

鋼 I 桁橋の縦桁を用いた Bridge Weigh-in-Motion システムの開発

Development of Bridge Weigh-in-Motion System using Stringers of Steel Plate Girder Bridge

小塩達也*, 山田健太郎**, 小林直人***, 水野良浩****

Tatsuya OJIO, Kentaro YAMADA, Naoto KOBAYASHI, Yoshihiro MIZUNO

* 工修, 名古屋大学大学院助手, 工学研究科土木工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

** Ph.D., 名古屋大学大学院教授, 工学研究科土木工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

*** 工修, 西松建設株式会社, 関西支店 (〒549-8515 大阪府大阪市中央区釣鐘町 2-4-7)

**** 建設省中部地方建設局中部技術事務所技術課 (〒461-0047 名古屋市東区大幸南 1-1-15)

(現 国土交通省中部地方整備局名古屋国道工事事務所)

For bridge maintenance, monitoring of weight and frequency of vehicles is important. A new concept of Bridge Weigh-in-Motion (BWIM) System was developed. It can estimate gross vehicle weight, speed and length of truck from the strain recording measured at stringers of steel plate girder bridges. In calibration using test trucks for three different bridge sites, weights of test trucks were estimated within ten or twenty percent accuracy. It was then applied to obtain gross vehicle weight and truck length in service condition.

Key Words: Maintenance, Overloaded trucks, Fatigue, Bridge Weigh-in-Motion

キーワード: 維持管理, 過積載車両, 疲労, 活荷重モニタリング

1. まえがき

交通量が道路網の整備計画の重要な情報であるように, 自動車活荷重は橋梁のみならず, 道路構造物, 舗装も含めた道路ネットワークを維持管理するための重要な情報であると考えられる. 自動車活荷重の実態の調査, 監視には, 路線や地域の要所でネットワーク的なデータを収集することが求められる. これを可能にする技術として“Weigh-in-Motion (WIM)”の技術が挙げられる. これは, 道路上や路面内に接地されたセンサーにより, 車両の通行を阻害せずに車両を認識し, 車両重量や通行速度, 車種等を判別するシステムの総称である. WIMの技術は, 今後, ITS (Intelligent Transportation System: 高度道路交通システム)の一環として考えられており, 情報通信技術を駆使した形での整備が期待されている.

通常, WIMは専用の重量センサーを路面内に埋め込み, レーン内を走行する車両の重量を計測するが, この方法は路面上の工事, メンテナンスが必要であることと, 装置自体が高価であるという問題がある. この方法に対し, 自動車荷重によって橋梁の部材に生じるひずみ等を測定し, その応答値により自動車荷重を推定する WIMの方法は Bridge Weigh-in-Motion (BWIM) とよばれ, 米国で道路橋の疲労損傷が著しくなったことをきっかけに Moses¹⁾によって提案された. Mosesの方法は, 橋梁部材に発生する応力の時刻歴応答波形と荷重列の関係を逆問題として解く方法であり, 逆問題の補足情報として, 車両速度, 荷重列の到着時間差, 部材の影響線が必要としている. 三木, 米田²⁾らは一般的な応力測定で用いる装置を使い, Mosesらによって提案された方法を紹介し, 建設省土木研究所を中心としてシステム開発を行なっている³⁾. 松井ら⁴⁾は鉄筋コンクリート床版に生じたき裂の開閉量に着目し, そのピーク応答値から走行車の輪重を推定する方法を示した. 小塩, 山田ら⁵⁾は鋼床版部材に発生する応力の時刻歴応答波形より, 部材のピーク応答について逆解析を行い, 輪重を推定する方法を示した. さらに, 小塩, 山田⁶⁾らは, ワーレントラスの垂直材, 縦桁を用いて, 部材応答波形の積分値を用いて車両総重量が推定できることを示した. これらの方法はいずれも汎用のセンサーや測定装置を用いるため, 路面内に重量センサーを埋め込む方式に対して低コストの WIM システムとして位置づけることができる.

本研究では, 文献 6)の推定理論を用い, 重量検出部材を鋼プレートガーダー橋の縦桁とし, 簡易に設置, 測定ができる交通荷重のモニタリングの手法を開発した. また, 3つの道路橋での荷重車によるキャリブレーションを行ない, 推定の精度を把握した. また, 自動測定システムを用いて供用下における長時間の自動測定を行な

けに Moses¹⁾によって提案された. Mosesの方法は, 橋梁部材に発生する応力の時刻歴応答波形と荷重列の関係を逆問題として解く方法であり, 逆問題の補足情報として, 車両速度, 荷重列の到着時間差, 部材の影響線が必要としている. 三木, 米田²⁾らは一般的な応力測定で用いる装置を使い, Mosesらによって提案された方法を紹介し, 建設省土木研究所を中心としてシステム開発を行なっている³⁾. 松井ら⁴⁾は鉄筋コンクリート床版に生じたき裂の開閉量に着目し, そのピーク応答値から走行車の輪重を推定する方法を示した. 小塩, 山田ら⁵⁾は鋼床版部材に発生する応力の時刻歴応答波形より, 部材のピーク応答について逆解析を行い, 輪重を推定する方法を示した. さらに, 小塩, 山田⁶⁾らは, ワーレントラスの垂直材, 縦桁を用いて, 部材応答波形の積分値を用いて車両総重量が推定できることを示した. これらの方法はいずれも汎用のセンサーや測定装置を用いるため, 路面内に重量センサーを埋め込む方式に対して低コストの WIM システムとして位置づけることができる.

い、大型車両重量の調査を行った。

2. 荷重推定の手法

2.1 推定理論

車両重量を推定するのに用いる橋梁部材に対し、以下のような仮定を設ける。

- ①走行する軸重に対し、応答値は線形であり、タイヤ形状（シングル、ダブルタイヤ）や、幅員方向のレーン内での走行位置の違いの影響は無視できる。
- ②影響線上に同時に複数の車両が走行することはない、応答値は少なくとも車両単位に分離して考えることができる。
- ③影響線内の車両は、一定速度で走行する。
- ④振動や衝撃による応答値への影響は少なく、無視できる。

ここで、位置の関数で示した応答波形を影響波形と呼ぶことにする。 n 軸の車両が走行する際の影響波形を考える。橋梁部材に発生する影響波形 $g(x)$ は影響線の積和（コンボリューション）として、以下の式で表される。

$$g(x) = \sum_{k=1}^n W_k \cdot f(x - L_k) \quad (1)$$

ここで、 x ：車両の先頭軸の位置、 W_k ：車両の k 軸の軸重、 $f(x)$ ：影響線、 L_k ：車両の1軸と k 軸の距離である。式(1)を積分し、影響波形の面積（以下、影響面積と呼ぶ）を求めることを考える。各軸の影響面積は各々の軸重に比例するため、各軸を重ね合わせた影響面積は軸重 W_k の総和（車両総重量：GVW）に比例することになり、以下のような式で表される。

$$\begin{aligned} A &= \int_{-\infty}^{\infty} g(x) dx = \sum_{k=1}^n W_k \cdot \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx \\ &= GVW \cdot \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx \end{aligned} \quad (2)$$

したがって、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。

実際の計測においては、総重量が既知（GVW_c）である車両の影響面積 A_c を測定しておき、この値をキャリブレーション値とする。任意の車両の総重量は、影響面積 A を測定して、次式のように推定する。

$$GVW = \frac{A}{A_c} \cdot GVW_c \quad (3)$$

通常、橋梁部材の走行車両に対する応答値は、時刻歴応答として測定される。ここで、一定速度 V で橋梁上を走行する車両の位置 x を、 $t=0$ で $x=0$ とした初期条件のもとで、 $x=V \cdot t$ と表せば、

$$dx = V \cdot dt \quad (4)$$

であり、影響面積は橋梁部材の時刻歴応答 $r(t)$ を用いて次式のように求まる。

$$A = V \cdot \int_{-\infty}^{\infty} r(t) dt \quad (5)$$

2.2 通過速度、最遠軸距の推定

同じ影響線の形状を持つ2点（たとえば、橋軸方向に隣り合う縦桁の下フランジなど）を測定点にとれば、相似な応答波形が時刻差をもって観測される。2点間の距離 D をこの時間差 ΔT で除して、走行車両の平均速度を求める。

$$V = \frac{D}{\Delta T} \quad (6)$$

部材が応答を開始し、終了するまでの時間は、すべての軸が影響線長を通過するのに要する時間である。各軸が影響線長を通過するのに要する時間 T は次式で表される。

$$T = \frac{l}{V} \quad (7)$$

ここで、 l ：影響線長である。

最後尾の軸が影響線長 l の距離を走行したとき、先頭軸は影響線長 l + 最遠軸距 L を走行している。部材が応答している時間を ΔT とすれば、次の式が成立する。

$$L + l = V \cdot \Delta T \quad (8)$$

よって、走行車両の最遠軸距は、次式のように定まる。

$$L = V \cdot \Delta T - l \quad (9)$$

なお、部材の影響線長 l は、構造的に明らかな場合もあるが、不明な場合などは、荷重車走行時の波形において(9)式に荷重車の最遠軸距 L を与えて求められる。

3. 測定方法

3.1 重量検出部材

重量検出部材は、前述したように、活荷重に対して敏感に応答する部材である必要があり、支間の短い主桁、横桁、縦桁、ワーレントラスの垂直材等が考えられる⁹⁾。本研究では、鋼I桁の床版を補剛するために主桁間に設けられる縦桁（通常は「増桁」、「増設縦桁」などと称される）を重量検出部材として選定した。これは、縦桁が主として直上を走行する荷重にのみ応答すると考えられ、橋面上の同時載荷による影響が少ないと考えられたためである。

新設の鋼I桁橋に縦桁が配置されることは少ないが、既設橋で設置された例は多い。筆者らの調査では、中部地方建設局の直轄国道における15m以上の鋼橋900橋のうち、140橋であった。このことから、縦桁を検出部材として標準化することにより、多数の地点で同じ水準の測定が可能となると考えられる。

3.2 測定システム

測定システムの概念図を図1に示す。ひずみ測定および波形データ収録は、東京測器研究所製のデジタル動ひずみ計 DRA101C を用いた。動ひずみ計の制御およびデータ転送は GP-IB (IEEE488) 回線を通じてノートパソコン上から行なった。計測制御プログラムは Microsoft Visual Basic4.0 を用いて製作した。サンプリングタイムは 5msec (0.005 秒) とした。

本研究では大型車両のみを測定することを目的に、ある一定レベル以上の重量をもつ大型車が走行する瞬間のみを抽出して観測することとした。そこで、測定器の機能のうち、ある一定レベルの入力が与えられると測定を開始する「トリガ測定機能」を使用した。さらに、車両連行などの際に波形が欠損するのを防ぐため、応答値がある一定以下になるまで連続して測定を行なう「連続トリガ機能」を使用した。トリガレベルは車両総重量が約 200kN の荷重車のひずみ波形から、ひずみ最大値の 75%(荷重車と同じ車種で約 150kN に相当)のひずみを生じるような場合に測定されるように設定した。この方式により、主として大型車両が通過するごとに応答波形が記録され、車両が連行する場合には、連行する車両群がまとめて一つのファイルに記録される。

さらに、ひずみ波形のゼロ点が見かけ上移動するような場合については、測定後に補正を行なうようにした。

本研究で用いた測定器は、測定器本体だけの独立した動作で 500 ファイル、波形にして正味 41 分間の測定が可能であり、測定メモリからパソコンへの転送時間は 1 分 (10 チャンネル) である。そこで、59 分間のトリガ測定で大型車の波形データを計測器内のメモリに蓄積し、その後 1 分でパソコンのハードディスクに転送するようにシステムを構成した。59 分間の測定中にはデータ転送を行わず、測定器単体での動作を行なうことで、測定、記録、復帰動作の時間を短縮し、重交通路線での車両連行時の測定を可能にした。

また、測定車両の車種等を特定するため、橋面にビデ

オカメラを設置し、橋面の車両と通過時刻を同時に記録した。

4. 測定橋梁の概要

本手法の妥当性を確認するため、中部地建管内の 2 箇所、合計 3 橋のプレートガーダー橋で 1999 年秋に応力測定を行った。

4.1 国道 25 号亀山大橋

一般国道 25 号亀山大橋は 4 径間連続鉄筋コンクリート床版鋼板桁橋とプレストレストコンクリート橋からなる。国道 25 号は名阪国道と呼ばれ、一般国道でありながら高速道路と同程度の実勢速度で車両が走行しているといわれている。また、大阪と名古屋を結ぶ重要な路線であり、中部地建管内では国道 23 号と並ぶ重交通路線である。亀山大橋は上下線とも床版補強工事が行われており、大阪行きは横桁と縦桁の添設、名古屋行きは縦桁の添設のみ行われている。亀山大橋の橋梁一般図とひずみ測定点を図2に示す。走行、追い越し車線の下にある縦桁に各 2 点ずつ、計 4 点のひずみゲージを貼付した。さらに、参考値として主桁に発生する応力も同時に測定するため、主桁支間中央下フランジにもひずみゲージを貼付した。

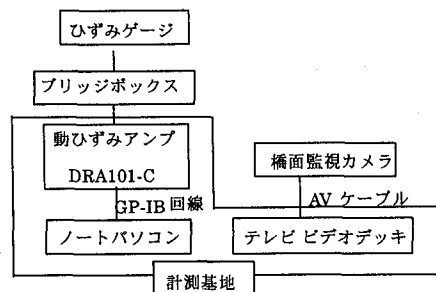


図1 測定システム

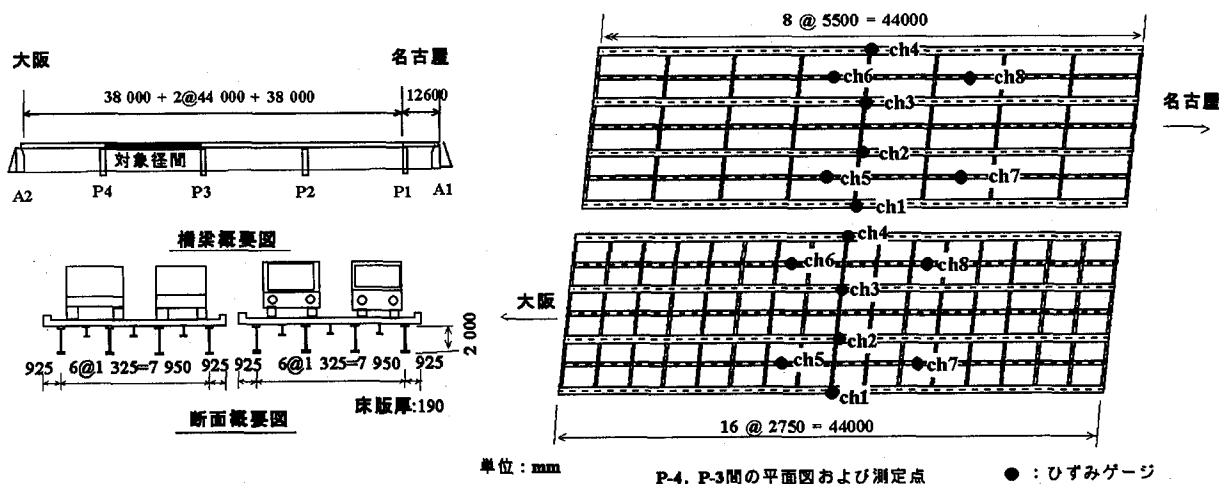


図2 亀山大橋の測定径間の概要

4.2 国道 22 号枇杷島高架橋

一般国道 22 号枇杷島高架橋は、片側 3 車線の上下線分離構造であり、13 連の鉄筋コンクリート床版鋼鈑桁橋である。鉄筋コンクリート床版は主桁間にある縦桁により補強されている。この橋梁は名古屋市の北に位置しており、名古屋市街地を抜けて一宮方面に向かう車が多い。

平成 5 年に道路構造令、車両制限令が改正され、道路管理者の指定した道路においては、最大 249kN までの車両が自由に走行できることとなった。国道 22 号はこの「指定道路」となっている。これらの法改正に対応した道路整備の一環として、枇杷島高架橋では、主桁耐荷力評価のために応力頻度測定が行なわれた。その結果、72 時間の主桁応力の最大値は補強が必要とされる基準応力を超過しており、主桁の補強が必要であると判定された。しかし、その最大値は 24 時間に 1 回程度と頻度が少なく、最大値のみが突出して大きいため、過大な重量をもつ車両の走行や、ノイズ等の影響も考えられた。そこで、平成 11 年度の「国道 22 号枇杷島高架橋耐荷力検討委員会」では、応力頻度測定に並行して BWIM システムを用いて走行車両の重量を調査し、主桁の最大応力とその発生要因を検証することとなった。

測定車線は、応力頻度測定の測定位置に対応するため、一宮方向の車線とした。測定は要補強と判定された径間のうち、21.3m の径間で行なった。橋梁一般図とひずみ測定点を図 3 に示す。車線下に位置する縦桁にそれぞれ 2 点ずつ、計 6 点の縦桁の下フランジにひずみゲージを

貼付した。さらに、車両重量に対応する主桁応力も同時に測定するため、主桁支間中央下フランジにもひずみゲージを貼付した。

5. キャリブレーションと推定精度

5.1 荷重車を用いたキャリブレーション

あらかじめ重量を測定した大型車両を走行させ、各測定点の応答波形を測定し、単位重量当たりの影響面積を求めた。キャリブレーション値は、複数回の試験走行による平均値とした。車両の違いによりキャリブレーション値に変化がないことを検証するため、荷重車には、軸重、軸距などが異なる 2 種類の大型車を用いた。図 4 に荷重車の概要を示す。

枇杷島高架橋では、交通規制を行い、荷重車（2 軸ダンプ、3 軸ダンプ）を 20~30Km/h で単独走行させた。亀山大橋では規制を行わず、供用下で荷重車（3 軸ダンプ、3 軸貨物）を走行させた。

図 5 にひずみ波形の例（枇杷島高架橋、3 軸ダンプ）を示す。影響面積の値は、厳密には応答の開始、終了の範囲で積分して求めるのが好ましいが、図からわかるように、実際の波形では応答の開始、終了が判別しにくく、細かい振動成分なども存在するため、各々の車両走行時のピーク値の 5% を越える区間を影響面積の範囲とした。

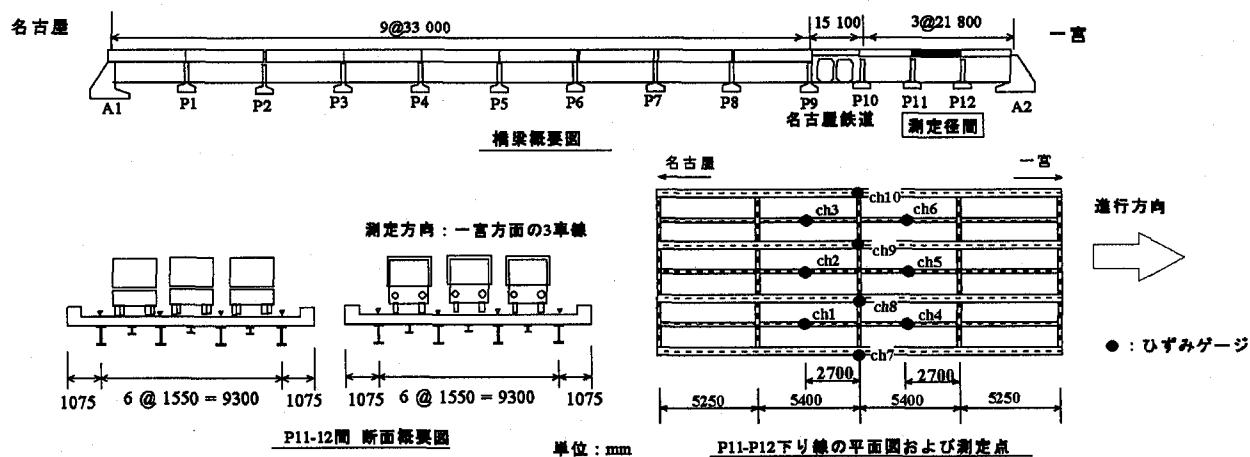


図 3 枇杷島高架橋の測定径間の概要

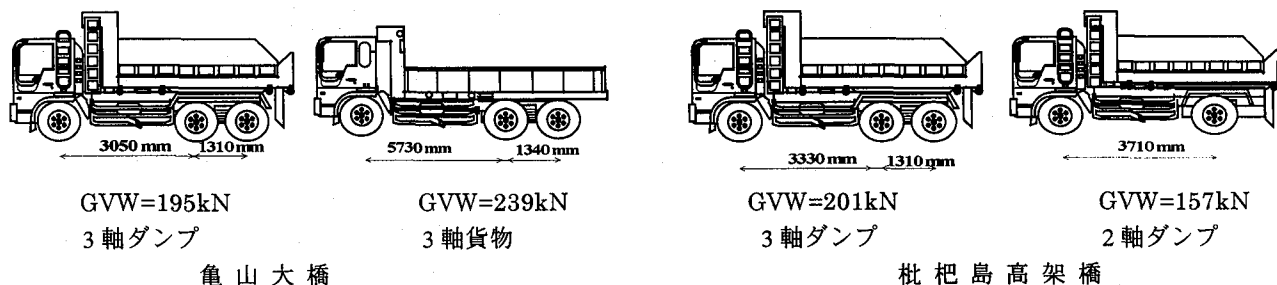


図 4 荷重車の車両総重量と形態

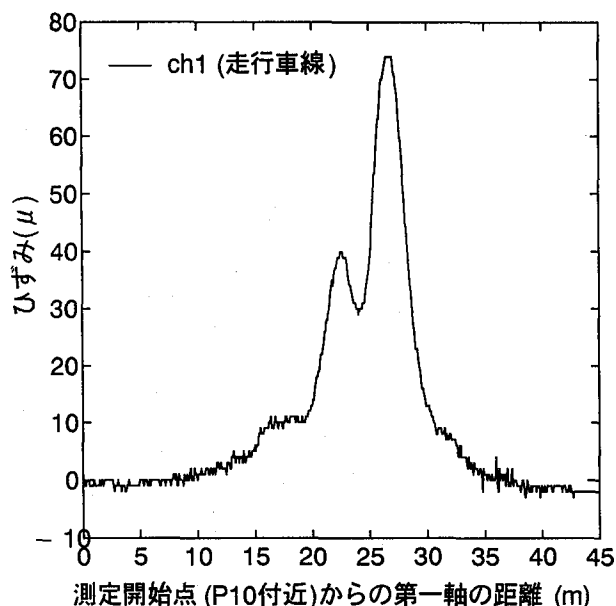


図5 ひずみ波形の例(枇杷島高架橋, 3軸ダンプ走行時)

荷重, 軸配置の異なる荷重車から, 影響面積を求め, 単位車両重量あたりの影響面積を計算した。ばらつきはあるものの, 荷重車ごとの影響面積の平均値はほぼ一致した。そこで, 各測定点ごとに, 2種類の荷重車について全ケースの単位車両総重量当たりの影響面積を平均して, キャリブレーション値とした。

次に, キャリブレーション値を用いて, それぞれの走行ケースごとに荷重車の重量を推定した。計量所での車両総重量(実測値)と, 各試験走行の影響面積による推定値の関係を, 図6~8に示す。実測値に対して, 枇杷島高架橋では±10%, 亀山大橋では±20%程度のばらつきが生じた。車両の違いにより推定精度が大きく変化することはなかった。走行速度と推定総重量の関係を図9~11に示す。実際の車両総重量を横線でプロットした。荷重車の走行速度 30km/h~75km/h 程度の範囲では, 特に応答値が変化することはなく, 速度に応じて推定精度の変化は見られなかった。荷重車の推定車両総重量のばらつきの要因としては, 速度の推定誤差や, 車両走行時の輪重の動的変動などが考えられる。

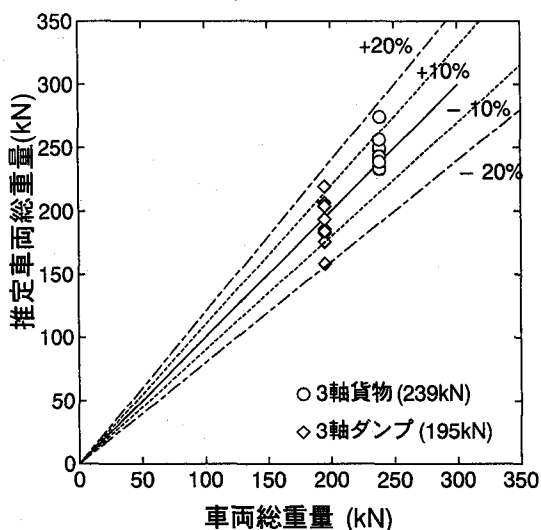


図6 車両総重量の推定精度(亀山大橋: 大阪行き)

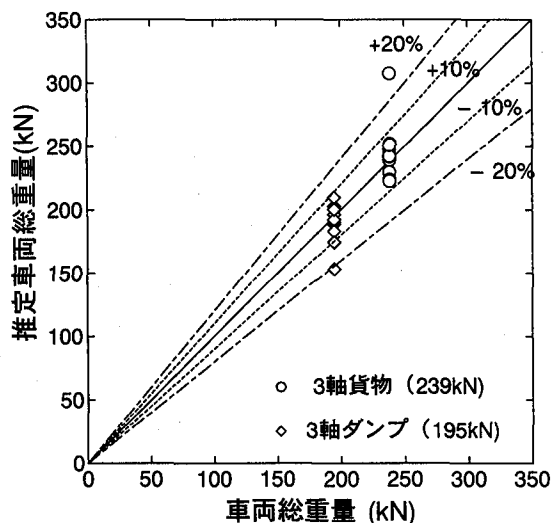


図7 車両総重量の推定精度(亀山大橋: 名古屋行き)

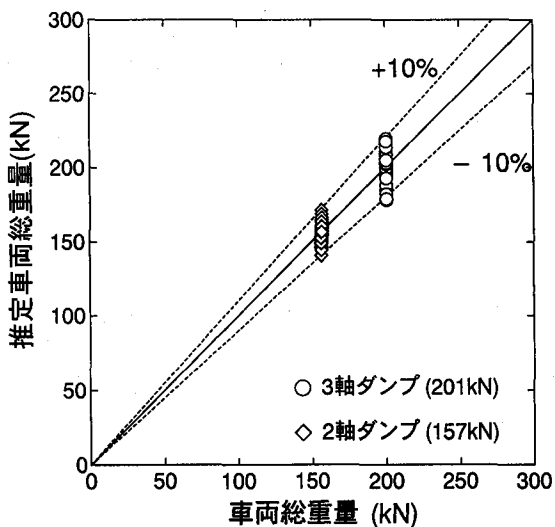


図8 車両総重量の推定精度(枇杷島高架橋)

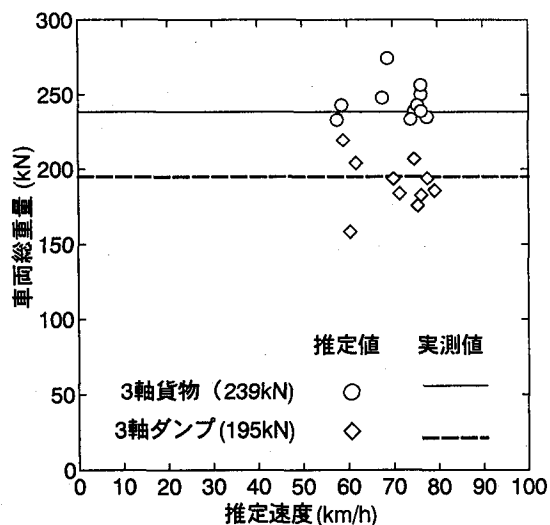


図9 走行速度と推定車両総重量(亀山大橋: 大阪行き)

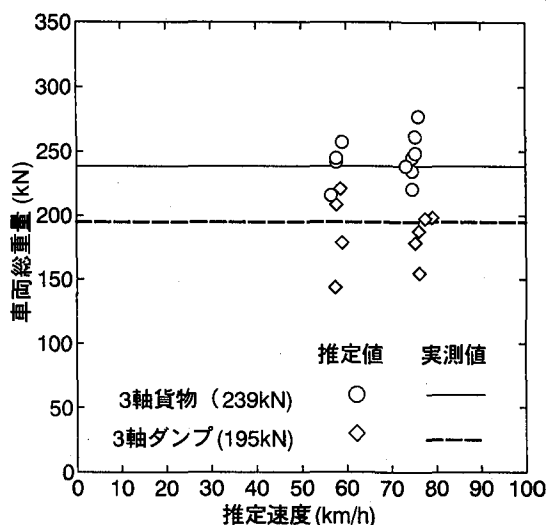


図 10 走行速度と推定車両総重量（亀山大橋：名古屋行き）

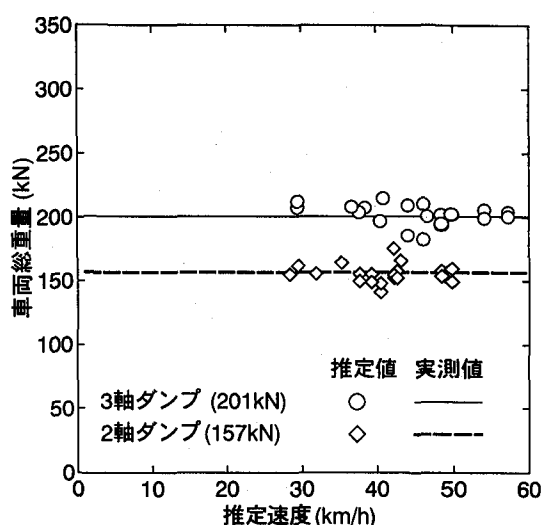


図 11 走行速度と推定車両総重量（枇杷島高架橋）

5.2 同時載荷の影響

亀山大橋の荷重車走行試験の計測結果から、同時載荷のない走行車線と追越車線のケースの測定結果を重ね合わせ、荷重車が横方向に同時に走行する場合（以下、「同時載荷」とする）の縦桁のひずみ波形を作成した。大阪行き走行車線の縦桁 ch5 における、同時載荷時と単独走行時のひずみ波形を図 12 に示す。単独走行時の波形を見ると、縦桁の直上に輪重が走行する時に大きくひずみを生じ、微少な振動を除いた応答値が生じる範囲は 7m 程度である。これは、荷重車の最遠軸距 4.36m+縦桁長さ 2.75m に相当し、縦桁が床版の一部として変形することによって生じる応力であると考えられる。

一方、同時載荷時には、波形の形状は、見かけ上、単独走行時の波形をプラス側に移動したようになっている。この断面での縦桁の下フランジの位置は、主桁の中立軸よりも下にあると考えられ、縦桁上の荷重車以外の車両によって生じた主桁のたわみによる応力が、縦桁に導入されるため、単独走行時よりもやや大きなひずみを生じていると考えられる。同じ車線を通常の車間距離で荷重車が連行する場合では、単独走行時に対してひずみ値が変化する傾向は見られなかった。

同様な問題は、床版部材を BWIM に用いる文献 4),5) などにおいても触れられている。応答波形から床版のたわみによる応力と、主桁のたわみによる応力を分離する方法も考えられたが、今回の測定点では、横方向の同時載荷の頻度が少ない。また、隣り合う車線の縦桁を同時に測定しているため、双方の縦桁に同時に大きな応力が生じる場合に同時載荷であると判断することができる。そこで、一般車両の測定結果から車両総重量を推定する場合、隣り合う車線の縦桁の応力を確認し、隣の縦桁にも大きな応力が生じている場合には、同時載荷が生じているとして、分析処理を中止し、これを記録した。

これらの同時載荷の問題は、一般車両を統計する際の精度、データ回収率を確保する上で重要な問題である。今回の測定に用いた縦桁は、いずれも主桁のスパン中央

付近であり、主桁モーメントの大きな点であったため、同時載荷時には隣の車線の荷重による主桁応力が比較的大きな成分となって発生したものと考えられる。そこで、橋梁端部の縦桁を検出点とすれば、主桁応力の影響は小さくなり、同時載荷の影響がほぼ無視できるか、もしくは文献 4)のように主桁のたわみによる応力と床版のたわみによる応力を分離するような操作を簡便に行なうことができると考えられる。さらに、ジョイント部の段差の影響が考えられるような場合は車両進行方向に対して出口側端部の縦桁を用いるのが好ましいと考えられる。

5.3 最遠軸距の推定精度

最遠軸距の推定に用いる応答の開始、終了の範囲は前述した積分の範囲と同じく、振動や衝撃による成分を無視するため、応答波形の最大値の 5%点を超える範囲とした。さらに、応答の開始から終了までの時間に車両速度を乗じて距離に変換し、この距離の平均値から、荷重車の最遠軸距を減じて縦桁の影響線長を推定した。

実際の最遠軸距に対する推定最遠軸距を図 13~15 に示す。実際の最遠軸距に対して、推定最遠軸距のばらつきは大きく、 $\pm 2\text{m}$ 程度の誤差を生じた。

ばらつきの原因としては、主桁たわみによる応力や振動などの成分による応答の開始、終了点の判定誤差であると考えられる。

現時点での推定精度では、車両の正確な長さを求めることは困難であるが、トレーラーとそれ以外というような車両長さによる車種の判定は可能であると考えられる。文献 4),5)では応答のピーク値から軸距を推定したり、車種を判別する方法が述べられており、縦桁でもこれらの方法を採用すれば、軸距の推定制度の向上や車種の判別なども可能になると考えられる。

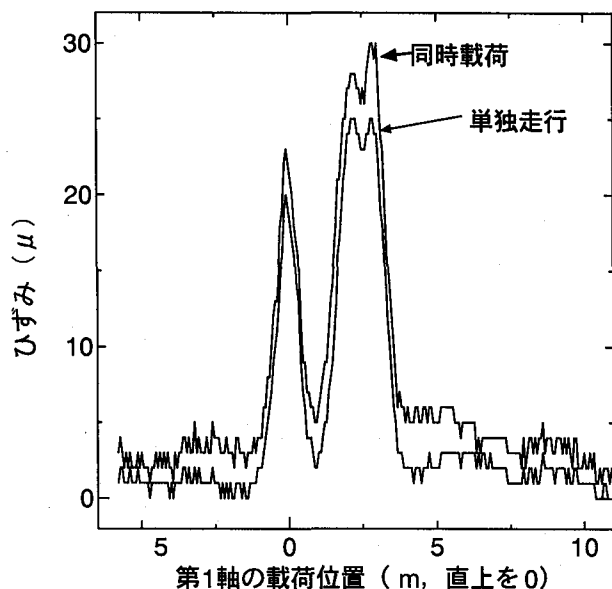


図 12 同時載荷時のひずみ波形 (亀山大橋大阪行き, ch5)

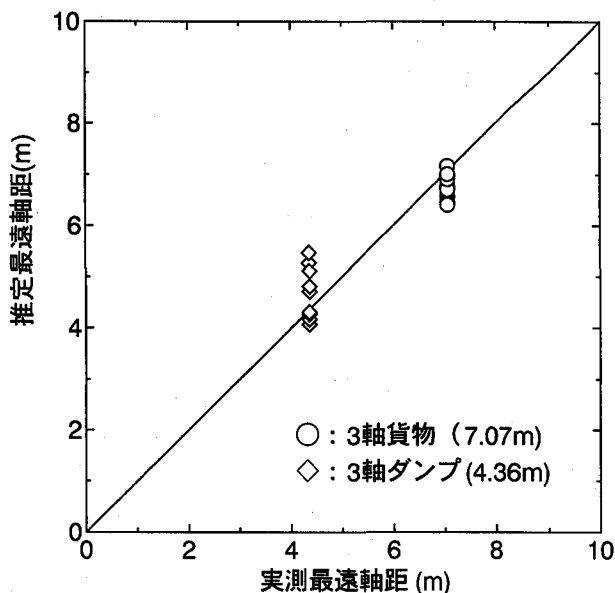


図 13 最遠軸距の推定精度(亀山大橋, 大阪行き)

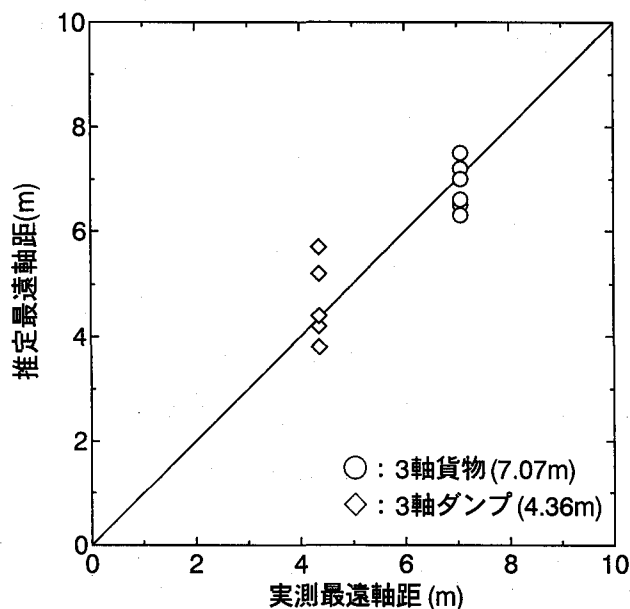


図 14 最遠軸距の推定精度 (亀山大橋: 名古屋行き)

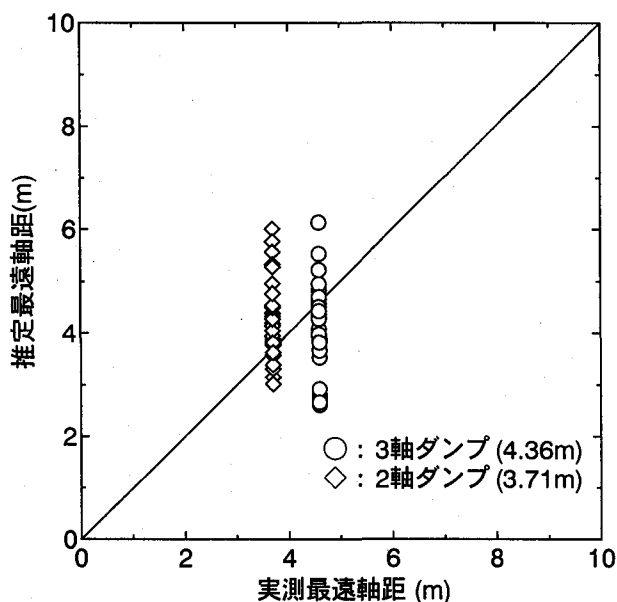


図 15 最遠軸距の推定精度(枇杷島高架橋)

6. 一般車両の測定結果

6.1 一般車両の測定

トリガシステムを用いた長時間(亀山大橋: 22 時間, 枇杷島高架橋: 24 時間)の連続自動測定により, 大型車両が走行するごとに縦桁の応答値波形を測定した。測定後, 重量推定プログラムにより, 荷重車走行時のキャリブレーション値を用いて車両総重量, 最遠軸距を推定した。亀山大橋では大阪行き 6474 台, 名古屋行き 3373 台, 枇杷島高架橋では一宮行きの 835 台について統計を行った。

推定結果をもとに, 最遠軸距と車両総重量の関係を図 16~18 に示す。図中には, 大型車両の車両総重量と最遠軸距の制限のうち, 「車両制限令による一般制限値」, 「セミトレーラの特例」, 「高速道路における特例」

の車両総重量, 最遠軸距の関係を図示した。

これによれば, 大型車両はほぼ制限値を中心として分布しており, 多数の車両は法令に準拠した形で車両総重量の調整を行なっているが, 制限値を超える車両も多いことがうかがわれる。一方で, 過積載と考えられる車両では, 最遠軸距 5~10m 程度の車両群が概ね制限値の 1.5~2 倍程度の車両総重量を持つのに対して, 最遠軸距が長くなるにつれて制限値に対する車両総重量の超過割合が高くなる傾向がみられた。図中の 3 つの制限値の包絡線を越える車両は測定された車両中, 亀山大橋大阪行きで 22%, 同名古屋行きで 38%, 枇杷島高架橋で 51% であった。

車両総重量の最大値は 1000kN 程度であった。亀山大橋では 1000kN 程度の車両のほとんどは, ビデオ記録からセミトレーラと判定されたが, 枇杷島高架橋で確認

された最大値である最遠軸距 10m, 車両総重量 1047kN の車両は, トラッククレーンであった。車両総重量が 1047kN であると推定されたトラッククレーンの走行状況を写真 1 に示す。

6.2 トラッククレーン走行時の測定結果

車両総重量が 1047kN と推定されたトラッククレーンが走行する際の縦桁のひずみ波形を図 19 に示す。縦桁では 201kN の荷重車が走行する場合のひずみが 70 μ 程度であるのに対し, 約 3 倍のひずみが発生している。BWIM と並行して行なわれた主桁でのトリガ測定で得られたひずみ波形を図 20 に示す。201kN の荷重車での主桁ひずみ値 100 μ 程度に対して, 約 4 倍のひずみが生じている。並行して行なわれた応力頻度測定においても, 同様な値がこの時間帯に 1 回記録されていた。

荷重車の推定結果で見られる推定誤差を考慮すれば, この車両の実際の車両総重量は 800~1000kN 程度であると予想される。この車両はカタログ等によれば, クレー

ンを除いた「キャリア」部分で車両総重量が 300~500kN 程度であるとされている。また, 走行には道路管理者の許可が必要であり, 許可時に指定される時間帯でのみ国道を走行可能であるとされている。さらに, クレーン部分(ブームと呼ばれる)を装着した状態での走行は禁止されており, ブームは, 別のトレーラーに積載して別送する必要がある。

ダンプトラックや大型貨物など通常の構造をもつ車両では, 車両構造上の限界により, たとえばダンプトラックでは制限値 200kN の 2~3 倍の車両総重量が限界であると言われている。

一方, トラッククレーンのような特殊車両で, 最遠軸距 10m 程度, 車両総重量 1000kN 程度である場合, 国道 22 号の制限値 249kN に対して荷重は 4 倍となり, 通常の過積載車両をはるかに超えた荷重となる。特殊な車両であるため, 走行頻度は低いが, 応力頻度測定結果によれば, このような特殊な過積載車両のみで, その橋梁に発生する最大応力が決まってしまうことになる。

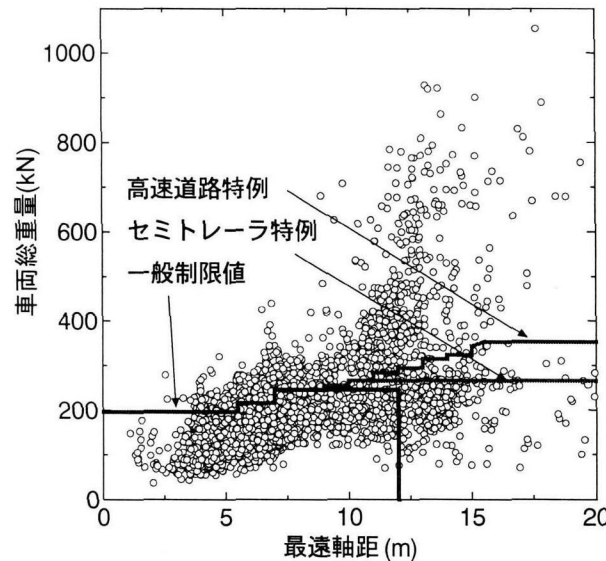


図 16 最遠軸距と車両総重量 (亀山大橋, 大阪行き)

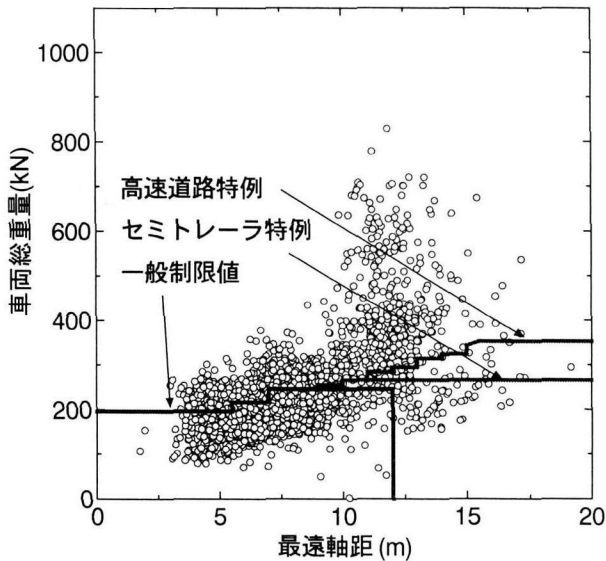


図 17 最遠軸距と車両総重量 (亀山大橋, 名古屋行き)

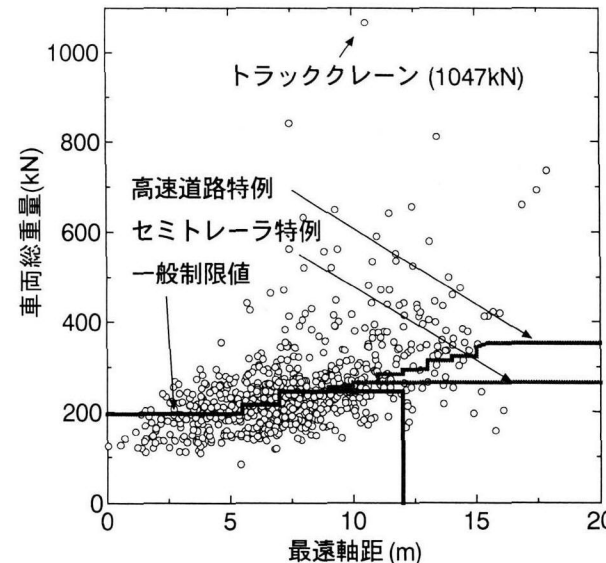


図 18 最遠軸距と車両総重量 (枇杷島高架橋)

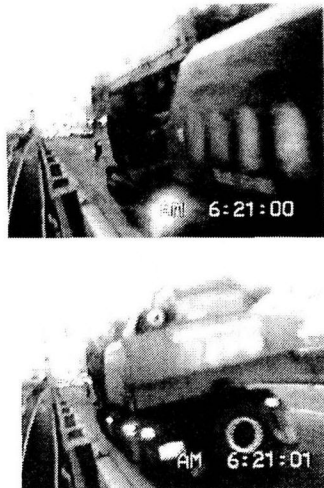
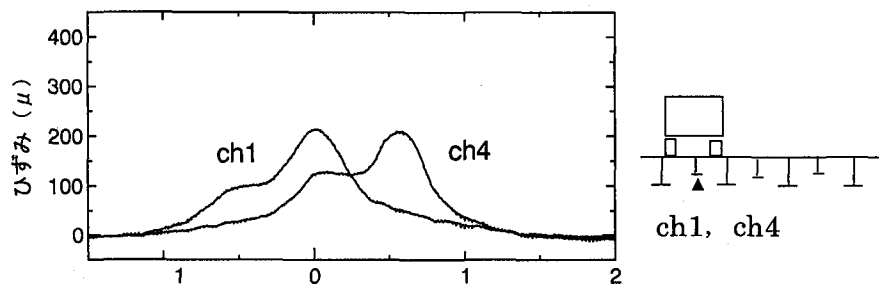
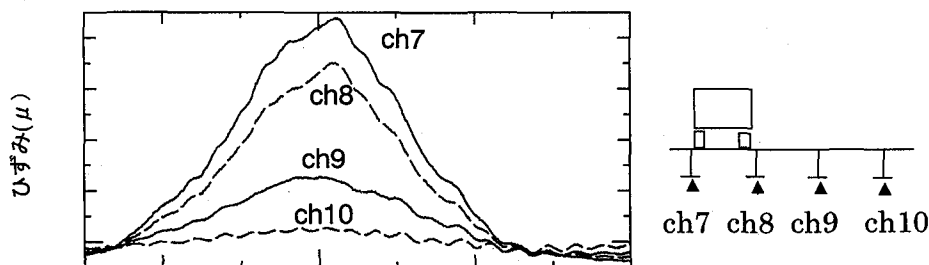


写真 1 トラッククレーンの走行状況



時刻(秒, 主桁支間中央走行時を0とする)

図 19 トラッククレーン走行時の縦桁のひずみ波形



時刻(秒, 主桁支間中央走行時を0とする)

図 20 トラッククレーン走行時の主桁のひずみ波形

6.3 今後の課題

今後は測定点を橋梁の車線出口側の端部にある縦桁とし、実証試験を行なうなど、推定精度を向上させる方法について検討する。また、無線電話回線を用いたデータ転送、計測システムの遠隔制御などの技術と組み合わせ、BWIMのみならず、多目的な構造モニタリングシステムとしての開発を行なう予定である。

7.まとめ

本研究では、鋼I桁橋に床版補強のために設置された増設縦桁を大型車両の「はかり」として、大型車両の車両総重量、通過速度、最遠軸距をもとめる手法を構築した。3つの供用中の実橋梁においてシステムの実証試験を行ない、システムの精度を把握するとともに、連続自動測定により、大型車両の総重量、速度、最遠軸距の測定を行なった。床版補強用に設置される縦桁は重量検出部材として十分有効であり、荷重車で確認した推定精度は10~20%以内であった。長時間の自動測定に基づく車両総重量-最遠軸距の関係によれば、大多数の車両は法令による制限値を中心に分布しており、制限値を超える車両も少なくないことが判明した。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、建設省中部地方建設局北勢国道工事事務所、名古屋国道工事事務所には多大なるご理解とご協力をいただいた。また、現地測定に関しては、道路保全技術センター中部支部、大日本コンサルタント、東洋技研コンサルタント、コベルコ科研、東京測

器研究所、さらには名古屋大学山田研究室の学生諸君にご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Moses, F., Weigh-in-Motion System Using Instrumented Bridges, Transportation Engineering, Proceedings of ASCE, Vol.105, No. TE3, May 1979, pp.233-249.
- 2) 三木, 米田, 村越, 吉村: 走行車輛の重量測定, 橋梁と基礎, 1987-4, pp.41-44.
- 3) 西川, 村越, 宮崎: 橋梁を用いた車両重量の計測(WIM)システムの開発, 土木技術資料 38-1, 1996
- 4) 松井, El-Hakim: RC 床版のひび割れの開閉量による輪荷重の測定に関する研究, 構造工学論文集, Vol.35A, 1989-3, pp.407-418.
- 5) 小塩, 山田, 貝沼, 小幡, 古市: 鋼床版を用いた走行車輛の輪重推定, 構造工学論文集, Vol.44A, 1998-3, pp.1141-1151.
- 6) Ojio, T., Yamada, K., Measurement of Vehicle Weight Using Truss Bridges, Proceeding of EASEC-7, 1999-9, pp.543-548.
- 7) 名古屋高速道路公社, 鋼床版の合理化と耐久性向上に関する調査研究 報告書, 1995-10, p.33.

(2000年9月14日受付)