

道路橋上照明柱の振動応答に及ぼす交通荷重の影響

Effects on traffic loading for dynamic response of lighting poles on highway bridges

飯田 毅*・河野 健二**・伊津野 和行***・宇高竹和****

Takeshi Iida, Kenji Kawano, Kazuyuki Izuno, Takekazu Udaka

*工博 大阪産業大学教授 工学部 (〒574-8530 大阪府大東市中垣内3-1-1)

**工博 鹿児島大学教授 工学部 (〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1-21-40)

***工博 立命館大学教授 理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

****Ph. D (株)地震工学研究所 (〒162-0067 東京都新宿区富久町2-19-108)

Lighting poles are secondary structures on bridges, but play an important part in traffic safely. In order to design lighting poles, the vibration of the bridge must be taken into account as a design loading for the poles. The dynamic response of the bridge due to time varying traffic loading must be assessed. In the present study, deconvolutional analysis is used to assess the bridge structure vibration due to traffic, and the consequent dynamic response characteristics of lighting poles. It is shown that bridge vibration plays a significant role in the reliable design of lighting pole structures.

Key Words: *dynamic response of lighting pole, traffic loads, vibration of bridge structure, deconvolutional analysis*

キーワード: 照明柱の振動応答、交通荷重、橋梁振動、逆合積解析

1. 緒言

道路橋付属構造物である照明柱は、死荷重と風荷重を考慮した弾性設計がなされている¹⁾。1995年阪神・淡路大震災では、道路橋本体の被災もさることながら、道路橋に設置された照明柱にも被害が見られた^{2),3)}。特に、道路高架橋被害のほとんどなかった大阪地区で100本以上の照明柱が被害を受けたのが特徴である。被害形態は路面から1~2mの位置に設けられた安定器収納用開口部の座屈変形がほとんどである。高架橋ではない一般工部に設置された照明柱に被害がなかったことと考えあわせ、高架橋との共振現象が大きな被害原因になったと推測されている³⁾。このため照明柱の設計では、動的特性の把握が重要であると考えられる。

阪神・淡路大震災の後に改訂された道路橋示方書ではゴム支承の利用が基本とされ⁴⁾、また、単純桁の連続化による耐震補強も全国的に進められるなど、震災前とは高架橋の交通振動特性が異なってきた⁵⁾。一方、照明柱も従来の曲線を基調としたデザインのもの(以下、曲線型)から、直線的なデザインのもの(以下、直線型)が主流となり、固有振動数も固有振動モードも変化している。しかし、交通荷重による照明柱の動的応答に関して、これまで十分検討されてきたとは言えない。支承の弾性化、交通荷重の重量化などの影響で、車両走行に起因した道路橋の振動によって照明柱が以前よりも振動し、照明柱基部の疲労損傷、灯具の短命化などが懸念されている。

同種の付属構造物である標識柱については、既に種々の検討が

なされており^{10)~11)}、付属構造物の振動は、設置されている道路橋の振動特性に依存していることが明らかにされている。しかし照明柱は、標識柱(門型、F型など)より一般に剛性も質量も小さいこと、減衰性も小さく共振しやすいこと、機能性や景観からデザインされて一定区間同種の柱が用いられること等の特徴があり、また、電気関連の部署で設計され道路橋の設計情報がほとんど伝わらないことも挙げられ、標識柱とは異なる問題もあり得ると思われる。本解析では、交通荷重による道路橋上照明柱の振動応答評価を目的として、

- ① 実測データの存在する橋梁の固有振動解析
- ② 実測データから逆算された走行荷重による橋梁の応答解析ならびに実測値との比較検討
- ③ 照明柱の走行荷重による応答レベルの把握

などを行い、交通荷重を受ける道路橋上照明柱の動的挙動の解明と動的設計手法の確立のための基礎的な検討を行った。一般に、交通振動における単径間橋梁高次振動モードの影響は小さいという指摘もあるが、固有周期によっては橋梁付属構造物への影響が懸念される場合もある¹³⁾。そこで本研究では、詳細なFEMモデルを用いることとし、そのモデルに基づいた振動シミュレーションによる照明柱の動的応答評価について検討した。

その結果、照明柱の立設位置を考慮した入力振動の評価を行うことで、照明柱の振動計測を行うこと無しに応力などの振動応答量を推定することができ、交通荷重による照明柱の安全性評価が解析的に可能になることを示した。

2. 道路橋の振動計測概要

2.1 振動計測システム

本解析では、過去に振動計測が行われたデータを用いて、橋梁のモデル化と固有振動解析、車両動荷重の設定及び設定動荷重による橋上照明柱の振動応答の検討などを行っており、ここで簡単に計測概要について触れる。

振動計測が行われた橋梁は阪神高速3号神戸線の神P417～P418（上り線大阪行）間で支間30m、単純合成I桁形式（RC床版、I桁6本、ゴム支承）であり、橋脚はT型である。橋上には門型標識柱が1基設置されている。本橋梁は大型車両の通行量が多く、上下合わせて4車線を有している。

橋梁の計測データとしては、主桁3箇所、門型標識柱基礎部2箇所の計5箇所であり、加速度計測が行われ、支間中央の主桁のみ水平方向2、鉛直方向1の3成分、他は鉛直方向1成分である。使用計測機器は、圧電型加速度計（15G、周波数範囲0.2～8KHz）であり、電荷増幅器を通してデータレコーダーに記録されている。橋梁の概要と加速度計測位置を図-1に示す。以下においては門型標識柱の存在を考慮して検討しているが、ここでは門型標識柱を除いた測点配置図とFEM解析モデルを図-2に示す。

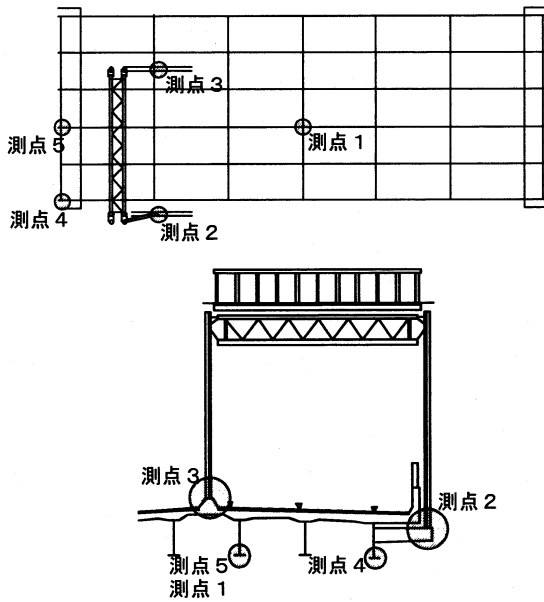


図-1 橋梁概要と振動計測位置

2.2 振動計測結果の概要

走行車両のビデオチェックと計測データとの照合を行なった結果、走行パターンとして27ケースのデータが得られていることが分かった。測点1での加速度波形を走行車線単独の走行パターンの例として図-3に示す。但し、橋梁の振動を扱う関係から0.5～10Hzのフィルタリングをかけている。この波形を周波数分析すると橋梁の卓越振動数は3.27Hzであった。また、計測時での各走行パターンに対して鉛直方向最大加速度値を測点1、測点5について、プロットすると図-4のようになる。測点4での応答値は測点5と同傾向につき省略している。図-4の縦軸値の比較より、支間中央の測点1が測点5より大きな振動を示しており、

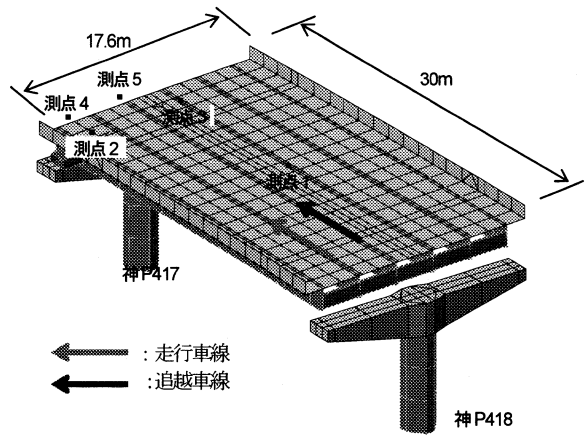


図-2 測点配置図とFEM解析モデル（阪神高速3号神戸線）

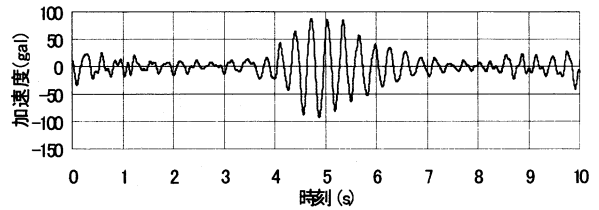
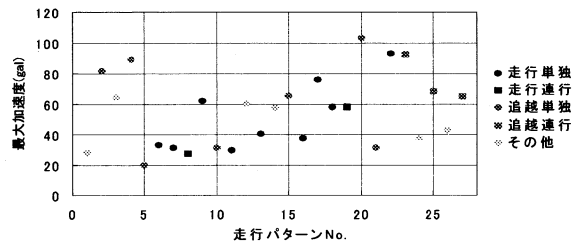
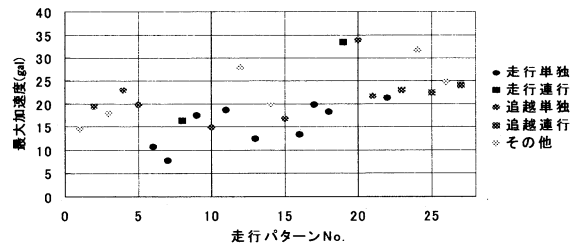


図-3 加速度計測波形（測点1、単独）



(a) 測点1



(b) 測点5

図-4 走行パターンによる最大鉛直加速度応答

橋梁が単純梁におけるたわみ振動をしているためと考えられる。最大加速度に関しては、測点1では追越車線単独走行で103galを、走行車線単独で92galを示した。本計測時は交通荷重はランダムな状態にあり厳密なことは言えないが、本計測区間は重量車両が多く通行する車線区でもあり通常の主要な車種が走行していたと考えて良いと判断される。図-4より、概括的に述べると車両走行により支間中央の測点1では20gal～100gal位、支点部近傍の測点5（含む測点4）で7gal～35gal位の最大加速度値を示した。

3. 橋梁のモデル化

3.1 モデル化

振動計測が行われた橋梁の解析には3次元FEM汎用プログラムのMIDAS GENを使用した。モデル化は桁及び門型標識柱ははり要素（一部トラス）、床版及び橋脚補強板は板要素、橋脚はソリッド要素で構成しており、境界条件は橋脚基礎を固定した。また、それぞれの橋脚には、積載荷重として隣接橋梁の重量の1/2を付加し、門型標識柱上部にも歩廊部重量を付加した。本橋梁は僅かに曲線かつ勾配を有しているため、それを考慮してモデル化し計測値との比較を以下で実施している。

3.2 固有値解析

支承部の剛性変化が橋桁全体の固有振動数に与える影響は大きいと考えられる。支承条件として、橋軸・橋軸直角方向を完全剛とし、鉛直方向にゴム支承設計値を用いると鉛直方向撓み振動の基本固有振動数は実測値の卓越振動数3.3Hzと一致した。よって、以降の解析では上記支承条件とした。図-5のa)～c)は固有値解析から得られた1次から3次の振動モードを示している。各振動モードは以下のような特徴を有している。

- ① 1次モード (2.86Hz)：片側車線の橋軸鉛直面内方向の撓み振動が主要なものととなっている。
- ② 2次モード (3.29Hz)：橋軸方向の撓み変形で、橋梁に対する鉛直荷重に対して一番影響の大きいモードであると考えられる。
- ③ 3次モード (4.86Hz)：片側車線の橋軸鉛直面内方向の撓み変形が主桁中央部の両端で大きく、主桁中央部では小さくなっている。

4. 車両動荷重モデルの設定

4.1 車両動荷重の逆合積解析

橋梁に作用する車両交通荷重のモデル化に関してはこれまで詳細な検討が行われてきた。交通荷重はランダムな荷重からなるが、照明柱の受ける振動を評価するためには、図-3に示した計測値からも分かるように交通荷重によって生じる主要な橋梁振動の把握が必要になる。そこで、ランダムな交通荷重から構成される橋梁振動に関して、照明柱に関して主要となる振動の推定を行なう。本解析では、逆合積解析を用いて、橋梁に作用する主要な交通荷重と想定される一台あたりの車両動荷重を実際の橋梁で計測された加速度記録から求めることを試みた。一台あたりの車両動荷重を求めることによって、複数台の車両が橋梁を走行する場合は、その解を重ね合わせることで橋梁の動的応答を再現することが出来る¹⁰⁾。

すなわち、交通荷重を受ける橋梁の振動は次式で表される。

$$\{x(t)\} = \int [g(t-\tau)] \{f(\tau)\} d\tau \quad (1)$$

ここで、交通荷重 $\{f(t)\}$ が求められると、単位衝撃応答関数

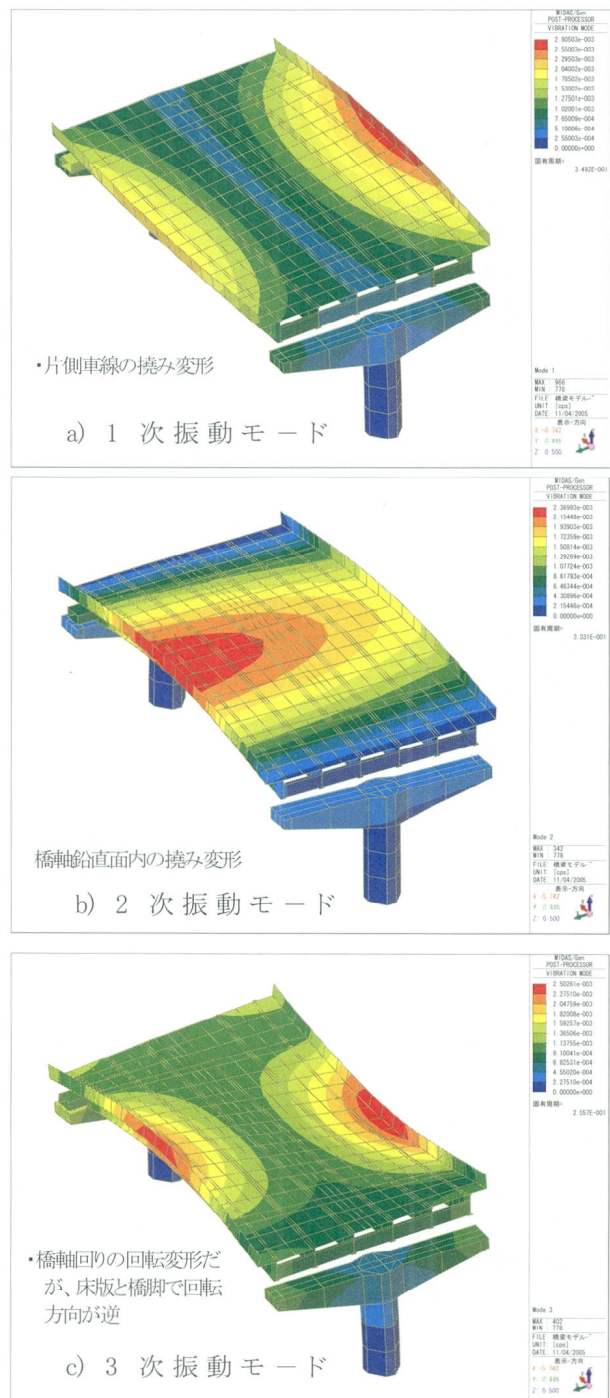


図-5 固有振動数と固有振動モード

$[g(t)]$ を用いて、応答 $\{x(t)\}$ を求めることができる。従って、計

測された主要な交通荷重に対する動的応答を用いて、荷重 $\{f(t)\}$ の評価を行うことにする。式(1)をフーリエ変換すると、次式のようにになる。

$$\{X(\omega)\} = [G(\omega)] \{F(\omega)\} \quad (2)$$

交通荷重による振動計測結果を用いて、交通荷重による $\{F(\omega)\}$ を求めることができる。この $\{F(\omega)\}$ を利用することで、照明

柱に影響の大きい橋梁振動を求めることができる。 $\{f(t)\}$ は以下の仮定を用いて求めている。

- ① 走行パターンは、走行単独と追越単独の2種類を仮定した。
- ② 走行スピードは、時速 80km (22.2m/sec) とした。荷重は点荷重で鉛直方向にのみ作用するものとした。実際には、水平方向の荷重も作用していると考えられるが、ここではその影響は少ないものとして無視した。
- ③ 各荷重点には、単位支配面積あたり、同じ荷重の位相をずらし作用させた。
- ④ 0.5Hz～10Hz (周期 0.1 秒～2 秒) の動的荷重を想定した。
- ⑤ 逆解析に用いる測定記録は測点 1 の鉛直成分とした。

図-6 は逆合積解析により求められた車両動荷重時刻歴を示している。車両荷重は 1 Hz から 4 Hz において主要な振動成分を有している。ここでは、走行単独の代表的なケース No. 22 と、追越単独の代表的なケース No. 4 の2 ケースのみを示した。走行単独では最大で 146kN (14.9tf)、追越単独では最大で 195kN (19.9tf) の加振力が得られた。その他ケースの逆合積解析の結果では、49kN～196kN (5tf～20tf) の最大加振力が得られた。この結果は、参考文献¹⁵⁾で求められた走行速度 (30km/h, 60km/h) の際の 49kN～147kN (5tf～15tf) の動的付加荷重とよく一致していた。ここでの動荷重は移動荷重の影響、路面の凹凸、車両バネ下質量の影響などが含まれたものとして得られている。

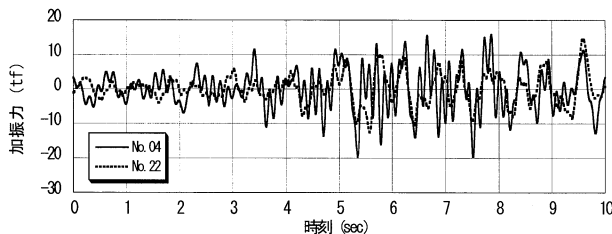


図-6 逆算された車両動荷重時刻歴

4.2 設定荷重の妥当性の検討

設定した車両動荷重を用いて走行時振動シミュレーションを実施した。その際の仮定条件は、走行スピードを時速 80km (22.2m/sec) とし、荷重は図-2 に示す走行・追越車線上の位置に点荷重で鉛直方向のみに作用するものとした。また、荷重は、最大値を 98kN (10tf) とし、解析振動数を 0.5Hz～10Hz (周期 0.1 秒～2 秒) とした。解析で得られた加速度応答の時刻歴と振動測定結果を比較したものを図-7 に示す。また、解析で得られた結果と振動測定結果の加速度フーリエスペクトルの比較を図-8 に示す。振動測定結果及び解析で採用した例は走行車線と追越車線をそれぞれ単独に走行している場合である。図-7 より、橋梁全体としての応答は主要な振動応答に関して概ね再現できており、I 桁形式橋梁の交通振動特性として、3.29Hz に存在する 2 次の鉛直面内の撓み振動が卓越していると考えられる。また、図-8 から分かるように、2 次振動までの振動が卓越することを示しており振動数特性もよく表現できている。この結果として、設定した車両動荷重は、橋梁の主要な振動特性を把握するためには、十分有効であると考えられる。

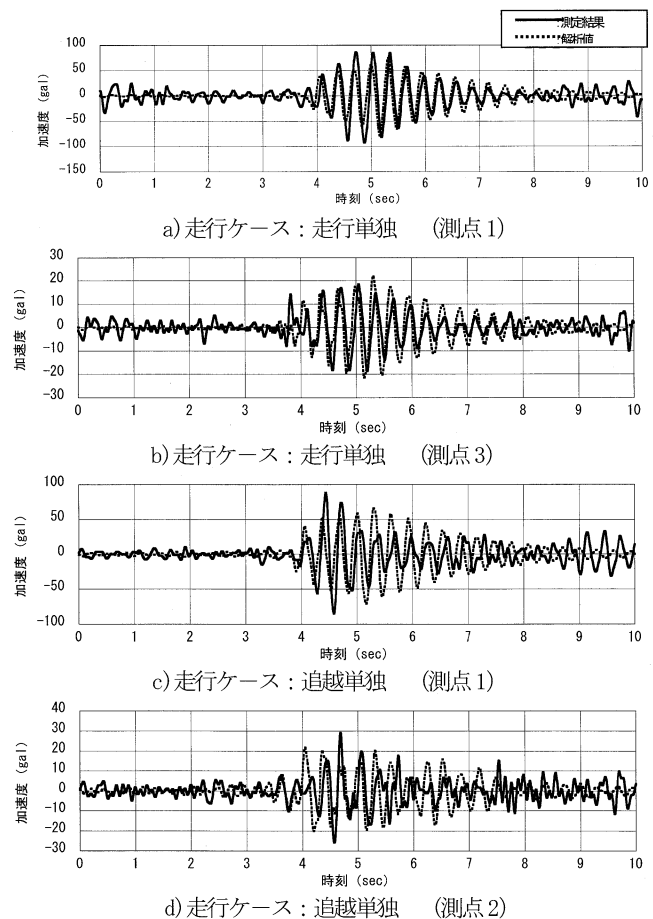


図-7 設定荷重による加速度応答時刻歴

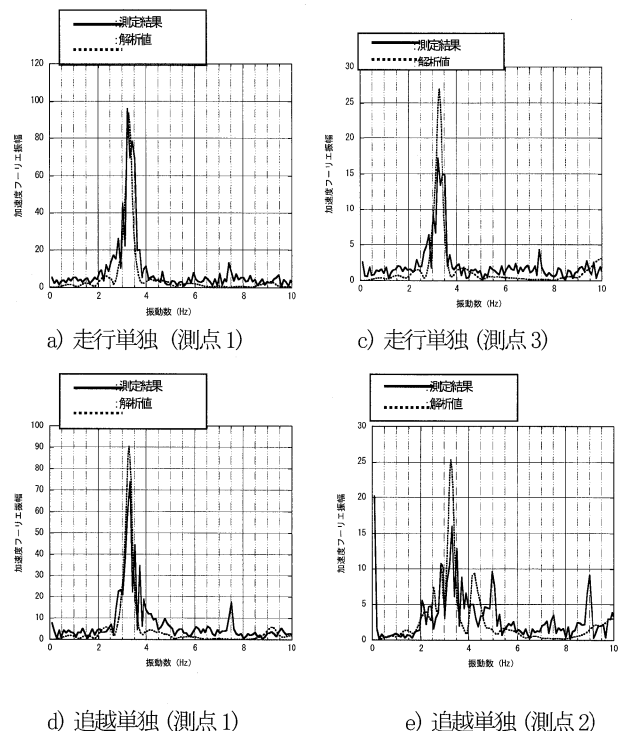


図-8 設定荷重による加速度フーリエスペクトル

5. 車両走行時の橋梁上照明柱の振動応答

5.1 照明柱の振動特性

橋梁の付属構造物である照明柱は剛性、質量とも小さく、減衰定数も小さいことから、一般に揺れやすい構造物と位置付けられており、事前に振動に対する検討が必要とされる。しかしながら、各種荷重、特に、交通荷重に対して、これまで必ずしも十分に安全性が検討されてきたとは言えない。そこで、表-1 に示す照明柱 6 種類を例として、固有値解析及びシミュレーションによって設定した交通荷重を用いた動的応答解析を行い、照明柱に生じる加速度や応力応答に関して解析的に検討し、今後の設計に関する基礎資料を得ようとするものである。

本解析で対象とした実の道路橋は単純合成 I 桁形式（支間 $L = 30\text{m}$ ）であり僅かに曲線かつ勾配を有している。しかし、ここでは照明柱の応答を検討するにあたりより一般的な橋梁として曲線及び勾配のみを無くしたモデル橋梁を用いて固有値解析、動的応答解析を実施した。本モデル橋梁のたわみ振動の 1 次固有振動数は 3.53Hz （固有周期： 0.283 秒）であり、3. に記した実構造物の固有振動数の 3.3Hz に比べ若干のズレが生じるが大差ないと考えられる。照明柱のより一般的知見を得るために本モデル橋梁の受ける振動に対して以下の解析を進めた。

検討対象とした照明柱の例は表-1 に示したように 1 灯用 3 種

表-1 照明柱（建電協標準型；鋼製）

No.	灯具	照明柱形式	寸法		概要図 (単位:m)
			高さ(m) 基部板 厚(mm)	張出し 長さ (m)	
1	1 灯用 (灯具重量 14kg)	10-23	10×42	23	
2		12-23			
3	1 灯用 (灯具重量 10kg)	S12	12×42	-	
4	2 灯用 (灯具重量 28kg)	10-23Y	10×50	23	
5		12-23Y			
6	2 灯用 (灯具重量 20kg)	S12Y	12×42	-	

類（曲線型 2 種、直線型 1 種）、2 灯用 3 種類（曲線型 2 種、直線型 1 種）の計 6 種類である。照明柱の剛性、質量は橋梁に比して小さいこと、照明柱の多くは表-1 に示すような単純構造の下端固定でストレートに上に伸び上部に曲線部を有する形式とストレートな形式とが存在し、上端部には灯具が設置されたトップヘビーな梁状構造であることなども勘案し、ここでは下端固定の照明柱のみに関して振動解析を行っている。照明柱の振動特性は車両走行による照明柱応答解析の基礎となるものである。固有値解析の結果、次のような特徴を有している。

- ①照明柱そのものは灯具の影響を受けはするが、下端固定の梁状構造としての振動モードを示す。
- ②曲線部がある 1 灯用の 12-23 形式、2 灯用の 12-23Y 形式については曲線部の長さ、上端部の灯具の重さも影響し、曲線部での上下動が卓越した振動モードを生じる

また、車両走行により生じる橋梁の鉛直振動は照明柱曲線部の鉛直振動へ与える影響が大きいと考えられる。

5.2 交通荷重による照明柱の振動応答

5.2.1 解析条件

(1) 照明柱への作用荷重

照明柱の振動に関して影響が大きいと思われる交通荷重として上り走行・追越車線 2 台並走の場合について解析を行った。また、橋梁の一次たわみ振動の周期は 0.283 秒であるが、照明柱の 1 次の固有周期が約 1 秒に近いと、その振動に影響の大きい時間を考慮して、車両の並走走行の時間間隔を 0.85 秒（車両間隔を約 20m ）とし、この車両距離にて無限に大型車両が連続するという極めて安全側の交通荷重を用いた。次に、照明柱への作用荷重としては照明柱設置位置での橋梁の加速度応答を逐次求め、照明柱下端への入力加速度として与えた。

(2) 照明柱の設置位置

照明柱の設置位置は図-9 に示すように、橋梁の支間の $L/4$ 、 $L/2$ 、 $3L/4$ 点にあるものとし、現実に沿って 1 灯用は上下線防護柵の高欄上に、2 灯用は中央分離帯側の床版上に設置することとした。なお、 $L/4$ 点が下り側に、 $3L/4$ 点が上り側に位置する。

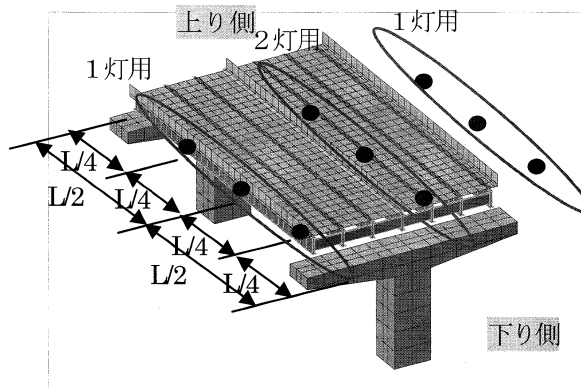


図-9 照明柱設置位置

5.2.2 最大加速度応答

照明柱の応答に関して、各照明柱の最大加速度応答と橋梁・照明柱の固有振動数との関係を図-10 に示す。図の左縦軸は最大応答値を、右縦軸は振動数を表している。右縦軸では、各照明柱の固有振動数、橋梁たわみの1次固有振動数、走行荷重による各照明柱の卓越振動数及び走行荷重の車両間隔により生じる加振振動数のそれぞれの値を示している。この図から次のことが分かる。

- ① 交通荷重による照明柱の加速度応答の卓越振動数は2灯用 12-23 Yを除き照明柱の1次の固有振動数(=2次の固有振動数)に一致している。また、この卓越振動数は車両間隔により惹起される振動数の1.18Hzに近く、固有振動数での揺れを誘発したものと考えられる。2灯用の12-23Yでの卓越振動数は橋梁のたわみ1次振動数 3.53Hzと合致しており、橋梁の揺れにともなって振動していると言える。
- ② 直線型1灯用のS12は曲線型の12-23より加速度応答は小さい。同様に2灯用S12Yは12-23Yより加速度応答は小さく、最近主流の直線型の応答は曲線型のそれより小さくなるので、振動問題の見地からも望ましい。
- ③ 照明柱の主要な振動は走行車両の間隔による振動と橋梁のたわみ振動によるもの等に起因して発生すると考えられる。

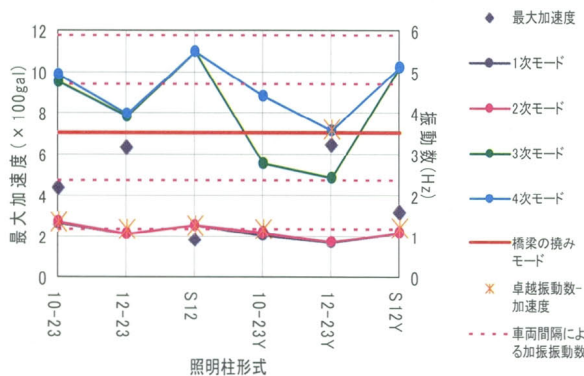


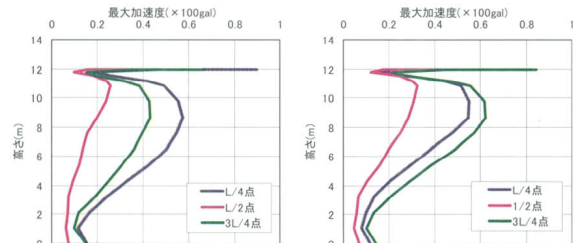
図-10 照明柱の最大加速度と橋梁・照明柱の固有振動数

本解析で設定した交通荷重に対して得られた最大加速度応答値を1灯用、2灯用の照明柱について表-3 に示す。また、高さ12mの照明柱1灯用曲線型の12-23、2灯用曲線型の12-23Yについて最大加速度応答分布を図-11 と図-12 に示す。(高さ10mの形式については応答が小さいだけで傾向は下記に同じである。) これらの結果をまとめると、

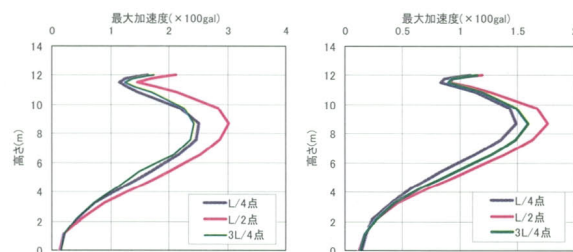
- ① 照明柱の加速度応答は1灯用、2灯用によらず、全般に橋軸直角方向の応答が橋軸方向に比べて大きい。表-3 より全体として鉛直方向の応答が大きく、1灯用曲線型で最大300~600gal程度、2灯用で最大190~650gal程度である。この傾向は走行車両が上り線側走行のみによることもあり、橋梁自体の応答が橋軸直角方向に大きくなることに加えて、照明柱の上端部が橋軸直角

方向に張出していることにより橋軸直角方向と鉛直方向が連成することによって考えられる。

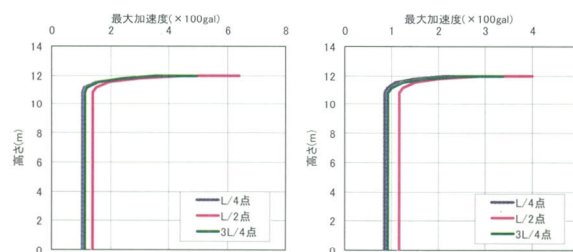
- ② 高欄上にある上り側1灯用と中央分離帯の床版上にある2灯用を比較すると、橋軸方向については1灯用の照明柱の方が大きな加速度を示しているが、橋軸直角方向ではほぼ同じ値を示す。
- ③ 2灯用の曲線Y型では曲線部の鉛直方向の応答が大きい。



i) 上り側 ii) 下り側
a) 橋軸方向



i) 上り側 ii) 下り側
b) 橋軸直角方向



i) 上り側 ii) 下り側
c) 鉛直方向

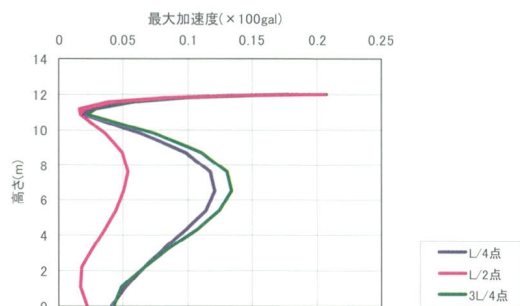
図-11 照明柱最大加速度分布図(1灯用12-23)

表-3 照明柱の最大加速度応答(gal)

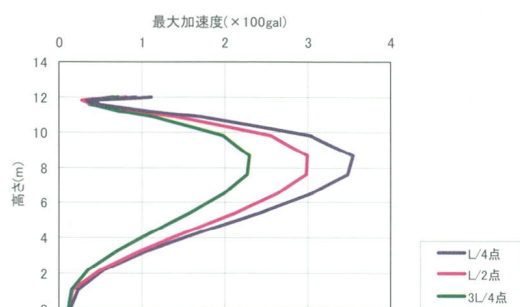
照明柱形式		L/4点位置		L/2点位置		3L/4点位置	
		上り	下り	上り	下り	上り	下り
1灯用 (高欄上)	10-23	398 (V)	340 (V)	417 (V)	300 (V)	438 (V)	375 (V)
	12-23	527 (V)	300 (V)	637 (V)	399 (V)	493 (V)	336 (V)
	S12	122 (BT)	147 (BT)	182 (BT)	139 (BT)	116 (BT)	141 (BT)
2灯用 (中央分離帯 床版上)	10-23Y	218 (V)		201 (V)		189 (V)	
	12-23Y	647 (V)		561 (V)		418 (V)	
	S12Y	299 (BT)		123 (V)		316 (BT)	

* ()内 最大加速度発生方向

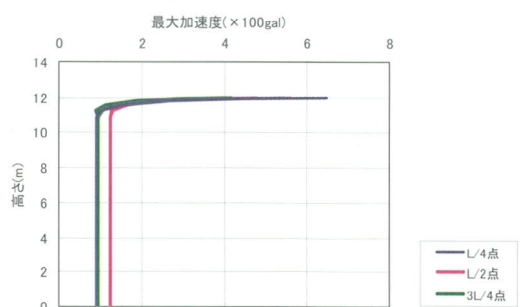
BA ; 橋軸方向、BT ; 橋軸直角方向、V ; 鉛直方向



a) 橋軸方向



b) 橋軸直角方向



c) 鉛直方向

図-12 照明柱最大加速度分布図 (2 灯用 12-23Y)

5.2.3 最大応力

交通荷重によって生じる照明柱の最大応力と橋梁・照明柱の固有振動数との関係を図-13 に示す。図での左縦軸は最大応力値を、右縦軸は図-10 と同様に振動数を表している。応力の応答は速度と関連すると言われているので加速度を積分した最大速度応答の卓越振動数についても比較する。図の×印は最大加速度と同様に、2 灯用 12-23Y を除き、照明柱の 1 次の固有振動数 (= 2 次の固有振動数) に一致している。また、2 灯用 12-23Y での卓越振動数は橋梁のたわみ 1 次振動数に合致しており、最大加速度応答の場合と同様の結果を示している。本解析で用いた照明柱に関して最大応力についても、照明柱の 1 次や 2 次の振動モードにおける影響が支配的であることが分かる。このため交通荷重によって励起される橋梁振動の主要な振動モードと照明柱の応答を支配する主要な振動モードの影響評価が重要であることが分かる。

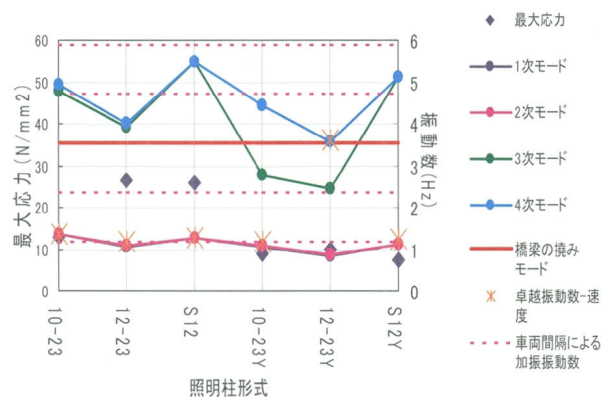


図-13 照明柱の最大応力度と橋梁・照明柱の固有振動数

表-4 照明柱の最大応力度

照明柱形式		L/4点位置		L/2点位置		3L/4点位置	
		上り	下り	上り	下り	上り	下り
1灯用 (高欄上)	10-23	8 (基部)	10 (基部)	12 (基部)	13 (基部)	9 (基部)	11 (基部)
	12-23	22 (基部)	12 (基部)	26 (基部)	12 (10.9m)	20 (基部)	12 (9.765m)
	S12	15 (基部)	20 (基部)	26 (基部)	22 (基部)	17 (開口部)	20 (基部)
2灯用 (中央分離帯 床版上)	10-23Y	9 (基部)		4 (8.85m)		8 (基部)	
	12-23Y	10 (9.765m)		7 (9.765m)		7 (9.765m)	
	S12Y	7 (基部)		3 (6.0m)		8 (基部)	

注 (N/mm²) () 内 : 最大応力度を示す箇所

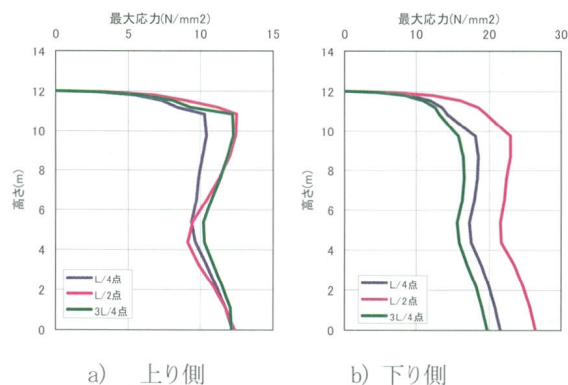


図-14 照明柱最大応力度分布図 (1 灯用 12-23)

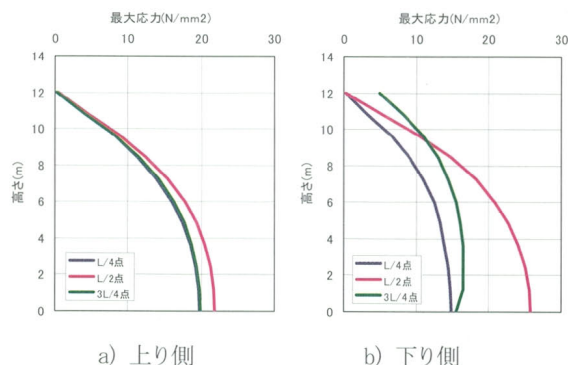


図-15 照明柱最大応力度分布図 (1 灯用 S12)

表-4は6種類の照明柱に関して橋軸直角方向(面内)での最大応力度を示している。また、これらの応答に関して応力度の大きい照明柱である12-23、S12を例として最大応力の分布を図-14と図-15に示す。これらの結果から、最大応力は曲線型の12-23において基部で 26N/mm^2 を示しているが、許容応力度の 140N/mm^2 よりは小さい。照明柱においては、下部に安定器収納開口部及びリブ補強での溶接止端部が存在し、過去の実務設計例では、それぞれ平均すると応力集中係数として1.86、3.8を用いていることから、今回の基部の応力は疲労の見地から無視し得ない値を示していることが分かる¹⁴⁾。

6. 結 言

交通荷重による道路橋上照明柱に関する振動評価について、計測結果を参考にして設定走行荷重による照明柱の振動応答について基礎的な検討を加えた。その結果をまとめると、次のようになる。

- (1) 計測データのある道路橋(単純合成I桁形式、支間30m)に関し、3次元FEM解析モデルを用いて車両動荷重を推定する逆合積解析を行ったところ、加速度時刻歴、加速度フーリエスペクトルに関して解析結果は計測結果と概ね良い一致がみられた。道路橋の鉛直撓みの卓越振動数は3.3Hzであり、支間中央での鉛直加速度は20~100gal程度、支点部近傍で7~35gal程度であった。結果として、照明柱の振動応答に主要な影響を及ぼす橋梁振動を評価することができる。
- (2) 検討対象とした橋梁(I桁6本)の振動は車両走行パターンによって異なった振動応答を示すことが計測・解析により分かる。このため主要なたわみ性振動が主桁全体の鉛直面内のみでなく、主桁の片側車線だけで生じることもあり照明柱の動的応答の評価に関しては、車両荷重に対する橋梁の振動特性を把握しておくことが重要である。
- (3) 照明柱の加速度応答は橋上設置位置にもよるが、1灯用、2灯用によらず橋軸直角方向の応答が橋軸方向に比べて全般に大きい。全体としては鉛直方向の応答が大きく1灯用曲線型で最大300~600gal程度、2灯用で最大190~650gal程度である。
- (4) 解析した6種類の照明柱に関して、最大応力は1灯用曲線型12-23が橋上L/2点位置に設置されている時に生じ、基部で 26N/mm^2 を示した。照明柱の下部には安定器収納開口部及びリブ止端部が存在するため、応力集中係数も勘案すると、疲労の見地からも無視し得ないため、今後、交通荷重に対する橋梁振動を考慮した照明柱の応力検討が望まれる。
- (5) 照明柱の加速度および応力応答の主要振動は、照明柱橋軸直角方向の1次の固有振動数や橋梁撓みの1次の卓越振動数の影響を強く受ける。このため照明柱の振動応答評価のためには、走行車両によって生じる卓越振動で橋梁振動に及ぼす影響と、それに密接に関連する照明柱の固有振動数での影響を明確にしておくことが重要である。

謝辞

阪神高速道路(株)技術管理部から道路橋に関する計測データの提供を戴いたこと、ここに記して感謝の意を表します。本研究は平成17年度、18年度「動荷重を受ける照明柱の耐振性評価委員会」(委員長:飯田毅)の元に行われ、一部は平成18年度科学研究費補助金(基盤研究(C)18560476)の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 日本道路協会:道路照明施設設置基準・同解説, 1981.
- 2) 阪神高速道路公団監修:震災から復旧まで[写真集], 阪神高速道路管理技術センター, 第3編第6章, 1997.
- 3) 田中亀一郎, 金田誠, 池田隆政, 佐藤光治:阪神高速道路3号神戸線の道路照明設備, 照明学会誌, Vol. 82, No. 3, pp. 211-217, 1998.
- 4) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説, V. 耐震設計編, 1996.
- 5) 川木秀昭, 川谷充郎, 小林義和, 徳永法夫:弾性支承化の道路桁橋交通振動への影響, 土木学会第53回年次学術講演会, 第1部(B), pp. 914-915, 1998.
- 6) 薄井王尚, 徳永法夫, 西村昂, 松井繁之:高架道路の弾性支承化と交通振動に関する研究, 土木学会第53回年次学術講演会, 第7部, pp. 404-405, 1998.
- 7) 深田宰史, 梶川康男, 讃岐康博:弾性支承を有する単純桁高架橋の交通振動特性, 土木学会第54回年次学術講演会, 第1部(B), pp. 518-519, 1999.
- 8) 山田均, 沢田繁樹, 篠原修二, 風間浩二:支承特性差に着目した橋梁振動応答特性に関する研究, 土木学会論文集, No. 623/VI-43, pp. 271-278, 1999.
- 9) 梶川康男, 深田宰史, 林秀侃, 吉川実, 薄井王尚:弾性支承と桁連結構造を用いた既設高架橋の振動特性, 構造工学論文集, 土木学会, Vol. 43A, pp. 747-756, 1997.
- 10) 伊津野和行:道路高架橋付属構造物の地震応答特性に関する基礎的検討, 構造工学論文集, 土木学会, Vol. 45A, pp. 1037-1046, 1999.
- 11) 小塩達也, 李相勲, 山田健太郎, 森成顕, 森下宣明:交通荷重による標識柱の振動と疲労耐久性, 構造工学論文集, 土木学会, Vol. 47A, pp. 1009-1017, 2001.
- 12) 井舎英生, 北田俊行, 西岡敬治, 徳増健:道路橋の門型標識柱の振動要因に関する研究, 構造工学論文集, 土木学会, Vol. 51A, pp. 43-50, 2005.
- 13) 海老澤健正, 後藤芳顯, 岡部健:走行荷重による高架橋照明柱の振動挙動の計測と動的応答解析, 土木学会第60回年次学術講演会, 第1部, pp. 1067-1068, 2005.
- 14) 建部実, 高田佳彦:照明柱疲労評価に関する考察, 阪神高速道路公団, 技報第22号, pp. 119-126, 2005.
- 15) 西阪理永, 福和伸夫, 多賀直恒:軟弱地盤における交通振動の波動伝播性状に関する研究, 第9回日本地震工学シンポジウム, pp. 511-519, 1994.

(2008年4月14日 受付)