MEMS 加速度センサを用いた道路標識の振動実験

東京理科大　学生員　○灰原　尚正
東京理科大　学生員　　尾崎　大地
東京理科大　正会員　　佐伯　昌之

1.研究の背景と目的

我が国の社会基盤は高度経済成長期に集中的に整備されており，今後，それらの多くが耐用年数を迎える．現状，作業員が現場に赴き目視点検を実施しており，多くの労力と時間がかかっている．そのため，限られた費用で維持管理を行えるようなシステムの開発が必要であると考えられる．そこで，本研究では，道路標識を対象として，MEMS 加速度センサにより振動応答を計測し，異常を検知するシステムの開発を目的とする．これにより 1 次スクリーニングが可能となり，異常と判定されたもののみを点検すればよいとなれば，点検に要するコストの削減が期待される．

2.単柱型道路標識の常時微動計測

まず，道路標識の振動応答の日常的な変動を把握するために，人や車両の通行のない学内に図-1 に示す単柱型道路標識を設置し，単柱部に MEMS 加速度センサを取り付け，常時微振動を計測した．計測は 4 時間ごとに行い，1 回の計測で加速度 3 成分をサンプリング周波数 100[Hz], 計測時間 180[s]で取得した．本研究では，道路標識の主な損傷の原因が根元部分の腐食であることに着目し，その損傷による応答の変化が顕著に表れると考えられる 1 次モードの固有振動数を異常検知指標の 1 つとした．解析には高速フーリエ変換（以下 FFT）を用いた．その結果，日常的なばらつきを示す固有振動数の標準偏差は約 0.01[Hz]となった．一方で，静穏な環境と考えられる学内と異なり，車両の往来が頻繁である一般道路沿いの道路標識においても計測を行った．その結果，固有振動数の標準偏差は約 0.015[Hz]となった．

3.単柱型道路標識の損傷実験

学内に設置した単柱型道路標識の根元部分に損傷を与え，構造異常を再現する実験を行った．ここでは，基礎から 30[mm]の高さまでをグラインダーで段階的に削ることで肉厚を減少させた．損傷実験前後

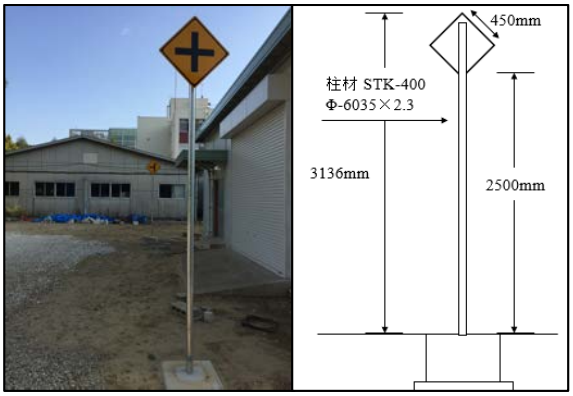

図-1 対象とする道路標識

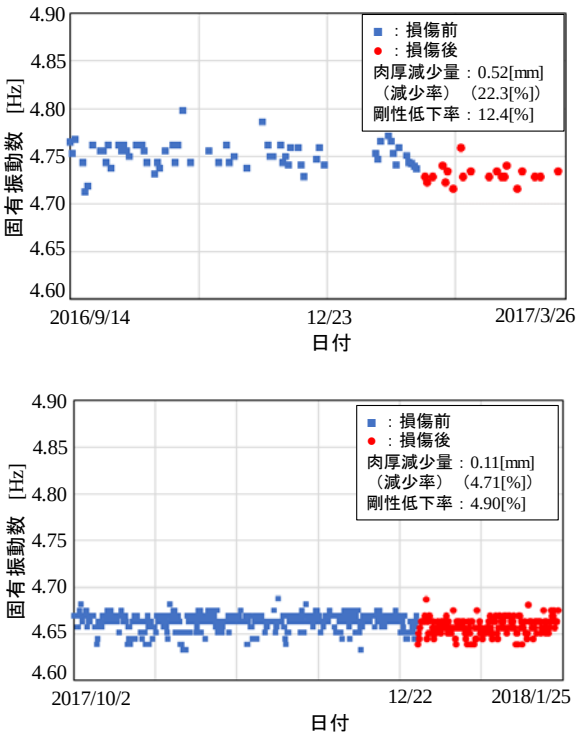

図-2 損傷実験前後の固有振動数の変化
（上段：第 1 回目，下段：第 2 回目）

キーワード：構造異常による固有振動数の変化，パワースペクトル，道路付属物
連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部土木工学科 TEL：04-7124-1501

の固有振動数の変化を図-2 に示す．第 1 回目の損傷実験（2017/1/23~1/27）では，剛性低下率 12.4[%]に相当する肉厚 0.52[mm]を削った．その結果，固有振動数は 0.016[Hz]低下した．これは，ばらつきに埋もれてはいるものの，移動平均をとることで損傷による変動を検知することができた．第 2 回目の損傷実験（2017/12/22）では剛性低下率 4.9[%]に相当する肉厚 0.11[mm]を削った. その結果, 固有振動数は 0.007[Hz]低下した. しかし, これは普段のばらつきに埋もれてしまい，損傷を検知することはできなかった.

4.固有振動数以外の異常検知指標

ここまで異常検知指標の 1 つとして 1 次モードの固有振動数について述べてきたが，固有振動数を推定する際に，加速度のフーリエスペクトルに 2 つ以上のピークが現れると正しいピークを選択できないという問題があった. そこで, ピークを選択する方法の代わりに，パワースペクトルの面積変化から異常を検知することを試みた. 既往の研究として, 阿部ら(2016)によるパワースペクトル面積比 α がある. これは，構造異常が発生した際に加速度のパワースペクトルのピークが低振動数域側に偏って分布することを利用したもので，パワースペクトル全体の面積と任意に設定した低振動数域との面積の比をとることで異常を検知する指標である. 定義より, 異常が発生するとパワースペクトル面積比 α は最小値である 1 に近づく. 本研究では, 低振動数域の下限を 1.0[Hz], 上限を，新たに損傷を与える前の固有振動数の平均値とした．また，全体の面積は，2 次モードのピークを含まない，1.0~20.0[Hz]の範囲とした．この設定で前述した損傷実験前後のデータを解析すると図-3 のようになる. 固有振動数同様, 0.52[mm]の損傷については，パワースペクトル面積比 α が概ね 1 に近づいており，損傷による指標の低下を視認できたが，0.11[mm]の損傷を検知することはできなかった．また, 損傷前後での指標の低下率を比較すると, 固有振動数よりもパワースペクトル面積比 α のほうが顕著であった.

5.まとめ

MEMS 無線加速度センサを用いて道路標識の常時微振動を計測し，固有振動数の日変動をモニタリングした. その結果, 日常的なばらつきを表す固有振動数の標準偏差は約 0.01[Hz]となった. 一方, 一般道路沿いのある 1 本の道路標識を計測した結果，固有振動数の標準偏差は学内の約 1.5 倍であった. 損傷実験の結果，0.11[mm]の損傷は検知できなかったが，0.52[mm]の損傷は検知することができた. また, 損傷前後でのパワースペクトルの面積変化を利用すると，損傷による指標の低下を捉えやすくなる場合もあることが分かった. 今後は, 交通振動のある場所において長期のモニタリングを行う必要がある. また, そのような長期の計測に耐えられるよう，センサの改良を行う必要がある. 特に, 夏季の温度上昇への対策が急務である.

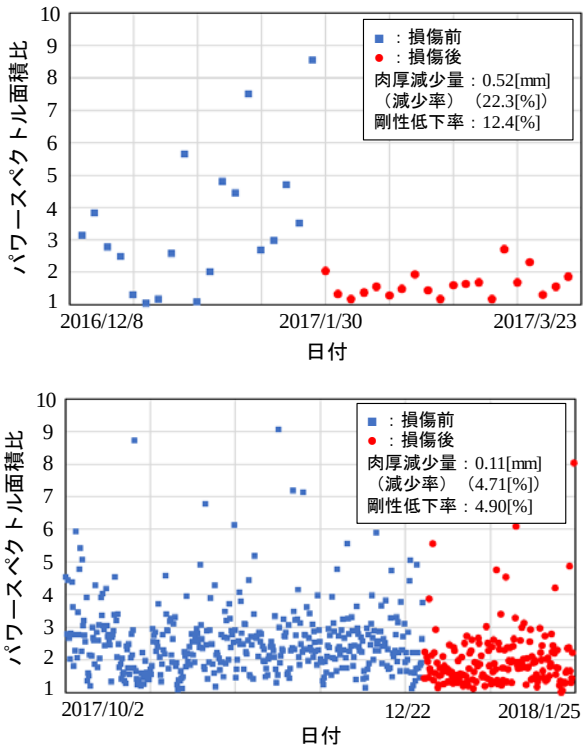

図-3 損傷実験前後のパワースペクトル面積比 α の変化（上段：第 1 回目，下段：第 2 回目）

参考文献

1)尾崎大地，石黒広倫，佐伯昌之：道路標識の固有振動数モニタリングによる異常検知の検証，平成 29 年度土木学会全国大会 第 72 回年次学術講演会，福岡・九州大学伊都キャンパス，2017 年

2)阿部慶太, 名取努, 小湊祐輝, 関口琢己, 山野明義, 王林：固有振動数と相関を有する健全度診断指標を用いた鉄道橋梁橋脚の健全度の状態監視手法，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.72，No.1，21-40，2016