

無線 MEMS センサを利用した多点振動計測システムの RC 部材への適用実験

愛媛大学大学院 学生員 ○松本愛, 学生員 齊藤 中
正 員 高本龍直, 正 員 中畑和之

1. はじめに

橋梁の状態を定量的に把握するために, 各種センサを用いたモニタリング技術が研究されている. その一つに, 橋梁上に多点配置された MEMS 加速度センサから得られる振動データを同時に計測し, 橋梁全体の挙動を 3 次元的に高速表示する技術が提案されている¹⁾. これまで, 歩道橋(鋼橋)で検証が行われているが, ここでは RC 橋に着目し, 本技術を RC 部材の多点振動計測に応用することを試みる. 実験では, 人工的に初期損傷を導入した状態の RC 部材と損傷が無い健全な状態の RC 部材を 1 体ずつ作成した. それぞれ繰り返し載荷試験を行い, 載荷過程における RC 部材の動特性を調べた. ここで, 得られた多点加速度データから固有振動数の変化を観察すると共に, 固有振動モード形状について検討を行う.

2. 波形収集システム

本システムのハードウェアは, 無線センサノード(センサ部, データ転送部)と基地局(無線ルーター, ノート PC)から構成される. センサ部は 3 軸の MEMS 加速度センサを内蔵しており, 測定レンジは $\pm 2.0\text{ G}$, センサ感度は 1.0 V/G である. ナショナルインスツルメンツ社の LabVIEW を用いてセンサノードを制御し, データ収集, 加速度から変位の算出, データの表示, 記録を行えるようなインターフェースを構築している. 今回は 16 機のセンサノードを用いたため, 16 点の 3 軸方向変位データが得られるが, 構造部材の振動を滑らかに表示するためにノード間のデータ補間を行っている. 注目している振動数を考慮して時間方向のデータを間引きながら 3 次元可視化を行う.

3. 計測実験

図-1(a), (b)に示すように, 健全な RC 試験体(健全モデル)と, 底部に初期損傷(削り部)のある RC 試験体(初期損傷モデル)に対して計測を行った. 図-1(c)に示すように, 上面と下面で異なる断面幅を持ち, 鉄筋本数も異なる. ここでは, 削り部の有無による振動挙動を詳しく調べたいので, 上面と下面に図-1(d)のように計 16 機のセンサノードを設置した. サンプル周波数は 1.0 kHz とし, 10.0 Hz から 400 Hz のバンドパスフィルタを設定した. 本実験では, 載荷試

験機を用いて 4 点曲げを行い, 各載荷段階における加速度波形を観察する. 繰り返し載荷パターンを図-2に示す. 1 回の載荷毎に荷重を大きくしていき, 最大で 15 tonf の載荷を行った. 1 回の載荷の後に除荷し, ジャッキを全て取り外して振動計測を行った. 振動計測では, 中央点と, 四分位点をかけやで叩いたときの 2 パターンの加振を行った. かけやで試験体中央の中央点を励振したときの結果を図-3(a)に示す. 載荷前の時点で, 初期損傷モデルの卓越振動数は, 健全モデルに比べて低いことがわかる. また, 繰り返し載荷によって, $20\sim 25\text{ Hz}$ 付近と $230\sim 250\text{ Hz}$ 付近の卓越振動数は低振動数側にシフトしているが, 削り部の有無で減少傾向に大きな違いは見られなかった.

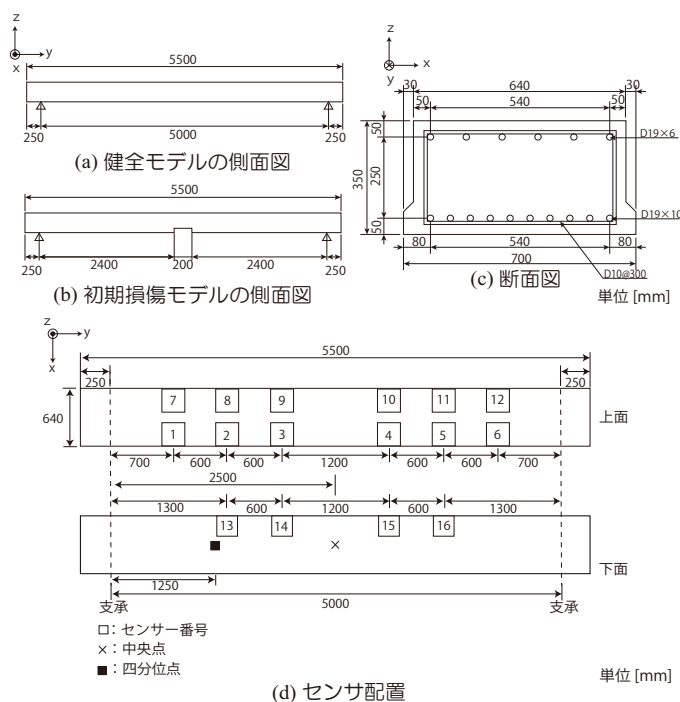


図-1 試験体の概略とセンサ配置.

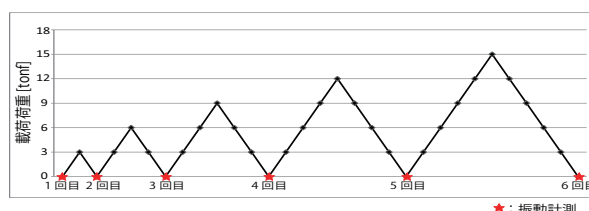


図-2 載荷パターン.

キーワード: MEMS 加速度センサ, 無線振動計測, RC 部材, 載荷試験, 3 次元可視化, 固有振動数モード

連絡先 〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3, E-mail: nakahata@cee.ehime-u.ac.jp

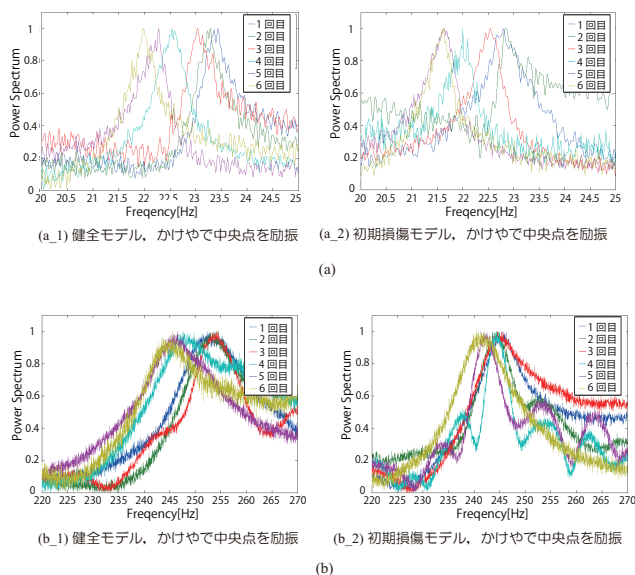


図-3 (a)20~25Hz の振動数, (b)230~250Hz の振動数.

4. 固有振動モードの同定と载荷実験の考察

図-3 の卓越振動数を調べるために、Abaqus(ダッソー・システムズ社) を使用して固有振動解析を行った。解析ではスターラップを無視し、主鉄筋のみが入っている。境界条件は、試験体の底面の両端から250mmの位置で単純支持とした。また、鉄筋(SD345)のヤング率は205GPa、ポアソン比は0.30、密度は7936kg/m³、コンクリートのヤング率は34GPa、ポアソン比は0.23、密度は2436 kg/m³とした。健全モデルでは曲げ1次モードの固有振動数が24.45Hz、曲げ3次モードの固有振動数が218.56Hzであった。初期損傷のある解析モデルでは曲げ1次モードの固有振動数が23.92Hz、曲げ3次モードの固有振動数が213.39Hzという結果が得られた。解析結果から、振動計測で観察された図-3(a)の卓越振動数は曲げ1次モード、図-3(b)の卓越振動数は曲げ3次モードであると推測できる。実験値と正確には一致しないが、両モードとも、初期損傷モデルの固有振動数が健全モデルよりも低いことが示された。

図-3 では、繰り返し载荷と共に固有振動数の低下が見られたが、このときの振動モード形状について検証してみる。無線センサノード16機から得られた3軸の加速度を積分することで変位を算出し、変位データをCAD上にマッピングすることにより試験体の3次元動態の可視化を行う。初期損傷モデルの载荷試験前の可視化結果を図-4(a)に示す。ここでは10.0Hzから400Hzのバンドパスフィルタを作用させている。この図より、3次の曲げモード形状を明確に確認する

ことができた。次に、载荷試験後の試験体の可視化を見ると、図-4(b)に示すように、3次の曲げモード形状が局所的に崩れていることが観察できた。構造部材の劣化に伴って固有振動数が低下するが、どの程度損傷が進行しているかは、固有振動モードの形状を吟味することで把握できる可能性がある。

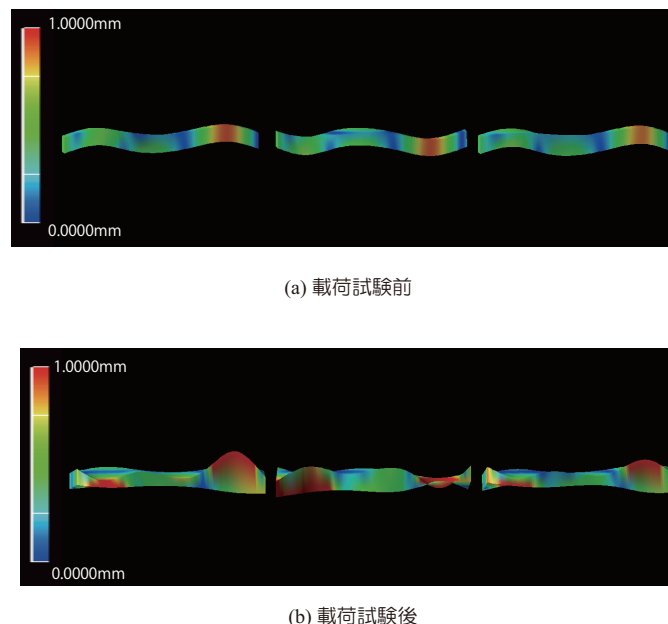


図-4 初期損傷を有する試験体の曲げ3次モードの可視化.

5. 結論

本研究では、MEMS加速度センサを用いた無線計測システムのRC部材への適用性について検討した。ここでは、RC桁のモックアップを作成し、振動計測を行った。初期損傷のない試験体と削り部を有する試験体について繰り返し载荷試験を行い、除荷後に多点で振動を計測した。削り部を有する試験体の卓越振動数は、初期損傷のない試験体に比べ、低いことがわかった。また、構造物の劣化が進行すると、試験体の卓越振動数は低振動数側にシフトすることがわかった。しかし、削り部の有無で減少傾向に大きな違いが見られなかった。そこで、固有振動モード形状に着目したところ、载荷前後で大きく形状が崩れることが分かった。どの程度損傷が進行しているかは、固有振動モードの形状を吟味することで把握できる可能性があるが、詳細な検討は継続して行っていきたい。

参考文献

- 1) 高本龍直, 山口政義, 中畑和之, 大賀水田生, 多点配置された無線センサノードを用いた土木構造物の振動の3次元可視化, 応用力学論文集, Vol.14, I.885-I.893, 2011.