

平成 21 年 4 月 3 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19760315

研究課題名（和文） 橋梁応答値に基づく車両軸重の動的変動の測定

研究課題名（英文） Estimation of axle load fluctuation from bridge response

研究代表者 小塩 達也 (OJIO Tatsuya)

名城大学・理工学部・助教

研究者番号：70303659

研究成果の概要：

鋼鈹桁橋の支点上垂直補剛材にひずみゲージを貼付して、支点反力に比例するひずみ量を測定し、すべての支点上で測定を行い、これを合算することで、橋梁上の自動車荷重の合計値に比例するひずみ量を測定した。1kHz のサンプリング周波数で、72 時間の連続測定を行い、3 軸大型トラックが単独で走行するケースを抽出し、このひずみの変動に対して、周波数分析を行うことにより、自動車荷重の時間変動の周波数特性を分析した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,900,000 円	0 円	2,900,000 円
2008 年度	500,000 円	150,000 円	650,000 円
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000 円	150,000 円	3,550,000 円

研究分野：工学

科研費の分科・細目：耐震・構造工学

キーワード：Bridge Weigh-in-Motion、過積載、疲労、環境振動、環境騒音、構造物音

1. 研究開始当初の背景

道路構造物を維持管理する上で、自動車の走行によって生じる諸問題がある。例えば、舗装、床版、橋梁構造物の疲労劣化や、橋梁上の標識・照明柱の交通振動による振動と疲労などである。さらに、橋梁や舗装、地盤を介して住環境に伝播される振動や、道路構造物によって反射または増幅され、住環境に伝播する騒音や低周波騒音も重大な問題となっている。

申請者は、上記のような問題の一要因として、作用荷重が大きい大型貨物自動車の荷重に着目、橋梁の応答値を利用した車両荷重の

測定方法を開発し、数々の自動車荷重の実測を通して、ダンプトラック、トレーラー類といった車種ごとの総重量や軸重の統計特性を把握してきた。また、鋼道路橋の疲労問題、大型車の橋梁通過による地盤振動問題について自動車荷重とのこれらの諸問題との相関について明らかにしてきた。また、橋梁上に設置された標識柱・照明柱についても、大型車両と振動、疲労との関係を指摘してきた。しかしながら、これらの研究で着目した荷重とは、測定手法に起因する制限から、あくまでも車両の軸重の瞬間値、またはある時間内の平均値を測定するものであり、路面と車両

振動の相互作用による軸重の刻一刻の変化を把握するまでには至っていない。また、申請者が開発した手法のような、走行中の車両荷重を測定する、Weigh-in-Motion(以下WIM)と呼ばれる技術は幾つか存在するものの、自動車の軸重の変化を連続的に測定することは困難であるとされている。

しかしながら、申請者は上記の研究成果から、特に、構造物の振動に関連する問題において、軸重の時間変化やその周波数特性を把握する必要があることを主張してきた。例えば、橋梁振動の問題においては、振動の発生源である入力荷重の周波数特性と、構造・地盤の周波数特性の掛け合わせによって応答値が決まるため、入力側の特性を知ることが振動の予測や防止に非常に有効である。また、橋梁付属物の振動は、大型車両、橋梁、付属構造物のそれぞれの周波数特性の掛あわせであるため、車両の周波数特性を知ることによって、振動しにくい付属物を設計することが可能になる。

そこで、本研究では、大型車両の荷重の動的な特性、特に軸荷重の周波数特性とその変動幅について、一般車両を対象に調査・分析することを目的とし、一般大型車両を対象とした測定および分析を行なうこととした。これには、これまで申請者が開発した、橋梁の支点反力から車両荷重を推定する Bridge Weigh-in-Motion(支点反力法による BWIM)を発展させる。支点反力法は、橋梁支点部において、自動車荷重による支点反力の変動を連続して測定し、支点上を軸重が通過する際に生じる支点反力の急激な変動を検出することで、軸重を求めるものである。この方法では、支点上を通過する際の軸重の瞬間値のみ検出することになるが、車両が橋梁上を走行する間、支点反力は刻々と変化し、その変化は橋梁振動による慣性力と軸重の変化が合算されたものであると考えることが出来る。したがって、支点反力法を拡張し、車両が走行する間の支点反力の変動に着目することにより、軸重の動的変動を捉えることが可能であると着想するに至った。

2. 研究の目的

支点反力法を拡張し、慣性力を含んだ支点上の鉛直荷重の合力を測定、橋梁の振動加速度波形を同時に測定し、適切な処理を行うことで、橋梁上を走行する自動車荷重の動的変動成分の周波数特性を把握する。測定対象は、NEXCO 中日本(中日本高速道路)の協力により、東名阪自動車道小島高架橋の非合成鋼単純鋼桁(5主桁、2車線、スパン 35m)とした。測定径間の写真を写真1に、主桁と車線の間隔を図1に示す。



写真1 小島高架橋の測定径間

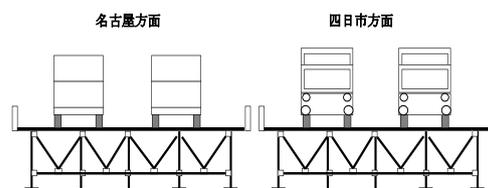


図1 測定径間の主桁配置

3. 研究の方法

(1) 測定位置の検証

鋼桁橋の支承付近では、垂直補剛材および主桁ウェブが、支点反力を支える一種の柱として機能することが明らかになっている。このため、これらの部材のひずみを測定すると、その支承部に伝達される鉛直荷重の変化を知ることが出来る。しかしながら支承の移動・回転機能の不具合がある場合、これらの測定位置には、拘束力によりひずみが発生し、ひずみ波形が鉛直荷重の変動に必ずしも比例しないことになる。このため、応力聴診器(摩擦型ひずみゲージ)を用いて、測定点の候補となる部位を測定し、一般車両による波形を分析することで、理論的な支点反力の波形が出力されるかを判断し、測定点を決定した。

(2) 測定点の設置

(1)で設定したひずみ測定位置にひずみゲージを接着貼付し、各主桁のスパン中央部に加速度計を設置した。

ひずみおよび加速度を1 kHz のサンプリング周波数で約72時間連続測定した。

(3) 波形観察とサンプル抽出

まず、5主桁×2支承部、合計10点のひずみ波形を単純に合計し、波形を観察し、理論的な波形形状との比較を行う。また、車両が一台のみ走行する事象を抽出する。

(4) FFTによる周波数分析

支承上のひずみの合計の波形、主桁加速度の合計の波形についてFFTによる周波数分析を行い、車両重量の違いによる卓越振動数の帯域の変化を分析した。

4. 研究成果

(1) ひずみ測定位置の検証

応力聴診器を用いて、一般供用化で支承上のウェブおよび垂直補剛材のひずみを測定し、波形を観察した。図2に測定位置を示す。4軸大型車が走行する際の垂直補剛材(ア、イ)およびウェブ(オ、カ)の測定波形を図3に、2軸大型車が走行する際の垂直補剛材4点(ア、イ、ウ、エ)の測定波形を図4に示す。いずれの波形でも軸重退出にともなう支点反力の急変が観察されたが、図3の垂直補剛材とウェブでは波形形状が大幅に異なっている。図3で車両がスパン中央にあると考えられる際、支点より径間側の点であるカでは圧縮、径間外にあるオでは引張りのひずみとなっている。これは支承による主桁の回転拘束により、支点部で曲げモーメントが生じていることを示していると考えられる。一方で、図4に示すように、垂直補剛材の4点に貼付したひずみゲージは微妙な波形形状の違いはあるものの、単純桁の支点反力影響線の理論的形状に近い波形が得られた。以上から、支点反力に比例するひずみ量として、垂直補剛材におけるひずみを測定することにした。

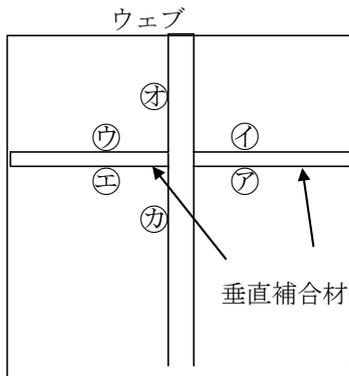


図2 支承周りの測定位置

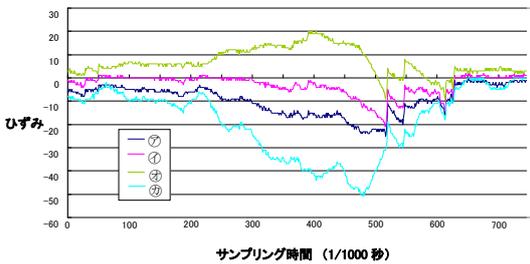


図3 垂直補剛材+ウェブにおける測定波形

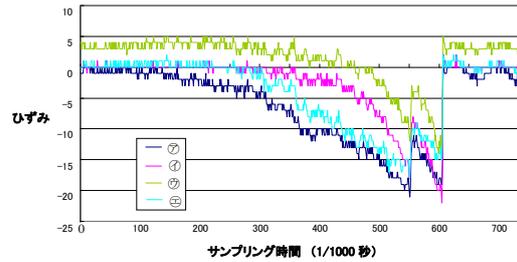


図4 垂直補剛材4点の測定波形

(2) 測定点の設置

予備測定により測定位置を決定し、図5のように測定点を設置した。支点上垂直補剛材にひずみゲージを貼付するほか、5つの主桁のスパン中央に加速度計を設置、鉛直加速度を測定した。サンプリング周波数を1kHzとし、約72時間連続測定した

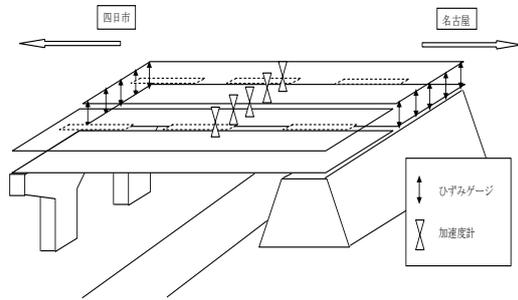


図5 測定点の設置位置

(3) 車両の抽出と波形観察

ここでは、一般的に空車時の車両重量が9tonf~11tonfとばらつきが少ない3軸大型車両に着目し、測定されたデータから3軸車両が単独で走行するケースを30台分抽出した。これらの30ケースについて、10箇所のひずみ測定点の波形データ、5箇所の加速度測定点の波形データをそれぞれ合計した。図6に波形例を示す。垂直補剛材のひずみ合計値すなわち、支点反力に比例するひずみ値の波形(以下、支点反力の波形)は、3つの段差が見られる矩形波の形状を持っている。これは、すべての支点における支点反力に比例

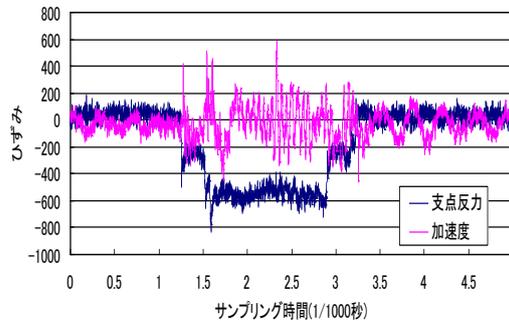


図6 支点反力(垂直補剛材)と加速度の波形例

するひずみを合計することで、支点上の鉛直荷重の変化に比例する波形を得ているものであると考えられる。一方で、加速度波形と比較すると、この支点反力の波形には、加速度波形と同期する成分が見られ、橋梁が振動することによる慣性力の変化を含む波形となっていることが分かる。

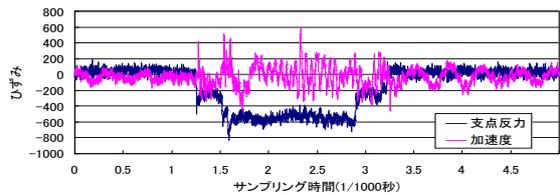
(4) FFTによる周波数分析

30 ケースについてFFTによる周波数分析を行い、支点反力、加速度それぞれのパワースペクトルを求めた。なお、本研究では、NEXCO側の協力が得られなかったことから、荷重車を用いた Bridge Weigh-in-Motion のキャリブレーションを行うことが出来なかった。そのため、ひずみ値を本来の荷重値に変換することができない。そこで、荷重の大きさの指標として、着目した車両のすべての軸重が橋梁上にある時間帯のひずみ値（以下、総ひずみ値）を荷重の大きさを表す指標値として用いることにする。これは例えば図6の場合、波形中で軸重の進入・退出を示す3つの段差上部分の間のひずみ値となり、この値は、3軸の軸重の合計値すなわち車両総重量に比例する。

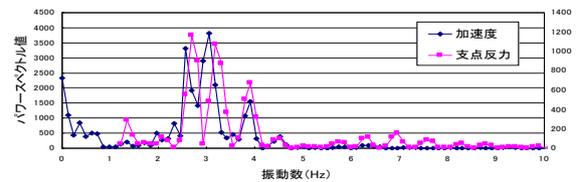
総ひずみ値が大きいケースと小さいケースの例について、波形およびパワースペクトルを図7、図8に示す。図7は抽出した3軸車両でもっとも軽い車両で総ひずみ値は 580×10^{-7} であり、車両が橋梁を退出した後、加速度波形で振動成分が残っていることから車両走行により橋梁が加振され、自由振動状態になっている。一方で、支点反力の波形には車両退出後の変動は見られない。パワースペクトルでは、2~4Hzの間の帯域が卓越しているが、加速度と支点反力を比較するとピーク位置によっては必ずしも一致しない。

図8は総ひずみ 1600×10^{-7} となる車両重量が大きいケースであるが、加速度、支点反力共に振動成分が大きく、車両の走行により橋梁が大きく加振されていることが分かる。パワースペクトルにおいては、加速度・支点反力で2.9Hzの成分が主として卓越する。そのほかに現れるピーク位置は、図7のものに似通っているが、パワースペクトルの形状は大幅に異なっている。これは、車両重量が増えることにより、車両の固有振動数が橋梁の固有振動数に近づき、2.9Hzのモードの振動応答の成分が大きくなったためと考えられる。橋梁上を車両が走行する際の応答は、車両が振動することにより移動する周期外力となる。従って、走行中の支点反力の波形は周期外力により励振される橋梁の自由振動成分と周期外力そのものの成分が重ね合わさったものであると考えられる。しかしながら、パワースペクトルを見る限り、これらの周波数の帯域は重なっており、パワースペクトル

上で周期外力と自由振動成分を分離して把握することは困難であると見られ、車両荷重の動的成分を明確に把握するには、その算定方法についてさらなる検討が必要である。抽出した30ケースについて、支点反力の波形のパワースペクトルの卓越振動数（最大ピークに対する振動数）と総ひずみ値の関係を図9に示す。総ひずみ値が増加すると、卓越振動数はより低い帯域になることが分かる。これは、3軸車両が荷物を積載し、車両の固有振動数が低くなる結果、支点反力の帯域も低くなるためと考えられる。



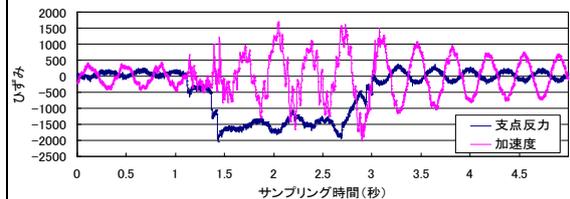
a) 時刻暦波形



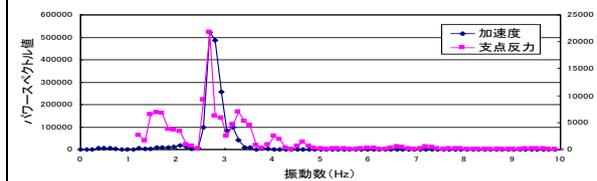
b) パワースペクトル

図7 総ひずみ値 580×10^{-7} の車両の

ひずみ・加速度波形およびパワースペクトル



a) 時刻暦波形



b) パワースペクトル

図8 総ひずみ値 1600×10^{-7} の車両の

ひずみ・加速度波形およびパワースペクトル

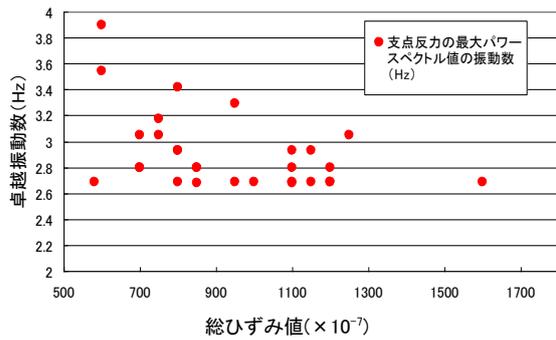


図9 総ひずみ値と卓越振動数

(5) まとめおよび今後の課題

鋼鈹桁橋の支点上垂直補剛材にひずみゲージを貼付して、支点反力に比例するひずみ量を測定し、すべての支点で測定を行い、これを合算することで、橋梁上の自動車荷重の合計値に比例するひずみ量から、自動車荷重の変動を測定する試みを行った。3軸大型トラックが単独で走行するケースを抽出し、総ひずみ値に対する支点反力の変動の周波数分析を行った。同じ種類の車両の場合、車両総重量が増加すると車両の固有振動数が変化し、この結果、支点反力の変動の周波数帯域が低くなることが明らかになった。本研究では、時間の都合上、車種を3軸車とし、30ケースの応答波形の観察を主として行ったが、今後の課題としては、支点反力のスペクトルから、主桁の振動による成分を減ずることで、荷重の変動のスペクトルを求める方法について検討し、BWIMの利点を生かし多数のサンプルについて統計を行うことが有効であると考えられる。

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)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

① 小塩達也, 山田健太郎, 植田知孝, 鋼製伸縮装置からの騒音における自動車荷重の影響の分析, 土木学会第63回年次学術講演会, 2008-9, 広島市, 日本

② Tatsuya Ojio, Kentaro Yamada, Environmental Noise Measurement in Combination with BWIM, The International Conference on Heavy Vehicles, 2008-5, Paris, France

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小塩 達也 (OJIO Tatsuya)
名城大学・理工学部・助教
研究者番号: 70303659