

片持ち式標識柱における振動時発生応力推定方法の解析的検討

中央大学 学生員 ○嶋澤隆介 積水樹脂(株) 正会員 安部和隆
中央大学 正会員 平野廣和 中央大学 正会員 佐藤尚次

1. はじめに

柱状構造物の設計方法は、許容応力度法に基づいており、橋梁付属物の代表である照明柱や標識柱は、従来からの設計基準によると静的な荷重のみを取り入れて構造決定されている。許容応力度法は、材料の保証降伏点強度を判定基準としており、短期許容応力度（例えば、大型標識柱の場合、風速50m/sの風荷重）と長期許容応力度（活荷重・死荷重）の算定を行う。通常、大型標識柱の場合、長期許容応力度の算定結果は小さいとして省略されており、短期許容応力度の算定のみで設計されている。つまり、大きな荷重が1回作用した際の外力想定のみであり、絶えず振動により繰り返し発生する外力想定は考慮されていないのが現状である。

そこで、著者ら^{1),2)}は標識柱の動的照査を検討するにあたり、まず、模型サイズの標識柱における動的な挙動を単純な静的挙動によって再現する方法を検討してきた。その結果、片持ち式標識柱では、振動時の支柱頭頂部の変位量を把握すれば、同時に支柱基部での発生応力が推定できることを見出した。

このような背景から、本報では対象とする標識柱の諸元を模型サイズから実機サイズへと変え、支柱頭頂部変位量を用いて支柱基部での発生応力を概算的に知る方法の妥当性を、有限要素法による解析を行い検討する。なお、本報では高架橋のたわみ方向である鉛直方向への起振に着目し、標準的な片持ち式標識柱が面内方向に振動する状況を対象とし、共振を起こす場合と共振を起こさない場合の2ケースを検討する。

2. 標識柱のモデル化

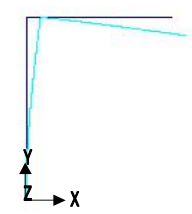
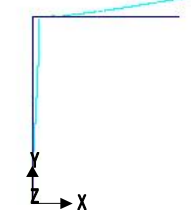
片持ち式標識柱の動的な挙動を知るため汎用構造解析ソフト COSMOS/M を使用し有限要素法による時刻歴応答解析を行う。解析モデルには、標準設計された片持ち式標識柱（逆L字型標識柱）の諸元を用いる。諸元を表-1に示す。片持ち式標識柱の形状は梁部材が支柱部材頭頂部で剛に結合されている剛節構造物として、モデルの部材に線形3次元弾性梁要素を用いて解析を行った。梁要素でのモデル作成では標識板や取り付け具等を線形質量要素により実際の標識板中心位置に集中質点として掛ける。境界条件は支柱基部底面を全自由度拘束とし、メッシュサイズは10mm程度で分割し、要素数、節点数ともに1000程度である。

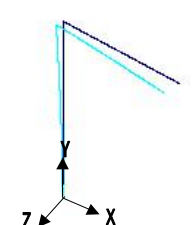
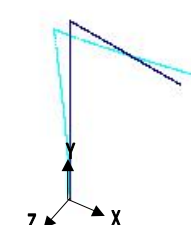
表-1 標識柱の諸元

	寸法(mm)		単位質量	長さ	質量
	直径	肉厚	(kg/m)	(m)	(kg)
支柱材	190.7	5.3	24.2	5.40	130.7
梁材	139.8	4.5	15.0	3.85	57.8
	縦	横	(kg/m ²)	(m ²)	(kg)
標識板	780	3090	20.0	2.41	48.2

	質量密度(N/mm ³)	縦弾性(N/mm ²)	ポアソン比
支柱・梁材	7.80E-09	205900	0.3
標識板等	2.72E-09	68650	0.33

表-2 固有値解析結果

振動モード	面内1次	面内2次
モード形状		
固有値	2.54760Hz	6.16873Hz

振動モード	面外1次	面外2次
モード形状		
固有値	2.37713Hz	7.46277Hz

3. 解析結果

(1) 固有値解析

片持ち式標識柱の振動特性を知るために固有値解析を行う。解析結果を表-2に示す。橋軸直角方向である面内方向の振動モード形状は、首振りのような形状をとり、橋軸方向である面外方向での振動モード形状は旗振りのような形状になる。一般的に振動する構造物では、最も固有値の小さいモードが振動形状として卓越するが、ここで取り上げた標識柱は、面内、面外1次での固有値が近いことより、実際のモード形状は面内、面外1次の形状が混在し、支柱部材頭頂部の軌跡が楕円を描くような形状になる事が予想される。本報では高架橋の桁が撓み方向に揺れた際、標識柱が振動し、共振を起こ

キーワード：片持ち式標識柱、共振、面内1次

〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel.03-3817-1816 fax.03-3817-1803

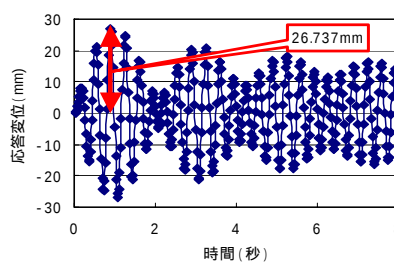
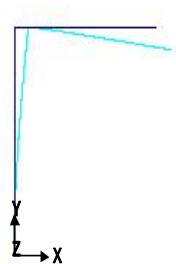
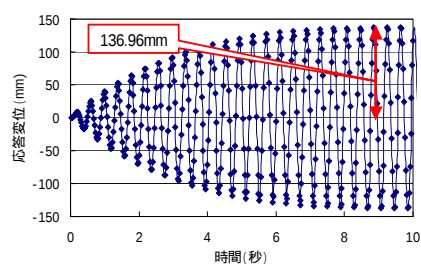


図-1 支柱頭頂部水平方向応答変位

図-2 標識柱形状

図-3 支柱頭頂部水平方向変位波形

図-4 標識柱形状

表-3 支柱基部での発生曲げ応力値

(共振を起こす場合)

		支柱基部応力 (Mpa)	引張力 (N)
動的解析		256.17	
静的解析	14度	257.54	5800.42
	15度	256.46	5735.99
	16度	255.39	5675.49

表-4 支柱基部での発生曲げ応力値

(共振を起こさない場合)

		支柱基部応力 (Mpa)	引張力 (N)
動的解析		50.03	
静的解析	14度	50.29	1132.68
	15度	50.08	1120.10
	16度	49.87	1108.26

す形状は標識柱の構造形状から面内方向であると考え。また、面内、面外方向での2次モード形状を示す固有値は高架橋の卓越振動周波数からは外れているため発生しにくいと考え、面内1次の形状を示す固有値に着目し検討を行う。

(2) 時刻歴応答解析

時刻歴応答解析を行い、標識柱が共振を起こしたさいの動的応答を求める。標識柱の減衰定数は $\eta = 1.8\%$ とし、時間増分量は1周期を16等分する。加速度は $0.4G$ とし面内1次の固有周波数 2.54760Hz を与える。これにより、入力波を $3922\sin(16.0070t)\text{[mm/s}^2\text{]}$ と正弦波で設定し、鉛直方向に支柱基部底面を約10秒間振幅加振する。

支柱頭頂部でのX方向（水平方向）応答変位量を図-1に示す。加振開始約9秒後で定常振幅状態に達し、片振幅で最大応答変位 136.96mm を得た。また、標識柱はこのとき図-2に示すように梁部材が面内斜め下に垂れ下がった状態になり支柱部材基部での最大発生曲げ応力が 256.17Mpa となる。

(3) 動的解析を静的解析にて再現

動的挙動を静的環境にて再現するため、静的条件で解析を行った。動的解析である時刻歴応答解析により得られた支柱頭頂部の水平方向応答変位を静的解析により一致させるため、梁部材先端部に角度をつけ集中荷重を引張方向に作用させる。この引張角度をパラメータとして解析を行う。1度刻みで解析を行った結果、表-3に示すように引張角度15度で引張力 5717.057N を載荷させたときに支柱部材頭頂部応答変位 136.96mm 、支柱基部発生応力 256.46Mpa とほぼ一致する値を得た。

4. 共振を起こさない場合の検討

発生応力推定方法が共振の有無により受ける影響の確認として、時刻歴応答解析時に用いる入力波の固有周波数を対象標識柱がもつ固有値と異なるよう設定し、共振が起こらない場合を想定した解析を上記と同様に行う。本報では時刻歴応答解析を行う際に用いる入力波の固有周波数を $f = 3\text{Hz}$ と

し、その他の条件は同じ値を用いることで $3922\sin(18.8496t)\text{mm/s}^2$ と正弦波で設定し、鉛直方向に入力する。求めた支柱頭頂部水平方向での応答変位波形を図-3に示す。最大応答変位は加振開始後約1秒後に図-4に示すような形状をとり 26.74mm と共振時の1/5程度となる。一方、支柱基部での最大発生曲げ応力でも 50.03Mpa と共振時の1/5程度が求まった。静的解析による動的解析の再現も同様に、引張角度をパラメータとし解析を行う。解析結果は表-4に示すよう、引張角度が共振を起こしたときと同様の15度で動的解析値とほぼ一致する結果を得た。また、標準設計された標識柱が持つと考えられる固有値 $2\sim 4\text{Hz}$ を考慮し、入力波の固有周波数を様々設定し解析を行ったが、全て同じ引張角度で動的解析値を静的解析により再現できることが確認された。これにより片持ち式標識柱では動的挙動を静的環境で再現するさい、共振の有無に関わらず標識柱の諸元毎にただ1つの引張角度を用いて再現が出来る可能性を有すると考えられる。

5. おわりに

発生応力推定方法で用いる引張角度は標識柱に及ぼす振動（入力波）によらず、標識柱毎にただ1つの引張角度を用いることで動的解析での挙動を静的環境で再現することが確認できた。また、実機モデルを対象に有限要素法を用いた解析的検討を行ったことで、振動時の標識柱支柱基部での発生応力を本方法により推定することは妥当な方法であると考えられる。今後の課題として、引張り角度を変化させるパラメータを特定することと、引張り角度を推定する工程を含んだ発生応力推定方法の確立を行う。その上で、実際の交通環境での計測実験を行うことにより本方法の実用性を検討する。

< 参考文献 >

- 1) 安部和隆：高架橋振動を考慮した片持ち式標識柱に対する疲労照査方法の確立，土木学会第59回年次学術講演会，2004
- 2) 有田新平：F型標識柱の振動耐久性評価方法の検討，第31回土木学会関東支部，2004