

(38) 道路照明柱に対する加速度センサを用いたスクリーニング方法の検討

巻幡 憲俊¹・高橋 宗昭²・家入 正隆³・津川 拓也⁴

¹正会員 JIP テクノサイエンス (株) (〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町一丁目 2 番 5 号)

E-mail:noritoshi_makihata@cm.jip-ts.co.jp

²非会員 JIP テクノサイエンス (株) (〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町一丁目 2 番 5 号)

E-mail:muneaki_takahashi@cm.jip-ts.co.jp

³正会員 JIP テクノサイエンス (株) (〒532-0011 大阪府淀川区西中島 2 丁目 12 番 11 号)

E-mail:masataka_iciri@cm.jip-ts.co.jp

⁴非会員 (株) NTT データ テレコム・ユーティリティ事業本部 (〒135-8671 東京都江東区豊洲 3-3-9)

E-mail:tsugawatk@nttdata.co.jp

本研究は、道路照明柱を対象とした加速度センサを用いて異常振動を検知するスクリーニング方法を検討する。道路照明柱の 1 次振動成分に着目し、この成分が卓越する加振方法の検討および加速度センサの選定を行う。道路照明柱の振動計測により算出したスペクトル形状の相対比較を行い、スペクトル形状の乱れを検出する。最後に、道路照明柱のスペクトル形状乱れと損傷の関連性について検証する。

Key Words: lighting pole, acceleration sensor, Fourier spectrum, screening

1. はじめに

従来、社会基盤の維持管理においては、橋梁やトンネルなどの構造物本体に対する監視が中心であったが、筐子トンネルの天板崩落事故を契機として、構造物本体が健全であったとしても、付帯構造物の維持管理不足により大きな事故につながる可能性があることが明らかとなった。平成 25 年度に国土交通省から公布された「総点検要領」により、付帯構造物の点検業務が地方自治体レベルに広まりを見せているものの、付帯構造物は非常に数が多く、維持管理が行き届かない状況が発生する可能性が高いため、点検作業の効率化が求められている。

現状の付帯構造物の点検は目視を基本としている¹⁾が、点検員による判断・評価のばらつきが指摘されており、定量的な評価が行える手法が必要である。

そこで、本研究では付帯構造物として数が多い地方自治体が管理する道路照明柱をターゲットとして、ICT 技術(加速度センサを用いた振動計測)を活用した効率的な点検手法およびスクリーニングによる定量的な評価手法について検討する。

2. 加速度センサを用いたスクリーニング方法の検討

(1) スクリーニング方法検討のフローチャート

道路照明柱の多くは長円形、直線形、Y 形タイプに属しており²⁾、類似する形式が多いため、空間的なスクリーニング(類似道路照明柱間の相対比較)が可能であると仮定し、振動計測データから FFT(高速フーリエ変換)³⁾により求められるフーリエスペクトルを用いた相対比較手法を図-1 のフローチャートに基づき検討を行う。

(2) 加速度センサの選定

損傷との関連性があるとされている減衰比⁴⁾を精度よく推定できるように、一般的に知られている MEMS センサよりノイズ密度が非常に少ないものを調査した⁵⁾結果、表-1 に示す加速度センサを選定した。

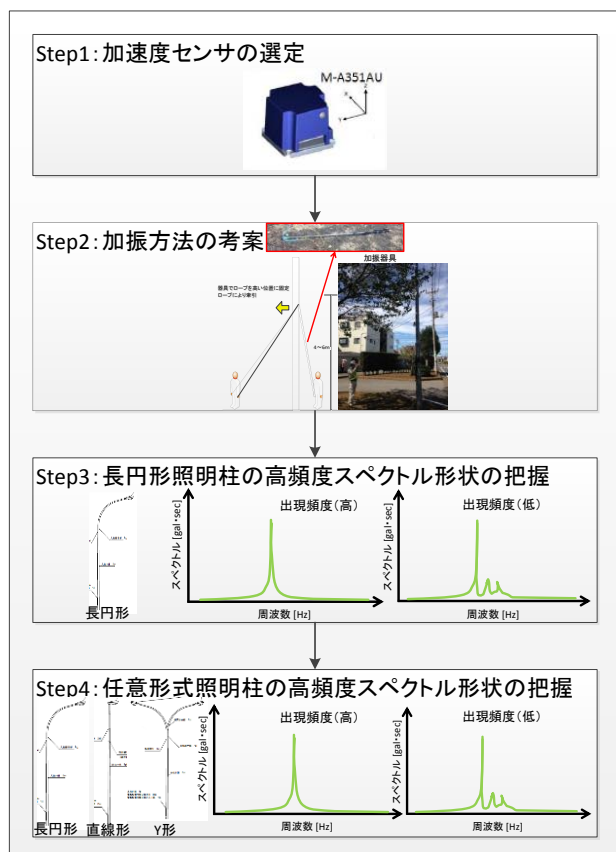


図-1 スクリーニング手法検討のフローチャート

表-1 加速度センサの諸元

項目	加速度センサ
メーカー	EPSON
型式	M-A351AU
測定範囲	±5G
ノイズ密度	0.5μG/√Hz
消費電流	20000μA

(3) 加振方法の考案

類似する道路照明柱の健全性を把握するものとして、構造物の1次の振動状態に着目した。道路照明柱の1次モードが卓越する加振を行うためには、頭頂部付近を加振する必要があるが、供用中の道路照明柱の頭頂部を加振するためには高所作業車等の大掛かりな設備が必要となるため現実的ではない。そこで、道路照明柱の上部を加振する方法について検討を行った結果、可搬性に優れた伸縮可能なロッドの先端にロープを取り付けた器具を製作し、この器具を用いて道路照明柱の上部（基部から4.5～5mの高さ）を牽引する、図-2に示す加振方法を考案した⁵⁾。

頭頂部に近い箇所が加振可能な方法を採用した結果、1次固有振動数および減衰比推定結果がバラツキにくいことを確認した⁵⁾。

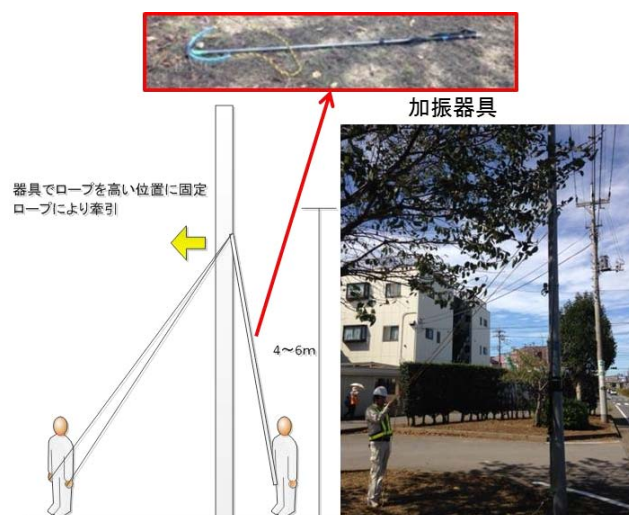


図-2 加振方法

3. 長円形道路照明柱の高頻度フーリエスペクトル形状の把握

道路照明柱の1次固有振動数付近のフーリエスペクトル形状に着目し、比較的多数の道路照明柱のフーリエスペクトル形状を相対比較することにより、出現頻度の高いフーリエスペクトル形状を把握する。このフーリエスペクトル形状を基準として、出現頻度の低いフーリエスペクトル形状が現れる道路照明柱は何らかの損傷が疑われるものとしてスクリーニングできることになる。

計測対象とする道路照明柱は全て同一形式（支柱形式：長円形，基部形式：ベースプレート型，高さ：8m）とし、点検調書から供用中のものを調査した結果、A市内の道路照明柱（11本）を選定し、高頻度フーリエスペクトル形状把握に関する基礎検討を実施した。

振動計測のサンプリング周波数は200Hz、計測時間は道路照明柱の減衰が収束する6分/回とした。道路照明柱1本あたりの計測回数については、1次固有振動数付近のフーリエスペクトル形状に再現性があるか確認する目的で、繰り返し3回の計測とした。

(1) 高頻度フーリエスペクトル形状の把握

各道路照明柱に対して振動計測によりフーリエスペクトルの算出を行った結果、図-3のとおり11本中7本の道路照明柱において、1次固有振動数のフーリエスペクトルが左右対称の形状であった。したがって、出現頻度が高いフーリエスペクトル形状は、図-4のような左右対称の形状であることを把握した。

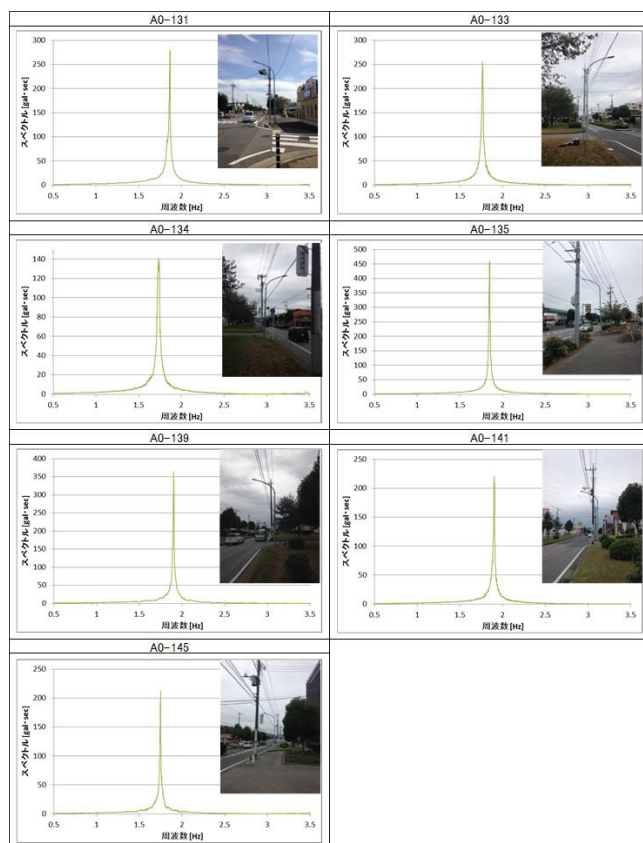


図-3 左右対称のフーリエスペクトル形状 (7/11 本)

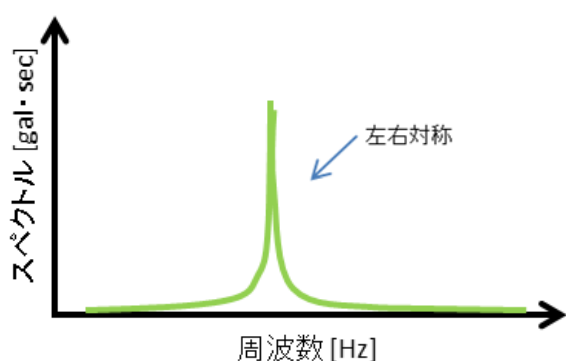


図-4 高周波のフーリエスペクトル形状

(2) フーリエスペクトル乱れと損傷の関連性

一方、図-5 に示す 11 本中 4 本についてはフーリエスペクトル形状に乱れが生じたことから、4 本について二次調査を行った結果、図-5 に示すような、へこみ、基礎部のひび割れ（沈下）、腐食等何らかの損傷が生じていることを確認した。フーリエスペクトル乱れの特徴として、図-5 に示すように、へこみ・傾斜がある場合はフーリエスペクトルが分離する傾向にあり、腐食している場合はフーリエスペクトルが広がる傾向にあることを確認した。

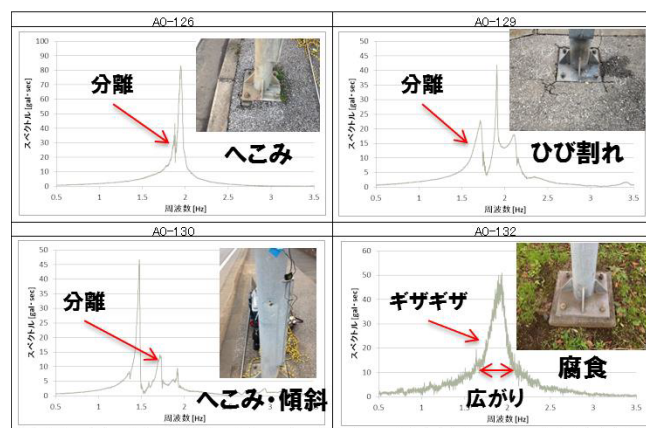


図-5 フーリエスペクトル形状乱れの特徴 (4/11 本)

4. 任意形式道路照明柱の高周波フーリエスペクトル形状の把握

計測対象の道路照明柱種別を①長円形、②直線形、③Y形の3種類に拡張し、基部形式についても①埋め込み、②ベースプレートの2種類として^{1),2)}、それぞれの形式に対して出現頻度の高いフーリエスペクトル形状を把握するための実証実験を実施した。

A市およびB市を実証フィールドとして、計測対象の道路照明柱を自治体で供用されているものからランダムに抽出し、約150本を計測した。計測結果およびフーリエスペクトルの形状を集計した結果を表-2に示す。

(1) 各型式の高周波フーリエスペクトル形状の把握

出現頻度の高いフーリエスペクトル形状は、道路照明柱の形式に依存するかについて調査を行った。各形式における高周波なスペクトル形状を確認した結果、図-6に示すとおり、いずれの道路照明柱形式であっても左右対称のフーリエスペクトル形状が得られていたことから、高周波なフーリエスペクトル形状は道路照明柱の形式に依らず左右対称の形状であることを確認した。

(2) フーリエスペクトル乱れと損傷の関連性

フーリエスペクトルに乱れが生じた道路照明柱に対して、基礎検討時と同様に何らかの損傷が発生しているか二次調査を行った。その結果、A市で4本中1本、B市で22本中8本について損傷を確認し、フーリエスペクトル乱れの傾向も基礎検討時と同様の傾向であることを確認した（図-7 参照）。今回の実証実験では、フーリエスペクトル乱れが生じた道路照明柱のうち、26本中17本については目視レベルでの損傷が確認できなかったため、引き続き道路照明柱内部および路面境界下部の腐食の有無等を追加調査し、フーリエスペクトル乱れの原因を特定する予定である。

表-2 フーリエスペクトル形状の左右対称／乱れありの本数

市町村名	A市					
支柱形式	長円形		直線形		Y形	
基部形式	埋込	ベース	埋込	ベース	埋込	ベース
左右対称	11	32	13	11	11	5
乱れあり	0	4	0	0	0	0
小計	11	36	13	11	11	5
計	87					
市町村名	B市					
支柱形式	長円形		直線形		Y形	
基部形式	埋込	ベース	埋込	ベース	埋込	ベース
左右対称	38	0	10	0	1	0
乱れあり	14	1	7	0	0	0
小計	52	1	17	0	1	0
計	71					

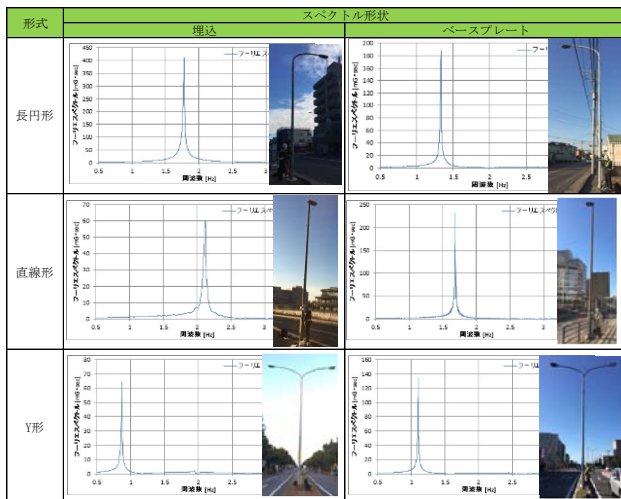
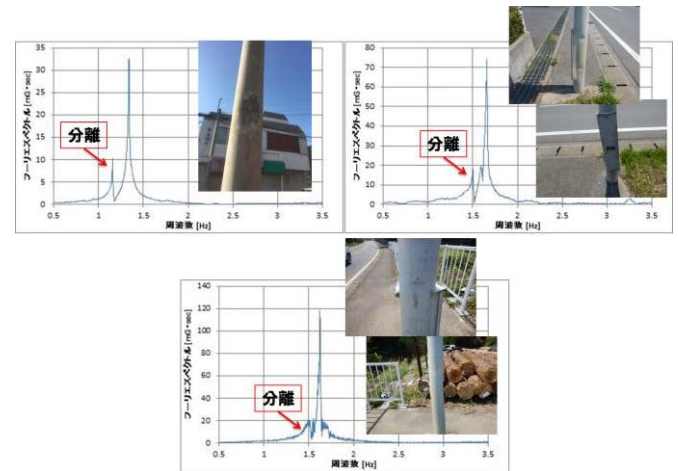


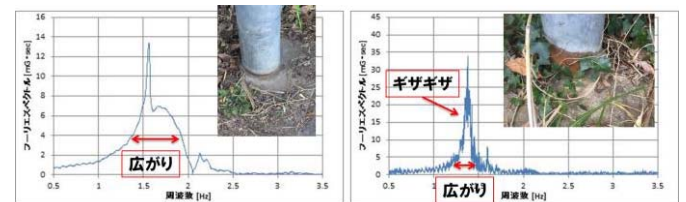
図-6 各形式の乱れなしのフーリエスペクトル形状

5. まとめ

本研究では、道路照明柱を対象として、加速度センサを用いて異常振動を検知するスクリーニング方法を検討した。振動計測により算出したフーリエスペクトル形状から、道路照明柱の形式によらず左右対称の場合は健全性が高いこと、乱れが生じる場合は何らかの損傷が発生している可能性が高いことを確認したが、フーリエスペクトル形状に乱れが生じたすべての道路照明柱に対して原因を特定するまでには至らなかった。今後は、フーリエスペクトル乱れの原因が特定できなかった道路照明柱に対して追加調査を行い、目視点検では見逃す恐れのある損傷を検知できる手法として確立を目指す。



(a) フーリエスペクトル形状の分離とへこみ・傾斜



(b) フーリエスペクトル形状の広がりと腐食

図-7 フーリエスペクトル乱れと損傷

謝辞：本稿は、（国立研究開発法人）情報通信研究機構（NICT）の高度通信・放送研究開発委託研究（採択番号 178B02，課題名：道路付帯構造物のセンシングおよび診断方法の研究）において採択され実施いたしました。

千葉市役所ならびに銚子市役所からは、管理する道路照明柱の点検結果の閲覧，振動・板厚計測のためのセンサの設置をさせて頂きました。この場を借りて謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：附属物（標識、照明施設等）点検要領，2014。
- 2) 玉越隆史，星野誠，市川明弘：道路附属物支柱等の劣化・損傷に関する調査，<<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounnn/tnn0685pdf/ks0685.pdf>>，（入手 2014.11.6）。
- 3) James W. Cooley and John W. Tukey：An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series, *Math. Comp.* 19, pp.297-301, 1965.
- 4) 吉岡勉，原田政彦，山口宏樹，伊藤信：斜材の実損傷による鋼トラス橋の振動特性変化に関する一検討，構造工学論文集 Vol.54A, pp.199-208, 2008.
- 5) 巻幡憲俊，高橋宗昭，狩野正人，家入正隆，津川拓也：加速度センサを用いた道路照明柱に対する風振動による疲労損傷度評価に関する検討，土木学会論文集 F3（特集号）Vol.72, pp.112-121, 2016.