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

愛媛大学

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 300mm 毎に施 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



学生員

正員

○松 本愛, 齊藤 中

森伸一郎, 中畑和之

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.

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. 30 kN 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, 60 kN 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

Key Words: 無線多点計測,振動可視化,モード形状,*RC*はり,割れ評価 〒 790 - 8577 愛媛県松山市文京町 3 愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻,FAX 089-927-9840



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

- 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.