スマートフォンの加速度センサを用いた路面段差検出方法

八木浩一*1

災害時交通流監視システム研究会*1

地震などの広域災害時に被災地周辺において路面段差などの道路状況をいち早く把握、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。これまで路面段差の検出は工数を要する目視確認や、高価な専用機器を用い行われてきた。本稿では加速度センサを搭載したスマートフォンを自動車のダッシュボード上に置くだけで路面段差を検出する方法を提案する。はじめにその原型となった万歩計を用いた方法により 2007 年の新潟県中越沖地震の際に観測した結果を述べる。次にスマートフォンに搭載された GPS と加速度計さらにはジャイロセンサを用いた観測方法とその結果を述べる。

Road Bump Detection Method using Accelerometer on Smartphone

YAGI, koichi 1*1
Traffic Hazard Technology*1

When a wide area disaster like an earthquake is occurred, an immediate monitoring of traffic situation and road condition e.g. Road Bump are important for the quick rescue operation. But currently, it needs many human resources, long lead time and special equipment. In this paper, an easily method for road bump detection is proposed. That is a smartphone only put on a vehicle dashboard. At first, using prototype, actual measurement result at the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 is explained. And next, detection logic and experiment result are explained which is using three-dimensional accelerometer and gyro sensor on a smartphone.

Keyword: Road Bump, Smartphone, Probe, Accelerometer, Gyro Sensor

1.従来の方法と課題

これまで路面段差の検出は、目視確認や、機械式接触型、光学式非接触型などのプロフィルメータを使用して、路面の寸法形状を測定し行っている。これには人手と手間や、特殊な装置が必要である。利便性を高めた方法として加速度センサを自動車のショックアブソーバーの上下に設置する方法が提案 1) されているが、加速度センサの設置には専門の知識

と技能が必要である。このため被災後速やかに被災 地全体を調査することは容易ではない。

2.2007 年新潟県中越沖地震における観測トライ

2007年7月16日に発生したM6.8の新潟県中越沖 地震において、筆者らはより簡便な方法による路面 段差の観測を試みた。それは万歩計を助手席前面に あるダッシュボードの垂直面に貼り付け、自動車の 上下動の回数を記録する方法である2)。

2-1 観測方法

車両の上下動を路面段差の指標と捉え、万歩計を用い計測を行った。万歩計は安価で容易に入手できるだけでなく、体の上下動に反応しつつも、それ以外の振動には反応しない。これは路面段差の観測にとっても良い特徴である。振り子式デジタル万歩計の場合,上下動に伴いON-OFF する振り子スイッチが内蔵されている。このスイッチから信号を取り出し、マイコンボードでON時刻を記録した。この装置をバンプ計と名づける。同時にGPSを用い緯度,経度を時間間隔1[分]ごとに記録した。

2-2 観測結果

バンプ計を用い、実際の災害現場で観測を行った。 図1に 2007.8.12~16 に震源地に近い柏崎周辺地域 で観測した結果を示す。これは地震発生から約1ヵ 月後の状況である。バンプ計と GPS の観測記録から 1 [km]あたりの段差数を求め、これを震度分布図の上に円の大きさで示した。×印は震源地を示す。この図から柏崎中心街から刈羽、出雲崎に至る震源地に近い震度の大きかった地点で段差が多いことがわかる。これは運転時の印象とも一致する。

ここで走行速度と検出段差数について考察する。 長岡周辺の国道 8 号線を南北に 60[km/h]で走行した 区間では段差はあまり記録されていない。加えて柏 崎中心街で渋滞が多く速度の遅い区間でも段差の記 録は多い。これより速度の影響はあまり大きくない と考えられる。また信号のため何度も発進停止を繰 り返した区間でも段差の記録は多くなく、進行方向 の加速度の影響も大きくないと考えられる。これら の結果から、万歩計を用いたバンプ計は非常に簡単 な方法ではあったが、地震による道路被害を観測で きたといえる。バンプ計は容易に入手できる部品の みを用いていたが、万歩計の改造やマイコンボード のプログラミングなど、防災関係者にとって実施し やすいものではなかった。

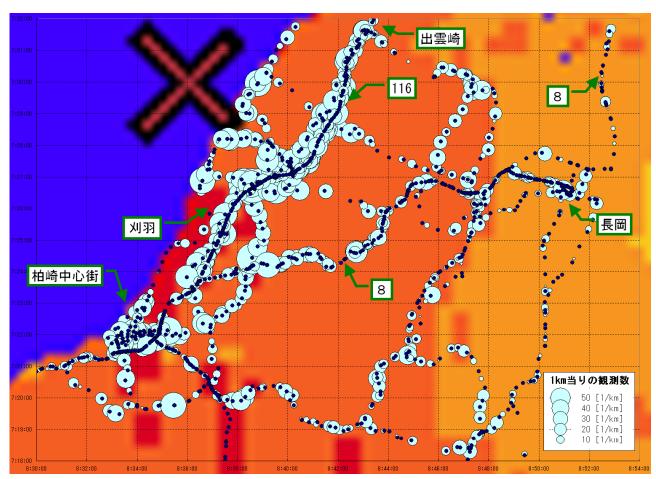


図1 新潟県中越沖地震における路面段差の観測結果(観測日:2007.8.12~16)

3.スマートフォンを用いた方法の提案

より実施しやすい方法として、スマートフォンを車のダッシュボード上に置くだけで路面段差が観測できる方法を開発した。まず3次元加速度センサとGPSを用いたバンプ計について検出ロジックと実験結果を述べる。続いてジャイロセンサを併用した場合の効果を説明する。本稿ではバンプ計アプリの開発にiPhoneを使用したが、3次元加速度センサ、GPS、ジャイロセンサが搭載されたスマートフォンであれば同様のアプリケーションが開発できる。

3-1 基礎実験結果

iPhone に搭載された加速度センサと GPS を用いたバンプ計について述べる。藤野らの報告 ³⁾⁴⁾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(二乗平均平方根 Root Mean Square)の間に相関がみられる。まずこの方法による観測実験を行った。

観測実験の条件は次の通りである。GPS 測位には 空が多く見える位置が有利であるためスマートフォ ンは助手席手前のダッシュボード上に設置した。こ れには取り付け具などは用いず、滑り止めシートを 敷いた上に置くだけとした。設置の向きは iPhone の 表示面を上にしてホームボタンが車両後方になる向 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軸が上下方向となる向きである。 加速度の観測周期は100[Hz]とした。1周期の間の車 の移動距離は 60[km/h]の場合 0.17[m]となる。GPS の 観測周期は最小に設定し、その結果約1秒となった。 路面段差を模擬するため、直径 24[mm]、長さ 900[mm]の木の丸棒をアスファルト路に置き、その 上を助手席側の車輪で踏み、速度 30[km/h]で通過し た。運転時に段差を体感したが危険を感じるような 段差ではなかった。実験にはトヨタ自動車のプリウ スを用いた。プリウスのホイールベースは 2700[mm]、 長さ4460[mm]、トレッド幅1520[mm]、高さ1490[mm]、 車両重量 1350[kg]である。車を1周 620[m]の長方形 の周回コースを右回りに5周走らせた。

図2は地図上に実験結果を示したものである。上下方向(Z軸)の加速度の1秒ごとの標準偏差を円の直径で示している。丸棒は左下矢印部分にあるが、この図から見つけ出すのは難しい。

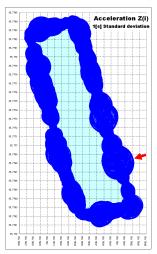


図2 上下方向加速度の1秒間標準偏差

そこで加速度データを詳細に検討した。図3に車が 丸棒を乗り越えたときの加速度データの例を示す。

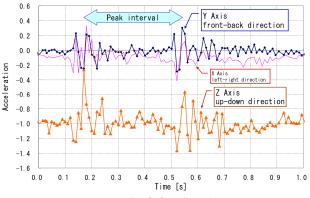


図3 加速度の観測値

各軸で振幅が大きくなった部分が2箇所見られる。その間隔は約0.38[秒]であった。通過速度をGPSの記録から求めると27.4[km/h](7.6[m/s])であった。ここから前輪から後輪までのホイールベース2.7[m]分の時間間隔は0.36[秒]と計算され、加速度の振幅が大きくなった部分の時間間隔と一致する。このような短い時間内の特徴を抽出するため、1秒ごとの標準偏差ではなく50[ms](100[Hz]の場合5周期)ごとの標準偏差を用いることとした。50[ms]とした理由は次の通りである。法定制限速度は100[km/h]である。この速度でホイールベース2.7[m]を走行すると時間間隔は97[ms]となる。段差検出のために前輪と後輪の特徴を分離する必要があるため、半分の49[ms]を用いることとした。観測周期100[Hz]の場合5周期に相当する。これによる結果を図4に示す。

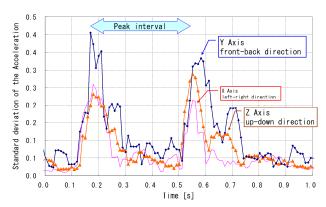


図4 加速度の 50[ms]ごとの標準偏差

上下方向(Z 軸)だけでなく、それ以外の方向でも振幅が大きくなっている。図5は車輪が丸棒を乗り越える際の模式図である。このときタイヤは丸棒とタイヤの中心を結ぶ方向に反力を受け、これにより上下方向(Z 軸)だけでなく前後方向(Y 軸)にも加速度が生じる。このときの実験では助手席側の車輪のみで丸棒を乗り越えたためローリング方向へ力が加わり左右方向(X 軸)の加速度が生じた。まとめると、段差の特徴が常に現れるのは上下方向(Z 軸)と前後方向(Y 軸)である。

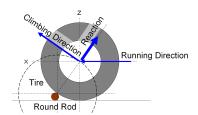


図5 車輪が丸棒を乗り越える際の模式図

3-2 路面段差検出ロジック

基礎実験の結果から路面段差検出ロジックを次のように定めた。

条件1:前後方向(Y軸)と上下方向(Z軸)の50[ms] ごとの標準偏差が同時に大きくなる。

条件2:その様な部分がホイールベースの時間間隔で現れる。

定式化のため、次のように変数を定義する。観測順をi。各軸の加速度データをX(i), Y(i), Z(i)。前後方向(Y軸)と上下方向(Z軸)の50[ms]ごとの標準偏差をSDy(i),SDz(i)。条件1を示す同時性指標をSDyz(i)で表し、式1で定義する。

$$SDyz(i) = SDy(i) \times SDz(i)$$
 ... $(\vec{\pm} 1)$

条件2を示す段差指標を Byz(i)で表し、ホイールベース時間の周期数をNwとして、式2で定義する。

$$Byz(i) = SDyz(i) \times SDyz(i + Nw)$$
 ... $(\vec{\mathbb{Z}} 2)$

Nw は車速により変化する。車速を V[m/s]、ホイールベースを Lw[m]、観測周期を H[Hz]とすると Nw は式 3 で与えられる。

$$N_W = \frac{L_W}{V} \times H$$
 \cdots (式 3)

3-3 ロジック適用結果

このロジックを図2のデータに適用した。上下方向(Z軸)の加速度の50[ms]ごとの標準偏差SDz(i)を図6、同時性指標SDyz(i)を図7、段差指標Byz(i)を図8に示す。

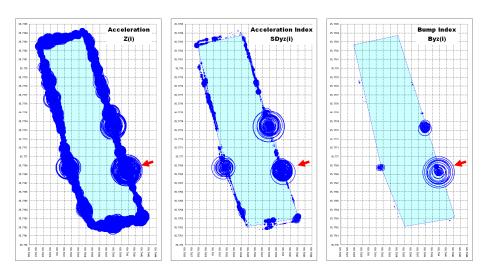
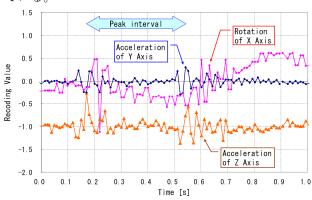


図 6 50[ms]標準偏差 SDz(i) 図 7 同時性指標 SDyz(i) 図 8 段差指標 Byz(i)

図6の50[ms]ごとの標準偏差は図2の1秒ごとの 標準偏差に比べると改善している。しかしまだ段差 ははっきりしない。これに対し図7の同時性指標で かなりはっきりしてきている。さらに図8の段差指 標では図中右下に集中した。この位置は模擬段差の 位置と一致する。ところで、この左と上にも段差指 標の大きめの値が現れた。実験後にこの位置を確認 するとアスファルト舗装の継ぎ目に他にはない割れ が見つかった。この結果は、この路面段差検出ロジ ックの能力が良いことを示しているといえる。

3-4 ジャイロセンサの効果

最新の iPhone 4 にはジャイロセンサが搭載され容 易に利用できるようになった。そのためジャイロセ ンサ併用の効果を確認した。実験方法は先と同様で ある。車が段差を乗り越える際にはピッチングが生 じると予想される。これは幅方向(X軸)周りの回 転に相当する。図3の観測値、図4の50[ms]ごとの 標準偏差にピッチングデータを加えたものを図9、 図 10 に示す。ここでピッチングデータの読み値が小 さかったため、便宜上、グラフでは10倍の値を用い ている。



加速度とピッチングデータ 図 9

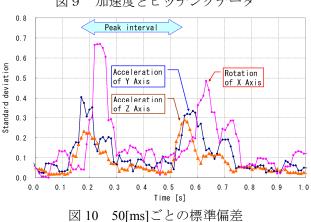


図9を見るとピッチングに周期の長い波が見られ、

段差の特徴が分かりづらい。しかし図 10 では、ホ イールベースに相当する時間間隔を置いて標準偏差 が大きくなった部分が2つ見られる。良く見るとY 軸、Z軸の加速度データに対してピッチングデータ には遅れが見られる。これを検出ロジックに反映す べきかどうか明確にするため確認実験を行った。

iPhone 4 を試験テーブル上に置き、テーブルの一 方の端を叩き加振した結果を示す。図11は上下方向 (Z軸)の加速度データとピッチングデータである。 図 12 に 50[ms]ごとの標準偏差を示す。ここでも便宜 上、ピッチングデータは10倍の値で示している。図 11 ではあまり明確でないが、図 12 では加速度デー タからピッチングデータまで約30[ms]の遅れが見ら れる。この結果から段差走行時のピッチングデータ の遅れは iPhone 4 のジャイロセンサの特性だと分か る。これを踏まえて段差検出ロジックに反映する。

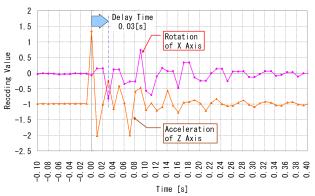


図 11 観測値における遅れ

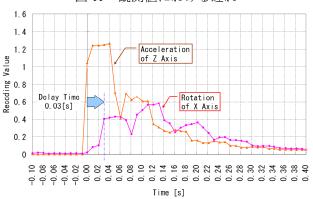


図 12 50[ms]ごとの標準偏差における遅れ

ピッチングデータを P(i)と定義する。P(i)の 50[ms] ごとの標準偏差を SDp(i)。加速度データからジャイ ロセンサデータの遅れの観測周期数を Nd とする。 同時性指標 SDyzp(i)と段差指標 Byzp(i)には次のよう にピッチングデータを反映する。

 $SDyzp(i) = SDy(i) \times SDz(i) \times SDp(i + Nd) \cdots (\stackrel{\sim}{\rightleftarrows} 4)$

$$Byzp(i) = SDyzp(i) \times SDyzp(i + Nw)$$
 ... $(\ddagger 5)$

このロジックを図7、図8で用いた実験データに 適用した。同時性指標 SDyzp(i)を図13に示す。段差 指標 Byzp(i)を図14に示す。加速度データのみを用 いたときの結果と比べると、ピッチングデータを併 用した結果は同時性指標のノイズがより低減され、 段差指標も安定している。

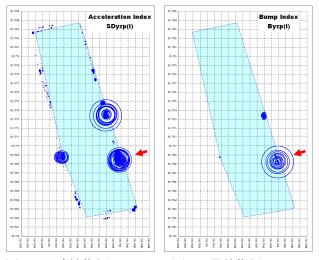


図 13 同時性指標 SDyzp(i) 図 14 段差指標 Byzp(i)

4.一般道での観測実験

一般道での観測実験を行った。実験は東京都足立 区鹿浜にある長さ約500[m]の鹿浜橋を3回走行し行った。このときの段差指標 Byzp(i)を図 15 に示す。 この図の上段は西から東向きの走行、下段は東から 西向きの走行を示す。横軸に走行位置を示し、縦の 点線で橋のジョイント部分を示す。円の直径で段差 指標を示す。観測された段差はすべて橋のジョイン ト付近に現れた。この結果は、段差指標の観測位置 の再現性がよいことを示している。

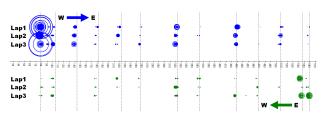


図 15 鹿浜橋における段差指標 Byzp(i)(観測 2010.7.6)

5.まとめ

2007年の新潟県中越沖地震において、万歩計を利用したバンプ計の原型を考案し、観測を試みた。その結果、被災地域全体の路面段差を、少ない工数と短いリードタイムで観測できた。さらにその観測結

果が震度分布と符合していることが確認できた。

より容易に実施できる手法としてスマートフォンを用いたバンプ計アプリを開発した。これを用いれば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を観測できる。この方法は非常に簡単だが、観測された路面段差の位置再現性が良いことが確認された。

これらを用いれば、地震が発生した際、路面段差 観測をすみやかに被災地全域で行える。しかし観測 された段差が地震により生じたものか、地震前から 存在していたものかが明らかでなければ、正しい判 断は難しい。路面段差の観測は災害時のみならず、 平常時からも必要である。そのため、このような方 法が道路管理など多くの場面で用いられ、災害時の 迅速な救援救助活動につながることを期待している。

参考文献

- 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) 八木浩一: 万歩計を利用した簡易な方法による路面段差の面的調査の試み、日本地震工学会大会、2007 梗概集 P.384、2007
- 3) 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
- 4) 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/00035/2003/5 8-cs/58-cs-0002.pdf