

大規模木製歩道橋の3次元動的応答解析に基づく振動使用性の検討

金沢工業大学大学院 学生会員 ○日下真彰
金沢工業大学 フェロー 本田秀行

1. まえがき 本研究の目的は、木製歩道橋の振動使用性を明確にすることである。本研究では、北九州市に架設されている大規模木製歩道橋のT橋を対象橋梁とした。このT橋の振動使用性を解析的に評価するために、3次元動的応答解析法のシステム化や歩行者外力などの構築をおこなった。歩道橋において振動使用性は非常に重要な問題で、これを3次元の動的応答解析をおこなうことは世界でもあまり例を見ないものである。その対象としたT橋の一般図を図-1、図-2に、また設計条件を表-1に示す。

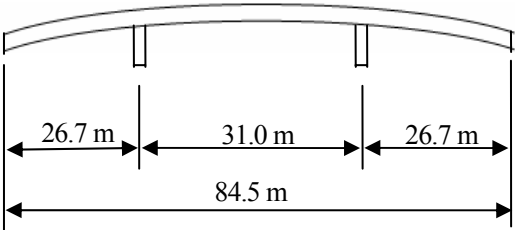


図-1 常盤橋側面図

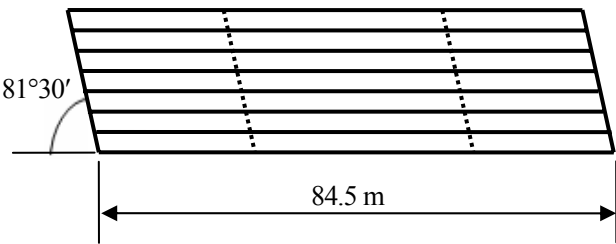


図-2 常盤橋平面図

表-1 設計条件

橋種	木製歩道橋
形式	5層積層桁橋
形状	三径間連続桁橋
橋長	85.0m (桁長 84.9m)
支間長	26.75+31.0+26.75m
幅員	有効 6m 全幅 7.2m
使用材料	ボンゴシ、チーク (親柱、高欄)
キャンパー	1.7m

2. 解析手順 最初に解析モデルを作成してそのモデルで固有値解析をおこない、ある程度の成果が得られたら3次元動的応答解析をおこなう。そこで得られた解析解である振動速度により振動使用性の評価をおこなう。なお、本橋における実験はほとんどおこなわれておらず、鉛直1次振動の固有振動数が2.15Hzということしかわかっていないので、その固有値と一致する解析モデルを作成した。

3. 解析モデルと固有値解析結果 当初、解析モデルは図面を忠実に再現した5層の積層モデルを作成した。この解

析モデルで固有値解析をおこなった結果、鉛直1次振動が2.19Hzと近い値となった。そこで、このモデルを用いて3次元動的応答解析をおこなったが、結果を得ることが出来なかった。それは、動的応答解析においては節点数や線要素数・面要素数に制約があり、大規模で節点が膨大なT橋の解析がおこなえないことが判明した。そこで、本研究では再度モデルを改良し2層の積層にし、簡易的なモデルを作成した。その解析モデルで固有値解析をおこない、表-2に示す結果が得られた。

表-2 固有値解析結果

振動次数	振動モード	固有振動数(Hz)	
		実験値	解析値
1	鉛直曲げ1次	2.15	2.16
2	鉛直曲げ2次	—	2.88
3	鉛直曲げ3次	—	3.83
4	水平曲げ1次	—	4.83
5	鉛直曲げ4次	—	6.63
6	鉛直曲げ5次	—	8.00
7	鉛直曲げ6次	—	8.26
8	ねじれ1次	—	9.67
9	ねじれ2次	—	10.55
10	ねじれ3次	—	10.72

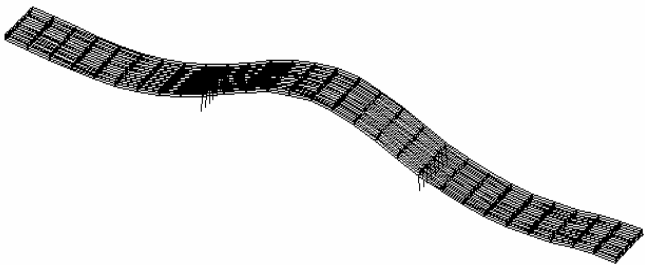


図-3 鉛直曲げ1次振動の全体図



図-4 鉛直曲げ1次振動の側面図

この表を見てもわかるとおり、鉛直曲げ1次振動において実験値・解析値の振動数が近い値となっていることがわかる。先ほども述べたとおり、実験データの不足からこれ以上のモデルの改良は無理と判断し、この解析モデルを用いて動的応答解析をおこなうことにした。

なお、図-3および図-4に固有値解析での鉛直曲げ1次振動のときの振動モードを示す。

キーワード 大規模木製歩道橋、解析モデル、3次元動的応答解析、振動使用性評価

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

4.3 次元動的応答解析法と解析結果

(1) 3次元動的応答解析法 本研究での動的応答解析は、直接積分法を用いており、具体的な解析方法を以下に示す。

歩行 - 橋梁系の運動方程式は、ダ・ランベールの原理の基づき、次式 (1) のように表される。

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

本研究では、式 (1) の運動方程式を解くために数値積分法として Newmark's β 法を用いた。

歩行外力では歩行者の自重を考慮した、次式 (2) を用いた。

$$\{F\} = P\varphi(t) = \{mg + mg\xi \sin(2\pi ft)\}\varphi \cdots (2)$$

ここに、 mg は歩行者の体重、 f は歩調、 $\varphi(t)$ 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、 ξ は衝撃力比である。また、本研究における歩行外力は、図に示すような半余弦波を用いる方法を採用した。

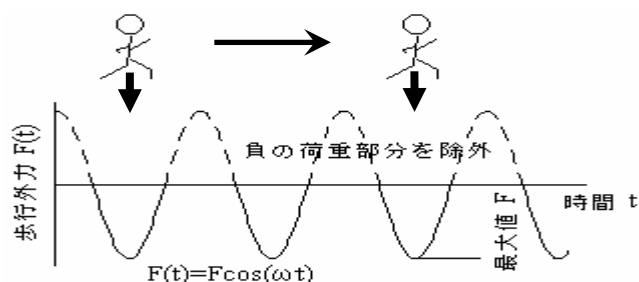


図-5 歩行外力として用いた半余弦波

(2) 3次元動的応答解析の条件 本解析の条件として、歩行者の体重を 70 kg、共振現象を再現するために歩行者の歩調を 2.16 Hz、衝撃力比を 1.6 として解析をおこなった。また、解析点の位置と歩行レーンを図-6 に示す。

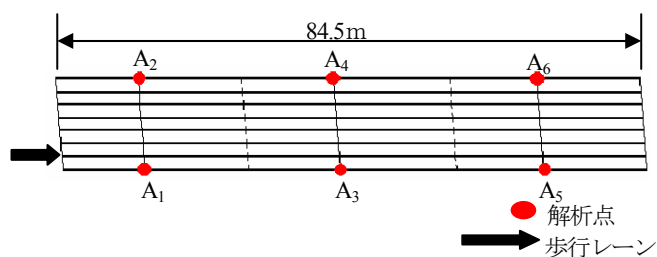


図-6 解析点と歩行レーン

(3) 3次元動的応答解析結果 図-7 に上述の解析条件により得られた解析速度の波形を示す。

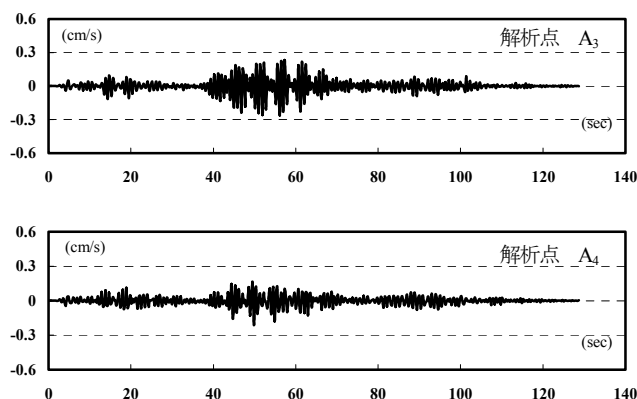
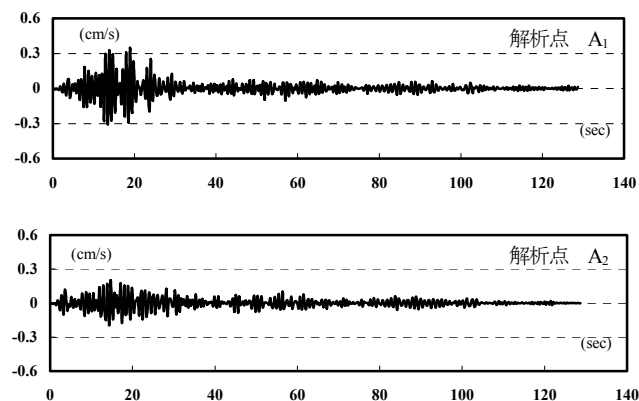


図-7 解析で得られた共振歩行の応答速度波形

図-7 には、共振歩行させたときの $A_1 \sim A_4$ の解析点の速度波形を示す。この図から言えることは、歩行レーンに近い解析点のピーク値が大きくなっている。これは、 A_1 と A_2 、 A_3 と A_4 の応答波形を見る限り、横方向の荷重分配が明確に認められるからである。この T 橋は三径間連続桁橋であるため、橋脚部分を節とする各径間の応答波形に分かれている。また、解析点に近いところで大きな振動を受けていることも認められる。図-9 は解析事例の一つとして、共振歩行させたときの A_1 、 A_2 の応答速度を示す。共振歩行の応答速度に比べると最大値が倍ほどの結果を得た。

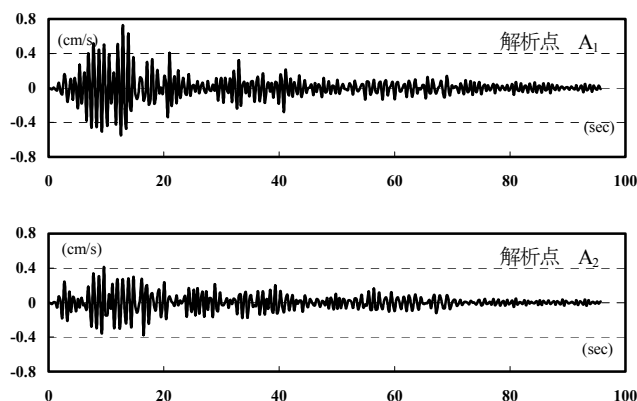


図-9 解析で得られた共振歩行の応答速度波形

5. 振動使用性 図-8 は、我が国で多く用いられている振動使用性評価をおこなった結果を示している。最大速度は共振歩行で 0.346 cm/s、共振歩行で 0.730 cm/s である。共振歩行では、どの解析点でも「振動を感じない」分類に含まれ、共振歩行でも「振動をわずかに感じる」程度の評価となった。今後、本橋の実験も含め、さらに検討を進めたい。

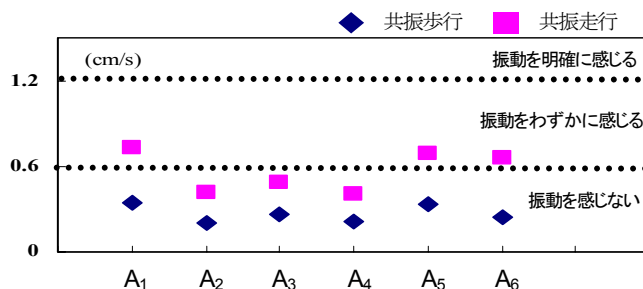


図-8 振動使用性評価