

建設技術研究開発助成制度

巡回車による舗装・伸縮装置の高頻度簡易診断に関する研究開発

研究代表者：藤野 陽三（東京大学 大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 教授）

1. 背景

わが国の高速道路では維持管理の重要性が増している。車両から直接荷重を受ける舗装路面・伸縮装置はダメージを受けやすく、それが車両の走行性、安全性に大きな影響を与える。舗装・伸縮装置の劣化や不具合により高速道路ユーザーが引き起こす事故や沿道住民への騒音を未然に防ぐためには、舗装・伸縮装置の状態を常に把握し、維持管理しておかなければならない。

現在、目視点検は行なわれているものの、一度に多くの対象物を目視しながら実施するため、その結果は個人の技量に依存し定量的評価であるとは言い難い。一方、路面性状検査車による点検は高精度であるものの、運用費が非常に高くデータ処理が自動化されていないため、道路管理者のもとに調査結果が届くまでに時間がかかってしまう。

2. 道路高速診断システム Vehicle Intelligent Monitoring System(VIMS)の概要

このような現状を打開するため、本研究では高速道路を巡回する日常点検車に加速度計および位置同定のための GPS を搭載し、その計測結果から高速道路の路面状態や伸縮装置の状態を加速度計によりリアルタイムでモニターし、劣化度を定量的に把握する道路高速診断システム Vehicle Intelligent Monitoring System(VIMS)を開発した(図-1)。VIMSは、通常業務に支障をきたさずに高頻度かつ継続的に監視することができる移動モニタリングシステムである(図-2)。安価でありながらも日常点検の点検精度を高めるとともに、高精度点検が可能となり高速道路における事故を未然に防ぐことに役立つと考えられる。更に、路面や伸縮装置の状態を数値的に示すことができるため、保全技術の効果を定量的な形で示すことができる点も意義が高い。従来の点検手法と比較すると、VIMSは図-3のような位置を目標としている。すなわち、日常巡回車を利用し、従来の車上目視点検にVIMSを組み入れることで、従来の点検とほぼ同じコストで、定量的な舗装・伸縮装置の診断を実施することが可能となる。

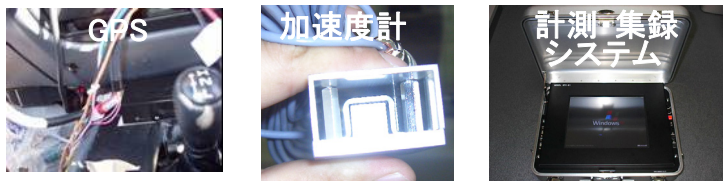


図-1 VIMSに必要な計測関連機器

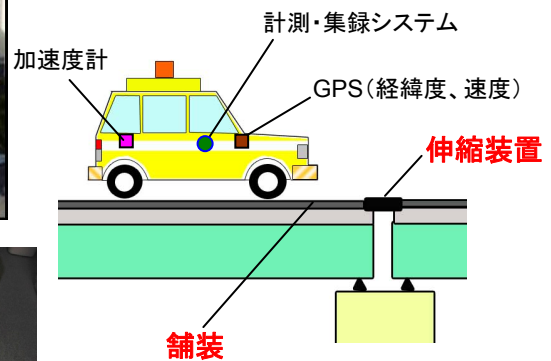


図-2 VIMSの概要

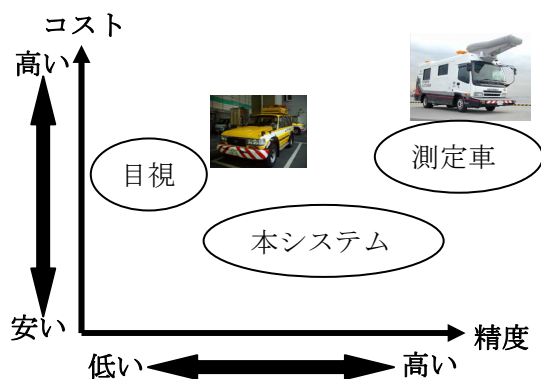


図-3 VIMS の位置づけ



図-4 計測・集録システム

3. 計測車両加速度からの点検指標値の算出

3.1 計測・集録システムの開発

本研究において開発された計測・集録システムでは加速度応答と位置情報を対応付けられるよう加速度データとGPSデータの同期集録を行っている。信号の受信状態が悪い場所でも測位でき、かつ、できるだけ正確に走行速度を集録できるように、GPSは車速パルスを利用したものを使用している。更に、日常点検者が通常業務と平行してVIMSを使用する際の作業性を考慮し、簡易なボタン操作のみで計測を行うことができる計測・収録システムを考案した(図-4)。

3.2 点検指標値の導出

本システムにおいて点検指標値として採用したのは、加速度値から換算される路面の平坦性の指標としての IRI (International Roughness Index、国際ラフネス指数)と伸縮装置部における段差量である。

1) IRI の導出方法

本研究では、車両の加速度応答から直接クォーターカーモデル(QC)の加速度を求め、IRIを近似式により求める方法を提案する。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-5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-6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(1)式のようになり、加速度からIRIを求めることが可能である。

$$IRI(mm/m) = 0.0429 \times a_{qc_rms}(gal) + 0.0618 \quad (1)$$

IRI導出については、まず、路面形状から計測車両に対する伝達関数と、クォーターカー(QC)モデルの伝達関数により、計測車両からQCモデルの加速度を求める。その後QCモデルの加速度RMSとIRIとの近似式(解析により導出)によりIRIを求めるものとした。こ

の方法により、衝撃応答以外の部分では真のIRIとの最大誤差12%と実用レベルの精度を得ている。

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、(1) 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。この際、QC モデルの伝達関数は簡単に求めることができるが、計測車両の伝達関数には同じ路面上での形状と計測車両の加速度が必要となる。

そこで、補正フィルターを求めるため、新設舗装から段差などの様々な状態が混在する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。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。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 加速度とを比較した結果を図-7 に示す。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真の IRI との最大誤差が 12%と実用レベルの精度を得ており、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。

2) 段差量の導出方法

段差量と加速度の関係を調べるため、図-8 に示す6つの凹凸形状の段差（進行方向幅 70cm）上を時速60kmで走行し、そのときの車両の応答を計測した。得られた車両の加速度は図-9 のようになる。波形の中で衝撃的な応答が出ているところが段差通過時の応答である。5回分のデータに対し、段差量の絶対値とそれぞれの段差での加速度の最大振幅をプロットしたのが図-10 であり、両者は高い線形相関（相関係数0.99）を示す。加速度のピーク値から±2m分（図-10参照）の加速度RMSについても高い相関（相関係数0.92）を示すことがわかっており、段差量と加速度応答には1:1の関係があると言える。

次いで、首都高速道路における伸縮装置交換前後の交通規制を利用して、DAMを用いて形状を測定し、同じ箇所を通過する際の車両の加速度を計測した。実際に形状を測定した伸縮装置は4箇所であり、測定位置は伸縮装置の中心から前後2m、左右両わだち部とした。

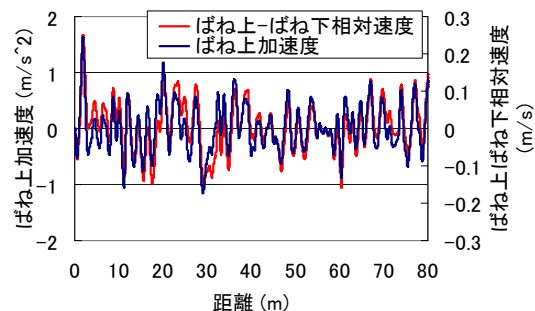


図-5 QC モデルの応答

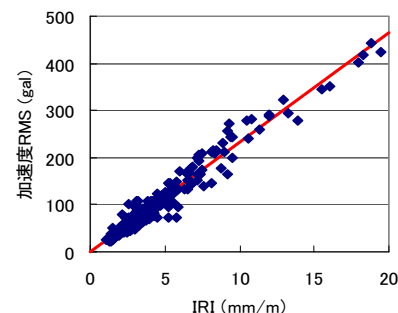


図-6 IRI と加速度 RMS の関係

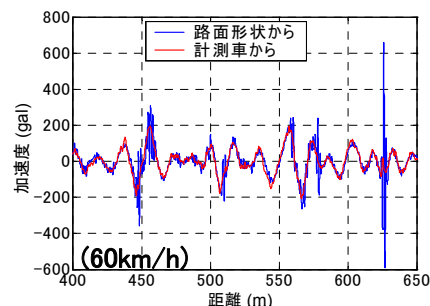


図-7 路面形状から QC 加速度の再現

車両応答に関する代表値には、伸縮装置部での全振幅、段差実験において相関の大きかった伸縮装置部での最大振幅、加速度RMSを用いた。RMSの計算範囲は、実測データにおいて伸縮装置部を通過した際の衝撃応答波形の長さを考慮し、絶対最大振幅から±2mとした。解析結果を図-11に示す。ここで用いた指標の精度を、回帰式による段差と実測した段差の差の最大値として求めると、±1.4mm (16.7%) となり、伸縮装置部の段差も車両応答により求めることが可能であるといえる。

4. 診断システムの開発と首都高速道路への適用結果

本システムで算出される指標値を基に、異常箇所を地図表示するための診断システムを開発した。診断システムはWebブラウザ、Webアプリケーションサーバ、データベースサーバから構成される。このシステムではWebアプリケーションサーバを通じて指標値の算出、データの蓄積、異常箇所・構造物情報の表示を行い、データベース内の位置情報データと外部のGISデータベース(Google Maps)を連携させることにより、地図表示を実現している。また、計測回ごとに指標値がデータベースサーバ内の指標値履歴データに蓄積されていく。本診断システムはWeb上での操作となり、データや診断結果をリアルタイムで共有することができる。

そこで、2005年12月29日に首都高速道路の神奈川線を除く全線を計測した。車両速度は可能な限り60km/hとした。ここでは指標値をIRIに絞り、160m間隔でIRIを求め、地図上にプロットした(図-12)。道路の種類別のIRIの範囲を見ると、高速道路のIRIは通常2mm/m以下となっているため、2mm/m以上のものをIRIの大きい箇所とした。IRIの大きな上位3路線について検討した結果、都心環状線、渋谷線、新宿線となっており、IRIの小さい上位3路線は大宮線、川口線、中央環状線となっている。この結果は供用期間、舗装の施工年月、交通量に依存するものであると考えられる。現在、首都高速道路株式会社、阪神高速道路株式会社、中国地方整備局などで特定路線を定期的に走行しながら、継続的に舗装状態をIRIで評価すると同時に伸縮装置部の段差量を計測し、本システムが道路管理者の有効なツールとなるための試験運用を実施している。

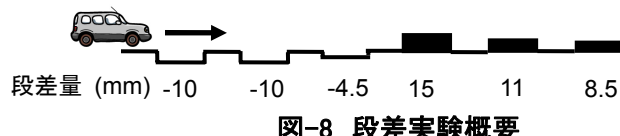


図-8 段差実験概要

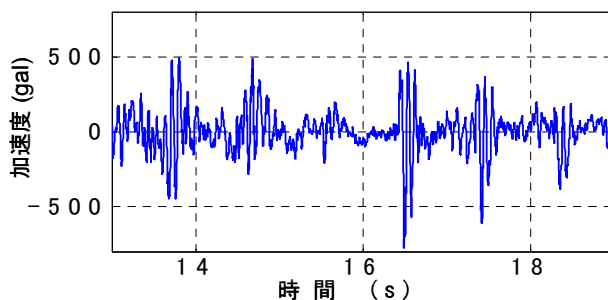


図-9 段差実験における加速度(走行速度-60km/h)

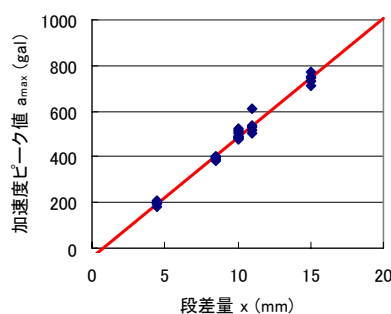


図-10 段差と加速度最大振幅との関係

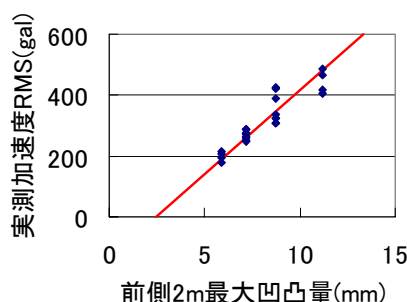


図-11 伸縮装置部の形状パラメータと実測RMS加速度の関係(60km/h)



- 下り、外回り、悪
- 下り、外回り、良
- 上り、内回り、悪
- 上り、内回り、良

【IRI統計データ】
 最大: 2.43mm/m
 最小: 0.76mm/m
 平均: 1.45mm/m
 基準以上: 70箇所

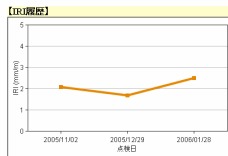
📍: IRIワースト10
 🟡: IRI 2mm/m以上

詳細情報



【構造元データ】

路線名	高速1号小松川線
舗装番号	P-9
方向	下
車線区分	走行
採取経緯	経度: 139.63
適用基準	建設省標準



【補修履歴データ】

舗装履歴	施工年月	厚さ(mm)	使用材料
表層	1982/03/31	3	粗粒G(AC)
基層	1982/03/31	3	粗粒AS

【点検履歴データ】

点検年月日	採取機器	数量・寸法	測定	応答対応方針	対応済み
2005/03/06	穴	幅×長さ×深さ(㎜)200×300×3	A1	高度管理	○

※各箇所の詳細情報を表示することが可能

図-12 診断システムによる結果表示例

5. 高速視覚センサを利用した路面性状診断システムの導入

路面性状検査車による点検は、対象区間全域の路面を撮影した膨大な画像データを検査員が逐一目視し損傷を判定するという非常に非効率的なものである。これに対し本研究では、路面性状に関する画像情報の取得時において、高速視覚センサであるビジョンチップと、市販のデジタル一眼レフカメラを組み合わせることで、合理的なデータ集録を実現するシステムの構築を行った(図-13)。これまでの研究によって、ビジョンチップに実装する粗画像探索フィルターを構築した(図-14)。

さらに本システムでは、データ集録後の損傷判定に対しても、自動画像処理を用いることでその効率化を図る。これは、デジタル一眼レフカメラによって撮影された画像において、離散化誤差の発生を抑制しながらひび割れ画素のみを抽出し、ひび割れ率や幅、進展方向等の定量的な損傷情報の取得を可能とするものである。今後は、データベースの構築とデータ転送システムの開発を進める。

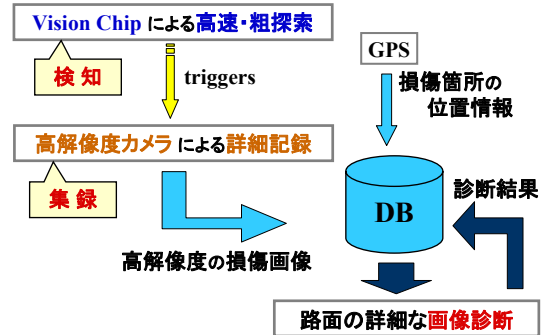
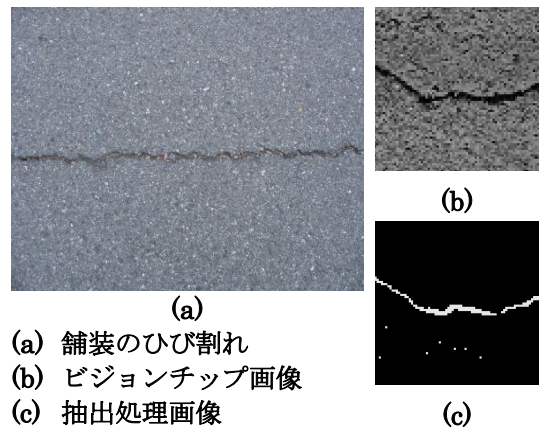


図-13 診断システムの概要



- (a) 舗装のひび割れ
- (b) ビジョンチップ画像
- (c) 抽出処理画像

図-14 粗画像探索適用例