

# スマートフォンの加速度センサを用いた路面段差検出手法と

## 東北地方太平洋沖地震における適用

\*災害時交通流監視システム研究会 正会員 ○八木浩一

### 1. はじめに

地震などの広域災害時に被災地とその周辺において、道路状況を即座に把握、共有することは迅速な復旧復興活動にとって重要である。路面段差はそのような情報のひとつである。しかしこれまで路面段差の検出には、人手と手間のかかる目視による確認、またはプロフィールメータなどの特別な機器を使用した路面の寸法形状測定が行われてきた。本稿では、福原らの手法<sup>1)</sup>をより簡便にし、GPS と加速度センサが搭載されたスマートフォンを自動車のダッシュボード上に置き、通常通り走行するだけで路面段差が観測できる手法について報告する。はじめに従来から提案してきた手法について述べる。次に2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震における路面段差調査の過程でみつかった同手法の問題点と、その改良手法について述べる。最後に改良手法による東北地方太平洋沖地震後の東北地方の路面段差分布状況について報告する。

### 2. 従来手法

藤野らの報告<sup>2)3)</sup>によると、路面の平坦性の指標であるIRI (International Roughness Index、国際ラフネス指数)と、1秒間に観測された上下方向の加速度のRMS(Root Mean Square、二乗平均平方根)の間に相関がある。開発初期にこの原理を試みたが、ノイズと段差の判別が困難であった。アスファルト路に直径24[mm]の木の丸棒を置いて路面段差を模擬した実験を通して、次のような2つの判別条件を用いた路面段差検出ロジックを提案<sup>4)</sup>した。

- 判定条件1：タイヤが段差を乗り越える際、上下方向だけでなく、前後方向にも動加速度が観測される。
- 判定条件2：段差通過時には前輪と後輪に相当する動加速度のピークが2回現れる。

これを次の前提のもと説明する。用いたスマートフォンはAndroidOSのスマートフォンSony EricssonのXperiaで、助手席手前のダッシュボード上にXperiaの表示面を上、画面上下方向が車両の進行方向になる向きに置いた。これは加速度センサのX軸が幅方向、Y軸が進行方向、Z軸が上下方向に相当する。同機の最も早い周期で観測し、加速度の観測周期は約94[Hz]、GPS測位の観測

周期は1秒で行った。

判定条件1を次のように定式化する。観測順序を*i*、前後方向、上下方向の加速度データを*Y(i)*、*Z(i)*とする。藤野らの原理を応用しつつ前後輪を分離するため、50[ms]ごとの標準偏差*SD<sub>y</sub>(i)*、*SD<sub>z</sub>(i)*を動加速度の大きさを代表する値として用いる。そのうえで、前後方向、上下方向の動加速度が同時に発生していることを示す値として、同時性指標*SD<sub>yz</sub>(i)*を次の式1で定義する。

$$SD_{yz}(i) = SD_y(i) \times SD_z(i) \quad \dots (式1)$$

次に判定条件2を定式化する。前輪から後輪までの時間差、つまりホイールベースの距離に相当する観測周期数を*N<sub>w</sub>*とし、段差を示す値として、段差指標*Byz(i)*を次の式2で定義する。

$$Byz(i) = SD_{yz}(i) \times SD_{yz}(i + N_w) \quad \dots (式2)$$

*N<sub>w</sub>*は車速*V*[m/s]、ホイールベースを*L<sub>w</sub>*[m]、観測周期を*H*[Hz]としたとき次の式3で与えられる。

$$N_w = \frac{L_w}{V} \times H \quad \dots (式3)$$

1周620[m]の長方形の周回コースに直径24[mm]の木の丸棒を置き、段差模擬した実験を行った。図1にこのコースを右回りに5周走らせたときの結果を示す。

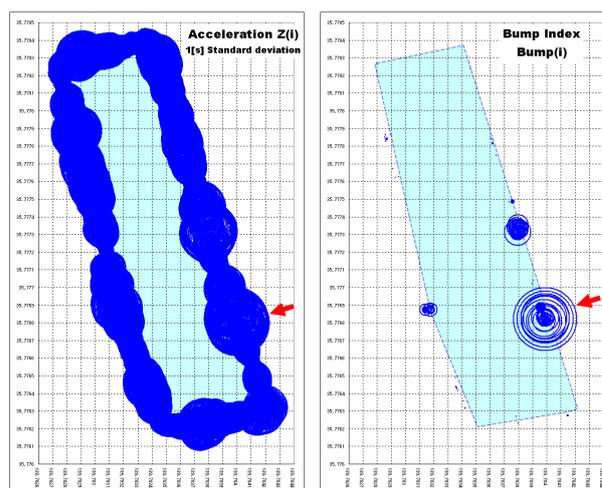


図1 上下方向加速度の1秒間標準偏差と段差指標

左は1秒間の上下方向加速度の標準偏差、右は段差指標の大きさを、それぞれ円の直径で示している。丸棒は両図右下の赤の矢印部分に設置している。提案の段差指標により段差を検出できていることがわかる。丸棒設置場所以外の2箇所にも段差指標による検出があるが、実験

Keywords: 路面段差, 被災状況, スマートフォン

\* 連絡先: yagi@k.email.ne.jp  
(Phone) 03-3907-7884

後に路面を確認したところ、アスファルトの継ぎ目に割れが発見された。この結果からもこの提案手法により段差検出が可能なことが確認された。

### 3. 被災地の観測で見つかった問題点

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の被害の全体像を調査するため、地震発生後の3週間後から提案手法を用いた現地調査を開始した。しかし、調査を開始してまもなく以下の2つの問題が見つかった。

問題1：段差の想定を道路の割れのような形状としていた点。このような段差は検出できたが、多くの場所ですでに応急的な補修が行われ、より緩やかなスロープ状の段差となっていた。このため前後方向の加速度の変化が小さくなり、さらにスロープの進行方向の長さ(以下、段差長と呼ぶ)がホイールベースより長いと動加速度のピークが1回しか現れなかった。体感で大きな段差と感ずる場合でもこのような段差は検出できなかった。

問題2：段差指標が段差形状の何を示しているか不明な点。提案の段差指標には路面段差の特徴と車両の特徴が含まれており、それぞれの段差の大きさを比較することが難しく感じられた。

### 4. 改良手法

スロープ状に変化する段差も検出しつつ、段差の特徴を示す値を推定するためロジックの改良を行った。この新しい手法は段差の高さと段差の長さを推定するものである。基本的な原理は次の通りである。車両の上下方向変位量を上下方向加速度の二重積分により推定し、隣接する極大点と極小点の変位量の差を段差高として定義し推定する。さらにその間の進行方向の移動距離を段差長として定義し、これをGPSの測位データから推定する。

始めに、上下方向変位量の推定方法を述べる。加速度を二重積分すると距離になるのは理屈の上では正しいが、重力や登坂時の車両の傾きなどに起因する静加速度の存在や、センサのヒステリシス特性、計算上の丸め誤差などにより、累積誤差が大きくなりそのままでは二重積分して求めた上下変位量が発散し実用に耐えない。そこで次のようにステップごとに補正をかけながら積分する。

ステップ1：観測された加速度から静加速度成分を除去する。観測周期を  $H[\text{Hz}]$ 、 $i$  番目に観測された上下方向加速度を  $Z(i)[\text{m/s}^2]$  とする。 $Z(i)$  には重力加速度などの静加速度成分が含まれているが、これは上下変位量に影響しない。そこで直前1秒間の平均の上下方向加速度  $\text{ave}Z(i)[\text{m/s}^2]$  を静加速度成分とみなして減じ、動的加速度成分  $dZ(i)[\text{m/s}^2]$  を次の式4、式5で求める。

$$\text{ave}Z(i) = \frac{\sum_{j=i-H+1}^i Z(j)}{H} \quad \dots \text{ (式4)}$$

$$dZ(i) = Z(i) - \text{ave}Z(i) \quad \dots \text{ (式5)}$$

$dZ(i)$  を和分することで上下方向速度  $Vz(i)[\text{m/s}]$  を求める。

$$Vz(i) = Vz(i-1) + \frac{dZ(i)}{H} \quad \dots \text{ (式6)}$$

ステップ2：この速度から登坂時の上昇速度のような段差に起因しない速度成分を除去する。直前直後の1秒ずつ(計2秒間)の平均の上下方向速度  $\text{ave}Vz(i)[\text{m/s}]$  を次式で求め、これを静的な速度成分とみなし、段差に起因する動的な上下方向速度  $dVz(i)$  を次の式7、式8で求める。

$$\text{ave}Vz(i) = \frac{\sum_{j=i-H+1}^{i+H} Vz(j)}{2H} \quad \dots \text{ (式7)}$$

$$dVz(i) = Vz(i) - \text{ave}Vz(i) \quad \dots \text{ (式8)}$$

$dVz(i)$  を和分することで、上下変位量  $Lz(i)[\text{m}]$  を求める。

$$Lz(i) = Lz(i-1) + \frac{dVz(i)}{H} \quad \dots \text{ (式9)}$$

加速度の補正には直前1秒間、速度の補正には直前直後の1秒ずつ(計2秒間)の平均を用いたが、加速度にも前後2秒の平均を用いる方法が考えられる。しかし、後ろ側1秒分を含めるためには判定を1秒待つ必要があり計算のリアルタイム性が損なわれる。また速度を前後2秒の平均で補正すれば誤差の累積が抑制できることが基礎実験より確認された。この手法による観測結果と体感が一致するかを確認するために走行中のリアルタイム表示が必要と判断し、このような組み合わせを採用した。

ステップ3：段差高  $Hbump[\text{m}]$  と段差長  $Lbump[\text{m}]$  を求める。上下変位量  $Lz(i)$  が  $i=i\_bottom$  で極小となり、その直後の  $i=i\_top$  で極大となったとき、段差高  $Hbump(i\_top)$  を次の式10で定義する。

$$Hbump(i\_top) = Lz(i\_top) - Lz(i\_bottom) \quad \dots \text{ (式10)}$$

また、極大の次に極小が観測された場合は、段差高を負数で定義し次の式11で定義する。

$$Hbump(i\_bottom) = Lz(i\_bottom) - Lz(i\_top) \quad \dots \text{ (式11)}$$

段差長  $Lbump[\text{m}]$  は、極大と極小の間に移動した距離をGPSの測位データを用いて計算する。

### 5. 実験結果

この新たな手法を使い一般道での走行実験を行った。図2に補正された加速度  $dZ(i)$  と、速度  $Vz(i)$ 、上下変位量  $Lz(i)$ 、段差高  $Hbump$ 、段差長  $Lbump$  の例を示す。この道

路はほぼ東西に向いていたことから、横軸には経度をとっている。図3にはこれと同じ場所を同じ方向に5回走行したときの結果を示す。図3を見ると上下変位量  $Lz(i)$  が安定して得られ、段差高  $Hbump$ 、段差長  $Lbump$  が一定の信頼度を持っていることが分かる。段差の位置には  $\pm 0.00003$  度 ( $\pm 3[m]$ ) 程度のずれが見られるが、これは GPS の測定誤差と考えられる。

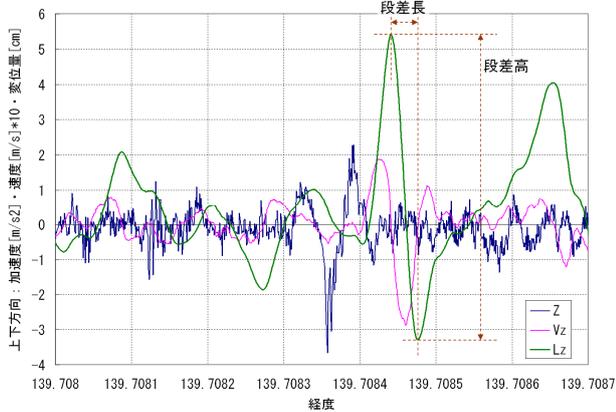


図2 上下方向加速度、速度、上下変位量

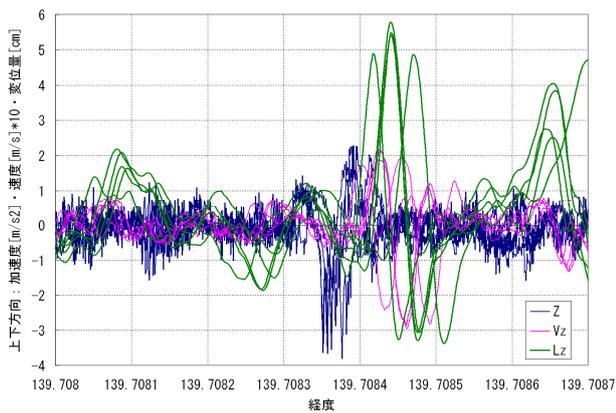


図3 5回走行時の測定結果

## 6. 東北地方太平洋沖地震における観測データへの適用

東北地方太平洋沖地震による被害の全体像を把握するための現地調査は2011/4/2~4 (岩手)、4/9~10 (宮城、福島)、4/17 (茨城)、5/6~8 (山形、秋田) の4回に分けて計9日間で行った。観測地域は、北は青森県八戸市、南は茨城県水戸市、西は国道13号線、国道121号線の沿線、東は沿岸部までで、南北450km、東西120kmにわたる範囲である。延べ走行距離は約4600kmであった。

まず、改良した手法で観測された段差高と目視、体感との関連を見る。常陸太田周辺での段差高分布を図4に示す。この地点の観測は2011/4/17に行った。この図では青丸の直径で段差高を示し、オレンジの丸で目視、体感での段差位置を示している。目視で確認したのは位置のみだったため、オレンジの丸はすべて同じ直径で描かれている。オレンジの丸と重なるように周囲より大きな青丸が描かれており、一定の確からしきで観測できているこ

とが確認できた。

次に東北地方全体での段差高分布を図5に示す。赤丸は3月11日の本震時の震央を示し、青丸の直径で段差高を示している。内陸部に比べ沿岸部に近い地域でより大きな段差が観測されているようだが、この図では周辺に大きな段差が1つでもあれば大きな丸で表示されるため、あまり明確ではない。そこで2cm以上の段差高の走行1kmごとの平方和を図6に示す。この図では周辺に大きな段差が多く存在したとき大きな丸となり、区間ごとの段差の頻度と大きさを示す図となる。図6を見るとよりはっきりした特長が現れており、震央より南側に多くの段差が存在している。特にいわき市を中心に郡山、白河、水戸にかけて多くの段差が発生していることが見て取れる。

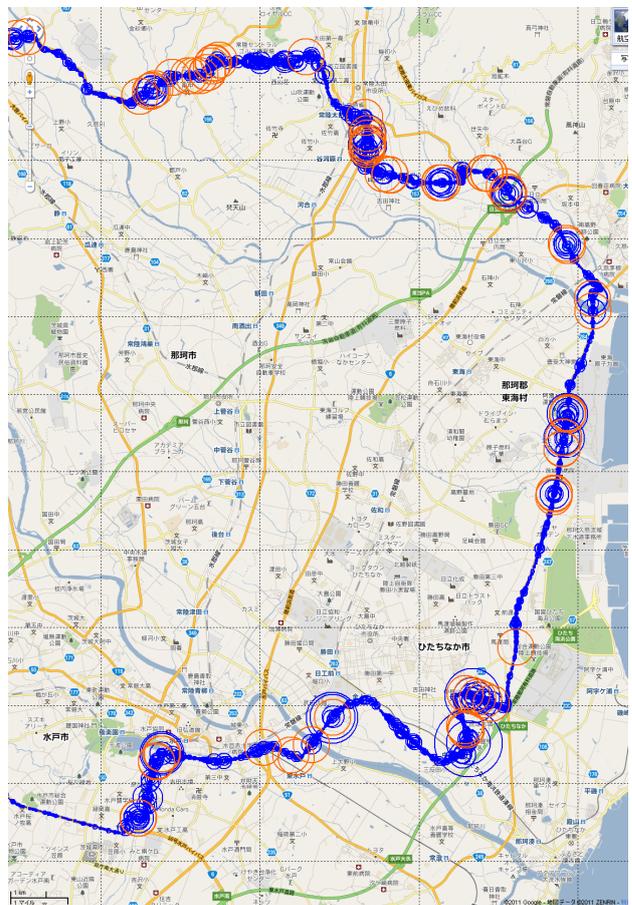


図4 常陸太田市周辺の段差高分布と目視確認の関係

## 7. おわりに

東北地方太平洋沖地震において、スマートフォンを用いた路面段差の調査を行った。これにより南北450km、東西120kmの非常に広い範囲で延べ4600kmの距離を9日間と言う短い期間で観測することができた。またこの観測調査をもとに路面段差検出ロジックの改良を行い、段差高と段差長を定量的に推定する手法が開発できた。

しかし、その改良手法にも課題が残った。頻度はそれほど多くないが、段差高が高く滑らかに変化するスロー

ブ状の道路形状において、ほとんど体感しなかったのに検出される場合があった。また逆に、段差高が低い突起状の道路形状において、体感したのに検出されない場合があった。これらを改善するため、加速度またはその変化量である躍度の大きさにより段差の存在を判断した上で、今回提案した改良手法によりその大きさを判断する

など、さらなる改良が求められる。

今回の調査は地震発生から3週間～2ヶ月後の実施となったが、このような手法が普及することで地震後の被災状況がより速やかに調査、把握され、復旧復興活動の更なる迅速化につながることを期待している。

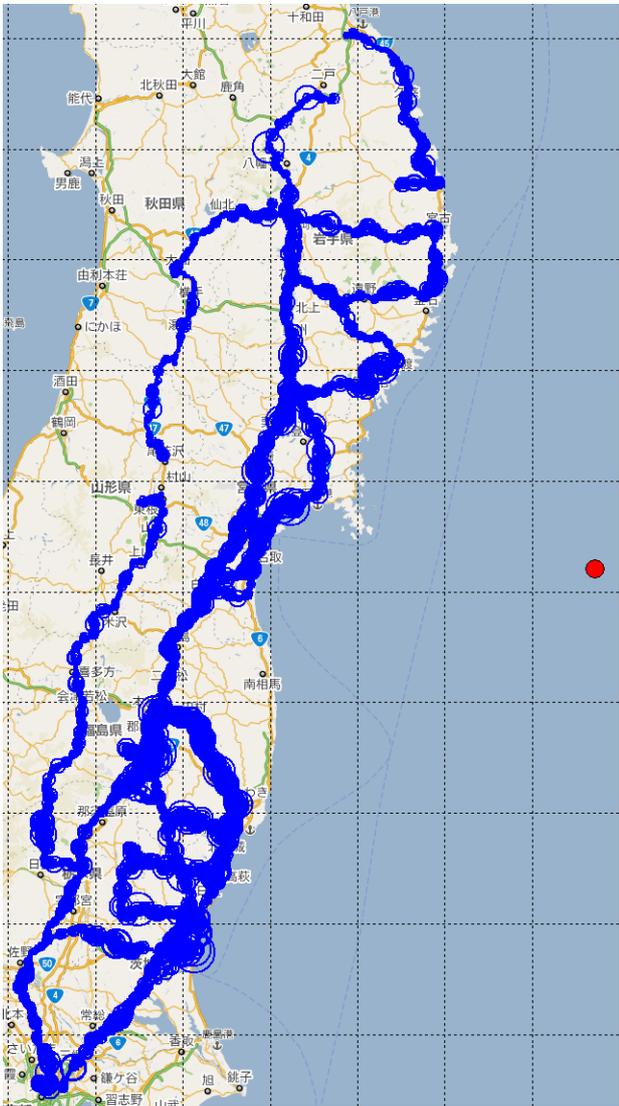


図5 観測された段差高の分布

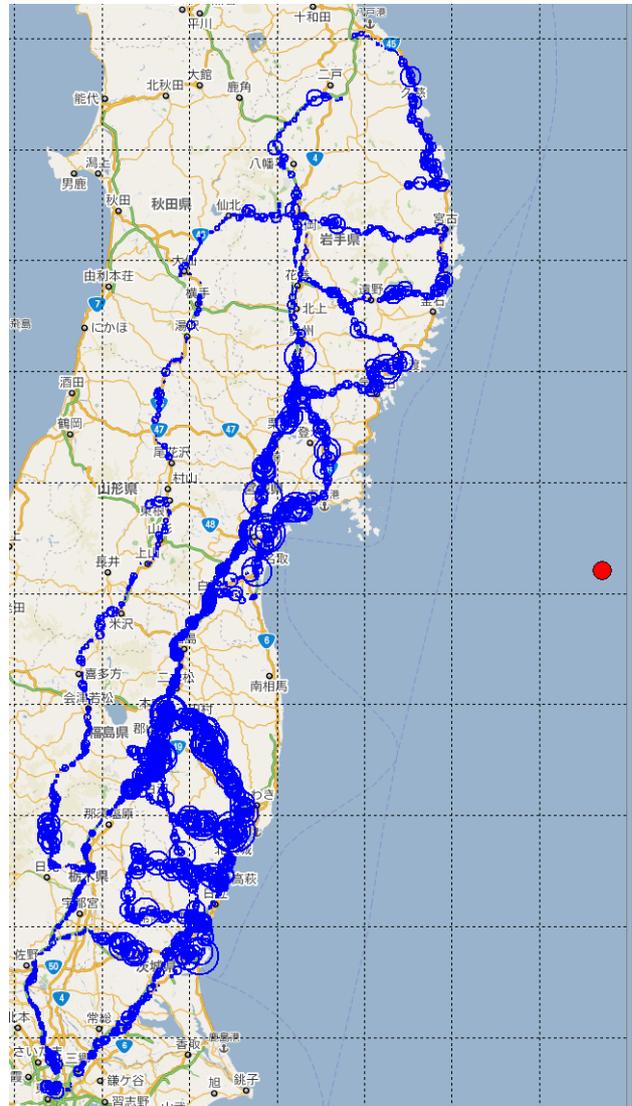


図6 1km 区間ごとの段差の頻度と大きさの分布

#### 参考文献

- 1) 福原敏彦ほか: IRI を用いた廉価な道路維持管理手法の為の測定器開発、第27回日本道路会議、  
<http://www.surftechno.jp/pdf/20068.pdf>, 2007
- 2) 藤野陽三: 巡回車による舗装・伸縮装置の高頻度簡易診断に関する研究開発、建設技術研究開発平成17年度成果発表会、  
[http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h18giken/seika/program/pdf/seika\\_1.pdf](http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h18giken/seika/program/pdf/seika_1.pdf)
- 3) 河野整ほか: 道路高速診察システム(VIMS)の実用化に向けた研究、土木学会第58 回年次学術講演会講演概要集, 2003.9.

<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2003/58-cs/58-cs-0002.pdf>

- 4) YAGI koichi, Extensional smartphone probe for road bump detection, 17th ITS world congress Busan 2010,  
<http://traffic-hazard.ddo.jp/xoops/modules/wfdownloads/singlefile.php?cid=2&lid=32>, 2010