

ウェーブレット解析を用いた橋梁模型桁の損傷判定

山口大学大学院 学生会員 岡田典泰 (株)構造計画 正会員 矢部明人
山口大学大学院 正会員 三村陽一 山口大学大学院 フェロー会員 宮本文穂

1. 背景と目的

現在、高度成長期に建設された多くの橋梁で老朽化が進み、効率的な維持管理が必要とされている。そこで現在、センサを用いて橋梁の損傷状態を把握できるヘルスマニタリングシステムに注目が集まっている。

本研究では、橋梁の損傷状態を評価するために、橋梁模型桁を用い、振動実験を行った。計測した橋梁の加速度データにはウェーブレット解析を適用することで、卓越振動数の減衰について定量的評価を行った。

2. 橋梁ヘルスマニタリング

橋梁ヘルスマニタリングとは、橋梁にセンサを設置し、モニタリングすることで、損傷状態を把握する技術である。本研究は、橋梁の一部の損傷状態を、客観的に判断することを目的とし、振動の加速度を解析することで損傷判定を行った。加速度を計測する理由は、計測データそのものが絶対量であることから、相対量等の抽出がなく、比較的少数のセンサの配置により低コストで橋梁全体の損傷状態を把握できるからである。損傷状態の評価を行うためには健全状態と損傷状態の両方の加速度データが必要である。

3. 橋梁模型桁を用いた実験

本研究では、橋梁の損傷状態の判定を定量的に行うため、健全状態と損傷状態における桁の組み換えが可能な、橋梁模型桁を用いて振動実験を行った。

実験の流れを図1に示す。

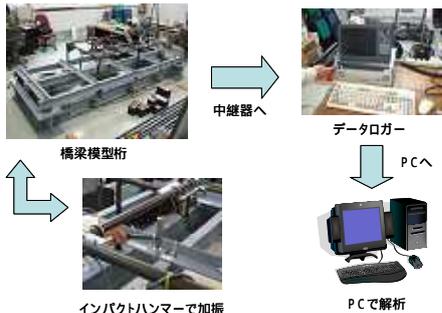


図1 実験の流れ

振動実験は、模型桁をインパクトハンマーで打撃し、模型桁に取り付けた加速度センサによってデータを取得するという流れになっている。模型桁における損傷状態は図2、図3、図4のように、主桁の一部が欠けている状態で再現しており、損傷無し、損傷小、損傷大の3パターンについて検討を行った。橋梁模型桁の場所名称図については図5に示す。本研究では、打撃位置 B1, B2, B3, C1, C2, C3, 計測位置 acc1, acc2, acc3, acc4, acc5, acc6, acc10 において検討を行った。また損傷位置は C3 のみとした。



図2 損傷無し



図3 損傷小



図4 損傷大

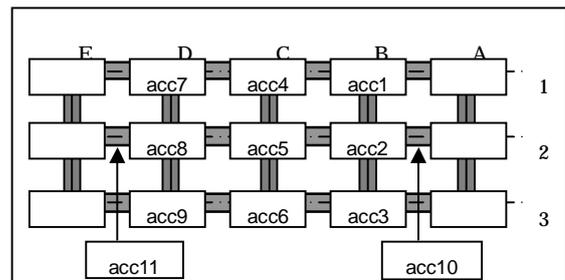


図5 橋梁模型桁場所名称図

4. ウェーブレット解析による検証

ウェーブレット解析とは、周波数及び時間の両者の分解能を兼ねた解析法であり、振動のように時間と共に変化するデータを解析するためには有効な解析法である。本研究では、模型桁による振動実験で得た加速度データにウェーブレット解析を適用した。図6、図7はそれぞれ得られた加速度データとそれをウェーブレット解析したものであり、図8、図9は打撃位置 B2, 計測位置 acc5 の健全状態と損傷大状態を比較したものである。ウェーブレット解析したデータは縦軸に周波数(Hz), 横軸に時間(s), 色の濃度がスカログラムとなっている。スカログラムとは、振動データをウェーブレット変換した2乗絶対値のことであり、周波数毎の振動の強さを示す。

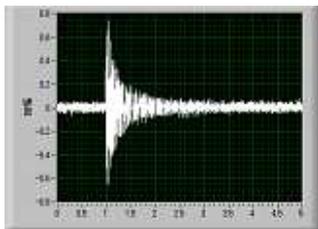


図6 振動データ

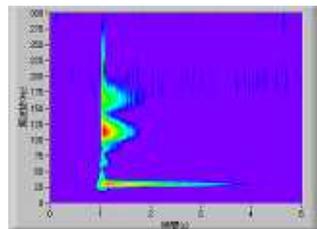


図7 ウェーブレット解析データ

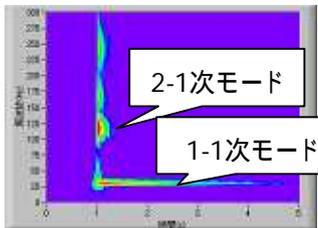


図8 健全状態

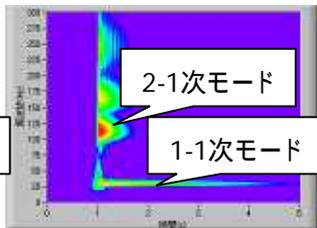


図9 損傷大状態

解析データを見ると、30Hz 付近と 115Hz 付近に周波数が卓越が確認できた。それぞれの卓越周波数を 1-1 次モード、2-1 次モードと呼ぶこととした。また、図 10、図 11 にそれぞれ 1-1 次モード、2-1 次モードにおける時間経過に伴ったスカログラムの過程を示した。この図から、1-1 次モードと 2-1 次モードでは異なった結果が検出され、損傷の有無で卓越周波数におけるスカログラムの減衰過程に規則的な差異が見られた。このスカログラムの傾きを客観的な数値で表すため、指数関数 $y = e^{at}$ となる式で近似した。その a をスカログラムの傾きとして定義し、各センサにおける a について検証を行った。

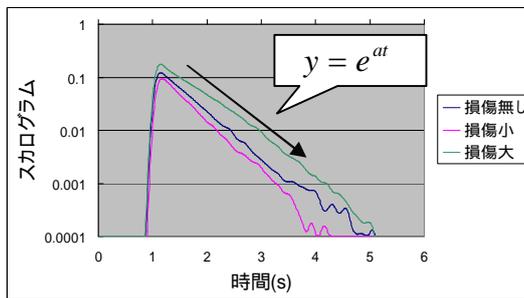


図10 時間経過に伴うスカログラム (1-1 次モード)

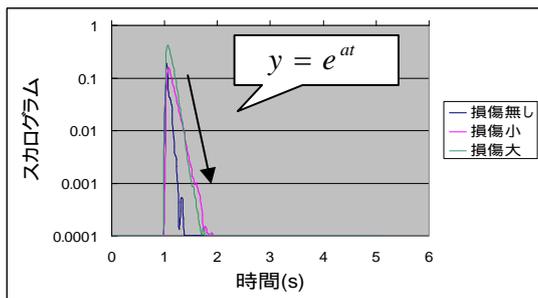


図11 時間経過に伴うスカログラム (2-1 次モード)

5. まとめ

1-1 次モードにおける結果は、図 12 に示す C1 打撃時の acc4 計測した場合と、C3 打撃時の acc3 計測した場合の 2 つを除き、減衰の傾きは損傷小の場合が最小、損傷大の場合が最大となった。また、図 12 の acc4 のように比較的 a が小さくなる場合が見受けられ、合わせて 6 パターン見つかったが、これは全て計測位置が打撃位置もしくは打撃位置に隣接した場所であることが分かった。このような結果から、打撃位置付近では減衰過程に影響が出る結果となった。

2-1 次モードにおける結果は、図 13 に示す B3 打撃時の acc3 計測した場合を除き減衰の傾きは損傷無しが最小となった。しかし、損傷小と損傷大の減衰の大小関係を明確に判別することは難しいと考えられる。1-1 次モードと比較する上で、高次モードでは健全時と損傷時の減衰の傾きに差が付きやすい反面、打撃位置付近での影響が大きい結果を得た。

結果として、特定の固有振動数を対象としたスカログラムの傾きを求めることによって、損傷度合を評価する可能性を示すことができたと考えられる。

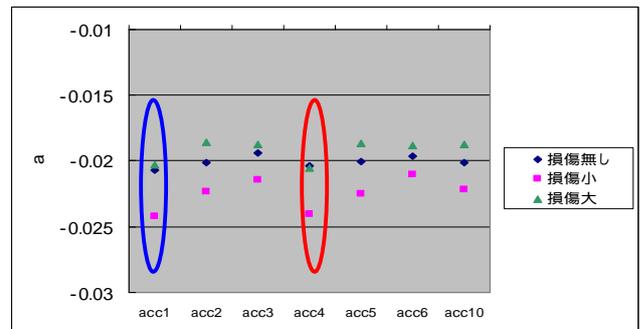


図12 各センサの a の値 (打撃 C1 1-1 次モード)

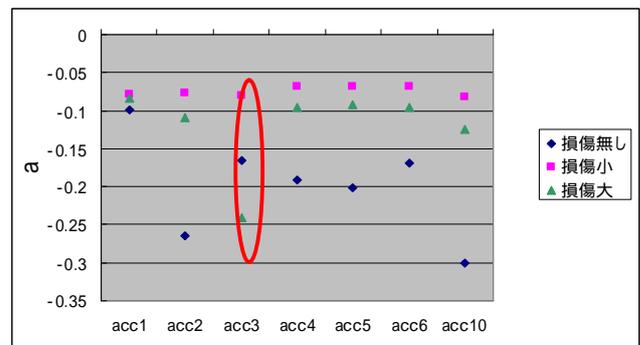


図13 各センサの a の値 (打撃 B3 2-1 次モード)

参考文献

- 1) ウェーブレット解析を応用した構造物周辺の地盤空洞調査, 応用地質, Vol.38, No.6, pp.349-358, 1998