

橋梁振動データの波形特徴量に対する重回帰分析に基づく通過車両数推定式の構築

横浜国立大学 学生会員 ○伊藤駿 横浜国立大学 正会員 西尾真由子
長野計器株式会社 正会員 生井貴宏

1. はじめに

現存する多くの橋梁では老朽化が見られ、適切な点検や維持管理が必要である。構造モニタリング(SHM: Structural Health Monitoring)はセンサ技術を活用して客観的・定量的に構造状態を把握するものとして、国内外の実橋梁で検討が進められている。通常、SHMではセンサで得られた応答より橋梁の構造状態評価を行う。しかし本研究では、応答から通過車両数、すなわち活荷重に関する入力情報が得られれば、SHMデータの新たな活用方法となると考えた。さらに近年国内外で検討されている性能照査型維持管理²⁾では、耐荷力評価に用いる平均日大型車交通量(ADTT: Average daily truck traffic)に実際の通過車両を適用することで、より妥当な評価ができると考えられる。本研究では、対象橋梁で常時取得する加速度データから、環境因子の影響を受けにくい加速度振幅に関する特徴量を用いて、通過車両数を推定する重回帰モデル式の構築を行った。

2. データの取得

本研究では検証に、新潟県国道18号の妙高大橋(4径間連続PC箱桁橋)でのモニタリングデータを用いた。重回帰モデル式の作成のために必要なデータとして、妙高大橋の通過車両数の計測、加速度データの常時取得を行った。通過車両数の計測は、妙高大橋に設置された交通状況監視カメラ映像から、2015年11月17日火曜日から11月26日木曜日での、10分間総通過車両数と大型車通過車両数の計測を行った。尚、二輪車は除き、大型車は荷台のついた車両とした。図1は、計測に用いた監視カメラ映像で、右側に大型車に分類した車両の一例を示す。加速度データは、径間中央の1つに設置した圧電型加速度センサにて、サンプリング周波数200Hzで上記と同じ期間、常時計測を行った。

3. 加速度データからの特徴量抽出

車両通過時の加速度波形は、一般的にホワイト



図1 通過車両数計測に用いたカメラ映像

ノイズで正規分布を示す常時微動に、車両通過時の減衰応答波形が重なっていると考える。図2は通過車両数が多い時と少ない時の10分間加速度波形である。通過車両数が多い時は、衝撃応答の数が多くなり、10分間波形の振幅は全体的に大きくなる。さらに、図3に図2の各波形の正規確率プロットを示す。通過車両数が多い時は、常時微動の正規分布からの外れ値が多くなった。通過車両数の推定では、説明変数にこれらの違いを捉えられる特徴量として、①10分間波形振幅のRMS: f_R 、②正規分布外れ値の数: f_N 、外れ値絶対値の③中央値 f_N と④最大値 f_{max} 、⑤10分間波形分布の尖度 f_k の5つを、特徴量抽出した。

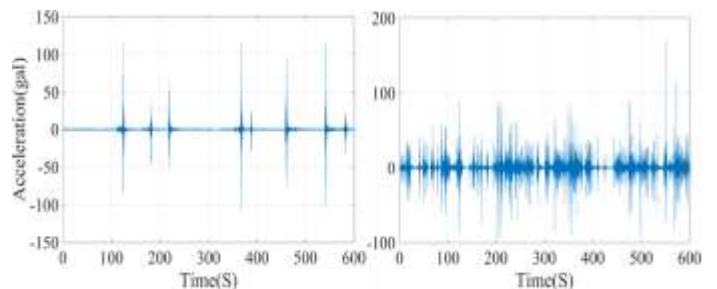


図2 10分間加速度波形の違い(左: 少ない, 右: 多い)

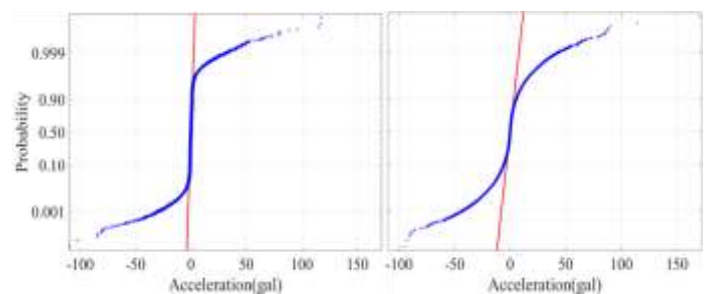


図3 正規確率プロットの違い(左: 少ない, 右: 多い)

キーワード: 構造モニタリング, 橋梁通過車両数, 加速度波形, 重回帰分析, 特徴量抽出

連絡先: 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 TEL 045-339-4243, FAX 045-348-4565

4. 交通量推定重回帰モデル式の構築

4.1. 相関解析に基づく説明変数の選択

説明変数選択のため、総通過車両数と大型車通過車両数と候補説明変数の相関解析を行った。候補説明変数は、前項に示した①-⑤と、それらの対数値と二乗値とした。表1には特に、総通過車両数と①-⑤の相関係数をまとめた。総通過車両数とは特に②外れ値の数と③中央値が高い相関を示したが、一方で①波形RMSと③中央値での相関も高いことがわかる。このように特に2つの説明変数同士の相関が高いとき、多重共線性を考慮しなければならない。このため説明変数同士の分散拡大係数VIFをもとめ、 $VIF \geq 10$ の2変数は、同時に推定式へ採用しないこととした。

表1 総通過車両数と特徴量の相関係数

	総車両数	f_R	f_N	f_M	f_{max}	f_k
総車両数	1.00					
f_R	0.90	1.00				
f_N	0.93	0.78	1.00			
f_M	0.74	0.93	0.64	1.00		
f_{max}	0.05	0.24	-0.11	0.36	1.00	
f_k	-0.76	-0.68	-0.82	-0.59	0.17	1.00

4.2. 重回帰モデル式の構築

4.1項で導出した相関係数とVIFをもとに、11月17日から18日の24時間分のデータより、総通過車両数 $\hat{Y}_{all}$ 、大型車通過車両数 $\hat{Y}_{truck}$ を推定する重回帰モデル式を、それぞれ式(1)(2)のように構築した。

$$\ln \hat{Y}_{all} = 2.791 - 1.028(\ln f_k) + 0.008(f_{max}) + 0.595(\ln f_N) \quad (1)$$

$$\ln \hat{Y}_{truck} = -2.421 + 0.044(f_R^2) + 0.035(f_M) + 0.380(\ln f_N) \quad (2)$$

説明変数の決定は、 t 検定によりモデル式における説明変数の有意性を確認した上で、補正 R^2 値が高くなるよう試行錯誤した。重回帰式の係数は最小二乗推定で求めた。決定した式(1)と式(2)では、それぞれ推定 R^2 値が0.948と0.840と、高い値が得られた。

4.3. 推定式の精度

図4と図5は、総通過車両数および大型車通過車両数について、実測値に式(1)(2)の推定値(赤線: 11/17-11/18)と予測値(青線: 11/18以降8日間)を、それぞれ重ねた図である。日総通過車両数の予測精度を、実測値に対するRMSE (Root mean square error)でみると、総じて $\pm 10\%$ より小さい精度が得られた。また、8日間の平均日交通量(ADT: Averaged daily traffic)は、実測値に対して-4.8%の誤差となった。一方、大型車通過車両数では、平日は $\pm 10\%$ 程度の精度が得られ、ADTTでも-4.6%の精度が得られた。しかし特に11/22(日)では、予

測誤差が極端に大きくなった。図5でも、11/22日曜日で、実測値と予測値の時系列が大きく異なる。これは、式(2)で採用した説明変数、特に最も寄与の高い②外れ値数が、大型車通過車両数と総通過車両数の両方に相関が高いことによると考えられる。日曜日は、昼間の10分間あたり総通過車両数が約250台と平日の150台程度に対して大きい。大型車混入率は、平日昼間は概ね24%であるのに対し、日曜日は1.3%と著しく小さかった。推定式(2)では、日曜日に支配的であった大型車以外の車両応答が、大型車台数に換算して推定されたため、実測より大きい予測値となったと考えられる。

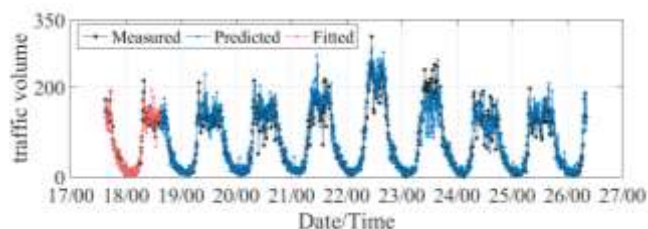


図4 総通過車両数の推定値と実測値の比較

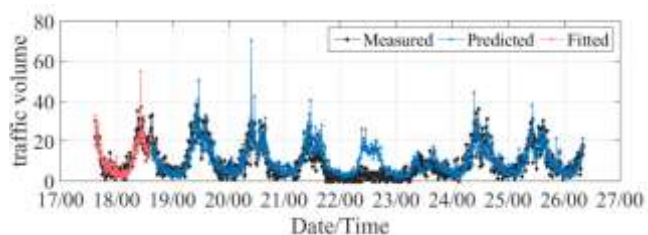


図5 大型車数の推定値と実測値の比較

5. 結論

本研究では、橋梁振動データからの総通過車両数および大型車通過車両数推定を提案し、波形特徴量を用いた重回帰モデル式を構築できた。今後は、橋梁振動と車両通過状況の関係へ詳細な考察を行い、より高精度な推定式構築に向け検証を進める。

6. 謝辞

本研究の通過車両数データ取得には、国土交通省北陸地方整備局高田河川国道事務所より多大なご協力をいただきました。また振動データ取得では、特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会のご協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 宮下ら: 妙高大橋のPCケーブル損傷に伴う外ケーブル補強と今後の維持管理について, 国土交通省北陸地方整備局事業研究発表会資料, 2012年7月。
- 2) Minervino, C., et al: New AASHTO guide manual for load and resistance factor rating of highway bridges, J. Bridge Engineering 9 (1), pp.43-54, 2004.