垂直補剛材を用いた走行車両の重量推定

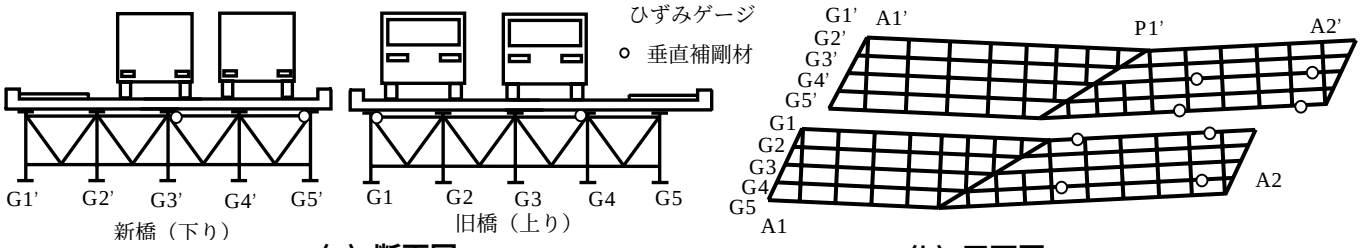
九州工業大学　学生員　○松尾一志　　正会員　山口栄輝
徳山工業高等専門学校　正会員　河村進一

１．はじめに

わが国では道路橋の老朽化が急速に進展している．これらの橋梁群を今後とも安全に供用し，わが国の社会基盤を維持していくためには，個々の道路橋の損傷を早期発見して健全度を適切に評価し，必要に応じて補修などの措置を施す事が重要となる．そのためには，橋梁にどのような荷重が作用しているかを把握しておく必要がある．しかしながら，供用中の道路橋に作用する交通荷重を知る事は容易でなく，その実態はあまり把握されていない．したがって，交通流を乱す事なく，簡便に走行車両の重量を計測する技術(Weigh-In-Motion以下WIM)が求められている．そのひとつに橋の変形を利用したBWIM（Bridge WIM）があり，著者らも検討を加えてきている[1)]．そこでは主桁のひずみを用いた車重推定を行っているが，より簡便な手法にするため，本研究では，垂直補剛材のひずみを用いたBWIMを検討した．

２．対象橋梁と測定位置

ＢＷＩＭに用いる橋梁の概要を図１に示す．これは河川を跨ぐ２径間連続の鋼鈑桁橋であり，川の流れとの関係で，特にＰ１橋脚上でかなりの斜角を有している．図-1 には，WIM で使用するひずみ計測位置も示している．垂直補剛材上部の白丸位置でひずみゲージが取り付けられており，鉛直方向の直ひずみを測定している．この垂直補剛材の直ひずみから重量推定に必要な走行車線，走行速度などの情報も求める事ができる．



(a) 断面図　　(b) 平面図

図-1 対象橋梁の概要と測定位置

３．重量推定の方法

３－１　積分法

ひずみ波形を位置の関数で積分したものを影響面積と呼ぶ事にすると，どのような軸数，軸配置になっている走行車両であっても車両総重量が同じであれば影響面積は等しい．総重量が既知（Wc）である車両の影響面積 Ac を測定しておき，この値をキャリブレーション値とすれば，任意の車両の総重量は，影響面積 A を測定することで算出できる．

３－２　影響線法

橋梁の影響線（図-2）は，軸重が既知の試験車両（総重量 20tf 程度）を単独走行させる事で決定した．影響線が得られれば，各時間ステップにおいて，走行位置の影響線縦距と軸荷重とを乗じたものを重ね合わせることで主桁ひずみの理論値が求められる．このようにして求めた垂直補剛材ひずみの理論値と実測値との差が最小となるように車両重量を算出する．影響線には多項式を用いる．

そのようにして求めた影響線には一般に凹凸が見られる．これは計測データの振動成分や，高次の多項式で影響線を近似している影響であると考えられる．したがって，影響線設定法を工夫し，平滑化した影響線を用いて車重推定も試みた具体的には次の２つの手法で平滑を行った．

＊手法１：区間別に次数３の影響線を作成する
＊手法２：手法１の影響線上に離散点を作成し，11 次の多項式で近似する

４．推定精度の検討

重量が既知の車両を用いて行った 4 パターンの走行試験結果[1)]を用いて，上記の方法の推定精度を検討する．走行試験は各車線ごとに数回ずつ行い，橋梁上を一般車両が走行しないように規制して実施された．

パターン 1：試験車１台の単独走行
パターン 2：試験車 2 台の連行走行
パターン 3：試験車 2 台の併走走行
パターン 4：試験車 2 台の連行かつ試験車 1 台との併走走行

４－１　積分法における推定精度

積分法における推定精度の平均誤差を表-1 に示す．() 内には最大誤差を示している．旧橋（上り車線側）の平均誤差は，パターン４の連行かつ併走走行で 7.7%，最大誤差も 11.9%であり，良好な結果が得られた．

表-１　積分法での推定誤差 (%)

	パターン 1	パターン 2	パターン 3	パターン 4
旧橋	1.8 (2.7)	3.9 (8.3)	3.4 (7.6)	7.7 (11.9)
新橋	1.6 (2.7)	6.6 (16.3)	37.3 (68.0)	34.7 (69.8)

( )内は最大誤差

表-2 影響線次数と推定誤差 (%)

	パターン 1	パターン 2	パターン 3	パターン 4
次数 5	2.1 (5.4)	4.9 (8.4)	6.8 (25.9)	7.3 (29.0)
次数 7	1.9 (5.3)	2.4 (11.0)	5.4 (22.1)	5.6 (15.7)
次数 9	1.7 (4.9)	3.4 (6.5)	5.5 (21.2)	9.0 (16.0)
次数 11	1.9 (4.5)	4.9 (8.6)	6.2 (21.0)	6.3 (15.0)

( )内は最大誤差

表-3　平滑化した影響線による推定誤差(%)

	パターン 1	パターン 2	パターン 3	パターン 4
通常の方法	1.9 (4.5)	4.9 (8.6)	6.2 (21.0)	6.3 (15.0)
検討 1	14.1 (16.3)	12.1 (28.1)	23.3 (48.0)	16.2 (39.4)
検討 2	2.0 (4.7)	8.7 (17.3)	11.8 (34.0)	9.9 (24.0)

( )内は最大誤差

しかしながら，新橋による車重推定では，特に複数台走行時に精度が悪く，平均誤差，最大誤差がパターン３で 37.0%と 68.0%，パターン４では 34.7%と 69.8%になっている．これは旧橋の垂直補剛材ひずみは，直上の車両にのみ敏感に応答するが，新橋では隣接車線を走行する車両の影響も受ける事に起因している．

４－２　影響線法における推定精度

表-2 に影響線に用いた多項式の次数と車重推定誤差の関係を示す．影響線法は新橋に適用したが，積分法に比べると，良好な結果が得られた．次数 11 の影響線では，最大誤差がパターン３で 21.0%，パターン４で 15.0%に収まっている．

表-3 に平滑化した影響線を用いた場合の推定精度の最大誤差を示している．いずれの手法を用いても，推定精度の向上は見られなかった．

５．まとめ

重量検出部材に垂直補剛材を用いた WIM の推定精度の検討を行った．積分法は旧橋で最大誤差 11.9%と良好な結果を示しているが，新橋のように垂直補剛材が他車線の車両にも影響を受ける場合には精度が低下する．一方，影響線法では新橋の場合でも最大でも誤差は 21.0%に留まり，良好な結果が得られた．したがって，垂直補剛材による BWIM を適用する場合，垂直補剛材が影響を受ける範囲に留意する必要がある．また，影響線の平滑化は車重推定精度向上には特に寄与しない結果となった．

謝辞

本研究を遂行するにあたっては，東京工業大学大学院の小林裕介氏，福岡国道工事務所にはたいへんお世話になった．ここに記して深く感謝する．

参考文献

１）山口栄輝，松尾一志，河村進一，小林裕介，森昌文，百田国廣，西之原達志：２径間連続鋼桁橋を用いた BWIM の精度，応用力学論文集，Vol.7，pp.1135-1140，2004．
２）小塩達也，山田健太郎，小林直人，水野良浩：鋼Ｉ桁橋の縦桁を用いた Bridge Weigh-In-Motion システムの開発，構造工学論文集，Vol.47A，2001-3，pp1083-1091．