

鋼製橋脚橋の免震化に関する一考察

○(株)建設技術研究所	正	大丸 隆
東京都立大学	正	長嶋 文雄
(株)巴コーポレーション		岩塚 由雄
オイレス工業(株)		竹ノ内 勇

1.はじめに 鋼製橋脚の剛度がコンクリート橋脚にくらべて低いことは、橋梁の免震を考える場合に構造全体系の長周期化につながるため有利であると思われる。しかし、免震設計の実施例はコンクリート橋脚橋のみで、都市交通等で多用されている鋼製橋脚橋での実施例はない。本研究では、比較的剛性の低い鋼製橋脚を持つ橋梁を免震化した場合の特性を、道路橋の免震設計法マニュアル(案)¹⁾に基づいた免震支承の設計手法を用いて、ケーススタディ(橋脚材質、橋脚高さの違い)をとおして明らかにする。また、実地震波記録による動的応答解析も行なう。

2.設定橋梁モデル 橋梁モデルは、図1に示すように、すべてのケースで支間長50mの5径間連続橋とした。図2に上部工断面概略図を示したが、上部工もすべてのケースで等しい鋼箱桁(総重量3250t)とした。また、地盤はⅠ種地盤とした。橋脚は、図3(a),(b)にそれぞれ示すようにコンクリート製(C)と鋼製(S)の2種類、橋脚高は10m, 20m, 30mの3種類とし、計6種類の橋梁を想定した。また、下部工剛性、降伏剛性を表1に示すように設定した。

3.免震支承設計条件 免震支承の設計条件は次のように設定した。(1)免震装置はLRB(鉛プラグ入り積層ゴム支承)とする。(2)免震時の周期は非免震時の2倍程度を目標とする。(3)地震時の上部工移動量はL1レベルで15cm程度以下とする。(4)端支点のL1レベルでの地震水平力は中間支点の地震水平力の1/2とする。(5)桁の回転角は端支点1/150, 中間支点1/300とする。(6)ゴムのせん断弾性係数は $G=10\text{kgf/cm}^2$ とする。(7)形状係数は $S=10$ を目標とする。(8)ゴムの平面寸法は50mm刻みの正方形で設定する。(9)鉛プラグはゴム平面面積の約5%の面積として設定する。(10)支圧応力その他の許容値は文献1)に従う。その他の設計条件等を表2に示した。以上のような設計条件に基づき、図4に示すような簡易解析モデルを用いる文献1)の手法により、免震支承の設計を行った。

4.免震支承設計結果 鋼製橋脚橋とコンクリート橋脚橋について、また、それぞれ3通りの橋脚高さについて免震支承の設計をした結果を表3, 4に示す。中間支点用支承の外形寸法は、鉛直最大反力から計算される支圧応力で決定され、ゴム厚と層数は地震時(L2レベル)のせん断ひずみで決定された。従って、鉛直最大反力は各検討ケースで同一であるため、橋脚剛性(材質・高さ)にかかわらず外形寸法は同一となった。端支点用支承は、外形寸法は鉛直最大応力から計算される支圧応力で決定され、ゴム厚と層数は桁端の回転(1/150)から決定された。以上の算定結果より、文献1)に基づいた支承設計を行うと、コンクリート橋脚橋と鋼製橋脚橋では殆ど同じ免震支承が設計されることになることがわかった。また、橋脚剛性の相違により両者の変位は多少異なってくるが、設計条件で上部工移動量の上限をあらかじめ設定しているために、免震支承の変位は各ケースであまり変化がなく、せん断ひずみも相違が少ないため、ゴム厚と層数もほぼ同一となることがわかった。

5.実地震記録波による動的応答解析 試みに、上記の検討に用いた設定橋梁モデルの中の橋脚高さ20mの免震橋のFEMモデル(鋼製; S20M, コンクリート製; C20M)に対し、本年1月17日に発生した阪神・淡路大地震の加速度記録波(神戸NS成分; 最大820.6 gal; 卓越周波数1Hz~3Hz付近)²⁾(図5)を入力して等価線形化手法による動的応答解析を行った。上部工(太線)と橋脚天端(細線)の変位応答波形と加速度応答波形をそれぞれ図6、図7に示す。ここで、(a)はコンクリート橋脚橋、(b)は鋼製橋脚橋である。応答変位は鋼製橋脚橋のほうがやや大きい、応答加速度は鋼製橋脚橋のほうが、特に橋脚天端でかなり低下しており、明らかに低剛性橋脚の影響が現れた。

6.おわりに 比較的剛性の低い鋼製橋脚を免震システムの一部と考えることにより、免震支承の設計に変化が生じるかを検討したが、文献1)の設計法に基づいた場合にはコンクリート製橋脚との差は殆どないという結果が得られた。設計水平震度の差もあまりなかったが、実地震記録波による動的応答解析では明らかに鋼製橋脚の応答加速度が低くなっており、今後両者の整合性をとることについて検討すべきであると思われる。

参考文献: 1) 建設省、道路橋の免震設計法マニュアル(案)。2) 気象庁、平成7年兵庫県南部地震の気象庁87型磁気式強震計の記録。

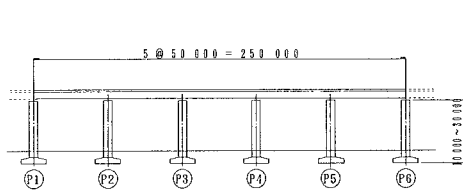


図1 橋梁モデル図(5径間連続鋼箱桁橋)

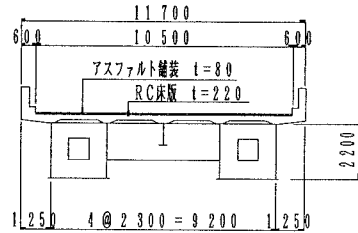


図2 上部工断面図

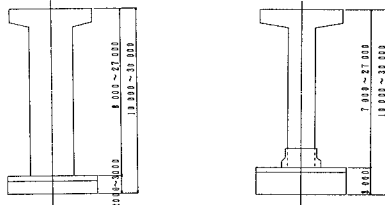


図3 (a)コンクリート橋脚概略図 (b) 鋼製橋脚概略図

橋脚種類	弾性剛性	降伏剛性	種別	端支点	中間支点
S-10M	31,400	31,400	上部構造重量 (tf)		3.250
S-20M	4,200	4,200	免震装置の種類		L R B
S-30M	1,075	1,075	免震装置の個数(支点当り)		2
C-10M	95,000	95,000	鉛直 最大反力 R _{max} (tf)	230	500
C-20M	9,900	9,900	反力 死荷重反力 R _d (tf)	130	330
C-30M	6,800	6,800	支承温度変化移動量 (cm)	3.8	2.3

表1 下部工剛性

表2 免震支承設計条件

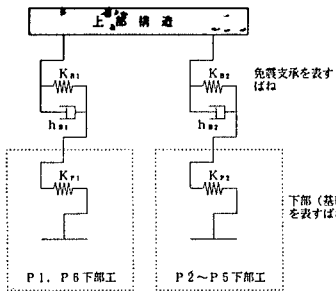


図4 免震設計上の解析モデル

仕様諸元	端支点用①	端支点用②	中間支点用
計算寸法 a × b (mm)	580 × 580	630 × 630	830 × 830
ゴム厚×層数 (mm)	13 × 15層	14 × 19層	19 × 7層
鉛プラグ φ × n (mm)	80 × 4本	80 × 4本	105 × 4本
ゴム体積 (m³)	0.0656	0.1056	0.0916

注1) S-30Mの端支点用支承のみ端支点用②を使用する。
2) ゴム体積は鉛プラグを控除しない値である。

表4 免震支承の仕様

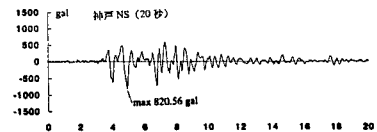


図5 入力加速度波形[文献2])

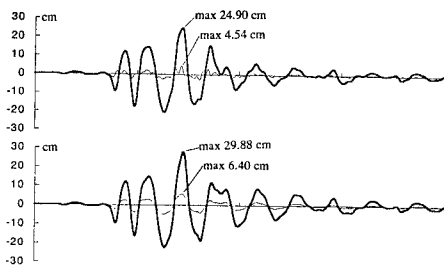


図6 変位応答波形[(a)コンクリート製橋脚橋、(b)鋼製橋脚橋]

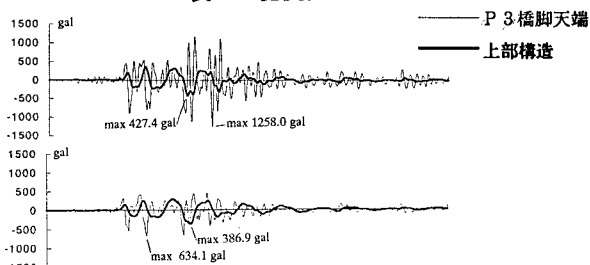


表3 免震支承設計結果

鋼架橋脚													許容値
種 別	S-10M				S-20M				S-30M				
	L1レベル		L2レベル		L1レベル		L2レベル		L1レベル		L2レベル		
	橋脚部	中間橋脚	橋脚部	中間橋脚	橋脚部	中間橋脚	橋脚部	中間橋脚	橋脚部	中間橋脚	橋脚部	中間橋脚	
上部構造変位 U_r (cm)	4.21		31.01		6.43		30.53		10.56		50.20		
支承の設計変位 U_s (cm)	4.06	3.87	30.68	30.05	4.97	3.69	36.49	31.76	5.11	1.96	40.08	30.24	
支承の有効等価剛性 K_{ae} (tf/m)	911.3	1908.5	214.9	543.3	791.4	1908.0	196.6	535.5	720.6	3045.9	172.4	542.3	
支承の有効等価減衰定数 h_{ae} (%)	27.2	27.5	21.1	15.4	27.8	27.7	19.6	14.8	27.3	25.3	18.0	15.3	
地震水平力(橋脚当り) F_s (tf)	57.8	117.4	112.2	309.5	61.7	115.4	129.7	403.0	58.6	92.6	172.4	542.3	
慣性力の分担率	0.099	0.201	0.077	0.212	0.106	0.197	0.196	0.148	0.120	0.190	0.092	0.203	
固有周期 T (sec)	0.876		1.610		1.121		1.780		1.636		2.210		
()内は非免震フレームモデル	(0.371)		(0.371)		(0.907)		(0.907)		(1.768)		(1.768)		
設計水平変位 K_h	0.18		0.45		0.18		0.48		0.15		0.46		
減衰定数 h (%)	25.3		10.0		17.7		13.8		9.49		11.1		
反圧反力 σ (kg/cm ²)	78.2	78.7	—	—	78.2	78.7	—	—	65.2	78.7	—	—	≧ 80
ゴムの局部せん断ひずみ γ_s (%)	20.8	29.1	157.3	101.1	25.5	27.7	187.1	238.8	10.2	14.7	173.3	227.4	≦ 150/250
合計 γ (%)	75.3	94.8	272.6	327.0	80.9	93.4	339.6	343.5	61.7	78.8	354.4	328.8	≦ 278/417