

木橋の劣化診断のための振動解析モデルの検討

環境構造工学分野 7017801 青山 昌樹
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かはわからない。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、立体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、石川県の木橋「かじか橋」を対象とした振動解析を、立体要素や梁要素を用いた場合で比較し精度を考察する。

2. 比較モデルの設定

橋梁のような立体の構造物を FEM ツール上で表現する際、構造物の様子をそのまま表現できる立体要素を用いるのが理想である。ただし立体要素は計算容量が大きくなり、複雑な構造物を表現するほど不利である。一方梁要素は骨組みで簡易的に表現する分計算容量は小さくて済むが、棒状でない太く短い部材を表現するには不向きである²⁾。

今回は かじか橋の振動解析において比較するモデルを 2 種類用意した。一つ目は四面体要素のモデル(以降「四面体要素」、図-1)、二つ目は梁要素のモデル(以降「梁要素」、図-2)である。梁要素は厳密には主構が梁要素で床版は平面のシェル要素で表されているが、簡単のため梁要素と呼称する。解析ツールは Salome-Meca を用いる。

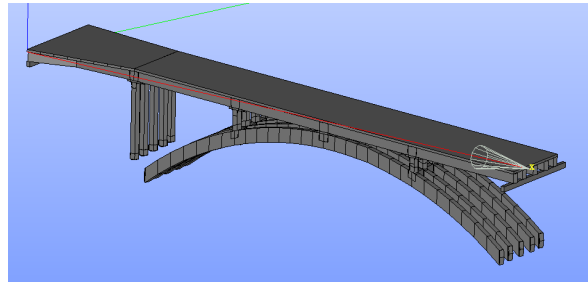


図-1 四面体要素

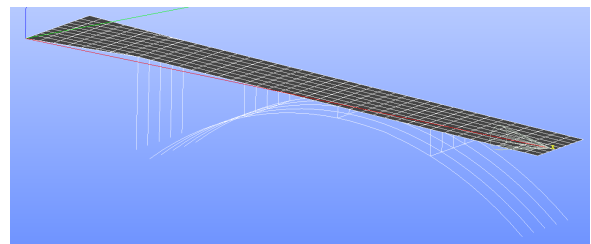


図-2 梁要素

3. かじか橋の解析精度の比較

まずは四面体要素での適正な要素数を調べる。線形要素で要素数を増やしていくと 5,180,380 要素ほどで固有振動数が収束した。一方 2 次メッシュでは要素数が 1,055,631 ほどの粗いメッシュでも線形要素と同等程度の解析精度が得られた。よって以下四面体要素は 2 次メッシュで解析をした。また、図-3 はかじか橋の代表モードである鉛直逆対称 1 次モードの解析結果である。

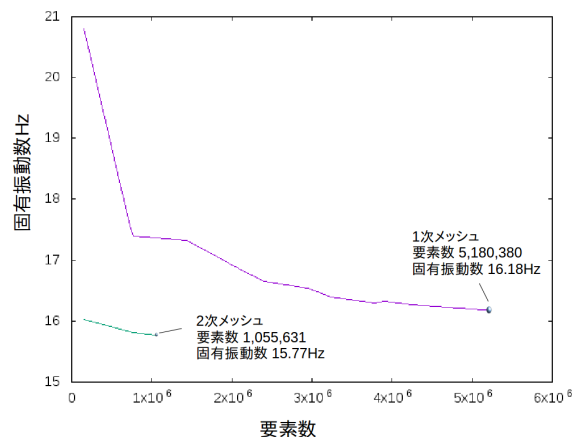


図-3 適正要素数

表-1 解析精度比較

振動モード	2004年		
	実験値	四面体	梁
水平1次	5.17	4.95 (-4.3%)	4.57 (-13.2%)
鉛直逆対称1次	11.62	11.62 (0%)	11.62 (0%)
鉛直対称1次	15.82	15.20 (-3.9%)	14.00 (-11.5%)
鉛直対称2次	19.14	20.77 (8.5%)	18.09 (-5.5%)

架設後17年が経過した2004年の調査から、水平1次(図-4)、鉛直逆対称1次(図-5)、鉛直対称1次(図-6)、鉛直対称2次(図-7)の振動モードが検知された。この4つの振動モードのうち鉛直逆対称1次が上路式アーチ橋であるかじか橋の代表的な振動モードであるため、この鉛直逆対称1次の固有振動数の、測定値と解析値が一致するようなヤング率を入力して解析した(逆解析)。そうして得られた水平1次、鉛直対称1次、鉛直対称2次の四面体要素、梁要素の解析値を測定値と比較することで精度を考察する。その様子を表-1に示す。括弧内は

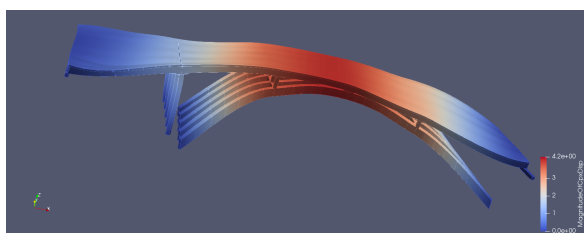


図-4 水平1次

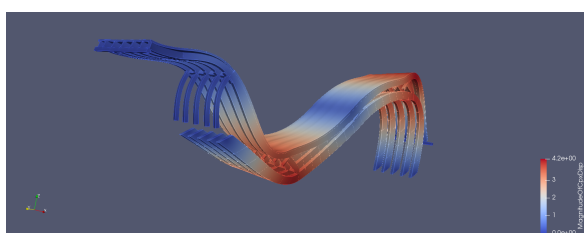


図-5 鉛直逆対称1次

実験値に対する解析値の相対誤差である。

表-1を見ると、水平1次と鉛直対称1次の低次の振動では梁要素と比べて四面体要素の相対誤差が小さく、四面体要素の精度がよく表れた。梁要素の誤差は立体の実橋を骨組みで表現したことによる影響と考える。

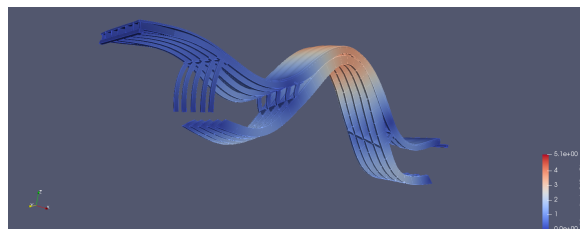


図-6 鉛直対称1次

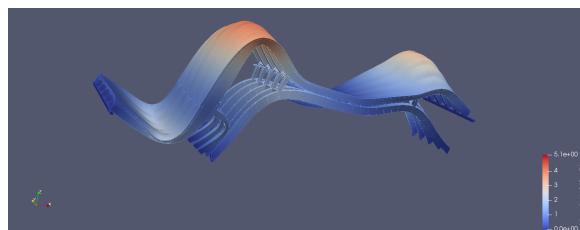


図-7 鉛直対称2次

一方鉛直対称2次は解析値をみると四面体要素の誤差が低次より大きく出たが、これは測定値の測定誤差の影響も考えられる。アーチ橋は高次の振動ほど橋に与える影響力が小さく、振動の振幅も小さく測定することが難しい。また誤差について他に考えられることとして、四面体要素の高次振動に対する要素分割の不十分さがある。今回は鉛直逆対称1次で要素数の収束性を確かめたが、高次の収束性を確認する必要がある。ただしそれは現状のパソコンのスペックだと厳しい所感である。

4. まとめ

木橋の劣化診断で、部材のヤング率の推定に用いられる振動解析について、通常用いられる梁要素の他、四面体要素を用いて解析を行い、それぞれの精度を比較した。鉛直逆対称1次を基準に実験値と解析値が合うように調整した場合、水平1次と鉛直対称1次では、四面体要素は精度が高い。一方、鉛直対称2次では、四面体要素の方が誤差が大きくなったため、この原因については今後、検討が必要である。

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) 佐々木 秀子, 後藤 文彦, 近藤 高誉, 野田 龍: 木橋の劣化診断のための振動解析の精度について, 令和元年度 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集(CD-ROM), I-24, 2020.