多点振動計測を用いた構造部材の振動可視化による割れ検出の試み

愛媛大学 学生員 〇松 本愛,齊藤 中愛媛大学 正員 森伸一郎,中畑和之

1. はじめに

橋梁の状態を把握するために、振動やひずみ等をモニタリングする研究が、これまで数多く行われてきた¹⁾. 部材の損傷・劣化に伴い、固有振動数が低下することが報告²⁾ されており、継続してモニタリングすることができれば健全度の評価に繋がる. しかし、現況の固有振動数が共用開始時と比べて変化しているかどうかはモニタリングする以外に把握する手段はなく、点検データの無い橋梁の状態を現在の固有振動数だけで評価するのは困難である.

本研究は、地方に散在する中小橋梁の振動計測による診断を効率的に行うことを目指して、都度設置型ポータブルセンサを用いた多点振動計測システムの開発およびその基礎検討を行ったものである。本システムの特徴は、多点で得られた加速度データを変位に換算し、それを CAD 上にマッピングすることで、加振時の構造部材の 3 次元挙動をその場で可視化することである。ここでは、橋梁床版の実試験体(長さ 5m の Reinforced-Concrete(RC) のはり)を対象として、振動の 3 次元可視化と損傷評価を試みた。曲げ破壊の進展時の固有振動数の変化を記録し、また多点計測によって振動モード形状を都度に可視化した。曲げひび割れが進展すると、高次の振動モードの形状が大きく変化することが明らかになったので、それについて報告する。

2. 試験体と動的挙動の三次元可視化システム

構造部材の動的挙動を 3 次元的に可視化する方法については、論文 3)を参照されたい。本研究では、実際の橋梁で用いられた RC はりと同形の実試験体(モックアップ)を作成し、繰り返し載荷試験を行った.試験体の概要を図 $^{-1}$ に示す.スパンは 5000~mm (y 軸)であり、高さは 350~mm(z 軸)である.SD345の主筋 (D19)が 16 本あり、あばら筋 (D10)が 300~mm 毎にたされている.載荷試験は 4 点曲げ試験とし、載荷ジャッキを 30, 60, 90, 120, 150~kN と荷重を徐々に大きくしていく.それぞれの荷重に達したら除荷を行い、振動を計測した後に再び載荷する.図 $^{-2}$ に示すように、試験体の表面に配置したセンサを用いて、多点で同時

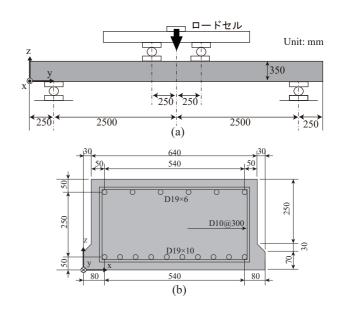


図-1 モックアップ試験片の側面図と断面図

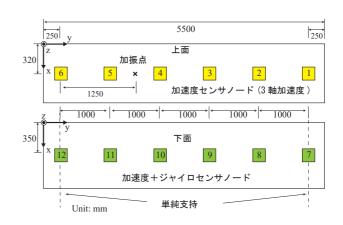


図-2 センサの設置位置

に振動を計測する.

3. 載荷試験における損傷の進展と固有振動数の 変化

載荷試験における試験体のたわみー荷重曲線を図-3(a)に示す.30kN 載荷後に除荷したときのたわみはほぼゼロであり、系としては弾性変形である.しかし、60kN 除荷時から徐々に残留変位が蓄積し、荷重が増加するにつれて、載荷時の曲線の傾きが小さくなっていくのがわかる.各除荷時にひび割れを目視で観察したとき、60kN 載荷後に除荷したときから曲げひび割れが発生し、進展していた.なお、150kN 載荷後の挙動であるが、ジャッキの荷重はそのままで変位が増加し始めた時をRC部材の下側鉄筋の降伏と見なす.そ

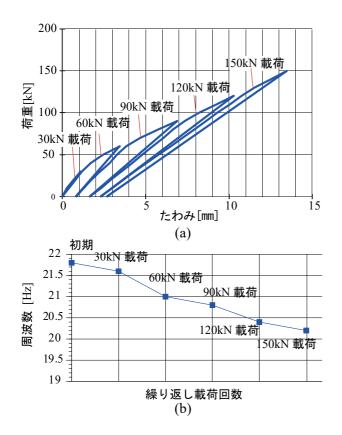


図-3 (a) たわみー荷重曲線と (b) 曲げ 1 次モードの固有振動数の推移

の降伏時の荷重は 236kN であった.

振動計測の結果について述べる.図-2に示すようにセンサ番号4と5の間に加振点を設けた.加振は木製ハンマ(かけや、胴径150mm、重量4.7kg)を、高さ約300mmから落下させて行った.ハンマ加振による振動計測を行う際には、ジャッキ装置を全部取り外して計測を行う.図-3(b)は、繰り返し載荷試験の除荷した状態での曲げ1次モードの固有振動数の推移を示している.損傷が進展するにつれて、固有振動数が単調に減少しているのがわかる.本実験では曲げ1次モードの振動数は、初期状態から約8%低下した.しかし、ひび割れが入り始める60kN載荷後の時点で固有振動数に特徴的な変化はみられず、150kN載荷後の曲げひび割れが半分以上進展した状態においても顕著な変化はなかった.

4. 振動モードの3次元可視化による損傷評価

曲げひび割れの進展に伴うモード形状の変化に着目し、モード形状を3次元的に可視化する.多点に配置した MEMS 加速度センサとジャイロセンサにより取得した信号を積分して変位を計算し、この変形情報をCAD の図面上にマッピングすることで、振動による3次元挙動を可視化する.ここで、特定の振動モード

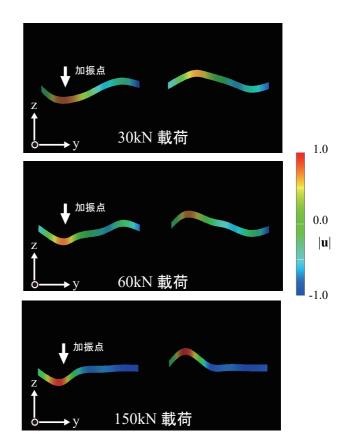


図-4 繰り返し載荷試験時の曲げ2次モード形状の変化

を抽出するために、卓越振動数の前後の振動成分が残るようにバンドパスフィルタ³⁾を作用させた.30kN,60kN,150kN 載荷後の曲げ2次モード形状を可視化した結果を図-4に示す。可視化結果は、各加振時に発生した最大変位で正規化したものを表している。曲げ2次モードの形状は、健全時(30kN 載荷後)と比較して60kN 載荷後にはモード形状が崩れていることが確認できる。150kN 載荷後では加振した側のはり部材のみが大きく振動しており、もはや初期の曲げ2次モードの形状を維持しているとは言い難い。頁数の関係で掲載していないが、ひび割れが進展しても曲げ1次モードの形状はほとんど変化がなかった。

以上より,低次の振動モードでは損傷の検出は難しいが,高次モードの形状を観察することが肝要であることがわかる.このモード形状を精査することによって,損傷の詳細な位置や程度を評価できる可能性がある.

参考文献

- 1) 藤野陽三ら: 巨大構造物ヘルスモニタリング 一劣化のメカニズムから監視技術とその実際まで,エヌティーエス, 2015.
- 2) Salawu, O.S.: Detection of structural damage through changes in frequency: a review, *Engineering Structures*, Vol.19, No.9, pp.718-723, 1997.
- 3) 中畑和之, 高本龍直, 松本愛, 齊藤中, 森伸一郎: 多点 振動計測による RC 部材の動態可視化と損傷評価への応 用, 構造工学論文集, Vol.63A, 2017, 印刷中.