

鋼製橋脚を有する免震橋の動特性に関する研究

東京都立大学	学生員○内田 光彦
東京都立大学	正会員 長嶋 文雄
(株)オリエンタルコンサルタンツ	正会員 田中 努
武蔵工業大学	正会員 増田 陳紀

1.はじめに 鋼製橋脚はコンクリート橋脚に比較して内部減衰は小さいが、その剛度は低い。本研究では免震設計された鋼製橋脚橋とコンクリート橋脚橋の時刻歴応答解析をとおして、特に橋脚の剛度の低さが橋梁全体の免震特性にどのような影響を及ぼすのかを調べるために、橋脚高さなどをパラメータとしたケーススタディを行った。

2.想定モデル 想定したのは図1および図2(a),(b)に示す5径間連続鋼橋で、①橋脚材質はコンクリート製(C)と鋼製(S)の2種類、②橋脚高は10、20、30mの3種類、③それらを免震化した場合と非免震の場合、④入力地震波が震度法レベル(L1)と水平耐力レベル(L2)の2種類であり、全組合せは24通りである。上部構造は1径間50m、総重量3250tfの鋼箱桁であり全ケースにおいて共通とする。地盤はⅠ種地盤とし、地震波は橋軸方向に入力する。免震支承にはLRB(鉛プラグ入り積層ゴム支承)を想定する。また、想定した橋脚剛性については表3にまとめて示す。

3.FEMモデルと解析方法 各想定モデルに対して、文献1)に沿った、LRBの設計を行ったところ、コンクリート橋脚橋と鋼製橋脚橋の支承は表2に示すように殆ど同じ仕様になった。また、橋脚剛性の違いにもかかわらず、設計水平震度も殆ど同じ値になるという結果が得られた。免震支承は有効等価剛性を有するばねとしてモデル化し、橋脚は梁要素を用いてモデル化した。FEMモデルの全体系略図を図3に示したが、Ⅰ種地盤を想定したため、基礎端部は固定端と仮定した。減衰はモード減衰としてコンクリート橋脚橋5%、鋼製橋脚橋3%、また免震支承には有効等価減衰定数を有する集中減衰を定義した。非免震モデルは免震支承の剛性を十分大きくすることで対処した。応答計算はモーダルアナリシスで行い、地震波はL1レベルとして文献2)のⅠ種地盤用波形を、L2レベルとして文献1)のⅠ種地盤用波形を用いた。解析後の評価は、図3に示すように上部構造としてA点、橋脚天端としてB点で行う。

4.時刻歴応答解析結果 図4に、L2レベルの鋼製橋脚30m(S-30)の場合と、コンクリート製橋脚(C-30)の場合の加速度(a)~(d)、変位(e)~(h)の時刻歴応答波形を例示する。また、変位・速度・加速度応答の最大値(L1, L2レベル)を表3に示す。さらに、免震化した場合の変位・加速度応答の最大値を図5(a),(b)に示す。橋脚剛性の差が現れ、鋼製(S)はコンクリート製(C)の変位よりも大きく、長時間揺れが続くが、加速度の最大値は小さくなっている。ただし、鋼製橋脚橋においても最大変位は免震支承設計時の制約条件(L1で15cm)以内となっている。また、上部構造の変位と橋脚天端の相対変位、すなわち免震支承の変形量の最大値(表3の免震装置の欄)は橋脚高10m、20mでは殆ど差がないが、30mで鋼製の方が小さくなっている。一方、L2レベルの入力に対する加速度応答の最大値は、図5に示すように橋脚高さ30mでは鋼製橋脚橋はコンクリート橋脚橋よりも加速度はかなり小さく抑えられている。特に、橋脚天端の応答加速度が小さい。また、ピークの現れる時刻に差があり、コンクリート橋の方が早くピークが現れる。脚長が20mから30mに変化する間に鋼製橋脚橋の系の動特性が変わっているのではないと思われる結果が得られた。

図6は本解析に用いた地震波の加速度応答スペクトル上に加速度応答の最大値をプロットしたものである。コンクリート橋脚橋は非免震時の周期が短いいため免震化することで2倍以上の周期としやすいが、加速度応答スペクトルが下降する範囲まで長周期化することは難しく、主に内部減衰が大きいことで免震効果をもたらしている。他方、鋼製橋脚橋は長周期を計りやすいが、内部減衰が小さいため、免震化の効果を十分に活かし難いことがわかった。

5.まとめ 文献1)に基づいたLRBの設計では鋼製橋脚橋、コンクリート橋脚橋ともに設計震度は殆ど同じになった。しかし、動的応答解析の結果では、鋼製橋脚橋は橋脚高さが30m程度になるとその剛性が低くなり始め、長周期化が容易になり、コンクリート橋脚橋に比較して、変位はやや大きくなるが、加速度はかなり小さくなることがわかった。

[参考文献] 1) 建設省、道路橋の免震設計法マニュアル(案)。2) 日本道路協会、道路橋示方書・耐震設計編

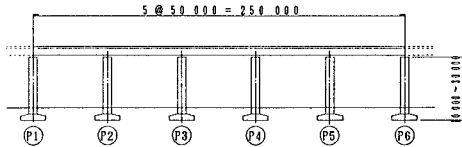


図1 橋梁モデル図(5径間連続鋼箱桁橋)

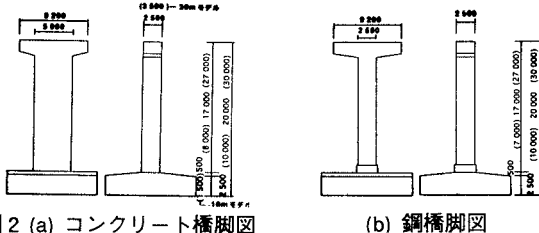


図2 (a) コンクリート橋脚図

(b) 鋼橋脚図

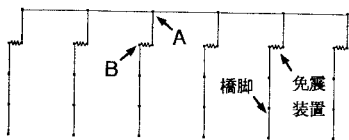


図3 FEMモデル

橋脚種類	弾性剛性	降伏剛性
鋼製橋脚		
S-10M	31,400	31,400
S-20M	4,200	4,200
S-30M	1,075	1,075
コンクリート橋脚		
C-10M	95,000	95,000
C-20M	9,900	9,900
C-30M	6,800	6,800

表1 橋脚剛性

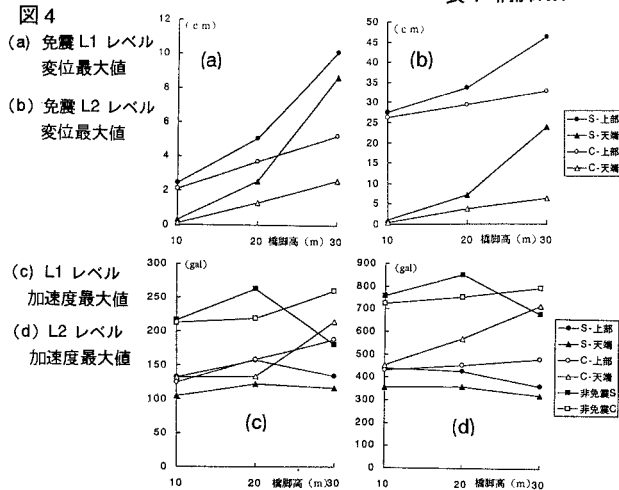


図4

(a) 免震L1レベル変位最大値

(b) 免震L2レベル変位最大値

(c) L1レベル加速度最大値

(d) L2レベル加速度最大値

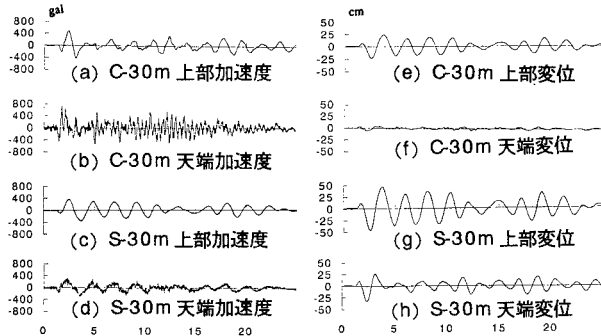


図5 応答波形(免震・L2レベル)

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)	0.0056	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。
注2) ゴム体積は鉛プラグを控除しない値である。

表2 免震支承の仕様

		L1レベル			L2レベル		
		変位 (cm)	速度 (cm/s)	加速度 (gal)	変位 (cm)	速度 (cm/s)	加速度 (gal)
S-10m	上部	2.44	14.4	133.0	27.57	101.5	439.9
	天端	0.28	1.9	104.8	0.97	3.6	357.9
	免震装置	2.17		115.7	26.65		530.8
	非免震	0.46	7.8	215.8	1.60	29.1	756.5
C-10m	上部	2.09	13.2	125.6	26.19	94.1	432.6
	天端	0.10	1.0	132.9	0.35	2.9	455.5
	免震装置	2.01		154.0	25.89		711.1
	非免震	0.17	5.0	212.2	0.59	14.8	723.1
S-20m	上部	5.04	23.4	157.1	33.76	123.5	427.3
	天端	2.56	11.9	122.6	7.10	27.4	359.7
	免震装置	2.55		74.2	26.83		478.3
	非免震	4.21	33.5	262.8	13.62	105.1	850.2
C-20m	上部	3.68	17.8	158.5	29.46	107.5	453.9
	天端	1.29	6.9	133.7	3.82	25.5	570.0
	免震装置	2.54		136.2	26.83		688.9
	非免震	1.87	16.5	218.9	6.49	55.6	752.5
S-30m	上部	10.10	35.3	133.2	46.45	137.1	363.8
	天端	8.64	30.2	115.7	23.87	71.7	321.9
	免震装置	1.48		30.1	22.92		314.6
	非免震	11.17	41.7	179.7	42.53	164.1	680.9
C-30m	上部	5.18	23.7	187.1	32.84	119.1	485.3
	天端	2.61	12.4	213.4	6.41	35.8	719.5
	免震装置	2.92		152.3	28.52		837.7
	非免震	3.53	28.2	258.6	12.11	82.4	799.3

表3 応答最大値

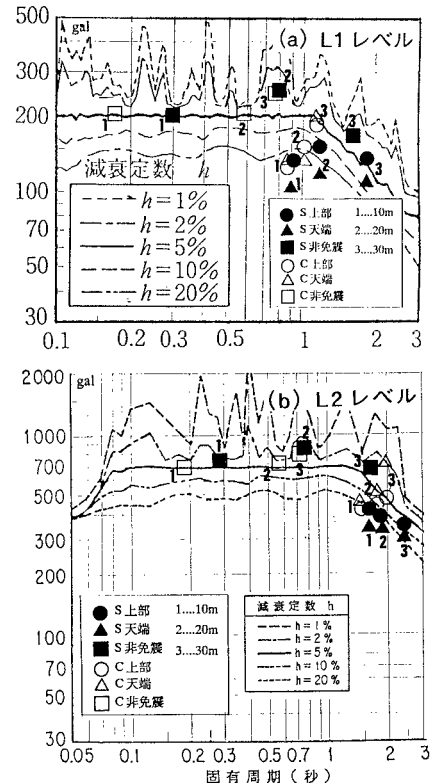


図6 応答スペクトル上に示す加速度応答