

BWIM による大型車両の実態調査と橋梁の疲労損傷度評価

Evaluation of Fatigue Damage of Highway Bridges Based on Bridge Weigh-in-Motion

小塩達也*, 山田健太郎**, 深津 伸***

Tatsuya OJIO, Kentaro YAMADA, Shin FUKATSU

- * 工修, 名古屋大学大学院助手, 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)
 ** Ph.D., 名古屋大学大学院教授, 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)
 *** 工修, 新日本製鐵株式会社, 鉄構海洋事業部 (〒229-1131 相模原市西橋本 5-9-1)

In order to investigate the real state of traffic load in service, a Bridge Weigh-in-Motion (BWIM) system using two stringers of a plate girder bridge is developed. Measurement is carried out for one week for an elevated highway bridge in industrial area. Results obtained in the test site, and statistics of truck loads for one weeks are described. Fatigue damage is calculated for each truck using rain-flow counting method and Miner's rule. Influences of trucks for fatigue damage are evaluated. The effect of semi-trailer trucks and trucks, which are either empty, loaded or overloaded, are discussed. Typical trucks, which cause major fatigue damage to short span bridge or stringer, are shown.

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

道路橋にみられる疲労損傷は、構造物の疲労強度の問題と、構造物に生じる繰り返し荷重に起因する。既設構造物に発生する疲労損傷は、対症療法的な対処法として、局部に発生する応力頻度とその部位の疲労強度を把握して評価されることが多い。疲労強度に関しては、現在までに数多くの研究がある。また、既設橋では、しばしば供用下での応力測定が行なわれ、実際の応力状態が把握される。しかし、繰り返し荷重は橋梁の本来の使用目的、すなわち自動車の走行によって生じているのであり、本来の維持管理の観点からすれば、管理者、設計者は構造物(路面下)の問題だけでなく、橋梁の「使われかた」すなわち、自動車と荷重(路面上)の問題に着目することが必要である。具体的には、自動車交通が維持管理コストに与える影響の把握、適切な疲労設計荷重の設定などが考えられる。したがって、疲労問題に支配的な大型自動車の荷重の実態を把握する必要がある。

走行する自動車の荷重を道路内で測定する技術は、“Weigh-in-Motion (WIM)” と呼ばれる。これは、道路上や路面内に設置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。アメリカ合衆国では、1970年代から各州の道路局が WIM を用いて走行車両の重量を測定し、取締りや実態調査を行なっている¹⁾。EU では、物流の効率化や荷重制限等を統一するという

目的のもと、各国の道路管理者、研究者、メーカーが連携して WIM の技術開発を行い、そのデータを共有している²⁾。交通荷重を多地点で観測するためには、橋梁を“はかり”として用い、自動車走行によって生じる橋梁の応答値から、その荷重を逆推定する Bridge Weigh-in-Motion (BWIM) を利用すると有利である。BWIM は、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 Moses³⁾によって提案された。BWIM の手法は現在までに様々な手法が開発されており、国内では Moses の手法を基本とするもの^{4) 5)}、コンクリート床版のひび割れを用いるもの⁶⁾、鋼床版の縦リブを用いるもの⁷⁾、などの研究が行なわれた。また、筆者らは、簡便な BWIM の方法として、応答値の積分により車両総重量を算出する方法を示し、ワーレントラス橋やプレートガーダー橋で測定を行っている^{8) 9)}。

本論文では、鋼プレートガーダー橋の縦桁を利用した BWIM システムを用いて、実橋梁で 1 週間の荷重モニタリングを行なった。BWIM による荷重データとそれに対応する縦桁の実測ひずみ波形から、車両ごとの縦桁の疲労損傷度を計算し、車両の種類や積載状態が、道路橋の疲労損傷にどのような影響を与えているかについて分析を行なった。また、疲労損傷に対して大きな影響を及ぼしている車両の形態を推定した。さらに、別の橋梁での BWIM の測定結果についても疲労損傷度の計算を行い、4 つの橋梁における車両の構成と疲労損傷度の違いなどを分析した。

2. 荷重推定の手法

BWIMの荷重推定には理論は、Moses³⁾が提案した方法が用いられることが多い。この方法は橋梁部材の応答値のほかに、各々の軸重の通過時刻と速度を正確に知る必要があり、軸重に敏感な部材を用いる、軸の通過を検出するセンサーを橋面上に設置するなどの対応が必要である。一方、筆者らが提案した手法は、橋梁部材の応答波形と通過速度が得られれば、各軸の軸重や正確な通過時刻が不明であっても、車両総重量を求めることができる^{8),9)}。以下に推定方法の概略を示す。

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し、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。

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

式(2)より、どのような軸数、軸配置であっても、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(GVW_c)である車両の影響面積 A_c を測定し、この値をキャリブレーション値とする。

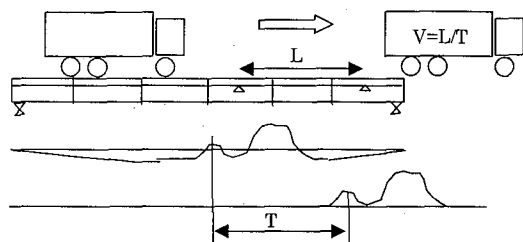


図1 走行速度の計算

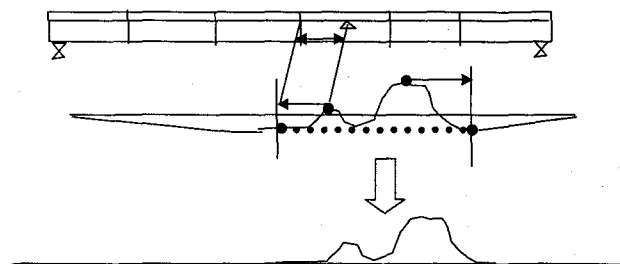


図3 主桁たわみによる応力成分の除去

本研究では、測定されたひずみ波形データを自動的に解析し、車両データとして分析、統計するシステムを開発した。モニタリングシステムによって車両通過ごとのひずみ波形を測定した後、以下のような流れで車両総重量などを計算する。

- 1) 2断面の測定波形を比較し、時間差を算出し、走行速度を求める。(図1)
- 2) 複数の車両がひとつのファイルで記録されている場合、応答のピーク値から、車両ごとの波形の範囲を求める。(図2)
- 3) プレートガーダーの縦桁は、主桁曲げ応力の成分が観測される場合がある。この成分は同時載荷の影響を受けるため、これを除去する。ピーク応答からある距離だけ離れた位置に相当する時刻の値を算出し、これらの点をゼロ点であるとして、線形補正を行なう。主桁の応力成分は、主桁の影響線長が縦桁のそれに比べて短いことから、時間変動が縦桁よりも少なく、この方法でほぼ除去できる。(図3)
- 4) 波形の面積を計算、これに走行速度を乗ずることで影響面積を算出する。

$$A = V \cdot \int_{-\infty}^{\infty} r(t) dt \quad (3)$$

- 5) 影響面積の値をキャリブレーション値で除して車両総重量を求める。

$$GVW = \frac{A}{A_c} \cdot GVW_c \quad (4)$$

- 6) 応答時間、ピーク応答の間隔、走行速度から、最遠軸距を推定する。(図4) 大型車の後軸に用いられるタンデム軸(2軸)、トリデム軸(3軸)の場合は、これらの軸群の中心の位置を軸間隔とする。

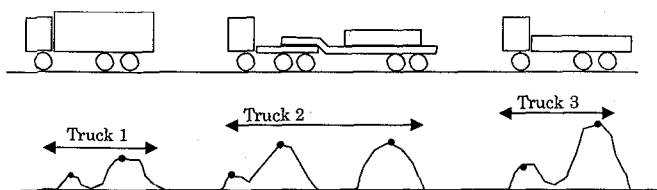


図2 ピークの検出と車両単位への分解

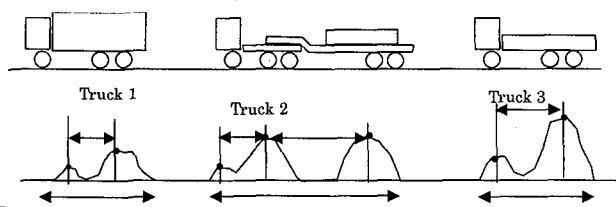


図4 最遠軸距の推定

3. プレートガーダー橋での 1 週間の荷重計測

3.1 測定橋梁の概要

国道 23 号四日市高架橋は総延長 1.5km の高架橋で、三重県四日市市内に位置する。この高架橋のうち、スパン 30m の鋼単純プレートガーダー橋を測定対象とした。橋梁一般図とひずみゲージ貼付位置を図 9 に示す。6 主桁、4 車線で上下線一体構造であり、主桁間隔 3.25m に対して主桁間に縦桁が配置され、縦桁スパンは 4.65m、5.0m である。南行きの 2 車線を測定対象とし、車線下にある縦桁の支間中央下フランジにひずみゲージを貼付した。重量検出に用いる縦桁は、橋梁出口側端部の縦桁とした。主桁端部の縦桁を用いることで、縦桁への主桁たわみの影響を小さくすることができる。Ch.1、Ch.3 を重量推定、Ch.2、Ch.4 を速度推定に用いた。

3.2 キャリブレーションと推定精度

車両総重量 247kN の 3 軸貨物トラックを複数回走行させ、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。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 に示す。実測値に対して、 $\pm 10\%$ の誤差が生じた。荷重車の走行速度 30km/h $\sim$ 75km/h 程度の範囲では、特に応答値が変化することはなく、速度に応じた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⁹⁾などが考えられる。EU で提案されている WIM の精度評価指標²⁾を用いると、Class C(15)となり、簡便な WIM として位置付けられる。

4. 交通荷重測定結果

4.1 車両の走行実験

橋梁の疲労に影響のある大型車両だけを選んで測定するため、荷重車の計測結果から、約 50kN 程度の前軸軸重によって縦桁に生じる 14μ のひずみ値を測定器のトリガ値に設定した。トリガ値を越えるひずみを与える車両を対象に、1 週間(168 時間)の自動測定を行った。

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、最遠軸距等を推定した。測定プログラムによって判別された 63104 台分のデータのうち、車両総重量が 30kN 以下と推定された 7666 台の車両データについては、プログラム上の誤差である場合が考えられことと、疲労損傷にも関与していないことから統計の対象外とした。この結果、測定されたトラック 55438 台/168 時間に対して統計を行なっている。図 7 に測定車両の時間交通量を示す。朝夕のラッシュ時に台数の落ち込みがみられるものの、月曜日か

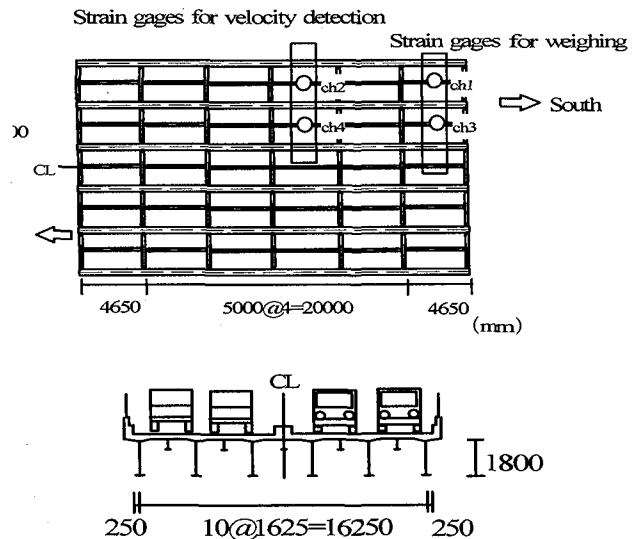


図 5 四日市高架橋の概要

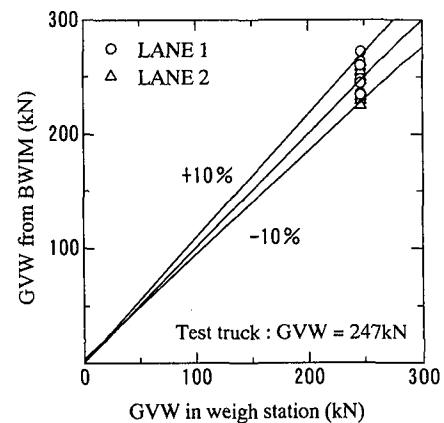


図 6 車両総重量の推定精度

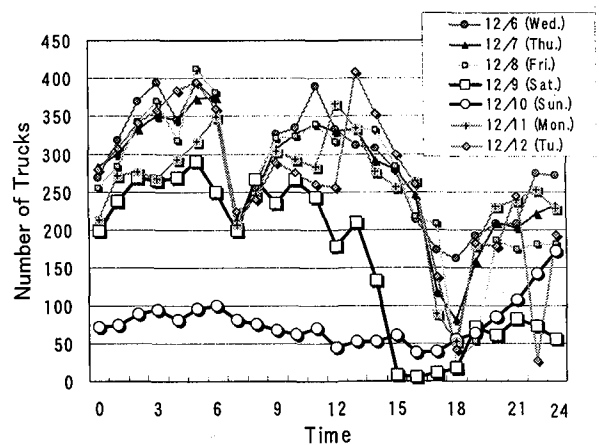


図 7 時間交通量の変化

ら金曜日までは、ほぼ同じ台数の変化を示しており、平日の大型車の日交通量は約 6500 台であった。土曜、日曜日には台数が減少しており、土日をあわせて平日 1 日分程度の台数となった。

車両重量の相対頻度分布を図 8 に示す。相対頻度分布は 100kN、200kN にピーク値があり、これらは、大型車両の積載、空車の代表的な値を示していると考えられる。

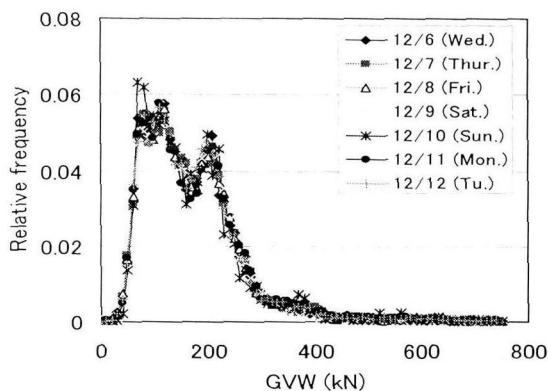


図 8 車両総重量の相対頻度分布

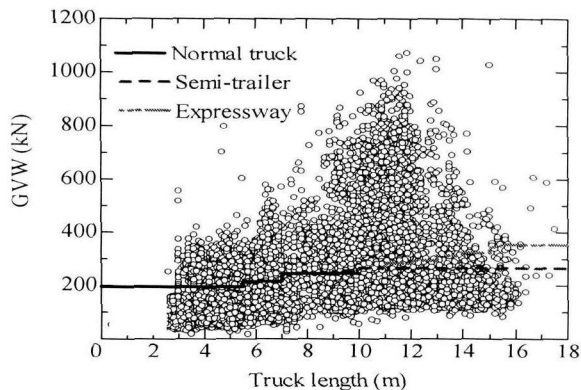


図 9 車両総重量と最遠軸距

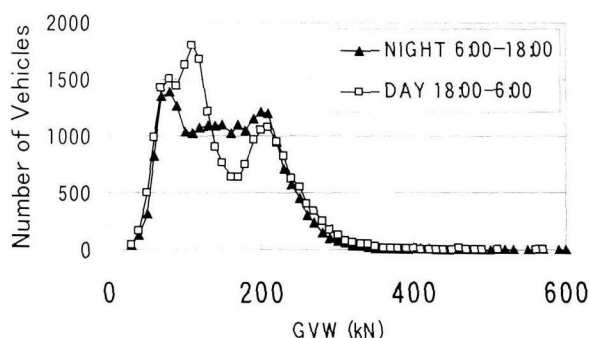


図 10-a 昼夜別の車両総重量頻度分布（トラック類）

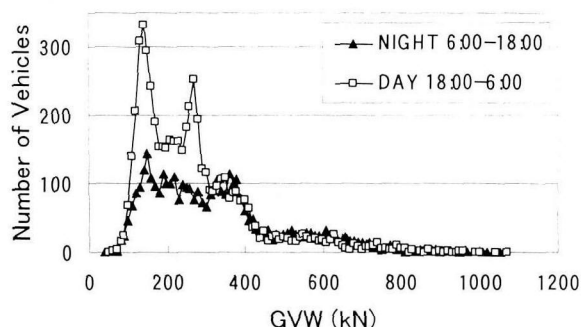


図 10-b 昼夜別の車両総重量頻度分布（トレーラー類）

全ての測定日で相対頻度分布の形状が良く一致し、車両台数の少ない土曜、日曜に関しても重量の相対頻度分布には変化が見られなかった。このことから、土曜日、日曜日には台数が少なくなるものの、1週間を通じて、同じような車両の構成で大型車両が走行していると考えられる。

4.2 重量分布と過積載トラック

図 9 に車両総重量と最遠軸距の関係を示す。図中には車両制限令による「一般制限値」、セミトレーラーに適用する「セミトレーラー特例」、および高速道路で認められている「高速道路特例」の制限値を示した。わが国で走行する大型車両のうち、最遠軸距が 8m 未満のものは、通常 3 軸、または 4 軸のトラックであり、8m 以上のものは、セミトレーラートラックや、フルトレーラートラックである。ここでは最遠軸距が 8m 未満のものを「トラック類」、8m 以上のものを「トレーラー類」と呼ぶことにする。測定された台数は、トラック類 45999 台、トレーラー類 9439 台である。トラック類の最大値は、870kN であるが、これは文献 9) で報告されたものと同様、4 軸のトラッククレーンである。このような特殊な車両を除けば、通常の貨物用トラックの最大値は、600kN 程度であった。トレーラー類の最大値は 1000kN 程度であった。どちらの場合も法令による車両の制限値を大幅に上回るだけでなく、橋梁部材によっては、設計活荷重応力を超える応力が生じると考えられる。

3 つの制限値の包絡線を越える車両台数は全測定車両

に対して約 26% であった。制限値を越える車両は、国土交通省によって走行が許可された「特別認可」の車両も含まれているが、過積載車両の割合も少なくないと考えられる。

4.3 昼夜別、車種別の交通パターン

トラック類、トレーラー類ごとに車両総重量の頻度分布を計算したものを図 10 に示す。ここでは、6:00~18:00 を「昼間」、18:00~6:00 までを「夜間」とし、1 週間のデータを合計して計算した。昼間のトラック類は、100kN、200kN のピーク値のうち、100kN のピークの方が多く、夜間には 200kN の台数が多くなり、積載車の割合が高くなることを示している。トレーラー類では、比較的総重量の小さい車両が昼間に多く走行し、空車、積載車のピークが 160kN と 280kN にみられた。夜間は総台数は減少するものの、重量の大きな車両が増加し、160kN と 380kN のピークが生じている。

5 疲労損傷の分析

大型車両が橋梁の疲労損傷に与える影響を車両ごとに相対比較するため、BWIM で用いた縦桁の実測波形に基づいて、車両ごとの縦桁の疲労損傷度を計算した。測定した縦桁は、横桁にウェブのみボルト接合された構造であり、フランジは連続していない。また、端部での回転拘束は小さく、影響線の形状は、長さ 5.5m の単純梁に似た曲げモーメント影響線となる。測定部位に生じる

ひずみは、最大でも 200 μ 程度であり、測定部付近で疲労損傷が発生する可能性は低いと考えられるが、本研究では、縦桁と同じような影響線長をもつ部材(例えば、鋼床版の溶接部等)に疲労損傷が生じる場合を想定し、大型車両の影響度を評価することを目的としている。

5.1 損傷度の計算方法

マイナーの示した累積被害則によれば、変動応力を受ける継手の疲労損傷度は次式で与えられる¹⁰⁾。

$$D = \sum (n_i / N_i) \tag{5}$$

ここに、

n_i : 構造物が受けた応力範囲 σ_i の頻度

N_i : 疲労設計曲線より与えられる σ_i に対応する一定振幅応力での疲労寿命である。

日本鋼構造協会の疲労設計指針¹⁰⁾ (以下 JSSC 疲労設計指針)では、鋼構造の継手形式に応じた疲労曲線を定めている。本研究では、縦桁の疲労強度として、縦桁のウェブとフランジの溶接部分の損傷を想定し、JSSC 疲労設計指針に設定されている D 等級(200 万回疲労強度 : 100MPa)を用いた。縦桁の測定波形から、車両ごとの波形を抽出し、レインフロー法を用いて、(5)式により疲労損傷度を計算した。変動振幅応力に対する応力範囲の打ち切り限界は考慮せず、大型車両の走行による応力振幅は基本的に全て計数することとした。また、4 μ 以下のひずみ範囲はノイズとして計数しないこととした。走行車線と追越車線では縦桁と車線位置関係の違いから、同じ荷重でも走行車線と追越車線では 8%ほどひずみ値が異なるが、走行車線、追越車線の荷重を比較するため、追越車線のひずみ値については荷重車の測定結果を用いて走行車線の縦桁と等価な値に換算した。

5.2 損傷度の計算結果

車両総重量に対する損傷度の分布を図 11 に示す。縦軸は、ある車両総重量を持つ車両群が与える疲労損傷度の合計を示している。ここでは追越、走行車線を合計したものを示す。トラック類は、総重量 200~250kN の車両による損傷度が卓越し、ピーク値は 210kN であった。トラック類の台数分布は空車、積載車の双峰分布であったものが、損傷度分布では積載車両(200kN 付近)を峰とする分布形状となっている。トレーラー類の損傷度分布は、総重量の幅が広く、ピーク値は 270, 380kN であった。分布の中央値はトラック類で 220kN、トレーラー類で 480kN となった。中央値より上側の車両の走行台数が全走行台数に占める割合は、トラック類で 18%、トレーラー類で 12%である。これは、疲労損傷の半分が、全体の 1~2 割程度の台数の重量車によって生じていることを示している。

最遠軸距に対する走行台数と損傷度の分布を図 12 に示す。走行台数の分布は、車種別の混入率の特性が現れ

ていると考えられ⁷⁾、トラック類では、3.8m, 5m, 6.6m が卓越し、トレーラー類では、9.5m, 11.5m, 14.2m が卓越した。損傷度の分布には、6.6m に大きなピークがあり、これらの車両群が損傷に寄与する率が高いことを示している。一方、トレーラー類は、台数は少ないものの、軸距が 10~12m のものが大きな損傷度を生じている。全損傷度に対する割合は、トラック類が 62%、トレーラー類が 38%であった。

各最遠軸距ごとに計算した車両 1 台当たりの損傷度を図 13 に示す。図 12 における代表的なトラック類の 3.8m, 5m, 6.6m の車両が 1 台当たり $2.5 \sim 5.0 \times 10^{-10}$ 程度の損傷度であるのに対し、最遠軸距が 10~12m のトレーラー類は $5.0 \sim 7.5 \times 10^{-10}$ となり、車両 1 台当たりの損傷度はトレーラー類の方が 2 倍から 3 倍大きい。これは、一般にトレーラーは軸数が多く、また、軸重の大きな車両が多いため、繰り返し数、発生応力がともに大きくなることが理由であると考えられる。

車線別、車種別の走行台数、疲労損傷度を図 14、図 15 に示す。トラック類の走行台数は追越車線が 1 割程度

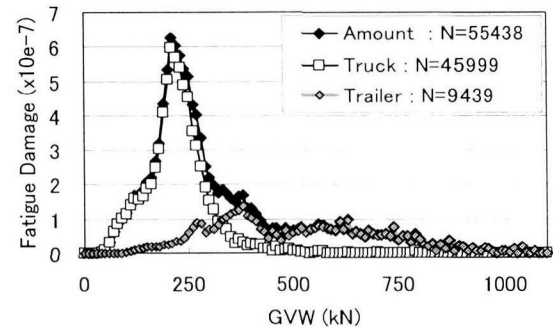


図 11 車両総重量に対する疲労損傷度分布

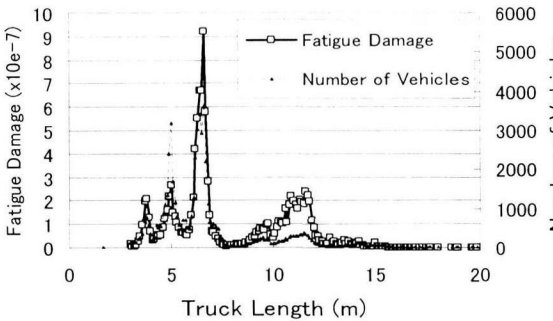


図 12 最遠軸距に対する疲労損傷度分布

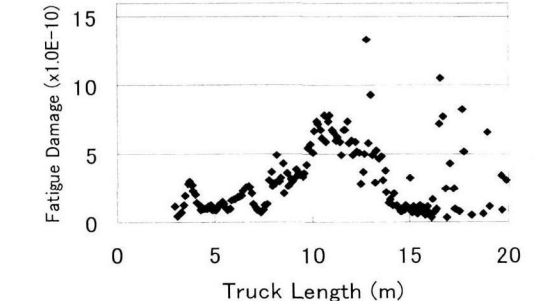


図 13 車両 1 台当たりの疲労損傷度 (同じ最遠軸距を持つ車両群ごとの平均値)

少ないのに対し、トレーラー類は追越車線で走行車線の半分以下になっている。疲労損傷度の合計は、走行車線が 8.2×10^{-6} であるのに対し、追越車線が 4.0×10^{-6} となり、走行車線の荷重の方が約 2 倍の疲労損傷度となった。トラック類の与える損傷度は、追越車線でやや少なく、トラック類 1 台当たりの損傷度は走行車線が 1.7×10^{-10} であるのに対し、追越車線は 1.5×10^{-10} となり、やや減少している。トレーラー 1 台当たりでは、走行車線 5.7×10^{-10} に対し、追越車線では 2.8×10^{-10} となり、追越車線は走行車線の半分以下となった。これは、走行車線を走行するトラック類、トレーラー類は重量の大きい車両が多いことを示している。

トラック類の車線別損傷度分布、台数分布を図 16 に示す。台数分布の空車を示すピークは追越、走行車線で 100kN 付近とほぼ一致しているが、積載車を示すピークは追越車線で 200kN、走行車線で 210kN となり、走行車線を走る積載車両の台数が多くなっている。損傷度分布は 200kN 程度まで分布形状が一致するが、走行車線のピークが 210kN であるのに対し、追越車線では 200kN となり、ピーク値以降の車両総重量では全体的に走行車線の方が損傷度が大きい。

トレーラー類の車線別損傷度分布、台数分布を図 17 に示す。トレーラー類の台数分布は、軽量なものを含めて、追越車線の走行台数が少なくなっており、車両総重量が増えるに従い、その傾向は強くなっている。トレーラーの損傷度分布は、走行車線の中央値で車両総重量 500kN 程度、追越車線で、中央値 300kN 程度となり、分布形状が大きく異なっている。

以上から、走行車線の方が大型車両の走行台数が多くなるだけでなく、積載状態のトラック、車両総重量の大

きなトレーラーの走行頻度が高くなっており、追越車線に対して厳しい荷重状態であると言える。

5.3 疲労損傷からみた代表的な荷重

車両総重量、最遠軸距に対する走行台数を図 18 に、疲労損傷度を図 19 に示す。台数のピークは 100kN～200kN、軸距 5m～7m の範囲に存在するが、疲労損傷度のピーク点は 6.5m、車両総重量 240kN のトラック類が最大で、トレーラー類では、11.5m、360kN となった。

図 19 のピーク点から予想した、疲労損傷への寄与率が高い自動車の形態と、その車種に対応するおおよその制限値を表 1 に示す。いずれの車両も、制限値付近まで貨物を積載していることから、それぞれの車種における「満載」以上の積載車両が疲労損傷に対して大きな影響を持っていることを示している。また、これらのピーク値が各車種ごとの疲労損傷度の中央値に近いことから、制限値を越える過積載車両によって、疲労損傷のおよそ半分が過積載車両によって生じていると言える。

5.4 他の橋梁との比較

著者らが計測した、国道 22 号枇杷島高架橋(一宮方面)、国道 25 号亀山大橋(上下線)⁹⁾のひずみ波形データを 2 章の荷重推定プログラムを用いて再度分析した。また、前述した手法で車両ごとの疲労損傷度を計算した。各橋梁ごとに走行車線のひずみ値を基準とした。

各橋梁の測定条件等を表 2 に示す。枇杷島高架橋、亀山大橋下り線は、測定縦桁の長さが 5.4、5.5m と四日市高架橋とほぼ同じであるが、亀山大橋下り線は 2.75m と約半分になっている。これらの橋梁は、BWIM の測定シス

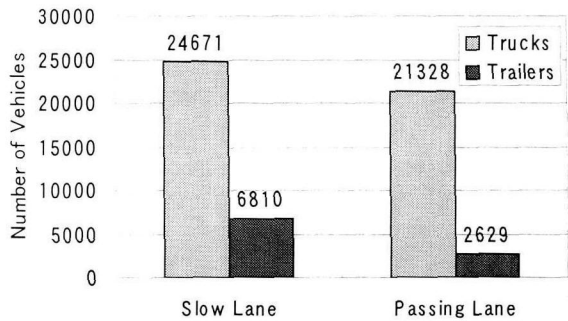


図 14 車線別走行台数

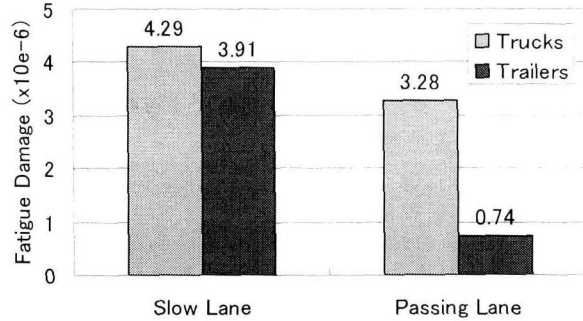


図 15 車線別疲労損傷度

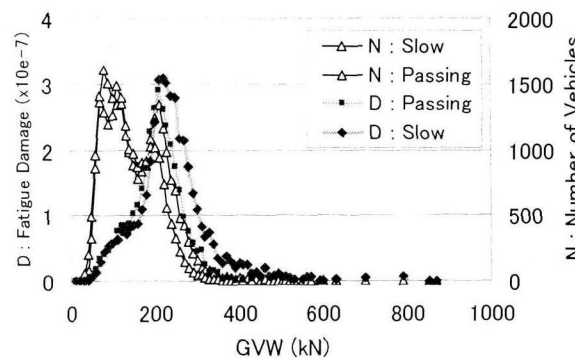


図 16 車線別の損傷度分布と台数分布：トラック類

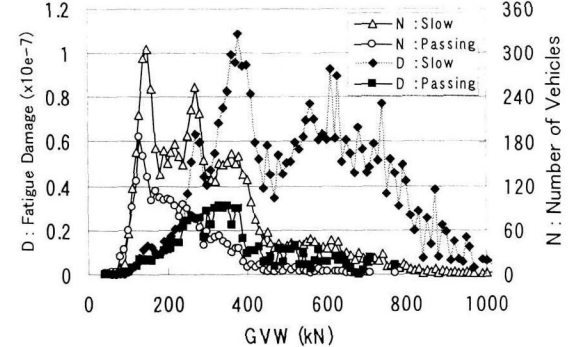


図 17 車線別の損傷度分布と台数分布：トレーラー類

テムの開発を目的として測定されたため、トリガレベルが比較的高く、100kN 程度の車両については実際の走行台数よりも少なく測定されていると考えられる。

各橋梁の台数分布、疲労損傷度分布を図 20～22 に示す。枇杷島高架橋では台数分布のピークが 140kN と四日市高架橋と大きく異なるが、損傷度分布のピークは 210kN とほぼ一致した。亀山大橋では下り線、上り線で台数分布が異なるが、疲労損傷度分布の形状はほぼ同じ

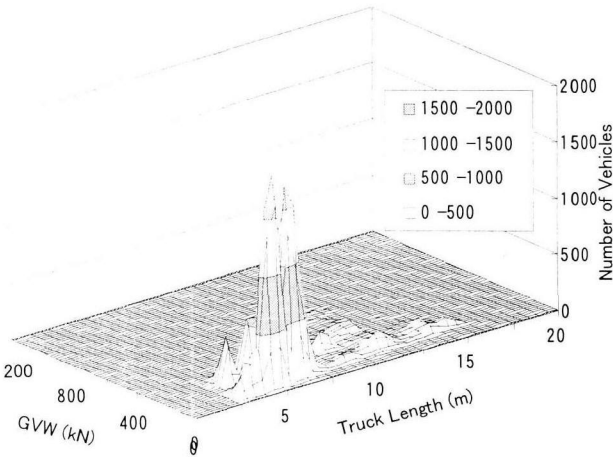


図 18 最遠軸距，車両総重量と台数分布

であり、220kN のピークを示している。また、3 橋とも 300kN 以上の車両による損傷がその走行台数に比べて大きい。これは、四日市高架橋での結果と同様、トレーラー類の走行によるものと考えられる。

枇杷島高架橋，亀山大橋，四日市高架橋の損傷度分布から、分布最大値を 1 として正規化した相対疲労損傷度分布を図 23 に示す。車両重量の頻度分布がそれぞれの橋梁で異なるのに対し、4 橋の疲労損傷度の分布形状は

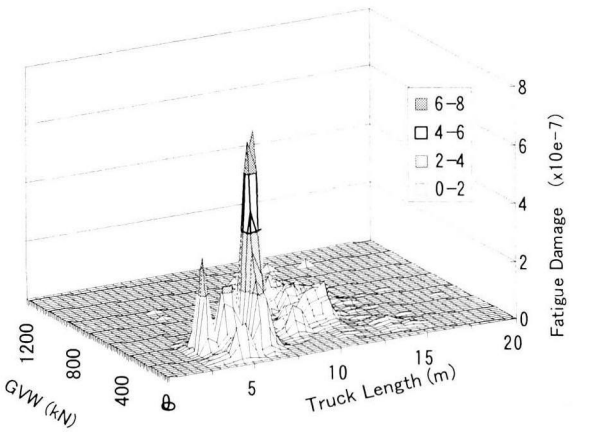


図 19 最遠軸距，車両総重量と疲労損傷度分布

表 1 疲労損傷から見た代表荷重

車 種	最遠軸距(m)	総重量(kN)	制限値
3,4 軸貨物トラック	6.0～7.5	200～260	220～250
3 軸ダンプトラック	4.0	200～260	200
3,4 軸貨物トラック	4.0～5.5	180～240	200
5 軸セミトレーラートラック	10.0～13.0	300～480	270～300

表 2 測定橋梁の概要

	枇杷島高架橋	亀山大橋 (西行き)	亀山大橋 (東行き)
測定時間	72	21	21
測定台数	4067	2249	3286
縦桁の長さ	5.4m	5.5m	2.75m
主桁と車線構成	4 主桁 3 車線	4 主桁 2 車線	4 主桁 2 車線

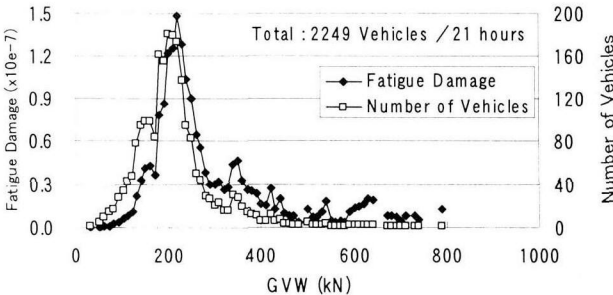


図 20 亀山大橋の疲労損傷度分布(東行き)

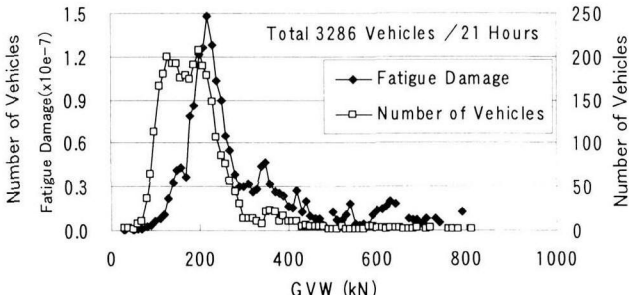


図 21 亀山大橋の疲労損傷度分布(西行き)

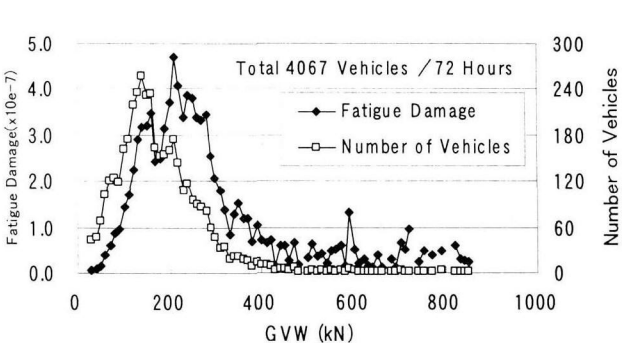


図 22 枇杷島高架橋の疲労損傷度分布

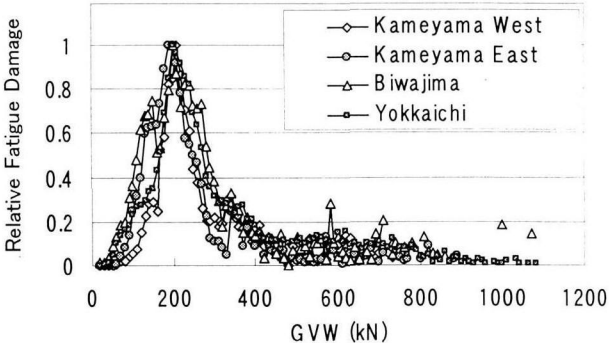


図 23 相対疲労損傷度分布(亀山，枇杷島，四日市)

200~220kN をピークとして概ね一致する。このことは、一般に 200kN~220kN 付近の大型車両が疲労損傷に対して支配的な要因となっていることを示している。また、300kN を越えるような範囲では、四日市高架橋の損傷が大きく、他の 3 橋に比ベトレーラー類の混入率が高い。

6 まとめ

鋼 I 桁橋の縦桁を用いて大型車両の荷重実態調査を行い、測定車両ごとの縦桁に対する疲労損傷度の分析から、大型車両が橋梁の疲労損傷に与える影響を明らかにした。以下に本研究で得られた所見を述べる。

- ・四日市高架橋の台数頻度分布は曜日、走行台数の違いなく形状が一致しており、1 週間を通じて同じような車種構成の大型車両群が走行している。
- ・車両総重量が 100kN, 200kN のトラック類の走行頻度が高く、これらはそれぞれ、空車、積載車を示していると考えられる。
- ・走行車線に積載状態のトラック類、トレーラー類が多く走行し、追越車線に対して走行車線は 2 倍程度の疲労損傷度となった。これは積載状態の車両の構成比率によって橋梁の損傷の程度が変化することを示している。
- ・疲労損傷に対して支配的である車両はトラック類、トレーラー類ともにそれぞれの制限値まで積載した車両群であった。制限値以上に積載した過積載の車両群が疲労損傷のおよそ半分をもたらしていると考えられる。
- ・トレーラー類は、車両総重量が大きく、軸数も多い。このため、5m 程度のスパンの部材に対してはトレーラー類 1 台当たりの車両がもたらす疲労損傷度は、トラック類に対して 2~6 倍となっている。
- ・2.54m~5.5m の縦桁を用いた 4 つの橋梁で、車両重量の台数分布が異なる一方、車両総重量に対する疲労損傷度の分布形状は 210kN~220kN をピークとしてほぼ一致することから、いずれの橋梁も制限値以上に積載した車両群が疲労損傷に大きな影響を与えることが示された。
- ・疲労限を考慮しない今回の計算では、全大型車両の 1~2 割の過積載車両によって疲労損傷度の 2 分の 1 が生じており、疲労限が考慮されるような場合にはこの損傷度に対する過積載車両群の寄与率はさらに高くなると予想される。
- ・鋼構造物の疲労損傷度は概ね発生応力範囲の 3 乗に比例する¹⁰⁾が、アスファルト舗装の設計などではこれに対応する指数が 4 乗とされる¹¹⁾。この場合には過積載車両の疲労損傷への寄与率がさらに高くなる。したがって、橋梁、舗装を含めた道路構造物のライフサイクルコストを考える場合、過積載車両の与える影響が非常に大きくなることが予想される。

適法な自動車の走行による道路構造物のダメージは、

社会基盤施設の「損耗」と呼ぶことができるが、違法な荷重条件によるダメージは一種の「被害」と考えることもできる。道路のライフサイクルコストの削減を求めるとであれば、大型車両の重量、頻度、構成などの実態を的確に把握し、「損耗」と「被害」の実態を分析した上での「路面上」の対策を行なうことが急務である。

謝 辞

本研究は名古屋大学への文部科学省科学研究費補助金 (奨励研究(A) 課題番号 13750456 小塩達也)の補助を受けて行なった。本研究は国土交通省中部技術事務所の計測業務から測定データの提供を受け、名古屋大学で開発した荷重推定プログラムを用いて分析を行なっている。

計測の実施に当たり、三重工事事務所には大変お世話になった。また、現地測定に関しては、大日本コンサルタント、東京測器研究所、名古屋大学山田・館石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) Federal Highway Administration : States' Successful Practices / Weigh-in-Motion Handbook, 1997
- 2) COST 323 : "European WIM Specification" Weigh-in-Motion of Road Vehicles, Final Report, 1999
- 3) Moses, F. : Weigh-in-Motion System Using Instrumented Bridges, Transportation Engineering, Proceedings of ASCE, Vol.105, No.TE3, pp.233-249, 1979.
- 4) 三木, 米田, 村越, 吉村 : 走行車輛の重量測定, 橋梁と基礎, pp.41-44, 1987.
- 5) 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
- 6) 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, pp.407-418, 1989.
- 7) 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, pp.1141-1151, 1998.
- 8) Ojio, T., Yamada, K., Measurement of Vehicle Weight Using Truss Bridges, Proceedings of EASEC-7, pp.543-548, 1999.
- 9) 小塩, 山田, 小林, 水野 : 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, pp. 1083-1091, 2001
- 10) 日本鋼構造協会 : 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 1993
- 11) 日本道路協会 : アスファルト舗装要綱, 2001

(2001 年 9 月 14 日受付)