

振動解析を用いた木橋の劣化状態の予測

秋田大学	学生会員	○根本 柊哉
秋田大学大学院	学生会員	及川 大輔
秋田大学大学院	学生会員	青山 昌樹
秋田大学大学院	正会員	後藤 文彦
秋田大学大学院	正会員	青木 由香利

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関連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、劣化箇所のヤング係数を仮想的に極端に小さく設定することにより、木橋の構造剛性として各部材の劣化が与える固有振動数の影響度についてまとめ、木橋全体の固有振動数が実測と同様に低減するか検討する。

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 ヒンジ上路式アーチ道路橋「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、近代木橋としては比較的長期にわたって現在まで供用されている。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いる。本研究では、解析ツールの Salome-Meca を用いて本橋を 3D モデル化し振動解析を行う。腐朽劣化箇所として、目視による劣化が多く確認された縦桁、枕梁、アーチの接合部に欠損と腐朽を設定する。欠損箇所を茶色、腐朽箇所を橙色で色分けしている（図-1、2）。



図-1 アーチ欠損腐朽箇所

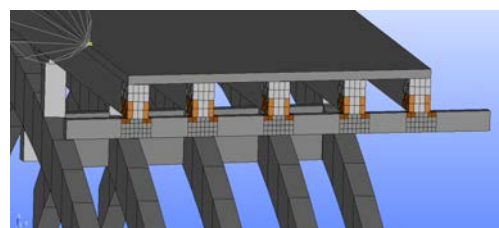


図-2 縦桁・枕梁欠損箇所

3. 劣化腐朽が与える影響度

(1) 腐朽劣化箇所のパターン化

各部材の固有振動数に与える影響度を確認するため、腐朽劣化箇所を接合部ごとに組み合わせ、8つのパターンに分けた（表-1）。なお、腐朽劣化箇所以外の部材・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、要素数が 30 万程度のメッシュで計算を行った。

(2) 各パターンの解析結果

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、本橋の代表的な振動モードである鉛直逆対称一次モード（図-3）を基準とする。

各パターンの固有振動数を表-2 に示す。なお、表内の括弧内は腐朽劣化無しの場合の固有振動数に対する各パターンの相対誤差を示す。表-2 から、パターン 2, 4, 6, 7 で最も影響が大きかった。いずれ

もアーチの支柱接合部が腐朽劣化箇所として含まれており、この箇所の腐朽劣化が最も固有振動数に影響を与えることがわかった。

表-1 腐朽劣化部分パターン化

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

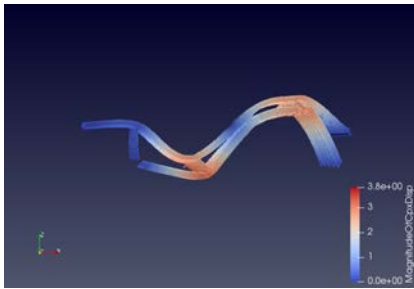


図-3 鉛直逆対称 1 次

表-2 解析結果

	水平一次(Hz)	鉛直逆対称一次(Hz)	鉛直一次(Hz)	鉛直二次(Hz)
全て健全	14.00	20.85	24.83	35.06
パターン1	13.77	20.54(-1.5%)	23.91	34.27
パターン2	13.48	17.88(-14.2%)	23.41	31.11
パターン3	13.76	20.51(-1.6%)	22.82	33.61
パターン4	13.45	17.8(-14.6%)	22.74	30.79
パターン5	13.72	20.36(-2.3%)	22.23	33.07
パターン6	13.44	17.63(-15.4%)	21.72	30.07
パターン7	13.40	17.56(-15.8%)	21.22	29.67
パターン8	13.99	20.78(-0.34%)	24.43	34.52

4. 実測との比較

今回は本橋の2019年の調査から得られた測定値に対して、解析上でヤング係数を変化させることで解析値を測定値に近づける逆解析を行った。

(1) 解析の設定

ヤング係数の設定として、アーチ、縦桁、枕梁の支点部・継手部を腐朽劣化箇所として設定し、ヤング係数を極端に小さく変化させた。それ以外の箇所ではヤング係数を段階的に小さくし、測定値と最も近づくヤング係数を推定する。また振動解析において、要素数を大きくするほど固有振動数は収束していくので(表-4)¹⁾、より解析精度を上げるために要素数を100万程度の2次メッシュに設定した。

(2) 比較結果

解析結果を下の表-3に示す。なお、表内の括弧内は測定値に対する解析値の相対誤差を示す。表-3から、鉛直逆対称一次に着目すると腐朽劣化箇所以外の部材のヤング係数を6割減少させた時に最も測定値に近づき、62.8%減少させた時、測定値と同じ固有振動数となった。このときの腐朽劣化箇所以外の他部材の推定ヤング係数は3.57GPaであった。

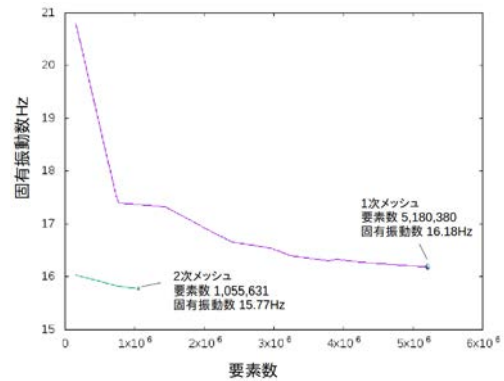


図-4 収束性

表-3 測定値との比較

	他部材のヤング係数減少率	水平一次(Hz)	鉛直逆対称一次(Hz)	鉛直一次(Hz)
測定値(2019年調査)		2.73	8.69	15.38
全て健全		12.30	17.65(103.1%)	21.23
アーチ・縦桁・枕梁の欠損腐朽	0%	10.90	14.24(63.9%)	18.38
	30%	9.12	11.92(37.2%)	15.38
	50%	7.71	10.07(15.9%)	13.00
	60%	6.89	9.01(3.7%)	11.63
	62.8%(3.57GPa)	6.65	8.69(0%)	11.23

5. まとめ

本研究では、木橋の劣化診断において、竣工から34年経過しているかじか橋（上路式アーチ橋）を対象に、各劣化箇所が固有振動数に与える影響を確認した。各種の劣化箇所の組み合わせに対して、部材の劣化は固有振動数に対してある程度の影響を与えるものの、構造性能に大きく関わる支点部や継手部といった重要箇所でも、その影響は小さい。今後は、劣化の範囲を広げて、測定値なみの固有振動数の低減を再現することが課題である。

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）の構造性能と健全度調査, 木材工学論文報告集 19, pp.72-79, 2021/2.