

## 動画像を利用した影響線の逆推定およびBridge Weigh-in-Motionの構築

山梨大学大学院 学生会員 ○森 淳輝

東京工業大学 正会員 竹谷 晃一, 山梨大学大学院 正会員 吉田 純司

### 1.はじめに

橋梁の活荷重の計測方法として、橋梁の構造応答から車両重量を逆推定するB-WIMが挙げられる。多くのB-WIMは車両の走行速度を一定として計算するが、スパンの大きな橋梁や一般道路橋では走行速度が変化してしまうため誤差が生じる。また、経年劣化などが原因で橋梁の構造応答が変化するため、定期的なキャリブレーション作業が必要である<sup>1)</sup>。

そこで本研究は、橋梁を走行中の路線バスのたわみ応答から影響線を逆推定することでキャリブレーションを行った。また、動画像に畳み込みニューラルネットワーク (CNN) とカルマンフィルタを利用することで、車両を検出・追跡し、走行速度が変化する車両の重量を推定するB-WIMを構築した。

### 2.動画像による車両の追跡

実橋梁実験の対象橋梁およびレーザー変位計の設置概要を図-1に示す。対象橋梁は9径間単純桁橋、鋼H桁橋、橋脚P1、P2間の長さは10mである。レーザー変位計はデータロガーと時刻同期させ、サンプリングは100Hzとした。車両追跡用のビデオカメラを設置し、変位計とデータロガーと同様の時刻同期をした。撮影した動画から抜き出した画像を図-2に示す。

ビデオカメラにより撮影した動画像から車両通過画像を取り出し、車種と境界座標を指定することでデータセットを作成した。車種は「乗用車」、「大型車」、「バス」の3分類とし、データセットの6割を学習用データ、4割を検証用データとした。データセットの概要を表-1に示す。学習済みニューラルネットワークのResNet50<sup>2)</sup>に転移学習させ、車両検出器を作成した。作成した検出器を動画像にフレームごと適用させ、カルマンフィルタを利用することで検出した車両の車軸位置を追跡した。カルマンフィルタの設定と車両追跡結果の一例を表-2、図-3に示す。

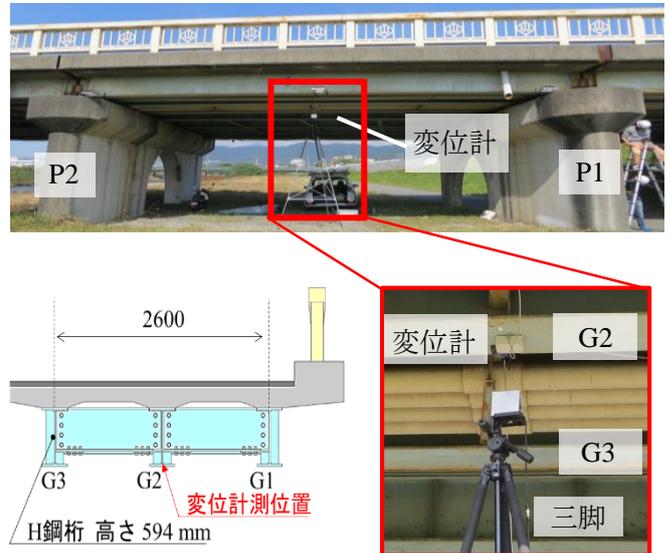


図-1 対象橋梁および変位計の設置概要



図-2 ビデオカメラで撮影した動画の一例

表-1 データセット概要

	画像 (枚)	乗用車 (台)	大型車 (台)	バス (台)
データセット	2988	4569	593	172
学習用	1793	2741	356	103
検証用	1195	1828	237	69

表-2 カルマンフィルタの設定

運動モデル	等速度モデル	可視の閾値	10フレーム
誤差の基準値	800	不可視の閾値	15フレーム
認識の閾値	5フレーム	検出器ノイズの閾値	100



図-3 車両追跡結果の一例

キーワード Bridge Weigh-in-Motion, 動画像, 影響線, 路線バス, CNN, カルマンフィルタ

連絡先 〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11 TEL: 055-220-8521

### 3. 路線バスを利用した影響線の逆推定

影響線の逆推定に用いる車両として常時走行している路線バスに着目した。路線バスのたわみ応答を利用した影響線の逆推定の手順を以下に示す。

- (1) 影響線の初期値と軸重の初期値を設定
- (2) 影響線を時間軸上に変換
- (3) 軸重倍した影響線とたわみ応答との誤差二乗和
- (4) (3)が最小値となる影響線を探査
- (5) 軸重を補正し、(3)の計算
- (6) (2)~(5)を繰り返すことで影響線を逆推定する。

以上のフロー図を図-4に示す。路線バスは乗客数や内装により総重量にバラつきが生じるため、複数の路線バスから逆推定した影響線の中央値を算出した。軸重の初期値は前輪、後輪それぞれ4.15tonとし、10台の路線バスのたわみ応答から影響線を逆推定した。それぞれの影響線と中央値を図-5に示す。橋脚P1,P2区間外の影響線を算出することで、隣接する桁の影響を考慮した。

### 4. 重量既知車の重量推定

逆推定した影響線を利用して、重量既知の試験車の重量を推定する。試験車は前輪軸重が3.8ton、後前輪と後後輪の合計が10.2ton、合計重量が14.0tonのタンデム軸車両を用意した。試験車の写真を図-6に示す。試験車は対象橋梁を時速30kmから40kmへ速度変化しながら走行した。重量推定したところ、前輪軸重は4.7ton、後前輪と後後輪の重量は9.4ton、合計重量は14.1tonと推定された。重量推定結果と変位計による実測値と影響線を重ね合わせた波形とのフィッティング結果を表-3、図-7にそれぞれ示す。

### 5. まとめ

本研究では対象橋梁にビデオカメラを設置し、走行する車両をCNNとカルマンフィルタにより車軸位置を追跡した。また、常時走行中の路線バスのたわみ応答を利用することで影響線を逆推定し、試験車の重量を推定した。得られた知見を以下に示す。

- i) データセットから学習済みニューラルネットワークの転移学習による車両検出器を作成し、カルマンフィルタを同時に利用することで、対象橋梁を通過する車両の車軸位置を追跡した。
- ii) 路線バスのたわみ応答と車軸位置の時間関係から影響線を逆推定し、10台の路線バスによる影響線の中央値を採用した。

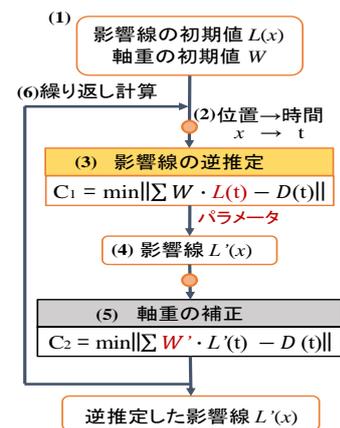


図-4 影響線の逆推定のフロー

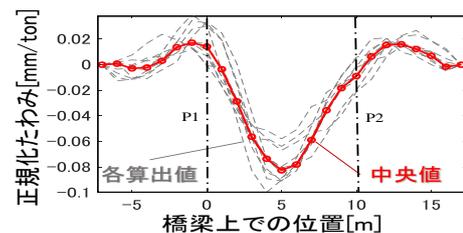


図-5 逆推定した各影響線と中央値



図-6 試験車の写真

表-3 重量推定結果

	前輪 [t]	後前輪 [t]	後後輪 [t]	合計 [t]
公称重量	3.8	10.2		14.0
推定重量	4.7	5.5	3.9	14.1

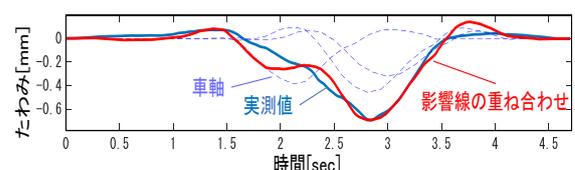


図-7 フィッティングの結果

iii) 重量既知の試験車を用意し、走行速度が変化する試験車の重量推定精度を検証したところ、14.0tonの試験車を14.1tonと推定した。

今後の展開として、影響線を逆推定した路線バスは試験車走行実験日と異なるため、影響線を更新していくことで更なる精度の向上が期待される。

### 【参考文献】

- 1) 関屋英彦, 小西拓洋, 木ノ本剛, 三木千壽, MEMS 加速度センサを用いた変位計測に基づく Portable-Weigh-in-Motion システムの提案, 土木学会論文集 A1, vol.72.No.3.pp364-379, 2016
- 2) K., He, X., Zhang, S., Ren, J., Sun : Deep Residual Learning for Image Recognition, arXiv:1512.03385v1 [cs.CV] 10 Dec 2015