

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月 6日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656287

研究課題名（和文） 車両応答計測を利用した一般ユーザー参加型の世界の道路台帳整備

研究課題名（英文） Roughness evaluation of road in the world utilizing vehicle response measurements by general users

研究代表者

長山 智則 (NAGAYAMA TOMONORI)

東京大学・大学院工学系研究科・講師

研究者番号：80451798

研究成果の概要（和文）：

維持管理費に限られる中、路面性状を把握して効率的に管理・運用することが不可欠である。これまで車両応答型簡易路面性状検査システムを開発してきたが、データ処理が複雑、特定の試験条件が規定されるなどの理由で広く利用されてはいなかった。スマートフォンを利用したり、アルゴリズムを改良することで、試験条件緩和を図った。スタンドアロンの解析ソフトも作成し、専門知識を持たない道路管理者や一般ユーザーでもどこでも簡単に路面性状把握できるシステムを構築した。

研究成果の概要（英文）：

Vehicle Intelligent Monitoring System (VIMS) developed to estimate an index of road ride comfort (International Roughness Index; IRI) by obtaining the acceleration responses of ordinary vehicles together with GPS position data is improved in this study. VIMS has been improved by utilizing smartphones and modifying estimation algorithms. After the improvement, the system offer simple and easy road roughness estimation capability to road owners and ordinary users.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：維持管理工学・路面モニタリング

1. 研究開始当初の背景

我が国では 9000km 余りの高速自動車道を整備してきたが、維持管理費に限られる中、路面性状を把握して効率的に管理・運用することが不可欠である。研究代表者らは車両応答型簡易路面性状検査システム（VIMS；図1）を開発してきたが、データ処理が複雑、特定の試験条件（走行速度、センサ位置等）が規定されるなどの理由で広く利用されておらず、より簡易で誰でも利用できるシステムが求められていた。一方、センサ搭載のスマートフォンやクラウドコンピューティング技術が普及し、計測やデータ管理が容易に

なってきた。これら技術の VIMS への利活用により、利用が容易になると期待されていた。

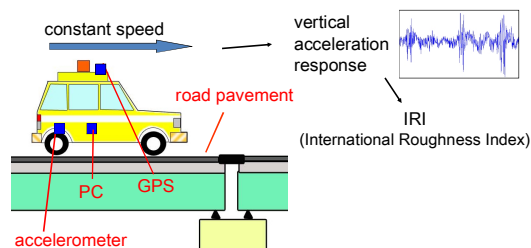


図1 VIMS 概略

2. 研究の目的

(1) 走行試験条件緩和に向けた研究を進め、また、(2) 近年発展の著しいスマートフォン、MEMS 型センサ等の技術を利用することで、専門知識を持たない道路管理者や一般ユーザーでもどこでも、自らの車で走行したデータを解析し、簡単に路面性状把握できるシステムを構築することを目的とした。実現すれば世界の道路路面性状を分散的効率的に把握できると期待される。

3. 研究の方法

(1) 走行条件の緩和

①定速走行条件の緩和

従来の VIMS では定速走行することが条件であった。前後を走る車両の有無やカーブなどの路線形状などの影響により、実走行で定速走行が可能な区間は限られる。VIMS の運用にあたってこれが大きな制約となっていた。そこで、評価対象路線を 200m の評価区間長に区切り、各区間内での走行速度変動が小さい場合には区間ごとにデータ処理を行うアルゴリズムを採用し、対象区間全域に渡り、一定速度で走行する必要性を廃した。更に、従来は 80km/h、60km/h など 20km/h 刻み程度での走行速度に対応した車両特性を求め、それらの速度で路面性状を推定する仕組みとなっていたが、車両特性を反映した車両伝達関数を走行速度について線形補間することで、任意の走行速度（上限 110km/h、下限 30km/h）で推定が可能なくみを構築した。

②速度キャリブレーション手法の簡易化

従来の VIMS では、約 1km 程度の走行路線を異なる走行速度で繰り返し走行し、その応答特性の違いから、走行速度依存性を算出していた。海外の途上国で本システムを展開した折には、この走行速度キャリブレーションの煩雑さが導入のボトルネックになっていた。同一路を 1km 程度に渡り、例えば 40km/h と 90km/h で定速走行を続けることは現実には難しい。そこで、走行速度キャリブレーションをシミュレーションにより代用する方法を考案した。市販のハンブを乗り越える場合の計測車両加速度応答（図 2）を利用して、車両の機械モデル（図 3）を推定し、このモデルが仮想路面上を複数の速度で走行する場合の応答を比較することで、走行速度の違いを補正することとした。フィルタと組み合わせることにより、本手法で走行速度の違いを補正できることが明らかになった。

③センサ設置場所条件の緩和

車両の加速度応答は、その計測場所によって異なるため、従来の VIMS ではセンサ設置場所を厳密に定める必要があった。本研究で

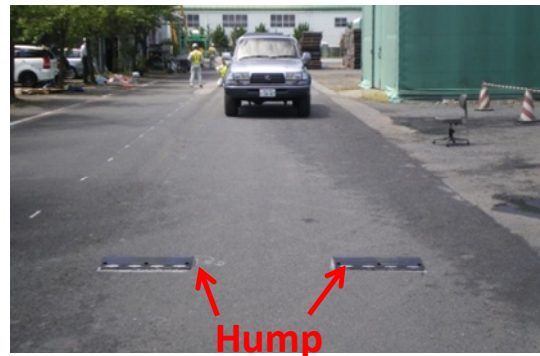


図 2 ハンプ走行試験

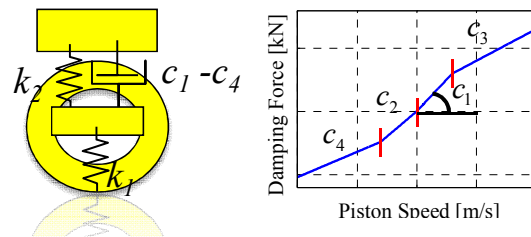


図 3 車両モデル

は、加速度の代わりに角速度を計測することで、車両ボディが低周波数領域では剛体運動を利用することを利用して、センサ設置場所に依存しない、路面性状推定システムを構築した。

(2) スマートフォンの利用

スマートフォンを利用することで、誰でも簡単に計測を行えるようになってきた。本研究ではスマートフォンの加速度・角速度・GPS・動画計測機能を互いに同期し、計測・保存できるアプリを開発した。本アプリを利用することでだれでも簡単に路面性状検査のための計測が行えるようになる。

4. 研究成果

(1) 走行条件の緩和

①定速走行条件の緩和

任意の走行速度（上限 110km/h、下限 30km/h）で推定が可能なくみを構築し、国内の高速道路で試験走行をしたところ、本システムで推定したものと、高性能検査車を利用して推定したものと、10%程度の違いであることが明らかになった。

本仕組みが構築できたことから実運用が容易となり、2012 年にはケニア共和国に、本システムを 12 セット導入するに至った。JICA を通じた支援の一環であったが、1 セットの試験導入の後、現地道路管理者自らの予算を用いて 11 セットの追加購入・管理に至った（図 4）。その後ラオス、南スーダンにも導入が行われた。

②速度キャリブレーション手法の簡易化

国内の高速道路での走行試験結果を分析

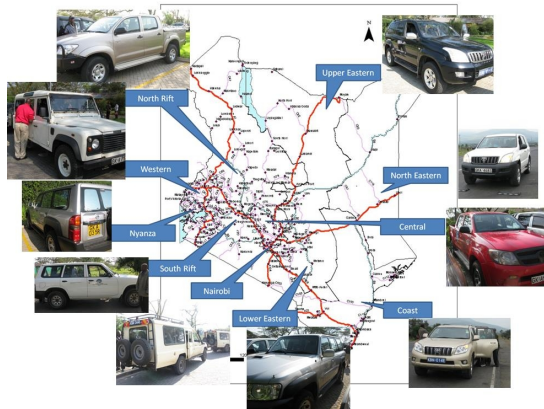


図4 VIMSを導入したケニア共和国道路管理事務所

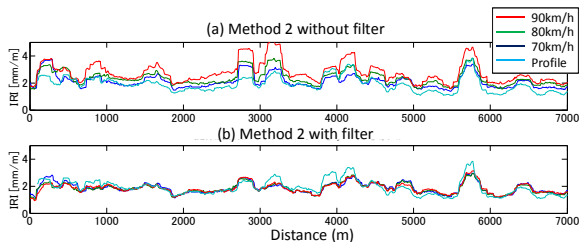


図5 異なる走行速度におけるIRI推定 (国内高速道路における検証)

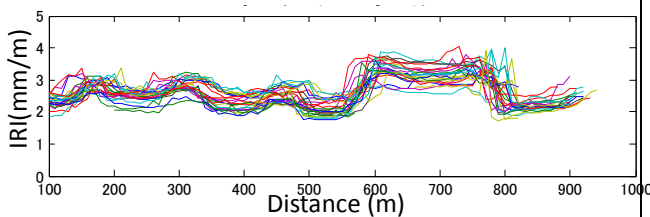


図6 異なる走行車両・速度におけるIRI推定 (ケニア共和国道路における検証)

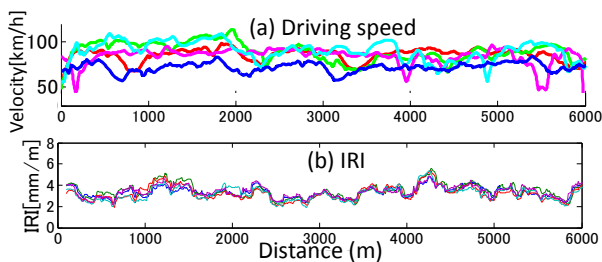


図7 異なる車両, 自由走行時データを用いたIRI推定 (ケニア共和国道路における検証)

したところ, 同一路面を繰り返し走行することなく, シミュレーションのみで, 走行速度の違いを補正できることが明らかになった. 図5は, 提案した速度キャリブレーション手法を用いて, 走行速度 70, 80, 90km/h 時の車両応答から IRI を推定した結果である. 図上段では推定値間の違いが残っているが, フィルタを適用することで, 図下段のように互いに近い IRI を推定できることが分かる. さ

に, 本図にはプロファイルから求められた IRI 値も示してあるが, プロファイルに基づく正確な IRI と比較しても, 整合的な値を VIMS により得られる事がわかる.

さらに, ケニア共和国で行われたデータを, 大学側で解析したところ, 異なる車両が異なる速度で走行しても, 同じ路線の乗り心地指標は互いに整合的な値が算出されることが確認された. 図6は走行速度 30km/h から 100km/h まで 10km/h 刻みで, 5台の計測車両を用いて, 同一道路を繰り返し走行した場合の IRI 推定値である. 車両の違い, 走行速度の違いを補正して, 推定できていることが確認できる. 図7は定速走行を仮定せずに, 50-100km/h 程度の範囲内で自由な走行速度で 6km 区間を 5台の車両で走行した場合の, 走行速度プロファイルおよび IRI 推定値である. 定速走行でない場合であっても互いに整合的な IRI 推定値が得られる事がわかる.

③センサ設置場所条件の緩和

車両内の複数箇所では角速度計測を行ったところ, 7-8Hz 程度までであれば計測車両応答に大きな違いがないことが確認された. 図8は, 計測車両の後部と中央部にそれぞれ高精度加速度計・ジャイロを設置し, 設置位置による応答値の違いを調べたものである. 加速度応答は 1 Hz 程度以上の周波数帯域では設置場所による違いが明らかになる一方で, 角速度応答は 7-8Hz 程度まではよい一致を示す.

そこで, 角速度応答を利用して路面乗り心地評価指標を推定するアルゴリズムを開発した. 国内の高速道路日本手法を適用したところ, 高性能検査車の結果と整合的な値を得られた.

(2) スマートフォンの利用

iPhone をプラットフォームとして計測アプリを開発した. 加速度・角速度・GPS・動画が同期計測できるアプリである.

まず, スマートフォンを利用した角速度計測の精度を確認した. 車両後部に高精度ジャイロとスマートフォンを設置して, 角速度応答を計測した. 図9右図に示されるように, 10Hz 程度まで, 両計測値が互いに近いことが確認された. 次に, スマートフォンの設置位置を変更し, 車内の5箇所計測したところ, ホルダーを介してフロントガラスに設置した場合を除いて, スマートフォンの角速度応答と, 車両後部の高精度ジャイロの角速度応答は良い一致を示した.

最後に, 本アプリを利用して高速道路走行時の車両応答を計測し, IRI を推定した. 図10は高性能検査車によるプロファイル計測ベースの IRI 推定値, 加速度計測を利用した従来の VIMS による IRI 推定値, スマートフォンの角速度計測を利用した, 本提案に

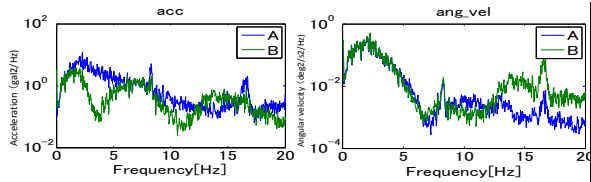


図8 加速度応答および角速度応答の計測機器設置位置依存性

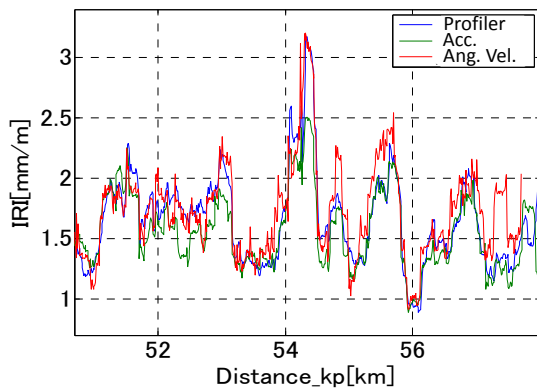
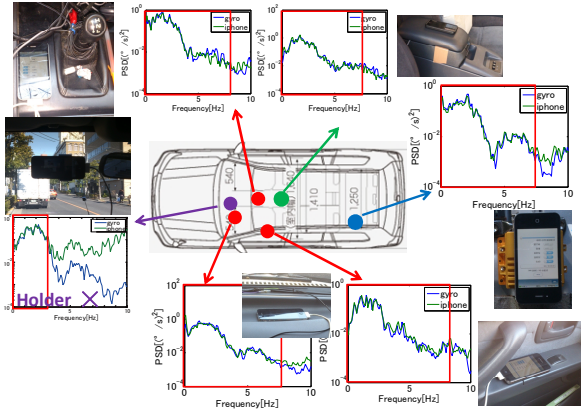


図9 車内に設置した高精度ジャイロとスマートフォンの角速度計測値

図10 高性能検査車, 従来のVIMS, 本提案手法によるIRI推定値の比較

よるIRI推定値の相互比較である。本提案のIRI推定値が高性能検査車によるものと整合的であることが確認できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

朝川 皓之, 長山 智則, 藤野 陽三, 西川 貴文, 秋本 隆, 和泉 公比古: 一般車両の走行時動的応答を利用した舗装路面の簡易状態評価システムの開発, 土木学会論文集 E1, 68(1) pp. 20-31, 2012

[学会発表] (計3件)

Nagayama, T., Miyajima, A., Kimura, S.,

Shimada, Y., and Fujino, Y. (2013) "Road condition evaluation using the vibration response of ordinary vehicles and synchronously recorded movies," Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems 2013, Proc. of SPIE volume 8692, San Diego, USA.

嶋田優樹、長山智則、藤野陽三: 車両の自由走行応答を利用したVIMSによるIRI推定法の提案, 第67回土木学会年次学術講演会講演概要集, 2012

長山智則, 高橋寛臣, 狩野正人, 家入正隆: スマートフォンを利用した路面性状評価システムの開発, 第67回土木学会年次学術講演会講演概要集, 2012

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況
(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

<http://vims.sakura.ne.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長山 智則 (NAGAYAMA TOMONORI)

東京大学・大学院工学系研究科・講師

研究者番号: 80451798

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: