

非線形モデルを用いた簡易路面診断システム (VIMS) のキャリブレーション精度向上

長崎大学 正会員 ○西川 貴文

住友商事 非会員 高橋 興介

東京大学 正会員 長山 智則

東京大学 フェロー 藤野 陽三

1. はじめに

わが国を始めとするインフラ整備先進国の道路は、依然延伸の途にあるものの社会的需要は建設から維持管理へと確実に移行している。一方、途上国においては、性能評価を踏まえた道路インベントリーが重要であり、定量的なデータにもとづく効果的な道路網の調査・整備事業の実現が望まれている。著者らは、路面の平坦性を表す国際指標であるInternational Roughness Index (IRI) の推定を低コストで実現する Vehicle Intelligent Monitoring System (VIMS) を開発してきた。近年では特に海外事業への導入・適用が望まれており、計測条件に依存しない推定のためのキャリブレーション手法が必要とされている。既往の研究では、路面のプロファイル計測を必要とせず、ハンプ試験の結果を用いて車両モデルを構築する¹⁾ことにより、実車とクォーターカー（以下、QC）モデル間の車両間応答振幅比を導出し、車両の差異によらずIRIを推定することを可能とした。しかしながら、一部の車両使用時や高速度域での計測において、IRI推定精度が低下することが確認されている。本研究では、実用化に際してのIRI推定の要求性能を考慮しながら、キャリブレーション手法の再現性及び精度の向上を講じた。

2. キャリブレーション手法

VIMSにおけるIRI推定プロセスを図1に示す。まず計測車両の加速度を、実車とQCの車両間応答振幅比 $|T(\omega)|$ （ ω :周波数）を用いてQCの加速度RMSに変換する。次いで、QCの加速度RMSとIRIの関係式を導出しIRIを推定する。本研究では上記2ステップそれぞれに改良を加えることでキャリブレーションの精度向上を図った。

(1) 車両間応答振幅比の算出

実車のハンプ走行時の挙動データから、同様の挙動を示す車両モデルを構築し、シミュレーションにより車両間応答振幅比の導出を行う。車両モデルとして、既往の研究では7自由度4軸のフルカーモデルを用いたが、本研究では図2に示すように、ショックアブソーバによる減衰力の非線形性を考慮した1車輪のQCモデルを用いる。QCモデルの運動方程式は式(1)、(2)で表わされる。ここで、 m_s はバネ上質量、 m_u はバネ下質量、 c_s はショックアブソーバの減衰係数、 k_s はサスペンションの弾性係数、 k_t はタイヤの弾性係数、 z_s および z_u はそれぞれバネ上質量およびバネ下質量の絶対変位、 h は路面入力変位である。なお、各パラメータの推定には遺伝的アルゴリズムを用いた。推定に際しては、目的関数 f を式(3)のように設定し、目的関数値の最小化によってパラメータを決定した。ここで、 ω :周波数、 PSD_{car} :実車の加速度パワースペクトル、 PSD_{sim} :シミュレーションの加速度パワースペクトルである。

$$m_s \ddot{z}_s + c_s (\dot{z}_s - \dot{z}_u) + k_s (z_s - z_u) = 0 \quad (1)$$

$$m_u \ddot{z}_u + c_s (\dot{z}_u - \dot{z}_s) + k_s (z_u - z_s) + k_t (z_u - h) = 0 \quad (2)$$

$$f = \sum_{\omega=0}^2 \sqrt{\{PSD_{car}(\omega) - PSD_{sim}(\omega)\}^2} \quad (3)$$

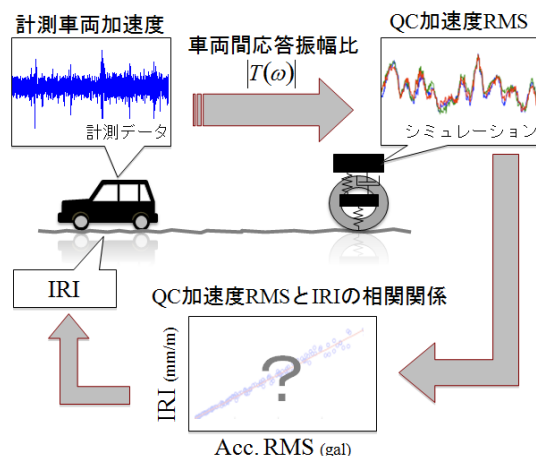


図1 VIMSにおけるIRI推定のプロセス

キーワード Vehicle Intelligent Monitoring System, VIMS, 路面診断システム, IRI

連絡先 〒852-8521 長崎市文教町1-14 工学研究科社会環境デザイン工学 TEL:095-819-2625

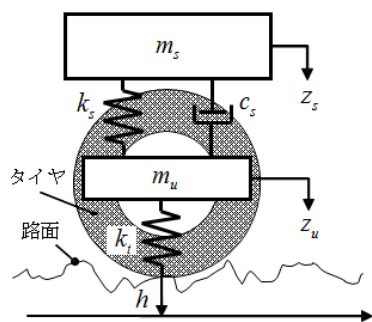


図2 Quarter Carモデル

一方、走行速度が異なる際の車両間応答振幅比は、同一路面を異なる速度で走行した際の加速度応答の振幅比を用いて算定した²⁾。式(4)に表わされるように、上記の2手法を組み合わせることにより、異なる車両及び速度における車両間応答振幅比を導出することが可能となる。

$$TF = TF_{Car} \times TF_{bet_speed} \quad (4)$$

ここで、 TF : 車両とQCの車両間振幅応答比、 TF_{Car} : 車両モデルとQCの車両間応答振幅比、 TF_{bet_speed} : 速度間応答振幅比である。

(2) 実車データを用いたRMSとIRI相関式の導出

既往の研究ではRMSとIRIとの相関式はシミュレーションによって導出したが、車両の挙動が非線形性を示すことから、本研究では実車の計測データをもとに、QCの加速度RMSとIRIとの相関関係を求めた。得られた関係式を図3及び式(5)に示す。

$$IRI[mm/m] = 0.0233 \times RMS[gal] + 2.0829 \quad (5)$$

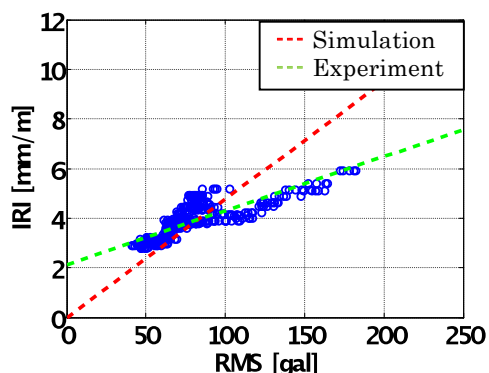


図3 RMSとIRIの相関関係

4. 精度の検証

(1) 車両および速度キャリブレーション

埼玉県吉川市の一般道における60km/hおよび80km/hの走行データを用いて精度の検証を行った。

図4ならびに図5に示すように、いずれの場合においてもフルカー (FC) モデルを用いた既往の手法に比べて精度の向上が確認された。しかしながら、80km/h走行時の速度キャリブレーション結果には依然として差異が見られ、今後も改善の余地がある。

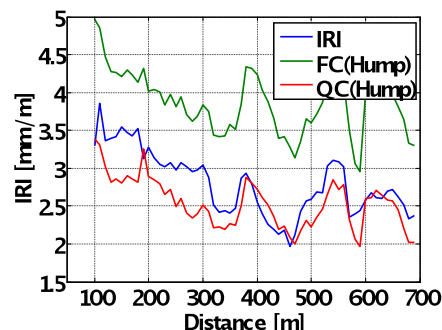


図4 車両キャリブレーション検証結果

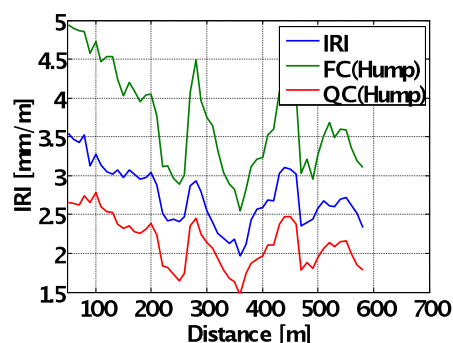


図5 速度キャリブレーション検証結果

5. まとめ

非線形性を考慮した車両モデルと実走行データを用いたハイブリッドなキャリブレーション手法と、実車の走行データを用いたQCの加速度RMSとIRIの相関式の導出により、任意の計測車両および速度におけるIRI推定精度が向上し、今後のシステムの適用事例の広範化が期待される。

参考文献

- 1) 矢野圭二郎, 藤野陽三, 長山智則, 西川貴文: 7自由度車両モデルの同定とVehicle Intelligent Monitoring Systemキャリブレーションへの応用, 土木学会第65回年次学術講演会, 2010.9
- 2) 朝川皓之, 藤野陽三, 長山智則, 西川貴文: Vehicle Intelligent Monitoring Systemの海外展開へ向けたキャリブレーション手法の確立, 土木学会第64回年次学術講演会, 2009.9