

道路橋の門型標識柱の振動要因に関する研究

Study on Factors of Vibration of Portal marker columns on Highway Bridges

井舎英生*, 北田俊行**, 西岡敬治***, 徳増 健****

Hideo Isha, Toshiyuki Kitada, Keiji Nishioka, Ken Tokumasu

*(有)テクノアートクルーズ (〒596-0033 大阪府岸和田市春木中町 3-15)

大阪市立大学大学院 工学研究科都市系専攻 後期博士課程 3 年 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

**工博 大阪市立大学大学院教授 工学研究科都市系専攻 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

*** 阪神高速道路公団 保全施設部 保全企画課 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町 4-1-3)

**** 阪神高速道路公団 大阪建設局 大阪改築工事事務所 (〒550-0006 大阪市西区江之子島 2-1-5)

Vibration due to traffic and wind causes almost all fatigue damage to portal marker columns on highway bridges. The fatigue damage due to the traffic vibration depends on types and dimensions of bridges, types of bearings, volume of traffic, location of portal marker columns, etc. Factors influencing the vibrations are investigated in this study by carrying out frequency response analysis with parameters of types of bridges, bridge piers, and bearings, location of portal marker columns and weight of electric information boards. It is observed that the damage is increasing after steel bearings were changed to rubber ones. This factor is verified by the frequency response analysis. The results obtained in this study can be applied to development of measures for protecting the fatigue damage of portal marker columns due to traffic vibration.

Key Words: traffic vibration, fatigue damage, portal marker column

キーワード: 交通振動, 疲労損傷, 門型標識柱

1. まえがき

1.1 研究の背景

道路橋の付属構造物である標識柱や照明柱は、交通荷重や風荷重により常時振動しており、振動による疲労損傷が発生することがある。損傷の発生を未然に防止することは、道路安全管理上からも重要であり、種々の道路管理機関において、その振動防止対策が検討されている。

既往の研究によれば、交通荷重による付属構造物の振動応答変位の大きさは、橋梁や橋脚および付属構造物の振動特性に依存していることが明らかになっている¹⁾。阪神高速道路においても、同じ構造形式の門型標識柱でも損傷が発生する場合と発生しない場合とがある。その理由は、付属構造物が設置されている橋梁や橋脚などの構造形式に起因していることが考えられる。過去の損傷発生事例^{2,3)}でもわかるように同じ構造形式の門型標識柱でも設置されている橋梁により損傷発生の状況は異なっている。

道路安全管理上の観点から重要である付属構造物の健全性を確保するためには適切な点検と損傷発生の未然防止対策が重要である。阪神高速道路の全路線にある各種の標識柱と照明柱の合計数量は約 17,000 点と膨大な数量であり、振動防止対策および点検の優先度を明らかにすることは交通安全性および経済性確保の面から有益である。

1.2 研究の目的

本研究では、阪神高速道路における標準的な門型標識柱について、交通荷重による振動変位の大きさに影響を与える要因を明らかにする。そのためにまず、実際に設置されている門型標識柱および橋梁の振動状況を測定し、実際の振動数と整合性のある有限要素法解析モデルを作成する。

この解析モデルは、以降の解析モデル作成の基準モデルとする。基準モデルを基にして橋梁、橋脚、および門型標識柱などの構造形式を変化させた種々の解析モデルについて、大型車両の荷重を理想化してモーダル法による周波数応答解析を行う。この解析により振動変位の大きさに影響を与える種々の要因について明らかにする。振動に影響を与える要因は種々考えられるが、代表的な項目である桁の形状、桁の長さ、支承の形式、電光情報板の重量、橋脚の形式、門型標識柱における方杖の有無などを対象とする。

2. 門型標識柱の振動

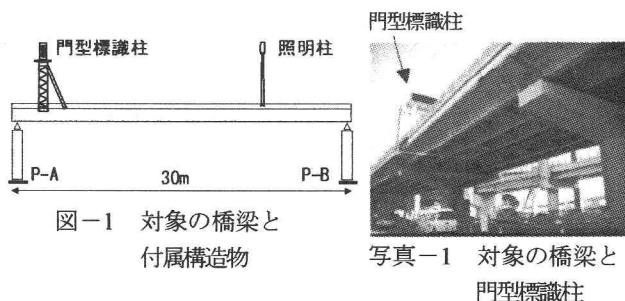
2.1 実構造物の振動測定

振動変位に影響を及ぼす要因について解析を行うにあたり、基準とする橋梁・門型標識柱として阪神高速 3 号神戸線の単純鋼 I 桁橋 (RC 床版・6 本 I 桁, ゴム支承), および門型標識柱 (略称: M25 門電柱 / 電光情報板重量 24.5kN,

方杖付きの柱)を選定し、実交通下での振動測定を行った。門電柱とは、電光情報板を有する門型標識柱の略称である。

本橋梁は大型車両の通行量が多い神戸線の上下4車線を有している。この橋梁上には、1基の門型標識柱と1本の耐震型照明柱とが設置されている。今回の振動測定および解析対象は門型標識柱のみとした。図-1および写真-1には、対象とした橋梁と標識柱・照明柱の設置状況を示す。図-2には、橋梁上の門型標識柱の概略を示している。

測定対象の門型標識柱は、2002年5月頃に橋軸直角方向(以下、橋直方向という)の水平揺れが大きくなっていることが発見され、振動予防・補強対策として左右の柱に方杖を取付けた新しい門型標識柱に取替えたものである。



振動測定には、交通規制を必要としないビデオカメラ測定器を使用した。その測定精度は既往の研究⁴⁾により確認されている。

測定は路下の歩道上から撮影し画像解析処理を行って振動変位および振動数を求めた。

写真-2には、門型標識柱の上部とビデオカメラで撮影し画像解析処理を行った柱頭部の測定標点を示す。

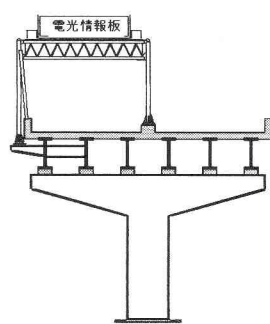


図-2 橋梁上の門型標識柱

写真-3にはビデオカメラ測定器による測定状況を示す。対象の方杖付き門型標識柱は、2003年の取替え時に橋軸方向の振動変位を減少させる目的で改善されたものであるが、橋直水平方向の変位も減少する効果も確認されている。

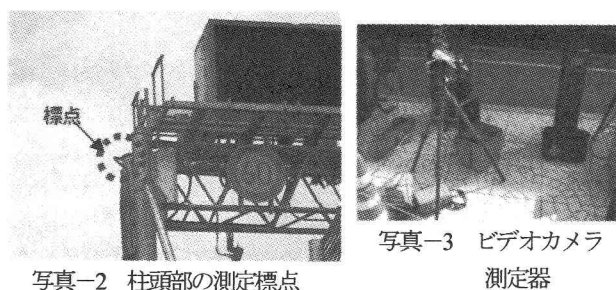


写真-2 柱頭部の測定標点

写真-3 ビデオカメラ測定器

2.2 方杖付き門型標識柱の振動測定結果

振動測定の時間は約5分間である。図-3にはその代表的な1分間の振動変位時刻歴を示す。最大の振幅量は約8mm、平均振幅量は約2.7mmであり、対象の門型標識柱は神戸線の中でもよく揺れる標識柱の一つである。図-3、図-5に示す測定された振動変位は交通荷重による静的た

わみ成分の影響が大きいことがわかるが、動的たわみ成分が疲労損傷の発生を早めることから本解析では動的成分のみを着目する。

図-4には振幅スペクトルを示している。振動モードは橋直水平方向の1次振動である。卓越振動数は約2.70Hzであり、2003年の本標識柱の取替え時に測定された振動数2.9Hzより少し減少しているが概ね一致している。

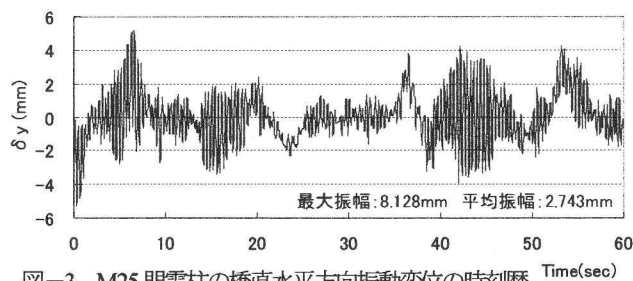


図-3 M25 門電柱の橋直水平方向振動変位の時刻歴

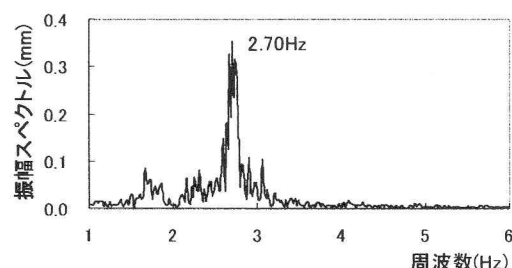


図-4 M25 門電柱の橋直水平方向振動変位の振幅スペクトル

図-5は、外側主桁の支間中央の下フランジをビデオカメラ測定器で撮影し画像解析処理を行って求めた鉛直方向の振動変位である。測定時間は約5分間である。この図には代表的な1分間の振動変位の時刻歴を示す。最大振幅量は約3.6mm、平均振幅量は約0.9mmである。

図-6にはその振幅スペクトルを示している。卓越振動数は約3.27Hzであり、2003年のM25門電柱の取替え時に測定された振動数3.4Hzと概ね一致している。また、大型車両のバネ上の固有振動数は約3Hzであるといわれており⁵⁾、これを裏付ける測定結果である。

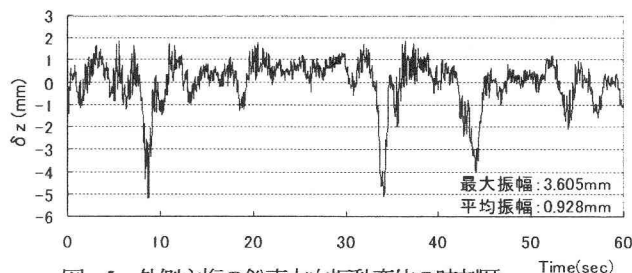


図-5 外側主桁の鉛直方向振動変位の時刻歴

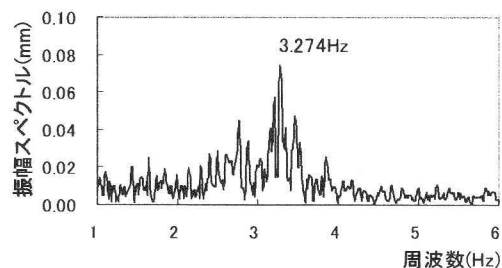


図-6 外側主桁の鉛直方向振動変位の振幅スペクトル

3. 門型標識柱の振動解析

3.1 解析モデルの作成と固有振動解析

解析対象の門型標識柱の固有振動解析および周波数応答解析を行うにあたり、2.2 節に示す振動測定結果の卓越振動数に概ね整合する解析モデルを作成する必要がある。

製作図から解析モデル(有限要素法)のデータを作成し、固有振動解析を行った。その解析結果は、測定された橋桁の鉛直方向の卓越振動数約 3.27Hz、および M25 門電柱の橋直水平方向の卓越振動数約 2.70Hz と概ね一致し、実橋梁と整合する解析モデルであることを確認している。

図-7 には、解析対象とした橋梁、橋脚、および門型標識柱 (M25 門電柱) の概略を示している。門型標識柱の両外側柱には、振動予防・補強対策として方杖 2 本が取り付けられている。図-8 には、橋梁、橋脚、門型標識柱、および照明柱からなる全体構造を板シェル・梁・棒要素により理想化した FEM 解析モデルを示す。

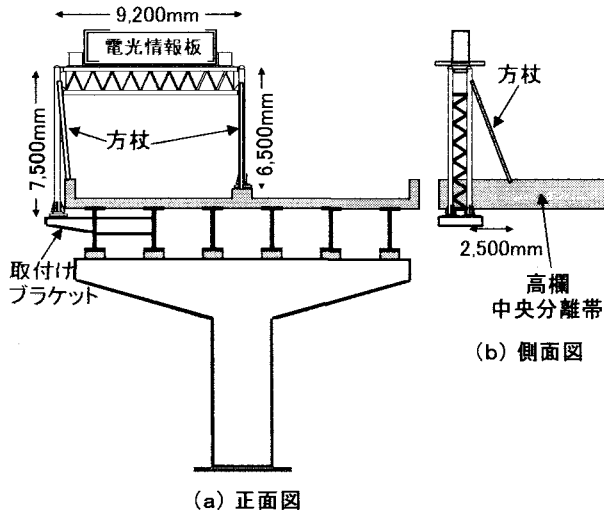


図-7 解析対象とした橋梁、橋脚、および門型標識柱

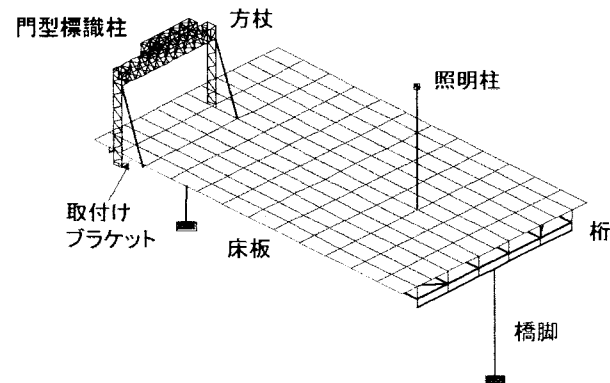


図-8 橋梁、橋脚、および門型標識柱・照明柱からなる全体構造 FEM モデル

3.2 FEM 解析モデルによる固有振動解析の結果

橋梁の付属構造物の固有振動解析を行う場合に、付属構造物だけを取り出して、橋梁との接合部である柱基部を完全固定境界条件にして計算した固有振動数は、実測値よりも

約 10%程度高くなることがある。この理由は既往の研究⁴⁾でも明らかであるが、橋梁との接合構造である取付けブラケットの剛性を考慮すると実測値と概ね一致する。

本研究における M25 門電柱の固有振動解析においても同様である。図-9 には、柱基部を完全固定条件とした橋直方向および橋軸方向の 1 次固有振動数とその振動モードを示す。図-10 は、全体構造の解析モデルによる結果である。結果から明らかなように、振動モードは同じであるが振動数については、両者には明らかな差異が見られる。

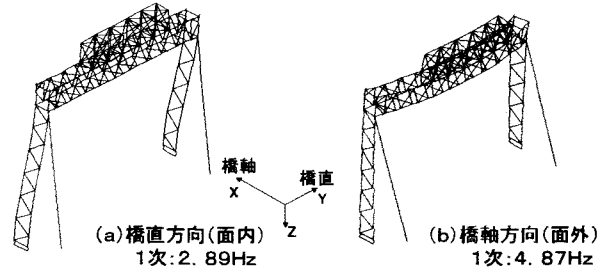


図-9 柱基部の完全固定条件における固有振動数・モード

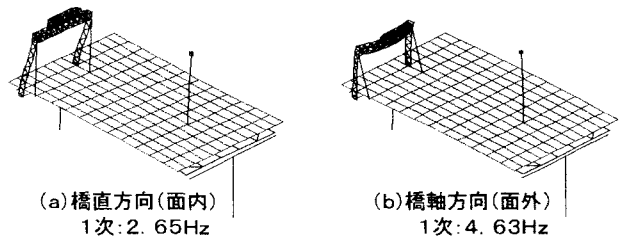


図-10 全体構造モデルによる M25 門電柱の固有振動数・モード

全体構造モデルによる M25 門電柱の橋直水平方向 (面内) の 1 次固有振動数は解析値 2.65Hz であり、測定値 2.70Hz と良好な一致を得ることができた。また、桁のたわみ 1 次固有振動数 3.28Hz と振動モードとを図-11 に示す。実測の振動数約 3.27Hz と良く一致した振動特性結果が得られた。これにより本全体構造モデルが、実橋梁および M25 門電柱の振動特性を精度良く再現できていることが確認できた。

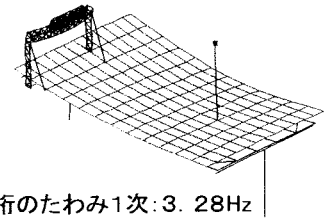


図-11 桁のたわみ 1 次固有振動数と振動モード

表-1 には、振動変位への影響要因の解析において解析対象とする 4 タイプの門型標識柱の特徴を示す。

表-1 解析対象とする門型標識柱の名称と特徴

名称	情報板 25kN	情報板 12kN	情報板なし	方杖門電柱
特徴				
電光情報板の重量	24.5kN	11.8kN	0	24.5kN
門電柱の方杖	無し	無し	無し	有り

表-1 において、名称「情報板 12kN」は電光情報板の重量が 11.8kN の門型標識柱であり、名称「方杖門電柱」は「情報板 25kN」の門電柱に方杖を取付けたものである。

3.3 門型標識柱の固有振動解析結果

周波数応答解析に先立って、表-1 に示した 4 タイプの門型標識柱の単体モデル（柱基部を完全固定の条件）と橋梁上に設置された状態（全体モデル）についての固有振動解析を行った。図-12～図-15 は、「情報板 25kN」の門電柱の単体状態と全体モデルにおける固有振動モードを示し、4 タイプについての固有振動数を表-2 に示す。

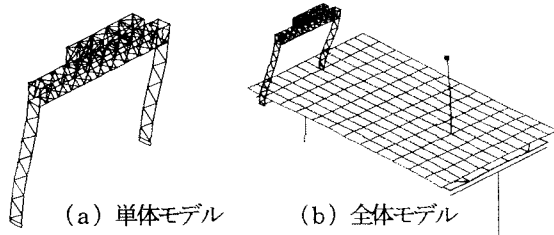


図-12 橋直方向（面内）1次振動モード

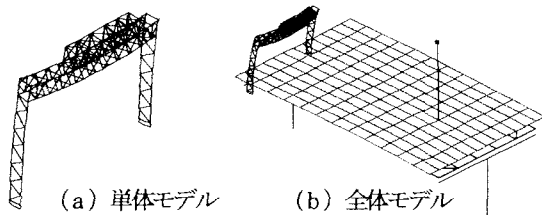


図-13 橋軸方向（面外）1次振動モード

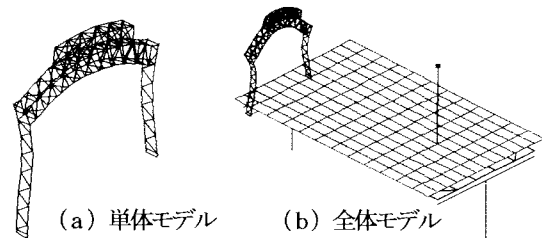


図-14 橋直方向（面内）2次振動モード

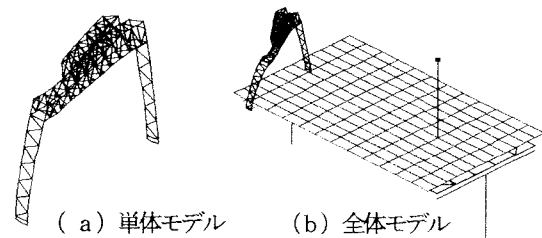


図-15 橋軸方向（面外）2次振動モード

表-2 単体および全体モデルでの門型標識柱の固有振動数

振動モード	振動次数	モデル	門型標識柱のタイプ名称			
			情報板25kN	情報板12kN	情報板なし	方柱門電柱
			単位: Hz			
橋直方向	1次	単体	2.83	3.31	4.06	2.89
		全体	2.66	3.34	3.98	2.69
	2次	単体	9.06	11.10	13.25	9.10
		全体	8.92	10.75	11.71	8.96
橋軸方向	1次	単体	3.68	4.50	5.85	4.87
		全体	3.49	4.40	5.81	4.62
	2次	単体	8.61	9.66	10.79	12.55
		全体	8.31	9.25	10.43	11.90

固有振動モードは、単体と全体モデルとでは差異はないが、表-2 に示すように橋梁上に設置された状態の固有振動数は、単体に比べて減少する。その差異の原因は、既往の研究⁴⁾⁶⁾⁷⁾でもわかるように、門型標識柱の柱基部と橋梁との取付けブラケット構造の剛性の影響である。

4. 振動への影響要因の解析

4.1 振動への影響要因

交通荷重による門型標識柱の振動変位量の程度に影響を与える構造上の要因として、表-3 および表-4 に示す 6 項目（桁の形式、桁の長さ、支承の形式、電光情報板の重量、橋脚の形式、門電柱の方柱の有無）を考える。

解析対象とする門型標識柱は、橋軸方向の振動変位に比べて橋直水平方向の振動変位が大きいので、影響要因の解析は橋直水平方向の変位成分について行った。解析モデルは、3 号神戸線の本橋梁と現状の方柱付き門型標識柱から方柱を取外した門型標識柱からなる全体構造モデルを基本モデルとした。表-3 と表-4 に示すように 6 項目の組合せにより 9 種類の解析モデルを設定した。これらの表中の□印は、基本モデルに対して変更した項目を示す。

表-3 基本モデル①と解析モデル②～⑤

モデル	①	②	③	④	⑤
項目	基本モデル	ゴム支承	情報板12kN	情報板なし	ラーメン橋脚
桁形式	1 桁	—	—	—	—
桁長さ	30m	—	—	—	—
支承形式	鋼支承	□	—	—	—
情報板重量	25kN	—	□	□	—
橋脚形式	T 型	—	—	—	□
門電柱方柱	方柱なし	—	—	—	—

表-4 基本モデル①と解析モデル⑥～⑨

モデル	①	⑥	⑦	⑧	⑨
項目	基本モデル	方柱門電柱	方柱+ゴム	桁長40m	BOX桁
桁形式	1 桁	—	—	—	□
桁長さ	30m	—	—	□	—
支承形式	鋼支承	—	□	—	—
情報板重量	25kN	—	—	—	—
橋脚形式	T 型	—	—	—	—
門電柱方柱	方柱なし	□	□	—	—

4.2 橋梁全体構造モデルの固有振動解析

橋梁上の門型標識柱の交通荷重による振動特性を解析するために、著者らは周波数応答解析を行っている⁹⁾。

本研究においても、9 種類の解析モデルにおける門型標識柱の周波数応答解析のために、まず固有振動解析を行い約 2Hz～13Hz の範囲の固有振動モードを求めた。全体構造モデルの固有振動解析であるため、最初の 1 次、2 次振動モードには照明柱の橋直水平方向の 1 次モード(1.96Hz)、橋軸方向の 1 次モード(1.96Hz)が現れている。

橋梁の振動モードと振動数とに関する以降の図示は、門型標識柱の橋直水平方向の 1 次振動、および橋軸方向の 1 次振動に影響を及ぼす振動数付近、および大型車両のバネ上の固有振動数約 3Hz の付近についてのみ行っている。

4.2.1 解析モデル①（基本モデル）の振動特性

基本モデルであり、その主要諸元および特徴は、鋼桁長30m、鋼支承、情報板重量24.5kN、方杖なし門電柱、T型橋脚である。図-16に全体構造モデルの振動特性を示す。橋桁1次はねじれ1次振動モード、2次はたわみ1次振動モードである。鋼桁橋であるためねじれ1次振動数がたわみ1次振動数に比べて低い特徴が現れている。

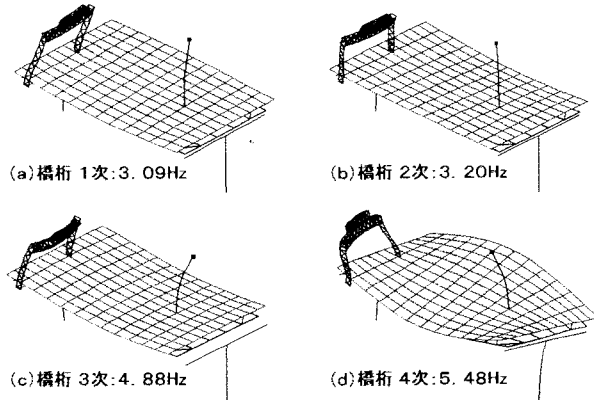


図-16 解析モデル①（基本モデル）の振動特性

4.2.2 解析モデル②（ゴム支承モデル）の振動特性

基本モデルの鋼支承をゴム支承に変更したモデルであり、その主要諸元および特徴は、鋼桁長30m、ゴム支承（鉛直・水平バネ）、情報板重量24.5kN、方杖なし門電柱、およびT型橋脚である。図-17に全体構造モデルの振動特性を示す。橋桁1次はねじれ1次振動モード、2次はたわみ1次振動モードである。ゴム支承モデルの特徴は、橋桁3次振動モードとして、桁・床版のねじれ振動に支承部の橋直水平方向の移動と鉛直方向の上下動が加わった複雑な振動モード（以下、「ねじれSwing振動」という）が出現する。鋼支承モデルにはない特徴的なものである。

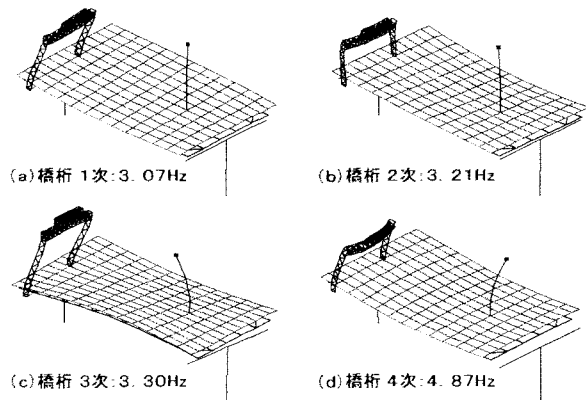


図-17 解析モデル②（ゴム支承モデル）の振動特性

4.2.3 解析モデル③（情報板12kNモデル）の振動特性

基本モデルの情報板重量を減少したモデルであり、その主要諸元および特徴は、鋼桁長30m、鋼支承、情報板重量11.8kN、方杖なし門電柱、T型橋脚である。図-18に全体構造モデルの振動特性を示す。基本モデルの情報板重量が24.5kNから11.8kNに減少したことにより橋桁の振動モードは同じであるが振動数が僅かに高くなる。

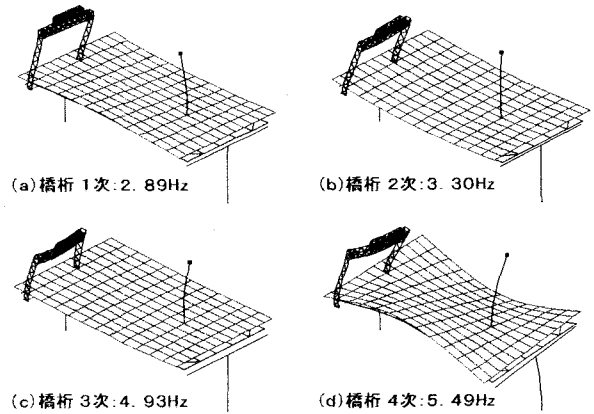


図-18 解析モデル③（情報板12kNモデル）の振動特性

4.2.4 解析モデル④（情報板なしモデル）の振動特性

基本モデルの情報板なしのモデルであり、その主要諸元および特徴は、鋼桁長30m、鋼支承、情報板重量0kN、方杖なし門電柱、およびT型橋脚である。図-19に全体構造モデルの振動特性を示すが、桁・床版の振動特性は、基本モデルおよび情報板12kNモデルと類似している。

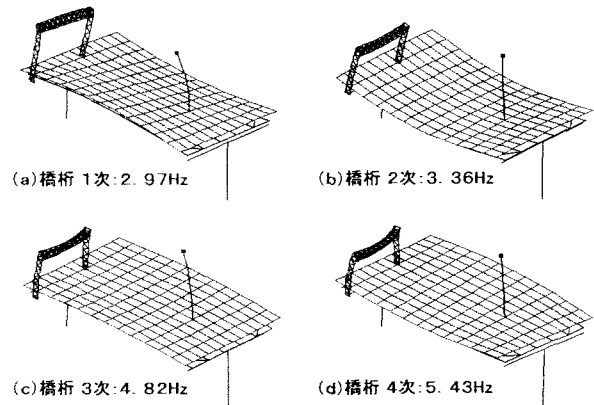


図-19 解析モデル④（情報板なしモデル）の振動特性

4.2.5 解析モデル⑤（ラーメン橋脚モデル）の振動特性

基本モデルのT型橋脚をラーメン型橋脚に変更したモデルであり、その主要諸元および特徴は、鋼桁長30m、鋼支承、情報板重量24.5kN、方杖なし門電柱、ラーメン型橋脚である。図-20に全体構造モデルの振動特性を示す。橋脚の剛性が増加することにより基本モデルに比べて橋桁のねじれ振動およびたわみ振動共に振動数が高くなる。

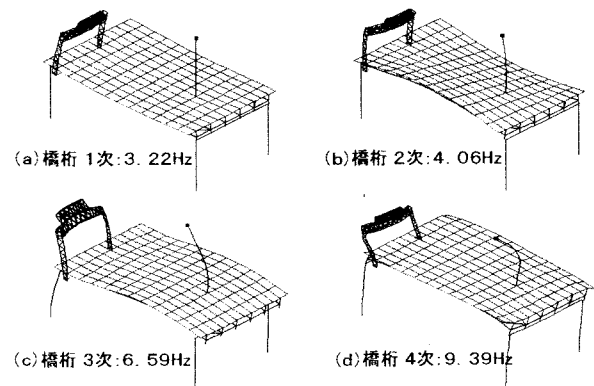


図-20 解析モデル⑤（ラーメン橋脚モデル）の振動特性

4.2.6 解析モデル⑥（方杖門電柱モデル）の振動特性

基本モデルの門型標識柱に方杖を取付けたモデルであり、その主要諸元および特徴は、鋼桁長 30m、鋼支承、情報板重量 24.5kN、方杖あり門電柱、T 型橋脚である。図-21 に全体構造モデルの振動特性を示すが、橋桁 1 次はねじれ 1 次振動モード、2 次はたわみ 1 次振動モードである。2 本の方杖の設置により桁・床版と門型標識柱との間の変形に関する拘束度が高まり、桁・床版の振動数が基本モデルに比べて高くなる特徴が現れている。

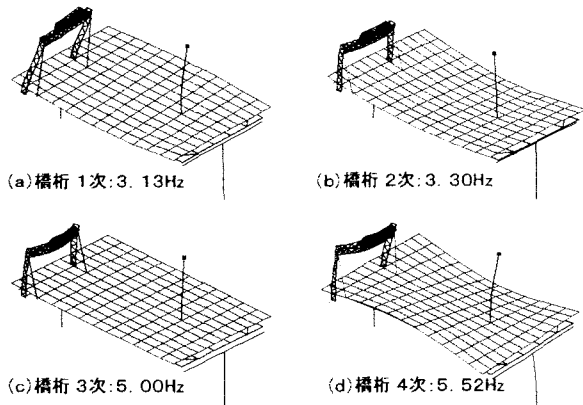


図-21 解析モデル⑥（方杖門電柱モデル）の振動特性

4.2.7 解析モデル⑦（方杖+ゴムモデル）の振動特性

解析モデル⑥の鋼支承をゴム支承に変更したモデルであり、図-22 に全体構造モデルの振動特性を示す。振動特性の特徴は、解析モデル②と同じように橋桁 3 次振動モードとして、桁・床版のねじれに支承部の橋直水平方向の移動と鉛直方向に上下する動きが加わった複雑な振動モードが現れる。これは解析モデル⑥の鋼支承+方杖門電柱モデルにはない特徴的な振動モードとなっている。

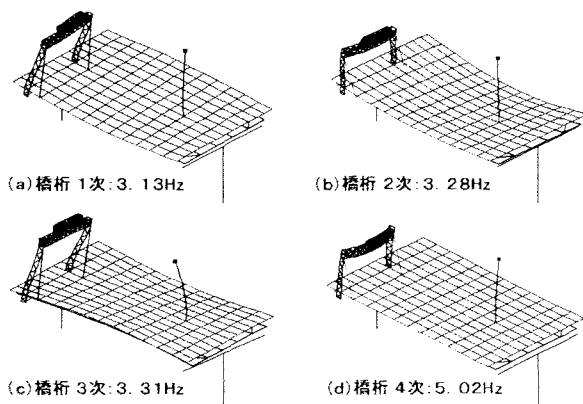


図-22 解析モデル⑦（方杖+ゴムモデル）の振動特性

4.2.8 解析モデル⑧（桁長 40m モデル）の振動特性

基本モデルの鋼桁長 30m を 40m に長くしたモデルであり、図-23 に全体構造モデルの振動特性を示すが、橋桁 1 次はねじれ 1 次振動モード、2 次はたわみ 1 次振動モードである。鋼桁長 30m の基本モデルと比べると、橋桁 1 次～4 次の振動モードは同じであるが、桁長の変化により振動数のみが低くなる特徴が現れている。

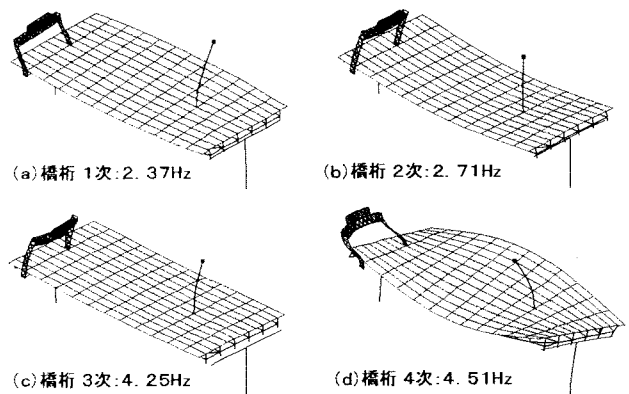


図-23 解析モデル⑧（桁長 40m モデル）の振動特性

4.2.9 解析モデル⑨（BOX 桁モデル）の振動特性

基本モデルの鋼 I 桁を BOX 桁に変更したモデルであり、その主要諸元および特徴は、桁長 30m、鋼支承、情報板重量 24.5kN、方杖なし門電柱、T 型橋脚である。図-24 に全体構造モデルの振動特性を示す。橋桁 2 次と 4 次の振動モードは、ねじれ 1 次と 2 次の振動モードである。BOX 桁は基本モデルの鋼 I 桁と比べてねじれ剛性が高く、この影響によりねじれ振動数が高くなることわかる。

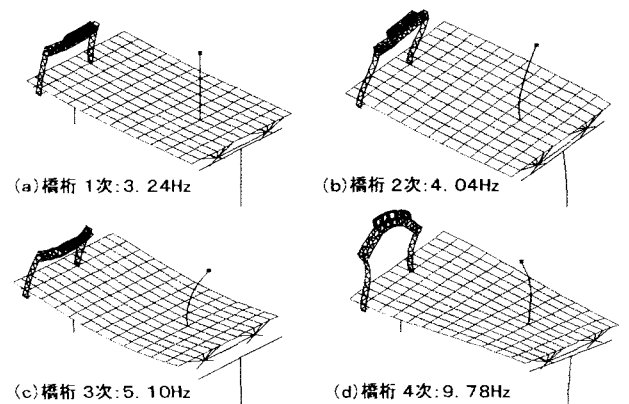


図-24 解析モデル⑨（BOX 桁モデル）の振動特性

4.3 鋼単純桁橋の振動数

鋼単純桁橋の 1 次固有振動数については、参考文献⁵⁾に橋梁支間をパラメータとした式(1)に示す実測値に基づく推定式が記載されている。

$$f = 49.1 \times L^{-0.779} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 f ：単純桁橋梁の対称 1 次振動数(Hz)、 L ：橋梁の支間 (m)

図-25 は式(1)の推定式と対象橋梁の測定結果および解析モデルによる解析値を比較したものであり、解析値が概ね式(1)の推定式と一致していることがわかる。

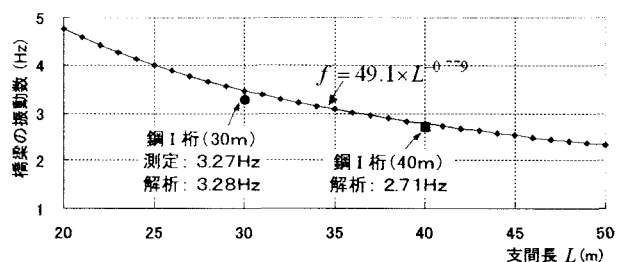


図-25 解析対象とする鋼単純桁橋の 1 次振動数

5. 振動への影響要因の解析

基本モデル①と影響要因を変化させた各解析モデル②～⑨について門型標識柱の柱頭部の橋直水平方向変位を比較し、各要因の振動変位への影響程度を解析した。

5.1 モーダル法による周波数応答解析

式(2)で表せる全体構造モデルの運動方程式において、大型車両荷重を式(2)の右辺のような調和外力として理想化した。荷重の入力周波数を実測された橋桁の主な振動範囲である2～6Hzとして周波数応答解析を行った。

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F_0 \exp(i\omega t) \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $\omega = 2\pi f$ ($f = 2 \sim 6 \text{ Hz}$)

M は質量マトリックス、 C は減衰マトリックス、 K は剛性マトリックス、 u は変位ベクトル、 F_0 は荷重ベクトルである。図-26に示すように、交通荷重は196kNの大型車両を上下線支間中央に理想化して同位相で载荷している。橋梁の減衰率は、同形式の橋梁における実測で得られた1次モードに関する $h_1=0.0253$ を本解析の橋桁の1次から4次までの減衰定数として用いる。

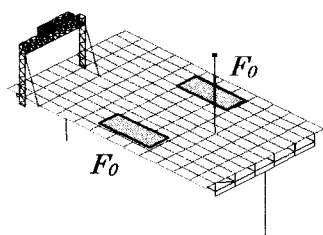


図-26 解析対象とした橋梁と大型車両荷重の载荷状態

5.2 基本モデルと各解析モデルとの橋直方向変位の比較

門型標識柱の柱頭部における橋直水平方向の応答変位について、表-3および表-4に示す基本モデル①と各解析モデル②～⑨との比較を5.2.1～5.2.6節に示す。各図の横軸は、門型標識柱の応答変位の周波数ではなくて理想化した車両荷重の入力周波数(Hz)である。橋直水平方向の応答周波数は、その1次固有振動数付近で卓越している。

5.2.1 鋼支承とゴム支承との違い

基本モデル①と解析モデル②との比較を図-27に示す。橋桁のねじれ1次振動数約3.0HzからねじれSwing振動の約3.30Hzの範囲における入力周波数域において、ゴム支承モデルの応答変位は、鋼支承モデルに比べて約1.35倍程度になる。これは、橋桁のねじれSwing振動と門型標識柱の橋直水平方向の振動とが連成している影響である。

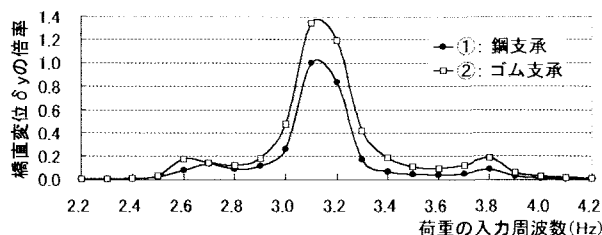


図-27 鋼支承とゴム支承との橋直水平方向変位の比較

鋼支承からゴム支承へ置換えた後に揺れが大きくなったことが道路管理者からも報告されており、本解析結果はこれを裏付けるものである。

5.2.2 情報板重量の違い

基本モデル①と解析モデル③④との比較を図-28に示す。情報板12kNモデルでは、橋桁のたわみ1次振動数と門型標識柱の橋直水平方向1次振動数とが近いので共振しやすくなり、応答変位は情報板25kNモデルに比べて約1.11倍程度になる。情報板なしモデルでは、1次振動数が高くなる影響で応答変位は約0.05倍程度に小さくなる。

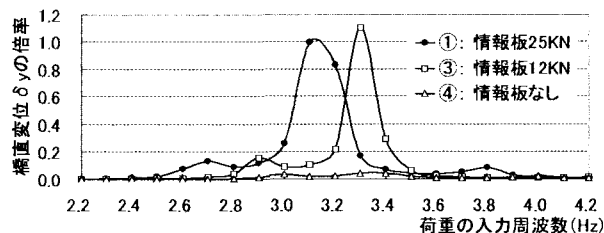


図-28 鋼支承とゴム支承との橋直水平方向変位の比較

5.2.3 橋脚形式の違い

基本モデル①と解析モデル⑤との比較を図-29に示す。ラーメン型橋脚では、橋桁のねじれ1次振動数が約4.06Hzであり基本モデルのT型橋脚に比べて約31%程度高くなる。この影響により門型標識柱の橋直水平方向の1次振動数から離れるので応答変位は約0.17倍程度に小さくなる。

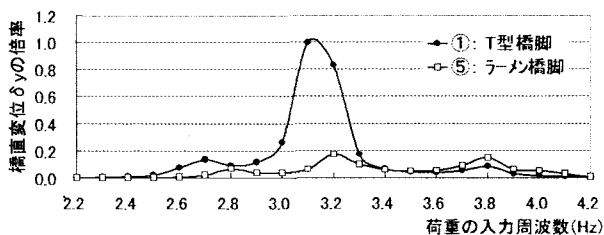


図-29 T型橋脚とラーメン橋脚との橋直水平方向変位の比較

5.2.4 方杖ありなし門型標識柱の違い

基本モデルの情報板25kNの門電柱と方杖門電柱および方杖+ゴム支承モデルとの比較を図-30に示す。実交通下における実橋の実測1次振動数は約3.27Hz付近であり、モデル⑦が実橋をモデル化したものである。門電柱に方杖を取付けると応答変位は約0.4倍程度になる。ゴム支承である実橋の方杖付き門電柱の応答変位は約0.66程度になる。方杖+ゴム支承モデルは、ねじれSwing振動の影響により鋼支承の方杖門電柱に比べて応答変位は大きくなる。

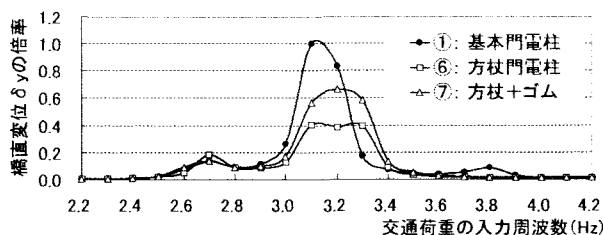


図-30 門電柱の方杖の有無等による橋直水平方向変位の比較

5.2.5 桁の長さの違い

桁長が30mと40mとの比較を図-31に示す。桁長40mモデルでは、ねじれ1次振動数2.31Hzと門型標識柱の1次振動数2.80Hzとの近接付近において応答変位が現れるが、30mモデルに比べて約0.24倍程度に減少している。

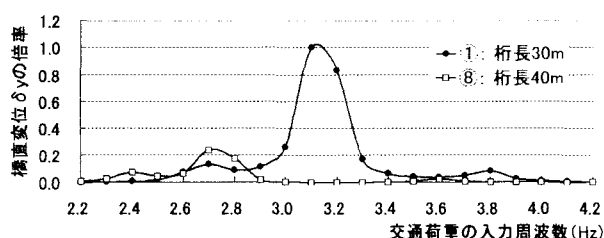


図-31 桁長の違いによる橋直水平方向変位の比較

5.2.6 桁形状の違い

鋼I桁とBOX桁との比較を図-32に示す。鋼I桁のねじれ1次振動数は3.09Hz、BOX桁モデルのねじれ1次振動数は4.04Hzである。ねじれ振動数が高くなることにより門型標識柱の1次振動数と離れて共振しにくくなりその影響で応答変位は約0.1倍程度に小さくなる。

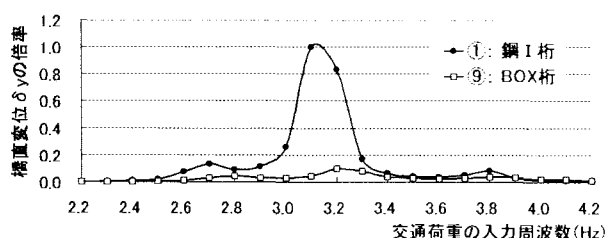


図-32 桁形状の違いによる橋直水平方向変位の比較

5.3 振動への影響要因の比較

基本モデル①と各解析モデル②～⑨の影響要因について、橋直水平方向変位の応答倍率を図-33に示す。門型標識柱の振動変位量は、支承、情報板重量、橋脚形式、方杖、桁長、桁形式等の違いにより明らかに影響を受ける。

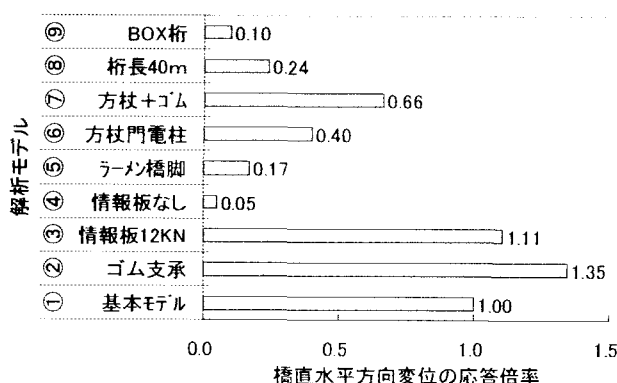


図-33 門型標識柱の振動変位に対する影響要因の比較

6. まとめ

橋梁に設置されている門型標識柱の振動に関して、実橋での振動測定、固有振動解析および振動変位量への影響要因を調べるためのモーダル法による周波数応答解析

などにより得られた主な知見を以下にまとめる。

- (1) 橋梁上の門型標識柱の振動特性を解析する場合、桁・床版・橋脚・支承・付属構造物等からなる全体構造を板シェル・梁・棒要素により理想化したFEMモデルにすれば実構造との整合性が高くなることが確認できた。
- (2) ゴム支承をもつ桁・床版構造の場合、鋼支承では現れない複雑な振動モードである「ねじれSwing振動」が現れ、門型標識柱の橋直水平方向の振動変位を増幅することが明らかとなった。
- (3) 情報板がない門型標識柱では、橋直水平方向の振動変位が大幅に減少することがわかった。
- (4) ラーメン橋脚およびBOX桁の橋梁は、桁のねじれ振動数が高くなるので、門型標識柱の橋直水平方向の振動変位が抑制されることが確認できた。
- (5) 方杖付きの門型標識柱は、橋軸方向の振動のみならず橋直水平方向の振動変位の抑制にも効果があることが確認できた。
- (6) 桁が長くなると桁のたわみ1次振動数が減少し、門型標識柱の低次固有振動数から離れるので振動応答変位が減少することも確認できた。

謝辞

本研究において実施した門型標識柱の振動測定および振動解析において、ビデオカメラによる測定で㈱ニチゾウテックに、FEMによる振動解析では有計算工房に協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 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,Vol.47A,土木学会,pp.1009-1017,2001.3.
- (2) 阪神高速道路公団,(財)阪神高速道路管理技術センタ: 平成10年度鋼橋の耐久性に関する調査研究委員会報告書,1999.3.
- (3) 阪神高速道路公団,(財)阪神高速道路管理技術センタ: 平成11年度鋼橋の耐久性に関する調査研究委員会報告書,2000.3.
- (4) 井舎英生,北田俊行,山口隆司,宮脇 潔,乙黒幸年,時 譲太: 道路橋の標識柱・照明柱における損傷の早期発見に関する基礎的研究,橋梁振動コロキウム'01論文集,土木学会,pp.239-244,2001.10.
- (5) 橋梁振動研究会: 橋梁振動の測定と解析,技報堂出版,1993.10.
- (6) 井舎英生,北田俊行,山口良弘,徳増 健: 道路橋付属構造物の損傷可能性管理マップに関する基礎的研究,橋梁振動コロキウム'03論文集,土木学会,pp.385-392,2003.9.
- (7) 井舎英生,北田俊行,谷 憲一: 道路橋付属構造物の損傷と振動特性に関する実験的研究,橋梁振動コロキウム'03論文集,土木学会,pp.393-398,2003.9.

(2004年9月17日受付)