

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 15 日現在

機関番号：13401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：平成 23 年度～平成 24 年度

課題番号：23760420

研究課題名（和文）鋼床版に作用する輪荷重に着目した疲労環境モニタリング

研究課題名（英文）Monitoring of Traffic Axle Loads for Fatigue Environment in Orthotropic Steel Deck Structures

研究代表者

鈴木 啓悟 (SUZUKI KEIGO)

福井大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号：40546339

研究成果の概要（和文）：鋼床版を重量車両が通過するときに生じるひずみ応答から、精度良く軸重を算出する手法を開発した。軸重が既知である 3 種類の重量車両(207.6kN、310.1kN、411.3kN)を用いて走行試験を行い、本手法を適用したところ、85 回の軸通過に対して誤差の平均は-2.1%、誤差の標準偏差は 6.7%であった。実鋼床版に対して 1 週間連続のひずみ計測を行い、本手法適用したところ、法定軸重 100kN を越える違反軸重は 1,793 回、T 荷重 200kN を越える軸重は 31 回認められた。

研究成果の概要（英文）：A calculation method of axle loads was developed. The method uses strain responses of orthotropic steel deck structures when heavy vehicles pass. The method was applied to a vehicles running test with three heavy trucks, the axle weights of which are 207.6kN, 310.1kN and 411.3kN. In total 85 axle passages, the average error was -2.1% and the standard deviation of the errors was 6.7%. For one-week continuous monitoring data in an actual orthotropic steel deck structure, the result showed axle loads over 100kN passed 1,793 times and those over 200kN did 31 times.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,700,000	510,000	2,210,000

研究分野：理工系工学分野

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：鋼床版, 軸重, 疲労, Weigh-In-Motion,

1. 研究開始当初の背景

(1)床版は道路橋の舗装直下に位置し、通行車両のタイヤ荷重を受け、橋梁の主構造へ荷重を伝達している。床版の中でも鋼床版は、コンクリート床版と比較して軽量であること、また現場以外での製作が可能であり、架設時間の短縮が出来ることから、多くの橋梁で用いられてきた。しかしながら、重量車両が多く走行する首都高速道路、名神高速道路、阪神高速道などでは、架設後 20 年～30 年を経て、鋼床版の疲労損傷が多く発見されてきている。

(2)主要な原因の一つとして挙げられるのは、重量車両の輪荷重であり、重量車両の輪荷重とその作用位置によっては、高い応力集中が引き起こされる。疲労設計や維持管理の観点から見れば、外乱となる軸重とその作用頻度を定量的に把握し、疲労環境を把握することが重要となる。

(3)通行車両の軸重量算出方法には、軸重計を舗装内部あるいは舗装下に敷設したシステムがあり、実際の有料自動車道路でも料金所において敷設され、適用されているが、センサ自体に高い感度が求められる他、高価なこ

と、舗装に関する工事やメンテナンスが必要などの特徴がある。

(4)これに対し、Mosesによって提案された通行車両重量算出手法 Weigh-In-Motion (橋梁を用いるため Bridge Weigh-In-Motion : BWIM と称する) は、橋梁部材に設置したひずみゲージから取得できるひずみを利用するものであり、路面の工事を必要としないために、準備から測定に至るまで、交通流を妨げないという利点がある。また計算も単純な行列計算に帰する比較的簡便な算出プロセスであるため、システムの構築がしやすい。

(5)BWIM は我が国においても大きな発展を遂げており、種々の橋梁形式で実行が可能である。これら BWIM は車両の総重量の算出において、十分実用的なレベルに達している一方で、軸重の算出精度についてはさらなる改善の余地があり、特に疲労損傷が多数報告されている鋼床版での軸重算出手法の構築が必要である。

(6)鋼床版においては小塩らが輪重を算出する手法を提案し、軸重を算出する手法は Xiao らによって、提案されているが、1 レーンに4 箇所以上でひずみを計測しており、計測デバイスのコストが大きくならざるを得ない。

2. 研究の目的

(1)本研究は重量車両の軸重把握を目的とし、鋼床版のひずみ応答を利用した軸重算出用 BWIM を構築する。構築にあたってはデータ計測デバイスのコストを抑えるため、1 レーンあたり3 箇所のひずみを計測し、これらのデータから軸重を算出する。

(2)解析事例として、U リブ型の縦リブを有する鋼床版を対象とし、停止時軸重が既知である車両3 種(3 軸車:207.6kN, 5 軸車:310.1kN, 6 軸車:411.3kN)を走行させ、算出軸重の精度を検証する。

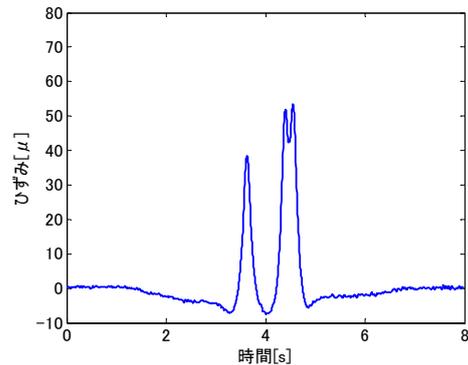
(3)構築した軸重算出手法を実構造物へ適用し、実動荷重下における鋼床版に作用する軸重頻度分布を得る。さらに、通行する重量車両軸重の指標として等価軸重を算出する。

3. 研究の方法

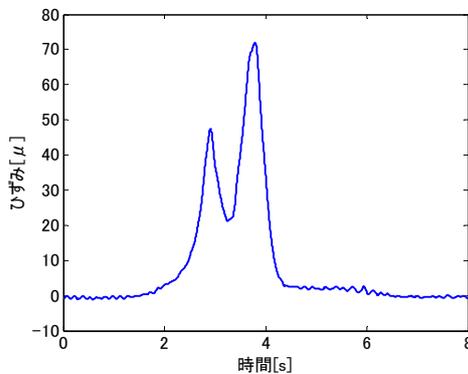
(1)鋼床版の縦リブと横リブでは活荷重ひずみ応答が大きく異なる。図-1 に停止時計測重量 207.6kN の3 軸車が通過したときのひずみ応答を示す。縦リブでは軸ごとのピーク位置が明瞭である。一方で横リブは後ろ2 軸が一つの山になっており、各軸の影響が重なり合っており、軸の通過が捉えづらくなっている。

(2)図-2 に3 軸車両によって縦リブに生じたひずみ履歴に対する影響線と実ひずみのカーブフィッティングの概略図を示す。図-1 に示したように横リブの場合、ひずみの立ち上がりが縦リブのそれと比較してなだらかであり、それゆえ、P1 倍、P2 倍、P3 倍して得られる再構成ひずみには、後ろがペアになっている軸ではそれらの影響線が近接しており、片方が大きく、片方が小さくても合計値で得られる誤差二乗和は変わりにくいと考えられる。これに対し、縦リブでカーブフィッティングを試みる場合、軸毎の応答が明瞭に生じるため、近接軸の影響が小さくなると考えられる。

(3)縦リブと比較すると、横リブひずみ応答は橋軸直角方向走行位置の変動によるひずみ値の変動幅が小さい。横リブは橋軸直角方向に荷重を伝達し、また縦リブと比較して剛性が高いことが理由として挙げられる。縦リブは橋軸方向に配される構造上、橋軸直角方向に荷重作用位置がずれると、ひずみ値が変動(図-3)しやすい。この性質は軸重算出に利用するひずみとしては欠点となる。縦リブでカーブフィッティングを行い、軸重を算出する際、同じ車両であっても橋軸直角方向の走行位置が異なれば軸重が変わってしまうから



(a)縦リブ下面



(b)横リブ下面

図-1 3 軸車通過時のひずみ履歴

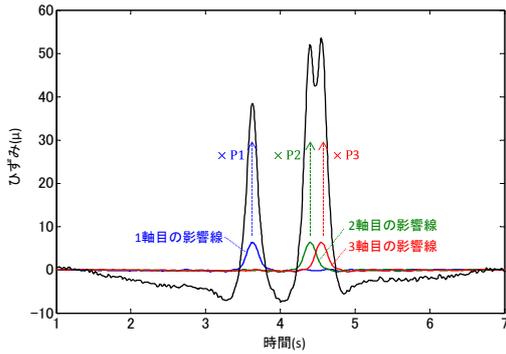


図-2 軸数，軸通過時間帯に合わせ，各軸の影響線を配置(縦リブ)

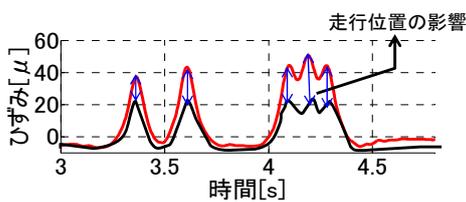


図-3 ひずみ応答の変動

である。ただし、得られる車両内の軸重比の精度は比較的高いと期待される。

(4)軸重算出方法の検討

既往の研究より横リブのひずみ応答を用いたBWIMでは高い精度で車両重量を算出できる。横リブのひずみは車両走行位置の影響を受けづらいためである。この点を勘案すると、まず縦リブでBWIMを行い、仮軸重値を算出しておく。次に仮軸重値を合計し、仮車両重量とする。また横リブBWIMを実施し、車両重量を算出する。車両重量を仮車両重量で割った係数を補正係数とし、この補正係数を仮軸重値に掛け合わせれば、軸重が得られる。

(5)軸重算出フロー

図-4に提案する軸重算出フローを示す。予め軸重が既知の車両を走行させ、縦リブと横リブの影響線を算出しておく。影響線はFFTを用いて算出する。

(6)動ひずみ計測で得られた生データには温度変化に伴うひずみ値の変動量が含まれている。本研究では5分間ごとにデータを区切り、生データの最頻値を求めて、活荷重ひずみを抽出した。活荷重ひずみはローパスフィルタを通し、走行に伴う動的な効果を低減しておく。

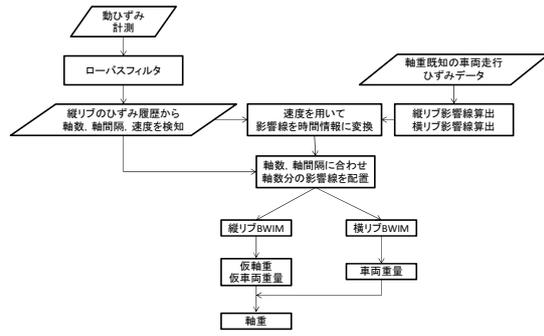


図-4 軸重算出フロー

(7)計算処理においては、対象車両が解析対象域に侵入し、活荷重ひずみがゼロ値からゼロ値に戻るまでの時間帯のデータを解析に用いる。その時間帯内において、同一縦リブ上の2か所のセンサで記録したピーク値記録時刻から各縦リブひずみセンサ上の軸通過時刻を判定し、1軸目の通過時間差から車両速度を算出する。大型車両が連行している場合には、連行車両群の通過が終わるまでの時間帯を解析対象とする。大型車両が連行している場合、ほぼ同一速度で走行していることから、まとめて同一速度として処理しても問題ない。本研究では軸重を算出対象としているため、この場合、連行車両群を一括計算処理し、車両を分離して考えずに軸重を算出する。

(8)この速度情報から距離情報となっているひずみ影響線を時間情報に変換し、各軸の通過履歴に合わせて、横リブ、縦リブ、それぞれのひずみ履歴上に配置する(図-2)。

(9)縦リブ、横リブそれぞれで最小二乗法を用いて影響線をひずみ履歴にカーブフィッティングさせ、軸重を得る。横リブBWIMから得た総重量と縦リブBWIMから得た仮総重量から補正值を求め、縦リブBWIMの仮軸重を算出軸重へと補正する。

4. 研究成果

(1)軸重算出精度

停止時軸重が既知である車両3種(3軸車: 207.6kN, 5軸車: 310.1kN, 6軸車: 411.3kN)を、単独走行, 連行走行, すれ違い走行させて、軸通過回数計85回に対する本手法の軸順算出精度を検証した。図-5に本手法による算出軸重の誤差分布を示す。誤差の平均は-2.1%, 誤差の標準偏差は6.7%となった。1回のみ誤差が20%を越えたが、それ以外の84回は20%以内である。

(2)軸重頻度分布

図-6に1週間連続で計測したひずみデータから算出した軸重頻度を示す。横軸を算出軸

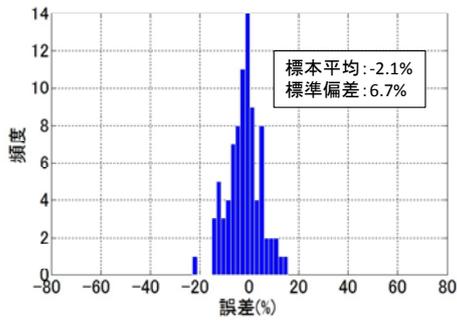


図-5 誤差分布

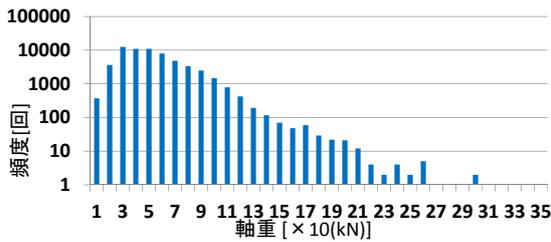


図-6 1週間の算出軸重頻度分布

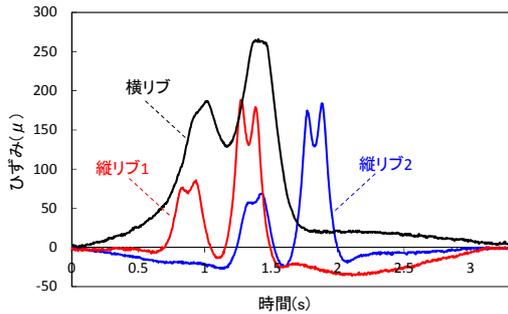


図-7 最大軸重車両通過時のひずみ応答

表-1 最大軸重車両の軸重(kN)

	1軸目	2軸目	3軸目	4軸目
算出軸重	112.9	131.9	293.1	289.0

重(×10kN)、縦軸は底を 10 とする対数表記の頻度としている。頻度は、ピーク頻度から軸重が増えるにつれて、10 の指数に反比例する傾向を示す。道路運送車両法の定める 100kN を越える軸重が多数記録されており、1,793 回の違反軸重の通過が認められた。さらに床版設計用の T 荷重 200kN を越える軸重も 31 回の通過が認められた。

(3)最大軸重

算出した最大の軸重は 293.1kN であった。この車両の縦リブ通過時のひずみ履歴(図-7)から、4軸車両であると推定できる。ひず

みの最大値で見れば、縦リブで 180μ、横リブで 250μ を越える応答が記録されている。この数値は図-1 の 200kN 車両のひずみ応答比較して、かなり重い車両であることがわかる。車両重量は 827.0kN であり、明らかに過積載車両である。表-1 に 4 軸すべての軸重を示す。前 2 軸は 100kN を越え、後ろ 2 軸は約 290kN に達し、T 荷重を大幅に超える軸重の通過が判明した。

(4)等価軸重

等価軸重は過去の研究より式(1)のように提案されている。

$$F_E = \sqrt[m]{\sum_k \frac{n_k \cdot F_k^m}{n}} \quad (1)$$

F_E : 等価軸重 (kN)

F_k : 軸重 (kN)

n_k : F_k の頻度

n : 50kN以上の軸重通過総数 (= 32,652)

m : S-N曲線の傾き (= 3)

式(1)より $F_E = 75.1(kN)$ であった。この数値は疲労環境の指標となり得る。今後他の鋼床版における等価荷重の数値が得られ、等価軸重や疲労損傷のデータが蓄積されれば、維持管理に益することが期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

K. SUZUKI and S. YOSHIKAWA: Monitoring of Traffic Axle Loads in Orthotropic Steel Deck Structures, EASEC-13 (The Thirteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction), 2013.9.11-13, Sapporo-shi, Japan

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 通過車両重量解析処理装置及び方法

発明者: 鈴木啓悟, 吉川将大

権利者: 福井大学

種類: 特許

番号: 特願 2013-110067

出願年月日: 2013 年 05 月 24 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 啓悟 (SUZUKI KEIGO)

福井大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号: 40546339