

木製歩道橋の経年による振動使用性と健全度

○東電設計(株) 正会員 加藤真吾 ジオテックコンサルタンツ(株) 正会員 豊田 淳
金沢工業大学 フェロー会員 本田秀行 福岡大学 正会員 渡辺 浩

1. まえがき

歩道橋は歩行者が歩行中に支障を感じないように通行できる機能を保有することが必要である。このため、設計時においてはたわみ制限や振動数制限、および供用中の維持管理に対しては振動使用性の実態を検証する必要がある。しかしながら、木製歩道橋の振動使用性に関する研究は未だ少ないのが現状である。特に、経年による振動使用性の検討は少ない。竣工時には正常な状態と評価された振動使用性が、橋梁木部材の経年による劣化等から維持管理上で好ましくない状況が具現化することは容易に想像ができる。しかしながら、それらの因果関係を工学的に検証する研究は皆無に近い。そこで、本研究では木製アーチ歩道橋（以下に本橋と言う）を対象に、実橋での振動実験を実施して振動使用性の実態を検討した。また、過去に竣工時の2002年、14年経過時の2016年および17年経過時の2019年に3回の振動実験を実施し、経年による振動性状の変化から振動使用性に検討を加えた。さらに、経年による振動使用性と健全度の関係にも考察を加えた。

表-1 本橋の設計概要

所在地	富山県射水市
施工年	平成14年
主木材	ベイマツ集成材
用途	歩道橋
構造形式	木製下路式アーチ
橋長	18.80m
支間長	18.20m
有効幅員	3.00m

2. 対象橋梁と振動実験

本研究で対象とした木橋は、外材のベイマツ集成材で造られた下路式アーチ歩道橋で、富山県で初の近代木橋として射水市に2002年架設されたG橋である。橋長18.8m、支間長18.2m、幅員3.0mである。本橋の設計概要を表-1に、本橋の側面図を図-1に示す。

振動実験では対象橋梁の動的特性を把握するため、(1)砂袋落下衝撃試験、(2)人力加振試験、(3)強制振動試験、(4)アーチ水平加振試験、(5)歩行試験を実施した。サーボ型速度計の配置位置はアーチ支間長を4等分割した位置として、図-2に一例として各測定点を示す。図中のVは鉛直方向を表している。対象実験は砂袋落下衝撃試験、人力加振試験、歩行試験である。

本橋の基本固有振動数である鉛直逆対称1次振動数は、完成直後の予備実験で6.64Hz前後を判明しているが、歩行者が6.64Hzでの歩行は不可能で、ジョッキング走行でも困難である。このことから、共振歩行試験ではなく、日常的な歩行者の歩行状態の再現を主眼に1人や2人の歩行ケースでは1.8Hz、2.0Hz、2.4Hzでの歩行試験を行った。また、本橋の近くに中学校があって課外活動等で数人が本橋を通行することもあることから、5人歩行ケースでは2.0Hz、2.4Hzあるいは5人がランダムで歩行する歩行試験も行った。

表-2は完成時、14年経過時、17年経過時の過去に3回実施した振動実験で得られた本橋の経年による固有振動数の変化を示している。1次の振動次数がアーチ部材単独の水平対称振動を示しているのは、下路式アーチ木橋の一般的な傾向である。2次の振動次数が鉛直逆対称でなく、水平対称1次振動になっていることは水平方向の剛性が鉛直方向の剛性より小さいことを示しており、本橋の振動に関する特徴である。

上述した理由等から、14年経過時での鉛直逆対称1次、および17年経過時でのねじれ逆対称1次振動の固有振動数が若干大きくなっている。一般的な傾向として、アーチ部材単独の水平対称1次および水平対称1次振動数は経年によって減少していることが認められる。一方、本橋の基本固有振動数である鉛直逆対称1次振動数は、経年によってあまり変化が無いように思われる。これら傾向の原因は、後章の健全度調査で記述するように、アーチ部材と下弦材の結合部が経年によって腐朽等の劣化によって水平の曲げ剛性が減少していることに起因しているものと考えられる。

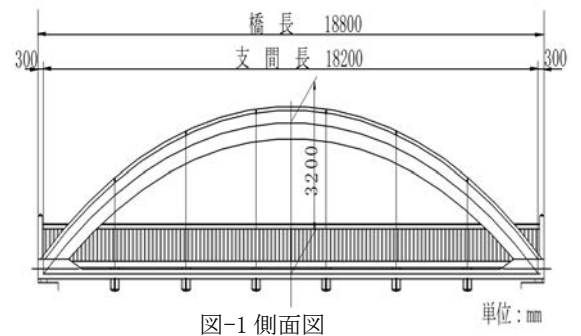


図-1 側面図

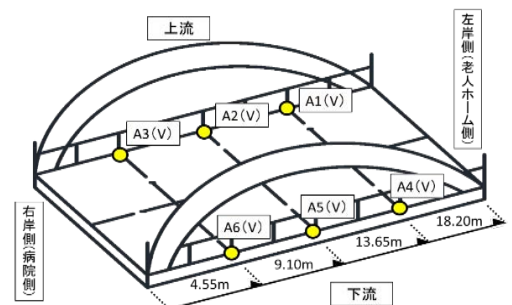


図-2 サーボ型速度計の配置と測定点

3. 経年による振動使用性

キーワード 木製歩道橋、振動実験、振動使用性、健全度

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 KDX 豊洲グランスクエア 9F

図-3 に示した応答速度の最大値に対して、1人
や2人の2.4Hz 歩行では「振動を感じない」の範疇
になっている。日常的な通行状態を想定した2.4Hz
の5人走行では、走行者数の増加による励起振動に
よって「振動を明確に感じる」や「振動をわずかに
感じる」の範疇に属している。本橋の完成時におけ
る日常的な通行状態では振動使用性に問題がない
ものと考えられる。

図-4 に示した14年経過時において、1人2.0 Hz の歩行では「振
動をわずかに感じる」で、1人1.8 Hz と2.4Hz の歩行では「振動
を明確に感じる」の範疇に属する。しかし、5人が2.0 Hz での歩
行では、「少し歩きにくい」の範疇になる。17年経過時において、
1人が1.8 Hz, 2.0 Hz, 2.4Hz の歩行ではいずれも「振動を明確に
感じる」の範疇に属する。一方、5人が2.0 Hz での歩行では、「大
いに歩きにくい」の範疇になることも認められる。

図-3 と図-4 の比較において、本橋の完成時では1人や2人の
歩行では「振動を感じない」、5人の2.4Hz 歩行やランダム歩行
でも「振動を感じる」および「振動を明確に感じる」程度の反応
である。しかし、14年経過時では1人の歩行で「振動を明確に
感じる」、5人の歩行で「少し歩きにくい」の反応になっている。
さらに、17年経過時になると5人の歩行で「大いに歩きにくい」
の範疇に属するようになってきている。経過年数の増加によって、
応答速度の振動波形が増大していることから、振動使用性に好ま
しくない状況が生じることが明白になっている。

経過年数によって振動使用性が悪くなる状況は、振動波形の増
大であることは明らかである。表-1 の経年による本橋の固有振
動数で記述したように、経年による橋梁の劣化等によって橋梁自
体の剛性が低減していることに起因しているものと考えられる。

4. 健全度

経年による劣化から本橋の剛性が低下することによって歩行
者による応答振動が大きくなる結果、経年による振動使用性の状
態も悪くなることを見出された。この経年による本橋の剛性が低
下する原因を精査するために、本橋の劣化状態を把握する健全度
調査を木橋定期点検要領（案）に従い、17年経過時で目視試験
を行った。写真-1 に下弦材の断面変化部の腐朽箇所を一例とし
て示す。4か所の内、3か所の損傷が顕著である。また、アーチ部材と
下弦材の結合部の腐朽劣化も顕著である。これらの部材は本橋の主要
部材であり、経年劣化による本橋全体の剛性低下に起因しているもの
と考えられる。部材ごとの損傷判定において、下部構造はII (C1)の判
定であるが、本橋の主要部材である上部構造の主構は経年劣化による
損傷からIII (C2)となった。その他部材の親柱とアーチ横梁はIII (C2)、
高欄の笠木はII (C1)の判定であるが、副部材のために本橋全体の強度
に及ぼす影響は小さく、修繕は困難でない。

調査結果として、本橋全体の判定を示したのが表-3 である。経年の
劣化により、本橋は全体的に腐朽が進行していると考えられる。笠木
部材は全体的にわれが見られ、腐朽している箇所も散見された。右岸
側下流の親柱付近は蟻害が進行しており、早期の補修が必要である。
また、腐朽菌の一種である白色腐朽菌が支柱の裏側に多数見られたこ
とから、腐朽菌の生育しやすい環境であることも分かる。さらに、上
流側の下弦材とアーチ部材の結合部は著しく腐朽が進行しているため、
緊急の補修が必要になると考えられる。これらの事から、緊急な対策
が必要であると判断して、判定区分はIIIになっている。健全度調査か
ら、経年劣化による主要部材の損傷は本橋全体の剛性の低下をもたらし、
固有振動数の低減や応答振動の増大の原因となっている。その結果として、
振動使用性は経過年数の増大によって好ましくない状況が生じていることが明らかになった。

表-2 経年による本橋の固有振動数

振動 次数	振動モード	固有振動数 (実験値 Hz)		
		完成時	14年経過	17年経過
1	アーチ水平対称1次	2.63	2.63	2.39
2	水平対称1次	4.41	3.70	3.42
3	鉛直逆対称1次	6.64	6.93	6.64
4	ねじれ逆対称1次	6.93	7.03	7.32

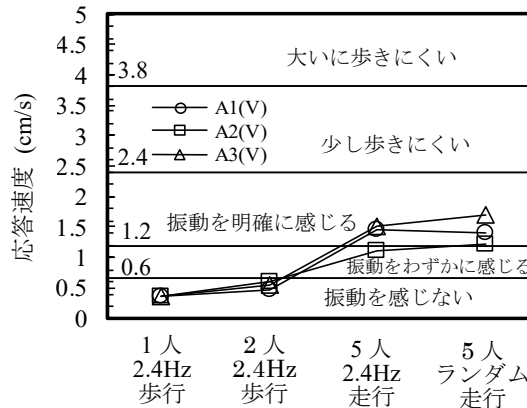


図-3 完成時での振動使用性 (応答速度の最大値)

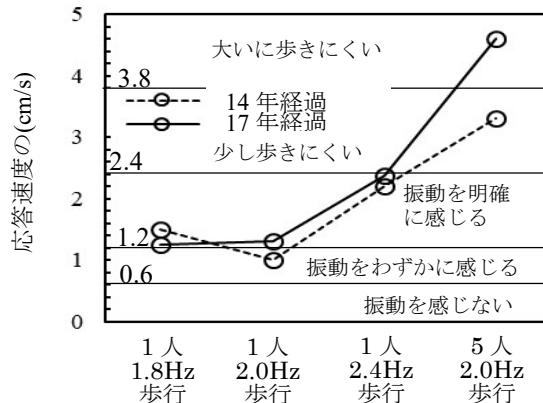


図-4 14年と17年時の振動使用性 (応答速度の最大値)



写真-1 下弦材の断面変化部の腐朽

表-3 本橋全体の判定

判定 区分	所見等
III	経年の劣化により、下弦材、親柱の基部、高欄が損傷している。特に、下弦材は著しく腐朽が進行しているため、緊急な対策が必要である。