

ボールジョイント型木製トラス歩道橋の振動軽減策

金沢工業大学大学院 学生会員 ○興津 光 金沢工業大学 フェロー 本田 秀行

1. まえがき 現在、ボールジョイント型木製トラス歩道橋は全国で2橋しかないため、ボールジョイントを使用した橋梁の振動特性は検討された例がない。そこで本研究では、過去に行った構造解析結果¹⁾を踏まえ、FORTRAN 言語でのプログラムによる固有値解析と3次元動的応答解析に基づき対象橋梁の振動特性を解明し、振動軽減策を検討する。

2. 対象橋梁 本研究の対象橋梁は、実際に架設されていない計画段階途中の橋梁である。対象橋梁は接合部にボールジョイントを用いた木製立体トラス橋である。部材には国産スギ間伐材を利用して環境に配慮し、屋根を付けることで木材の腐朽を防止している。本橋の側面図を図-1、断面図を図-2、設計概要を表-1に示す。

3. 固有値解析結果 対象橋梁の振動特性を求めるために、有限要素法による固有値解析を行った。本研究では、FORTRAN 言語によるプログラムにおいて節点数、棒要素数、面要素に制約があるため簡易的なモデルを作製し、固有値解析を行った。支点拘束条件は、4点単純支持とする。固有値解析結果を表-2に示す。表から確認できる通り、屋根と床とで連成振動が生じていることが分かる。これは、屋根部材の重量が大きいため、屋根の振動が床振動とは別々に生じたと考えられる。また、屋根のねじれ振動が多い原因としては、図-2の断面図より、屋根が飛び出したデザインに起因するものと考えられる。これらは対象橋梁の特有な振動特性と言える。

4. 3次元動的応答解析法と解析条件 本研究で行う3次元動的応答解析は、直接積分法を用いている。歩行者-橋梁系の運動方程式は、ダ・ランベールの原理に基づき、次式(1)にて表される。本解析での歩行者外力は、歩行者の自重を考慮した式(2)を用いた。

$$[M][\ddot{Z}] + [C][\dot{Z}] + [K][Z] = \{F\} \cdots \cdots (1)$$

$$\{F\} = P\phi(t) = \{mg + mg\zeta \sin(2\pi q t)\}\phi \cdots \cdots (2)$$

ここに mg は歩行者の体重(kgf)、 q は歩行者の歩調(Hz)、

$\phi(t)$ は歩行者が載荷している要素の両節点に比例分配する係数ベクトル、 ζ は衝撃力比である。また、本研究における歩行者外力は、半正弦波を用いる手法を採用した。本研究での解析条件として、歩行者の体重を65kg、共振現象を再現するため歩行者の歩調を1.96Hz、衝撃力比を0.5として解析を行った。また、歩行レーンと解析点の位置を図-3に示す。歩道部の全長は52mであり、歩行レーンは幅員に対して中央とした。解析点は、支間長に対して1/4、1/2、3/4点の床版の両側を対象とした $A_1 \sim A_6$ の計6点である。

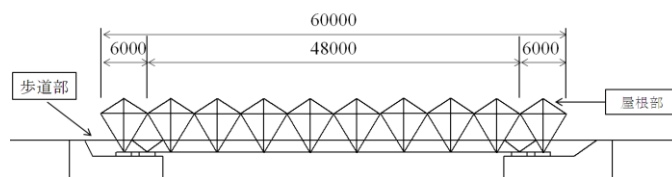


図-1 側面図

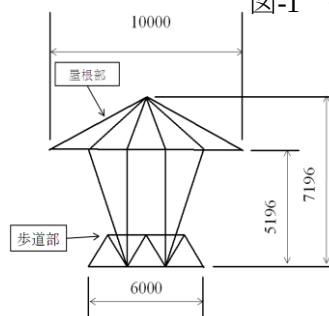


図-2 断面図

表-1 設計概要

橋格	立体横断施設
形式	木製立体トラス橋
設計荷重	3.5kN/m ²
橋長	60.00m
支間長	48.00m
有効幅員	4.00m
使用部材	国産スギ間伐材

表-2 固有値解析結果

振動次数	振動モード	固有振動数(Hz)
1	ねじれ1次	1.80
2	鉛直対称1次	1.96
3	屋根ねじれ1次・床水平1次	2.95
4	ねじれ2次	3.25
5	鉛直逆対称1次	4.81
6	鉛直逆対称1次・屋根ねじれ2次	6.20
7	ねじれ3次	6.28
8	屋根ねじれ3次・床水平2次	6.88
9	鉛直対称2次	9.30
10	屋根ねじれ4次・床水平3次	10.55

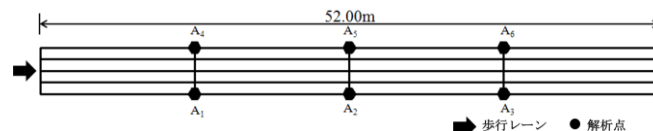


図-3 歩行レーンと解析点

キーワード ボールジョイント、木製トラス歩道橋、3次元動的応答解析、振動使用性

連絡先 〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇ヶ丘7-1 金沢工業大学大学院 環境土木工学専攻

5.3 次元動的応答解析結果 図-4に3次元動的応答解析により得られた応答速度波形を示す。応答速度波形は、解析点 $A_1 \sim A_3$ を一例として図-4に示す。反対側の解析点 $A_4 \sim A_6$ の速度波形は、 $A_1 \sim A_3$ と同様な波形の形状と値が得られている。この結果を基に我が国で多く用いられている振動使用性評価を応答速度の最大値で行い、結果を図-5に示す。図-5より、解析点 A_2 と A_5 では応答速度の最大値が約 1.3cm/s となり「振動を明らかに感じる」という評価となった。その他の解析点では応答速度の最大値が $2.6\text{cm/s} \sim 3.1\text{cm/s}$ となり「少し歩きにくい」という評価となった。この結果から対象橋梁は1人共振歩行をした場合、歩行者が振動を感じて不安感を生じる可能性があると考えられる。

6. 支点拘束条件変更による3次元動的応答解析結果

対象橋梁は、図-5に示した振動使用性評価により、歩行者に不安を与えてしまう恐れが考えられる。そこで、本研究では振動軽減策の1つとして、支点拘束条件の変更により応答速度の変化を検討する。解析条件は4点単純支持のケースと同じである。検討した支点拘束条件は既存4点の拘束条件を変更した場合と、対象橋梁は両端に4点支点を追加できることから支点を追加した8点での拘束条件変更による検討を行った。

検討する具体的な支点拘束条件を以下に示す。

- ①4点完全固定 ②4点y軸回転解放 ③8点単純支持
⑥4点単純支持・両端4点y軸回転解放

この7つの支点拘束条件により3次元動的応答解析から得られた応答速度を用いて振動使用性の検討を行う。

3次元応答解析の結果から各支点拘束条件別に振動使用性評価を行った結果を図-6に示す。振動使用性評価は応答速度の最大値により評価を行っている。図-6から4点単純支持では応答速度が A_6 で最大値が 3.1cm/s となり「少し歩きにくい」という結果に対して、他の支点拘束条件では4点完全固定 A_6 の 1.3cm/s が最大値であり「振動を明らかに感じる」結果となり評価を1段階軽減できた。また、他の支点拘束条件でも同様な結果が得られ、「振動を少し感じる」程度まで振動を軽減できることが判明した。このことから、支点拘束条件の変更により応答振動を軽減でき、振動使用性を改善できることが判明した。

7. まとめ 本研究では固有値解析と3次元動的応答解析に基づき対象橋梁の振動特性と振動軽減策の検討を行った。その結果、支点拘束条件を変更させることにより振動使用性を改善させ得ることが判明した。今後は各種振動軽減策の検討と本橋の振動特性である連成振動の制御について検討する所存である。

参考文献 1)興津光・本田秀行・原田敏行：ボールジョイント型木製トラス歩道橋の振動特性，第9回木材利用研究論文報告集，pp.128-135，2010年8月。

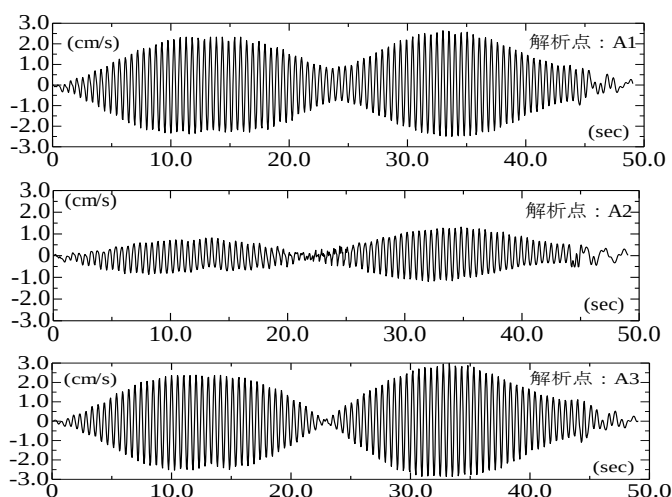


図-4 3次元動的応答解析による応答速度波形

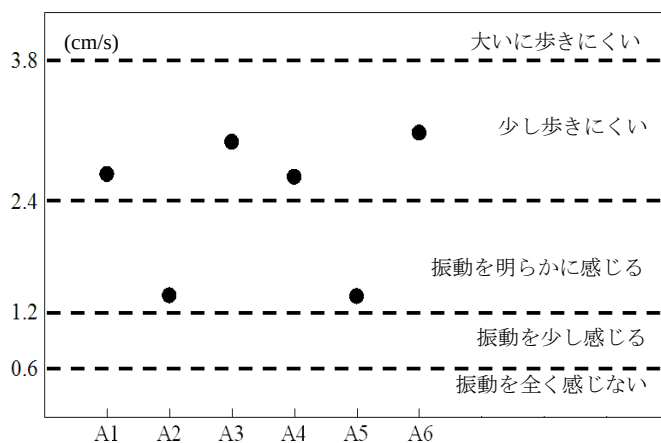


図-5 最大値による振動使用性評価

- ④8点完全固定 ⑤8点y軸回転解放
⑦4点単純支持・両端4点完全固定

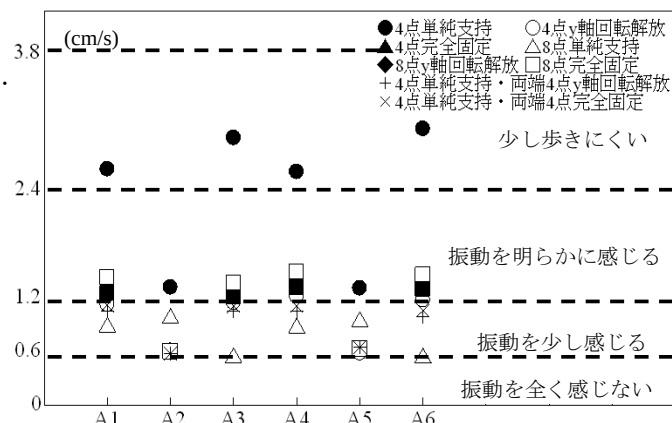


図-6 支点拘束条件の変更による振動使用性評価