

VI-275 支承特性差による橋梁振動応答の変化に関する研究

（株）CRC総合研究所 正会員 沢田 繁樹 横浜国立大学 正会員 山田 均
 （株）綜合技術コンサルト 正会員 篠原 修二 住友重機械工業（株） 正会員 風間 浩二

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、橋梁では免震構造物が多く採用されている。具体的な免震装置としては、構造の単純さと経済的に優れた積層ゴムタイプの支承が採用される機会が多くなっている。これらゴム支承は、所要のアイソレータ機能や復元力特性を発揮するように設計されるが、常時の動的交通荷重や風に起因する振動を助長する場合があることが懸念される。本論文では、簡単な橋梁モデルを用い、支承部の差（鋼製支承、積層型ゴム支承）が橋梁の振動応答特性に及ぼす影響について、数値解析による基礎的な検討結果について報告する。

2. 解析モデル

解析対象は、モデルの一般性を考慮して、3 径間連続桁橋（ $L=100\text{m}, 150\text{m}$ ）とし、これらに、鋼製支承（BP 沓）と積層型ゴム支承（以下ゴム支承）をそれぞれ適用した場合の振動応答特性を比較検討することとした。（図 1, 2）

鋼製支承部の摩擦による減衰力はその振幅に依存するが、ここでは、桁の鉛直 1 次モードに着目した振幅を仮定し、摩擦係数を変化させたときの等価減衰係数として求めた。具体的には、支承の接線方向摩擦力を支承部回転中心におけるモーメントに置き換えて、そのモーメント力を等価な減衰力と仮定し、回転成分等価減衰係数 C_r として求めた。

ゴム支承は、水平と鉛直の 2 自由度を弾性とし、回転ばねの剛性を無視した。支承部条件を鋼製支承との比較で表 1 に、設計値諸量を表 2 に示す。同設計は、道路橋示方書に準じて、保有水平耐力法でタイプ I, II 地震の照査を行った。

解析は、実固値解析、複素固値解析および単位振幅加振に対する応答解析を実施した。

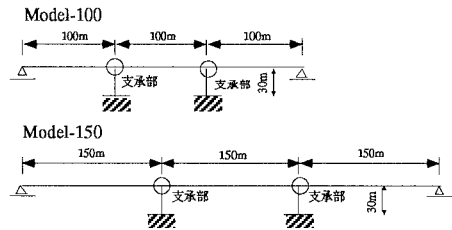


図-1 解析対象モデル

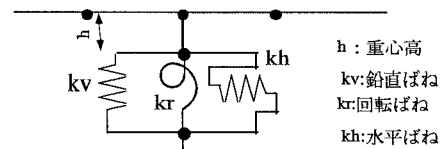


図-2 支承部の解析モデル化

3. 解析結果

支承の特性差は固有振動数のみならず、固有振動モード形にも顕著に現れている。表 3 を見ると、多くのモード形で鋼製支承モデルで大きな値が得られており、モードによっては（100m y 4th.）ゴム支承の採用により一般化質量（各振動モードの最大振幅を 1 として基準化）が半減しているものもある。

鋼製支承のモーダル減衰（表 5）が約 2% の状態であるのに比し、ゴム支承では 2% を下回るモードが多く、モードによっては、1% を下回る場合（100m, 4 次）もある。これは、鋼製支承では支承での減衰が摩擦によるものであり、支承の機構（鉛直モードに対しては、必ず回転変位すること）がモードによる減衰差を生み難いことに比べ、ゴム支承では、ゴム支承の減衰（剪断変形）が発生する方向への変形が鉛直モードからは発生し難く、その程度も振動モードにより変化することに起因している。

振動応答解析は、両支承モデルに対して各振動モードの最大振幅位置に単位振幅（1tf）の加振（振動数は対応するモードの固有振動数）を行い、その応答振幅を比較した。解析結果を、表 6 及び表 7 に示す。

モードの腹付近の値を比較すると、100m モデルの側径間 1/4 点付近では、モードの腹付近でゴム支承モデルが 4 ～ 6 倍程度の応答振幅を示している。これは、ゴム支承の採用によって、モードによっては応答振幅が大幅に大きくなる場合があることを示している。これは、調和外力による振動応答が、固有振動数で加振した場合には、

$$q = F_s / (2\omega_s^2 M_s h_s) \quad \dots\dots (1)$$

と表され、前述の固有振動特性や減衰特性が変化することで説明できる。（ゴム支承の採用により振動モードが変化し、上式の分母側の値が小さくなっている。（例；表 12））

まとめ 鋼製支承とゴム支承との差は、固有振動数や振動モード形の差となって現れ、振動応答はモードによっては一般化質量の低下と併せて振動応答を助長させる原因となる場合があることが明らかとなった。

1）固有振動数は大幅に低下する。耐震応答に於いては地震外力側の固有振動数とのバランス、耐風応答に於いては共振風速の低下に注意が必要である。

2）構造減衰は低下する場合が多く、振動モードによって大幅に減衰が小さくなる場合もある。

3）振動応答振幅は増加する場合が多く、振動モードによっては大幅に応答振幅が大きくなる可能性がある。

謝辞 本研究は鋼橋技術研究会 耐風制振設計研究部会の活動の一環として実施された。関係各位に謝意を表す。

キーワード 橋梁振動、振動応答、支承、鋼性支承、ゴム支承 連絡先 〒141-8686 東京都品川区北品川 5-9-11 住友重機械工業（株）鉄構機器事業本部 Tel.03-5488-8165 Fax. 03-5488-8147

表-1 支承モデル諸元

	model 100R	model 150R
形式	3 径間連続箱桁	
支承条件	Move+Fix+Fix+Move	
支間割 (m)	100+100+100	150+150+150
支点反力 (端支点)	Rd=180tf RL=130tf	Rd=330tf RL=140tf
支点反力 (中間支点)	Rd=490tf RL=260tf	Rd=955tf RL=300tf
設計水平震度	Kh=0.2	

表-2 支承部条件

	水平ばね	鉛直ばね	回転ばね
鋼製支承 剛性	∞	∞	0
減衰定数	0	0	摩擦考慮
ゴム支承 剛性	設計値	設計値	0
減衰定数	5%	0	0

表-3 固有振動数 (Hz)

支間長	100m			150m		
支承	鋼	ゴム	R/S	鋼	ゴム	R/S
x 1st	1.11	0.61	0.55	1.02	0.53	0.52
y 1st	0.71	0.67	0.94	0.41	0.37	0.92
y 2nd	0.96	0.84	0.88	0.50	0.47	0.94
y 3rd	1.35	1.13	0.83	0.87	0.80	0.92
y 4th	2.76	2.09	0.76	1.54	1.40	0.91

※ 表中R/Sはゴム沓と鋼製沓の値の比である。

表-4 一般化質量※

支間長	100m			150m		
支承	鋼	ゴム	R/S	鋼	ゴム	R/S
x 1st	366.0	274.7	0.75	624.4	590.8	0.95
y 1st	104.4	125.7	1.20	221.8	222.3	1.00
y 2nd	94.1	100.4	1.07	190.1	233.1	1.23
y 3rd	68.9	69.3	1.01	69.4	73.3	1.06
y 4th	97.9	57.9	0.59	221.9	197.0	0.89

※ 表中R/Sはゴム沓と鋼製沓の値の比である。

表-5 モーダル減衰：100mモデル (%)

モード	鋼製支承		ゴム支承	
	$\mu = 0.05$	$\mu = 0.10$	$\mu = 0.15$	-
y 1st.	2.008	2.016	2.024	1.787
y 2nd.	2.004	2.006	2.008	1.483
y 3rd.	2.001	2.001	2.002	1.363
y 4th.	2.010	2.017	2.024	0.870

表-6 振動パラメータ比較 (100m, 4次モード)

	鋼製支承*	ゴム支承	ゴム/鋼
振動数 (Hz)	2.76	2.09	
(ω^2)	300.7	172.4	0.573
一般化質量	97.9	57.9	0.591
減衰 (%)	2.01	0.87	0.433

*鋼製支承の値は $\mu=0.05$ のもの

表-6 単位調和加振に対する応答：100mモデル (cm)

鉛直 モード	応答観測位置	鋼製支承			ゴム支承	ゴム/鋼製支承			概略モード形と 加振位置
		$\mu=0.05$	$\mu=0.10$	$\mu=0.15$		$\mu=0.05$	$\mu=0.10$	$\mu=0.15$	
1	側径間中央1	0.948	0.944	0.94	1.111	1.17	1.18	1.18	
	中央径間中央	1.184	1.179	1.175	1.242	1.05	1.05	1.06	
	側径間中央2	0.948	0.944	0.94	1.111	1.17	1.18	1.18	
2	側径間中央1	0.725	0.724	0.724	1.159	1.60	1.60	1.60	
	中央径間中央	0.071	0.071	0.071	1.101	1.42	1.42	1.42	
	側径間中央2	0.718	0.717	0.717	1.146	1.60	1.60	1.60	
3	側径間中央1	0.299	0.298	0.298	0.486	1.63	1.63	1.63	
	中央径間中央	0.501	0.501	0.501	1.055	2.11	2.11	2.11	
	側径間中央2	0.298	0.298	0.298	0.486	1.63	1.63	1.63	
4	側径間1/4	0.051	0.051	0.051	0.292	5.73	5.73	5.73	
	側径間中央	0.007	0.007	0.007	0.145	20.71	20.71	20.71	
	側径間3/4	0.05	0.05	0.049	0.347	6.94	6.94	7.08	
	中央径間1/4	0.064	0.063	0.063	0.046	0.72	0.73	0.73	
	中央径間中央	0.005	0.005	0.005	0.033	6.60	6.60	6.60	

表-7 単位調和加振に対する応答：150mモデル (cm)

鉛直 モード	応答観測位置	鋼製支承			ゴム支承	ゴム/鋼製支承			概略モード形と 加振位置
		$\mu=0.05$	$\mu=0.10$	$\mu=0.15$		$\mu=0.05$	$\mu=0.10$	$\mu=0.15$	
1	側径間中央1	1.613	1.601	1.590	1.921	1.19	1.20	1.21	
	中央径間中央	1.716	1.703	1.690	2.060	1.20	1.21	1.22	
	側径間中央2	1.613	1.601	1.590	1.921	1.19	1.20	1.21	
2	側径間中央1	1.312	1.309	1.307	1.154	0.88	0.88	0.88	
	中央径間中央	0.144	0.144	0.144	0.149	1.03	1.03	1.03	
	側径間中央2	1.289	1.286	1.284	1.166	0.90	0.91	0.91	
3	側径間中央1	0.366	0.365	0.364	0.467	1.28	1.28	1.28	
	中央径間中央	1.206	1.203	1.200	1.615	1.34	1.34	1.35	
	側径間中央2	0.366	0.365	0.364	0.467	1.28	1.28	1.28	
4	側径間1/4	0.098	0.097	0.097	0.181	1.85	1.87	1.87	
	側径間中央	0.021	0.021	0.021	0.052	2.48	2.48	2.48	
	側径間3/4	0.103	0.102	0.102	0.181	1.76	1.77	1.77	
	中央径間1/4	0.107	0.106	0.105	0.132	1.23	1.25	1.26	
	中央径間中央	0.015	0.015	0.015	0.024	1.60	1.60	1.60	