

木橋の劣化診断のための振動解析の精度について

環境構造工学分野 7016825 佐々木 秀子
指導教員 後藤 文彦

1. はじめに

木橋における木部材の劣化診断は重要であるが、剛性や強度と相関する固有振動数を測定する方法は、非破壊で診断できるという意味で有用である。こうした測定値を理論的な予測と比較する際、実橋を骨組でモデル化した振動解析を行うのが普通である¹⁾。トラスやアーチ等、部材を梁要素と見なせる場合は、こうした手法が有効だと考えられるが、部材を梁と見なしている影響がどの程度あるのかわからない。近年、汎用の FEM ツールの計算容量は大きくなってきているため、ソリッド要素による全体解析も可能になりつつある。そこで、本研究では、その基礎研究として、ラーメン構造を対象とした振動解析をソリッド要素と梁要素を用いた場合で比較し、精度を考察する。

2. 片持ち梁のモード解析

解析ツール Salome-Meca の四面体要素を用いてモード解析する²⁾際の適正な要素サイズを確認するため、木材を想定してヤング率 6GPa、ポアソン比 0.4、厚さ 20mm、幅 10mm、軸長 100mm の片持ち梁のモデルを作成し、モード解析を行う。高次の固有振動数まで含めると際限が無いので、5kHz までの固有振動数を求めることとする。解析で得られる代表的なモードを図-1～図-4 に示す。

y 方向曲げ 1 次、 z 方向曲げ 1 次、 y 方向曲げ 2 次、ねじり 1 次のモードがそれぞれ確認できた。固有振動数の理論値は、 y 方向曲げ 1 次：20.34、 z 方向曲げ 1 次：40.6531、 y 方向曲げ 2 次：127.136、ねじり 1 次：138.988 であるが、³⁾いずれのモードでも、Salome-Meca の最大要素長 1、要素数 30000 程度で、理論値に対する相対誤差が 1% 程度に収束しているが、代表としてねじり 1 次モードの収束性を図-5 に示す。

Salome-Meca で四面体要素を用いた場合の適正

な要素サイズを確認したが、同じモデルを梁要素でモード解析した場合の要素サイズも確認したところ、要素数 730 程度で、理論値との相対誤差が 1% 未満に収束する。

表-1 梁要素と四面体要素の関係

曲げモード	理論値	梁要素	四面体要素
y 方向曲げ 1 次	20.340	20.299	20.554
z 方向曲げ 1 次	40.653	40.597	39.823
y 方向曲げ 2 次	127.136	127.209	122.908
ねじり 1 次	138.988	139.142	142.669

ここで、要素数 26920 の四面体要素の結果と要素数 730 の梁要素の結果の比較を表-1 に示す。理論値と梁要素の解析結果はほとんど誤差がなく、四面体要素の解析結果はやや差がでるものの、理論値と 3% 程度以内の誤差に収まる。

3. ラーメンモデル

前章で長方形断面の片持ち梁に対しては、四面体要素でも梁要素でも適切な要素分割により理論値と十分に近い結果が得られることがわかったので、300mm×300mm×3m の長方形断面部材 3 本からなるラーメン構造を解析してみる。四面体要素と梁要素それぞれでモード解析したモード図を図-6～図-11 に示す。ここでは比較的モードがわかりやすい面外曲げ 1 次、面内曲げ 1 次、全体ねじれ 1 次の結果を示すが、いずれもモード図は、四面体要素と梁要素でよく対応している。それぞれの解析による固有振動数を表-2 に示す。四面体要素に対する梁要素の相対誤差を括弧内に示す。いずれのモードでも四面体要素と梁要素の固有振動数は、比較的 近い値である。また、極端な例として、600mm×600mm×1m のラーメン構造の解析の固有振動数を表-3 に示す。四面体要素に対する梁要素の相対誤差を括弧内に示す。

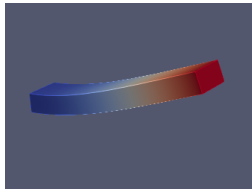


図-1 y 方向曲げ 1 次モード

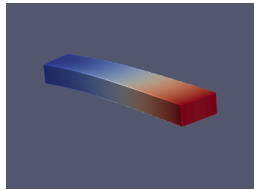


図-2 z 方向曲げ 1 次モード

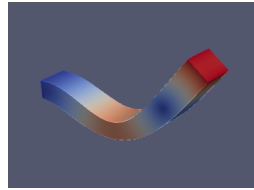


図-3 y 方向曲げ 2 次モード

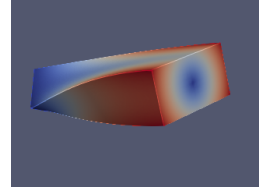


図-4 ねじり 1 次モード

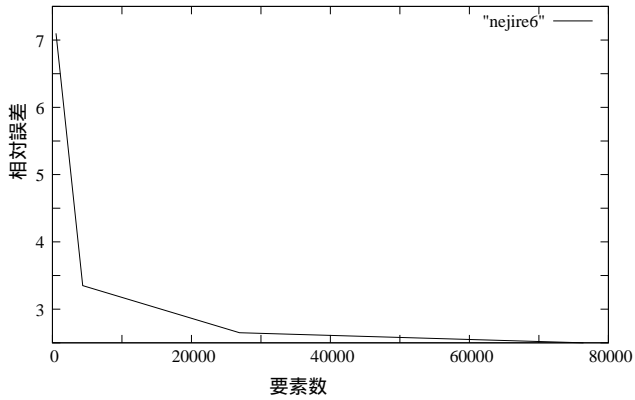


図-5 ねじり 1 次モードの収束性

表-2 300mm×300mm×3m のラーメン構造における梁要素と四面体要素の関係

曲げモード	梁要素	四面体要素
面外曲げ 1 次	0.384(2.0%)	0.392
面内曲げ 1 次	0.615(6.8%)	0.660
全体ねじれ 1 次	0.775(1.65%)	0.788
面内曲げ 2 次	2.388(2.82%)	2.456
面外曲げ 2 次	2.584(0.26%)	2.577

表-3 600mm×600mm×1m のラーメン構造における梁要素と四面体要素の関係

曲げモード	梁要素	四面体要素
面外曲げ 1 次	6.629(17%)	5.644
面内曲げ 1 次	10.25(19%)	8.603
全体ねじれ 1 次	12.84(37%)	9.340
面内曲げ 2 次	20.57(3.45%)	21.31
面外曲げ 2 次	25.50(14%)	22.30

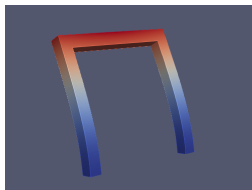


図-6 四面体要素の面外曲げ 1 次

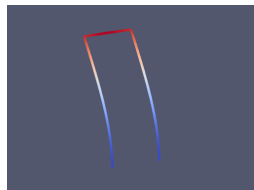


図-7 梁要素の面外曲げ 1 次

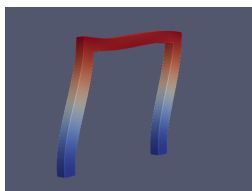


図-8 四面体要素の面内曲げ 1 次

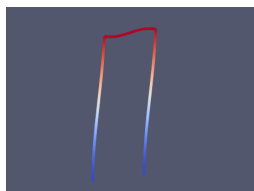


図-9 梁要素の面内曲げ 1 次

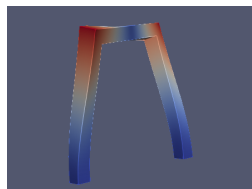


図-10 四面体要素の全体ねじれ

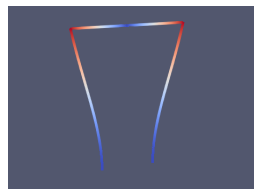


図-11 梁要素の全体ねじれ

4. まとめ

Salome-Meca を用いて、四面体要素を用いたモード解析を行ったところ、部材幅:部材長=1:10 程度で

あれば、梁要素で近似して解いても誤差は少なく、梁要素でも十分であると考えられる。しかし、部材幅:部材長=1:3 のようなだいぶ太いものだと、やはり四面体要素で解いたほうがより正確であるという結果が得られた。今回は、理論値のある片持ち梁や、少ない要素分割で解析できるラーメン構造を対象としたが、トラスなど、より複雑な構造では四面体要素と梁要素の差が今回以上に大きくなる可能性もあるため、今後の検討課題としたい。

参考文献

- 1) 篠原 聖人, 豊田 淳, 加藤 真吾, 本田 秀行:木材利用研究発表会講演概要集 17.p42-47.2018/8
- 2) <http://opencae.gifu-nct.ac.jp/pukiwiki/index.php?SALOME-Meca>
- 3) 日本機械学会宇宙工学部門第5章 <https://www.jsme.or.jp/sed/guide/dynamics5.pdf>