

実験と解析による自立式タイドアーチ木車道橋(百目石橋)の振動特性

金沢工業大学大学院 学生員 ○佐成屋孝之
秋田県立大学 正会員 佐々木貴信

金沢工業大学大学院 学生員 草薙貴信
金沢工業大学 フェロー 本田秀行

1. まえがき 百目石橋は、秋田県協和町の民有林道沢内水沢線に架設された下路式タイドアーチの木車道橋である。百目石橋の架設地は周辺自然への配慮、地元材の需要拡大、木質系構造物の展示効果、緑豊かなレクリエーションの中で象徴的な施設作り等を目的として、計画・架設されたものである。本橋は林道に架設する下路式タイドアーチ木車道橋として、わが国最大の自立式アーチを用いた木製タイドアーチ橋である。その一般図と設計概要を図-1と表-1に示す。平成13年8月に本橋に対して静的実験および動実験を行い、データ分析すると共に、3次元静的解析、固有値解析との比較から、剛性評価、振動特性、設計係数の検証を行った。本概要では特に振動特性を中心に報告する。

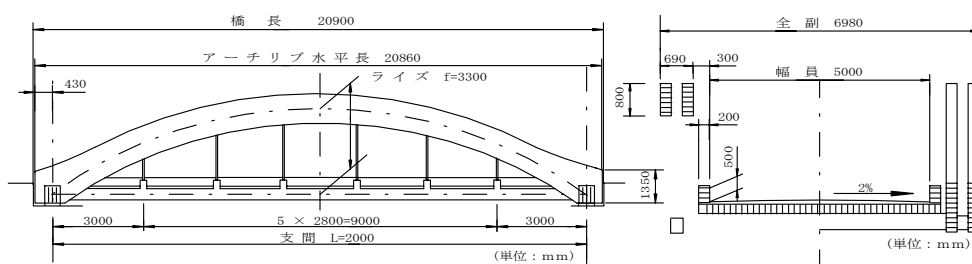


図-1 百目石橋一般図(平成11年完成)

表-1 設計概要

橋種	車道橋
形式	下路式タイドアーチ
橋長	20.9m
支間長	20.0m
アーチ支間長	20.0m
幅員	5.0m(車道幅員)
設計活荷重	25(A)
衝撃係数	0.25
雪荷重	100kg/m ²
舗装	アスファルト舗装
使用部材	主にスギ集成材

2. 実験概要 本橋は5種類の実橋実験および常時微動測定試験を行った。砂袋落下衝撃試験では、30kgの砂袋を約1mの高さから落下させることにより、本橋に鉛直、ねじれ加振を与えた。試験車両は約20tfのダンプ車を2台用い、静的載荷試験では試験車1台載荷(偏心、幅員中央載荷)と2台後部対面載荷を行った。図-2に各試験での測定点を示す。▲は静的載荷試験の測定点、●はサーボ型速度計による速度と加速度の測定点、■は振動変位計の測定点である。試験車両走行試験では、本橋の応答加速度、応答速度および応答たわみを測定した。アーチ部材振動挙動測定試験では、アーチ部材と床版の振動特性を把握するために、アーチ部材の鉛直、水平、橋軸方向と、床版の鉛直の振動加速度を測定した。また、走行速度は試験車両走行試験において1台単独走行の場合30km/h、20km/h、10km/h、徐行、2台連行走行の場合は10km/h、徐行、またアーチ部振動挙動測定試験に対して1台単独走行、2台連行走行共に10km/h、徐行である。

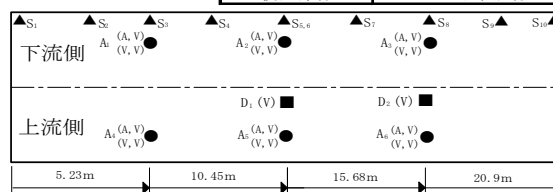


図-2 センサー配置図

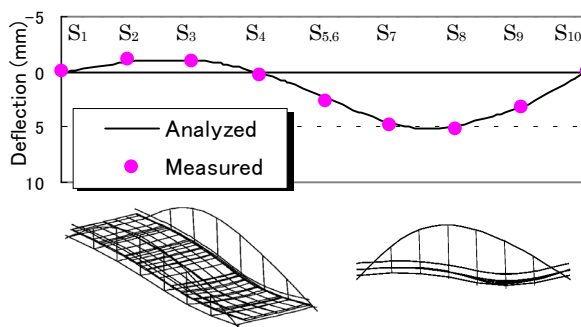


図-3 静的載荷試験の一例

3. 実験結果 (1)静的特性 図-3は静的載荷試験の一例として、スパン3/4点(下流側)での載荷時に対する実験値と解析値を示す。その結果、上、下流側載荷時、幅員中央載荷時には実験値と解析値がほぼ一致していた。しかし、それぞれの支間中央載荷においては近い値は得たが差異を生じた。これは、実際の試験車両の載荷位置と静的解析での車両載荷位置のずれが起因していると考えられる。また、アーチ継手部、支承部、アーチ端部のモデル化が困難であり、その影響も考えられる。

(2)固有振動特性 表-2に本橋の固有振動数の実験値と解析値を示す。図-4にMSC/NASTRANを用いて3次元構解析モデルを作成し、解析した結果による振動モード図を示す。これらのうち、アーチ曲げ1次、2次、3次、4次、近代木橋、タイドアーチ、実橋実験、振動特性、構造解析

表-2 固有振動数と減衰定数

振動 次数	振動モード	固有振動数 (Hz)				減衰定数 h
		実験値			解析値	
		常時微動	砂袋落下	車両走行		
1	アーチ曲げ1次	—	—	—	2.925	—
2	アーチ曲げ2次	—	—	—	2.927	—
3	鉛直曲げ逆対称1次	—	—	—	6.167	—
4	鉛直曲げ対称1次	6.83	6.64	6.83	6.656	0.0153
5	アーチ曲げ3次	—	—	—	8.233	—
6	アーチ曲げ4次	—	—	—	8.238	—
7	ねじれ逆対称1次	9.62	9.57	9.83	9.566	0.0302
8	ねじれ対称1次	10.54	10.84	—	10.601	0.0169

鉛直曲げ逆対称1次、鉛直曲げ対称1次、ねじれ逆対称1次、ねじれ対称1次の固有振動数が実橋で特に卓越している。アーチ単独の水平振動による振動モードが多く確認できるのはアーチ部材を結ぶ横梁が無く、それぞれが自立している構造上の特性に起因していると考えられる。また、アーチ継手部、支承部、アーチ端部等のモデル化に関して検討が必要である。

(3)減衰特性 表-2 に減衰定数を示す。本橋を代表とする減衰定数 h は減衰自由振動波形より得られた鉛直曲げ1次モードの0.0153と考えられる。一般的な鋼橋やコンクリート橋に用いられる減衰定数と支間長との関係の概算式を用いて計算すると減衰定数 h は0.0268である。この値と本橋の減衰定数を比較すると明らかに本橋の減衰定数の方が小さい。これは本橋の構造が縦桁が無く横桁のみで床版を支えており、その床版を吊材を用いてアーチで吊っている構造上の特性に起因しているものと考えられる。

(4)動的増幅率(衝撃係数) 図-5 に車両走行試験における動的応答変位の一例を示す。動的増幅率は、この波形の動的変位から静的変位を引き、その値を静的変位から除して算出した。試験車走行試験は前節で述べたケースの内、日常起こりうる1台単独走行(20km/h)のケースである。日常起こりうる動的増幅率の最大値である0.165は、衝撃係数を一つの応答係数と考えた場合、設計衝撃係数である0.25より小さい値を示す。このことから、本橋は安全側に評価された値が設計に用いられていることが判断される。

(5)振動使用性 図-6 に日常的起こりうる可能性がある1台単独走行(20km/h)で車両が走行したときの各応答速度(最大値の平均値)と振動の恕限度を示す。また図-7 には上で述べたケースでの応答加速度の一例を示す。恕限度では橋梁振動により、歩行者が歩行時に受ける振動感覚から、橋梁に対する一つの使用性を評価するため、振動感覚の一般的な分類もしている。センサーA₄の恕限度は「少し歩きにくい」を、それ以外のセンサーの恕限度は「振動を明確に感じる」を示す。本橋の架設地点での状況を考えると、日常的な交通量による本橋の使用性として「歩きにくい」という現象は、再現される確率が低いと判断される。

(6)アーチ部材振動挙動試験 図-8 に車両走行試験における橋長3/4点でのアーチ部材の応答加速度を示す。図-9 に同試験、同点における床版の応答加速度を示す。両測定点でほぼ同様の振動波形性状を示していることが確認できる。また応答加速度の最大値もほぼ同様の応答レベルであることが認められる。またアーチ部材の加速度のスペクトルには、表-2 に示す鉛直曲げ対称1次、ねじれ逆対称1次における固有振動数とほぼ同等な値が検出された。これは、床版と吊材、吊材とアーチ部材の接合部が精度良く連結されているものと判断される。

図-8 について鉛直方向の応答加速度よりも水平方向の応答加速度の方が倍以上大きい波形になっているのも、アーチを結ぶ横梁が無くそれぞれが自立している構造上の特性に起因しているものと考えられる。

最後に本橋の実験にご協力賜りました関係各位に感謝の意を表します。

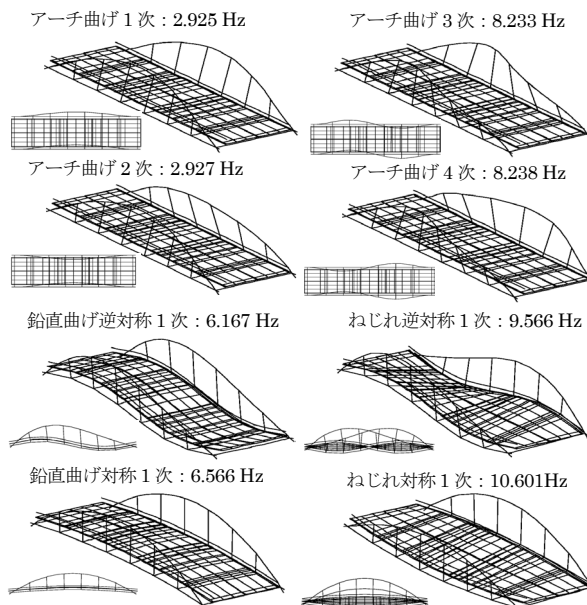


図-4 解析による振動モード

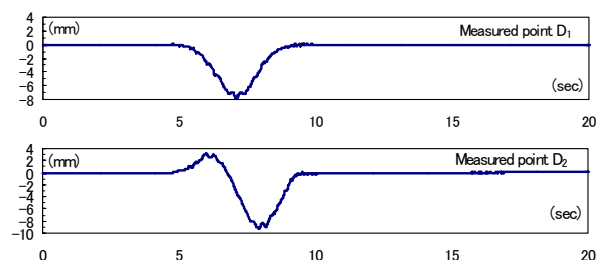


図-5 動的応答変位の一例

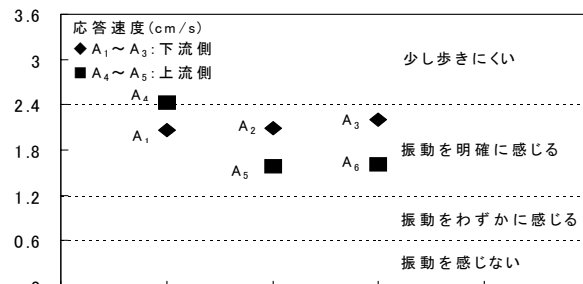


図-6 振動感覚の恕限度

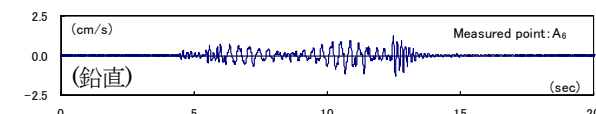


図-7 走行試験での応答速度の一例

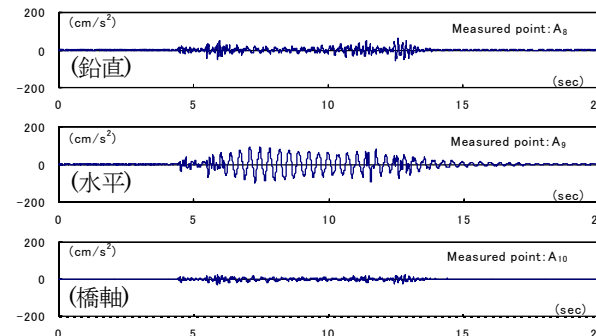


図-8 走行試験によるアーチ部材の応答加速度

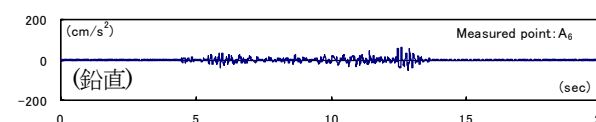


図-9 走行試験による床版の応答加速度