

機械学習を用いた橋梁の交通環境分析システムの提案

山梨大学 学生会員 ○高木 詩歩, 非会員 大畠 拓也, 山梨大学大学院 正会員 竹谷 晃一
東京工業大学 正会員 佐々木 栄一, 非会員 飯塚 大介

1. はじめに

多くの橋梁で走行車両などによる外力の繰り返し作用によって損傷が蓄積され、亀裂やひび割れの発生に伴う経年劣化が進行している。特に大型車や過積載車両が橋梁の劣化に与える影響は交通量全体のおよそ9割と大きい¹⁾。そのため重量車両の交通環境を把握する方法が求められている。

そこで本研究は、橋梁上の重量車両の交通環境を長期的に把握するため、走行車両の重量推定のほか、基礎的な検討として走行車線の識別や車両識別について、実橋梁に設置した加速度計と機械学習を利用した分析を行うシステムの提案を目的とした。

2. 活荷重による変位の算出

対象橋梁の模式図と加速度センサの設置位置を図-1に示す。使用したMEMS式加速度センサはEPSON製M-A351で、基本仕様を表-1に示す。対象橋梁は神奈川県的一般道路にある二径間連続鋼箱桁橋であり、片側1車線ずつ、交通量は毎時300~600台である。加速度センサによる連続計測のほか、交通環境を目視で把握するため、橋梁から河川沿いに約50mの位置からビデオカメラで撮影を行った。計測から得られた加速度データを時間積分することで変位の算出を行う。数値積分を行う際には、加速度センサの低周波ノイズによる影響を除去するフィルターをかける必要がある。ある大型車が単独で通行した際の支間中央部(N-3)の加速度データの時刻歴波形を図-2に示す。また、加速度パワースペクトル密度を図-3に示す。0.03Hz~1Hzの間にパワースペクトルの山が存在し、この周波数帯が走行車両によるたわみ成分と考えられる。そこで、0.03Hz~1Hzのバンドパスフィルターを用いることによって車両の通過に伴う橋梁のたわみを算出した。一例として図-2の加速度波形を二階積分して得られる同大型車通行時の変位波形を図-4に示す。

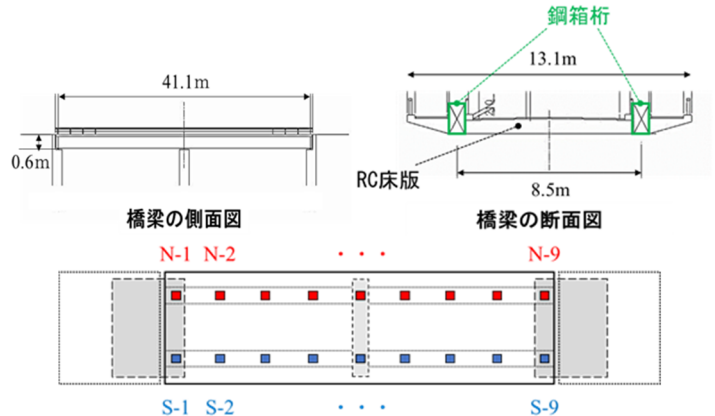


図-1 対象橋梁の模式図と加速度センサの設置位置

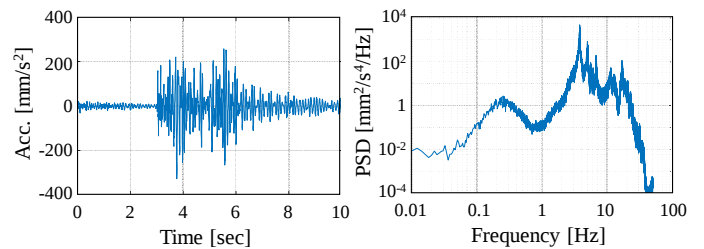


図-2 車両通過時の加速度

図-3 加速度の PSD

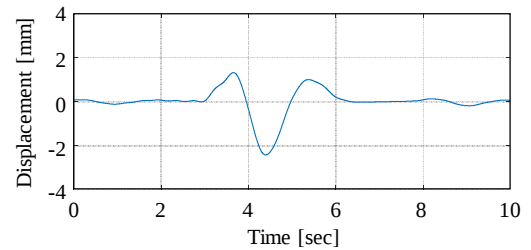


図-4 試験車の変位(フィルタ処理後)

表-1 加速度センサ(M-A351)の仕様

range	sampling	resolution	noise
±5G	10ms	0.06(μG/LSB)	0.5(μG/√Hz)

3. 各システムの分析結果

(a) 走行車線識別

片側車線の2つの加速度センサから二階積分で得られる変位の極大時刻のラグに着目して、それを入力データとしたシステムを構築した。また、機械学習の様々な手法を検討した結果、決定木の結合を利用している。提案システムによる走行車線識別の結果

キーワード 橋梁振動, 機械学習, Bridge Weigh-in-Motion(B-WIM), 交通環境分析

連絡先 〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11 山梨大学工学部 TEL: 055-220-8519 E-mail : ktakeya@yamanashi.ac.jp

を表-2に示す。400台分のデータを用いて学習し、860台の走行車線を識別した結果、識別精度は90.8%で片側車線のセンサのみでも良好な精度が得られた。

(b) 車両識別

大型車・普通乗用車の識別においても走行車線識別と同様の決定木の結合を利用した。検討の結果、入力データは支間中央部の4つの加速度センサから数値積分で得られる変位の極大値を用いた。提案システムによる走行車両の識別結果を表-3に示す。400台分のデータでシステムの学習を行い、860台の車両識別を行った結果、識別精度は91.0%であった。

(c) 重量推定

様々な検討の結果、重量推定では回帰木の結合を用い、入力データは支間中央部の変位の極大値とした。本研究では走行している多数の普通乗用車に着目し、それぞれの変位の極大値と仮定した平均重量を学習用データとしてシステムの学習を行った(図-5)。具体的には、軽自動車、セダン型、ワゴン型に大別し、平均重量を1, 1.5, 2トンと仮定して学習を行った。単独走行する普通乗用車100台分を学習用データとし、ランダムに走行する860台を対象に重量推定を行った際の重量分布を図-6に示す。また、精度検証として単独走行する19.7トンの試験車を同システムで重量推定した結果、推定重量は19.9トンであった。

4. まとめ

本研究は、実橋梁における振動計測と機械学習を用いた交通環境の分析を目的とし、(a) 走行車線の識別、(b) 車両識別および(c) 重量推定システムの構築と適用を行った。得られた知見を以下に示す。

- (a) 走行車線の識別では、同一車線に設置した加速度計から数値積分により算出した変位が極大となる時刻を入力データとすることで、90%以上の精度で走行車線が識別可能なシステムを構築した。
- (b) 大型車と普通乗用車の識別では、支間中央部変位の極大値を入力データとすることで、車両識別精度が90%以上のシステムを構築した。本システムで識別した普通乗用車は重量推定の学習データとして今後活用していく。
- (c) 大型車の重量推定では、支間中央部変位の極大値に着目し、走行している多数の普通乗用車による橋梁変位の極大値を学習用データとしてシステ

表-2 提案手法による車線の分類結果

		分類結果	
		右車線	左車線
目視による分類(正解値)	右車線	37.8% (325)	5.7% (49)
	左車線	3.5% (30)	53.0% (456)

表-3 提案手法による車種の分類結果

		分類結果	
		大型車	小型車
目視による分類(正解値)	大型車	15.5% (133)	4.2% (36)
	小型車	4.8% (41)	75.6% (650)

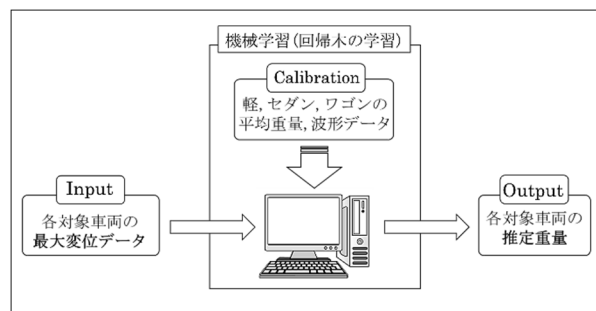


図-5 車両重量推定方法の概要

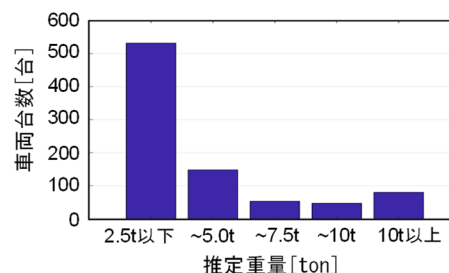


図-6 推定した走行車両の重量分布

ムの学習を行った。その結果、単独走行する試験車の重量を95%以上の精度で推定した。

車両が連行する場合は重量の推定精度が86%程度まで下がるが、今後学習データをアップデートしていく手法や入力データをさらに検討することで交通状況に対してロバストなシステムを構築していく。本研究で提案するシステムは、従来のB-WIMで必須であった試験車走行が不要であるため、供用中の橋梁にも比較的容易に適用可能と考えている。

5. 謝辞

本研究は鋼橋技術研究会「センシング技術を用いた構造評価に関する研究部会」(部会長: 東京大学長山智則准教授)における検討の成果を一部活用させて頂いております。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 道路の老朽化対策に向けた大型車両の通行の適正化方針, 国土交通省, H26年5月9日発表。