標準偏差すなわち平たん性 (以下, 20m 区間の平たん性と記す) を注目地点を 0.25[m] ずつずらしながら求め比較することとした。図-8 の縦軸を平たん性にしたものを図-9 に示す。図-8 より振幅の一致具合が分かりやすくなっている。

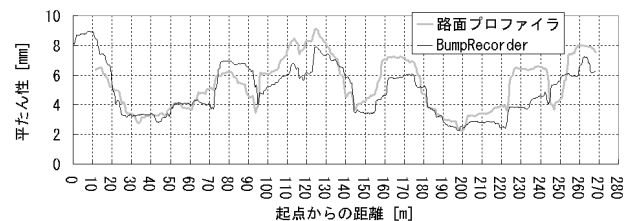


図-9 距離ごとの 20m 区間の平たん性

定量的に一致具合を見るため, 横軸に路面プロファイラで求めた平たん性, 縦軸に BumpRecorder で求めた平たん性を取りグラフ化した。これを図-10 に示す。最小二乗法により回帰直線を求めると寄与率 $R^2=0.63$ (相関係数 0.79) となり振幅について高い相関が確認された。図-10 では隣り合う観測データを線で結んでいるが, その線の傾きは回帰直線の傾きに近い。このことから路面プロファイラと BumpRecorder の観測結果に位置ずれは起きているが振幅については相関が良いことがうかがえる。

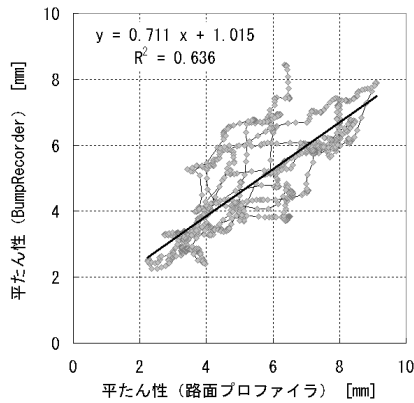


図-10 20m 区間の平たん性の比較

BumpRecorder での計測は走行速度を変えながら 12 回行っているため、走行速度が計測結果に与える影響を調べた。計測時の狙い走行速度 40[km/h]以上において、起点側 20[m]と終点側 40[m]に加減速による大きな速度変化があったため、起点から 20~240[m]の 220[m]区間のデータをもとにそれぞれの速度で図-10 と同様の比較を行った。ここで得た回帰直線をもとに、横軸を平均走行速度、縦軸を寄与率、または回帰直線の傾きとしたグラフを作り、それぞれ図-11、図-12 に示した。両図には従来の報告⁹⁾でのばね上・上下変位量をもとにした結果から得られた寄与率と回帰直線の傾きも三角印で示した。

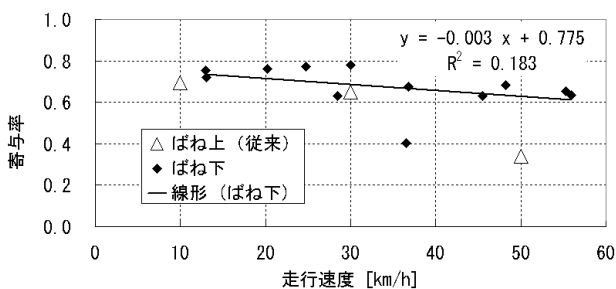


図-11 速度と寄与率の関係

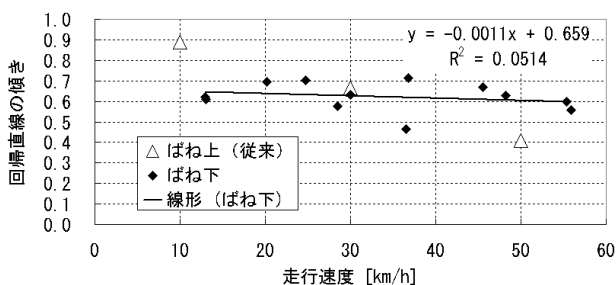


図-12 速度と回帰直線の傾きの関係

図-11 を見ると、1つの計測で $R^2=0.40$ (相関係数 0.63) と低い値を示したが、他の 11 回の計測では $R^2=0.63\sim 0.78$ (相関係数 0.79~0.88) と高い相関を示した。走行速度が上がると寄与率がやや低下しているが、ばね上・上下変位量をもとにした従来の報告⁹⁾に比べると速度依存性は低減されており、ばね下推定を行うことにより課題と

なっていた速度依存性を抑制できたことが確認された。明確ではないが速度が速くなると寄与率がやや悪化するようにも見受けられる。先の大きく外れている 1 点の要因分析と合わせ、今後、確認のための追加実験が必要と考えている。路面プロファイルと BumpRecorder の計測結果の間の回帰直線の傾きは、寄与率の低かった計測では 0.44, 他の 11 回の計測では 0.55~0.71 となった。走行速度と回帰直線の傾きの間で回帰直線を求めると寄与率 $R^2=0.05$ となり速度依存性は見られなかった。これについても従来の報告⁹⁾で問題となっていた速度依存性を抑制できている。図-12 の縦軸は路面プロファイルで計測した平たん性に対する、BumpRecorder で計測した平たん性の値の比率で、期待値は 1 だが、これが 0.55~0.7 となっており、BumpRecorder では値が小さめに計測されていることを示す結果となった。

(4) 15m 区間の平均高さに対する凹凸量の比較

より長い距離のうねり成分を通すハイパスフィルタを用いての比較を行った。乗り心地評価の場面を考えると、体感される 1[Hz]程度の周期成分まで、縦断プロファイルの計測精度が求められる。一般道の最高速度 60[km/h]の場合、1[Hz]の 1 波長は 16.7[m]なので、切りの良い距離 15[m]をここでの基準とした。注目する位置の前後それぞれ 7.5[m] (計 15[m]) の平均の高さに対する注目位置の高さの差 (以下、15m 区間の平均高さに対する凹凸量) $p_{15}(L)$ を式(9)で定義し比較することとした。ここで、 L [m]は起点からの距離、 $u(L)$ は L [m]における観測値、 n は L [m]の前後 7.5[m]区間 (計 15[m]区間)に含まれる計測値の数である。

$$p_{15}(L) = u(L) - \frac{1}{n} \sum_{j=L-7.5}^{L+7.5} u(j) \quad (9)$$

横軸に起点からの距離、縦軸に路面プロファイルと BumpRecorder それぞれについて式(9)で求めた値を取ったグラフを図-13 に示す。このデータは図-8 と同じものである。

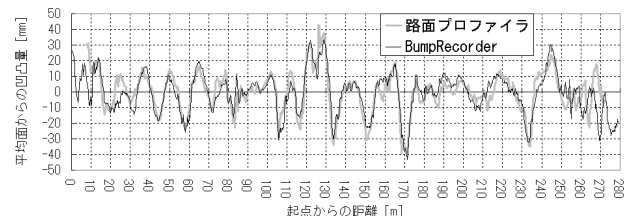


図-13 距離ごとの 15m 区間平均に対する凹凸量

図-13 を見ると両者はよく似た傾向を示しており、3m プロフィールメータの読み値で比較した時にみられたような山谷の位置ずれも目立たないことから、凹凸量を直接

比較することとした。図-13 のデータをもとに、横軸に路面プロファイラ、縦軸に BumpRecorder で計測した凹凸量を取りグラフ化したものを図-14 に示す。

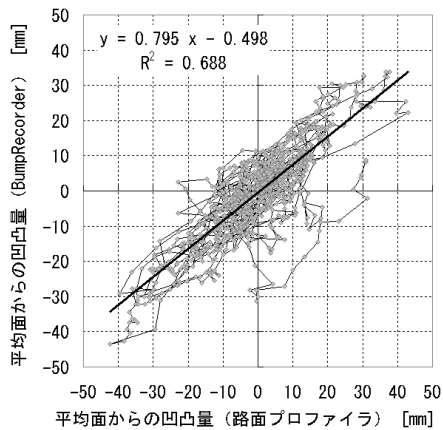


図-14 15m 区間平均に対する凹凸量の比較

回帰直線を求めると寄与率 $R^2=0.68$ (相関係数 0.82) と高い相関を示した。図-14 では隣り合う観測データを線で結んでいるが、その線の傾きは回帰直線の傾きに近い。このことから路面プロファイラと BumpRecorder の観測結果に位置ずれが起きていても振幅については相関が良いことがうかがえる。12回の計測データをもとに走行速度が計測結果に与える影響を見た。先と同様に起点から 20~240[m]の 220[m]区間についてそれぞれの計測に対し回帰直線を求めた。横軸に平均速度、縦軸に寄与率、および回帰直線の傾きを取ったグラフを作成し、それぞれ図-15、図-16 に示す。

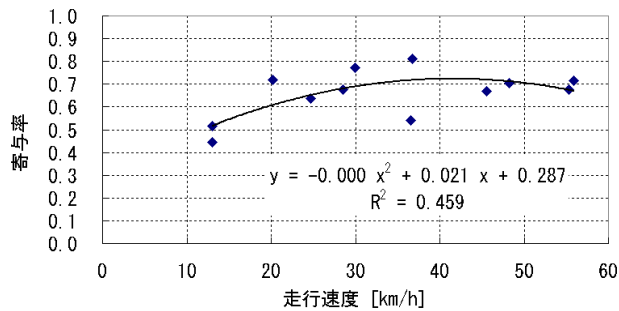


図-15 速度と寄与率の関係

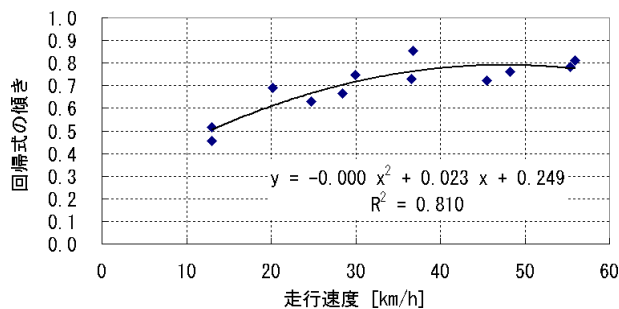


図-16 速度と回帰直線の傾きの関係

図-15 を見ると、20m 区間の平たん性での比較で大き

く外れていた計測において寄与率 0.54 (相関係数 0.73)、走行速度 20[km/h]未満において寄与率 0.44~0.51 (相関係数 0.66~0.71) となったが、他の 9 回の計測においては寄与率 0.63~0.80 (相関係数 0.79~0.89) の高い相関が得られた。図-16 を見ると、回帰直線の傾きは走行速度 20[km/h]未満で 0.45~0.51、それ以上で 0.63~0.85 となった。回帰直線の傾きは走行速度が速くなると大きくなり 1 に近づく傾向がみられ、走行速度が速いほど路面プロファイラでの計測結果に近づいていることが確認された。ばね上・上下変位量で評価する従来の方法⁹⁾では図-1 に示したように 40[km/h]以上の交通の流れに乗った状態での計測結果が良くなかったが、今回のばね下・上下変位量を推計する方法では 40[km/h]以上での計測結果が良好になっており実用性が向上した。

5. まとめ

既往研究では、ばね下加速度を観測しその標準偏差 [mm/s²]を IRI[mm/m]と言う異なる単位の物性値と間接的に比較していたのに対し、本研究ではばね上の加速度から、ばね下の上下変位量すなわち路面縦断プロファイルを推定し平たん性[mm]、および平均高さに対する凹凸量 [mm]を求め、路面プロファイラで計測された同じ物性値と直接比較した。

具体的には、自動車のダッシュボード面 (ばね上) に固定したスマートフォンの加速度センサからの計測データをもとに、ばね下の上下変位量を推定する手法を開発し、その手法による計測値を、路面プロファイラ MRP-3000 での計測値と比較し検証した。

両者で計測した 20m 区間の平たん性を比較したところ、寄与率 $R^2=0.63\sim0.78$ (相関係数 0.79~0.88) の高い相関が確認された。ただし、求められた平たん性の値は、路面プロファイラでの値に対して 0.55~0.7 倍の小さい値を示した。

15m 区間の平均高さに対する凹凸量を地点ごとに直接比較し、走行速度 20 [km/h]以上において寄与率 $R^2=0.63\sim0.80$ (相関係数 0.79~0.89) の高い相関が確認された。ただし、求められた凹凸量は、走行速度 20[km/h]以上においても路面プロファイラで求められた凹凸量に対して 0.63~0.85 倍の小さい値を示した。

このように、まだ精度に課題を残しており、また道路の維持管理に必要なわだち掘れ量やひび割れ率などの他の指標の計測もできないことから、本稿で述べた手法は路面プロファイラや路面性状測定車といった専用機器、専用車両に取って代わられるものではないが、普段使用している自動車の車内にスマートフォンを持ち込むだけで、専用機器での計測値と高い相関を示す計測値が得られることを示した。また推定した路面縦断プロファイルから

平坦性を容易に算出できることも示した。原理的には IRI などの他の指標の算出も可能であり、今後はその精度評価も合わせて取り組んでいく。この技術を用いると、道路の維持管理に用いられる指標の 1 つである路面縦断プロファイルを日常的に計測できるようになり、道路の異常の早期発見に寄与できるものと考えている。

今回は 280[m] 区間のみでの比較であったことから、今後は、比較区間を増やしてさらに検証を進めるとともに、今回見つけた、計測値が小さめの値を示している課題に対処していく。また路面プロファイラでの計測値との相関が低くなった計測もみられたため、計測精度を把握する手法の開発も進めていく予定である。

謝辞： 今回の研究は、東亜道路工業株式会社より路面プロファイラでの計測結果の提供を受けて実現した。ここに感謝の意を表する。

参考文献

1) K. H. McGhee, R. W. Gunn : Roadmeter roughness testing in

Virginia, VHRC (Series), 71-R23. March 1972

- 2) 富澤健, 遠藤哲雄, 大嶋智彦, 岡部俊幸, 金井利浩 : 車軸に生じる加速度による路面凹凸評価方法に関する研究, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.67, No.3 (舗装工学論文集第 16 巻), pp.I-51~58, 2011.12
- 3) 國分修一, 寺田剛, 笠原篤 : 車両振動加速度による IRI と舗装の評価, 舗装, Vol.45, No.9, pp.8~15, 2010.9
- 4) 長山智則, 高橋寛臣, 狩野正人, 家入正隆 : スマートフォンを利用した路面性状評価システムの開発, 土木学会, 第 67 回年次学術講演会, V-308, 2012.9.
- 5) 八木 浩一, 加速度センサを用いた路面段差検出手法の改善と東北地方太平洋沖地震後の観測データへの適用, 第 10 回 ITS シンポジウム 2011, CD-ROM
- 6) 小田原雄一, 護摩堂満, 八木浩一 : 路面性状の計測と評価に関する一考察 (スマートフォンを用いた簡易な計測), 道路 2012.11, P50-53

A MEASURING METHOD OF ROAD SURFACE LONGITUDINAL PROFILE FROM SPRUNG ACCELERATION, AND VERIFICATION WITH ROAD PROFILER

YAGI koichi

In this paper, a measuring method of road surface longitudinal profile is explained, which is a smartphone is installed on a vehicle dashboard and only using built-in accelerometer and GPS. Merits of this technology are easy to install because installing on sprung dashboard, and easy to calculate of road flatness and IRI etc. because estimate road profile itself. At first, measurement principle is explained, and next, verification results are explained between proposed method and road profiler. In this experiment on the road of 280m long, with speed range from 20-60[km/h], contribution ratio of 20m long road flatness is $R^2=0.63-0.78$, and contribution ratio of 15m long interval displacement is $R^2=0.63-0.80$.