

道路高速診察システム(VIMS)の開発

東京大学 学生会員 河野 整

東京大学 正会員 阿部 雅人

東京大学 フェロー 藤野 陽三

1. はじめに

首都高速道路はモータリゼーション過渡期に集中して造られ、今日のような過剰使用に耐えられる設計がなされていない。したがって路面のひび割れやわだち掘れなどの劣化が生じやすく、乗り心地の悪化や思わぬ事故につながる危険性がある。首都高速道路公団による路面凹凸の点検は年に1度の割合で実施しているが¹⁾、伸縮継目部付近は点検の対象外であり、利用者からの苦情で補修を行っているのが現状である。

そこで本研究では首都高速道路における現状の点検体系改善を目指し、路面状態を高い頻度で定量的に点検する計測システムの構築・検証を行った。

2. 計測システムの概要

開発するシステムの要求性能は以下の通りである。

高い頻度で計測が可能

走行するだけで路面凹凸の計測が可能

計測地点の位置が特定できる

これらの条件を踏まえて計測システムを構築した。本システムの最大の特徴は、車両を走行させるだけで路面の状態を定量的にモニタリングでき、不具合な路面凹凸がある位置を特定できることである。このシステムを Vehicle Intelligent Monitoring System(VIMS)と呼ぶ。VIMS は車両に特別な改造をせず搭載でき、データを自動的に記録する。路面状態と車両の鉛直振動との関連に注目し、車両フロア部の鉛直振動加速度を計測することで路面状態を判断する。要求性能を満たすために小型 GPS 電波受信機を車両に搭載し、位置座標と速度を同時に記録する。図1は計測機器の搭載図である。計測機器からの信号はノートパソコンによって自動的に記録される。計測操作は開始ボタンをクリックするだけである。機器の動作が運転中に確認できるように図2のように小型液晶モニターを搭載している。

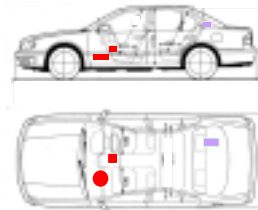


図1 計測機器搭載図

■ → 加速度センサー

■ → GPS 受信機



図2 小型液晶モニター

3. 首都高速道路における VIMS 計測試験

首都高速道路埼玉大宮線・5号池袋線において VIMS の試験計測を行った。速度は公団の点検速度である時速 40km 前後で行った。次に、計測で得られた振動と位置の2種類のデータを用いて振動データを距離軸で表す処理を行った。この処理で道路上の各地点における車両振動の同期が可能になる。サンプリングレートが異なるため、処理には内挿の手法を用いて位置データの速度記録から時間を乗じて距離を算出した。その結果、GPS による計測開始点から終点までの走行距離と、振動データに同期した距離の誤差は約 0.017%となった。得られた結果から、主に伸縮継目部で大きな振動があることが分かった。

次に、伸縮継目部分を除いた舗装面の状態と計測された振動加速度との相関を調べる為に図3のようなグラフを示す。路面状態を表す定量的な指標がないので、スパン毎の路面わだち掘れ最大量を用いた。わだち掘れが大きいほど路面状態が悪いと判断する。計測振動は、伸縮継目部の振動を除いたスパンごとの加速度 RMS 値を用いている。図3ではスパン毎のわだち最大量を棒グラフ、加速度 RMS 値を折線で表し両者の相関係数は約 0.8 となった。この結果から路面状態と計測振動が関連していると言える。さらに1回目の計測振動と2回目の計測振動の折線がほぼ一致していることから、VIMS による計測の再現性が確認できる。

キーワード 首都高速道路 伸縮継目 VIMS GPS 内挿

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学系研究科社会基盤専攻 TEL03-5841-6099

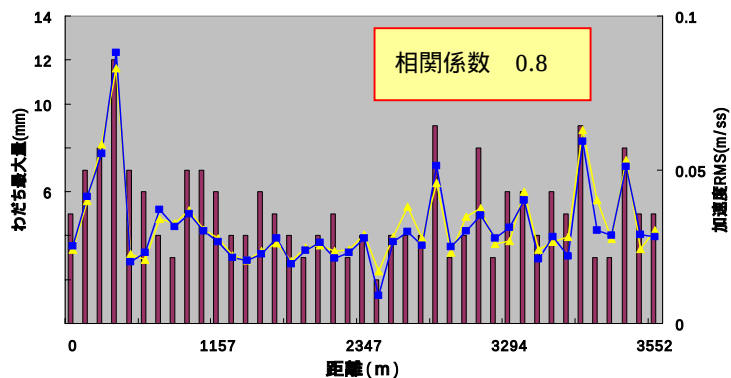


図3 路面状態と振動の相関

4. 振動特性の解析

前節での試験計測データを用いて路面凹凸に関する振動特性値の分析を行った。分析の手法は Gabor 変換²⁾を用いた振動数解析である。図 4-a は伸縮継目を走行した時の計測振動を振動数解析したものである。伸縮継目部の振動が約 3Hz の振動数領域で強くピークが出ている。次に、伸縮継目の振動を取り除いた振動を振動数解析した。結果は前者と同じく約 3Hz 付近の振動数領域においてピークが出ていることが確認できた。しかし一方、平面土工路面を走行した時の計測振動を振動数解析した結果を図 4-b に示す。この結果では、路面凹凸による車両振動が約 4～6Hz 付近の振動数領域でピークが存在する。したがって約 3Hz 付近の振動数領域でピークが現れる現象は、高架上进行する場合に特有のものであると言える。これは通過過重による高架桁の振動特性値が約 3Hz 付近である³⁾ことが原因と考える。今後 VIMS を用いて計測データを蓄積させ、高架桁の振動特性値を解析することによって異常な振動を起こす高架桁の判別が可能になると考える。

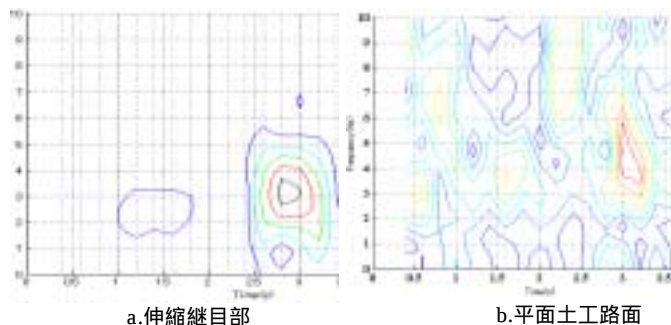


図4. 振動数解析の結果

5. 計測振動による路面凹凸変位の同定

VIMS による計測振動は車両フロア部の鉛直振動である。第3章で述べたように、伸縮継目部などの大きな

路面凹凸は計測振動から定量的な状態判断が可能である。しかし舗装面の小さな凹凸による車両振動の影響は小さく、計測振動から直接評価することは困難である。そこで本節では計測振動データを用いて路面の凹凸を同定する手法を構築した。方法は以下の通り。

路面凹凸を Gauss 関数により近似する。近似した路面上を車両が走行した時の車両鉛直振動を 4 自由度モデルを用いて算出する。この振動波形を F_s とし、実際の計測値による車両鉛直振動を F_r とする。 F_s が F_r に最も近似するような Gauss 関数を同定し、その Gauss 関数の形状を路面凹凸変位として評価する。には G.A(Genetic Algorithm)⁴⁾と Simplex 法を併用して計算時間を短縮した。この手法を実験により検証したところ、Gauss 関数形状と実際の段差形状の誤差は約 4.5%であった。この結果から、本手法を用いてある程度の路面凹凸が同定できるといえる。

6. まとめ

本研究では車両を用いた路面点検システムを構築し、そのシステムを用いて様々な解析を行った。

その結果、伸縮継目部等の大きな路面凹凸は VIMS で正確に検出できることが実証できた。さらに、振動特性値を把握し、路面凹凸の同定手法を考案した。

今後は、VIMS を実用化することで頻繁な路面検査が可能となり、現状の点検体系を改善することができると考える。また、路面状態の定量的データから、路面補修の効果を数値で把握することも可能であることから、利用者への品質サービス向上や維持管理コストの削減などの効果が期待できる。

謝辞

本研究において、首都高速道路公団技術センターの植木博氏には、資料の提供や計測においてご協力いただきました。ここに厚く謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 首都高公団保有資料
- 2) 『建築振動理論』大崎順彦
- 3) 『橋梁振動の計測と解析』橋梁振動研究会
- 4) 『遺伝的アルゴリズム』坂和正敏