

振動している比較的長いスパンを有している門型柱の現地振動計測

○中井商工(株) 正会員 嶋本 勝 中井商工(株) 正会員 藤田 和也
 (株)十川ゴム 正会員 井田剛史 中央大学 正会員 平野廣和

1. はじめに

標識柱や照明柱、監視用カメラ等の独立柱状構造物が道路付属構造物として設置されている。これらは交通荷重や風荷重等の動的な外乱によって振動し、繰返し荷重を受ける環境下に設置されているため、構造物基部に亀裂が発生する損傷実例も示されている¹⁾。この状況を受けて、近年道路付属構造物の繰返し荷重に対する疲労耐久性の向上が求められている。本報では、比較的長いスパンを有する信号用門型柱(高さ 5.7m、スパン 21m)が、何らかの原因で振動しているという報告を受け、その原因を特定するため、現地の門型柱に3軸加速度計を配置して振動計測を行う。さらに、事前に固有値解析により本門型柱の振動特性を確認し、現地の観測結果との対比を行い本門型柱の振動原因を把握する。なお、風との関係も考えられるので、簡易風速計を近傍に設置しての風速を計測し、渦励振に代表される風とそれに伴う振動の関係についても考察する。

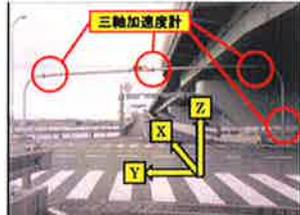
2. 現地計測の概要

図-1 に示すように、門型柱の柱梁部材に3箇所、交通振動による影響を検証するために門型柱基部に1箇所の計4箇所に三軸加速度計を設置する。本計測で用いる加速度計(ニチゾウテック製 KRA-20C)は外部通信機(無線 LAN)を用いて同時計測した。ここで加速度計の座標軸は、図-1 に示すように門型柱に対して面外方向を X、面内方向を Y、上下方向を Z 軸として設置する。また、風の影響を検証する為に熱線式風速計を用いて、風速の確認も行う。本計測は、車両通行なしの風速 2~4m/s の時(以下「低風速」)及び風速 6~8m/s の時(以下「高風速」)、大型車両通行時、強制加振実験のケースに分けて確認した。減衰率を把握するための強制加振実験は、門型柱に人力で強制的に変位を与える人工加振法によって行い、加振方向は面外及び上下方向とする。以上の計測ケースを表-1 に示す。

3. 事前の構造解析

対象構造物の振動特性を事前に把握する為、汎用構造解析ソフト LUSAS を用いて、本門型柱の固有値解析

表-1 計測ケース



Case	計測時間 [s]	風速 [m/s]	備考
1	180	3	
2	240	4	
3	240	-	大型車 通行
4	240	3~4	
5	240	2~3	
6	240	-	大型車 通行
7	240	-	大型車 2台 通行
8	180	6~7	
1	180	8	面外方向に加振
2	180	8	面外方向に加振
3	240	5	面外方向に加振 大型車通行
4	270	6	面内方向に加振
5	200	6~7	面内方向に加振
6	240	5~6~7	
7	240	7	
8	240	7~8	

図-1 加速度計配置位置
(座標軸方向)

表-2 各固有値モードの固有振動数と渦励振発現予想風速

	1次	2次	3次	4次	5次	6次
固有振動数 [Hz]	1.59	2.40	3.04	3.62	5.11	7.73
渦励振発現予想風速 [m/s]	1.72	2.60	3.29	3.92	5.53	8.36

を行う。構造物基部の拘束条件は完全拘束とし、メッシュは Shell 要素を用いて解析を行い、総要素数は 19,616、総節点数は、59,032 である。ここで、門型柱は、風によって渦励振振動を起こしている可能性も考えられるため、6次モードまで解析を行う。これは、一般に渦励振振動は2次モード以上の高次モードで発生する可能性が高いことによる。解析結果を表-2 に示す。固有モードは、1次、4次及び5次モードは面外方向に、2次、3次及び6次モードは面内方向に振動する形状である。一方、解析結果から得られた固有振動数の値から、渦励振発現風速を算出し、表-2 に併せて記す。

4. 現地計測結果

計測された加速度データに対して高速フーリエ変換処理を行うことでパワースペクトル密度(PSD)を算出し、各方向の固有振動数を求める。PSD 波形を図-2 に、算出された PSD 波形において突出している各方向の振動数を表-3 に示す。表-2 と表-3 を比較すると、事前に行った固有値解析とほぼ一致していることがわかる。また、低風速時には Z 方向の 2.4Hz 付近が突出しているのに対し、高風速時では X、Y、Z 方向それぞれに卓越した振動数が見られ、複数の振動モードが混在している可能性が考えられる。

表-3 計測された固有振動数

	固有振動数 [Hz]		
	1次モード	2次モード	3次モード
X方向	1.45	3.61	5.16
Y方向	3.05	7.60	-
Z方向	2.40	-	-

次に車両通行なしと大型車両通行時の場合における門型柱基部の応答変位波形を図-2 に示す。これより双方の振幅差が小さいことから、交通振動の影響とは考えにくい。図-3 に低風速及び高風速時の中央部応答変位波形を示す。これより低風速では門型柱梁部材の中心付近が上下方向に振動しているのが分かる。この振動モードは2次モードの形状であり、低風速では2次モードで振動していることが分かる。一方、高風速では門型柱梁部材の中心付近が上下方向だけでなく面外方向にも振れており、これらの波形はともにビートを打つ形状で、典型的なガスト応答を示している。門型柱梁部材の中心付近が面外方向に振れる振動モードは1次及び5次モードであるが、風速が強くなることで1次モードが現れてくるとは考えにくく、高風速では2次と5次モードが混在した振動モードと考えられる。

図-4 に強制加振時の中央部の応答変位波形を示す。面外及び面内方向ともに発生した振動が減衰するまでに非常に長い時間を要することがわかる。これから算出された門型柱の対数減衰率は、面外方向では約0.6%、面内方向では約0.3%である。よって、この門型柱は非常に減衰が小さい構造物であると言える。

5. 振動現象に関する考察

(1) 交通振動に関して

本門型柱の振動要因としては、前述の通り大型車両の通行有無で応答変位にほとんど差がないことから、交通荷重の影響は考えにくい。よって、門型柱は風の影響などに起因する振動を起こしていると推定される。

(2) 低風速の時（風速2~4m/s）の振動

図-4 の波形から求めた X-Z 平面におけるリサージュ曲線を図-5 に示す。低風速では門型柱梁部材の中心付近が上下方向に片振幅で約2.2mm 変位している。静止円柱が風荷重によって渦励振を起こす場合、一般に風の流れ方向に対して直角方向に振動を発生する。本計測での低風速は、風速2.6m/s 前後で発生する典型的な渦励振振動と考えられる。さらに X 方向にも振動が発生しているが、これはストローハル数の2倍で流れの方向に振動する変動抗力が起振源と考えられる。この振動モードは、2次モードで振動していると考えられる。

(3) 高風速時（風速6~8m/s）の振動

高風速では、面内上下振動と面外方向にも振動し、X 方向へ片振幅2.0mm、Z 方向へ片振幅1.5mm 程度変位

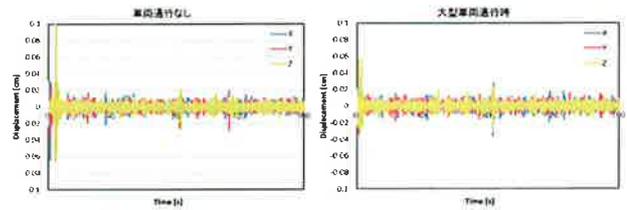


図-2 門型柱基部加速度計における応答変位波形

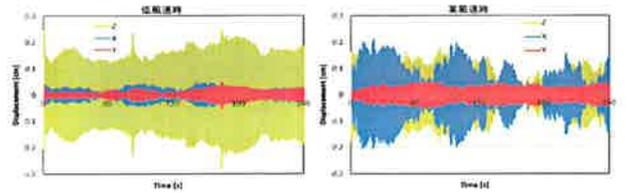


図-3 標識柱中央部加速度計の応答変位波形

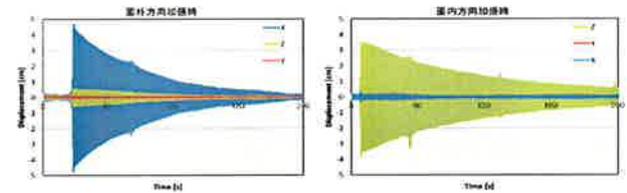


図-4 標識柱中央部加速度計の強制加振時の応答変位波形

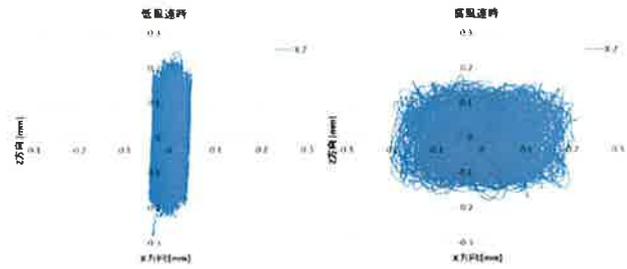


図-5 低風速及び高風速時のリサージュ曲線

している。振幅も面外方向の方が大きくなる傾向である。一般に面外方向振動を生じる要因としては、円柱に作用する複合成分の渦励振と風の乱れにより生じるガスト応答による起振力との二つの場合が考えられる。

6. おわりに

今回計測された片振幅1mm~2mmの変位で発生する応力は、疲労設計曲線の限界値以下であり、繰返し荷重による疲労強度に問題がないとされる。しかし、風速が10m/s以上の強風が発生した場合、本門型柱の対数減衰率が0.3%~0.6%と小さいことも影響し、繰返し荷重による疲労設計曲線の限界値に達する振動の発生も予想され、門型柱の接続部等に損傷が生じる可能性も否定できない。その場合は、制振対策の是非を考えていくことになると考えられ、これが今後の課題である。

参考文献

1) 小塩達也他：交通荷重による標識柱の振動と疲労耐久性 2001