

## ハイブリッド型近代木桁車道橋の動的挙動と動的影響評価

### Dynamic effects and dynamic behavior of hybrid timber girder highway bridge

○ 大澤雄司\* 本田秀行\*\*

OSAWA Yuji and HONDA Hideyuki

\*金沢工業大学大学院工学研究科環境土木工学専攻(〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1)

\*\*工博 金沢工業大学 環境・建築学部 環境土木工学科(〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1)

**ABSTRACT** The bridge objected in this study is hybrid timber girder highway bridge which composed by lag screw between RC slab and each main timber girder inserted four PC steel wires. In this study the three-dimensional dynamic response analysis due to large moving vehicle and the experiment for objected bridge were carried out, and then it was investigated vibration behavior, dynamic characteristics and dynamical effects based on experiment and analytical results.

**Keywords:**ハイブリッド型木桁 動的挙動 動的影響評価  
*hybrid timber girder, Dynamic effects, dynamic behavior*

### 1. まえがき

本研究で対象とした丸山沢橋は、4本のPC鋼線を挿入した集成材主桁とRC床版とをラグスクリューンによって結合した我が国では初めての構造形式の木車道橋である。構造用大断面集成材を用いた車道橋はまだ多いとは言えず、基礎資料が不足しており、今後、同形式の橋梁が架設される傾向にあると判断され、今回の実橋実験によって得られた貴重な実験データは、これらの技術躍進に大きく貢献することは自明の理である。本研究では、大型車両の走行によるハイブリッド型木桁車道橋の動的影響についての評価、および3次元動的応答解析を実施し、実験と解析による振動波形や振動挙動の比較、検討したので、以下に報告する。

### 2. 対象橋梁

丸山沢橋は、写真-1に示すように700年の歴史と桜で有名な遠高町と上伊那郡箕輪町に建設された箕輪ダムとを直結する広域基幹林道日影入線の整備事業の一環として製作・架設され、平成15年3月に竣工された。丸山沢橋は『長野県林道木橋標準設計』の桁橋として初めて施工された橋梁である。そして、以下の特徴を有している。

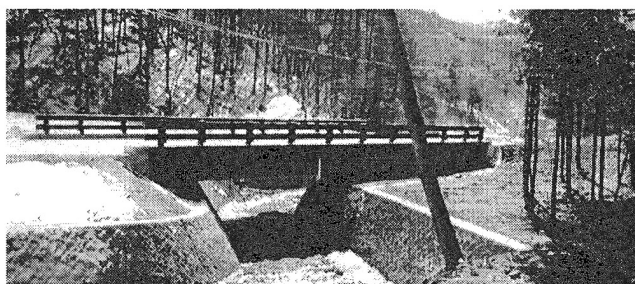


写真-1 丸山沢橋全景

- (1) 集成材主桁は分割された桁をPC鋼線のプレストレスにて直列に一体化するNSP工法によって現場接合されている。
- (2) 床版は車道橋であるためにRC床版であり、集成材主桁と一体になった合成断面によって荷

重を抵抗する合理的な構造となっている。

(3) RC床版が集成材主桁に対して、雨露や直射日光を遮る役目をはたしているのので、耐久性向上にも効果が期待される。

表-1 に、設計概要を、図-1 に断面図、図-2 に側面図を、主要構造を写真-2、3、4 に示す

表-1 設計概要

形式	活荷重合成単純桁橋
橋格	1級林道橋
橋長	20.000m
支間長	19.000m
幅員構成	7.000m
使用部材	集成材 信州からまつ
舗装	アスファルト舗装
床版	鉄筋コンクリート舗装
横断勾配	-5.00%
上部工構造形式	単純合成集成材桁橋
下部工構造形式	鉄筋コンクリート造逆T式橋台

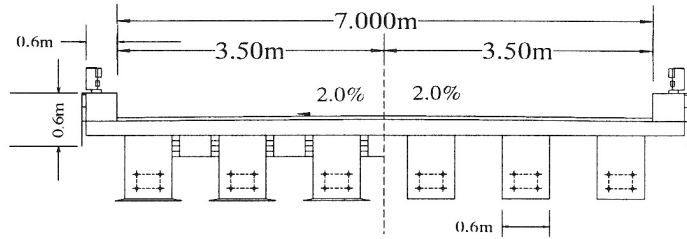


図-1 断面図

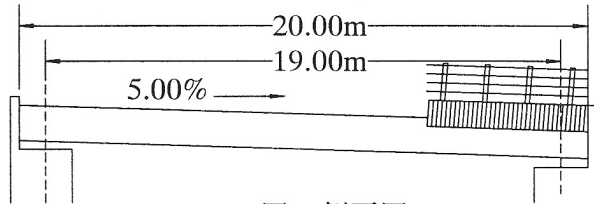


図-2 側面図

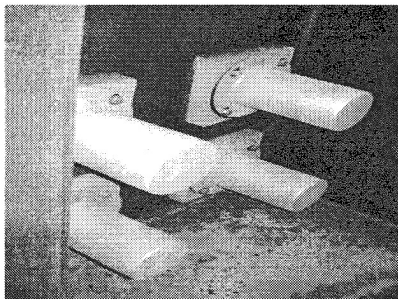


写真-2 PC鋼線による

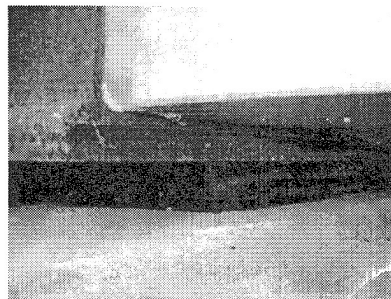


写真-3 ゴム支承部

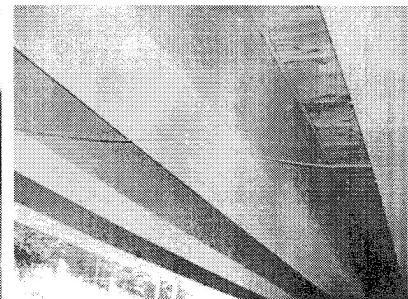


写真-4 床組構造

### 3. 実験概要

試験車両走行試験におけるセンサーの設置位置を図-3 に示す。試験車両走行試験では、総重量が約 20t の試験車両を 1 台もしくは 2 台走行させた時の応答速度、応答加速度、応答変位を測定した。試験車両の走行速度は 10km/h、30km/h、50km/h である (2 台走行時は 30km/h が最大、2 台を連結させる走行ケースと、2 台を並列走行させる走行ケースを行った)。試験風景を写真-5、6、7 に示す。

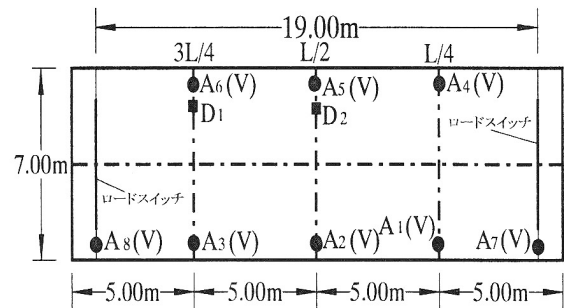


図-3 センサー配置図



写真-5 1台走行ケース

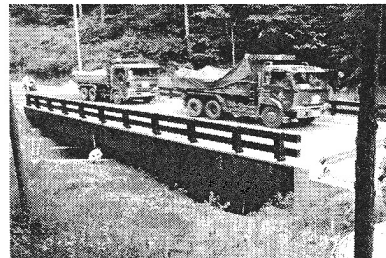


写真-6 2台連結走行ケース



写真-7 2台平行走行ケース

### 3.1 実験結果

図-4、5 に、一例として上流側一台走行時(30km/時)の試験で得られた応答加速度波形を示す。鉛直方向の応答加速度の波形形状を見てみると、うなりの現象がかなり強く見られたことがわかる。ここには記載していないが、他の走行ケースにおいても、この現象は見られ、その原因として、ねじれ振動も顕著に現れていることがわかる。図-5 について、水平方向の応答加速度を示しているが、ほとんど振動が見られない。これは、本橋が横桁を架設していないために、水平方向に非常に振動しにくいためであると考えられる。

図-6 は上流側、図-7 は下流側を30km/時で走行した際の試験で得られた応答変位波形を示す。応答変位計と走行ラインの関係上、上流側走行時は応答変位が顕著に現れているが、下流側走行時はほとんどたわみが現れていないのがわかる。これも、本橋が横桁を架設されていないために、車両走行における振動のみが橋梁全体に伝わったためと考えられる。また、図-8 に2台並列30km/時走行時、図-9 に上流側二台連結走行時の応答変位波形を示す。静的载荷の場合、ダンプトラック 2台を载荷させたときのたわみは、1台を载荷させた時よりも2mmほどの変位が生じたが、車両走行時では、動的変位としての差異はほとんどみられなかった。

### 3.2 静的たわみと振動変位幅

図-10 は、車両が走行した際の道路橋に生じる静的たわみと動的な変位変動の最大振幅の関係<sup>1)</sup>を示している。なお、ここでの静的たわみ値は、静的に車両を载荷した時に測定された静的たわみでなく、車両が走行した時の応答たわみ振動の波形から算出した静的たわみである。その応答

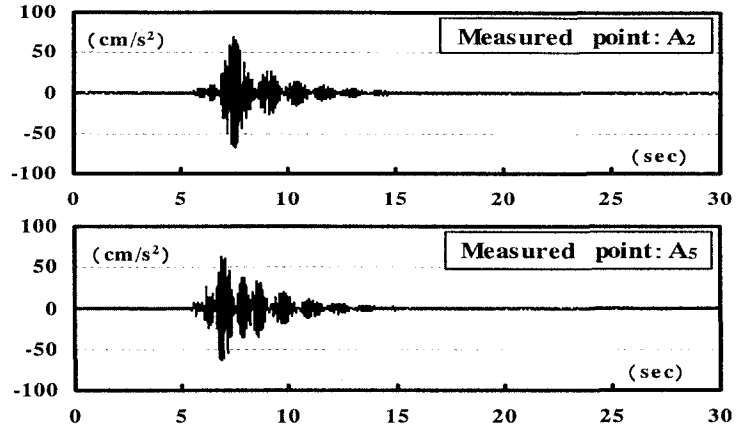


図-4 応答加速度の一例(鉛直方向)

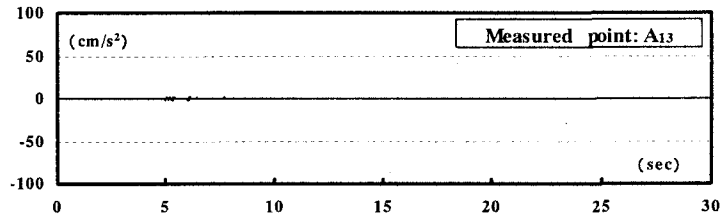


図-5 応答加速度の一例(水平方向)

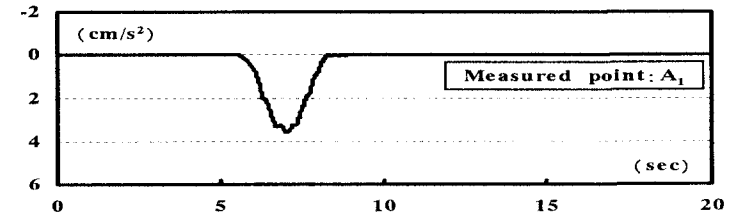


図-6 応答変位の一例(上流側一台走行)

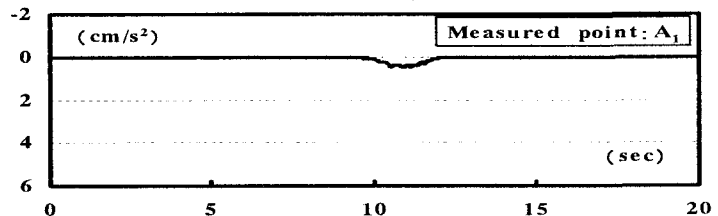


図-7 応答変位の一例(下流側一台走行)

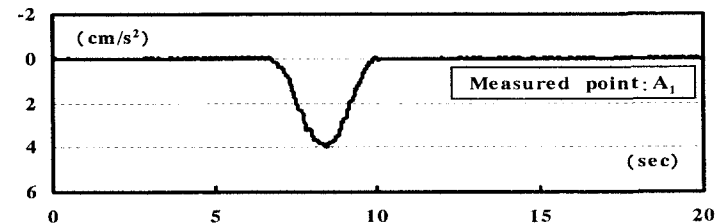


図-8 応答変位の一例(上流側二台走行)

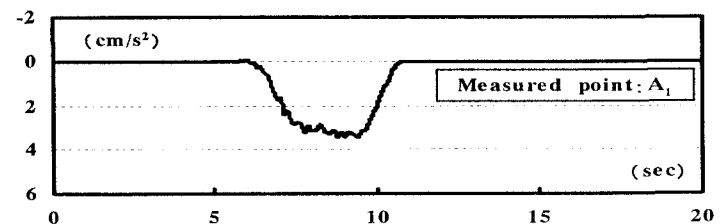


図-9 応答変位の一例(一台並行走行)

たわみ振動の動的な振動振幅の最大値が最大振幅である。図中の丸で囲ったグループの内、Iは空車の中・大型車の単独走行、IIは積載の中型車の走行、IIIは積載の大型車の走行、IVは積載の大型車2台走行の場合である。この図より、静的たわみが大きくなっても変位振幅はそれほど大きくはならないことがわかる。静的たわみは载荷の車両重量の大きさを表しているものと考えられるので、複数台の車両が同時に走行し、荷重が2倍になっても車両の振動位相や固有振動数の差異によって、変位振幅は2倍にならないことを示唆している。このことは従来から衝撃係数の検討の際に指摘され、衝撃係数が支間長の増大と共に小さくなる根拠とされている。

いま、図中に丸山沢橋の試験車両走行試験で測定された静的たわみ値と動的な変位振動の最大振幅を◎印は試験車両1台走行、▼は試験車両2台連結走行、■は試験車両2台平行走行としてプロットする。

一般的に、車両は2台平行走行した場合は、車両の単独走行時に比べて荷重強度が大きいために静的たわみ値は大きくなるが、本橋の場合、その傾向は見られなかった。その原因として、橋軸方向に架設された各主桁への影響は、直接車両がその主桁の上を走行しない限り、影響することは無いと考えられる。また、変位振動振幅は荷重強度に比例せずにそれほど大きくないことが認められるが、本橋においては、変位振動振幅は大きめの値が得られている。これは、車両が走行する際に受ける振動の影響が、横桁が架設されていないことにより水平方向に分配されることが無く、鉛直方向に直に影響しているために、データが少ないので評価は困難であるが、一般道路橋に比べて近代木橋の最大変位振幅が若干大きい傾向が認められる。しかしながら、前述したように静的たわみ値が荷重強度に影響されないことから、一般の道路橋で生じている現象よりも性能として良好な傾向として生じていることが認められる。

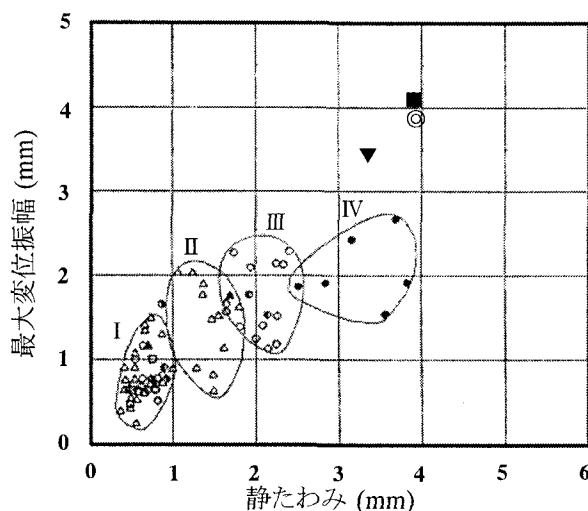
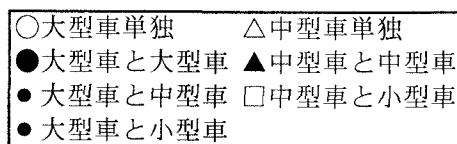


図-10 静たわみと最大たわみ振幅

### 3.3 最大応答加速度

図-11に、車両走行時における本橋の応答加速度の平均値と最大値を示す。最大応答加速度(鉛直)は  $121\text{cm/s}^2$  (50km/時)、2台連結走行時では  $86.85\text{ cm/s}^2$  (30km/時)、2台平行走行では  $103.73\text{ cm/s}^2$  (30km/時) が得られている。平均値をみると、どの走行ケースも、最大値の半分ほどの値であることがわかる。つまり、車両走行毎に最大値ほどの応答加速度が測定されることはないということがわかる。また、橋梁の応答

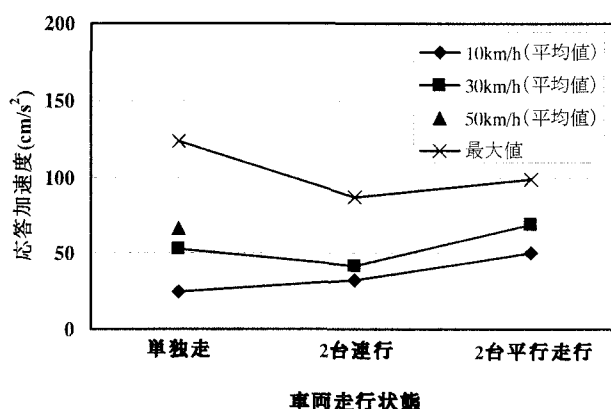


図-11 走行速度別応答加速度

加速度としての一つの基準値である  $245\text{cm/s}^2$  と本橋の応答加速度を比較してみると、どの走行速度、走行ケースとも最大応答加速度は  $245\text{cm/s}^2$  を超えるものはない。ここでは掲載していないが、各センサーの応答加速度を見ても、 $245\text{cm/s}^2$  を超えるものはない。また、車両走行速度と応答加速度を見ても、走行速度が増加するにつれて、応答加速度も増加することがわかるが、最大加速度においては、単独走行時に最大値が得られていることがわかる。これは、2台走行時にお

いては、各車両から発生する振動がお互い打ち消しあう状態にあるためにこのような結果が得られたのではないかと考えられる。本橋が、走行車両による加振により発生する振動が鉛直方向に大きく働くと考えると、2台連行走行時に振動を打ち消しあう挙動が顕著に現れていることがわかる。

図-12 に、過去に実橋実験が行われた7木橋の各走行ケースにおける最大応答加速度及び、丸山沢橋における最大応答加速度を示す。実測された最大応答加速度を見てみると、日常の一般的な大型車両と通常の走行速度による応答加速度は全橋梁とも約  $50\text{cm/s}^2 \sim 140\text{cm/s}^2$  前後と推測され、また、他の橋梁においては、 $245\text{cm/s}^2$  を大きく超える値が存在している中、丸山沢橋は、単独走行での前述したとおり、本橋は車両走行における振動影響は鉛直方向に直に受ける傾向が見られるが、過去に実橋実験が行われた木橋と比較すると、その値はほぼ同じ傾向にあることがわかる。これは、主桁が比較的大きい上に、PC鋼線によって強い引張力がかけられているために、車両走行における振動影響を大きく和らげられているためであると考えられる。支間長や構造形式の関係もあり、単純な比較は困難ではあるが、本橋の振動による車両走行安定性は、現状では特に問題がないと判断される。

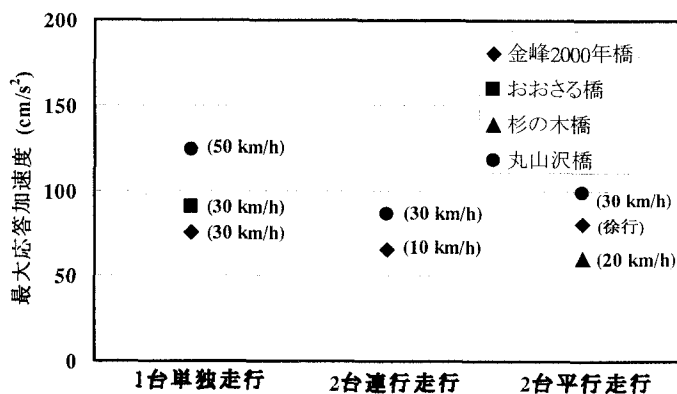


図-12 最大応答加速度

#### 4. 動的応答解析

##### 4.1 解析モデル

本解析で用いる橋梁モデルは、6本の主桁と床版を、4本のPC鋼線を1本にまとめて4本分の張力を合計させている。本橋固有振動数の実験値と解析値を図-13に示す。

##### 4.2 動的応答解析法

実験で得られた固有値研究においては、路面凹凸を考慮した車両-橋梁系の運動方程式を直接積分法で解析し、数値積分法はNewmark's  $\beta$ 法を用いた。 $\beta = 14$ 、計算時間間隔は $\Delta t = 0.01\text{sec}$ である。減衰についてはReyleigh減衰を仮定し、係数については各対象橋梁における実橋実験より得られた固有振動数および減衰定数から決定している。

##### 4.3 車両モデル

3次元11自由度系車両モデル<sup>2)</sup>を用いて数値計算を行った。車両モデルを図-14に示す。

##### 4.4 車両の走行条件及び着目点

衝撃係数は最大応力度に対する割増し係数であるから、妥当性について検討する場合、設計活荷重相当の自動車荷重列が走行した際の動的応答解析を行う必要がある。そこで本研究においては、着目点を図-3に示すセンサーの位置とし、路面凹凸データは、2004年

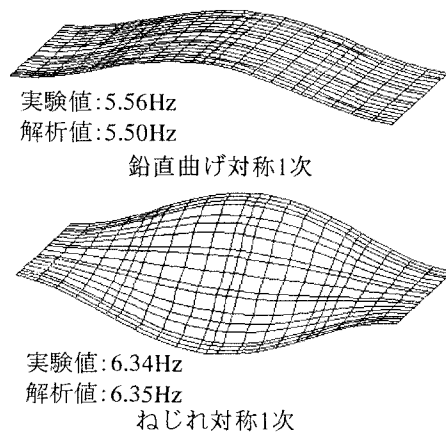


図-13 固有値解析による振動モード

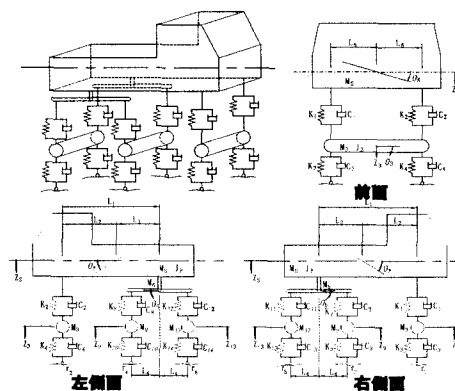


図-14 3次元11自由度計車両モデルの図

7月に行われた対象橋梁の弾性舗装に対する路面凹凸の実態調査結果を用いて動的応答解析を実施した。上流側1台30km/時走行時の解析における振動波形の一例を図-15、16に示す。解析波形からは、最大振幅や減衰性能は比較的近似しているが、実験波形で見られたうなりの現象が見られなかった。図-16は振動変位の解析波形を示す。図-6と比較して、振動振幅が大きくあらわれていることがわかる。少なからず、浮き上がり現象が見られる。着目点の位置、車両重量、走行速度等の条件から考えても、実橋実験から得られた実験値とは若干の差異が生じており、解析モデルの妥当性については検討の余地があるものと考えられる。

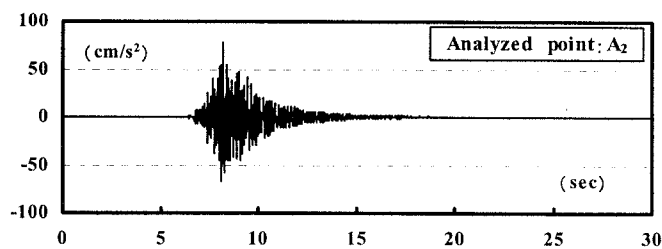


図-15 動的応答解析による加速度波形の一例

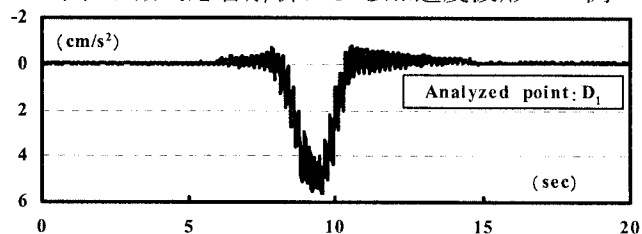


図-16 動的応答解析による変位波形の一例

## 5. まとめ

本研究は、わが国初の構造形式を用いた単純桁木車道橋の動的特性の検討を行った。その得られた結果を列挙すると以下のようである。

- (1) 応答加速度波形の形状から、うなりの現象が顕著にあらわれていることがわかる。これは、本橋に車両が走行した際に、ねじれ1次振動が強く現れるためであると考えられる。
- (2) 静的たわみと変位振動振幅を考慮した結果、変位振動振幅はやや大きい値が得ている。本橋は、横桁が架設されていないために、車両走行における本橋の影響は鉛直方向に直に受けるために、このような結果が得られたと推測できる。
- (3) 車両の走行安定性に関して、一つの目安値である  $245\text{cm/s}^2$  を用いて検討した結果、日常の一般的な大型車両と通常の走行速度による応答加速度は約  $40\sim 100\text{cm/s}^2$  前後の値と推測され、他の近代木橋と比較しても、小さい傾向にある。それは、主桁一本あたりの強度がかなり強いために、車両走行による振動影響そのものを受けにくくなっていると考えられる。
- (4) 動的応答解析を行った結果、解析波形からは実験波形で見られたうなりの現象が見られず、今後も検討の余地があると言える。

以上の点から、動的影響評価を行った結果、本橋の走行安定性は特に問題が無く、また、他の近代木橋と比較して、本橋の構造性能はかなり独特の性能を有していることが明らかとなった。

## 参考文献

- 1) 本田秀行、橋野智洋、田中孝義：振動実験による 20tf および 25tf 大型貨物車の振動特性と 3次元車両モデルの諸元、橋梁コロキウム'97 論文集、pp.147-152、1997.10.
- 2) 橋梁振動研究会編：橋梁振動の計測と解析、技法堂、1993年10月.