

巡回車の動的応答を利用した路面のリアルタイム簡易診断システム（VIMS）

（株）横河ブリッジ 正会員 ○古川 聖
 東京大学 研究員 正会員 久保田 慶太
 東京大学 教授 フェロー 藤野 陽三
 東京大学（研究当時）正会員 石井 博典
 東京大学（研究当時）正会員 北川 慶祐
 ニチレキ（株）正会員 長谷川 智亮

1. はじめに

わが国の道路は建設の時代から維持管理の時代へと移っている。道路路面の状態を把握する現在の主な点検手法として巡回車上目視点検と路面性状測定車による点検がある。巡回車上目視点検は特別な機器を用いない簡易な点検であるものの、点検者の個人技量に依存するという点で問題がある。一方、路面性状測定車による点検は高精度であるが、運用費が高価である上、調査データが道路維持管理に反映されるまでにかなりの時間を要する。また、車上目視点検の頻度と構造上の不備による事故の件数には反比例の関係がある報告がされている。以上の理由から、路面の維持管理には、客観的・低コスト・リアルタイムに状態を把握できるための新たなシステムが求められる。

以上の道路維持管理の問題を解決するため、“Vehicle Intelligent Monitoring System (VIMS)”を本研究室で研究開発してきている^{1), 2)}。VIMSは図-1に示すように、車上目視点検の巡回車に加速度計、GPS、ノートパソコンを搭載して道路上を走行させ、道路上のデータを集録する。そのデータから、点検の指標となる値を計算し、その値をサーバに蓄積する。道路管理者がそのサーバにアクセスすると、地図上に点検結果を表示し、適切な道路維持管理を支援することができるというシステムである。これまで、計測システム（ハード）の構築、集録したデータに対する再現性の確認を行ってきた。本論文では実際の評価に利用できる指標値を計測車両の加速度から求めることで、実用的なシステムを目指した。指標値はIRI(International Roughness Index, 国際ラフネス指数)に着目している。

2. 計測車両の加速度から点検指標値の導出

IRIは自動車の乗り心地に影響を与える平坦性（縦断方向の凹凸）を示す指標であり、サスペンションの応答を計測する研究を基とし、1986年に世界銀行が提案、日本においても導入が検討されている。

IRIの算出方法のうち最も実用的な方法は任意の測定

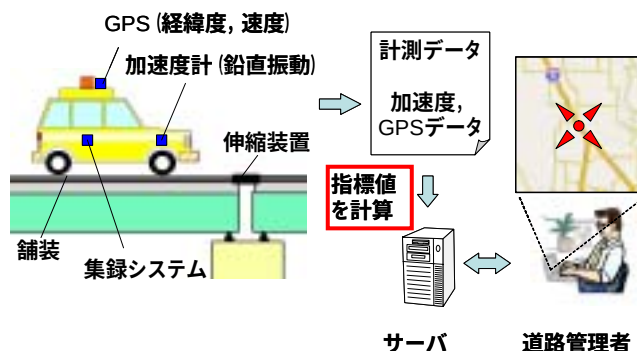


図-1 VIMSの概要

装置で路面の縦断プロファイルを測定し、それをクォーターカー（以下、QC）モデル（図-2）に入力して80km/hでシミュレーションし、応答を求める。その応答を(1)式に代入したものがIRIとなる。

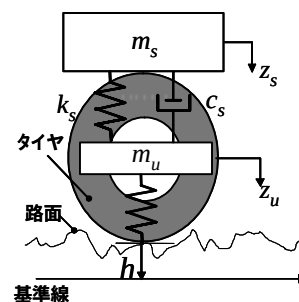


図-2 クォーターカーモデル

$$IRI = \left\{ \int_0^{L/V} |\dot{z}_s - \dot{z}_u| dt \right\} / L \quad (1)$$

ここで、 z_s ：ばね上質量の鉛直方向絶対変位(mm)、 z_u ：ばね下質量の鉛直方向絶対変位(mm)、 L ：走行距離(m)、 V ：走行速度（22.2m/s=80km/h）、 t ：時間（s）

IRIは乗り心地を評価できる指標であるが、人間の乗り心地は鉛直加速度に依存すると言われているのに対し、鉛直相対速度を使用している。また、IRIを求めるためには実際の路面形状を測定しなければならない。

まず、IRIが加速度で表現可能かどうかを調べるため、実際の路面形状に対しQCシミュレーションを行い、QCの応答を求めた。図-3より、IRIで用いられるばね上ばね下の相対速度とばね上の加速度は非常によく似てい

キーワード：VIMS、道路維持管理、車両加速度、リアルタイム、IRI、クォーターカー

連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 橋梁研究室 TEL 03-5841-6099 FAX 03-5841-7454

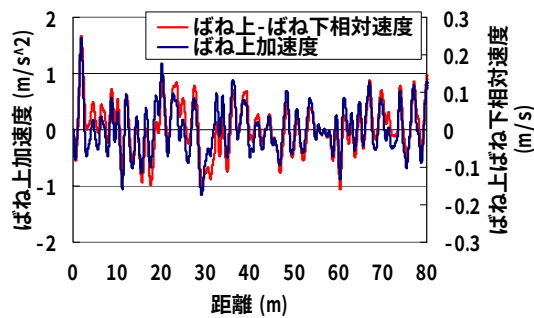


図-3 QC モデルの応答

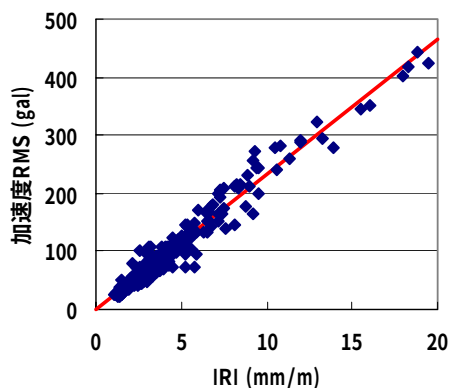


図-4 IRI と加速度 RMS の関係

るのが分かる。両者の応答に対し、評価距離を10m,30m（高速道路における伸縮装置間のうち、短い距離の代表値）,160m（IRI一般評価区間）としてIRIと加速度RMSを求め、両者の関係をプロットすると図-4のようになる。評価距離によらず、IRIと加速度RMSには高い相関が見られる（相関係数0.99）。QCモデルの加速度RMSを a_{qc_rms} とすると近似式は(2)式のようになり、加速度からIRIを求めることも可能である。

$$IRI(mm/m) = 0.0429 \times a_{qc_rms}(gal) + 0.0618 \quad (2)$$

計測車両加速度から直接、IRIを求める方法として、計測車両加速度からQCの加速度を求め、(2)式より求める方法が考えられる。ここで、計測車両とQCは車両特性や走行速度が異なるため、フィルターにより補正する必要がある。このフィルター（以下、補正フィルター）は、QCモデルの伝達関数（路面形状に対するQCモデルの加速度）を計測車両の伝達関数（路面形状に対する計測車両の加速度）で割ったものとなる（(4)式）。この際、QCモデルの伝達関数は簡単に求めることが出来るが、計測車両の伝達関数には同じ路面上での路面形状と計測車両の加速度が必要となる。

$$F_{tr} = \frac{f_{qc}}{f_{mc}} = \frac{F_{qc}}{F_{mc}} \quad (4)$$

ここで、 F_{tr} ：補正フィルター、 f_{qc} ：QCモデル加速度の

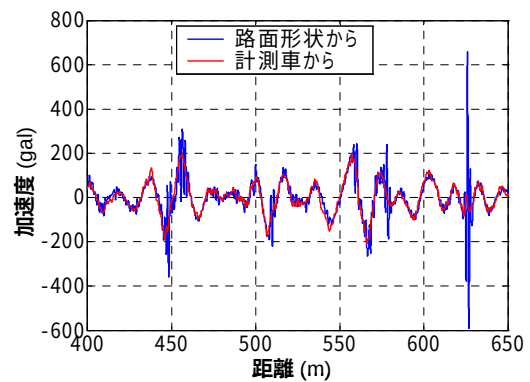


図-5 路面形状から QC 加速度の再現 (60km/h)

フーリエ変換、 f_{mc} ：計測車両加速度のフーリエ変換、 F_{qc} ：路面形状に対するQCモデル加速度の伝達関数、 F_{mc} ：路面形状に対する計測車両加速度の伝達関数

補正フィルターを求めるため、川越市周辺の一般道670mにおいて路面形状を測定し、車両の加速度応答を計測した。なお、計測路面は新設舗装から段差のような箇所がある舗装まで、様々な状態の舗装となっている。路面形状の測定にはDual purpose Automatic Measuring kit (DAM、縦横断形状測定装置)を用い、1cm間隔で形状を測定した。走行速度は、渋滞時など速度変化に対応した補正フィルターを作成できるよう、20-60km/h(10km/hごと)とした。

路面形状からQCシミュレーションによって求めたQC加速度と、計測車両から補正フィルターを通して求めたQC加速度とを比較する。ここで、補正フィルターによって求めるQCの加速度は、計測車両の走行ラインや車両速度が計測回ごとに違ってくるため、特に高振動数成分においての計測車両加速度の再現性が低くなってしまふ。そのため、計測車両加速度に対しては別途ローパスフィルター（パス周波数0.3cycles/m）をかけることとした。

結果は図-5のようになる。ローパスフィルターを掛けているため衝撃応答の再現は難しいが、それ以外の部分では波形の形状が似ており、よく再現できていると言える。衝撃応答以外の場所では160mごとの加速度RMS最大誤差は12%程度であり、高頻度、長期間の使用を考えると、実用レベルの精度であると言える。これにより計測車両の加速度からIRIを求めることが可能であると言える。

今後は多くのフィールドで実験することにより、本論文で求めた指標値の妥当性を確認する必要がある。

参考文献

- 1) Fujino, Kitagawa, Furukawa, Ishii: Development of Vehicle Intelligent Monitoring System (VIMS), Smart Structures & Materials/NDE Joint Conference, SPIE 2005.3
- 2) 古川, 北川, 藤野ほか：道路高速診断システム(VIMS)の開発, 土木学会第59回年次学術講演会, 2005.9