

# スマートフォンを用いた路面段差の分布調査と 汎用機器を用いる効果の一考察

牧内穂高<sup>\*1</sup>、八木浩一<sup>\*2</sup>

スマートドライブメーター製作委員会<sup>\*1</sup>、災害時交通流監視システム研究会<sup>\*2</sup>

地震などの広域災害時に被災地周辺の路面状況をいち早く把握し共有することは、その後の迅速な復旧復興活動にとって重要である。路面段差は路面状況を現す重要な情報の一つである。しかし現状では目視などにより確認を行っているため多大な工数を要しており、迅速かつ広範囲の状況把握は困難になっている。このような問題を解決するため、筆者らはこれまでスマートフォンによる簡便な計測方法を提案してきた。これにより災害時に道路の被災状況の把握が速やかに行われる。本稿では東日本大震災以降復旧工事によって変化のある東北自動車道に着目し、計測結果をもとに路面段差状況の経時的変化が捉えられるか検討したので、その結果を報告する。

## Result of Road Bump Research by Using Smartphone, and Study of the Effect of Using a General-Purpose Equipment

MAKIUCHI, hotaka<sup>\*1</sup> / YAGI, koichi<sup>\*2</sup>

Smart Drive Meter Developers<sup>\*1</sup> / Traffic Hazard Technology<sup>\*2</sup>

When a wide area disaster like an earthquake is occurred, immediate monitoring of road condition is important for immediate rescue operation. A road bump is one kind of important information. Currently, road bump detection is done by human visual confirmation. By using smartphone, easier detection method was proposed. By the proposed method, immediate monitoring of road condition is done as soon as possible in the event of a disaster. In this paper, Tohoku Expressway that there is a change by the restoration work after the Great East Japan Earthquake is focused. And it is examined that temporal change of a road bump is captured using the measurement results. This result is reported.

**Keyword : Accelerometer, Road bump detection, Disaster relief operation, earthquake, Road maintenance**

### 1. はじめに

これまで路面段差の観測は路面性状測定車やプロファイルメータなどの特殊な機器を用いたり、あるいは工数を要する目視確認により行われてきた。より簡便な方法として、加速度センサを自動車のショ

ックアップソーバの下部の車軸に設置する方法<sup>1)</sup>などが提案されているが、その設置には専門の知識と技能が必要であるため、発災後速やかに被災地全域を調査することは容易ではない。筆者らはスマートフォンを自動車のダッシュボードに置いて通常通りに

走行するだけで路面段差を計測する手法を提案し、東日本大震災時には被災地にて同手法による路面段差の調査を行い、延べ 4600km の距離を 9 日間で観測した結果を報告している<sup>2)</sup>。

## 2. 段差検出手法

提案した手法は、加速度を二階積分し車両の上下変位量を求める単純な方法だが、加速度をそのまま二階積分すると道路勾配や、車両の加減速と右左折、センサのドリフト特性、ヒステリシス特性、計算上の丸め誤差など様々な要因により累積誤差が大きくなり、すぐに値が発散し実用に耐えない。そこで次のような積分の前に補正をかける手法を開発した。

$i$  番目に観測された上下加速度  $Z(i)[m/s^2]$  から直前 1 秒間の加速度の平均を引き、動的加速度成分  $dZ(i)[m/s^2]$  を式 1 で求める。これを式 2 で和分することで上下速度  $Vz(i)[m/s]$  を求める。ここで  $H$  は観測周期 [Hz] である。

$$dZ(i) = Z(i) - \frac{\sum_{j=i-H+1}^i Z(j)}{H} \quad \dots \text{(式 1)}$$

$$Vz(i) = Vz(i-1) + \frac{dZ(i)}{H} \quad \dots \text{(式 2)}$$

同様に  $Vz(i)$  から直前直後の 1 秒ずつ (計 2 秒間) の上下速度の平均を引き、段差に起因する動的な上下速度  $dVz(i)$  を式 3 で求める。これを式 4 で和分することで、上下変位量  $Lz(i)[m]$  を求める。

$$dVz(i) = Vz(i) - \frac{\sum_{j=i-H+1}^{i+H} Vz(j)}{2H} \quad \dots \text{(式 3)}$$

$$Lz(i) = Lz(i-1) + \frac{dVz(i)}{H} \quad \dots \text{(式 4)}$$

加速度と速度の補正とともに直前直後の 1 秒間 (計 2 秒間) の平均を用いる方法もあるが、ここでは精度を保ちつつ、よりリアルタイムな計算を行うため、加速度の補正には直前 1 秒間の平均を用いている。

次に段差高  $Hbump[m]$  と段差長  $Lbump[m]$  を求める。上下変位量  $Lz(i)$  が  $i=i_1$  で極値となり、その直後の  $i=i_2$  で再び極値となったとき、段差高  $Hbump(i_2)$  を式 5 で定義する。

$$Hbump(i_2) = Lz(i_2) - Lz(i_1) \quad \dots \text{(式 5)}$$

段差長  $Lbump[m]$  は、極大と極小の間に移動した距

離を GPS の測位データから求める。

## 3. 東北自動車道の復旧状況の検証

NEXCO 東日本の平成 24 年度 9 月会見資料<sup>3)</sup>によれば 2011 年 9 月から復旧工事が始まり、工事の進捗に伴い路面状況は良くなっている。筆者らが計測した提案の段差計測手法を用いた計測結果でこの状況を見る。例として仙台と一関の間に位置する古川インターチェンジ付近の計測結果を図 1 に示す。図左は東北地方太平洋沖地震の本震から約 2 ヶ月後の 2011 年 5 月 8 日の計測結果、図右は約 1 年 4 ヶ月後の 2012 年 7 月 1 日の計測結果である。段差が観測された地点に三角のマークを示し、段差高の大きいものを幅の広い三角で表示している。また、両地図の間に上下変位量を緯度ごとにプロットしたグラフを示す。2011 年 5 月 8 日の計測結果には地図下部に大きな段差高が観測されているが、2012 年 7 月 1 日の計測結果には見られない。NEXCO 東日本の平成 24 年度 9 月会見資料によれば、大衡 (仙台の北 30km) と若槻 (一関の南およそ 40km) の間が復旧工事完了区間になっているが、工事日程や工事区間は公表されていない。しかし計測結果から 2012 年 7 月までに復旧工事が完了していたことが伺える。

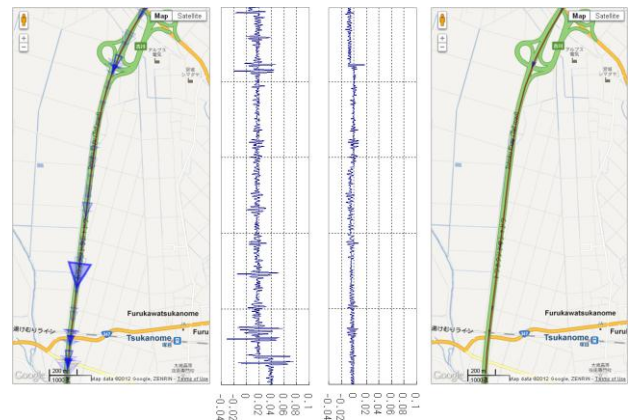


図 1 古川 IC の段差の変化

次に仙台と福島の間位置する白石付近の計測結果を図 2 に示す。2011 年 5 月 8 日と 2012 年 7 月 1 日の地図の間の上下変位量の振幅の形状は似通っており、計測結果に大きな差はない。路面段差状況に変化がないことがわかる。この区間は復旧工事が行われていないことが考えられる。

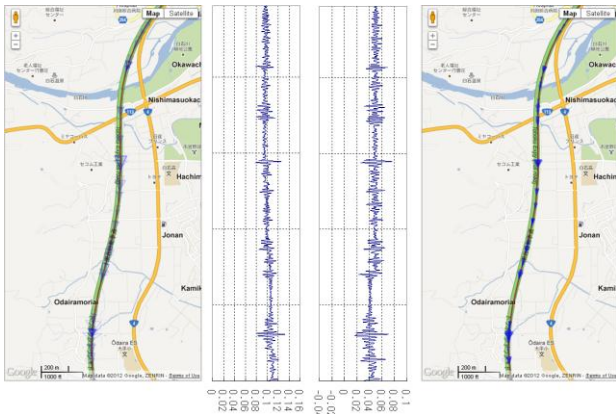


図2 白石付近の段差の変化

#### 4. 東北自動車道全体の路面状況変化

次に東北自動車道全体の路面状況の経時変化を見る。東北自動車道は南北に向けて走っているため、計測結果を緯度0.01度ごとに切り分け1区間とした。南北に向いている区間と、やや東西に向いている区間では距離が異なるが、経時変化は区間ごとに確認するため問題なく、集計の容易さからこのようにした。路面状況のよし悪しは次のように定義することとした。段差高は小さいよりも段差高が大きい方が悪い状態である。同一区間内に段差が1つあるよりも2つあった方が悪い状態である。1cmの段差高が2つ存在するよりも、2cmの段差が1つ存在する方が悪い状態である。この定義に沿った集計方法として区間ごとの段差の代表値として段差高の平方和を採用した。以上の集計方法で東北自動車道の計測結果を集計し図3に示す。2011年から時間が経過するにつれ良くなっていることが期待されたが、描かれている円の様子からはっきりと良くなっているようには見えない。

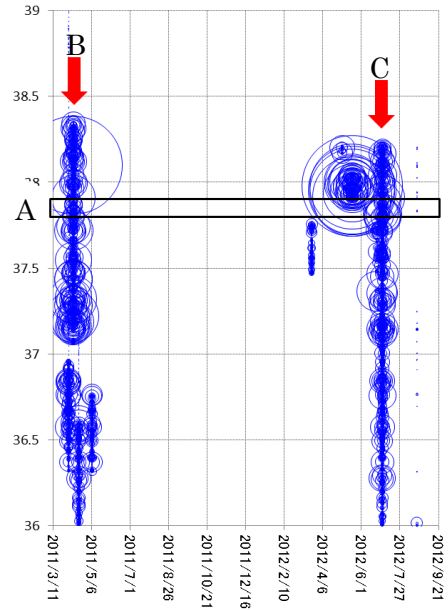


図3 段差高による段差分布

逆に図中Aの北緯37.8度の福島付近は悪化しているように見える。そこで状況を確認するために、2011年4月9日(図中B)と2012年7月1日(図中C)の計測結果の上下変位量を比較した結果を図4に示す。縦軸は上下変位量、横軸は緯度である。図中の上が2011年4月9日、下が2012年7月1日の上下変位量である。2つのグラフでは同じ場所で振幅が大きくなっていることがわかる。しかし、その振幅の大きさを比べると、図中の区間Aでは2012年7月1日に計測した方が大きくなっている。また、図中の区間Bでは2012年7月1日の計測結果の方が多く振れている。いずれも同じ地点で振幅が大きくなっていることから、路面状況に変化はないと考えられるが、振幅の大きさや回数が異なるという状態が発生しており、予想と異なる。2011年4月4日の計測ではスマートフォンをホルダーを使わず路面に対して水平に設置し、2012年7月1日はホルダーを使って垂直に設置して計測している。この設置条件の違いによって、予想外の影響が表れているものと思われる。

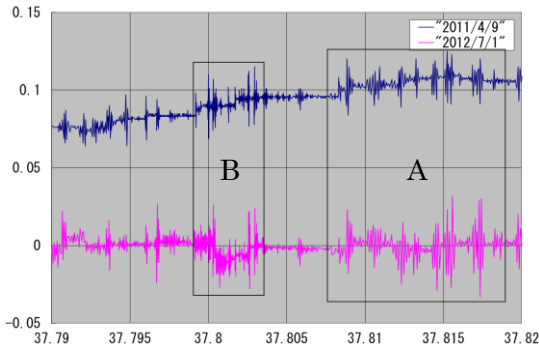


図4 上下変位量の変化

上：2011年4月9日、下：2012年7月1日

振幅の大きさに影響されず、経時変化を比較するため車両の上下動が起きた地点の数、段差数を求めた。段差がある位置を車両が通過すると上下変位量が大きく振れる。この振れは徐々に小さくなっていく。一番大きくふれたところが段差の位置となる。上下変位量の標準偏差をとることによって、振幅が大きくなったところを求める。この標準偏差が描く極大の数が段差数となる。路面段差状況が改善されていけば、段差数は減少すると考え、段差数を一定の区間ごとに合計した。集計の単位は段差高の平方和と同様に緯度 0.01 度ごとの区間として、図 5 に集計結果を示した。横軸は計測日時、縦軸は緯度である。段差数を円の面積で表している。2011 年の計測結果に比べて 2012 年の計測結果の円が小さくなっているようには見えない。北緯 38 度付近で 2012 年の計測結果のほうが段差数が増加している区間があり、予想に反している。

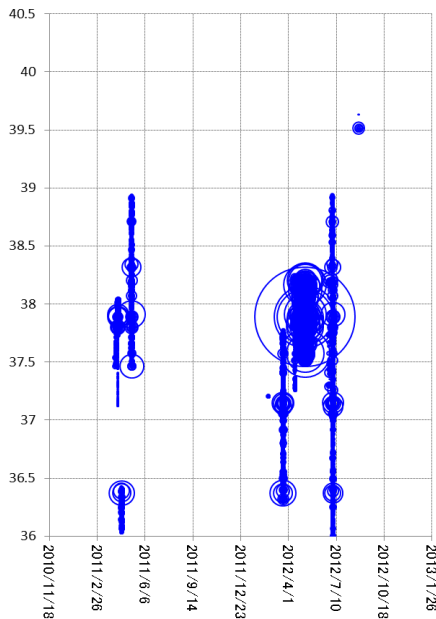


図5 段差数による段差分布

そこで 2012 年の計測結果のほうに大きな円が出現している北緯 37.9 度付近について詳細確認を行った。2011 年と 2012 年の両方に計測結果が存在し、2012 年の計測結果が悪くなっている、2011 年 5 月 8 日と 2012 年 5 月 5 日の計測結果の上下変位量を図 6 に示す。グラフの下 2 本が上下変位量を表している。その 2 本のうち、上が 2012 年 5 月 5 日、下が 2011 年 5 月 8 日の計測結果となっている。グラフの上 2 本が上下変位量の標準偏差となっている。2 本のうち、上が 2012 年 5 月 5 日、下が 2011 年 5 月 8 日となっている。上下変位量を見ると、2011 年 5 月 8 日に比べて 2012 年 5 月 5 日の振幅は小さくなっていて、路面段差状況は良くなっているものと思われる。ところが標準偏差のグラフを見てみると、どちらも山の大きさは違うものの山を描いている。大きな山でも小さな山でも、山の頂点は 1 つとなる。この方法では、小さな段差も、大きな段差も同様に 1 つの段差として集計されてしまい、路面段差状況をうまく比較できない。

上下変位量の振幅が変化したことによる影響を排除するため、段差の数だけでの評価を試みたが、大きさの評価が不可欠との結果に至った。

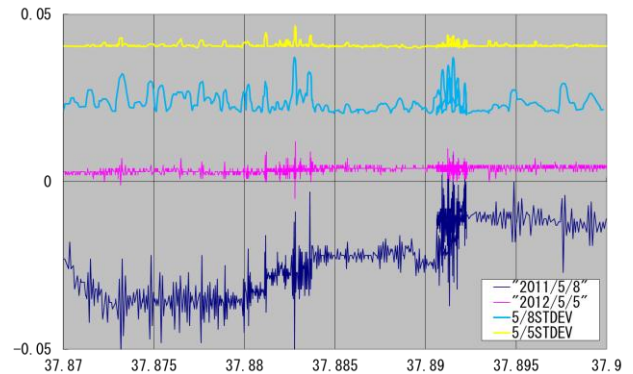


図6 上下変位量の変化

(2011年5月8日、2012年5月5日)

道路の復旧方法には大きく分けて二通りの方法がある。ひとつは一定の区間で舗装を張り替える方法である。この場合、復旧前と復旧後で路面段差状況は違ったものになるので、段差数や段差高が減少する。もうひとつは段差部分を緩やかなスロープ状にする方法である。このとき段差の数、段差高は同じままである。変化するのは、緩やかになるという点である。そこで段差をどれだけの上昇速度でどれだけの距離を昇ったかで評価することにした。第 11 回 ITS Asia Pacific Forum で提案した<sup>4)</sup> エネルギー値

を用いる方法を試みた。段差高が高いほど段差が車両に与える影響は大きくなる。しかし段差長が長ければ、影響は小さくなる。段差高を  $H_{bump}$ 、車両重量を  $m$ [kg]、重力加速度を  $G$ [m/s<sup>2</sup>]とすると、段差高に対応した位置エネルギー  $E_h$  は次式で求められる。

$$E_h = m \times G \times H_{bump} \quad \dots (式6)$$

摩擦などが無い理想状態で重力により斜面方向に落下すると運動エネルギーに変換され速度が速くなる。この速度変化量  $V_{slope}$ [m/s]は式7で求められる。

$$V_{slope} = \sqrt{2G \times H_{bump}} \quad \dots (式7)$$

この速度の方向はスロープの方向である。段差の傾きを  $\theta$  とすると、垂直方向の見かけの速度  $V_{height}$  は次式で求められる。

$$V_{height} = V_{slope} \times \sin \theta \quad \dots (式8)$$

ここで  $\theta$  は小さな傾きなので、次式で近似できる。

$$V_{height} \cong V_{slope} \times \tan \theta = V_{slope} \times \frac{H_{bump}}{L_{bump}} \quad \dots (式9)$$

この速度が持つ運動エネルギー  $E_{height}$  は次の式10となる。

$$E_{height} = m \times G \times \frac{H_{bump}^3}{L_{bump}^2} \quad \dots (式10)$$

同じ観測条件のもとでは車両の質量  $m$ [kg]と、重力加速度  $G$ [m/s<sup>2</sup>]は常数となる。そこで段差強度  $S_{bump}$  を次式で定義する。この値の単位は[m]となる。

$$S_{bump} = \frac{H_{bump}^3}{L_{bump}^2} \quad \dots (式11)$$

集計単位は段差高の平方和と同様に緯度0.01度ごとの区間とし、エネルギー値の平方和を求めた。結果を図7に示す。北緯38.5度から39度の一関周辺では、2011年の計測結果で描いた円の大きさに比べて、2012年の計測結果で描いた円の大きさが小さくなっていることから、段差の強さは小さくなっており、路面段差状況は良くなっているようで、予想と合致している。だが、北緯37.5度から38度にかけての福島周辺は逆に2012年の計測結果による円の方が大きくなっており、路面段差状況が悪化しているように見え、こちらは予想に反している。

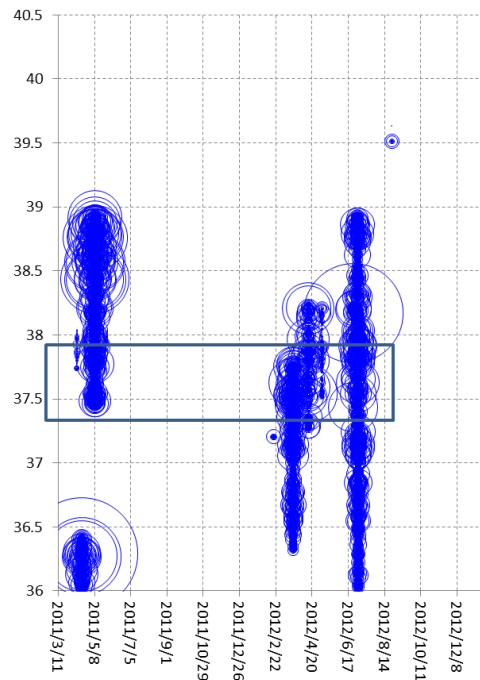


図7 エネルギー値による段差分布

該当の区間から2012年の計測結果のほうに大きな円が出現している北緯37.5度付近について詳細確認を行った。2011年5月8日と2012年3月20日の計測結果の上下変位量を図8に示す。この2つのグラフでは、同じ場所で振幅が大きくなっていることから、路面段差状況に変化はないと思われるが、図中の区間Aでは2012年3月20日の方が大きく振幅している。設置姿勢は2011年5月8日は水平、2012年3月20日は垂直に設置していたので、このことが影響すると考えられる。また、計測時の走行速度がちがっており、2011年5月8日はおよそ80km/h、2012年3月20日は90km/hで走行していた。速度が大きくなれば同じ大きさの段差でも大きく感じるため、速度の違いも原因の一つと考えられる。

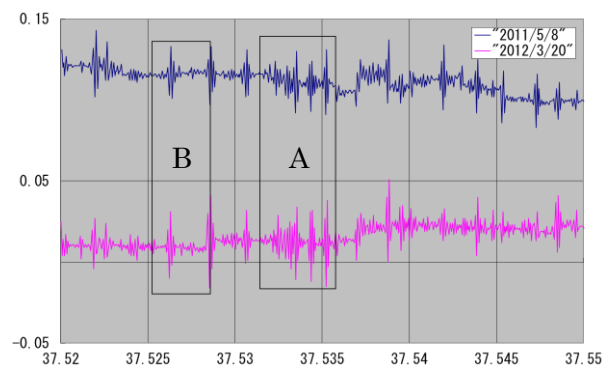


図8 上下変位量の変化

上：2011年5月8日、下：2012年3月20日

## 5. まとめ

筆者らが提案するスマートフォンを自動車のダッシュボードに置いて通常通りに走行するだけで路面段差を検出する手法を用いて、東日本大震災以降に東北地方において延べ 8500Km の計測を行った。本稿ではこの計測結果を用いて復旧状況の経時的変化の定量的把握を試みた。道路は平坦であることが望ましいが、震災の影響により段差やうねりが生じた。路面の形状は、路面の上下変位量、段差やうねりの数、上下変位が急に变化しているか緩やかに变化しているかを示す上下変位量の変化率の3つにより特徴づけられる。本稿で定義した用語に当てはめると、段差高、段差数、段差長にあたる。そこで段差高と段差数を組み合わせた段差平方和による指標、段差数による指標、段差高と段差数と段差長を組み合わせたエネルギー値による指標の3つを用い、復旧状況の経時的変化が見いだせるかを試みた。その結果、段差やうねりが生じていたが復旧工事により平坦に戻った区間について、その変化を見出すことができた。しかし、被災を免れた区間や、復旧工事が終わっていない区間、すなわち道路状況が変化していない区間において、状況が良くなっている、あるいは悪くなっているとの誤認識が数多く生じた。そして現時点では正しい認識と誤った認識を判別する方法を見出すに至らなかった。

路面状況と言う静的なものを計測対象としているが、走行車両のショックアブソーバより上の位置における上下加速度と言う動的物性値により計測しているため、車種、走行速度、計測に用いたスマートフォン、さらにはスマートフォンの設置姿勢など、車両側の影響が強く出たためと考えられる。ショックアブソーバより下の位置における上下加速度を推定することで、車両側の影響を軽減できることが予想されるが、タイヤが道路に接地している幅は小さく、走行位置のずれによっても計測結果が変化すると考えられ、下部加速度の推定だけでは誤認識を防ぎきれないことが予想される。

一方、ドライバーや同乗者が体感するのは、さまざまな車種、さまざまな速度での、ショックアブソーバの上の位置における加速度だと考えると、今回の方法が不適切だとも言い切れない。1度の計測結果をもとに路面状況を判断するのではなく、複数回の計測結果の平均値や最悪値を用いて判断するなどの運用を想定した路面状況の経時変化を判断する手法の検討が必要と思われる。

提案の手法は専用の機器や車両を使用しなくても、車を運転するだけで路面の段差状況が測定できる大きな利点を備えている。路面状況の経時変化をとらえることができるようになれば、この利点によって震災後の復旧作業の状況を早い段階で明らかにできる。路面状況の経時変化を判断する手法の検討を急ぎたい。

## 参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) NEXCO 東日本、東日本大震災に伴う本復旧工事進捗状況、平成 24 年度 9 月会見資料  
[http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/data\\_room/regular\\_mtg/pdfs/h24/0927/01.pdf](http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/data_room/regular_mtg/pdfs/h24/0927/01.pdf)
- 4) YAGI koichi, Road Bump Detection Method by Using Smartphone and Measurement Result on TOHOKU Earthquake, 11th ITS AP Forum 2011 Kaohsiung, CD-ROM