

振動解析を用いた木橋の劣化状態の予測

環境構造工学分野 7018838 根本 柊哉
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、FEM ツール上で剛性や強度と相関する固有振動数を測定する振動解析は、非破壊で診断できるという意味で有用である。木橋の劣化診断において木部材の腐朽劣化具合は最大限に考慮しなければならないが、木部材の腐朽劣化は部材全体で一様に生じるのではなく支点部や継手部等に集中して生じることがわかっている。

本研究は木橋全体を 3D モデル化し、劣化箇所のヤング率を仮想的に極端に小さく設定することにより、木橋全体の固有振動数が実測と同様に低減するかを解析し、実測当時の推定ヤング率を求める。また、各接合部の劣化が与える固有振動数の影響度についてまとめ、最も影響を及ぼす接合部箇所を導き出す。

2. モデル設定

本研究の対象橋梁として、「石川県民の森」の敷地内にある 2 ヒンジ上落式アーチ道路橋「かじか橋」を対象とした解析を行う。本橋は竣工から 34 年経過しており、これまでに 5 度の調査²⁾が行われている。解析ツールは Salome-Meca を用いて、本橋を 3D モデル化し振動解析を行う。また、床版とその他部材(主構)のヤング率に違いがあるため、解析では、床版と主構とで分けてそれぞれの推定ヤング率を求める。

また、本橋は 2019 年の健全度調査²⁾により支点部・継手部等で腐朽劣化が観測されており、特にアーチ、縦桁、枕梁の各接合部で欠損が多く確認されたため、その箇所に欠損を設定した。アーチでは、支点部・継手部の接合部付近の上部と下部に欠損させ、縦桁と枕梁では、2 つの接合部の外側に欠損を設定した。(図-1, 2)。

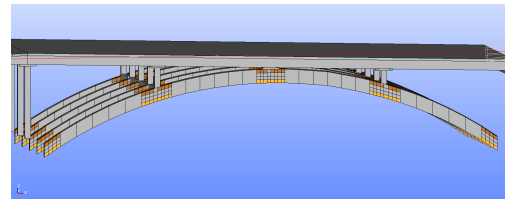


図-1 アーチ欠損腐朽箇所

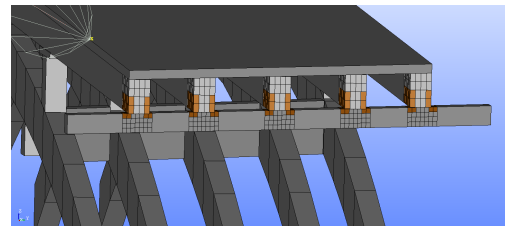


図-2 縦桁・枕梁欠損箇所

3. 実測との比較

今回は本橋の 2019 年の調査から得られた実験値に対して、解析上でヤング率を変化させることで解析値を測定値に合わせ、その際の設定したヤング率を 2019 年当時の推定ヤング率とする逆解析を行った。

(1) 解析の設定

ヤング率の設定として、アーチ、縦桁、枕梁の各接合部における欠損箇所のヤング率を極端に小さい値とした。欠損箇所以外の部材ではヤング率を一樣かつ段階的に小さくし、実験値と同じ値となる解析値(固有振動数)を導き出す。また要素数は 2 次メッシュの 100 万程度に設定した。

(2) 比較結果

解析の結果、各パターンで水平 1 次、鉛直逆対称 1 次、鉛直 1 次、鉛直 2 次の振動モードが検知された。今回は、アーチの構造上、鉛直方向に振動しやすく、鉛直方向において鉛直逆対称 1 次(図-3)が最も振動しやすいことから、鉛直逆対称 1 次を卓越モードとして実験値との比較を行う。

逆解析の結果を下の表-1 に示す。なお、表内の括弧内は実験値に対する解析値の相対誤差を示す。表-1 から、欠損箇所以外の部材のヤング率を

62.8 %減少させた時，実験値と同じ固有振動数となった．この時の推定ヤング率は主構が 3.57GPa，床版が 3.83GPa であり，橋の剛性としては低い値となった．

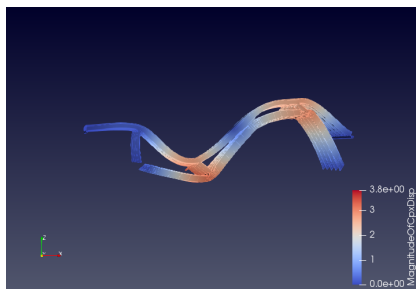


図-3 鉛直逆対称 1 次

表-1 実験値との比較

	他部材のヤング率 減少率	鉛直逆対称1次 (Hz)
実験値(2019年調査)		8.69
アーチ・縦桁・枕梁欠 損	0%	14.24(63.9%)
	30%	11.92(37.2%)
	50%	10.07(15.9%)
	60%	9.01(3.7%)
	62.8%	8.69(0%)

4. 支点部・継手部の劣化が与える影響度

実測との比較から，推定ヤング率が 4GPa 未満と小さい値となった要因として，固有振動数に最も影響のある接合部の欠損具合が小さいからだと推測し，基礎研究として，どこの接合部の欠損が全体の固有振動数に影響を及ぼすのかを求める．

(1) 欠損箇所のパターン化

実測との比較で欠損を設定したアーチ，縦桁，枕梁の接合部を用いて固有振動数に対する影響度を確認する．アーチでは各接合部を端部，支柱接合部，中央接合部の 3 つに分けて組み合わせをし，7 パターンに分けた．縦桁と枕梁の接合部では，接合部をまとめて 1 パターンとし，全部で 8 パターンで解析を行った (表-2)．なお，欠損箇所以外の部材・部位は健全状態として解析を行う．この解析では各パターンの影響の大きさを単純比較するため，要素数を 1 次メッシュの 30 万程度に設定した．

(2) 各パターンの解析結果

解析の結果，振動モードとして卓越モードである鉛直逆対称 1 次が検知されたため，鉛直逆対称 1 次を基準として各パターンを比較する．各パターンの

固有振動数を表-3 に示す．なお，表内の括弧内は欠損無しの場合の固有振動数に対する相対誤差を示す．表-3 から，パターン 2, 4, 6, 7 で最も固有振動数に対する影響が大きかった．いずれもアーチの支柱接合部が欠損箇所として含まれており，この箇所の腐朽劣化が最も木橋全体の固有振動数に影響を与えることがわかった．

表-2 劣化接合部パターン化

パターン	部材	欠損箇所
1	アーチ	端部
2		支柱接合部
3		中央接合部
4		端部・支柱接合部
5		端部・中央接合部
6		支柱接合部・中央接合部
7		端部・支柱接合部・中央接合部
8	縦桁・枕梁	接合部

表-3 各パターンの解析結果

全て健全	鉛直逆対称1次(Hz)		
	20.85		
パターン1	20.54(-1.5%)	パターン5	20.36(-2.3%)
パターン2	17.88(-14.2%)	パターン6	17.63(-15.4%)
パターン3	20.51(-1.6%)	パターン7	17.56(-15.8%)
パターン4	17.8(-14.6%)	パターン8	20.78(-0.34%)

5. まとめ

本研究では，木橋の劣化診断において，非破壊かつ強度，剛性と相関する固有振動数を振動解析を用いて求めた．実測との比較では，実験当時 (2019 年) の推定ヤング率を求めたが，竣工時のヤング率から 62.8 %減少した結果となった．支点部・継手部の劣化における固有振動数の影響度については，アーチと支柱部分の接合部の劣化が最も木橋全体の固有振動数に影響を与えることがわかった．

今後の課題として，木橋の部材における異方性の適用と，影響の大きかったアーチ支柱接合部の劣化範囲拡大，解析の向上を目的とした解析を行いたい．

参考文献

- 1) 青山 昌樹，及川 大輔，後藤 文彦:木橋の劣化診断のための振動解析モデルの検討，令和 2 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-2, 2021.
- 2) 及川 大輔，故 菅沼 源二郎，本田 秀行，後藤 文彦:経年による木製アーチ道路橋 (かじか橋) の構造的な健全度調査，木材工学論文報告集 19, pp.72-79, 2021/2.