

動画像を用いた BWIM による車両重量推定実験

NTT ドコモ 正会員 ○小林 基成, 齊藤 隆仁, 實成 優馬, 池田 大造
大日本コンサルタント 正会員 牧 祐之, 横山 広, 平山 博
京都大学 正会員 金 哲佑, 金沢大学 正会員 梶谷 浩, 富山市 非会員 宇津 徳浩

1. はじめに

橋梁の損傷要因の一つとして、過積載車両の通行がある。そのため、橋梁上を通過する車両の重量分布は維持管理のための重要な情報となる。車両の重量を計測する手法として、ひずみゲージなどを用いた Bridge Weigh in Motion(以下、BWIM)が検討されている。しかし、ひずみゲージなどのセンサを橋梁に設置するためには、設置場所へのアクセスや電源の確保など困難が伴う。本研究では、簡易に車両重量を計測するため、動画像を用いた BWIM を検討している。動画像から橋梁の変位を計測し、変位値から車両重量を推定する。実橋梁上を約 27tonf と 12tonf の 2 種類の車両を走行させたときの重量推定の性能評価結果について報告する。

2. 変位影響線を使った BWIM

カメラを用いて橋梁の動画像を撮影し、動画像の各フレームを比較することで橋梁の変位を計測することが可能である。変位を用いた BWIM¹⁾も知られており、動画像から得られた橋梁の桁側面の変位を用いた BWIM を構成した。桁の変位は、橋梁上を走行する車両の各車軸の重量により生じる変位の重ね合わせであり、時刻 t における桁側面の桁測定点 j の変位 $u_j(t)$ は、式(1)のように表せる。ここで、 N_{ax} は車軸の総数、 A_n は車軸 n の軸重、 $x_n(t)$ は、時刻 t における車軸 n の位置、 $i_j(x_n(t))$ は桁計測点 j の変位影響線である。変位影響線は、単位軸重の移動により生じる変位の変化を表す。変位影響線は、対象となる橋梁上を、あらかじめ軸重が既知の車両を走行させることで求めることができる。

$$u_j(t) = \sum_{n=1}^{N_{ax}} A_n \cdot i_j(x_n(t)) \quad \text{----- (1)}$$

3. 実験方法

図 1 に実験の模式図を示す。橋梁上を軸重が既知の重量の車両を通行させ、車両の重量による橋梁の変位をカメラで計測するよう構成した。橋梁は供用中の単純鋼鉄桁橋を用いた。橋梁は橋長 88m で、3 径間のうちの 1 径間を実験の対象とした。対象の径間長は 28.7m である。

車両は表 1 のように重量が約 27tonf の車両(以下、27t 車)と約 12tonf の車両(以下、12t 車)を用いた。カメラの解像度は 3840×2160、フレームレートは 29.97FPS とした。圧縮はフレーム間圧縮をしない ALL-I フレームモードで撮影した。カメラは、橋梁の評価対象とする径間の中央部を撮影した(図 2)。このときの撮影範囲は約 1.5×0.8m、1 画素の大きさは約 0.39mm である。橋梁の撮影部にはマーカを設置し、変位を計測しやすくした。実験では、車両は、①12t 車を右端から左端へ前進で通行、②27t 車を右端から左端へ前進で通行、③27t 車を左端から右端へ後退で通行、④12t 車を左端から右端へ後退で通行、の 4 動作を 7 回繰り返す、合計 28 回変位を計測した。27t 車の 1 回目の②前進、③後退の変位データから前進時の影響線と後退時の変位影響線を求め、各車両が橋梁を通過する毎に重量を推定した。車軸の位置は、変位の立ち上がり、立ち下り時刻から車両が橋梁に入る時刻と出る時刻を推定し、その間等速で移動していると仮定して推定した。

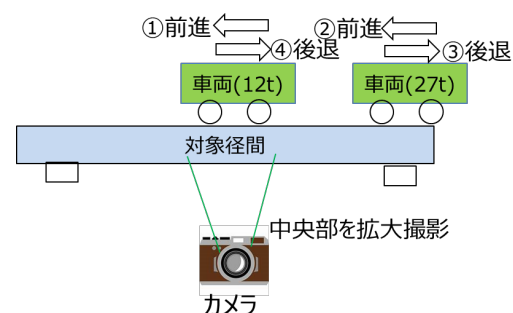


図 1 実験の模式図



図 2 撮影範囲

キーワード 動画画像解析, BWIM, 鋼鉄桁橋, 変位

連絡先 〒239-8536 神奈川県横須賀市光の丘 3-6 株式会社 NTT ドコモ 先進技術研究所 TEL 046-840-3320

4. 車両重量推定精度評価

(1) 動画像を用いた変位の計測結果

車両を通行させたときの橋梁の変位の計測結果を図 3 に示す。周期的に山が観測されるが、それぞれの山は、各車両が橋梁に入ってから出るまでの橋梁の変位を表している。変位は、12t 車の通行では 1 mm、27t 車の通行では 2mm 付近に多く生じており、車両重量に比例した変位が計測できている。

(2) 車両重量の推定結果

図 4 に走行毎の車両重量の計測結果を示す。図の横軸は、通行車両の重量、動作に紐づけられており、例えば、「3-2」は、3 回目の「②27t 車を右端から左端へ前進で通行」を示している。つまり、車両の通行順に左から重量の推定値を並べている。27t 車、12t 車とも概ね真値付近の値を推定しており車両重量を捉えられていることがわかる。表 2 に 27t 車、12t 車それぞれの車両重量推定値の平均値、標準偏差、誤差を示す。誤差は真値との平均二乗誤差平方根を真値で割った値と定義した。27t 車については、1 回目の②前進、③後退のデータは影響線の算出に用いたため除外した。27t 車については、真値 27.2tonf に対し、平均 27.2tonf、標準偏差 3.7tonf で推定できており、誤差は 13%である。12t 車については、真値 11.8tonf に対し、平均 12.6tonf、標準偏差 4.9tonf で推定できており、誤差は 40%である。27t 車に比べて 12t 車の誤差が大きいが、これは、12t 車の 1 回目の前進の重量が 27tonf 程度と大きく推定していることが原因である。図 3 の 12t 車の 1 回目の前進時の変位をみると、最大約 2mm である。

これは、27t 車と同程度であり、変位計測の失敗により重量誤差が大きくなっている。これは、日光の加減による被写体の明るさ変化など撮影環境の変化が要因である可能性がある。有意水準 0.01 でスミルノフ・グラブス検定を行うと、1 回目および、最後の車両重量推定値は外れ値と判定できる。この 2 点を除去すると、12t 車の推定値は、真値 11.8tonf に対し、平均 12.0tonf、標準偏差 1.4tonf であり、誤差は 12%と良好な結果が得られる。ただし、外れ値除去は同一重量の車両が繰り返し橋梁を通行することを前提としており、実運用での実施方法には考慮が必要である。

5. まとめ

共用されている実橋梁において、車両通行時の橋梁の変位を動画像により計測し、BWIM により車両重量を推定する実験を行った。27t 車については誤差 13%、12t 車については誤差 12%で推定できた。今後、橋梁の計測点の数を増やすなどにより精度の向上を図っていく。また、本実験では 1 台の車両のみが橋梁上を通行する前提のもと、変位計測結果を用いて車軸位置を推定したが、複数台の車両の通行に対応するため、動画像から直接車軸位置を推定する方法を検討していく。外れ値除去に関しては、動画像に映る車両から推定した車種情報を利用し、明らかな異常値を検出するなど実用性の高い方法を検討していく予定である。

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, Vol. 72, No. 3, pp. 364-379 (2016)

表 1 車両重量

	前輪軸重(kgf)	後輪軸重(kgf)	総重量(kgf)
27t車	14167	13033	27200
12t車	5879	6001	11880

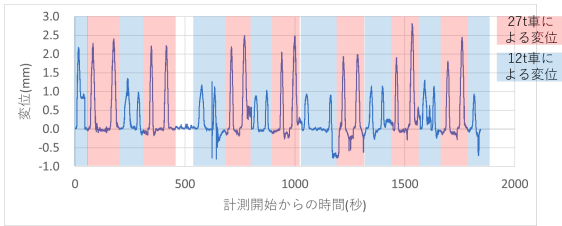


図 3 変位の計測結果

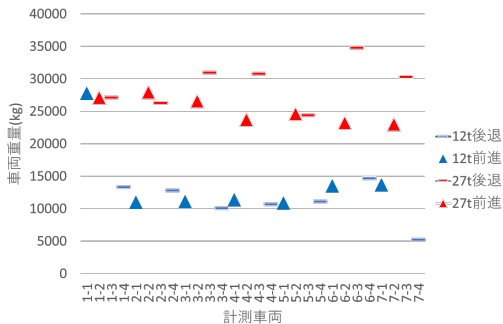


図 4 車両重量計測結果

表 2 車両重量推定の誤差

	平均値(kgf)	標準偏差(kgf)	誤差(%)
27t車(影響線除)	27216	3770	13.27
12t車	12654	4906	40.32
12t車(外れ値除)	12012	1495	12.10