

### 18年経過したボールジョイント型木製トラス歩道橋の健全度調査

金沢工業大学 フェロー ○本田 秀行

#### 1.はじめに

本研究で対象としたボールジョイント型木製上路式トラス歩道橋は、埼玉県神日高市に 1996 年に架設された A 橋である。しかし、対象橋梁のような特殊な構造形式であるボールジョイント型木製トラス歩道橋に対して、設計時での強度計算は行なわれているが、静的あるいは動的な構造性能や経年による健全度の実態把握に関する基礎研究が行われていないのが現状である。

そこで、本研究では A 橋を対象に 2014 年 9 月に行った実橋調査と構造解析から経年による動的特性と健全度の実態を把握して今後の維持管理の基礎資料を収集する。本橋を写真-1、平面図と側面図を図-1、設計諸元を表-1 に示す。



写真-1 対象橋梁

#### 2.調査概要

本調査では健全度調査と動的実験の 2 種類を行った。健全度調査は目視検査とし、カメラを使って腐朽箇所や進行状況などを調査した。動的実験では常時微動測定試験、砂袋落下衝撃試験、18.0 Hz、2.0Hz と 2.3Hz の共振歩行試験、水平加振強制試験の 4 項目を行なった。

##### 2.1 目視検査

本橋は竣工から 17 年ほど経過しているため、腐朽等による木材の劣化が進行していると考えられる。写真-3 に一例として示すように、木製トラス部材は変色箇所や亀裂が散見された。床板の裏面は特に目立つ変色はないが、表面は腐朽による断面欠落の箇所が見られた。

##### 2.2 動的実験

図-2 に 8 個のサーボ型振動速度計の配置例を示す。速度計を鉛直に設置して鉛直振動を、また水平に設置して水平振動を計測した。支間中央点 A2 での常時微動測定試験での振動波形(鉛直振動)例を図-3 に示す。砂袋落下衝撃試験での波形例を図-4 に示す。水平加振強制試験での振動波形(水平振動)例を図-5 に示す。1.8 Hz の歩調で歩行者が歩行した共振歩行試験での振動波形(鉛直振動)例を図-6 に示す。

各試験で計測した振動データは雑音除去等のフィルター処理後、FFT による自己および相互スペクトル解析から固有振動数と振動モード、および減衰定数の振動特性を同定した。

#### 3. 振動性能

##### 3.1 振動特性

表-2 に動的実験で得られた対象橋梁の振動特性を示す。表中には、3 次元固有値解析で得られた固有振動数と振動モードも示している。

動的実験での固有振動数は 4 次振動まで同定された。1 次振動が 1.22 Hz のねじれ対称 1 次モード、2 次振動が 1.85 Hz の鉛直対称 1 次モード、3 次振動が 2.97 Hz の鉛直逆対称 1 次モード、4 次振動が 3.56 Hz の水平対称 1 次モードである。

1 次振動が鉛直振動でなくねじれ振動になっているのは、支間長の割に幅員が広く、また対象になっていることに起因しており、対象橋梁の有する特徴的な振動特性であると考えられる。

固有振動数の実験値と解析値を比較すると、3 次振動の鉛直逆対称 1 次モードに差異が生じているが、他の振動次数では両者ともに良く一致している。図-7 に一例として、固有値解析による 1 次と 2 次の振動モードの代表例を示す。

減衰定数に関して、1 次振動のねじれ対称 1 次モードの値が小さく、ねじれ振動があまり減衰しないと思われる。実験の当初、鉛直振動の減衰性能が小さいと思われたが、2 次振動の鉛直対称 1 次モードの値は 0.017 で一般的な橋梁と比較しても減衰性能が顕著に小さい傾向を示していない。これは、斜めに張っている鋼製ブレース材による軸力制御の配置効果であると思われる。

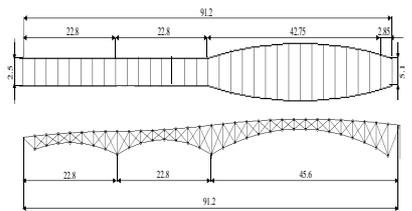


図-1 対象橋梁の平面図、側面図

表-1 対象橋梁の諸元

所在地	埼玉県日高市
形式	上路式トラス
橋長	91.2 m
支間長	22.8+22.8+45.6 m
幅員	2.5~5.1 m
竣工	1996年3月

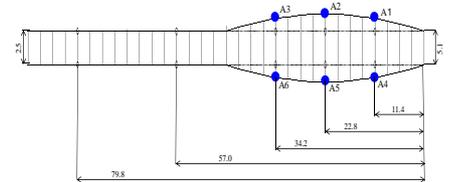


図-2 振動速度計の配置例

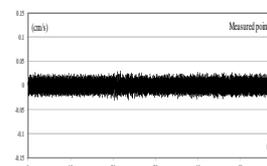


図-3 常時微動試験

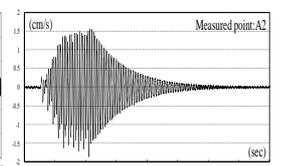


図-5 水平強制試験

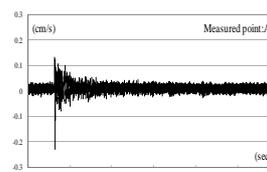


図-4 砂袋衝撃試験

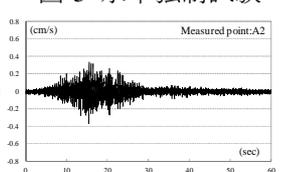


図-6 共振試験

3.2 振動使用性

歩道橋の設計や維持管理においては振動使用性の評価が重要な項目になる。設計時では「立体横断施設設置要領」に従い、たわみ制限あるいは鉛直基本固有振動数が1.5 Hz～2.3 Hzの範囲にある場合は歩行者への影響（振動による不安感など）のためその範囲から除外する必要がある、とのたわみと振動の両面から検討することになっている。対象橋梁の初期値がないため竣工時の鉛直基本固有振動数がその範囲内にあるか否か不明であるが、表-2に示すように鉛直対称1次振動数が1.85 Hzで、その範囲内にあるものと考えられる。そこで、今後の維持管理を考えて、対象橋梁の振動使用性を検討した。

歩行者が1.8 Hzおよび2.0 Hzの歩調で幅員の上流側あるいは中央側を歩行した共振歩行試験で計測した応答速度の最大値を基に、振動使用性を検討した結果が図-8である。図中、支間中央のA5点で若干大きな値を示しているが、「振動を感じる」程度である。従って、対象橋梁の振動使用性に関して特に大きな問題はないように思われる。しかし、対象橋梁はねじれ振動が生じやすい特性を有しているため、幅員の上流側あるいは下流側を数人が歩行した場合、振動使用性に問題が生じる場合がある。

3.3 経年による構造剛性

対象橋梁は竣工から18年経過していることから、経年による木材の腐朽などによる劣化から橋梁全体の構造剛性が低下している可能性が考えられる。そこで、経年による橋梁全体に対する構造剛性の低下を逆解析から検討した。ここで、構造剛性の評価として木材のヤング係数を尺度とし、局所的な劣化箇所が橋梁全体に及ぼす剛性低下は考慮していない。

まず、竣工時の固有振動数に関する初期値が不明であるため、表-3に示すように竣工時の木トラス（スギ：7.0 kN/mm<sup>2</sup>）と床版（ヒノキ：7.6 kN/mm<sup>2</sup>）のヤング係数の標準的な値の平均値を100%とした。そして、100%から60%まで10%づつヤング係数、せん断弾性係数等を減少した値を用いた固有値解析を行い、固有振動数の実験値と整合する固有振動数とその振動モードを求めた。なお、劣化によるポアソン比の変化は不明であるため、固有値解析ではポアソン比を0.4の一定値とした。

図-9に固有値解析による逆解析の結果を示す。横軸の100%は竣工時であり、18年経過した箇所に実験値の固有振動数を示している。4次振動の水平対称振動数に差異が生じているが、基本的な低次振動のねじれ1次振動および鉛直対称1次振動を見ると、ヤング係数が約70%で実験値の固有振動数とよく一致している。このことから、対象橋梁は18年の経過によって木材のヤング係数が約30%低減していることが解析的に考えられる。

経年による構造剛性の低減に関する他の木橋においては、上述した動的実験から固有値解析による逆解析に基づく同様な手法で検討した結果として、上路式木製アーチ車道橋（K橋）<sup>1)</sup>の場合が17年の経過で約20%、25年の経過で約40%であった。また、ボールジョイント型木製トラス歩道橋（A橋）<sup>2)</sup>の場合が20年の経過で約34～46%であった。未だ検討に要するデータは不足しているが、18年が経過している対象橋梁の約30%は不適切な評価でないものと考えられる。

参考文献 1) 本田：25年経過したアーチ集成材上路式アーチ車道橋の健全度調査，土木学会第68回年次大会，V-041，2013年。 2) 本田・篠原：17年経過したボールジョイント型木製トラス歩道橋の健全度調査，土木学会第70回年次大会，V-387，2015年。

表-2 対象橋梁の振動特性

振動次数	振動モード	固有振動数 (Hz)		減衰定数
		解析値	実験値	
1	ねじれ対称1次振動	1.25	1.22	0.003
2	鉛直対称1次振動	1.88	1.85	0.017
3	鉛直逆対称1次振動	3.11	2.97	0.008
4	水平対称1次振動	3.66	3.56	0.007

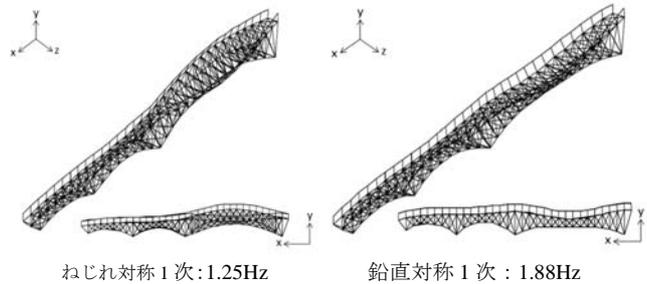


図-7 固有値解析による振動モード例

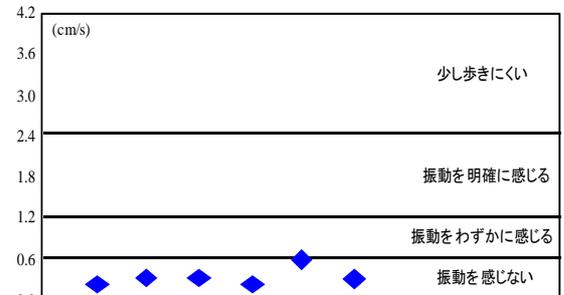


図-8 最大応答速度による振動使用性の評価

表-3 ヤング係数の低減

樹種	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )				
	100% (竣工時)	90%	80%	70%	60%
木トラス：スギ	平均：7.0	6.3	5.6	4.9	4.2
床板：ヒノキ	平均：7.6	6.8	6.1	5.3	4.6

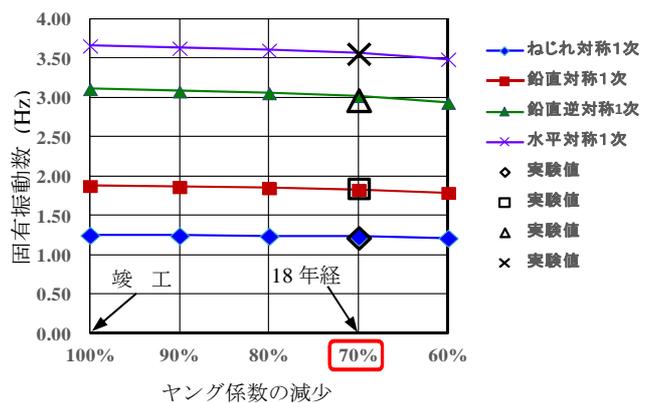


図-9 経年によるヤング係数の低減率