走行車両を用いた路面形状同定における車両モデルの影響と精度向上

京都大学大学院工学研究科	学生会員	○藤士 尚世
京都大学大学院工学研究科	正会員	長谷川 聡一郎
京都大学大学院工学研究科	正会員	張 凱湾
京都大学大学院工学研究科	正会員	金哲佑

1. 序論

近年,効率的な橋梁の点検手法の1つとして,走行 車両を用いた点検手法が大きな注目を集めている.こ れは,加速度計を設置した点検車両で橋梁上を走行す ることによって,様々な橋梁の特性を同定できるもの であり,長所として時間とコストの節約になること, 特別な大型機械が不要であり,どこででも実施できる ということが挙げられる.それに対し,短所としては 精度が低いことが挙げられ,その主な原因の1つは, 車両振動のほとんどが路面凹凸に起因しており,路面 凹凸が橋梁特性の同定に対して支配的に影響している ということである.従って,この手法において路面形 状の正確な同定は必要不可欠となっている.

既往の研究 いにおいて, 走行車両を用いた路面形状 同定の可能性は示されているが, 同定精度が課題とし て残されている.これらの研究では路面形状同定の際 に,車両の数値解析モデルとして, Fig. 1 (c) に示すよ うな, 2 自由度ハーフカーモデルが用いられてきた.車 両モデルとしては, 一般的にハーフカーモデル(以下, HC モデルとする)の他にもクォーターカーモデルやフ ルカーモデル(以下, QC モデル, FC モデルとする) がよく知られており, それぞれのモデルで, サスペン ション(以下,車両のばねと表現する)の下の,タイ ヤの質量と剛性を考慮したものと,考慮しないものの2 つが存在する.複雑なモデルほど現実の車両に近いも のとなるが、その一方で、路面形状同定のための逆解 析において誤差が累積しやすく、トレードオフである と考えられる.本研究では、この車両の数値解析モデ ルが同定精度にどのように影響するかを明らかにする ため、4 つの車両モデル(QC モデル、HC モデルそれ ぞれのばね下を考慮したものと考慮しないもの)によ る路面形状同定結果をシミュレーションによって比 較・検討を行う.

2. 理論背景

本研究では路面形状同定手法として, 先行研究 ¹⁾のも のを用いており,数値解析モデルによる加速度の計算 値と,実際の計測値の誤差を最小とする路面形状を, 最小二乗法によって求める.また,Wilson-0法を用い た順解析のシミュレーションによって,設定した路面 上を走行する車両にかかる加速度を計算し,それを加 速度の計測値として用いる.車両速度は 40 km/h とする. 本研究では,序論でも述べた通り,4 つの車両モデル(1 自由度,2 自由度 QC モデルと2 自由度,4 自由度 HC モデル)を用いて路面形状の同定を行い,同定精度の 比較・検討を行う.また,順解析のシミュレーション では,現実に近いものとして,7 自由度 FC モデル (Fig.1(e))を用いる.Fig.1 にてそれぞれの車両モデル を示す.Fig.1のy, 0, 0 はそれぞれ,質量の鉛直変



Fig. 1 Vehicle models: (a) 1dof QC-model, (b) 2dof QC-model, (c) 2dof HC-model, (d) 4dof HC-model, (e) 7dof FC-model.

キーワード 移動車両橋梁点検手法 路面形状 車両モデル 連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-183 社会基盤創造工学分野研究室 TEL 075-383-3421 位,左右軸回り(ローリング)の回転角,前後軸回り (ピッチング)の回転角を表しており,各車両モデル の自由度である.また,*m*,*I*,*C*,*K*はそれぞれ質量, 慣性モーメント,減衰係数,ばね定数を表している.

3. 路面形状同定結果と考察

1 自由度 QC モデルによる同定結果を Fig. 2 に示す. このモデルでは、路面の低周波成分は精度よく同定で きているが、高周波成分は精度よく同定できなかった. 次に,2自由度 QC モデルによる同定結果を Fig.3 に示 す.このモデルでは、高周波成分は精度よく同定でき ているが、低周波成分は精度よく同定できなかった. HC モデルによる結果でも QC モデルと同様の傾向が見 られ,2自由度 HC モデルでは低周波成分が精度よく同 定でき、4 自由度 HC モデルでは高周波成分が精度よく 同定できた.これは、車両モデルの振動特性の影響で あると考えられる. ばね上振動はばね下振動に比べ低 い周波数特性を持ち、低周波振動に敏感である. 同様 の理由で、ばね下質量は高周波振動に敏感になる.ば ね下振動を考慮しないモデルでは,路面の高周波成分 による振動には鈍感であり、ばね下を考慮したモデル では、ばね上の振動よりもばね下の振動の振幅がはる かに大きいため、最小二乗法の際にばね下の高周波振 動の影響が卓越したと考えられる.

以上より,路面の低周波成分,高周波成分をとも に精度よく同定するためには、ばね下を考慮したモデ ルを用いて、最小二乗法の際にばね上の振動に重み付 けを行い、ばね下の振動の影響が卓越しないように同 定を行う必要があると考えられる. ここでは、車両に かかる加速度の計測値と計算値の誤差を目的関数とし ているため、ばね上とばね下の加速度の計測値の標準 偏差の比を求め、その値でばね上の加速度を重み付け、 同定を行った. QC モデルでの結果を Fig. 4 に示す.加 速度の標準偏差の比より、6.47 倍で重み付けを行った 結果、路面の低周波成分、高周波成分ともに精度よく 同定することができた. また, HC モデルにおいても, 同様に重み付き最小二乗法で同定した結果、低周波成 分,高周波成分ともに精度よく同定することができた. 本研究においては、QC モデルと HC モデルによる同定 結果には大きな違いは見られなかった.

4. 結論

本研究では、車両の数値解析モデルが路面形状の同 定精度に与える影響を明らかにするため、4つの車両モ デルで路面形状を同定し,結果の比較を行った.その 結果,ばね下を考慮しないモデルでは路面の低周波成 分が精度よく同定でき,ばね下を考慮したモデルでは 路面の高周波成分が精度よく同定できることが分かっ た.また,ばね下を考慮したモデルを用いて,ばね上 の加速度に重み付けを行う最小二乗法で同定した結果, より精度の良い結果を得ることができた.

本研究では、ばね上とばね下の加速度の計測値の標 準偏差の比を重み付けの値として用いたが、この値を どのように選択するか、さらに検討が必要である.











Fig. 4 Road profile identified by weighted least square method using 2-dof quarter car model.

参考文献

 P.J. McGetrick, A. Gonzalez, C.W. Kim and E.J. O'Brien: Dynamic axle force and road profile identification using moving vehicle, International Journal of Architecture, Engineering and Construction, 2(1), pp1-16, 2013.