# 木製中路式アーチ車道橋の減衰性能と3次元動的応答解析による 縦桁の荷重分配に対する影響

Effect of distribution on stringer by three dimensional dynamic response analysis and damping coefficient of half through arch timber highway bridge

○中田雄太\* 本田秀行\*\* 植野芳彦\*\*\*
NAKADA Yuta, HONDA Hideyuki and UENO Yoshihiko

\*金沢工業大学大学院 環境土木工学専攻(〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇ケ丘 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ケ丘 7-1) \*\*\*(株)長大 新事業開発室(〒103-0014 東京都中央区日本橋蛎殻町 1-20-4)

ABSTRACT The purpose of this study is to inspect the structure performance of half through arch timber highway bridge. The subjected bridge is Yusuhara Bridge constructed in Kochi prefecture in 2007. To investigate design factors, static and dynamic performance, vibration serviceability, rigidity of arch bridge and store of initial data for maintenance, the static and dynamic field tests of the subjected bridge were done with one dump truck in August 2007. This study presents effect of stringer by three dimensional dynamic response analysis and damping coefficient. In this study gives a valuable data to evaluate dynamic performance and dynamic characteristics for modern timber highway bridges.

Keyword: 木製中路式アーチ車道橋, 3 次元動的応答解析, 近代木橋 half through arch timber highway bridge, three dimensional dynamic response analysis, modern timber bridge

#### 1. まえがき

近年、わが国における大断面構造用集成材を使用した木橋の建設技術はめざましい発展を遂げており、スパンの長大化と多形式化に向かっている。しかしながら、わが国の近代木橋の歴史は20年ほどで、欧米に比べて近代木橋の歴史が浅い。そのため、設計法や施工技術の信頼性を大幅に向上させるための研究開発が必要である。

集成材を利用した近代木橋の構造形式は様々であり、これまで、安全性や設計値の妥当性検証の目的から近代木橋の実橋実験が行われてきた。しかし、本研究で対象とした木製中路式アーチ車道橋の実橋実験は、平成11年の神の森大橋<sup>1)</sup>、平成12年のおおさる橋<sup>2)</sup>で行われた2件のみである。これら2橋の床組には縦桁がなく、従来のアーチ橋で主に採用されてきた横桁のみで木製床版を吊っている構造で、橋軸方向の荷重分配はアーチ部材のみになっている。

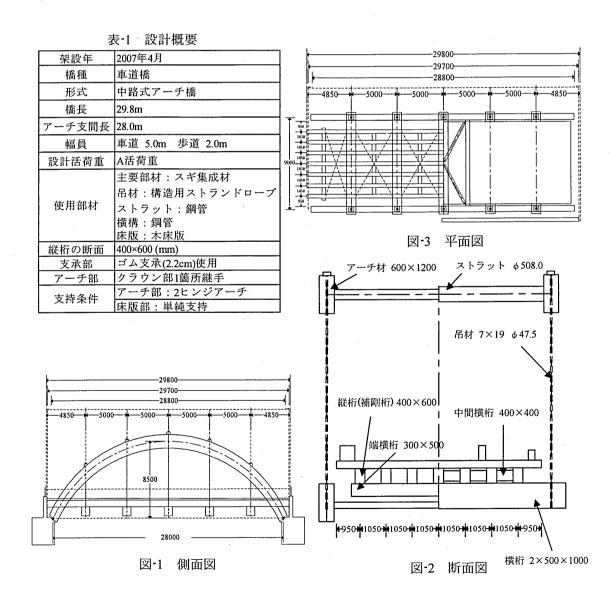
対象とした檮原橋は、上記の2橋と異なり、簡易的な縦桁と横桁を有する床組構造であり、橋軸と橋軸直角方向の荷重分配を考慮した本格的な中路式アーチ車道橋である。本橋に対しては、静的実験および動的実験を実施し、実験で得たデータ分析の結果と3次元構造解析の両面から本橋の静的および動的な構造特性を検討した結果を参考文献3)、4)に示している。しかし、これらの研究では、本橋の縦桁の剛性が荷重分配に寄与する定量的な把握、あるいは走行車両による本

橋の3次元動的応答解析を把握する解析を行っていなかった.

そこで、本研究では参考文献 3)、4)の研究内容を拡張し、新たに縦桁断面を解析的に変化させた構造解析モデルを用いて、3次元静的解析と走行車両による本橋の3次元動的応答解析を実施し、静的性状、動的応答性状から簡易的な縦桁を有する本橋の荷重分配に対する影響を定量的に検討している。さらに、他の木製アーチ橋よりも減衰定数が小さくなった要因および木製アーチ橋の減衰性能についても検討を加える。

#### 2. 対象橋梁

本研究で対象とした檮原橋は、高知県高岡郡檮原町に町産の木材の有効活用、木材の PR、地域の活性化などを目的として架設された集成木材橋梁ではわが国で最大規模を誇る木製中路式アーチ車道橋である。また、縦桁を有する床組構造であり、橋軸方向の荷重分配を考慮した本格的な中路式アーチ車道橋である。なお、集成木材橋梁とは、厚さが約 3cm の挽き板を何枚も接着剤で重ね合わせた集成材を主要部材に用いた木橋のことである。対象橋梁の設計概要を表-1、側面図を図-1、断面図を図-2、平面図を図-3、橋梁全景および床組構造を写真-1 および写真-2 に示す。なお、写真-1 から見ても分かるように中路式アーチ橋を採用したのは主に地形上の理由である。



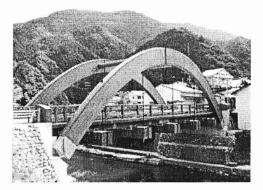


写真-1 対象橋梁全景

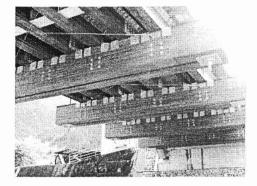


写真-2 床組構造

# 3. 実験概要

本実験で行った静的実験の静的載荷試験,動的試験の砂袋落下衝撃試験および試験車両走行試験での実験時のセンサーの配置図を図-4 に示す. 図中の記号 $\blacktriangle$ ( $S_1$ ~ $S_9$ )はオートレベル計で橋梁の静的たわみを計測する測定点である. 本橋は車道部と歩道部の境目に縁石があり,上流側と下流側が対称となるような静的実験が不可能であるために,下流側のみの静たわみ測定を行った.

図中の $\blacksquare$ ( $A_1 \sim A_6$ )はサーボ型振動速度計であり、応答速度を計測する測定点である. なお、応答加速度は増幅器に内蔵されている微分回路で応答速度を1回微分された値で同時測定可能である.  $\blacksquare$ ( $D_1 \sim D_2$ )はゲージ型リング式変位計で橋梁の振動たわみを計測する測定点である. なお、V は鉛直方向、H は水平方向を示す.

また,実験時に使用した試験車両の寸法を図-6に示す.

# 3.1 静的試験

静的載荷試験では、196kN のダンプ車 1 台を載荷(後述の図-10)させ、鉛直たわみを 0.1mm 以下の精度で測定した.

#### 3.2 動的試験

砂袋落下衝撃試験では、約30kgの砂袋を約50cmの高さから落下させることにより、橋梁に純粋の鉛直曲げやねじれ加振を与え、その時の応答速度を測定した。図-5は砂袋落下衝撃試験の加振点を示し

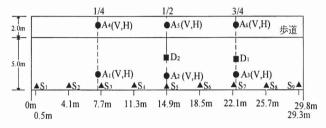


図-4 センサー配置図

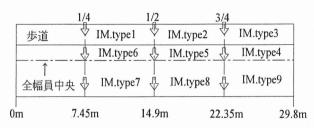


図-5 砂袋落下衝撃試験での加振点

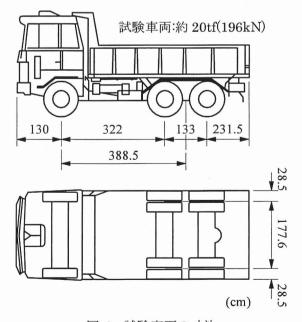
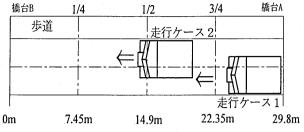


図-6 試験車両の寸法

ている. IM.type4~IM.type6 は鉛直振動の加振点であり、IM.type1~IM.type3 および IM.type7~IM.type9 はねじれ振動の加振点である. 試験車両走行試験では、試験車両を 1 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.なお,本橋の架設場所の 制約から,試験車両の速度は徐行, 10km/h,20km/hである.図-7は試験 車両の走行経路を示している.



# 図・7 試験車両の走行経路

# 4. 減衰特性

#### 4.1 縦桁の構造特性評価

減衰定数の算出には、次式5)を用いる.

$$\delta = \log_e(X_{i+1}/X_i), \ h = \delta/2\pi \qquad (1)$$

ここに、 $\delta$ は対数減衰率、Xは応答振動波形の振幅である。

図-8 に、近代木橋に対する最大支間長と鉛直曲げ基本固有振動数に対する減衰定数の関係を示す。また、図-8 に本橋と同形式である神の森大橋とおおさる橋の実験値を示す。本橋の鉛直振動に対して重要な減衰定数 h は、減衰自由振動波形より得られた鉛直曲げ 1 次振動モードの 0.0062(後述の表-3)と考えられる。構造用集成材を使用した木車道橋は、構造形式や支間長などの 要因が関係し、また実測データが不足しているため定量的な評価は困難であるが、鋼橋やコンクリート橋に用いられる減衰定数と支間長 L(m)との関係は次式 6)によって概算できる。

$$h = 0.12 / \sqrt{L}$$
 · · · (2)

式(2)を用いて算出すると、h=0.023 を得る.この値と本橋の減衰定数 0.0062 を比較すると、一般的な鋼橋やコンクリート橋の値より小さい値を示す.これは、これまでに設計・施工されてきた下路・中路式アーチ橋と同様に、本橋の構造が床組をアーチ部材で吊っている構造上の特性に起因していると思われる.なお、図-8 に表記された概算式よりも上部に示されている記号〇のアーチ橋は上路式であり、下部に示されているのは下路・中路式である.

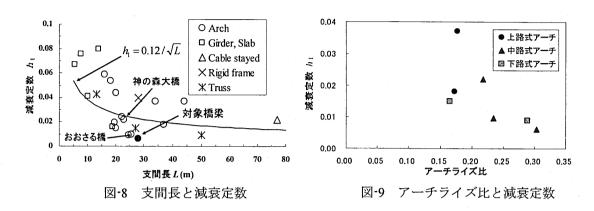
同規模の支間長であるおおさる橋と比較すると、実験当初、縦桁を有する本橋の方が減衰定数が大きくなると予測していたが、おおさる橋と同等の結果であった。すなわち、本橋は RC 床版よりも軽い木床版をアーチ部材で吊っている構造や縦桁の構造が鋼橋に見られるような橋軸方向の荷重分配を期待する鉛直曲げ剛性を考慮した縦桁ではなく、設計図書に記載されているように、床版を支える簡易的な受桁を兼ねた補剛桁であることに起因していると思われる。このことから、近代木橋の中路式アーチ橋の減衰性能を高めるためには、橋軸方向の荷重分配の効果が期待できる鉛直曲げ剛性が大きい縦桁の設計が必要であると思われる。

# 4.2 減衰定数とアーチライズ比の関係

本橋の減衰定数が小さくなったことから、本橋と他の木製アーチ車道橋を比較したところ、本橋のアーチライズ高が他橋よりも高いことがわかった。そこで、減衰定数とアーチライズ比の関係を検討することにした。アーチライズ比=f/Lで算出している。ここに、fはアーチライズ高、Lはアーチ支間長である。

図-9 に木製アーチ車道橋に対するアーチライズ比と減衰定数の関係を示す. 図-9 からアーチライズ比が大きくなると減衰定数が小さくなる傾向があることがわかる. また, 上路式アーチ橋よ

りも中路・下路式アーチ橋の方がアーチライズ比が大きくなっていることからも、本橋の減衰定数が小さくなった要因として、アーチライズ比の大きさが深く関係している。すなわち、アーチライズ比が大きくなるとアーチ部材の軸圧縮力が小さくなることから、減衰定数が小さくなるものと考えられる。

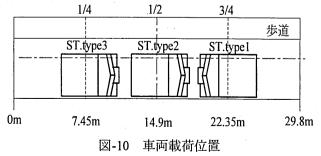


# 5. 静的解析

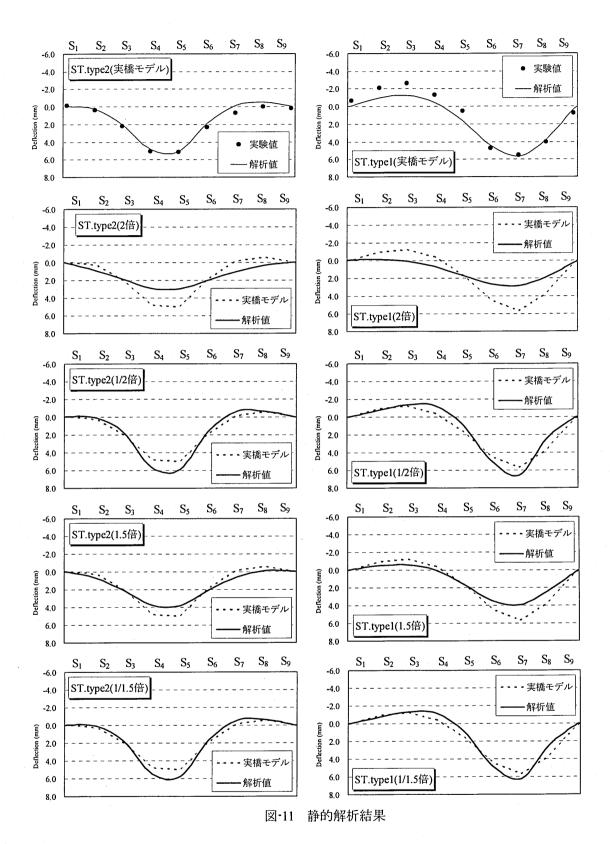
静的載荷試験での試験車両の載荷位置を図-10 に示す. 解析では,床組構造を直交異方性格子構造として,床版を SHELL 要素,アーチ部材を含めたそれ以外の部材を BAR 要素で構成して 3 次元に構造モデル化した実橋モデルを作成した. 各節点の結合は 6 自由度としている. したがって,木材特有の異方性は床版のみが考慮されている.

本論文では、縦桁の荷重分配の効果を明らかにするため、縦桁断面のみを実橋モデルの 1.5 倍, 2 倍, 1/1.5 倍, 1/2 倍に変更したそれぞれの構造解析モデルを作成して静的解析を行う. スパン 1/4 点およびスパン 3/4 点載荷の結果は、基本的に左右対称の結果になることが考えられるため、本論文ではスパン 3/4 点およびスパン 1/2 点載荷の結果を図-11 に示す. 図中の●印はオートレベル計で測定された静的たわみ値であり、実線がそれらの値に対応する解析値である. なお、実橋モデルと縦桁断面を変更した構造解析モデルを比較するため、点線で実橋モデルの静的解析結果を示している.

図-11 のスパン 3/4 点の実橋モデルでの解析結果からは、スパン 3/4 点に鉛直の正のたわみが生じた時、1/4 点では負のたわみが生じる基本的なアーチ形式の構造上の特性が見られ、橋軸方向の曲げ剛性が均等に分布していることから、縦桁の荷重分配の効果が認められる。しかし、縦桁断面を 2 倍にした構造解析モデルでの解析結果では、変位が小さくなり、剛性が高くなっていることが確認できるが、アーチ形式特有のたわみ形状が確認できない。また、縦桁断面を 1/2 倍にした構造解析モデルでの解析結果では、滑らかなたわみ形状でなく、スパン 3/4 点で極端なたわみ形状が確認できることから、橋軸方向の曲げ剛性が均等に分布していないことが認められる。このことから、縦桁による橋軸方向への荷重分配の効果を確認することができたと同時に、縦桁の断面が妥当的なものであることが考えられる。



- 141 -



6. 3 次元動的応答解析

# 6.1 車両ー橋梁系の運動方程式 7)

橋梁の各節点の変位ベクトルをZとすると車両ー橋梁系の運動方程式は、ダランベールの原理

により、次式で表せる.

$$[M]\{\ddot{Z}\}+[C]\{\dot{Z}\}+[K]\{Z\}=\{F\}$$
 (3)

ここに、[M]は橋梁の全体質量マトリックス、[C] は全体減衰マトリックス、[K] は全体剛性マトリックスである。 $\{F\}$ は車両の走行により橋梁に加わる外力ベクトルである。

#### 6.2 動的応答解析法

#### (1) 概説

動的応答解析法はモーダルアナリシス法と直接積分法に分けられる。モーダルアナリシス法は固有値解析から得られた任意の数の固有振動数と振動モードを用いて,比較的容易に解が得られ、考慮する振動モードの数により解が変化することが特徴である。一方,直接積分法は式(3)の微分方程式を厳密に計算することができる。本研究では直接積分法による解析を実施している。

# (2) 数值積分手法 8)

本研究では、式(3)を式(4)と(5)に示すニューマークβ法を用いて解いている.

$$Z_{t+\Delta t} = Z_t + \left[ \left( 1 - \delta_e \right) \ddot{Z}_t + \delta_e \ddot{Z}_{t+\Delta t} \right] \Delta t \qquad (4)$$

$$Z_{t+\Delta t} = Z_t + Z_t \Delta t + \left[ \left( \frac{1}{2} - \beta \right) \ddot{Z}_t + \beta \ddot{Z}_{t+\Delta t} \right] \Delta t \quad \cdot \quad \cdot \quad (5)$$

ここに、 $\beta$ 、 $\delta_e$  は積分精度と安定性が得られるように決めるパラメータである。本研究においては、一定平均加速度法に対応する  $\beta$ =1/4、 $\delta_e$ =1/2 を用いている。なお、本研究では、時間間隔を $\Delta$ t=0.01sec で計算している。

# (3) 減衰の考慮 8)

本研究において、減衰マトリックスは Rayliegh 減衰を仮定している. Rayliegh 減衰は、減衰が質量と剛性の 1 次結合であり、式(6)で表される. また、これらの減衰を用いる場合には、各次の振動モードは直交することが前提条件とされている. 具体的な Rayleigh 減衰の算定法を式(6)~(8) に示す.

$$[C] = \alpha[K] + \eta[M] \qquad (6)$$

$$\alpha = (h_1 f_1 - h_2 f_2) / (\pi (f_1^2 - f_2^2)) \qquad (7)$$

$$\eta = 4\pi f_2 (h_2 - \pi f_2 \alpha) \qquad (8)$$

ここに、式中の $f_i$ は橋梁の固有振動数(Hz)、 $h_i$ は減衰定数である。なお、本研究では固有振動数と減衰定数の実験値(後述の表-3)を基に算出し、 $\alpha$ =1×10<sup>-3</sup>、 $\eta$ =1.3 の値を用いた。

# 6.3 車両の運動方程式 7)

車両の挙動および橋梁に加わる外力ベクトルを算出するために、車両の運動方程式の数値計算を行う必要がある。車両の運動方程式は式(9)で表される。

$$[M_{\nu}]\{\ddot{Z}_{\nu}\} + [C_{\nu}]\{\dot{Z}_{\nu}\} + [K_{\nu}]\{Z_{\nu}\} = \{F_{\nu}\}$$
 • • • (9)

ここに,  $[M_v]$ は車両の質量マトリックス,  $[C_v]$ は減衰マトリックス,  $[K_v]$ は剛性マトリックスであり,  $\{F_v\}$  は橋梁が車両に与える外力ベクトルである.

## 6.4 車両モデル 9)

本研究では,3次元11自由度系車両モデルを 用いて数値計算を行う.車両モデルを図-12に 示す.

# 6.5 橋梁モデル 8)

作成した対象橋梁の 3 次元有限要素モデルの妥当性を確認するために、固有値解析を実施した.本研究においてはサブスペース法により、固有値解析を実施した.サブスペース法は実対称行列 A の固有値と固有ベクトルを同時に求める反復法である.サブスペース法の特徴は n 個の固有値を全て求めるのではなく、一部の m 個(m≪n)を求める場合に適していることである.

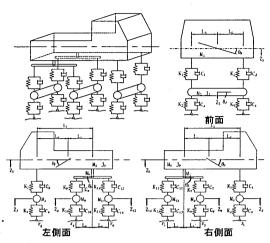


図-12 3次元11自由度系車両モデル

# 6.6 解析方法

最初に床版を SHELL 要素,アーチ部材を含めたそれ以外の部材を BAR 要素で構成した 3 次元構造モデルを作成して固有値解析を行う。次に縦桁断面のみを実橋モデルの 1.5 倍,2 倍,1/1.5 倍,1/2 倍に変更したそれぞれの構造解析モデルを作成して固有値解析を行う。なお,縦桁の断面を変更するに合わせて断面 2 次モーメント,ねじれ定数もそれぞれ変更されている。また,同様の構造解析モデルを用いて 3 次元走行車両による本橋の 3 次元動的応答解析を行う。本構造解析モデルで用いた物性値の一例を表-2 に示す。表-2 に示されているヤング係数は,解析によって実際の剛性と一致するように評価した実態値である。せん断弾性係数は,ヤング係数とせん断弾性係数の間に成り立つ関係式  $G=E/2(1+\mu)$ より求めている。なお, $\mu$  はポアソン比である。したがって,木材特有の異方性は,SHELL 要素で構成した床版のみが考慮されている。部材によりヤング係数の値が異なる理由は,横桁の使用材種の等級が他の部材よりも異なるためである。また,材種および等級が同じ集成材であれば,ヤング係数を統一する必要がある。しかし,本解析で使用した構造解析モデルは,床版のみが木材特有の異方性が考慮されていることから,他の部材は木材の異方性を無視するものとなっている。このことから,実橋に近い構造解析モデルを作成するためにヤング係数の検討を行い、解析を行っている。

表-2 構造解析モデルに用いた物性値の一例

縦桁			アーチ部材				
杉対称異等級集成材(E65-F225)			杉同一等級集成材(E65-F225)				
断面積 (m²)	2.40×10 <sup>-1</sup>		断面積 (m²)	8.10×10 <sup>-1</sup>			
断面2次モーメントI <sub>x</sub> (m <sup>4</sup> )	7.20 < 10 <sup>-3</sup>		断面2次モーメントI <sub>x</sub> (m <sup>4</sup> )	1.23×10 <sup>-1</sup>			
断面2次モーメントI <sub>y</sub> (m <sup>1</sup> )	3.20×10 <sup>-3</sup>		断面2次モーメントI <sub>y</sub> (m¹)	2.43×10 <sup>-2</sup>			
ヤング係数 (N/mm²)	2.45×10 <sup>3</sup>		ヤング係数 (N/mm²)	5.88×10 <sup>3</sup>			
せん断弾性係数 (N/mm²)	0.88×10 <sup>3</sup>		せん断弾性係数 (N/mm²)	2.10×10 <sup>3</sup>			
単位体積重量 (kN/m³)	7.85		単位体積重量 (kN/m³)	7.85			
ポアソン比	0.4	l	ポアソン比	0.4			
ねじれ定数 (m')	7.98 < 10 <sup>-3</sup>		ねじれ定数 (m <sup>1</sup> )	7.30×10 <sup>-2</sup>			

[横桁					
杉対称異等級集成材(E75-F240)					
断面積 (m²)	1.00				
断面2次モーメントI <sub>x</sub> (m <sup>4</sup> )	8.30×10				
断面2次モーメントI <sub>y</sub> (m <sup>4</sup> )	8.30×10				
ヤング係数 (N/mm²)	8.80×10 <sup>3</sup>				
せん断弾性係数 (N/mm²)	3.14×10				
単位体積重量 (kN/m³)	7.85				
ポアソン比	0.4				
ねじれ定数 (m⁴)	1.50×10				

床版				
杉対称異等級集成材(E65-F225)				
厚さ(m)	0.30			
ヤング係数E <sub>x</sub> (N/mm²)	5.88×10 <sup>3</sup>			
ヤング係数E <sub>v</sub> (N/mm²)	0.29×10 <sup>3</sup>			
せん断弾性係数G <sub>x</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	2.10×10 <sup>3</sup>			
せん断弾性係数G <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	0.11×10 <sup>3</sup>			
単位体積重量 (kN/m³)	7.85			
ポアソン比	0.4			

#### 7. 固有值解析結果

解析方法で示したそれぞれの構造解析モデルで固有値解析を行った結果を表-3 に示す. 本橋を 代表する振動モードである鉛直曲げ逆対称 1 次振動モードで解析結果を比較してみると, 縦桁の 断面を大きくした場合は固有振動数の変化が見られるが, 小さくした場合には若干の変化しか見 られないことが確認できる.

図-13 は、近代木橋に対する最大支間長と実験から得られた鉛直曲げ基本固有振動数との関係を示している。本解析結果から得られた固有振動特性を他の道路橋と比較するため、鋼橋やコンクリート系橋の1次固有振動数を概算する次式<sup>10)</sup>を用いて評価した。

$$f_1 = 100/L$$
 (Hz) · · · (10)

式(10)を用いて本橋の鉛直曲げ基本固有振動数を概算すると、3.57Hz を得る.この値と本解析で得られた結果を比較してみると、すべての解析値が概算値よりも大きくなっていることが

わかる. すなわち, 固有振動数は橋梁の全体的な剛性と密接な関係があることから, 本橋は一般的な道路橋よりも鉛直曲げ剛性が大きくなっていると判断される.

また,固有値解析結果からは縦桁の 荷重分配に対する効果の判断は難し いが,縦桁断面を 1.5 倍, 2 倍に変更 した構造解析モデルでの解析値は,他 の解析値よりも大きいことから,縦桁 の大きさが鉛直曲げ剛性を高めるこ とが考えられる.

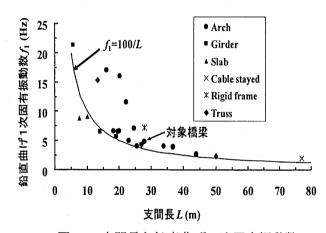


図-13 支間長と鉛直曲げ1次固有振動数

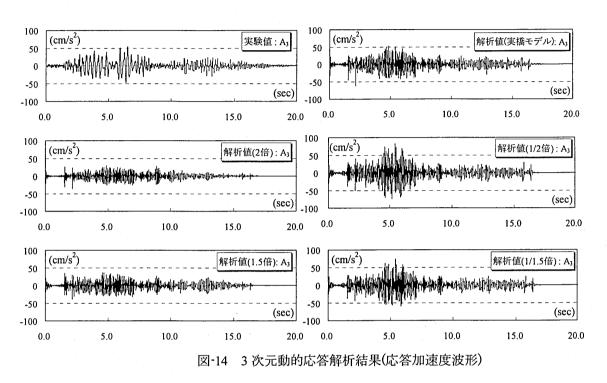
振動		固有振動数 f <sub>i</sub> (Hz) 実験値 解析値						減衰定数 h;		
次数	次	常時	砂袋	走行	実橋モデル	1.5倍	2倍	1/1.5倍	1/2倍	減衰自由振動
1	アーチ水平対称1次	1.25	-	-	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	0.0133
2	鉛直曲げ逆対称1次	4.83	4.79	4.88	4.72	6.24	8.41	4.30	4.23	0.0062
3	鉛直曲げ対称1次	5.28	5.30	5.30	5.61	-	-	5.72	5.76	0.0016
4	ねじれ逆対称1次	7.98	7.71	7.71	8.03	9.17	10.50	5.63	5.59	0.0038

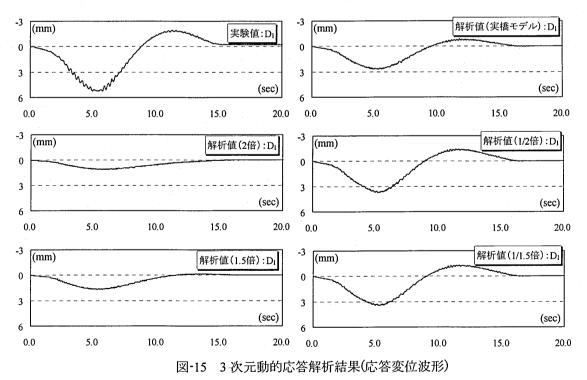
表-3 固有值解析結果

#### 8. 3 次元動的応答解析結果

固有値解析と同様の構造解析モデルで3次元走行車両モデルによる本橋の3次元動的応答解析を行う. 結果の一例として、196kNの大型車両が下流側を10kmで走行した場合の $A_3$ 点の実験および解析での加速度波形を図-14に示す.  $D_1$ 点での応答変位波形を図-15に示す. 図-14の実験波形と実橋モデルでの解析波形を比較してみると、波形の形状および最大値がよく一致していることが確認できる。このことから、構造解析モデルの妥当性が確認された。また、縦桁の大きさの違いによる解析波形の変化は、固有値解析での固有振動数の変化よりも3次元動的応答解析の方が明確に表れていることがわかる。図-15の実験での応答変位波形と実橋モデルでの解析波形を

比較してみると、2 倍程度の差異が確認できる. 応答変位波形のみで判断すると、構造解析モデルの鉛直曲げ剛性が高い可能性が考えられるが、同時に解析している応答加速度波形からはこのような問題は確認できないことから、構造解析モデルに原因があることは考えにくい. したがって、本橋の実測で得た路面凹凸の取扱いや解析条件を検討するなど、応答変位に関しては今後の研究課題としたい.





#### 9. まとめ

本研究で対象とした檮原橋の床組は、簡易的な縦桁と横桁を設置して荷重分配の効果を高める設計がなされている。そして、本研究では実橋実験と静的解析、固有値解析および3次元動的応答解析の結果より、縦桁には橋軸方向の荷重分配を高める効果があることが考えられる。したがって、わが国で最大規模である木製中路式アーチ車道橋に対して、簡易的な縦桁を有することによる本橋の静的特性、動的特性および動的挙動を検討して得られた主な結果を列挙すると以下のようである。

- ① 減衰性能については、アーチライズ比が大きくなると減衰定数が小さくなる傾向がある. また、上路式アーチ橋よりも中路・下路式アーチ橋の方がアーチライズ比が大きくなっていることからも、本橋の減衰定数が小さくなった要因として、アーチライズ比の大きさが深く関係している. すなわち、アーチライズ比が大きくなるとアーチ部材の軸圧縮力が小さくなることから、減衰定数が小さくなるものと考えられる. また、他の要因としては橋軸方向の荷重分配を期待する鉛直曲げ剛性を考慮した縦桁ではなく、設計図書に記載されているように、床版を支える簡易的な受桁を兼ねた補剛桁があげられる. このことから、近代木橋の中路式アーチ橋の減衰性能を高めるためには、橋軸方向の荷重分配の効果が期待できる鉛直曲げ剛性が大きい縦桁の設計が必要であると思われる.
- ② 静的解析については、実橋モデルでの解析結果は、スパン 3/4 点に鉛直の正のたわみが生じた時、1/4 点では負のたわみが生じる基本的なアーチ形式の構造上の特性が見られ、橋軸方向の曲げ剛性が均等に分布していることから、縦桁の荷重分配の効果が認められる.しかし、縦桁断面を 2 倍にした構造解析モデルでの解析結果では、アーチ形式特有のたわみ形状が確認できない.また、縦桁断面を 1/2 倍にした構造解析モデルでの解析結果では、滑らかなたわみ形状でなく、スパン 3/4 点で極端なたわみ形状が確認できることから、橋軸方向の曲げ剛性が均等に分布していないことが認められる.このことから、縦桁による橋軸方向への荷重分配の効果を確認することができたと同時に、縦桁の断面が妥当的なものであることが考えられる.
- ③ 固有値解析については、解析結果から得られた固有振動特性を本橋を代表する基本固有振動数の観点から評価した結果、縦桁の荷重分配に対する効果の判断は難しいが、縦桁の断面を大きくした場合は固有振動数の変化が見られることに対して、小さくした場合には若干の変化しか見られないことが確認できることから、縦桁の大きさが鉛直曲げ剛性を高める効果があると考えられる.
- ④ 3 次元動的応答解析については、実験波形と実橋モデルでの解析波形を比較してみると、よく一致していることが確認できる。このことから、構造解析モデルの妥当性が確認された。 縦桁の大きさの違いによる解析波形の変化は、明確に表れている。これらの結果から、縦桁は動的な影響による橋軸方向の荷重分配の効果が期待できるものであることが判断できる。

以上,静的解析,固有値解析および3次元動的応答解析から,縦桁の荷重分配の効果を検証した結果,静的解析の結果から縦桁の荷重分配の効果が顕著に確認できた.このことから,縦桁による荷重分配の効果は,静的な影響に効果的であることが考えられる.また,固有値解析および3次元動的応答解析の結果からは,静的解析のような顕著な荷重分配の効果を明確に確認できなかったが,縦桁の断面の大きさによる固有振動数の変化や応答加速度波形による最大値の変化を確認することができた.したがって,縦桁の断面の大きさが鉛直曲げ剛性を高める効果があることが考えられる.

また、本研究で得られた結果や知見が今後の近代木橋の縦桁を含めた主要部材断面の寸法や部材配置、設計衝撃係数および維持管理の基礎資料となれば幸いである。今後も縦桁の配置法を含め、走行車両による3次元動的応答解析での検討を進めたい所存である。

# 参考文献

- 1)小川文彦・本田秀行・高木和芳:実験と解析に基づく下路式アーチ車道橋の構造特性評価,土 木学会・木橋技術に関する講習会テキスト・シンポジウム論文報告集,第Ⅱ編 pp. 55-60, 2001 年7月.
- 2)草薙貴信・壁村秀水・小川文彦・本田秀行:実験と解析に基づく中路式アーチ木車道橋(おおさる橋)の構造特性,土木学会・木橋技術に関する講習会テキスト・シンポジウム論文報告集,第 II編 pp. 67-72, 2001 年 7 月.
- 3)中田雄太・本田秀行・植野芳彦:木製中路式アーチ車道橋の構造特性,土木学会・第7回木橋 技術に関するシンポジウム論文報告集,pp.13-20,2008年8月.
- 4)中田雄太・本田秀行・植野芳彦:縦桁を有する木製中路式アーチ車道橋の構造特性,土木学会・構造工学論文集 Vol.55A, pp.915-924,2009 年 3 月.
- 5)橋梁振動研究会編:橋梁振動の計測と解析,技報堂出版,pp. 34-35, 1993 年 10 月.
- 6)加藤雅史:橋梁の振動調査法とその適用に関する研究,名古屋大学学位論文,pp. 73-74,1984年7月.
- 7)深田宰史:橋梁の動的な性能照査のための立体解析モデルの確立に関する研究,金沢大学博士 (工学)学位論文、1991年1月.
- 8)K.J.Bathe, E.L.Wilson, 菊池文雄訳:有限要素法の数値計算,科学技術出版社,1979年.
- 9)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, 橋梁振動コロキウム'97 論文集, pp. 147-152, 1997 年 10 月.
- 10) 橋梁振動研究会編:橋梁振動の計測と解析,技報堂出版,pp. 103-114, 1993 年 10 月.