

精密小型加振機を用いた損傷有無判定における基礎的検討

東京理科大 学生員 奥村昂史
東京理科大 会員 佐伯昌之

1. 研究の背景と目的

筐子トンネルの崩落事故を契機に、様々な構造物の点検が進められている。その中でも、道路標識や道路灯は数も膨大であるため効率的な点検手法が求められている。

著者らは道路標識を対象として精密小型加振機を用いた構造ヘルスマニタリング技術の開発を進めている。一般に構造ヘルスマニタリングは、(1)損傷有無の判定、(2)損傷位置の決定、(3)損傷程度の定量化、(4)構造物の残存寿命の推定の4つのレベルに分けられる¹⁾が、著者らはレベル3までを目標に研究を行っている。

本研究では、実際の道路標識に対して実験を行い、レベル1の損傷の有無を判定できるかを検討する。そして本システムにより振動特性の変化をどれくらいの精度で推定できるかを示す。

2. 構造センシング手法の概要

精密小型加振機の写真を図1に示す。精密小型加振機は偏心錘を回転させることによって、遠心力を発生させる。この制御では、周波数を狭い帯域でスイープし、これを一定の周期で何度も繰り返す。精密小型加振機の励起力は偏心錘の位相から計算することができる。また、構造物の応答は精密小型加振機と同期した加速度計で計測し、これをフーリエ変換を使って変位の時系列に変換する。この励起力と変位応答の波形にARX法を適用することによって対象構造物のGreen関数を得る。得られたGreen関数から固有振動数、減衰比、ピーク振幅等の振動特性を推定する。

損傷前後ではこの振動特性に変化が見られるので、その振動特性の変化から、数値モデルを逆解析することによって損傷の位置や程度を同定



図1 精密小型加振機

することを本研究の最終目標としている。

3. 損傷検出実験

実際に、道路標識に損傷を与えて、損傷の前後で、本システムで推定された固有振動数やピーク振幅に変化があるか確認する実験を行った。道路標識は学内に実験のため設置したものを使用した。道路標識の写真を図2に示す。損傷は図2のように肉厚2.3[mm]の鋼管の根元部分を高さ34[mm]、厚さ0.5[mm]削ることで断面欠損を表現した。このときの断面2次モーメントの低下は約20%であった。

計測はそれぞれ午前10時から午後3時までの5時間行い、推定された振動特性の変化を確認した。また、精密小型加振機の変調周波数は3.5[Hz]~6.0[Hz]とし、変調周期は10秒とした。計測器はRION社製のサーボ型加速度計を使用した。標識柱表面の温度を熱伝対によって計測したところ、損傷前後の計測時に大きな違いは見られなかった。

それぞれの計測データに対して推定された固有振動数を図3に示す。今回の解析では1変調周期である10秒間の時系列データに対してARX法を適用し、振動特

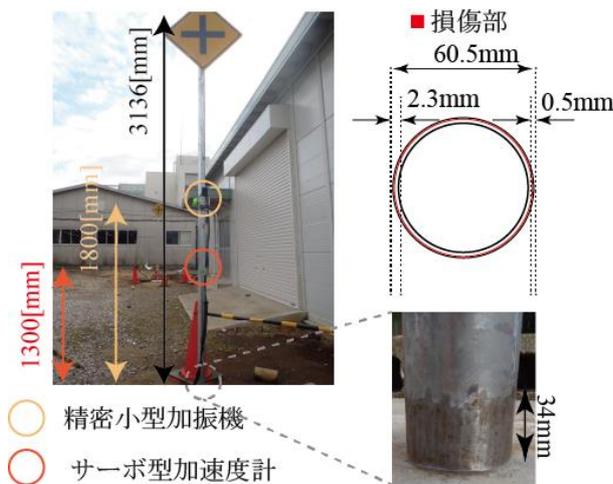


図2 損傷図

キーワード：損傷検出、道路付帯構造物

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

性を推定した。5 時間(18000 秒)の観測を行ったことから、振動特性は 1800 回推定された。

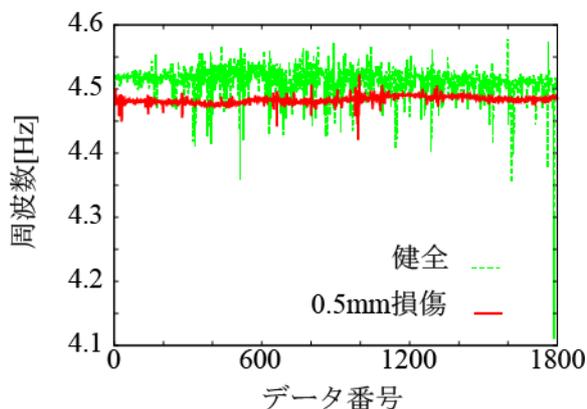


図3 推定された固有振動

健全時の固有振動数の平均は 4.51[Hz]、標準偏差は 0.0196[Hz]であった。損傷を与えた場合は、平均は 4.48[Hz]、標準偏差は 0.00563[Hz]となり、平均の差は 0.0303[Hz]となった。t 検定を行うと P 値は 0 となったので損傷前後で固有振動数には優位な差があり、損傷の有無が固有振動数から確認できたといえる。また、健全時の方が固有振動数の推定にばらつきがあるのは、計測時に風が強かったため、入力値の誤差が大きくなってしまい推定がうまくできなくなったからだと考えられる。

次に、推定されたピーク振幅を図 4 に示す。

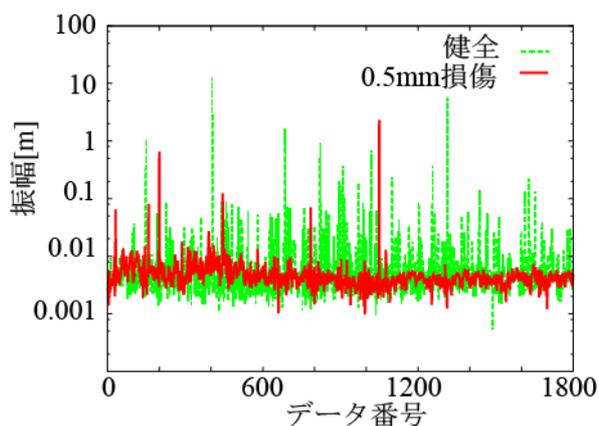


図4 推定されたピーク振幅

健全時の固有振動数の平均は 0.034[m]、標準偏差は 0.400[m]であった。損傷を与えた場合は、平均は 0.0065[m]、標準偏差は 0.0552[m]であった。ピーク振幅の推定値のばらつきが大きいいため、損傷ピーク振幅の変化を確認することはできなかった。ピーク振幅の推定が大きくばらついた原因としては推定された減衰比の推定誤差が大きいためピーク振幅の推定がさらに大きくなっ

てしまったと考えられる。ピーク振幅の推定値のばらつきに偏りがある原因はまだ検討中である。以上から、損傷による振動特性の変化はピーク振幅では見ることができず、固有振動数のみ確認できることがわかった。

4. 数値シミュレーション

3 章で得られた固有振動数の変化が妥当であることを確認するため数値シミュレーションを行った。計算には ABAQUS student edition を使用した。数値モデルとして片側固定端の梁要素を仮定した。損傷部は断面を変化させることによって損傷を表した。また、精密小型加振機設置部、サーボ型加速度計設置部、標識部は要素の密度を増やすことによって質量の増加を表現した。数値シミュレーションによると、健全時の固有振動数は 4.99[Hz]であった。これは実験よりも約 0.5[Hz]高い値であった。これは、数値モデルでは基礎部は固定端を仮定しているが、実際にはしっかりと固定されておらず、僅かに変位や回転を許じてしまっているため数値シミュレーションで計算された固有振動数のほうが実験で推定された固有振動数よりも高くなってしまったと考えられる。

作成した数値モデルで損傷前後の固有振動数の変化は 0.0301[Hz]あり、実験値と比較すると 99%一致していた。また、ピーク振幅では 0.000294[m]の変化があった。これは実験値の標準偏差よりも十分に小さかったため実験ではその変化は確認できなかった。

5. まとめ

実験によって標識柱の断面欠損による固有振動数の変化は確認することができた。しかし、ピーク振幅の変化を確認することはできなかった。また、数値シミュレーションでは、損傷による固有振動数の変化量は実験値とほとんど一致させることができた。しかし、固有振動数が 0.5[Hz]異なるため、まだモデル化には課題が残っていると考えられる。

6. 参考資料

1) Scott W. Doebling, Charles R. Farrar, and Michael B. Prime, A SUMMARY REVIEW OF VIBRATION - BASED DAMAGE IDENTIFICATION METHODS Identification Methods, "the Shock and vibration Digest" volume30, page 91-105,1998