

# 門型標識柱の損傷と対策

神戸管理部 保全第1課 源野博好

## 要 約

高速道路に設置されている標識柱の基部において円型支柱のクラック等の損傷が発見された。その後の調査により多くの標識柱において同様の損傷が発見されており、根本的な原因に起因するものと考えられる。そこで、現地の標識柱と橋桁の振動計測および各種解析を行い、損傷原因の推定と対策の検討を行った。その結果

- 1) 現地計測を行った2つの標識柱では、振動モードとして面外曲げとねじりのモードが卓越しており、これらの振動が直接損傷と係わっていると考えられる。
  - 2) 標識柱の振動は風に基づくものではなく、橋桁の交通荷重に起因するものである。
  - 3) 標識柱基部ではリブ頂部において常時4～5 kgf/mm<sup>2</sup>の応力が発生しており、溶接時のビード形状の不良が重なってクラックが発生したものと推定される。
  - 4) 対策案として、基部のリブ形状の変更、標識柱の剛性を上げ固有振動型を上げる方法および制振装置の設置などが有効である。
- 等の成果が得られた。

## まえがき

付属構造物の管理は、定期点検及び日常点検によって維持管理されているが、定期点検の7～8年サイクルを持たずして日常点検でその損傷を発見し、補修しているのが現状である。近年、特に振動が高架構造的に及ぼす損傷要因の因果関係が着目される中、昭和62年度点検において電光盤添架門型標識柱の支柱基部に損傷が発見された。

京橋ICおよび柳原IC間の神G511の3門型標識柱においては、アンカーボルト頭部の欠損支柱基部のクラック、ナットのゆるみおよびペー

スモルタルの破損が発見された。その損傷状況を図1に示す。その後の調査により神G636の2門型の標識柱等、他のほとんどの標識柱で同様な損傷が発見された。その要因は、橋桁、標識柱の振動及び風や通行車両による繰り返し荷重、基本構造の不備等が考えられる。

本稿は、現地で行った振動と応力計測結果及び耐風解析、交通荷重による応答解析等の解析結果からの損傷原因推定とその対策案についてまとめたものである。

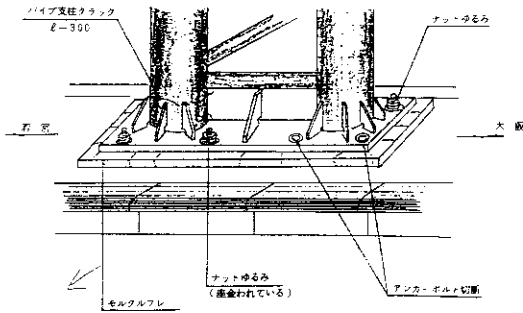


図-1 標識柱基部の損傷状況

## 1. 対象標識柱

計測の対象としたのは神P-191と神P-356に設置される3門柱及び橋桁である。神P-191の橋桁は6本主桁、神-356の橋桁は5本主桁であり、両橋共支間長29.4mの合成橋である。それぞれの標識柱および橋桁の一般図を図2に示す。解析は、現地計測において比較的振

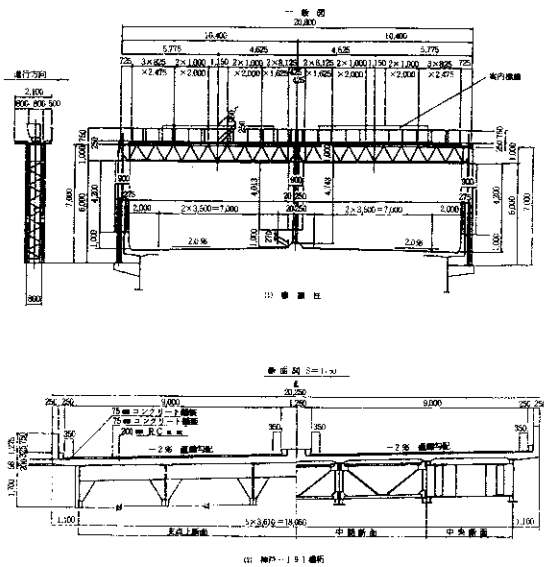


図-2 対象標識柱および橋桁の一般図

動状況が明確に把握できた神P-191の標識柱と橋桁について実施した。

## 2. 現地計測

### 2-1 振動計測

#### 2-1-1 計測点

現状の振動状況を把握するため、対象とする標識柱と橋桁各部に加速度計を設置し振動計測を行った。標識柱および橋桁の曲げ、ねじりの振動モードを特定するため、加速度計は図3に示すよう

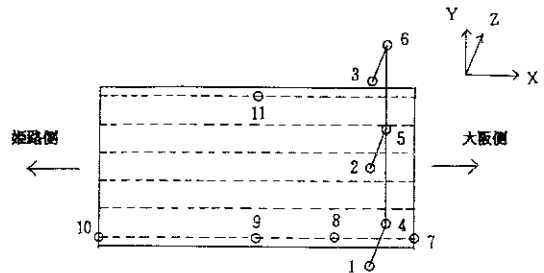
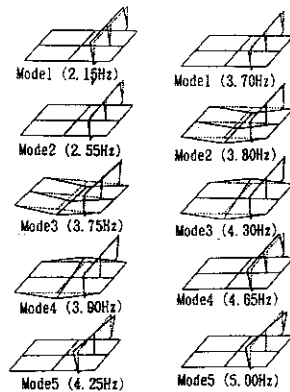


図-3 振動計測点

に標識柱に6点、橋桁に5点設置した。

#### 2-1-2 振動モード

得られた計測データについて周波数分析を行い、各点のスペクトルからピークを、また各点間のクロススペクトルから位相を求め、それらをもとに振動モードおよび振動数を特定した。各標識柱および橋桁について、それぞれの振動モードと振動数を図4、表1に示す。神P-191については



1) 神P-191 2) 神P-356

図-4 振動モード

表1 標識柱と橋桁の振動数

モード	神P-191		神P-356	
	計測振動数(Hz)	解析振動数(Hz)	モード形状	計測振動数(Hz)
1次	2.15	2.12	柱面外曲げ	3.70
2次	2.55	2.60	柱面内曲げ	3.80
3次	3.75	3.77	橋曲げ	4.30
4次	3.90	3.86	橋ねじり	4.65
5次	4.25	4.28	柱ねじり	5.00

固有値解析結果も同表中に示す。標識柱の振動は面外曲げとねじりのモードが卓越しており、これらの振動数は神P-191においてそれぞれ2.15Hz、4.25Hz、神P-356において4.65Hz、5.00Hzである。また、神P-191の標識柱は基部にゆるみ等の剛性低下が見られ、神P-356の標識柱と比較し、振動数が低くなっている。

橋桁と標識柱の振動の対応を検討するため、ランニングスペクトルを求めた。その一例を図5に示す。これは、横軸に周波数を、縦軸に加速度を

とり、さらに斜め方向に時間軸をとって、橋桁、標識柱各点のスペクトルの時間的変動を表わしたものである。橋桁の曲げ振動(3.80Hz)に対応して標識柱の固有振動成分(3.80~5.00Hz)も変動しているのがわかる。

また、標識柱基部の応力と直接係わりのある標識柱頂部の変位履歴を面内方向および面外方向の加速度波形を2回積分して求めた結果を図6に示

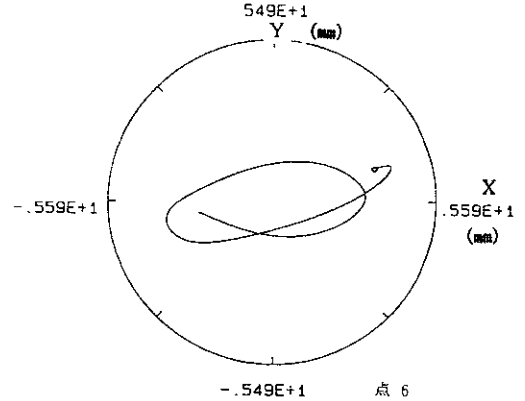


図6 標識柱頂部の変位履歴(神P-356)

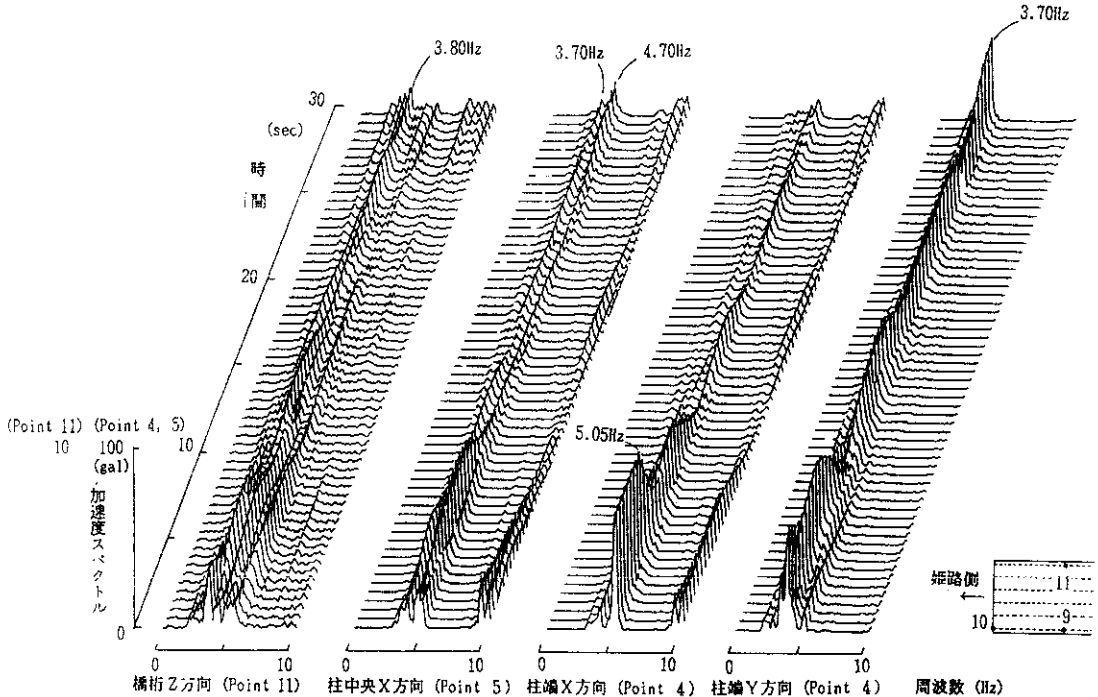


図5 ランニングスペクトル(神P-356)

す。柱頂部では約3～4mm程度の変位が生じていることがわかる。

## 2-2 応力計測

### 2-2-1 計測点

標識柱の振動に基づいて基部に発生する応力を求めるため、クラックの発生したリブの真上の支柱側面にひずみゲージを貼り付け応力計測を行った。計測点は、図7に示すように中央柱に4点、

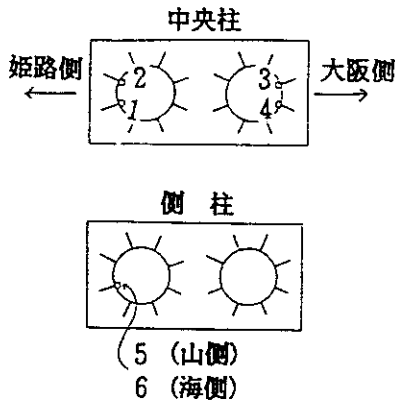


図-7 応力計測点

側柱にそれぞれ1点ずつとした。

### 2-1-2 発生応力

各点から得られた発生応力を表2に示す。標識柱P-191の中央柱については、基部のアンカ

表2 発生応力

計測点	発生応力 (kgf/mm <sup>2</sup> )		
	神P-191	神P-356	
1	中央柱	8～65	333～378
2		35～247	197～342
3		423～641	294～410
4		361～405	374～427
5	側柱	137～260	318～479
6	柱	172～355	220～323

ーボルト等にゆるみが生じていたため、発生応力は1kgf/mm<sup>2</sup>以下となっているが、他の点では4～5kgf/mm<sup>2</sup>以上の応力が発生している。この種のリブの疲れ強さは10kgf/mm<sup>2</sup>程度と思われるが、リブ溶接時におけるビード形状の不良などがあれば、クラックの発生が起り得る応力レベルとなっている。

## 3 解析

### 3-1 固有値解析

耐風解析および交通荷重による応答解析を行う前に、標識柱および橋桁の振動特性把握および解析モデルの妥当性を検討するため固有値解析を行った。標識柱は梁要素でモデル化し、橋桁については、主桁、対傾構、横桁を梁要素、床版を板要素でモデル化した。固有値解析は、応答解析に用いたすべてのモデルについて行った。一例として神P-191実橋の解析結果を図8および表1中

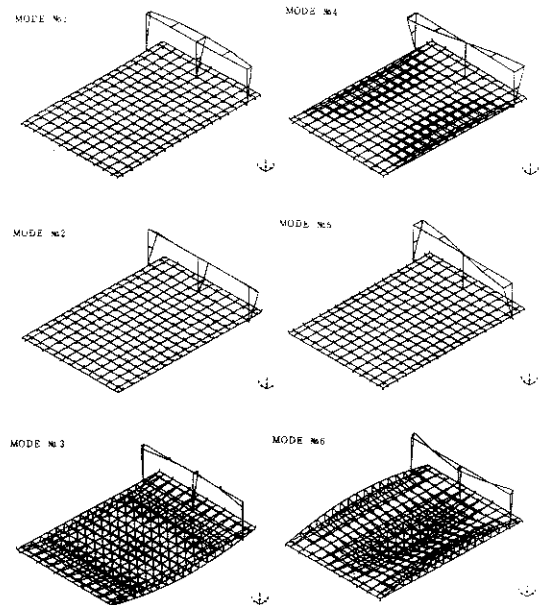


図-8 固有振動モード(神P-191)

に示す。これらの結果に示すように固有振動数および振動モードともに現地計測結果とよく一致し

ており、モデル化が適切であることを示している。

### 3-2 耐風解析

#### 3-2-1 応答変位

標識柱には案内標識、警戒標識が設置されており、受風面積の拡大により風荷重が増大するため、それに伴って標識柱基部に応力が発生することが考えられる。そのため、静風圧力による静的応答を検討した。解析は、風速および標識柱の枚数を変え4ケースについて行った。4 m/s 神戸P-191計測時の風速である。標識柱頂部の応答変位を表3にまとめて示す。現地計測（風速4 m/s）では

表3 風荷重による標識柱の頂部変位

解析ケース	案内標識枚数	警戒標識枚数	受風面積 (㎡)	風速 (m/s)	静風圧力 (kgf)	頂部変位 (mm)	備考
1	2	-	8.93	4.0	7.1	$3.86 \times 10^{-2}$	神戸P-191計測時
2	2	-	8.93	10.0	44.1	$2.43 \times 10^{-2}$	
3	2	-	8.93	55.0	1350.7	$7.34 \times 10^{-2}$	設計風速
4	2	2	26.45	55.0	4000.7	2.18	設計風速

約3~4 mmの頂部変位が記録されているが、耐風解析ではケース4（標識板4枚、風速55 m/s）においてさえ頂部変位が約2 になる程度であり、標識柱の振動は風荷重によるものではないことがわかる。

### 3-3 交通荷重による応答解析

標識柱の振動と交通荷重との対応を検討するため、走行車両をタイヤとサスペンションのばねを考慮して2質点のばね-マス系モデルに置換し、上記の橋桁-標識柱モデルを用いて応答解析を行った。

#### 3-3-1 走行車両の種類

振動特性の異なる2種類のトラックと大型バスをそれぞれ1台ずつ走行させ、標識柱頂部（側柱ポイント4と6、中央柱ポイント5）の応答を求めた。車両通過時と通過後における標識柱面外方向の最大応答変位を図9に示す。バスに比較し車両重量の大きいトラックの方が応答が大きいこと、また、同じ載荷重量のトラックでも車両の固有振

動数により応答が異なることを示している。

#### 3-3-2 走行状態

次に、車両が単一走行、3台の連行走行、2台の併走した場合の標識柱頂部の最大応答変位を求めた結果を図10に示す。車両通過時においては、

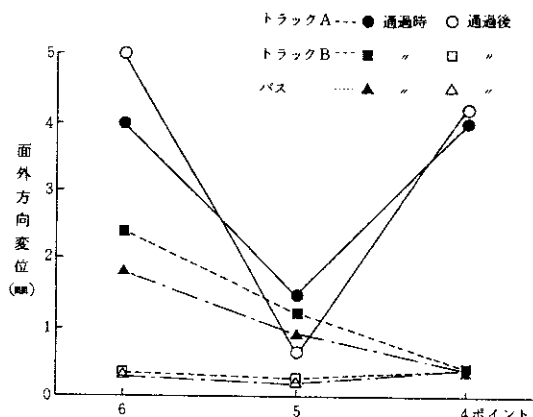


図9 走行車両の種類による柱頂部変位の比較

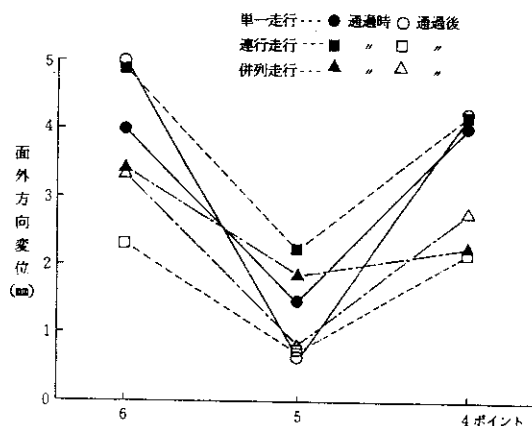


図10 走行状態の変化による柱頂部変位の比較

交通荷重が最も長く作用する連行走行が他の走行状態と比較し、最も応答が大きくなっているが、通過後においては、単一走行の場合の応答が大きくなっている。現地計測においても、交通量が多い場合よりもトラック単一走行時の方が応答が大きくなる傾向が観測されており、解析結果は計測結果とよく対応した結果となっている。

### 3-3-3 案内標識板の有無

標識柱神P-191には、案内標識板が2台設置されている。この案内標識板の有無による頂部応答に与える影響を図11に示す。案内標識板を取り除くことにより、応答が大きく低減されることがわかる。

### 3-3-4 標識柱の位置

標識柱は、一般に支承近くに設置されているが、その位置を支間中央に移動した場合の、応答を求めてみた。標識柱頂部の面内方向（橋軸直角方向）の最大応答変位を図12に示す。図に示すように設

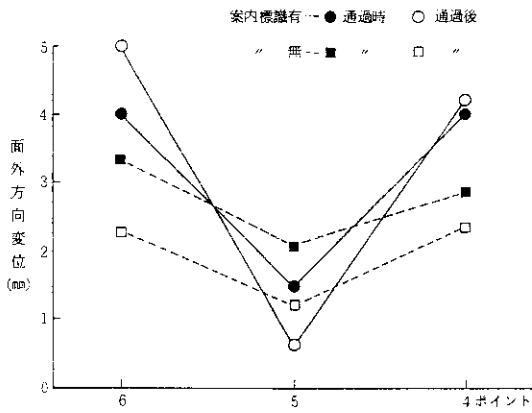


図11 案内標識の有無による柱頂部変位の比較

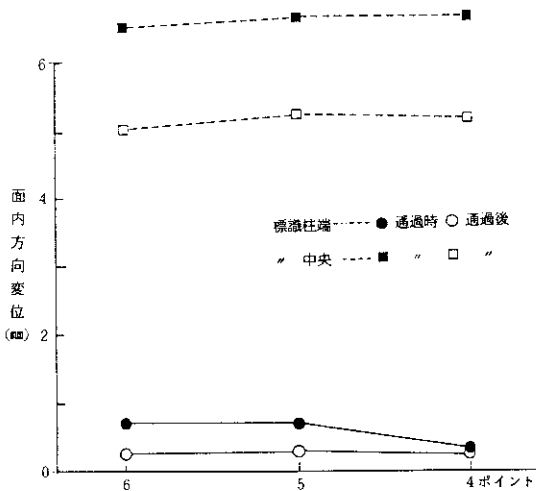


図12 標識柱の位置による柱頂部変位の比較

置位置を支間中央に移すことにより、標識柱を支えるブラケット自体の応答量も増大し、標識柱の面内方向の応答が大きく増大されることがわかる。

### 3-3-5 橋桁支間長

橋桁の支間長による応答量への影響を把握するため、標識柱神P-191の設置される支間長29.4mの橋桁に対し、支間長25mと30mの橋桁に標識柱を設置して解析を行った。標識柱頂部の面外方向（橋軸方向）の最大応答変位を図13に示す。支間長の増大に伴い、標識柱の応答は低減する傾向にあるのがわかる。

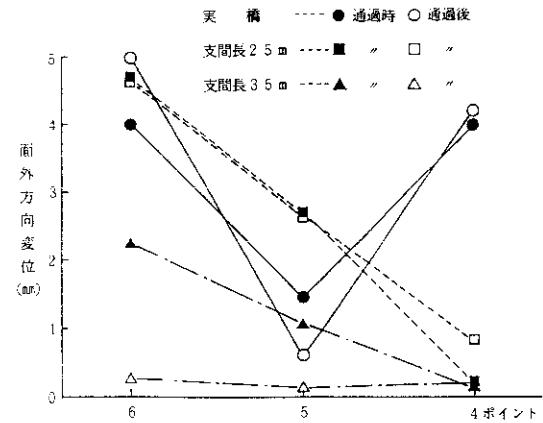


図13 橋桁支間長の変化による柱頂部変位の比較

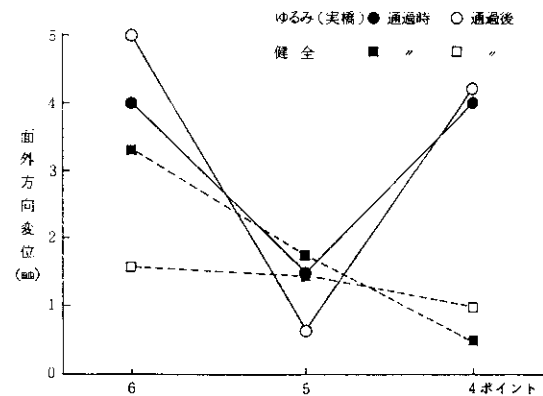


図14 標識柱基部の健全性による柱頂部変位の比較

### 3-3-6 標識柱基部の健全性

標識柱種P-191では基部にボルトのゆるみ等が生じており、モデル化はそれらを考慮して行っている。そこで、それらのゆるみを考慮せず、完全に剛であるものとして応答解析を行った。この時の最大応答変位を図14に示す。基部にゆるみ等がなく、健全の場合には応答が低減しており、基部の剛性低下により応答が増幅されていることがわかる。

### 3-4 局部応力解析

#### 3-4-1 支持基部の応力解析

##### (1) 現状リブ

標識柱基部をシェル要素でモデル化し、頂部に強制変位(2.18mm)を与えて基部に発生する局部応力を求めた。リブ頂部では $3.6 \text{ kgf/mm}^2$ 程度の応力が発生しており、これは計測時の頂部変位3~4mmに対する発生応力 $4 \sim 5 \text{ kgf/mm}^2$ とほぼ対応している。

##### (2) 改良リブ

リブ頂部における応力集中を防ぐため、上部が細長くなっているリブを取り付け、強制変位(3.42mm)を与えて応力分布を求めた結果柱の応力集中は無くなり、応力は一様に分布している。変位2~3mm程度では発生応力は $3 \text{ kgf/mm}^2$ 程度以下と推定される。

#### 3-4-2 ベース板の応力解析

支柱からの曲げモーメントに対するベース板の強度を検討するため、標識柱を図15に示すように

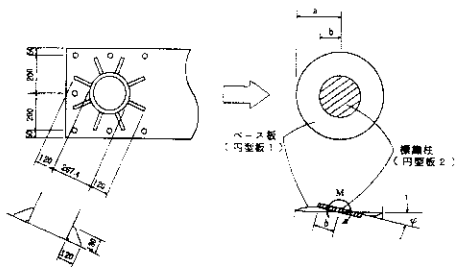


図15 標識柱とベース板のモデル化

ベース板を簡略的に周辺固定の円板にモデル化し、支柱によりモーメントが負荷された場合のベース板の応力を算定した。1) 半径 $r = a$ および $b$ 部における発生応力を表4に示す。リブ頂部にお

表4 ベース板の発生応力

応力	値 (kgf/cm <sup>2</sup> )
( $\sigma_r$ ) $r=b$	340
( $\sigma_r$ ) $r=a$	240

る支柱の発生応力 $4 \sim 5 \text{ kgf/mm}^2$ に対し、ベース板の応力は $2 \sim 3 \text{ kgf/mm}^2$ 程度と推定される。

## 4 対策検討

現地計測結果および解析結果より、以下の対策が考えられる。

#### (1) 標識柱の設置位置の変更

標識柱の設置位置を支承に近づけることにより、交通荷重による影響が減少し、振動が低減する。

#### (2) 標識柱の形状の変更

載荷重量の軽減、あるいは剛性を高めることにより、標識柱自体の固有振動数を上げ、振動振幅の低減を図る。

#### (3) リブの形状の変更

図16に示すようにリブの形状を変え、発生する

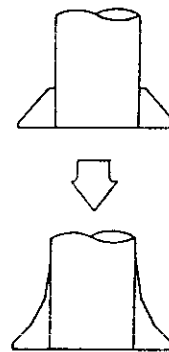


図16 リブ形状の変更

応力集中を減少させる。

#### (4) 制振装置の設置

図17に示すような制振装置を設置し、標識柱の振動を低減させる。

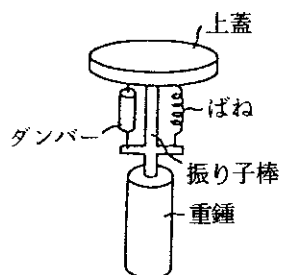


図17 標識柱用  
動吸振器

## 5. あとがき

標識柱振動による基部の損傷は、ほぼ全体の標識柱について見られることであり、根本的な問題であると考えられる。標識柱基部の損傷は、高速道路全体の健全から見ても最重要課題の一つである。当公団では、対策の一つとして、今後、標識柱用の制振装置の開発等にも着手する予定であり、本問題について積極的に取り組んでいきたい。

## 参考文献

- 1) S. Timoshenko, S. Woinowsky-krieger :  
Theory of Plates and Shells, McGRAW-HILL  
KOGAKUSHA, LTD.