

木橋の劣化診断のための振動解析モデルの検討

秋田大学	学生会員	青山昌樹
秋田大学大学院	学生会員	及川大輔
秋田大学大学院	正会員	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 3 種類用意した。一つ目はすべて四面体要素のもの（以降「四面体要素」、図-1）、二つ目はすべて梁要素のもの（以降「梁要素」、図-2）、三つ目は床版を平面のシェル要素、その他部材を梁要素で表現したもの（以降「シェル・梁要素」、図-3）である。シェル・梁要素は、かじか橋を構成する縦桁、

横桁、横構、橋脚、アーチは細長い形状のため梁要素で近似でき、板状の床版はシェル要素で近似することができると考えたモデルである。

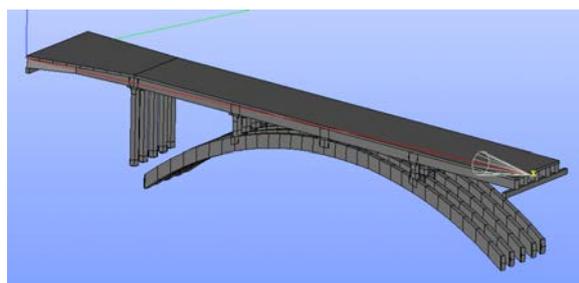


図-1 四面体要素

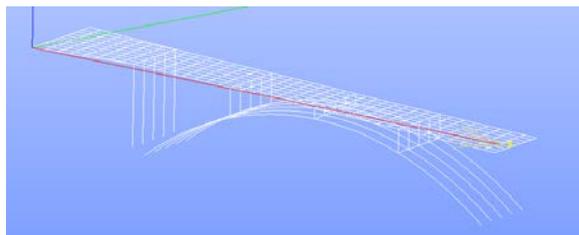


図-2 梁要素

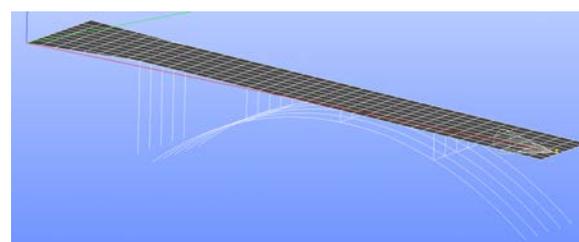


図-3 シェル・梁要素

3. かじか橋の解析精度の比較

かじか橋に対し、四面体要素、梁要素、シェル・梁要素のそれぞれのモデルで振動解析する。モデルの作成・解析に、四面体要素とシェル・梁要素のモデルでは FEM ツールの Salome-Meca を、梁要素モデルでは MSC/NASTRAN を使用する。

表-1 解析精度比較

振動モード	2004 年			
	実験値	四面体	梁	シェル・梁
水平 1 次	5.17	4.95 (-4.3%)	4.57 (-11.6%)	4.49 (-13.2%)
鉛直逆対称 1 次	11.62	11.62 (0%)	11.65 (0.258%)	11.62 (0%)
鉛直対称 1 次	15.82	15.2 (-3.9%)	13.61 (-14.0%)	14.00 (-11.5%)
鉛直対称 2 次	19.14	20.77 (8.5%)	20.04 (4.7%)	18.09 (-5.5%)

架設後 17 年が経過した 2004 年の調査による かじか橋の各振動モードの実験値と、四面体要素、梁要素、シェル・梁要素の固有振動数の解析値 (Hz) を表-1 に示す。かじか橋の代表的振動モードである鉛直逆対称 1 次モードを基準にして、実験値と解析値がなるべく一致するようにヤング率の調整を行う。括弧内は実験値に対する解析値の相対誤差で

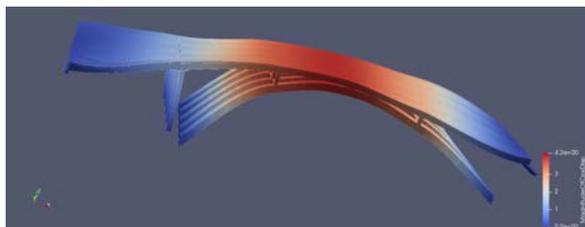


図-4 水平 1 次

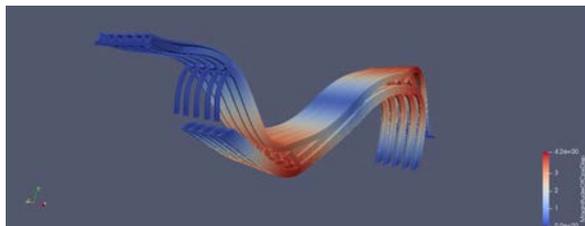


図-5 鉛直逆対称 1 次

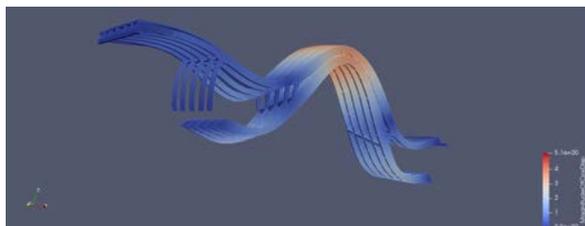


図-6 鉛直対称 1 次

ある。

水平 1 次と鉛直対称 1 次では、実験に対する相対誤差は、四面体要素の解析値が最も小さく精度が良

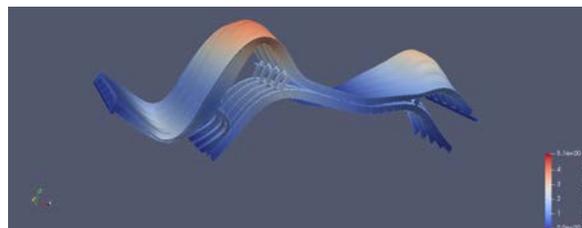


図-7 鉛直対称 2 次

いと言えるが、梁要素とシェル・梁要素では、それに比べてやや誤差が大きい。ただし、梁要素とシェル・梁要素の差は特に認められない。

一方、鉛直対称 2 次では、実験に対する相対誤差は、梁要素が 4.7% と最も小さく、シェル・梁要素は -5.5% とそれよりやや誤差の絶対値が大きいが、四面体要素の誤差は 8.5% と更に大きくなっている。一般に振動モードの次数が大きくなるほど、sin 1 半波ぶんの長さを扱う要素数が少なくなるため、解析精度は低くなると考えられる。今回、鉛直対称 2 次で、梁要素と梁・シェル要素の方が四面体要素よりも実験に対する相対誤差が小さくなったのは、梁要素やシェル要素の方が、長さ当たりの要素数の少なさに鈍感なことによるのか、単に誤差が大きいものどうしの比較でばらつきが大きく、たまたまそういう結果となったのか、今後、検討したい。

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、四面体要素や梁とシェル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、四面体要素は最も精度が高く、梁要素や梁・シェル要素に比べて半分以下の誤差しか出ない。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るため、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.