

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

東京理科大 学生員 ○尾崎大地

東京理科大 学生員 石黒広倫

東京理科大 会員 佐伯昌之

1.研究の背景と目的

社会基盤の効率的な維持管理が重要な問題となっている。本研究では、社会基盤の中でも特に数が多い道路標識に着目する。道路標識は、膨大な数に対して目視点検等が行われており、多くのコスト・労力がかかっている。そのため、構造ヘルスモニタリングにより異常を検知できれば、点検業務が効率化できると期待される。

ところで、近年急速に発展する IoT 技術により、長期的なデータの自動取得が容易になり、ビッグデータの解析が可能になった。また、安価な MEMS 加速度センサの普及により、膨大な道路標識への加速度センサ設置が容易になると考えられる。本研究の目的は、これらを組み合わせた異常検知システムの開発である。このシステムでは、道路標識に設置された MEMS 加速度センサにより定期的に微振動を計測する。そして、センサ内で計測した微振動の時系列波形から指標を計算し、この指標をサーバに無線送信する。サーバ側では得られた指標をモニタリングし続け、指標が異常値を示した場合に、その道路標識のみを点検することを想定している。

本研究では、道路標識の振動を長期にモニタリングし、日常的な変動を把握するとともに、実際に構造異常を与え、それに起因する振動の変化を検出することを試みる。

2.道路標識振動実験の概要

人や車両の通行のない学内の敷地を選定し、コンクリートを基礎とする単柱型の道路標識を設置した。設置場所の様子と道路標識の概要を図 1 に示す。本研究では、MEMS 加速度センサとして LIS3DSH(ST Micro 製)を搭載するセンサを自作して使用した。実

験では、このセンサを柱の上部に固定し、風等による常時微振動を一日に一回計測した。ただし、休日または雨天を除く。一回の計測では、加速度三成分を、サンプリング周波数 100[Hz]、計測時間 180[s]で取得した。

3.FFT を用いた固有振動数モニタリング結果

本研究では、道路標識の主な損傷は根元部分の腐食によるものであることに着目し、この損傷による変化が顕著に現れると考えられる 1 次モードの固有振動数を解析した。解析には高速フーリエ変換(以下 FFT)を用いた。FFT では 2ⁿ のデータを解析するこ

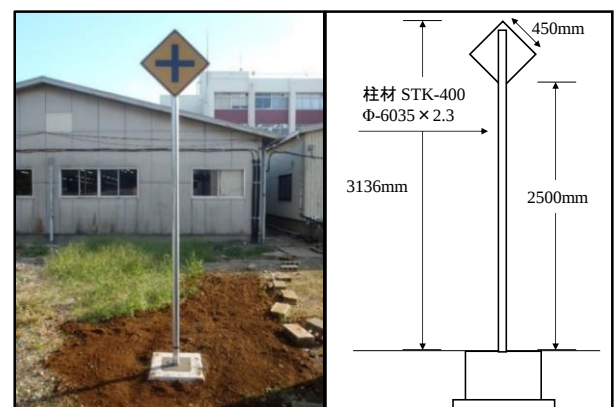


図 1 対象とする道路標識の概要

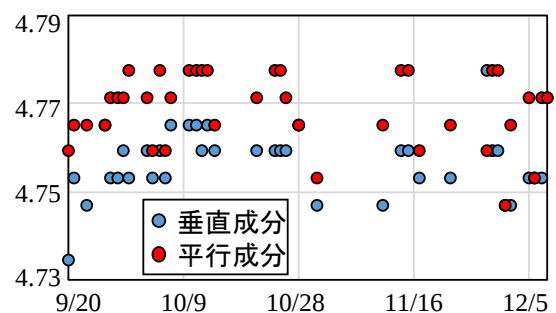


図 2 計測成分別固有振動数モニタリング

キーワード：構造ヘルスモニタリング、構造異常による固有振動数の変化

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

とから、180[s]のデータから 16384 サンプルのデータを抜き出して解析した。そのため、周波数分解能は約 0.006[Hz]である。

2016 年 9/20～12/8 のデータを用いて、看板面に対して垂直、平行の 2 成分の固有振動数を解析し、これを時系列で表示した結果を図 2 に示す。この図から、計測成分によって固有振動数に違いがあることが読み取れる。看板面に対して垂直な成分の固有振動数の平均が 4.757[Hz]であったのに対して、平行な成分の固有振動数の平均は 4.769[Hz]と高い値であった。この差は約 0.02[Hz]であり、それぞれの成分の標準偏差である 0.008[Hz]よりも大きい値である。これより、道路標識の固有振動数には異方性があると言える。また、一つのフーリエスペクトルにおいて、上記の二つのピークが現れる場合があり、道路標識の揺れ方の違い等によって、固有振動数の選択に影響を及ぼす可能性があることがわかった。

4. 損傷実験による固有振動数の変化

3 章で固有振動数モニタリングを行った道路標識に、意図的に損傷を与え、実際に構造異常が発生した際の振動応答を計測した。損傷の与え方は、道路標識の根元から 30[mm]の幅を、グラインダーを用いて削ることで肉厚を減少させた。損傷実験の実施期間は 2017 年 1/23～1/27 で、まず 1/23 では損傷を与えず、翌日からは一日単位で肉厚を約 0.1[mm]ずつ削り、1/27 に 0.4[mm]の減少となるよう段階的に肉厚を減少させた。肉厚減少量の測定は、根元からの高さ 0[m], 15[mm], 30[mm]の外径を各 4 箇所ずつ、計 12 箇所をノギスを用いて計測し、その平均を外径として計算した。また、微振動の計測方法は 2 章と同様であるが、計測頻度は増やし、根元を削った直後から 5 分おきに、計 60 回以上の計測を行った。

実験によって得られた固有振動数を時系列で図 3 に示す。また、実際に削った肉厚減少量、その剛性低下率、固有振動数の平均値、および健全時における固有振動数の平均値からの低下量を表 1 に示す。この結果より、損傷による固有振動数の低下量が、周波数分解能以下となる場合でも、連続的なデータを扱うことにより固有振動数の低下を確認することができる。ところで、この道路標識の根元から 30[mm]の肉厚減少に伴う固有振動数の低下量を、有限要素法に

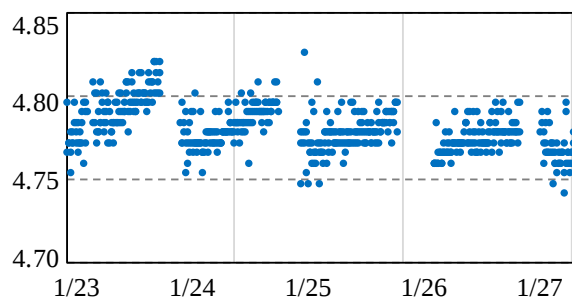


図 3 損傷実験における固有振動数

表 1 損傷実験結果

実験日	1/23	1/24	1/25	1/26	1/27
肉厚減少量 [mm]	0	0.113	0.235	0.386	0.521
剛性低下率 [%]	0	3.83	6.69	9.29	12.35
固有振動数平均 [Hz]	4.781	4.774	4.773	4.770	4.767
固有振動数低下 [Hz]	0	0.007	0.008	0.011	0.014

より計算すると、0.1[mm]の肉厚減少で 0.003[Hz]の固有振動数低下となる。これを表 1 の実験値と比較すると、1/24 では実験値が理論値を大きく上回ることを確認した。また、図 3 を各実験日別に見た時の固有振動数の推移は、固有振動数が時間経過とともに上昇傾向にあることが読み取れ、この特徴の原因を明らかにする必要がある。

5. まとめ

道路標識の固有振動数をモニタリングした結果、道路標識の固有振動数には異方性があり、約 0.02Hz の違いが生じていた。また、道路標識の根元部分を削った損傷実験を行い、固有振動数の平均を取ることにより固有振動数の低下を確認した。

2017 年 1/23～1/27 に行った損傷実験の結果は、短期間で多くの振動計測を行ったものであり、一日一回のモニタリングに比べて固有振動数の変化を視認しやすい。よって、損傷実験後も通常のモニタリングを継続し、損傷実験前後の結果を比較する予定である。

謝辞: 本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究(C)(一般)(課題番号: 15K06192)を得て行いました。ここに記して謝意を表します。