

木製トラス歩道橋の腐朽部モデル化に基づく破壊実験および応答振動に対する解析的検証

○東電設計(株) 正会員 加藤真吾 ジオテックコンサルタント(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

広島県内の公園キャンプ場に4連の単純下路式トラス橋(以下K橋と言う)が1990年に架設されたが、経年劣化による安全性の観点から竣工後13年が経過した時に解体され、その内の2橋が広島県内の敷地に移設および再組立てられた。本研究は、移設後に再組立てられたK橋に対する構造性能の実態を解析的に検証する。そのK橋を写真-1に、設計概要を表-1に示す。まず、トラス格点部や継手部など経年劣化による腐朽個所の解析モデルを作成し、3次元固有値解析を行う。この結果に基づいて、移設のK橋に対して実施された破壊実験を解析的に再現する。さらに、歩行者の歩行によるK橋の3次元動的応答解析を実施して、腐朽度と応答振動波形の関係にも考察を加える。

2. 腐朽部モデル化と振動特性

橋梁の静的や動的な構造解析を行う場合、解析用の構造モデルを作成する必要がある。経年劣化による橋梁全体の腐朽等を考慮する場合は、各要素の断面諸量や物性値を工夫することによって3次元構造解析が可能である。しかしながら、局部的に顕著な腐朽が散見される場合には、橋梁全体の解析モデルのほかに局部的な腐朽モデルも作成する必要がある。そこで、本研究ではK橋の腐朽個所を調査して腐朽の実態に適切な格点部や継手部などの解析モデルを作成した。上下弦材の継手部は鋼板とボルトで連結されている。鋼板やボルトの腐食はあまり見られないようであるが、内部の木材は腐朽が進行していることが散見された。腐朽個所の一例として、写真-2にトラス格点部の腐朽状態を示す。格点部の両側には添接鋼板が設置されている。雨水によってこの格点部が貯水状態になって排水ができない構造になっていることから、腐朽は顕著に進行している。写真-3トラス格点部を示す。この格点部の腐朽状態を解析的に再現するために、格点部の腐朽モデルを作成した。その一例として図-1に示す。図中の黒色線は部材相互の要素であり、黒色丸は各要素の接点である節点を示している。そして、格点前後の380mmと斜材の286mmの範囲を木材の腐朽個所としている。

固有値解析において、K橋は移設されているが、実橋の架設から13年以上経過していることを踏まえて橋全体もある程度腐朽させて解析を行うことにした。腐朽部は木材の断面諸量や物性値の値を減少させて実態の剛性を考慮した。その腐朽率は、橋全体では20%以内とし、個々の腐朽個所では50%以内で減少させて行くことで再現した。表-2に3次元固有値解析を実施したK橋の

固有振動数を5次振動まで示している。一例として、図-3にK橋の基本固有振動数である鉛直対称1次の解析振動モードを示す。低次の振動モードは橋梁全体の振動モードであり、トラス格点部や継手部の腐朽の影響がほとんど見られない。そこで、高次の振動モードを検討した結果として図-4に振動次数14次の局部振動モードを一例に示す。本解析では格点部や継手部の腐朽の影響が高次振動で出現している。しかし、実橋の振動実験では低次振動モードのパワーが大きいために、高次振動の計測はほとんど不可能に近い。この

表-1 対象橋梁の設計概要

橋種	木製歩道橋
形式	下路式単純トラス橋
支間長	36.0m
主構高さ	2.7m
有効幅員	2.3m
死荷重	0.8 kN/m ³
群集荷重	0.35 kN/m ²
使用部材	ベイマツ集成材

写真-1 対象橋梁の全映(第1径間)



写真-2 トラス格点部の腐朽状態



写真-3 トラス格点部

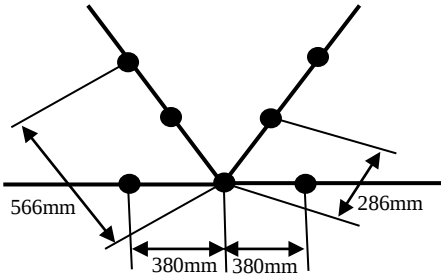
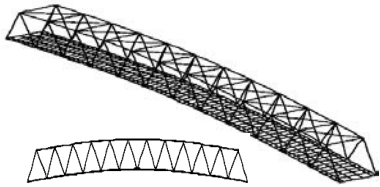


図-2 トラス格点部の腐朽モデル

表-2 K橋の固有振動数

振動次数	振動モード	固有振動数 (Hz)	
		実験値	解析値
1	水平対称1次	—	2.86
2	鉛直対称1次	3.52	3.56
3	ねじれ対称1次	—	4.42
4	鉛直逆対称1次	11.43	9.66
5	ねじれ逆対称1次	14.45	14.13



鉛直対称1次: 3.56 Hz

図-3 固有値解析の振動モード

ことから、実橋の点検や健全度調査等で振動実験を行う場合、低次の振動モードから腐朽の影響を把握することは困難であることを意味している。

3. 落橋実験の解析的再現

K 橋の再組み立て後、各種非破壊調査を基に劣化の内容および評価方法について検討¹⁾された。その結果を実際に検証する目的から、2008 年 6 月に土嚢(約 0.32 kN)を 400 kN 分(約 130 袋)用意

して荷重載荷による破壊実験が行われた。無載荷の状態では橋梁本体の自重等で下流側中央点のトラス格点部で 211 mm のたわみが生じていた。土嚢 26 袋(94.4 kN)を積載した時点で、上流側下弦材のトラス格点部が引張破断して橋全体が上流側に傾いた。このような破壊状態を一次破壊とする。さらに、53 袋(189.7 kN)を積載した時に下流側上弦材がトラス格点間中央で圧縮破壊し、最終破壊に至った。この破壊状態を二次破壊とし、写真-4 に破壊状態を示す。

以上のような破壊実験に対する解析的検討を示したのが図-5 である。初期値、一次破壊、二次破壊に対応する最大たわみ値で解析的に再現している。実橋の破壊実験は破壊に至る残存耐力、破壊形状および破壊荷重などを確認するために有用な手法であるが、多額の費用と労力が必要になる。本研究で行った腐朽部のモデル化、橋梁全体や腐朽部の腐朽率などを実態に適合するような解析的手法を適用することによって、解析的に破壊実験を再現できる知見が得られた。

4. 応答振動の波形形状

本研究では、歩行者の歩行による 3 次元動的応答解析を実施した。歩行者の体重 65kg、歩調 2.0 Hz、歩幅 65 cm の一般的な値を設定した。解析の詳細は参考文献 2) を参照されたい。顕著な腐朽箇所が散見された箇所を図-5 に示した解析点とした。また、図-6 に下流側の歩行レーンを示す。図-8 に 1990 年の完成時での応答速度を示す。完成時であることから健全材と考え腐朽率は 0% とし、ベイマツ集成材の物性値を用いている。応答速度の最大値は約 ± 2 cm/s で、完成時から振動が大きいことが推測される。図-9 に完成時から 18 年経過した時点での応答速度を示している。解析での腐朽率は、破壊実験が実施された無載荷時での状態とした。この図から、18 年の経過によって完成時より応答速度は約 2 倍以上大きくなっている。さらに、完成時と比較した場合、横軸に示す歩行者の歩行が約 12 秒経過した時点で速度波形の形状に微妙な異常が認められる。そこで、このような異常を検証するために、トラス下弦材中央の格点の腐朽部を腐朽率 80% として解析を行ったのが図-10 である。

実橋の点検時において、腐朽によって 80% のような顕著に断面欠損がある箇所は容易に見つけられると考えられるが、50% 程度の腐朽箇所や部材内部の腐朽を外部から判断できない時、局所的な腐朽箇所を特定することは困難な場合が多い。本研究によって、腐朽箇所での速度波形に異常が解析的に見出されたことから、一つの方法として実橋の点検時にも適用できる可能性があると考えられる。すなわち、実際の木製歩道橋の点検や健全度調査において、腐朽の可能性があるとされる箇所に速度計を設置して歩行者の歩行実験を行って応答速度を計測する。その時、当該の速度波形の形状に異常が見出されるならば、腐朽劣化等の箇所を実験によって特定できる方法である。

参考文献 1) 独立行政法人 森林総合研究所：森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集 34 既存木橋の構造安全性を維持するための残存強度評価技術開発，2011。2) 日下真彰・本田秀行：解析による大規模木製歩道橋の動的挙動と振動使用性，第 6 回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集，pp. 9-20，2007。

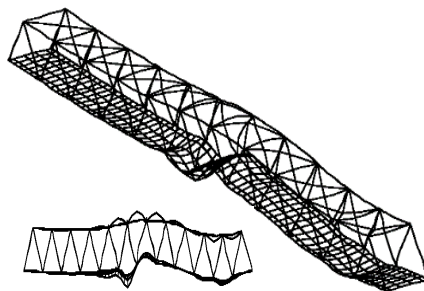


図-4 振動次数 14 次での局部振動



写真-4 二次破壊の状態

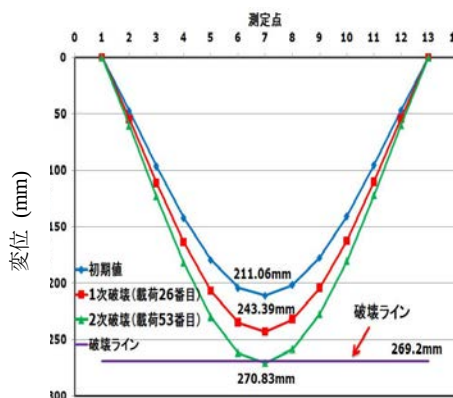


図-5 破壊実験の解析的再現

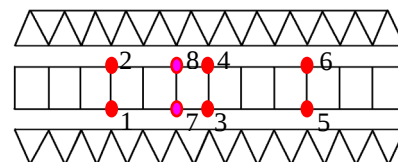


図-6 解析点

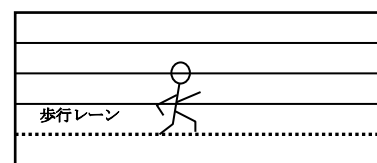


図-7 歩行者の歩行レーン

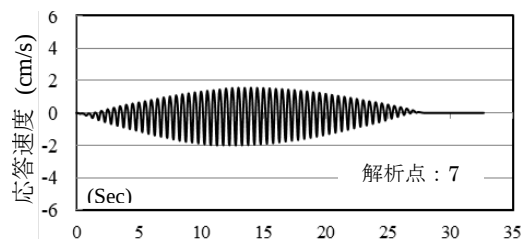


図-8 1990 年の完成時

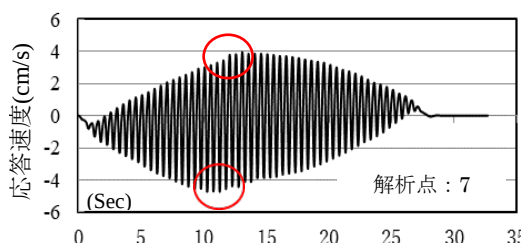


図-9 2008 年の 18 年経過時

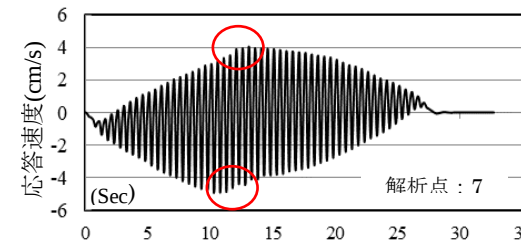


図-10 2008 年の 18 年経過時 (80%の腐朽)