

熊本地震後の路面凹凸状況速報

～スマートフォンを用いた迅速な調査～

八木浩一^{*1}

バンプレコーダー株式会社^{*1}

2016.4.14 に熊本地震が発生した。その 2 週間後に熊本県内・大分県内、合計延べ 3,400[km] の道路被災状況を調査した。この速報を報告する。調査は、走行中の車両の振動をスマートフォン内蔵の加速度センサで記録しそこから路面凹凸を評価するレスポンス式路面性状計測で行った。本稿では、計測方法の原理と従来のレスポンス式路面性状計測の弱点であった車種の違いによる影響の除去方法を述べる。さらに路面性状調査に必要な区間の定義方法を提案したうえで、熊本地震後の路面凹凸状況と、地震前後の路面凹凸状況の比較結果について報告する。

Preliminary report for roughness changes after KUMAMOTO earthquake, by using Smartphone measurement

YAGI, Koichi ^{*1}

BumpRecorder Co., Ltd. ^{*1}

Kumamoto earthquake was occurred at April 14th 2016. After 2 weeks from this earthquake, road damage investigation was done for up to 3,400[km] roads in Kumamoto and Oita prefecture. This paper is a preliminary report of this result. As for this investigation, response type measurement was done which is using a smartphone built-in an accelerometer. In this paper, at first, roughness measurement principle is explained. Previous response type measurement has weak point which is measurement result is changing by vehicle model. Improving method is explained next. In addition, section determination method is proposed. Then measurement results are reported.

Keyword: road roughness, pavement maintenance, response type measurement

1. はじめに

2016.4.14 に熊本地震が発生した。その後に調査した道路被災状況の速報を報告する。調査は主に発災 2 週間後からゴールデンウィーク期間中の 1 週間に実施し、熊本県内・大分県内、合計延べ 3,400[km]

の道路を調査した。調査方法は 2011 年の ITS シンポジウムでの発表論文[1]ならびに 2013 年の ITS 世界会議での発表論文[2]で報告した手法を改善したもので、2013 年の土木学会舗装工学講演会の発表論文[3]に準じた方法である。車両にスマートフォンを設

置して走行中の車両の振動を内蔵の加速度センサと GPS で記録し、そこから路面凹凸を評価する「レスポンス式路面性状計測」と呼ばれる方法である。

従来、路面性状計測には路面性状測定車やプロファイロメータと呼ばれる専用車両、専用機器を用いているが計測に要する費用が高く、各自治体とも主要幹線道路のみを毎年数百 km ずつ、数年に分けて計測しているのが現状で、エリア内の多くの道路を対象に頻度高く計測することは不可能だった。今回の調査は、汎用車両、汎用スマートフォンのみを用いたレスポンス式計測だからこそ実現できた。

2. 計測方法

2011 年の ITS シンポジウムならびに 2013 年の ITS 世界会議で報告した計測方法は、上下加速度を二階積分して上下変位量を算出し、変位量の隣接する山と谷の差を「段差高」と独自に定義して評価するものである。この方法ではサスペンションの影響により、車種や走行速度が違えば同じ路面を走行しても算出される段差高が異なる問題と、独自の指標では維持管理に採用しにくいと言う問題があった。

これに対し 2013 年の土木学会で報告した計測方法は、取得した上下加速度を FFT にかけて周波数分析し、1.5[Hz] 近傍に現れるサスペンションの共振周波数とその減衰比を求めたうえ、サスペンションを図 1 に示す 1 自由度のバネモデルと置き運動方程式を解くことでサスペンション下部の加速度と上下変位量を求める。これによりサスペンションの影響を排除し安定した結果を得られるようにしている。

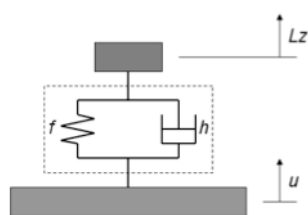


図1 1自由度バネモデル

また独自指標ではなく、道路維持管理で用いられている日本指標の平たん性 σ および国際指標の IRI

(International Roughness Index : 国際ラフネス指数) を求めている。平たん性 σ 、IRI はいずれも道路走行方向の路面凹凸形状（縦断プロファイル）から算出される区間代表値で、平たん性 σ は縦断プロファイルにハイパスフィルタを掛けた値の標準偏差、IRI は規定の硬さのサスペンションを持った車両が 80[km/h] で走行したときのサスペンションの伸び縮

み量の平均である。本手法では FFT と運動方程式を用いて算出したサスペンション下部の上下変位量を縦断プロファイルと等しいとみなして平たん性 σ と IRI を算出している。

3. 集計方法

先に述べたように平たん性 σ 、IRI とも区間代表値であり、区間をどのように定義するかにより値が変わってくる。これまで日本の道路維持管理においてはキロポストを起点とした 100[m] ごとの区間を用いることが多かった。この方法ではキロポストの緯度経度とキロポスト間の距離データが必要となるが、その整備は主要道路にとどまるうえ、データが公開されていないことも多い。さらにそれ以外の多くの道路については未整備だと言う問題がある。また 100[m] 内の代表値では局所的な不具合を表現しきれない問題もあり、より短い区間での計測と評価が行われるようになってきている[4]。

今回調査した道路は主要道路に限らない。また局所的な損傷も多い。これらに対応するため、バンプレコーダー社が提唱するスクウェアメッシュ区間を採用した。あらかじめ地球上にはほぼ正方形のメッシュを定義し、図 2 のように走行経路がこのメッシュに進入した点から退出した点までを計測区間とする。これによりキロポスト情報がなくても GPS 情報のみで、毎回同じ区間に対して平たん性 σ 、IRI が計算でき、経年変化を評価できるようになる。

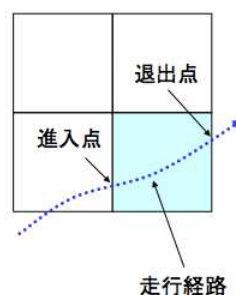


図2 スクウェアメッシュ区間

具体的には、経度 1 度を $1/8192=2^{-13}$ に分割し、その東西幅と同じ長さになる南北幅で緯度を分割する。メッシュには経度番号 *LonCode* と緯度番号 *LatCode* を付与する。それぞれ整数値で、経度を *lon*、緯度を *lat* として次の式(1)、式(2)で求められる。

$$LonCode = \text{int}\left(\frac{lon}{8192}\right) \quad \text{式(1)}$$

$$LatCode = \text{int}\left(\int \frac{1}{\cos(lat)} \times \alpha\right)$$

$$= \text{int}\left(\frac{1}{2} \log\left(\frac{1+\sin(lat)}{1-\sin(lat)}\right) \times \alpha\right)$$

式(2)

α は $lat=0$ のとき、メッシュの東西幅[m]と南北幅[m]が同じになるように規定し、次の値となる。

$$\alpha = 469367.1$$

式(3)

このメッシュの大きさは東京など緯度 36 度近辺で一辺約 11[m]となる。さらに2倍、4倍、8倍・・・のメッシュサイズ *MeshSize* を図3のように定義する。*MeshSize* =2, 4, 8・・・の東京近辺での一辺の長さはそれぞれ約 22m, 44m, 88m である。メッシュは (*MeshSize*, *LatCode*, *LonCode*) の組み合わせで特定できる。

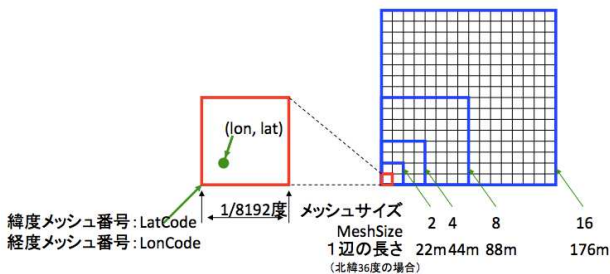


図3 メッシュサイズ

路面性状計測はスマートフォン内蔵の加速度センサと GPS で行うが、GPS には測位誤差がある。使用するスマートフォンや場所などの条件にもよるが±5[m] (幅 10[m]) 程度の誤差が多く見られる。オリジナルの *MeshSize* =1 では GPS 誤差により *LatCode*, *LonCode* が1ずれてしまい実際は同じ場所なのに隣のメッシュと誤認される恐れがある。これを避けつつ、局所的な不具合を表現できるように *MeshSize*=2 を計測区間とすることにした。

4. 計測結果

4-1 調査対象道路

熊本地震の本震とされる 4/16 の推計震度分布図を気象庁の Web ページの図[5]を引用し図4に示す。この図から道路被害が大きいと予想された地域で路面性状調査を行った。熊本県内は益城町と熊本市の周辺延べ約 3,000[km]、大分県内は別府市の周辺の約 400[km]で、調査した道路を図5に示す。

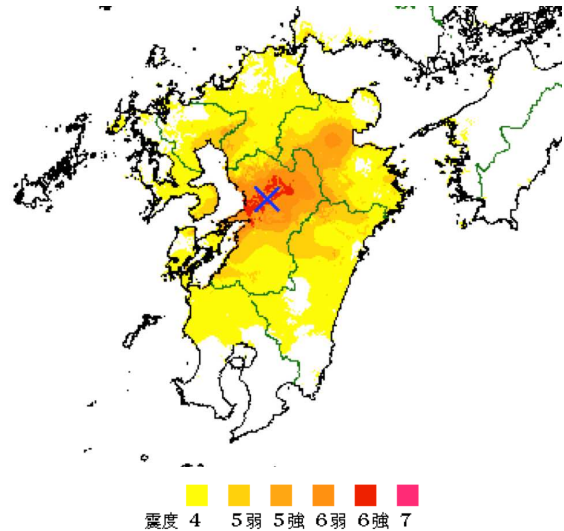


図4 推計震度分布図

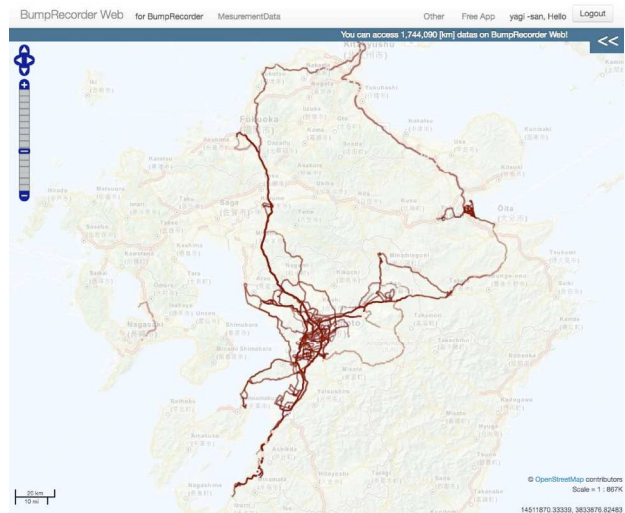


図5 調査実施道路

4-2 計測調査当時の現地の状況

調査当時の現地の状況について述べる。計測走行中に車載カメラで撮影した益城町の状況を写真1～3に、阿蘇市の状況を写真4、5に示す。写真1では左に写っている2階建て家屋は1階部分が押しつぶされている。写真2では左の家屋も1階が被災しており、倒壊の恐れがあるためか左折車線が規制されている。写真3では左の路面が破損し舗装が剥がれ、右の交差道路との境にあるグレーチング（排水路の蓋）がめくれ上がっている。写真4では舗装が剥がれている箇所が断続的に生じており、この区間の手前に「段差あり」の注意看板が設置されている。写真5は写真4と同じ道路の別区間で舗装の剥がれと同時に大きな段差も生じている。このような状況を定量的に把握できるかを実際の現場で確認すると

ともに、その結果を復旧復興の一助とすることが今回の計測調査の目的である。



写真1 益城町の家屋被害



写真2 益城町の家屋被害



写真3 益城町の道路被害



写真4 阿蘇市の道路被害

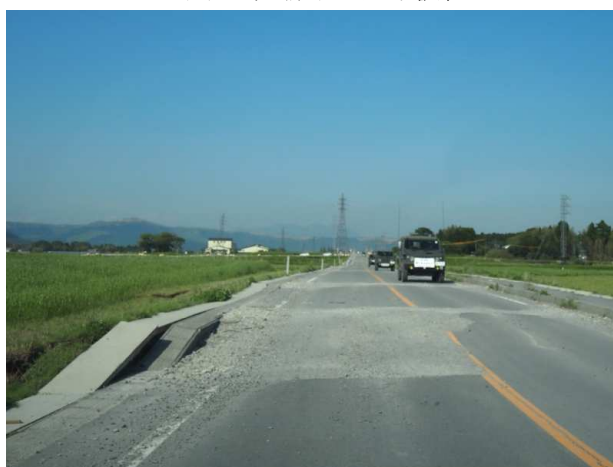


写真5 阿蘇市の道路被害

4-3 地震後の路面状況

図6に益城町周辺での計測結果を示す。日本の道路維持管理指標である平坦性 σ の値を線の色で示し、水色が最も平坦で、青、緑、茶、赤となるに従い路面凹凸が激しくなっていることを示す。また青の三角の大きさが段差の大きさを示している。図の上側を東西に走る道路と右上を南北に走る道路で被災が大きそうである。

ところで路面は必要なレベルで平坦になっているが、完全に平坦なわけではない。道路は排水性能を確保するために中央線付近が高く、路肩に向かって低くなっている。交差点では直行する道路を横断する形となるため、凸になっている。マンホールの擦り付け部や、橋と道路の接続部でも凸形状が多く見られる。これらを踏まえて考えると、図6に示す平坦性が悪い箇所、段差が存在する箇所が、被災した結果なのか、地震前からその状態なのか、見分けることは難しい。たとえば図6の右下の緑の矢印部分にある段差は被災のあとだろうか。

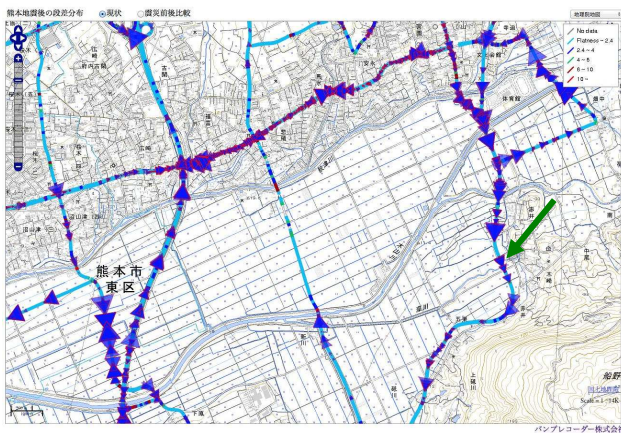


図6 益城町の地震後の路面性状

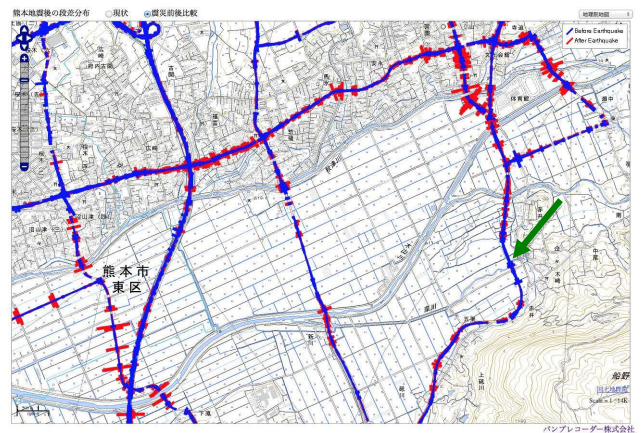


図7 益城町周辺の路面性状の地震前後比較

4-4 地震前後の路面状況比較

パンプレコーダー社では、グローバル・サーベイ社の協力を得て、2012年12月より日本全国での路面性状計測を行っており、熊本県内、大分県内の地震前の計測データがある。過去3年以内に計測したデータを用い地震前と地震後の路面性状比較を行い、地震被害の状況をより明確に示すことを試みた。

図7に益城町周辺での地震前後の比較結果を示す。この図では平坦性 σ の大きさを線の太さで示し、細い線は平坦、太い線は路面凹凸が大きいことを示している。地震後のデータを赤線で描画したあと、地震前のデータを青線で上書き描画している。地震前後で平坦性 σ が同じであれば線の太さは同じとなるため赤線は見えない。赤線が見えるところは、地震後に平坦性 σ が悪くなった、すなわち被災したことを示す。地震前、地震後のいずれかのデータしかない区間は比較できないため描画していない。

図6に比べ図7では被災の状況がより明確に読み取れることがわかる。先の図6の緑の矢印の部分を図7で見ると赤線の表示はなく、地震前から状況は変わっていない、つまり被災していないと判断される。

図8に東西約20[km]の広域の地震前後比較を、図9に東西約40[km]のさらに広域の地震前後比較を示す。これらを見ると益城町から南西方向、北東方向に道路被害が広がっていると読み取れる。

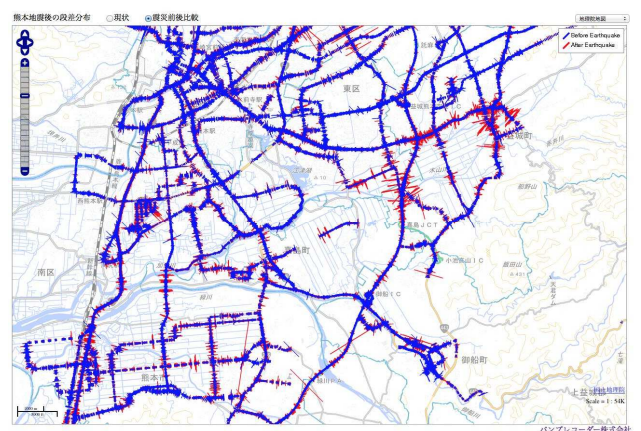


図8 益城町周辺の路面性状の地震前後比較

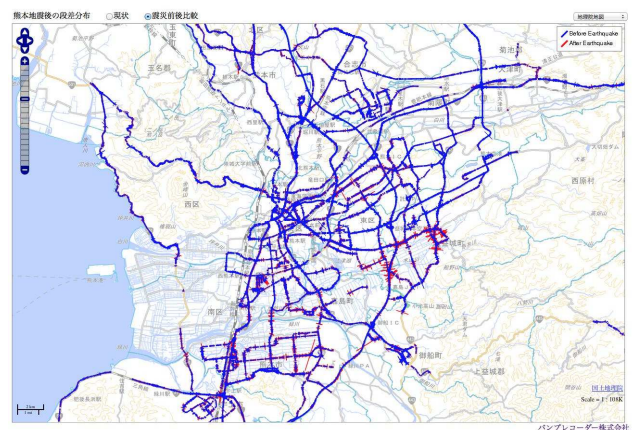


図9 益城町周辺の路面性状の地震前後比較

5. 今後の課題

路面性状の地震前後比較から益城町周辺での道路被災状況を簡便な方法で明らかにすることができた。その一方、被災状況を明確に示せなかった地域がある。図10に阿蘇市での地震後の計測結果を示す。市内全域とまでは行かないが、複数の幹線道路など

で調査を行った。図11に地震前後の比較結果を示す。残念ながら過去3年以内の地震前の計測データが少なく、前後比較できる道路が大幅に限られる結果となった。平常時からのデータ収集・蓄積の重要性が改めて示されたといえる。

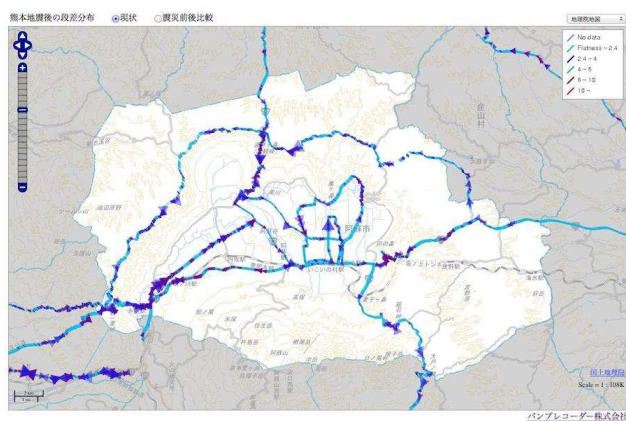


図10 阿蘇市の地震後の路面性状較



図11 阿蘇市の路面性状の地震前後比較

6. おわりに

汎用の自動車と汎用のスマートフォンのみを用いたレスポンス式路面性状計測により、地震後の道路被災状況を早期に開始し、かつ短期に結果を出すことができた。また地震前後のデータを比較することで道路の被災状況をより明確に示すことができた。

その一方、地震前のデータが少なく前後比較ができない課題に直面した。平常時の道路維持管理への活用が進み、いつ、どのような場所でも状況が把握できるようになることを期待したい。

引用文献

- [1] 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、ITS シンポジウム、2011
- [2] YAGI, Koichi, Smartphone based road bump

detection method, and measurement result of road damage from the great east japan earthquake、ITS 世界会議、2013

- [3] 八木浩一、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、土木学会舗装工学講演会、2013
- [4] 松本剛也ほか、路面性状調査結果を踏まえた舗装補修システムの構築、土木建設技術発表会概要集
- [5] 気象庁、http://www.data.jma.go.jp/svd/eeew/data/suikai/201604160125_741/201604160125_741_1.html、2016.10 現在