

下路式タイドアーチ木車道橋の静的および動的特性評価

Static and dynamic characteristics of tide arch timber highway bridge

○奥野寛人* 寺田寿** 岩崎正二*** 出戸秀明***

OKUNO Hiroto, TERADA Hisashi, IWASAKI Shoji and DETO Hideaki

- * 工修 (株)日本製鋼所室蘭研究所 (〒051-8505 室蘭市茶津町4番地)
 ** 工学士 (株)日本製鋼所室蘭製作所 (〒051-8505 室蘭市茶津町4番地)
 *** 工博 岩手大学工学部建設環境工学科 (〒020-0066 岩手県盛岡市上田4丁目3-5)
 *** 工博 岩手大学工学部建設環境工学科 (〒020-0066 岩手県盛岡市上田4丁目3-5)

ABSTRACT In order to evaluate static and dynamic characteristics for tide arch timber highway bridge (Koide Bridge), to which glulam is applied, static and dynamic field tests and FEM analysis was carried out. The obtained results are summarized as follows: 1) The static rigidity of tested bridge shows tendency same as result predicted with analytical model, 2) The natural frequency and vibration mode obtained by dynamic field tests almost match to analysis results, 3) The damping coefficient of the bridge is almost equivalent to that of same type bridges.

Keywords: 近代木橋、実橋実験、集成材、構造解析

Modern timber bridge, Field test, Glued laminated timber, Structural analysis

1. はじめに

近年、大断面構造用集成材を用いた近代木橋の建設技術はめざましい進展を遂げており、また、自然環境や景観にも優れていることから、今後もその建設数は増加するものと考えられる。しかしながら、近代木橋に関する研究や実験例は極めて少なく、その構造特性に関するデータが不足しているのが実情である。そこで、本研究では下路式タイドアーチ木車道橋である小出橋を対象に、橋梁完成系における構造特性の検証および維持管理のための初期値データの収集を目的として、静的載荷実験および動的載荷実験(振動実験)を実施した。また、両実験から得られたデータを分析すると共に、3次元FEM解析モデルを用いた構造解析および固有振動数解析を実施し、実験と解析の両面から対象橋梁の剛性、静的強度および振動特性などの検証を行った。

2. 対象橋梁の概要

本研究における対象橋梁は、岩手県遠野市附馬牛町のふるさと林道小出中滝線に架設された小出橋である。本橋の外観写真と設計概要を写真2-1および表2-1に、一般図を図2-1にそれぞれ

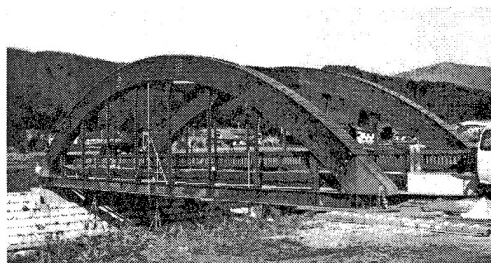


図2-1 小出橋の外観

表2-1 設計概要

橋長		29,400 m
支間長		28,400 m
幅員構成		路肩 車道 路肩 0.500 + 4.000 + 0.500 = 5.000 m
上部工	形式	下路式両弦アーチ橋
	床版	木床版
	材集成材	カラマツ E105-F300
	料鋼材	SMA490AW, SMA400AW
支承形式		ゴム支承(タイプB)

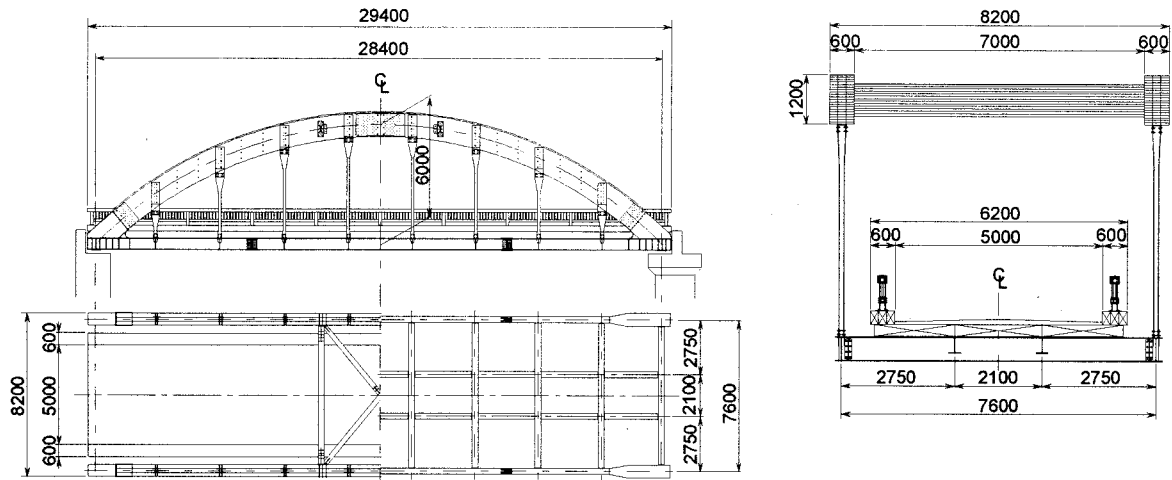


図2-1 一般図

示す。本橋は、橋長29.4m、幅員5.0mの下路式タイドアーチ木車道橋であり、その主要部材に集成材と鋼材を用いたハイブリッド橋梁である。また、圧縮力の作用するアーチ部および死荷重の軽減効果が大きい床版部にはカラマツ集成材を使用し、その他の下弦材や吊材等に鋼材を併用することで、橋梁全体の構造強度および安全性を確保している。アーチリブの断面は、幅20cm×高さ120cmの構造用集成材を3体側面接着し、幅60cm×高さ120cmの大断面を形成している。アーチリブは橋軸方向に2分割されており、アーチクラウンにおいて鋼板とドリフトピンを用いて連結されている。また、アーチ上面には、アーチリブを日射や雨水から保護するために鋼板が葺かれている。一方、鋼材には、メンテナンス性を考慮し耐候性鋼材を採用し、床版にはSMA490Wをその他の補剛桁、吊材および縦桁にはSMA490Wを用いている。また各支承部には、5層の積層ゴム支承を用いている。なお、含水率の変化等に追従が可能なように特殊弾性舗装が施されている。

3. 実験概要

3.1 静的載荷実験

本実験では、約196 kNトラック2台を用いて、表3-1に示す実験CASEにて車両台数および載荷位置を幅員方向や橋軸方向に変化させて、ひずみおよびたわみを測定した。図3-1に変位計およびひずみゲージの計測位置を示す。補剛桁(G1, G2)でのたわみ測定は、桁全体のたわみ挙動を把握するために、L/4点、L/2点、3L/4点および両支点に変位計を

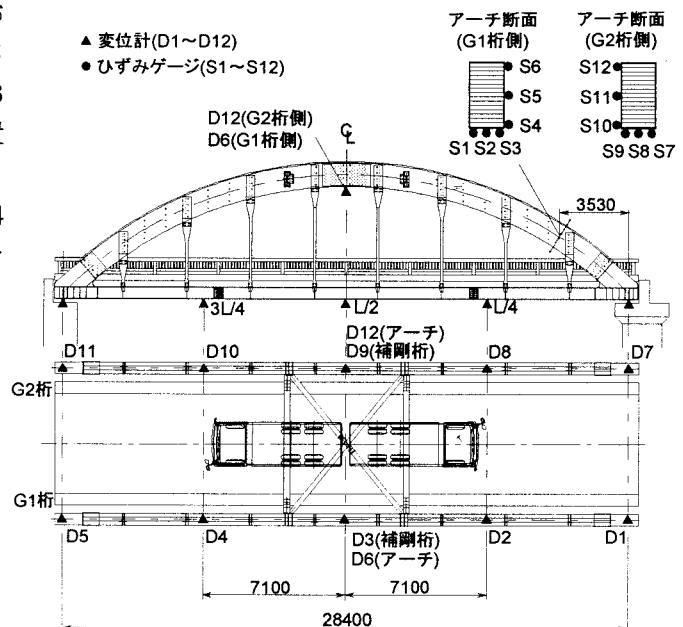


図3-1 静的載荷実験の計測位置

表3-1 実験CASE

実験CASE	載荷条件	
	トラック	橋軸方向 幅員方向
CASE1	1台	1/4L 中央
CASE2		G2桁側
CASE3	2台	2/4L 中央
CASE4		G2桁側
CASE8	3/4L	中央
CASE9		G2桁側
CASE5	2台	3/4L 中央
CASE6		2/4L
CASE7		1/4L

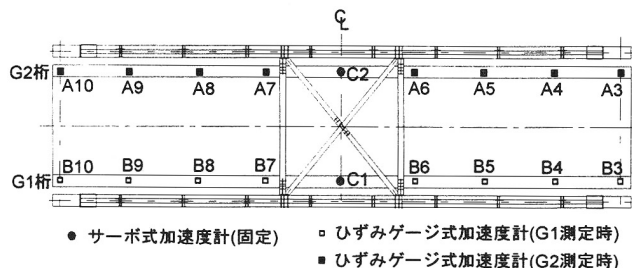


図3-2 加速度計の配置位置 (動的載荷実験)



写真3-1 砂袋落下試験状況

設置して行った。また、アーチリブのたわみ計測点はアーチ中央のみとした。ひずみの計測は、各補剛桁の支承から3.53mの点の直上に位置するアーチ断面において、下面および側面にそれぞれ3枚の木材用ひずみゲージを設置して行った。

3.2 動的載荷実験

本橋の動的特性を把握するために、砂袋落下試験とトラック走行試験を実施した。図3-2に加速度計の配置位置を示す。動的載荷実験における加速度の測定には、10個の加速度計(サーボ式加速度計:2個、ひずみゲージ式加速度計:8個)を使用した。サーボ型加速度計は支間中央のC1およびC2の地覆上に設置し、ひずみゲージ式加速度計は、G1桁測定時にはG1桁側の地覆上のA3~A10に、G2桁計測時にはこれらの加速度計をG2桁側のB3~B10に配置換えして測定を行った。なお、計測およびデータの記録に関しては、加速度計からの出力波形を100 Hzのサンプリング周波数でメモリーレコーダにて一括収録した。

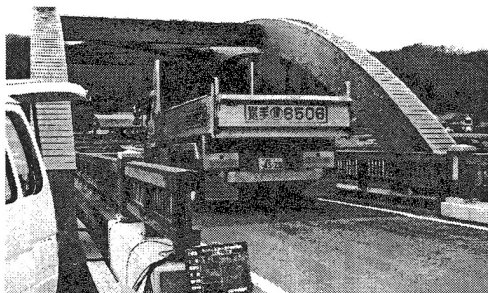


写真3-2 トラック走行試験状況

砂袋落下試験では、0.3kNの砂袋を約1.4mの高さから落下させることにより、本橋に鉛直およびねじり加振を与えた。砂袋の落下位置は、支間中央部のG1桁側とG2桁側および幅員中央の3箇所とした。トラック走行試験では、約196kNトラック1台を10および20km/hで幅員中央を走行させ、その加速度波形を計測した。写真3-1および写真3-2に動的載荷実験の実験状況を示す。

4. FEM解析

実験結果との比較検討を行うために、FEMによる構造解析および固有振動数解析を実施した。本解析には汎用有限要素法プログラムABAQUS Ver6.4-1を用いた。図4-1に解析モデルを示す。モデル化に関しては、木部材および支承に8節点固体要素、鋼部材に4節点シェル要素、そして高欄に2節

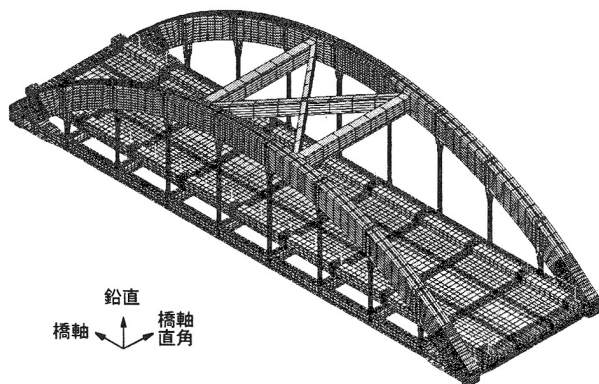


図4-1 FEM解析モデル

表4-1 材料定数

	弾性係数 E (GPa)	ポアソン比 ν	密度 ρ (kg/m^3)
集成材	10.3	0.4	620
鋼材	206	0.3	7850
ゴム(支承)	2.94×10^{-3}	0.49	1230
アスファルト舗装	—	—	2300

点はり要素を用いた。表4-1に解析に用いた材料定数を示す。すべての部材は等方性材料と仮定し、規格値の材料定数を用いた。なお、固有振動数解析において、アスファルト舗装部は質量のみ考慮した。

5. 静的特性

図5-1に静的載荷実験結果の一例として、CASE1およびCASE2の実験から得られたたわみ分布をFEM解析結果と比較して示している。載荷位置に関わらず実測値は、解析値と良く一致していることがわかる。他のCASEにおいても実測値と解析値はほぼ一致した結果が得られたことから、本橋は、解析モデルとほぼ同等の静的剛性を有しているものと判断される。図5-2にCASE1の実験結果から得られたひずみ分布を解析結果と比較して示している。実験値に若干のバラツキが見られるものの、解析結果とほぼ一致していることがわかる。なお、各CASEにおいて、ひずみはアーチ下面でほぼ一定値となり、アーチ内側で曲げ成分が生じる傾向が得られた。

6. 固有振動特性

図6-1に動的載荷実験より得られた鉛直方向加速度波形の振幅スペクトルの一例を示している。これらの振幅スペクトルは、橋梁が完全な自由振動状態となる時点からの加速度データ2048個をサンプリングし、FFT(高速フーリエ変換)処理して算出した。砂袋落下試験(幅員中央)において6.84Hzと12.11Hz、トラック走行試験(10km/h)において5.86Hzと6.84Hzの卓越振動数が確認された。なお、砂袋落下試験では、いずれの落下

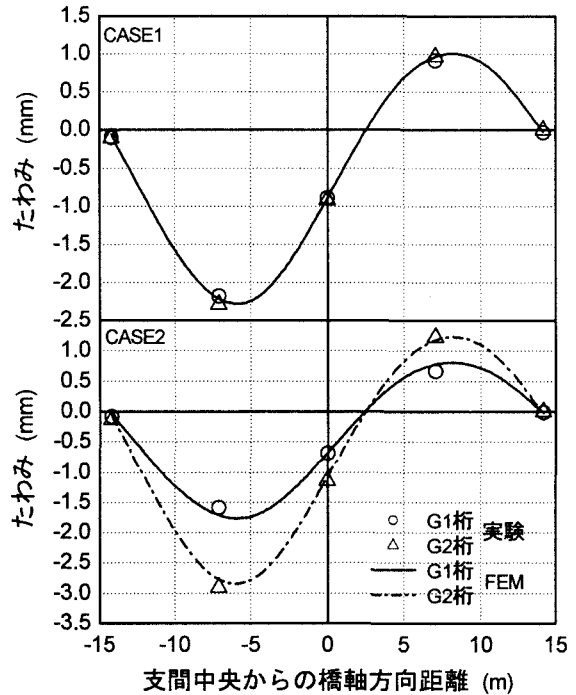


図5-1 たわみ分布 (CASE1および2)

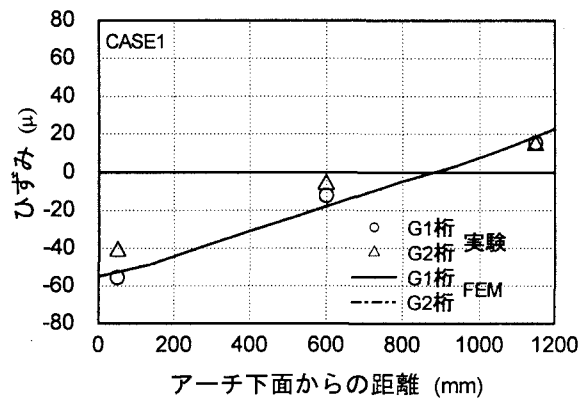


図5-2 ひずみ分布 (CASE1)

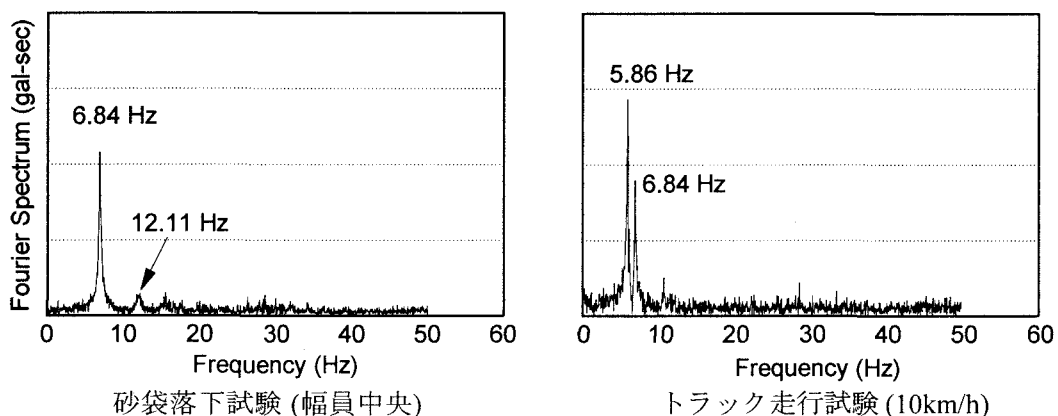


図6-1 振幅スペクトル

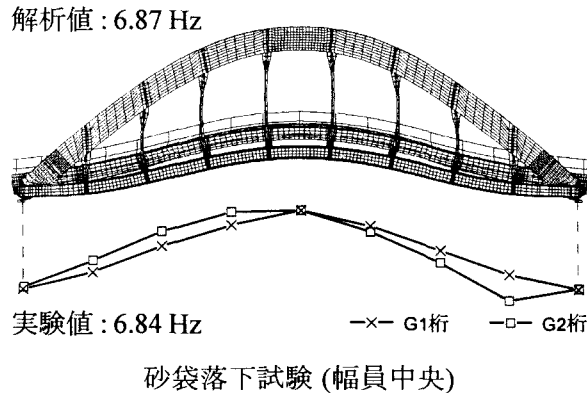
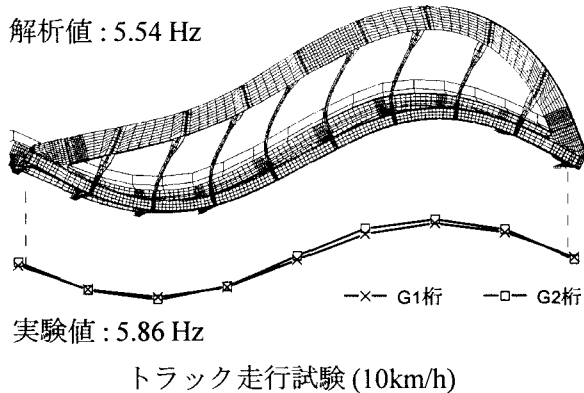


図6-2 モード分布の比較

位置においても同等の卓越振動数が確認され、また、トラック走行試験においても走行速度に関わらず同等の卓越振動数が確認された。

次に振幅スペクトル図を基に、各卓越振動数における各測定での振幅を用いて振動モードの特定を行った。図6-2に実験より得られた鉛直曲げ1次および2次の振動モードを固有振動数解析結果と比較して示している。また、表6-1に実験より得られた固有振動数を解析結果と比較して示している。これらより動的載荷実験より得られた固有振動数および振動モードは、解析結果とほぼ一致することが明らかとなった。

図6-3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性を示している。一般的に、橋梁の鉛直曲げ基本固有振動数は、支間長の増加に伴い減少する傾向があり、その関係は基本固有振動数を f_1 (Hz)、最大支間長を L (m)とすると概算的に次式で表わされる。

$$f_1 = 100/L \text{ ----- (6.1)}$$

図6-3には、式(6.1)、本橋と同形式構造の百目石橋²⁾および他型式橋梁の関係も示している。本橋の鉛直曲げ基本固有振動数(6.84Hz)は、式(6.1)より算定される振動数に比較して大きい値を示している。したがって、本橋は同支間長、同形式の鋼橋と同等以上の鉛直曲げ剛性を有しているものと判断される。

7. 減衰定数

動的載荷実験より得られた加速度波形から、各固有振動成分波形を励起させるためにバン

表6-1 固有振動数および減衰定数

振動モード	固有振動数 (Hz)			減衰定数 h	
	実験値		解析値	実験値	
	砂袋 (幅員中央)	トラック (10km/h)		砂袋 (幅員中央)	トラック (10km/h)
アーチ水平1次			2.55		
鉛直曲げ1次		5.86	5.54		
アーチ水平2次 +ねじり1次			6.71		
鉛直曲げ2次	6.84	6.84	6.87	0.0121	0.0092
鉛直曲げ3次			8.26		
ねじり2次			10.57		
アーチ水平3次 +鉛直曲げ4次			11.06		
ねじり3次			11.34		
アーチ水平4次			11.95		
アーチ水平5次 +鉛直曲げ5次	12.11		12.52		

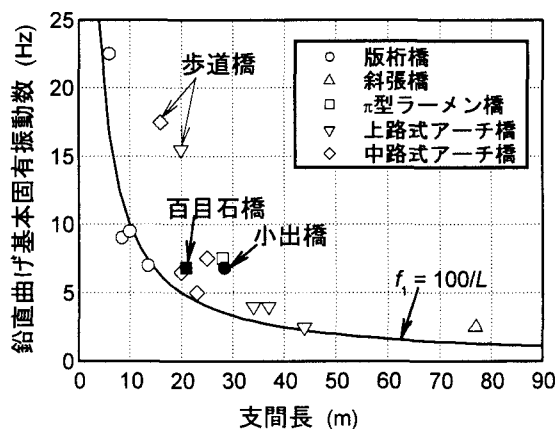


図6-3 支間長と鉛直曲げ基本固有振動数の関係

ドパスフィルタ処理を施し、減衰自由振動波形の生成を行った。図7-1に減衰自由振動波形の一例を示す。得られた減衰波形の包絡線を次式のように仮定し、半周期毎の極大値、極小値を用いた最小二乗法により減衰定数を決定した。

$$y = A \exp(-h\omega t) \text{ ----- (7.1)}$$

ここで、 A は振幅、 h は減衰定数、 ω は角速度、 t は時間である。表6-1に得られた減衰定数を示している。実験からは鉛直曲げ2次振動モード(6.84Hz)に対してのみ同定が可能であった。本橋を代表する減衰定数は、0.0121であると考えられる。

図7-2に、近代木橋の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。一般的な鋼橋やコンクリート橋に用いられる減衰定数 h と支間長 L (m)の概算式³⁾は次式で表わされる。

$$h = 0.12/\sqrt{L} \text{ ----- (7.2)}$$

本橋の支間長の場合、上式より算出した値は0.0225である。この値と実験より得られた減衰定数を比較すると実験値が小さく、本橋は低い減衰性能を有していることがわかる。一方、本橋の減衰定数は、百目石橋とほぼ同等の値となっている。

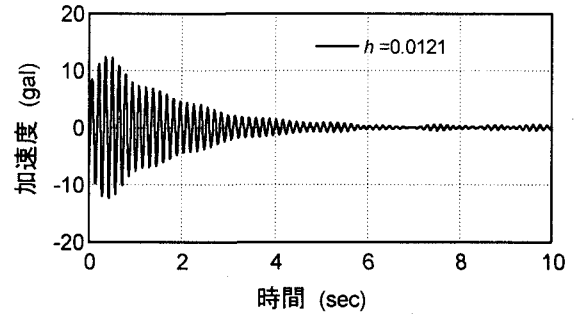


図7-1 減衰自由振動波形の一例

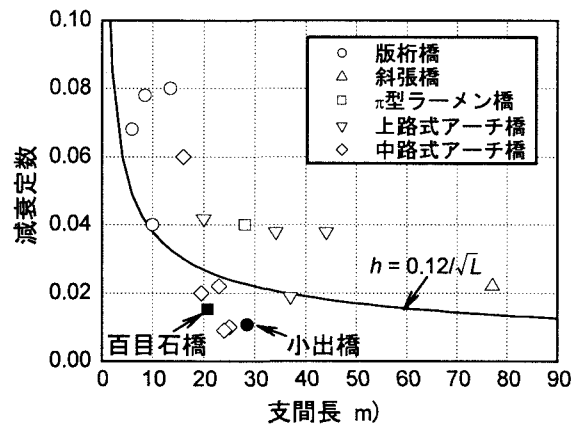


図7-2 支間長と減衰定数の関係

8. まとめ

本研究では、下路式タイドアーチ木車道橋である小出橋を対象に、静的載荷実験および動的載荷実験(振動実験)を行った。以下に得られた結果をまとめる。

(1) 静的載荷実験

実験より得られた変位は、いずれの載荷パターンにおいてもFEMによる解析結果と非常に良く一致した。また、ひずみ分布に関しても、実験結果に若干のバラツキがあるものの解析結果とほぼ一致することが明らかとなった。したがって、本橋は、解析モデルとほぼ同等の静的剛性を有しているものと判断される。

(2) 動的載荷実験

実験より得られた固有振動数および振動モードは、FEM解析結果とほぼ一致することが明らかとなった。また、一般道路橋および同形式の橋梁との基本固有振動数の比較の結果、本橋はこれらの橋梁とほぼ同等の剛性を有しているものと判断される。載荷実験より得られた本橋の減衰定数は、一般道路橋と比較して小さく、また、同形式の構造の橋梁とほぼ同等の値であった。

【参考文献】

- 1) 北城章, 小川史彦, 草薙貴信, 本田秀行:集成材を用いた木橋の現状と実験に基づく振動特性, 構造工学論文集, Vol.48A, pp369-376, 2002.3.
- 2) 佐成屋, 本田, 佐々木:自立式タイドアーチ木車道橋の構造特性評価, 第2回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, pp65-72, 2003.7.
- 3) 橋梁振動研究会編:橋梁振動の計測と解析, 技報堂, 1993.10.