

スマートフォンのセンサーデータに基づく 路面性状簡易診断サービスの実用性 に関する検討

渡部 大輔¹・八木 浩一²・牧野 浩志³

¹正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)
E-mail: watanabe-d8310@nilim.go.jp

²正会員 バンプレコーダー(株)
(〒115-0045 東京都北区赤羽1-59-9-207)
E-mail: yagi@bumprecorder.com

³正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室
E-mail: makino-h87bh@nilim.go.jp

本研究では、路面性状の確認を効率的かつ効果的に実施するために、スマートフォン端末を車両に搭載して走行することにより、センサーデータを自動的に収集・蓄積し、その値から国際ラフネス指数、平坦性指標、周波数スペクトル等を算出し、路面の段差、ひび割れ、わだち掘れが生じている箇所の検知を行う路面性状の簡易診断サービスの実用性に関する検討を行った。

その結果、走行毎で国際ラフネス指数や平坦性指標の値に若干のばらつきはあるものの、路面の段差やひび割れなどを検知できるため、実務への適用性が高いこと、さらに、ひび割れ路面の走行時に周波数スペクトルの値が35Hz～60Hz帯で大きな振幅を示す特徴があり、その特徴には走行速度に依存しないことや、わだち掘れ箇所においては、ジャイロセンサーのロール角速度で不偏分散の値が大きくなることを知見として得た。

Key Words : *Smartphone, sensor data, IRI, Road management*

1. はじめに

我が国の社会インフラの老朽化対策が社会的問題として注目されている中で、道路管理者が定期的に点検・診断を行うことにより、安全性の確保や維持管理の効率化につながるような予防保全を実施するようなメンテナンスサイクルの重要性が提言¹⁾されている。

その中で、現在の現場における道路管理の方法は、2日に1回のペースで道路維持管理車両による道路巡回を行い、路面性状の目視確認を実施している。

道路巡回は、数十キロ以上におよぶ対象道路を1日かけて目視確認することから、大きな労力と損傷箇所の見落としがあることが課題になっている。

この課題に対して、道路管理者が道路巡回の前に点検対象道路のうち、路面損傷が生じている箇所と損傷の大きさを把握できると道路巡回時に注視すべき箇所の絞込が可能のため、道路巡回点検の効率化や損傷箇所の見落としの防止に役立つと考えており、さらに、路面の経年劣化をモニタリングや自動記録が可能になると、路面損

傷が致命的な状態になる前の予防保全の実施にも効果があると考えている。

本研究では、道路管理に必要な路面性状の点検を効率的かつ効果的に実施するために、スマートフォン端末を車両のダッシュボード上に搭載して道路を走行することにより、センサーデータを自動的に収集・蓄積し、その値から国際ラフネス指数²⁾、平坦性指標²⁾、周波数スペクトル等を算出し、路面の段差、ひび割れ、わだち掘れが生じている箇所の検知を行うような路面性状の簡易診断サービスの実用性に関する検討を行った。

具体的には、スマートフォンを車両のダッシュボード上に搭載して道路を走行することによりGPS位置測位、3軸加速度センサーやジャイロセンサーの情報を収集し、その値から国際ラフネス指数、平坦性指標、周波数スペクトル等を算出して、実際の路面状況と比較することにより、路面の段差、ひび割れ、わだち掘れが生じている箇所の検知が行えるのかを確認した。

2. 既往研究と本研究の位置付け

路面性状の推定に関する既往研究は、八木らの研究³⁾では、スマートフォン付属の加速度センサーを用いて、路面（20m区間）の平坦性指標の算出を行い、その値と路面プロファイラの計測値と比較して、相関係数0.79～0.88程度の高い相関性を確認しているものの、道路の維持管理に必要なわだち掘れやひび割れの指標の計測が出来ないことが課題となっている。

また、浅田らの研究⁴⁾では、舗装のひび割れ評価手法について、車載カメラの撮影画像から検知した結果と路面測定車の結果について、それぞれ「ひび割れレベル（3段階）」に換算した比較を行い、80%以上の一致率を得たという報告があるものの、横断ひび割れや細かく短いひび割れについて検知が難しいことや、路面のタイヤ痕等のノイズ要素の十分な除去が難しいことが課題となっている。

これらの既往研究に対して、本研究は、スマートフォン端末を用いて国際ラフネス指数、平坦性指標、周波数スペクトル等を算出し、路面の段差、ひび割れ箇所の検知を行う路面性状の簡易診断サービスの実用性に関する検討を行った。

また、路面の細かいひび割れ区間を車両で走行する際の上下加速度の周波数スペクトルに着目して、路面のひび割れの状況により周波数成分の振幅量の特徴を抽出することにより、これまでの路面性状判別を精緻化できるという仮説を設定、走行速度毎・路面状況毎の周波数成分の特徴の分析を実施した。

さらに、わだち掘れ区間は、道路ユーザが車で走行時にハンドルを取られるため、現場の道路管理において住民からの苦情などの大きな原因となっているものの、縦方向に大きな路面性状の変化が無く、既往研究でも状態検知が難しいと考えられている。

これに対して、わだち掘れ区間を走行する際の車両のわずかな左右揺れをジャイロセンサーの値により把握することができるという仮説を基に、わだち掘れ区間の検知可能性の検討を実施した。

3. スマートフォンを用いた走行実験の概要

(1) 実験システムの概要

今回の実験においては、バンプレコーダー（株）のご協力のもと、スマートフォン端末にBumpRecorderアプリ⁵⁾をインストールして、図-1のような実験システムを用いてデータ収集、蓄積、各種指標化を実施した。

日本において、スマートフォン端末で路面性状を把握するサービスが複数実施されているものの、インターネット検索で調査した結果、BumpRecorderアプリがスマー

トフォン端末の傾き補正を自動で行う仕組みになっており、今回の実験を効率的に行えると考え、採用している。

BumpRecorderアプリは、スマートフォン端末を車両のダッシュボード上に設置した状態から、バネ上（サスペンションより上）の3軸加速度等を計測する。その際、3軸加速度等の計測値からスマートフォン端末の設置角度を自動で推定して、傾き補正を行う仕組みになっており、補正後のバネ上の変位量のデータが端末に逐次蓄積する。走行実験によるデータ収集完了後、スマートフォン端末の蓄積データをサーバにアップロードし、データからバネ特性の推定を行い、バネ下（サスペンションより下）の上下変位量の推定を行い、国際ラフネス指数、平坦性指標、段差指標の算出を自動的に行える仕組みとなっている。そのため、各種指標については、算出結果の有効性の確認を行う。

なお、周波数スペクトルとジャイロセンサーの値は、実験システムでは自動算出できないため、別途作業を行い、とりまとめ結果について分析を行う。

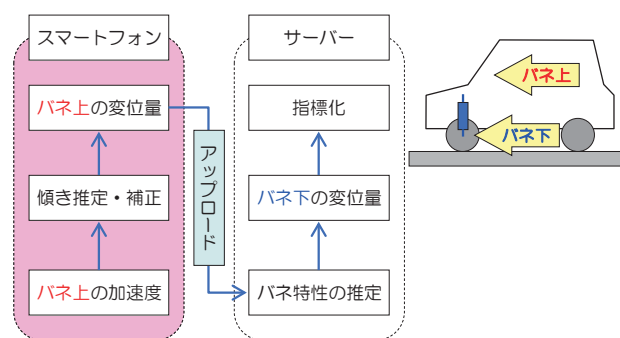


図-1 実験システムの概要

(2) 走行実験の概要

つくば市内の道路で、実際に路面にひび割れ、わだち掘れが生じている区間を選定して、実走行計画を実施した。なお、車速を10km/h台～40km/h台まで、約10 km/h毎に速度を変化させて走行した。

走行にあたっては、出来る限り一定の速度で走行区間を通過することに留意して走行実験を実施した。

走行実験概要については、表-1のとおりである。

表-1 走行実験概要

実験日時	6/30(月) 4時30分～7:10分頃
実験対象	・ひび割れ区間 走行試験
区間と走行回数	つくば市 東新井地区 西大通り (北向き32回走行、南向き29回走行) ・わだち掘れ区間 走行試験(7回走行) つくば市 旭地区 西大通り(北向き)
車種	トヨタヴィッツ H17年製

	走行距離 3万8000km程度 前後輪間隔 2460mm
スマートフォン機種	AQUOS PHONE ZETA SH-01G Android version version 4.46
計測周期	GPS測位センサー 1秒 加速度センサー 125.0 [Hz] ジャイロセンサー 169.4 [Hz]
計測範囲	加速度センサー ±4G ジャイロセンサー 34.906586 [rad/s]
分解能	加速度センサー 0.009576 [m/s ²] ジャイロセンサー 0.001745 [rad/s]

実験対象区間の路面損傷状況は、図-2と図-3の黄色線内のとおりに示す。

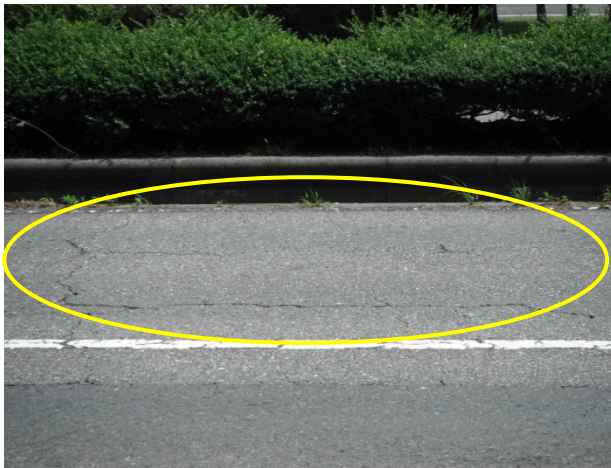


図-2 東新井地区のひび割れ箇所状況

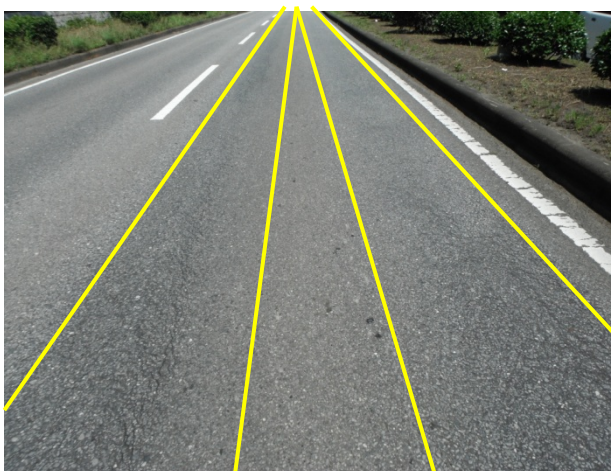


図-3 旭地区のわだち掘れ箇所状況

試験にあたっては、図-4のようにスマートフォン端末をクレイドルでダッシュボード上に固定した。

その際、スマートフォン端末の下端がダッシュボード

上に接するように設置することにより、走行時にスマートフォン端末が揺れないことに留意した。



図-4 スマートフォンの設置状況

ひび割れ区間のデータ収集については、図-5のように赤矢印の順序で走行して、北向き路線、南向き路線のデータを収集した。

わだち掘れ区間のデータ収集については、図-6のように赤矢印の順序で、走行して北向き路線、南向き路線のデータを収集したが、わだち掘れ区間は北向き路線のみのため、南向き路線のデータは利用しなかった。

走行の際には、出来る限り一定速度になるように留意した。



図-5 つくば市 東新井地区 西大通り（北向き・南向き）

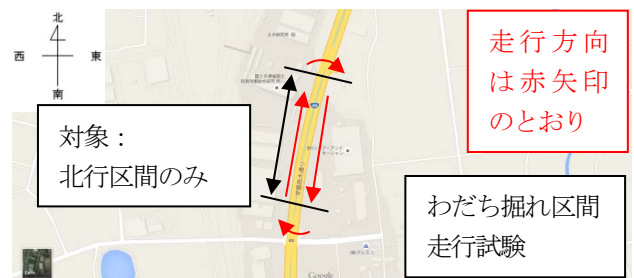


図-6 つくば市 旭地区 西大通り（北向き）

4. 路面簡易診断指標の各種計算方法の整理

(1) 各種指標の計算フロー

実験システムにおいて、スマートフォン端末で収集した各種センサーデータは、図-7のとおり計算を行う。

その際、一部センサーデータは、量子化⁶⁾した上で、テキストデータとして、保存し、サーバに送信する。

その後、サーバでは車両特性推定, 路面プロファイル算出⁷⁾, 各種指標算出の順で計算を行う。

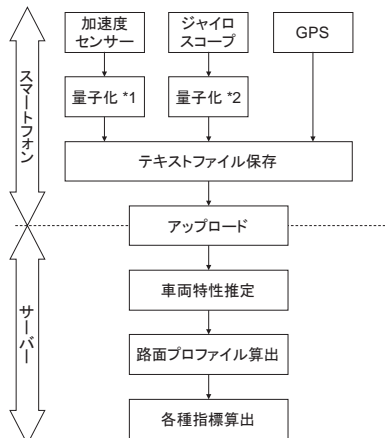


図-7 センサーデータの計算フロー

(2) 各種指標の計算方法

a) 路面プロファイル

バネ上で観測された加速度からバネ上変位量を算出するとともに、車両をバネとダンパーからなる1質点系のバネモデルに整理し、バネ下変位量を求め、バネ下変位量を路面プロファイルとみなして各種指標を算出した。バネ上変位量の算出は以下のとおり。

$$dAz(i) = Az(i) - \frac{\sum_{j=i-5f+1}^{i+5f} Az(j)}{10f} \quad (1)$$

$$Vz(i) = Vz(i-1) + \frac{dAz(i)}{f} \quad (2)$$

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

$$Zu(i) = Zu(i-1) + \frac{dVz(i)}{f} \quad (4)$$

ただし、

Az(i) : 観測された上下方向加速度 [m/s²]

f : 加速度のサンプリング周波数 [Hz]

dAz(i) : 上下方向の動加速度成分 [m/s²]

Vz(i) : 上下方向移動速度 [m/s]

dVz(i) : 上下方向移動速度の動的成分 [m/s]

Zu(i) : バネ上変位量 [m]

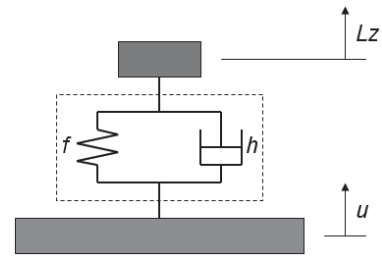


図-8 1質点系バネモデル

バネ下変位量の算出は以下のとおり。

$$\ddot{Z}_s(L) + 2h\omega(\dot{Z}_s(L) - \dot{Z}_u(L)) + \omega^2(Z_s - Z_u) = 0 \quad (5)$$

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

ただし、

Zs(L) : バネ上変位量 [m]

Zu(L) : バネ下変位量 (路面プロファイル) [m]

h : 減衰比

ω : 角振動数 (共振周波数) [rad/s]

b) 国際ラフネス指数

国際ラフネス指数 (IRI) は、(5)の算出結果を(7)を入力して算出する。

$$IRI = \frac{1}{n} \sum |Zs(L) - Zu(L)| \quad (7)$$

ただし、

IRI : IRI [mm/m]

Zs(L) : 路面プロファイル [m]

Zu(L) : バネ上変位量 [m]

n : 区間内のデータ数

なお、IRI については、図-9 のように、路面性状に対する国際ラフネス指数の関係が整理されている。

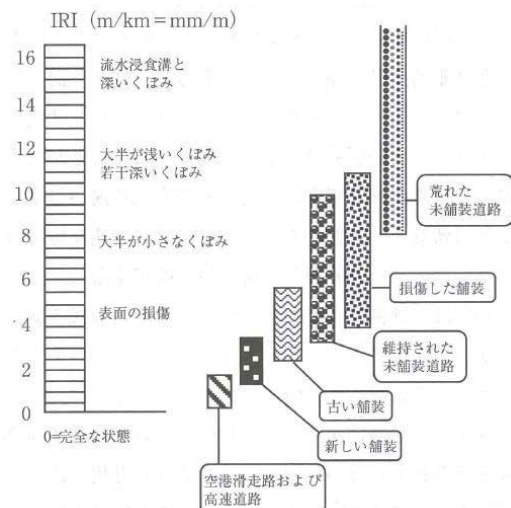


図-9 路面性状に対する国際ラフネス指数の関係

c) 平坦性指標

平坦性指標 (σ) の算出式については下記のとおり。

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

ただし、

L : 位置 [m]

p3(L) : 3m プロフィロメータの読み値 [mm]

Zu(L) : 路面プロファイル [mm]

Zu(L-1.5) : 1.5m 手前の路面プロファイル [mm]

Zu(L+1.5) : 1.5m 後の路面プロファイル [mm]

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum p_3(L)^2 - \frac{(\sum p_3(L))^2}{n}}{n-1}} \quad (9)$$

ただし、

σ : 平坦性 (σ) [mm/m]

p3(L) : 3m プロフィロメータの読み値 [mm]

n : 区間内のデータ数

d) 段差指標

段差指標⁸⁾とは、路面の段差を検出するための指標で、路面に段差がある場合は、車両の前輪と後輪が段差を通過するため、その振動が2回発生するという仮定のもとに、一定間隔において2回振動があったもののみ抽出するための指標で、計算式は(10)の同時性指標⁸⁾を算出後に、(11)のとおり算出する。

(計算上、単位は m^4/s^8 となるが、特性抽出のための指標であり、物理的意味を持つものではない。)

$$SDyz(L) = SDy(L) \times SDz(L) \quad (10)$$

ただし、

SDyz(L) : 同時性指標

SDy(L) : 前後軸加速度の 50ms 標準偏差 [m/s^2]

SDz(L) : 上下軸加速度の 50ms 標準偏差 [m/s^2]

$$Byz(L) = SDyz(L) \times SDyz(L - wb) \quad (11)$$

ただし、

Byz(L) : 段差指標

L : 位置 [m]

wb : ホイールベース (前後輪間隔) [m]

(3) 周波数スペクトルの計算方法の整理

a) フーリエ解析の概要

観測信号には様々な周期の変動成分が含まれており、信号に含まれる振動周期の度合い、すなわち周波数変動を把握するために用いる周波数解析手法において代表的なものとしてフーリエ解析⁹⁾がある。

フーリエ解析は、任意の信号は様々な周波数をもつ三角関数を用いて表すことができるという性質により、(12)のような数式が定義されている。

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (12)$$

a_0 : 周期信号 $f(x)$ の直流成分に対応

$\cos n\omega t$ と $\sin n\omega t$ の信号成分は、 $n=1$ すなわち $\cos \omega t$ と $\sin \omega t$ が基本波成分に対応し、 $n \geq 2$ は基本周期に対する高調波成分と呼ばれる。

係数 a_n, b_n はフーリエ係数と呼ばれ、それぞれ周期信号 $g(t)$ に含まれる \cos 成分と \sin 成分の大きさを表す。

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T g(t) dt \quad (13)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos n\omega t dt \quad (14)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin n\omega t dt \quad (15)$$

b) 高速フーリエ解析の概要

実際に観測される連続的な信号をコンピュータ上でフーリエ解析計算する場合は、信号を離散化する処理を行う。離散化した有限個の信号に対しては、離散フーリエ変換が適用される。離散信号を $g(i)$ とすると、周波数 k に対する離散フーリエ変換は(16)で定義される。

$$G(k) = \sum_{i=0}^{N-1} g(i) \exp\left(-j \frac{2\pi k i}{N}\right) \quad (16)$$

$(0 \leq k \leq N-1)$

今回の分析に利用した高速フーリエ変換は、離散フーリエ変換を高速に実行するために、指数関数の周期性を活用して計算量を減らして実行するアルゴリズムである。時間領域におけるサンプル数 N の信号列に対して、離

散フーリエ変換を実行する際、 N^2 回の乗算と $N(N-1)$ 回の加算となり、 N が非常に大きいと、演算処理に膨大な計算量を要する。その演算処理を効率化するために提案された手法が高速フーリエ変換であり、指数関数の周期性に着目して計算量を大幅に減らすことができる。

(4) ジャイロセンサーによるわだち掘れの検知方法の整理

わだち掘れ区間について、スマートフォン端末のジャイロセンサーを用いた、検知方法を検討した。

通常、わだち掘れは重量の大きな大型車両等によって作られやすい性質があるため、わだち掘れの間隔は、大型車両等のタイヤの間隔となり、普通乗用車の車輪の幅よりも広い部分に溝が生じると考えられる。

したがって、その路面上を普通乗用車が走行した場合は、**図-10**のように車両に左右の揺れが発生すると推測した。

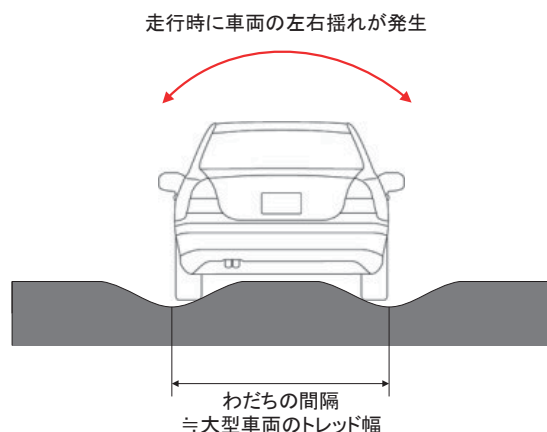


図-10 わだち区間の車両挙動の仮説

そこで、車両の左右揺れを検出可能な方向値であるロール角速度について、わだち区間と通常の路面区間において、平均値、標準偏差、不偏分散の比較を実施した。

5. 試験結果の整理

(1) 国際ラフネス指数の算出結果

国際ラフネス指数は、10m毎のサンプルデータを集計して**4.(2) b)**に示す計算方法で算出しており、**図-11**と**図-12**において、結果を平均走行速度毎(10km/h台~40km/h台)に色分けしている。

国際ラフネス指数による評価は、通常、160m(0.1mile)~320m(0.2mile)程度で行われている¹¹⁾。しかしながら、実務への適用を考慮すると、これよりも細かい分解能で路面損傷箇所の特特定が行える方が、実用性が高いため、今回は、10m単位の区間で指標算出および確認を行った。

国際ラフネス指数の値は、**図-9**に示すとおり、2~4までが「新しい舗装」、4~11までが「損傷を受けた舗装」

と定義されている。

したがって、**図-11**において、IRIが4を超えている区間を確認すると、0m~60m区間、160m~170m区間、200m~210m区間が該当(1サンプルだけ閾値を超えたものは除く)しており、同様に**図-12**においては、0m~10m区間、50m~60m区間、90m~120m区間、140m~200m区間で、超えており、それぞれ、現地において、ひび割れや段差が路面に発生している。

また、国際ラフネス指数が大きい箇所の路面状況について、代表例を**図-13**、**図-14**に示す。**図-13**では、路面に縦横に短いヘアクラックが多数発生している上に、若干の路面のへこみが確認できる。また、**図-14**は、縦に長いヘアクラックが複数発生している様子が確認できるため、現地の路面性状を概ね正しく検出可能なことが分かった。

図-11、**図-12**は、全体的に走行回毎の算出値にばらつきがあるものの、速度差によるばらつきの変動がないことが確認できた。

このため、実務に適用する際は1回の走行結果ではなく、複数回の算出値からその傾向を確認する必要があると考えられる。なお、算出値がばらつく理由としては、毎回同じ位置を車で走行しているつもりでも、タイヤの通過する路面位置に若干の誤差があることが推測される。

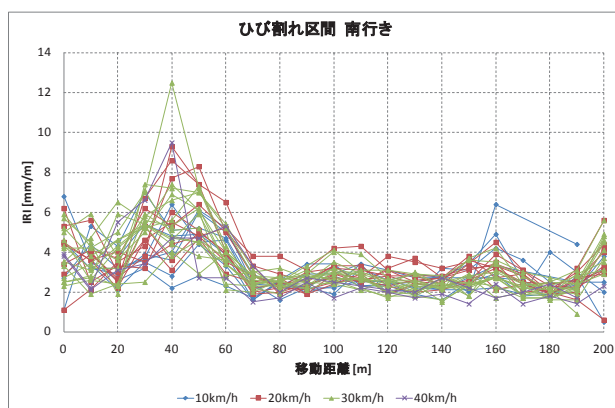


図-11 ひび割れ区間IRI (南行き)

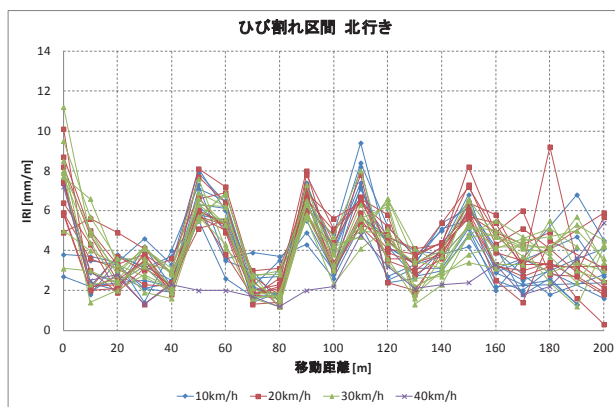


図-12 ひび割れ区間IRI (北行き)



図-13 南向き40m～50m付近の路面状況

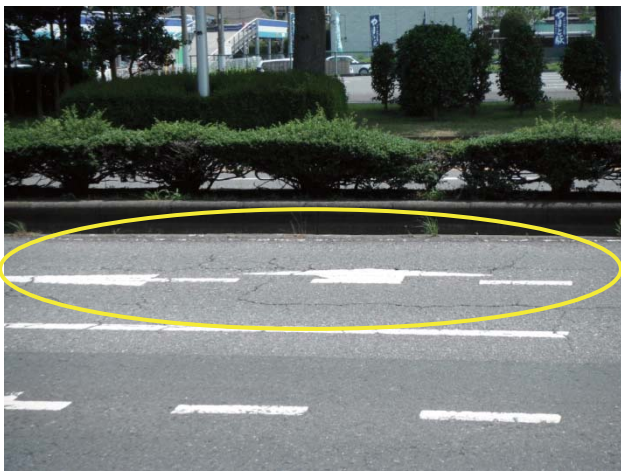


図-14 北行き40m～50m付近の路面状況

(2) 平たん性指標の算出結果

平たん性指標のグラフについても国際ラフネス指数と同じように10m毎で計算しており、図-15と図-16の結果となった。全体的に走行回毎の算出値にばらつきがあるものの、速度差によるばらつきの変動がないことが確認できた。

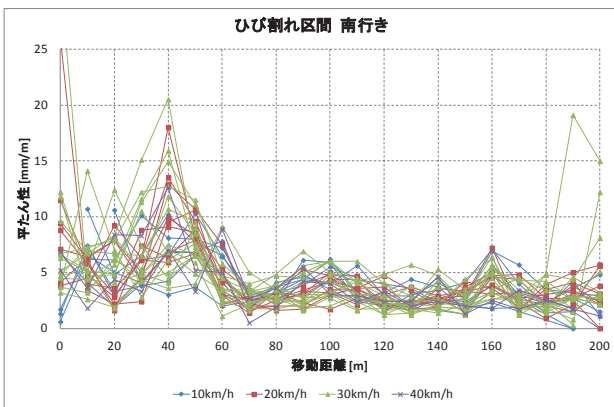


図-15 ひび割れ区間平たん性指標（南行き）

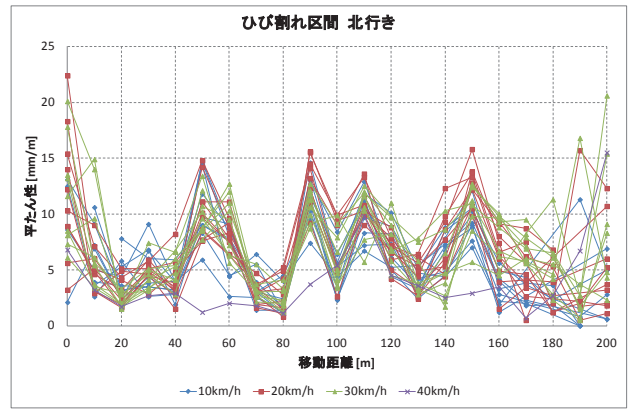


図-16 ひび割れ区間平たん性指標（北行き）

図-15と図-16をそれぞれ図-11、図-12と比較すると20m～180mの間では、類似したグラフ波形が確認できるものの、0m～20m区間と180m～200m区間では、平たん性指標の方が値のばらつきが大きくなる傾向が確認されたため、今後、原因を検証する必要がある。

また、実務に適用する際は国際ラフネス指数と同じく、1回の走行結果ではなく、複数回の算出値からその傾向を確認する必要があると考えられる。

(3) 段差指標の算出結果

段差指標のグラフについては、図-17と図-18の結果となった。

IRIや平たん性指標の時と同じく、図-17は、40m～50m区間、図-18は、50m～100m区間において、指標の値が大きくなっている箇所があったため、図-13、図-19、図-20の路面状況との比較を行った。

図-13は、5.(1)に記載したとおり。図-19は、縦横のヘアクラックとその一部をパッチングの補修跡が確認でき、図-20は、縦横に比較的太いヘアクラックが確認でき、図-21は、縦横のヘアクラックとその一部をパッチングの補修跡が確認できるため、正しく路面性状を検知できていることが確認された。

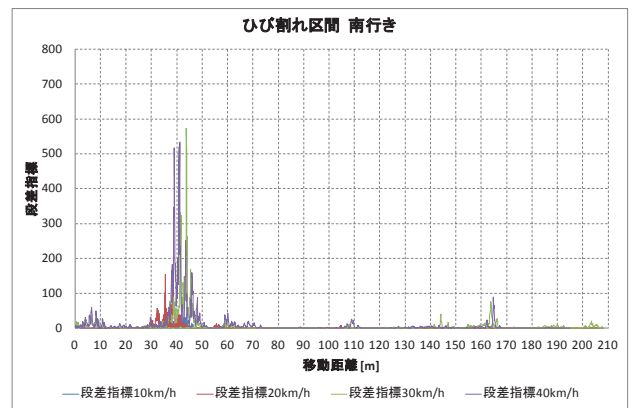


図-17 ひび割れ区間段差指標（南行き）

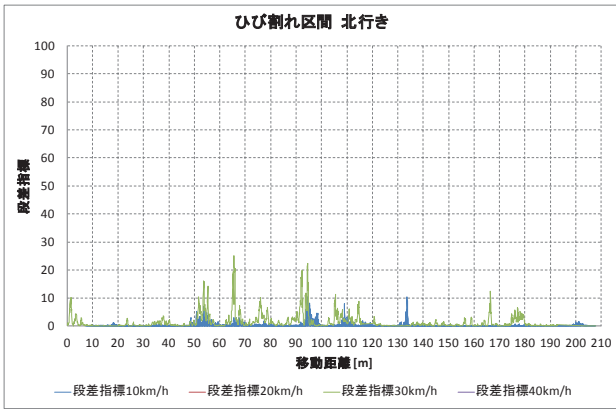


図-18 ひび割れ区間段差指標（北行き）

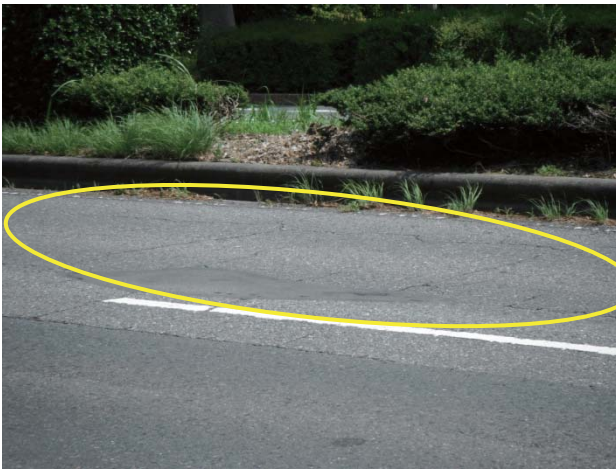


図-19 北行き60m～70m付近の路面状況

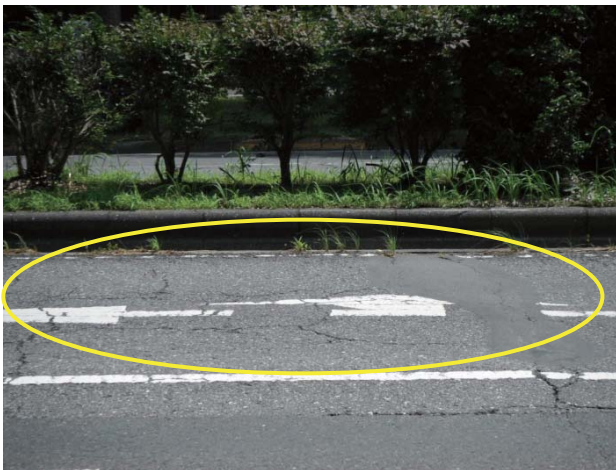


図-20 北行き70m～80m付近の路面状況

国際ラフネス指数や平坦性指標と比較して、路面損傷の大きな箇所をピンポイントで抽出できることから、実務において、補修が必要な重度なひび割れ箇所の把握に利用できると考える。

(4) 周波数スペクトルの算出結果

周波数スペクトルのグラフについては、図-21と図-22の結果となった。

周波数スペクトルの分析において、梅野の研究¹²⁾によると、30Hz～40Hz 付近の領域はサスペンションの前後振動による共振が発生し、その値は、タイヤの空気圧（200kPaと120kPa）によって35Hz～40Hz程度に変化するという報告がある。

その内容を考慮して、図-21と図-22を確認すると、20Hz帯付近（黄色点線部）に大きな振幅が発生しており、路面からの衝撃に対して、車両の共振が想定される。

また、35Hz～60Hz 付近（赤色点線部）については、他の周波数帯よりも大きな振幅が生じる傾向があるため、この周波数帯がひび割れ上を走行する際の振動を拾っており、この値の特徴抽出により、ひび割れの状況の判別ができると推測する。

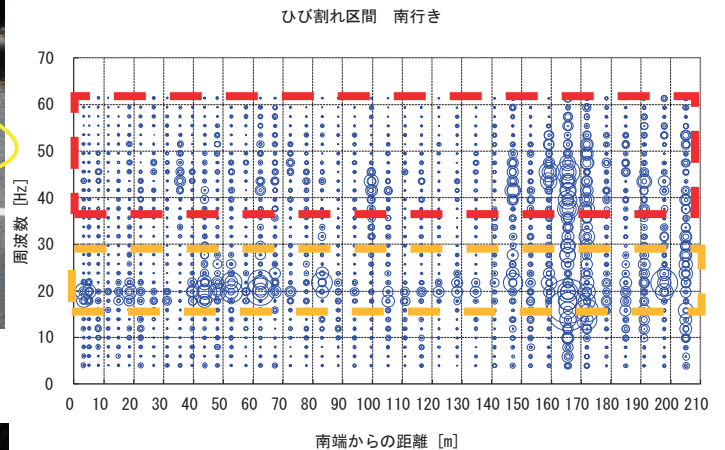


図-21 ひび割れ区間周波数スペクトル（南行き）

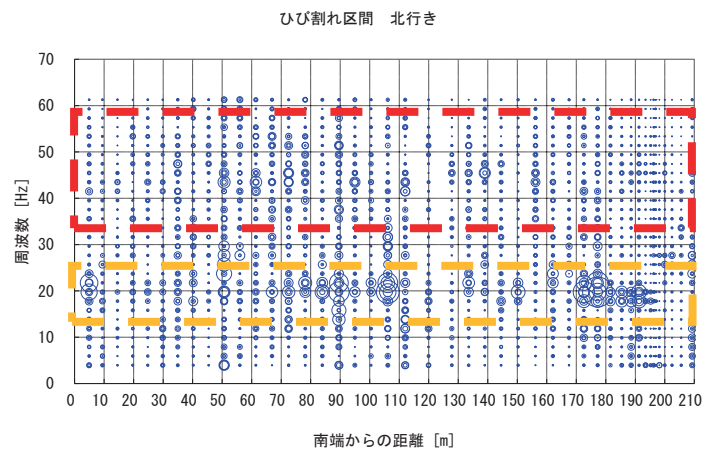


図-22 ひび割れ区間周波数スペクトル（北行き）

今回の走行実験では、車両の速度を変えて計測を行っているため、表-2のとおり、ひび割れが存在する区間を絞り込んだ上で、同一区間における速度毎の周波数スペクトルの特性を図-23～図-25のとおり整理した。

表-2 ひび割れ区間の絞込区間

絞込区間	南端からの距離
北上区間1	約20m ~ 約45m
北上区間2	約80m ~ 約100m
南上区間	約150m ~ 約200m

図-23～図-25において速度により周波数特性の振幅が変化しない傾向があることが確認された。

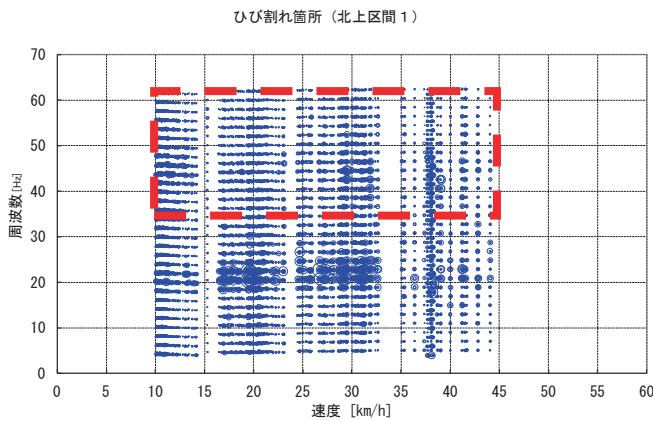


図-23 ひび割れ区間周波数スペクトル(北上区間1)

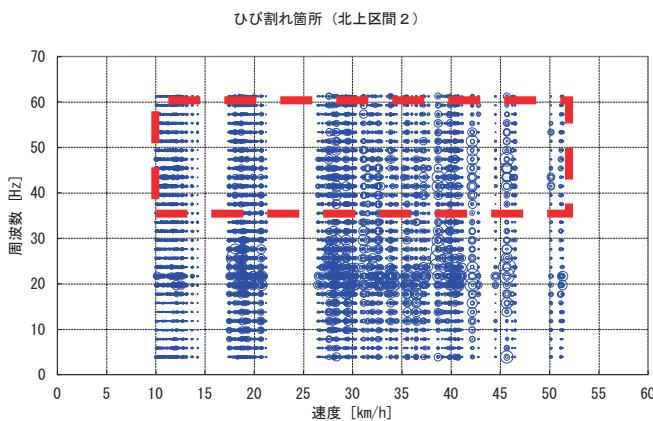


図-24 ひび割れ区間周波数スペクトル(北上区間2)

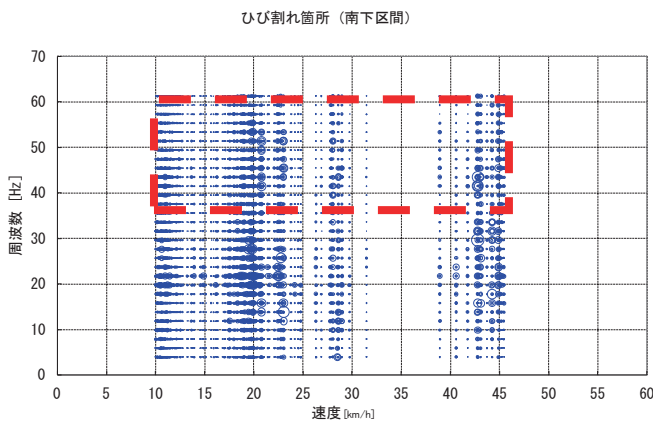


図-25 ひび割れ区間周波数スペクトル(南上区間)

(5) ジャイロセンサーの角速度の算出結果

ジャイロセンサーのグラフについては、図-26、図-27、図-28の結果となった。

スマートフォンの設置状況から車両が走行中に左右に揺れる挙動は、ロール角速度の方向に表れると想定して、図-28の分析を実施した。

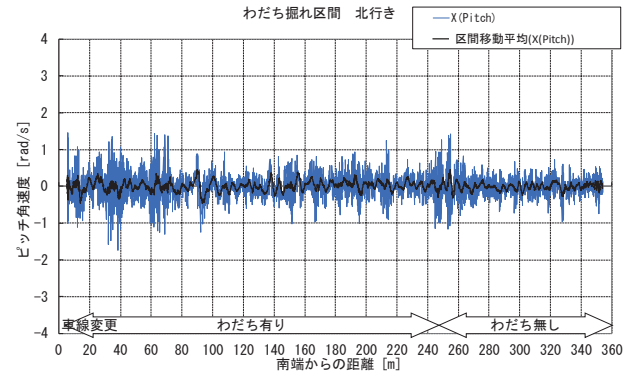


図-26 わだち掘れ区間ピッチ角速度(北行き)

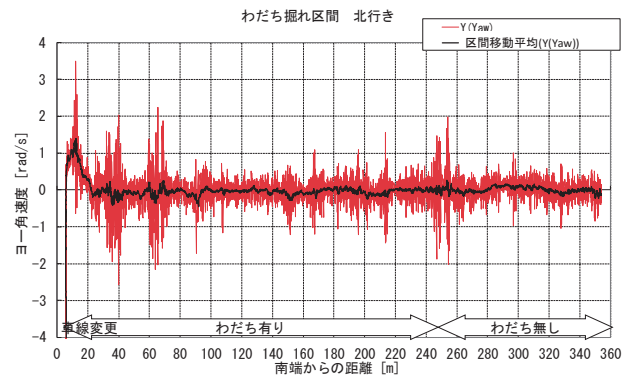


図-27 わだち掘れ区間ヨー角速度(北行き)

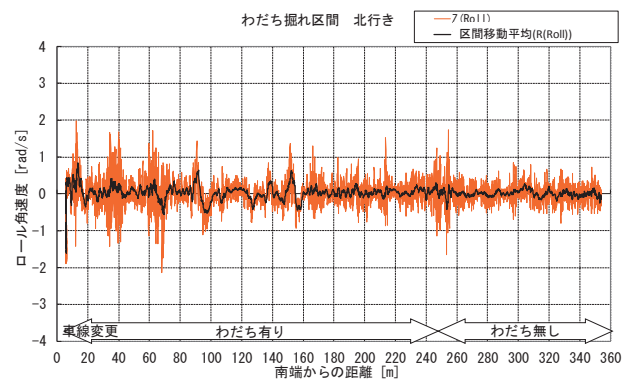


図-28 わだち掘れ区間ロール角速度(北行き)

わだち有り区間(南端から140m～200m)とわだち無し区間(南端から280m～340m)のデータをサンプル的に抽出して、表-3に結果を整理した。

わだち掘れ区間の方が、平均値は低いものの、標準偏差や不偏分散が若干大きくなっていることや、最大値、最小値の値の絶対値が大きくなっていることから、計測

値のばらつきが発生していることが推測される。

不偏分散が若干大きくなっている理由は、わだち掘れ区間の方が、左右に揺れる挙動が多く起こるためと推測される。

よって、不偏分散の値が若干大きくなっていることに着目して、わだち掘れ区間とわだち無し区間の値の比較を行った。わだち掘れ無し区間の値 (0.0691) を損傷が無い路面の基準とすると、わだち掘れ区間の値 (0.1137) は、約1.64倍になっている。

今回の実験では、1区間を選定して、7回走行のみ行っているため、閾値の確定はできないものの、今後の研究の参考値を確認することができた。

表-3 わだち掘れ区間のセンサー値の傾向

道路種別	わだち掘れ区間 (南端から140m～200m)	わだち掘れ無し 区間(南端から280m～340m)
サンプル数	4253	4956
平均値	0.0167	0.0258
標準偏差	0.3373	0.2629
不偏分散	0.1137	0.0691
最小値	-1.24414	-0.99531
最大値	1.502539	1.148438
中央値	0	0.019141

6. おわりに

本研究では、路面性状の確認を効率的かつ効果的に実施するために、スマートフォン端末を車両に搭載して走行することにより、センサーデータを自動的に収集・蓄積し、その値から国際ラフネス指数、平坦性指標、周波数スペクトル等を算出し、路面の段差、ひび割れ、わだち掘れが生じている箇所の検知を行う路面性状の簡易診断サービスの実用性に関する検討を行った。

その結果、走行毎で国際ラフネス指数や平坦性指標の値に若干のばらつきがあるが、路面の段差やひび割れなどを概ね検知できるため、実務への適用性が高いこと、さらに、ひび割れ路面の走行時に周波数スペクトルの値が35Hz～60Hz帯で大きな振幅を計測する特徴があり、その特徴には速度依存性がないことや、わだち掘れ箇所においては、ジャイロセンサーのロール角速度の値で不偏分散の値が大きくなる傾向があるという知見を得た。

その成果として、走行毎で国際ラフネス指数や平坦性指標の値に若干のばらつきがあるが、路面の段差やひび割れなどを概ね検知できるため、サービスの実用性が

あること、さらに、ひび割れ路面の走行時に周波数スペクトルの値が35Hz～60Hz帯で比較的大きな振幅を計測する特徴があり、その特徴には、速度依存性がないことや、わだち掘れ箇所においては、ジャイロセンサーのロール角速度の値の不偏分散が大きくなる傾向があるという知見を得た。

今後の課題は、スマートフォンセンサーにより算出した国際ラフネス指数や平坦性指標の値が路面性状自動測定車両の値と比較して、情報精度の検証を行うことや周波数スペクトルの値の特徴抽出により、路面性状を精緻に検出する方法の検討やわだち掘れ区間の検知のためにジャイロセンサーのロール角速度の値に対して、適切な閾値を設定するための検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路事業の効率的・効果的な実施について、2010.8.3.
- 2) 公益社団法人日本道路協会：舗装性能評価法-必須および主要な性能指標編-平成25年度版
- 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，土木学会論文集E1（舗装工学），Vol.69, No.3, I_1-I_7, 2013.
- 4) 浅田拓海：走行車両から撮影した路面画像を用いた舗装のひび割れ評価手法の開発，土木学会論文集E1（舗装工学），Vol.70, No.3, I_9-I_16, 2014.
- 5) BumpRecorder.com: 段差ナビ BumpRecorder
<https://play.google.com/store/apps/details?id=jp.trafficchazard.BumpRecorder&hl=ja>
- 6) IT用語辞典 e-word：量子化
<http://e-words.jp/w/%E9%87%8F%E5%AD%90%E5%8C%96.html>
- 7) 株式会社フジエンジニアリング：路面形状計測・評価システム
<http://fujiengi.co.jp/tech/iri/>
- 8) 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.
- 9) 馬杉正男：信号解析 信号処理とデータ分析の基礎，pp.28-39，森北出版株式会社，2013.
- 10) 国土交通省道路局：総点検実施要領（案）【舗装編】平成25年2月
- 11) 公益社団法人日本道路協会：舗装性能評価法 必須及び主要な性能指標編 平成25年版，2013.
- 12) 梅野孝治：車輪速センサを用いたタイヤ空気圧推定法の開発，豊田中央研究所 R&D レビュー，Vol.32 No.4, 1997.12.
- 13) 公益社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧 平成19年6月

(2015.7.31 受付)

CONSIDERATION ABOUT PRACTICALITY OF ROAD SURFACE PROPERTY

SIMPLE DIAGNOSIS SERVICE BASED ON SENSOR DATA OF SMART PHONE

Daisuke WATANABE, Koichi YAGI, and Hiroshi MAKINO

The present road management is doing road patrol by a road maintenance management vehicle by the pace of the once per 2 days and is putting check with eyes of the road surface property into effect. For the target road to become long distance, a point with big effort and an overlook of a damage point is a problem.

A step in a road surface loaded a smart phone terminal on the dashboard of a vehicle, and collected and accumulated sensor data automatically by running a road it was efficient and to put check of the road surface property into effect effectively by this research, and calculated the international rough Ness indices, flatness indicators and frequency spectras, etc. from its price, and cracked, and a rut could be dug and but practicality of simple check service of the road surface property which measures the part which has formed was considered.

Every as a result, running there is looseness which is slightly in the international rough Ness index and the value of the flatness index, that there is practicality of service because difference in rank in a road surface and a crack can be detected for the most part.

Be a possibility that a minuter road surface property check can be performed by doing the feature extraction because the price of the frequency spectrum is 35Hz-60Hz band at the time of a run in a crack road surface, and there is a feature by which the big amplitude of vibration is measured relatively.

Since a rut could be dug and putting it in the part, dispersion of the price of the gyro sensor could confirm the tendency which becomes big relatively, but I got the knowledge to which consideration will be necessary about setting of a threshold from now on to assume a rut could be dug up and that it was possible to detect a part.