

I - 39

部材連結方法の異なる集成材梁試験体の動的特性の実験的検討

岩手大学工学部 正 員 ○荒田 智博
 日本大学工学部 正 員 五郎丸 英博
 岩手大学工学部 正 員 出戸 秀明
 岩手大学工学部 戸塚 弘之

1. まえがき

近年、地球環境問題や景観へのニーズが高まったこともあり、木橋の架設が増加傾向にある。現在全国には、複合構造の木橋を含めると二千橋を超える木橋が架設されており、その用途としては約半数が車道橋を占めている。このような背景からも分かるように、近年の木橋は長大化、複雑化の一途を辿っており、部材連結部の動的特性の解明は静的特性評価と同様に重要である。

本研究は、木橋の部材連結部に着目した基礎的研究であり、その動的特性を解明するために実大集成材梁試験体を作製し試験を行った。連結部の無い試験体及び鋼板挿入型と鋼板突き合わせ型の連結部を有する計3体の試験体に対して打撃試験を実施し、その応答加速度を測定することで動的特性を解明する。写真-1に鋼板挿入型連結部を、写真-2に鋼板突き合わせ型連結部を示す。これらの連結部を有する試験体において打撃試験を実施して得られた加速度スペクトルより固有振動数を求め、連結部の有無や連結部の種類による動的特性の違いを比較検討した。また、数値固有振動解析により実測固有振動数と一致するような部材連結部の動的剛性の最適化を試みた。

2. 打撃試験方法

打撃試験は、寸法、幅 180mm、高さ 450mm、長さ 2880mm の試験体を2本のロープで吊り下げて曲げ打撃試験を実施した。試験体を吊すロープを、両端自由梁の曲げ1次モードの節になるところに設置した。また、2方向の動的特性、剛性を評価するために、図-1に示すように縦置き、横置き状態で曲げ打撃試験を実施した。打撃位置は梁中央から550mmの位置とし、3軸加速度計を図-1に示す5箇所に設置した。測定条件として、打撃回数は風や振動などの外的要因による影響を受けない室内試験であることを考慮して10回とし、測定時間は0.5秒、周波数分解能は2Hzとした。

3. 解析理論

これまでの研究では、部材連結部の動的剛性を求めるためのモデル化にバネ要素のみを用いる最適化手法¹⁾（以下、逆算手法）を用いてきた。本試験においては、異なる連結方法を有する二つの試験体に対してこれまでの最適化手法を用いても動的剛性を求めることができなかった。この原因としては、これまでの逆算手法では、梁試験体をバネ要素以外は曲げ剛性が一定の等断面梁と考えてモデル化を行っていたが、実際の梁試験体では鋼板が挿入されている領域と挿入されていない領域で曲げ剛性が異なるものと思われる。従って本論文では、これまでの梁試験体のモデルに対して、鋼板が挿入されている連結部領域に曲げ剛性の変化を考慮した新たなモデル化を行い動的剛性評価を行った。

本手法は、図-2に示すように、梁試験体の鋼板を有する部分を鋼板挿入型連結部では4区間、鋼板突き合わせ型では10区間に分割し、鋼材部分の断面積、断面2次モーメントを集成材断面に換算した。換算に用いる動的弾性係数比（鋼材の動的弾性係数/集成材の動的弾性係数）は、縦置き試験体で22.799、横置き試験体で16.582である。縦置きと横置きで動的弾性係数比が異なるのは、集成材は層方向で弾性係数が異なるためである。そこで、鋼板を含む連結部領域を集成材に換算した新たな解析モデルにおいて、解析固有振動数と実測固有振動数を一致させるように式（1）に示す目的関数を用いてバネ定数を最適化した。



写真-1 鋼板挿入型連結部

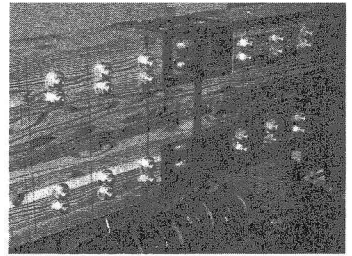


写真-2 鋼板突き合わせ型連結部

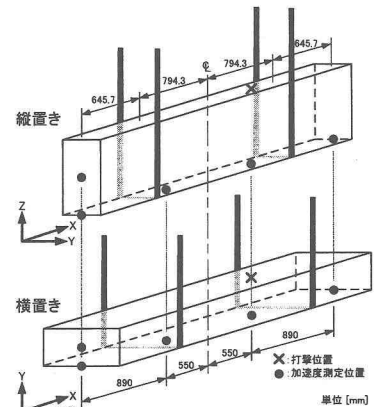


図-1 試験体の設置状態

$$OBJ = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{|f_{ei} - f_{ai}|}{\max(f_{ei}, f_{ai})} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

ここで、 i は振動次数、 f_a は解析固有振動数、 f_e は実測固有振動数、 $\max()$ は2つの値を比べて大きい方を採用する意味を持つ。すなわち、式(1)の目的関数は実測と解析から求められた1から4次までの固有振動数を比較してその相対誤差を表すものである。最適化過程において目的関数を最小化していくが、数値計算上の発散を確認するため同時に固有振動モードも確認する必要がある。

4. 試験結果と解析結果の比較検討

表-1は打撃試験から得られた固有振動数と最適化された解析固有振動数を示している。最適化後の目的関数の値は、鋼板挿入型連結部試験体の方が、鋼板突合せ型連結部試験体より低い値を示している。また、設置状態による目的関数値については、縦置き試験が横置き試験より小さい値を示している。鋼板突合せ型連結部試験体の目的関数値が大きくなった原因としては、鋼板挿入型連結部試験体に比べて約3.07倍の鋼材重量があり、さらに梁中央部に鋼材が集中して分布していることが挙げられる。次に、設置状態による違いの原因としては、鋼板挿入型連結部試験体においてその差が顕著に表れていることから、集成材内部の鋼材の向きが大きく影響していることが挙げられる。従って、このような状況下においては、一次元的な本解析手法では考慮することができない2次元的な影響が現れていることが考えられる。

表-2は本手法により最適化されたバネ定数を示している。鋼板挿入型連結部、鋼板突合せ型連結部それぞれにおいて縦置き試験、横置き試験を実施することで、せん断バネ定数 K_x 、 K_y 、回転バネ定数 $K_{\theta y}$ 、 $K_{\theta z}$ の計4方向のバネ定数が求められる。鋼板挿入型試験体と鋼板突合せ型試験体のせん断バネ定数では、 K_x において明確な違いが認められる。また、回転バネ定数においては、連結方法による違いはほぼないが、 $K_{\theta z}$ より、 $K_{\theta y}$ の値が大きくなる傾向がみられた。せん断バネ定数 K_x の明確な違いは、鋼板挿入型連結部と鋼板突合せ型連結部との特徴の違いと考えられる。次に回転バネ定数 $K_{\theta z}$ 、 $K_{\theta y}$ に差がみられるが、両者の値の差が約10倍程度の差であることから、回転方向においてはほぼ等しい剛性を示す半剛結状態にあるといえる。

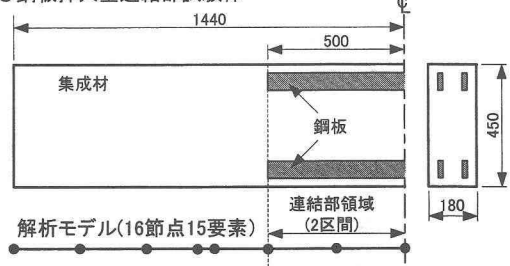
5. あとがき

本研究では、新たな動的剛性評価法を提案し二つの連結方法の動的剛性評価を行うことができた。さらに、本試験で用いた二つの異なる連結方法では、設置状態による動的剛性の変化を確認することができた。しかし、最適化の過程において計算量が膨大であり、効率性、精度の面でまだ改善の余地があると思われる。今後は、固有振動解析による傾向解析を実施し、局所的な曲げ剛性の変化による動的剛性の変化挙動を把握することで、効率的で精度の高い最適化手法の提案を目指していきたい。

参考文献

- 1) 出戸秀明, 五郎丸英博, 岩崎正二, 宮本裕, 山口隆之:集成材木歩道橋の連結部の実大局部実験と解析, 構造工学論文集, Vol.41A, pp923-933, 1995.

●鋼板挿入型連結部試験体



●鋼板突合せ型連結部試験体

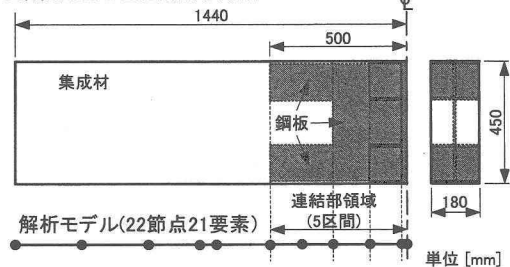


図-2 鋼板挿入型と鋼板突合せ型の連結部梁試験体

表-1 実測固有振動数と解析固有振動数 [Hz]

固有振動数		連結部なし		鋼板挿入型		鋼板突合せ型	
		縦置き	横置き	縦置き	横置き	縦置き	横置き
実測	1次	226	106	128	84	170	76
	2次	458	270	226	212	438	158
	3次	740	458	616	344	632	324
	4次	1612	890	658	620	800	404
解析	1次	226	106	128	83	170	76
	2次	423	198	228	197	415	186
	3次	727	340	564	290	546	263
	4次	1662	779	652	625	800	404
目的関数値				2.55%	6.16%	4.71%	8.48%

表-2 バネ定数最適化結果

連結方式	鋼板挿入型	鋼板突合せ型
せん断バネ定数 [N/mm]	K_x 8.27×10^3	4.29×10^5
	K_y 2.50×10^5	9.02×10^4
回転バネ定数 [N・mm/rad]	$K_{\theta y}$ 7.00×10^{10}	3.13×10^{10}
	$K_{\theta z}$ 4.99×10^9	8.22×10^9