

高架橋照明柱における計測波形を用いた構造解析パラメータの同定

名古屋工業大学大学院 正会員 ○海老澤健正

名古屋工業大学大学院 学生員 正山 寛

名古屋工業大学大学院 正会員 後藤 芳顕

1. はじめに： 都市内高速道路等の高架橋においては、走行荷重による路面振動に起因する照明柱の振動が問題となっている。特に、照明柱灯具部における過大な加速度による電球寿命の低下や基部における疲労破壊が懸念されている。これらの現象を解析により評価するためには、路面振動を入力波とする時刻歴応答解析から照明柱に発生する振動振幅を求める必要がある。

しかし、照明柱の振動はその固有モードにおける共振現象によって支配されており、その振動波形や最大振幅は固有振動数等のパラメータのわずかな誤差でも大きな変化が生じてしまう。そこで、本研究では計測された照明柱振動データから最適化手法により照明柱の固有振動数、減衰定数等を同定し、時刻歴応答解析による予測可能性の検討を行う。

2. 振動計測： 都市内高速道路の高架橋上の照明柱を対象に振動計測を行った。計測項目は図-1 に示すように照明柱振動としての基部ひずみ、路面からの入力振動としての基礎部加速度である。照明柱面内方向(橋軸直角・鉛直方向)の振動が卓越すること、面内振動と面外振動は基本的には独立であることから、ひずみについては面内の内外2ヶ所の直ひずみ、加速度については鉛直方向、面内水平方向の並進加速度および面内回転加速度を計測している。

計測結果の一例を図-2、図-3 に示す。照明柱の振動は2次モードが主であり、1～3次モードでほぼ表されることがわかる。また、路面からの入力加速度としては鉛直成分が最も大きいものの、水平成分や回転成分も比較的大きく時刻歴応答解析においてはこれら3成分を外力として考慮する必要があると考える。

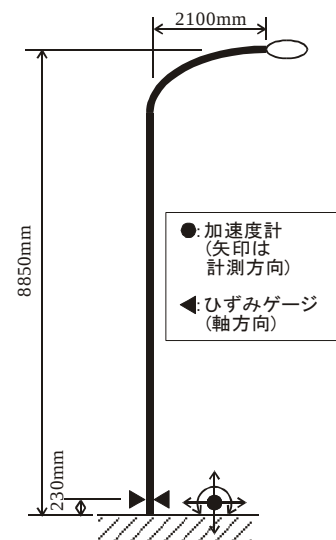


図-1 対象照明柱

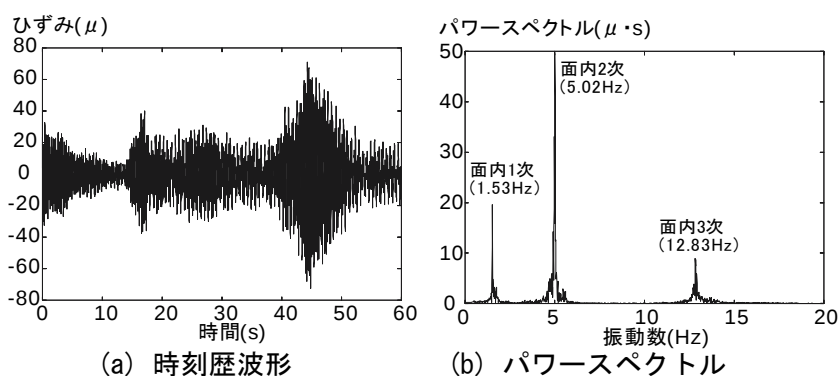


図-2 照明柱計測ひずみ

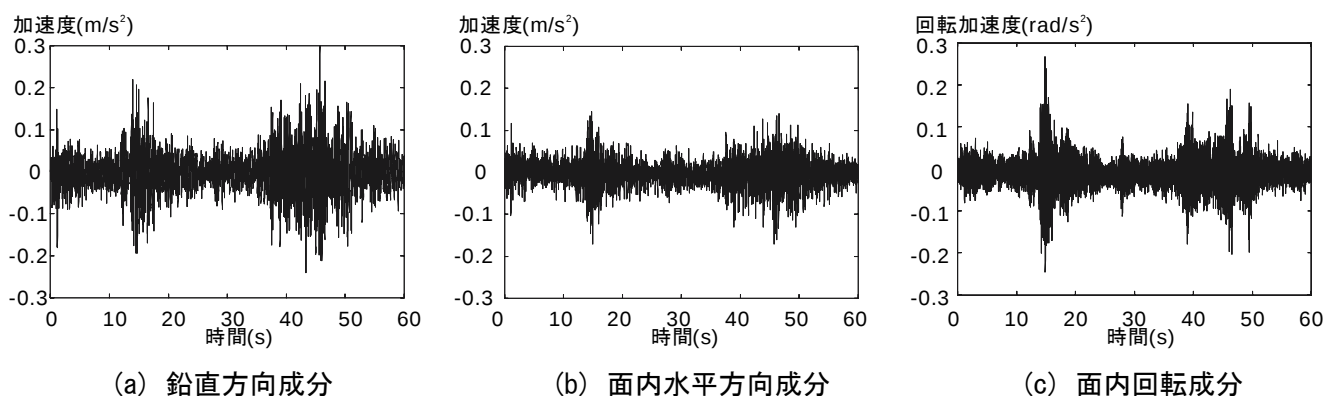


図-3 計測加速度

キーワード： 照明柱、振動解析、最適化、時刻歴応答解析、走行荷重

連絡先： 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 Tel: 052-732-2111

3. 最適化手法によるパラメータの同定:

照明柱の振動は、少数の低次のモードに支配され、また振幅レベルは幾何非線形が無視できる範囲にあることから、各振動モードの重ね合わせで表現することが可能である。そこで、1 自由度

系動的応答解析の重ね合わせによる数値解析と計測による基部ひずみの誤差(変動係数)を最小とするように、照明柱の構造パラメータの同定を行う。同定するパラメータとしては、固有振動数、減衰定数および1 自由度系から基部ひずみへ変換するための換算係数(刺激係数に各モードでの基部ひずみを掛けたもの)とし、卓越する1 次～3 次モードについてそれぞれ算出する。なお、換算係数については刺激係数が各モード各入力加速度方向に対し定義されるため、パラメータ数は計 15 個となる。なお、最適化手法には Powell 法(方向集合法)を用い、得られる固有振動数の重複を避けるため 1～3 次の固有振動数に対しそれぞれ 0.5～2.5Hz, 4～6Hz, 11～15Hz の範囲に限定する制約条件を加えている。

4. 解析結果: 同定されたパラメータを表-1 に示す。なお、これらの値は異なる時刻に計測された 3 個のデータから同定された値の平均としている。

固有振動数については、計測データから FFT を用いてパワースペクトルを求める方法と、構造解析での固有値解析による方法について比較を行う。構造解析については、照明柱をはり要素およびシェル要素を用いてモデル化を行ったものである。最適化手法で得られた値は構造解析での値よりも 2%程度小さい値であるが、FFT での値とはほぼ一致した。また、FFT での振動数の分解能は 0.017Hz 程度であるのに対し、最適化手法では約 0.002Hz の誤差に収まり、より精度よく同定できたと考えられる。

減衰定数では、FFT により計測波形をモード毎に分解後、ランダム外力の加わる構造物の減衰定数を求める手法である RD 法¹⁾を適用し比較を行った。その結果、最適化手法による値は RD 法に比べて 1/3 から 1/6 程度の値となっている。よって、RD 法による減衰定数では振動振幅を過小評価すると考えられる。

1 自由度系から基部ひずみ値を求める換算係数については、先述の固有値解析と比較する。最適化手法による値は固有値解析での値に比べて大きく、卓越する 2 次モードでは 1.3 から 3.4 倍程度となっている。

また、最適化手法により同定された値の検証として、同定に用いた計測データとは異なる時刻における入力加速度に対して時刻歴応答解析を行った。図-4 は最適化手法による値を用いた場合と、構造解析による固有振動数と換算係数、RD 法による減衰定数を用いた場合での発生する基部ひずみの包絡線を比較したものである。構造解析と RD 法によるものでは波形が全く異なり特に振幅の大きい 10～30 秒付近でのひずみが小さく現れているのに対し、最適化手法では振動波形や最大振幅が計測結果とほぼ一致している。よって、最適化手法による同定値は対象照明柱の構造特性を精度よく表現するものであると考える。

5. まとめ: 本研究では照明柱の振動計測データから最適化手法により固有振動数、減衰定数、換算係数を同定した。その結果、固有振動数は FFT の結果とほぼ一致し精度よく求められたが、減衰定数、換算係数については構造解析と RD 法での値とは異なる結果となった。しかし、時刻歴応答解析においては、構造解析と RD 法により求めた値を用いた場合には照明柱に発生する基部ひずみを過小評価するのに対し、最適化手法による同定値を用いた場合では計測結果を精度よく再現することができた。

謝辞 照明柱振動計測に際しては、名古屋高速道路公社前野裕文氏、片桐英喜氏、(財)名古屋高速道路協会杉原良紀氏に多大なご協力を賜りました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献 1) 田村ら、日本建築学会構造系論文報告集、第 454 号、pp.29-38

表-1 同定パラメータ

(a) 固有振動数 (Hz)				(b) 減衰定数 (%)			
モード	1次	2次	3次	モード	1次	2次	3次
最適化	1.533	5.010	12.899	最適化	0.083	0.120	0.116
FFT	1.533	5.017	12.833	RD法	0.263	0.396	0.638
構造解析	1.573	5.150	13.163				

(c) 換算係数 (μ)									
モード	1次			2次			3次		
方向	鉛直	水平	回転	鉛直	水平	回転	鉛直	水平	回転
最適化	7107	2753	2459	10818	10071	16091	124	31981	29717
構造解析	502	2571	20009	3207	3820	12796	4047	11678	24927

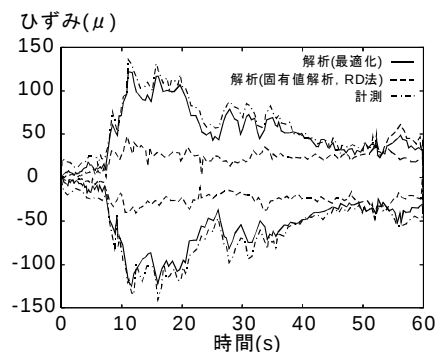


図-4 時刻歴応答の包絡線