

本線とランプが一体となったV字型高架橋の耐震設計報告

西村 彩¹・小泉 正司²・坂本 眞徳²

¹正会員 工修 中央復建コンサルタンツ株式会社 橋梁系グループ (〒533-0033 大阪市東淀川区東中島4丁目11番10号)
²正会員 中央復建コンサルタンツ株式会社 橋梁系グループ (〒533-0033 大阪市東淀川区東中島4丁目11番10号)

1. はじめに

緊急輸送路に位置付けられる道路を跨線する高架橋では、耐震性の向上を目的として、一般的に、上部工を連続化させることにより緊急輸送路への落橋を防止する橋梁計画が行われる。

一方、本線とランプが合流するジャンクション橋梁では、本線とランプの幅員や上部工構造の違いから、合流部付近に目地を設置し、上部構造を分割する形式を採用するケースが多く見られる。

ここでは、高速道路を跨ぐ本線橋とランプ橋が、跨線する高速道路直近で合流する道路線形を有した実橋を対象として、本線とランプを一体化することにより耐震性の向上を図ったV字型高架橋の耐震設計について報告する。なお、耐震設計では下記の点に留意し、3次元の荷重漸増解析および動的解析を実施し、V字型高架橋全体の地震時挙動の確認を行なった。

- ① 構造規模の異なる本線橋とランプ橋の動的挙動の把握と相互橋脚への影響
- ② 建設済橋脚の耐震性

表-1 ランプ橋の構造緒元	
ランプ橋	
区分	インターチェンジ 第1級A規格
設計速度	40km/h
車線数	1方向1車線
橋梁形式	鋼5径間連続鋼桁
橋長	229.1m
有効幅員	6.000~6.060m
設計荷重	B活荷重
支承条件	〈橋軸方向〉
	分散：PR7~PR9
	剛結：PR10~PR12
支承条件	〈橋軸直角方向〉
	固定：PR7~PR12

表-2 本線橋の構造緒元	
本線橋	
区分	第1種 第3級A規格
設計速度	80km/h
車線数	1方向2車線
橋梁形式	鋼5径間連続鋼桁
橋長	273.6m
有効幅員	9.850m~14.329m
設計荷重	B活荷重
支承条件	〈橋軸方向〉
	分散：P12, P13, P17
	剛結：P14~P16
支承条件	〈橋軸直角方向〉
	固定：P12~P17

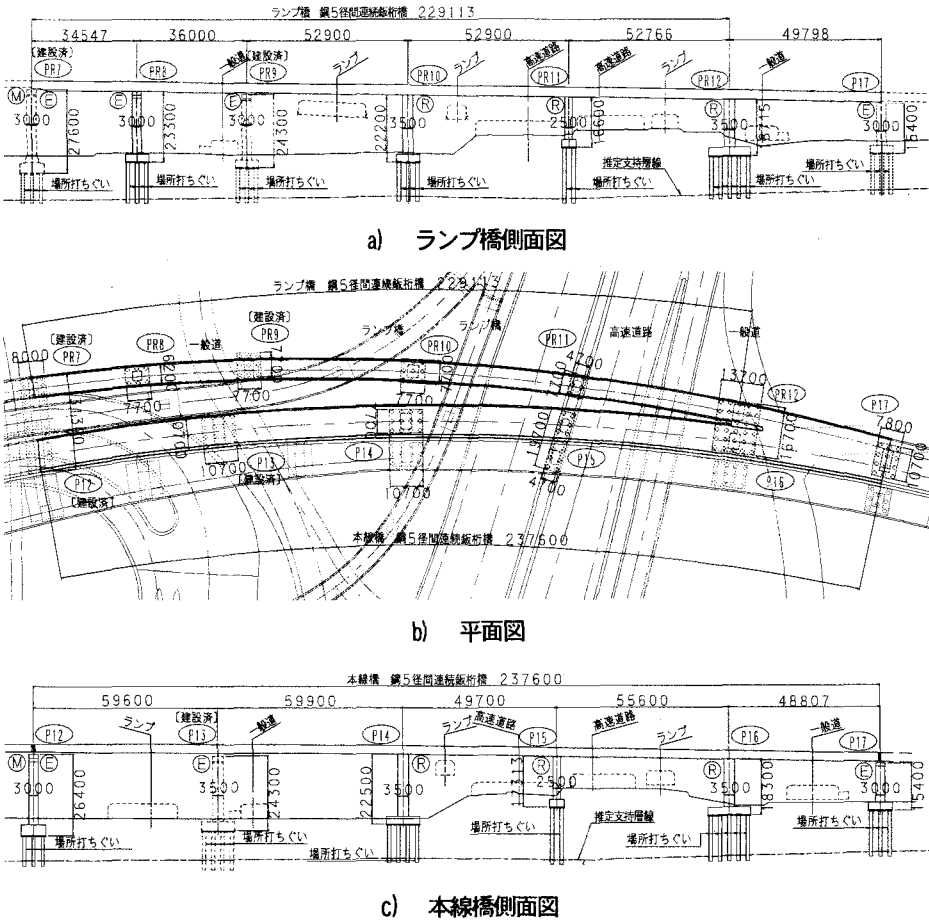


図-1 橋梁一般図

2. 高架橋概要

対象とした高架橋は、高速道路、ランプ橋、一般道を跨ぐ、鋼5径間連続非合成鈑桁で構成される本線橋とランプ橋であり、P16 橋脚、PR12 橋脚付近で本線とランプが合流する。橋梁諸元を表-1, 2, また、一般図を図-1 に示す。

下部工については、全12橋脚のうちP12, P13, PR7, PR9 橋脚の4橋脚が「復旧仕様¹⁾」にて設計され建設済である。また、本線とランプのP12, PR7 橋脚は、鋼製門型ラーメン橋脚であり、それ以外はRC橋脚である。

本線とランプとを分離した構造で設計された建設済の橋脚は、当初との構造系の違いから、反力分散支承を用いた構造では耐震性を確保することが困難となったため、高速道路を跨ぐ区間の本線橋とランプ橋の新設3橋脚を剛結構造としている。

3. 解析条件および解析モデル

解析条件を表-3、解析モデルを図-3に示す。

橋軸方向の解析モデルは、荷重漸増解析より剛結部橋脚の上端が柱基部よりも先行して塑性化することを確認したため、塑性ヒンジを設けるものとした²⁾。RC橋脚の塑性ヒンジ以外の部材は、剛性低下型トリニミアモデルにて設定した³⁾。鋼製橋脚は、道路橋示方書・同解説V⁴⁾に基づき非線形性を考慮した履歴特性を設定した。

また、本線とランプの合流部のP16 橋脚とPR12 橋脚間の上部工は、床版打ち下ろしを行い、橋脚幅に合わせて2箇所設置する横桁により、剛に連結するため、横桁部は、図-2に示すとおり剛な梁部材としてモデル化した。

なお、各構造要素の減衰定数は、道路橋示方書・同解説V⁴⁾に基づき表-4の値を用いた。

表-3 解析条件

項目	適用
解析手法	直接積分による時刻歴応答解析
積分手法	Newmark β 法 ($\beta=1/4$)
減衰行列の作成方法	Rayleigh 減衰
塑性ヒンジバネモデル	非線形バネ
履歴モデル	武田モデル
固有周期算出手法	サブスペース法
使用プログラム	TDAP III (アーク情報システム(株))
入力地震動	道示レベル2地震動(II種地盤)

表-4 各構造要素の減衰定数

構造部材	弾性域にある部材		非線形域にある部材	
	鋼構造	コンクリート構造	鋼構造	コンクリート構造
上部	0.02	—	—	—
下部	0.03	0.05	0.01	0.02
基礎	0.20			
支承	0.04			

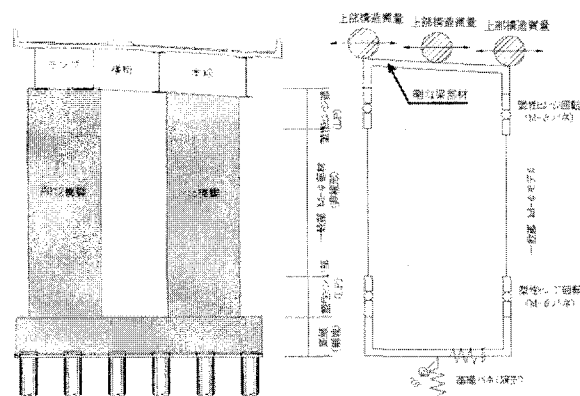


図-2 P16 橋脚と PR12 橋脚のモデル化

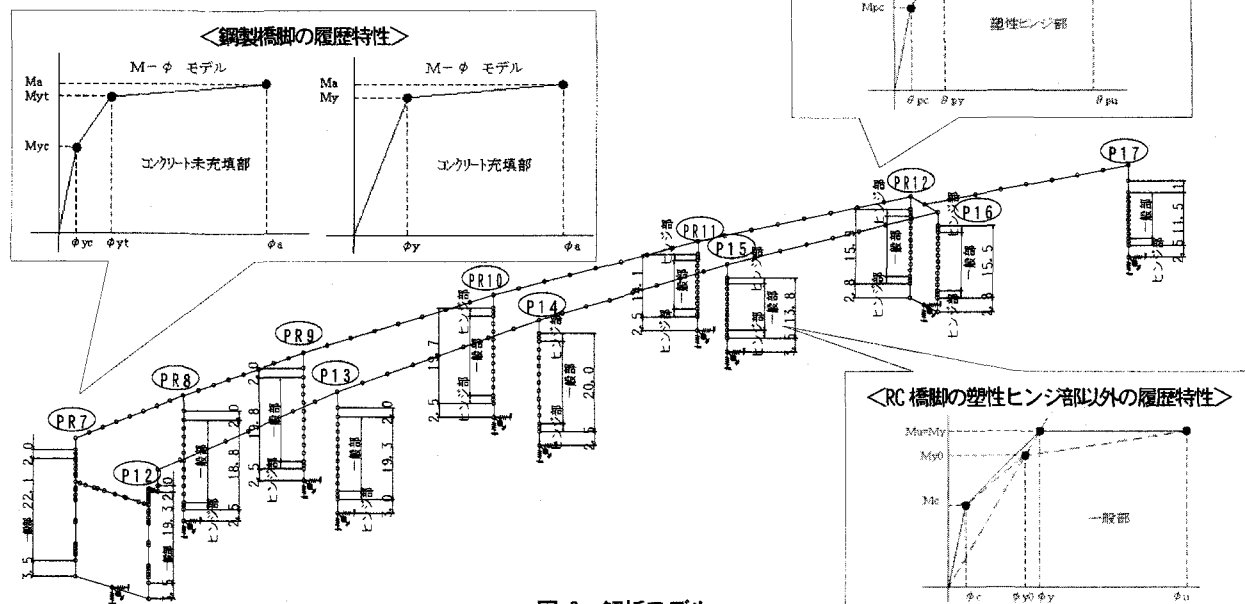


図-3 解析モデル

4. 静的解析の結果

(1) 荷重漸増解析

荷重漸増解析の結果を表-5, 6, 図-5 に示す。

橋軸方向は、剛結部橋脚から降伏限界や終局限界に達しており、P15 橋脚と PR11 橋脚は橋脚上端から降伏し始めている。また、起点側の支承構造橋脚 (P12, P13, PR7~PR9) は剛結部橋脚が終局限界に達しても降伏限界に達しなかった。

橋軸直角方向は、ランプ橋脚から先に降伏限界と終局限界に達している。

(2) 各橋脚の上部工慣性力の分担

静的解析により得た死荷重反力および橋脚上端部のレベル1地震時水平力、レベル2地震時水平力(初降伏時)、また、道路橋示方書に示される最低震度(0.4Cz)により決定した設計断面を表-7, 8 に示す。また、各橋脚における

死荷重時の鉛直時の分担率と地震時の水平力の分担率を図-4 に示す。

橋軸方向については、P14 橋脚と PR11 橋脚より起点側の橋脚が本線・ランプとも死荷重の鉛直荷重の分担率より水平力の分担率が小さくなっており、P16 橋脚と PR12 橋脚は死荷重の鉛直荷重の分担率より水平力の分担率が大きく、その分担率は P16 橋脚で 28.3%, PR12 橋脚で 22.2%となっている。これは、終点側で上部工が一体となっていること、P16 橋脚と PR12 橋脚が剛結橋脚であることから、高架橋全体の中で水平剛性が大きくなり水平力の分担率が高くなったことを表している。また、建設済橋脚である P12, P13, PR7, PR9 橋脚は、建設時の水平力に対して約 20%に抑制する結果となった。

橋軸直角方向については、橋脚の曲げ剛性の小さい P15 橋脚と PR11 橋脚の水平力分担率が小さく、それ以外の橋脚は、死荷重の鉛直荷重の分担率と水平力の分担率がほぼ同じとなる結果となった。

表-5 橋脚の状態(橋軸方向)

橋脚	位置	状態	水平震度	水平変位(m)
PR12	下端	降伏限界に達した。	0.456	0.119
PR11	上端	降伏限界に達した。	0.457	0.119
P16	下端	降伏限界に達した。	0.458	0.120
P14	下端	降伏限界に達した。	0.498	0.139
P15	上端	降伏限界に達した。	0.505	0.143
PR11	下端	降伏限界に達した。	0.545	0.169
P14	上端	降伏限界に達した。	0.600	0.208
PR10	下端	降伏限界に達した。	0.611	0.217
P15	下端	降伏限界に達した。	0.618	0.224
PR11	上端	終局限界に達した。	0.690	0.327

表-6 橋脚の状態(橋軸直角方向)

橋脚	位置	状態	水平震度	水平変位(m)
PR10	下端	降伏限界に達した。	0.515	0.286
PR9	下端	降伏限界に達した。	0.535	0.317
PR8	下端	降伏限界に達した。	0.536	0.320
PR11	下端	降伏限界に達した。	0.550	0.369
P15	下端	降伏限界に達した。	0.593	0.570
P14	下端	降伏限界に達した。	0.604	0.622
PR9	下端	終局限界に達した。	0.624	0.718

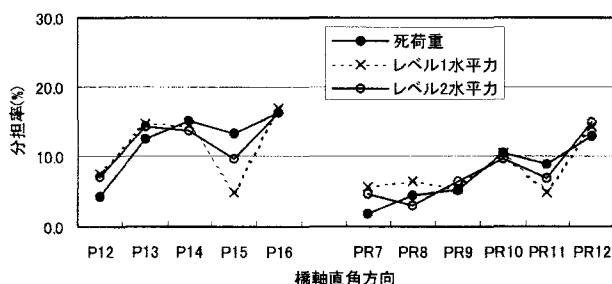
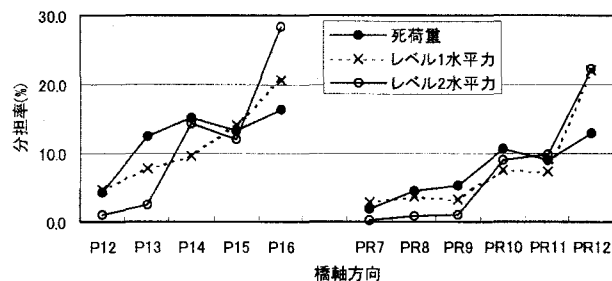
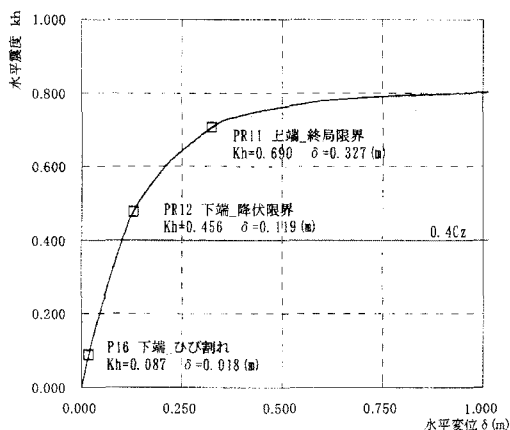
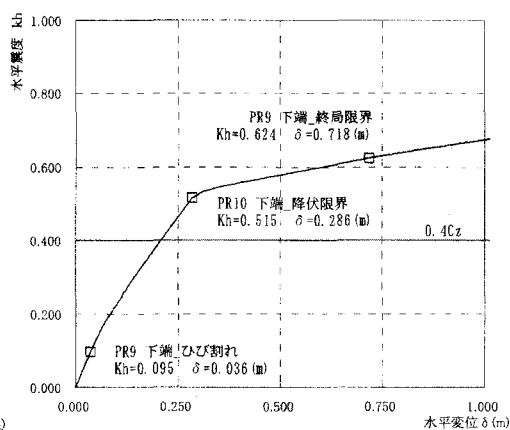


図-4 死荷重と水平力との比較



a) 橋軸方向



b) 橋軸直角方向

図-5 水平震度-水平変位曲線

表-7 死荷重反力および水平力(橋軸方向)

死荷重 水平力の下段は合計に対する百分率

	橋脚	死荷重	水平力		橋脚幅
			レベル1	レベル2	主鉄筋
本線	P12	3450kN	1050kN	350kN	鋼製橋脚
		4.3%	4.6%	1.0%	
	P13	9950kN	1750kN	800kN	□ 4.5m D51-2段
		12.5%	7.7%	2.4%	
	P14	12050kN	2150kN	4750kN	□ 5.0m D35-1段
		15.1%	9.5%	14.2%	
	P15	10550kN	3200kN	4000kN	○ 4.5m D38-2段
		13.2%	14.1%	12.0%	
	P16	13050kN	4650kN	9450kN	□ 5.0m D51-1.5段
		16.3%	20.5%	28.3%	
小計	49050kN	12800kN	19350kN		
	61.4%	56.5%	57.9%		
ランプ	PR7	1450kN	650kN	100kN	鋼製橋脚
		1.8%	2.9%	0.3%	
	PR8	3550kN	850kN	250kN	□ 3.0m D38-1段
		4.4%	3.8%	0.7%	
	PR9	4200kN	750kN	350kN	□ 3.0m D51-1段
		5.3%	3.3%	1.0%	
	PR10	8400kN	1700kN	3000kN	□ 4.0m D38-1段
		10.5%	7.5%	9.0%	
	PR11	7100kN	1650kN	3300kN	○ 4.0m D32-2段
		8.9%	7.3%	9.9%	
	PR12	10300kN	5000kN	7400kN	□ 5.0m D51-1.5段
		12.9%	22.1%	22.2%	
	小計	30800kN	9850kN	14050kN	
38.6%		43.5%	42.1%		
合計		79850kN	22650kN	33400kN	

表-8 死荷重反力および水平力(橋軸直角方向)

死荷重 水平力の下段は合計に対する百分率

	橋脚	死荷重	水平力		橋脚幅
			レベル1	レベル2	主鉄筋
本線	P12	3450kN	1700kN	2900kN	鋼製橋脚
		4.3%	7.4%	7.0%	
	P13	9950kN	3400kN	5900kN	□ 3.5m D51-1.5段
		12.5%	14.8%	14.3%	
	P14	12050kN	3350kN	5600kN	□ 3.5m D35-2段
		15.1%	14.5%	13.6%	
	P15	10550kN	1100kN	4000kN	○ 2.5m D38-2段
		13.2%	4.8%	9.7%	
	P16	13050kN	3900kN	6700kN	□ 3.5m D51-1段
		16.3%	16.9%	16.3%	
小計	49050kN	13450kN	25100kN		
	61.4%	58.4%	60.9%		
ランプ	PR7	1450kN	1300kN	1900kN	鋼製橋脚
		1.8%	5.6%	4.6%	
	PR8	3550kN	1500kN	1250kN	□ 3.0m D38-2段
		4.4%	6.5%	3.0%	
	PR9	4200kN	1250kN	2650kN	□ 3.0m D51-2段
		5.3%	5.4%	6.4%	
	PR10	8400kN	2400kN	3950kN	□ 3.5m D38-2段
		10.5%	10.4%	9.6%	
	PR11	7100kN	1100kN	2850kN	○ 2.5m D32-2段
		8.9%	4.8%	6.9%	
	PR12	10300kN	3300kN	6150kN	□ 3.5m D51-0.5段
		12.9%	14.3%	14.9%	
小計	30800kN	9600kN	16100kN		
	38.6%	41.6%	39.1%		
合計		79850kN	23050kN	41200kN	

(3) 固有値解析

固有値解析の結果を表-4、図-6 に示す。

橋軸方向は、剛結部橋脚が応答している5次モードが卓越した。

橋軸直角方向は、ランプ側橋脚が応答している1次モードと本線側橋脚が応答している3次モードが卓越した。

表-4 固有値解析結果

方向	モード 次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数		
				橋軸	直角	鉛直
橋軸	1	0.860	1.621	5.338	65.000	1.003
	2	1.022	0.979	5.471	55.330	2.943
	3	1.088	0.919	28.900	-45.650	0.580
	4	1.101	0.908	-65.340	-9.901	0.637
	5	1.204	0.831	73.660	-8.538	-7.984
	6	1.259	0.794	48.410	15.580	5.174
	7	1.312	0.762	38.190	14.340	11.770
	8	1.550	0.645	28.920	18.390	1.713
	9	1.591	0.628	3.379	25.450	1.384
	10	1.703	0.587	12.930	63.000	1.039
橋軸 直角	1	0.883	1.133	8.091	65.270	1.035
	2	1.017	0.983	32.480	32.220	2.411
	3	1.076	0.929	50.080	-56.120	1.495
	4	1.109	0.902	39.160	31.190	-1.265
	5	1.195	0.837	-80.840	6.849	6.606
	6	1.270	0.787	45.670	11.860	10.320
	7	1.325	0.755	23.240	-19.960	8.804
	8	1.540	0.649	-28.340	21.320	1.751
	9	1.597	0.626	2.908	-23.620	-1.278
	10	1.708	0.585	14.830	61.200	0.925

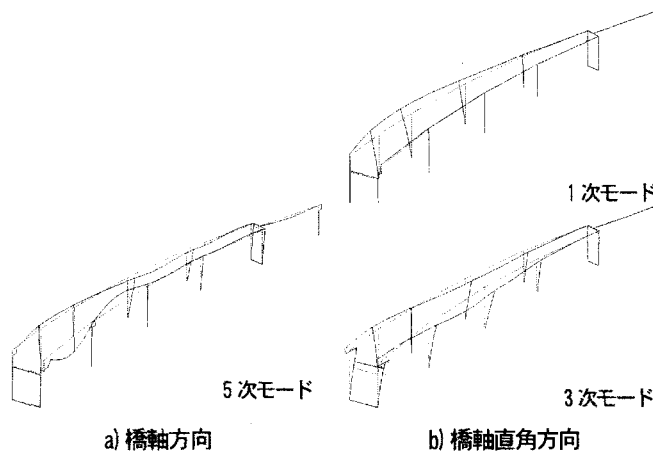


図-6 モード図

5. 動的解析の結果

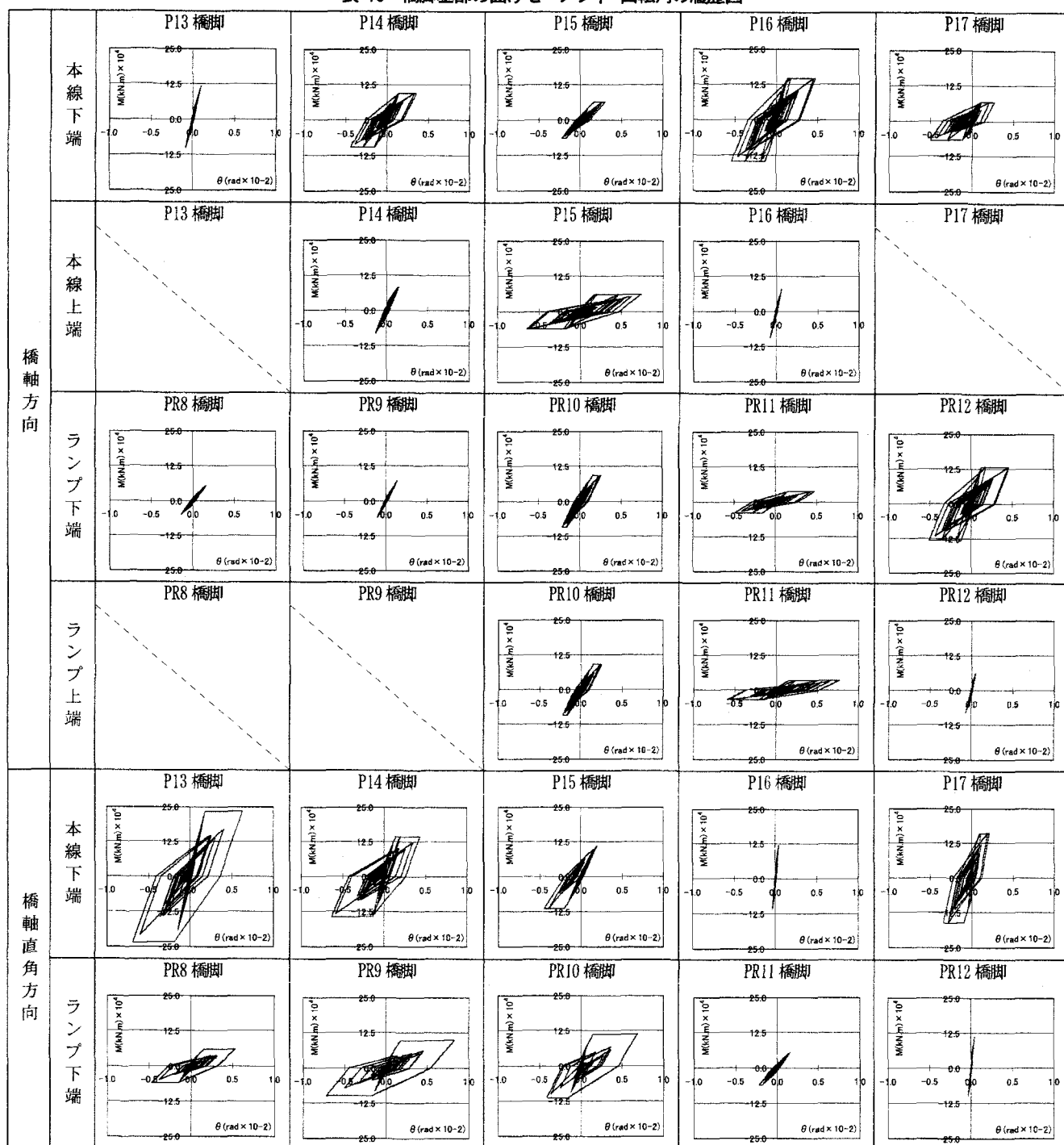
(1) 塑性ヒンジ部の時刻歴回転角

動的解析により得た橋脚基部の曲げモーメントと回転角の履歴図を表-10 に示す。

橋軸方向は、剛結構造である P14~P16 橋脚、PR10~PR12 橋脚が塑性域に達した履歴となっており、支承構造である P12、P13、PR7~PR9 橋脚は水平力がほとんど作用しないため、弾性域内の履歴となっている。

橋軸直角方向は、橋軸方向の設計において、水平力の分担率が高く曲げ耐力が増加している P16 橋脚、PR12 橋脚が弾性域内の履歴となっている。また、橋軸方向とは逆に、最低震度(0.4Cz)により設計断面が決定している支承構造の P12、P13、PR7~PR9 橋脚は、塑性化に達している。

表-10 橋脚基部の曲げモーメント-回転角の履歴図



(2) 橋脚の時刻歴変位

各橋脚の慣性力作用位置での時刻歴応答変位を図-7に示す。ここで、V字型高架橋における本線橋とランプ橋の挙動を確認するため、剛結部橋脚 (P14, P15, PR10, PR11 橋脚) について、隣接橋脚と重ね合わせた時刻歴応答変位とした。

P14 橋脚-PR10 橋脚間と P15 橋脚-PR11 橋脚間の橋軸直角方向の時刻歴応答変位では、約 10cm の変位差が見られるものの、位相差はなく同一方向への変位挙動を示していることが確認できる。

これは、合流部付近の橋脚が支承構造ではなく剛結構造であることにより、本線橋とランプ橋の地震時の位相差が生じにくい構造となったためと考えられる。また、この変位差から生じる曲げモーメントから P16 橋脚と PR12 橋脚を連結する横桁を照査したところ、発生応力は 55N/mm^2 程度であり、合流部上部工には大きな影響を及ぼさないことを確認した。

(3) 上部工の最大断面力

上部工の最大曲げモーメントを図-8に示す。

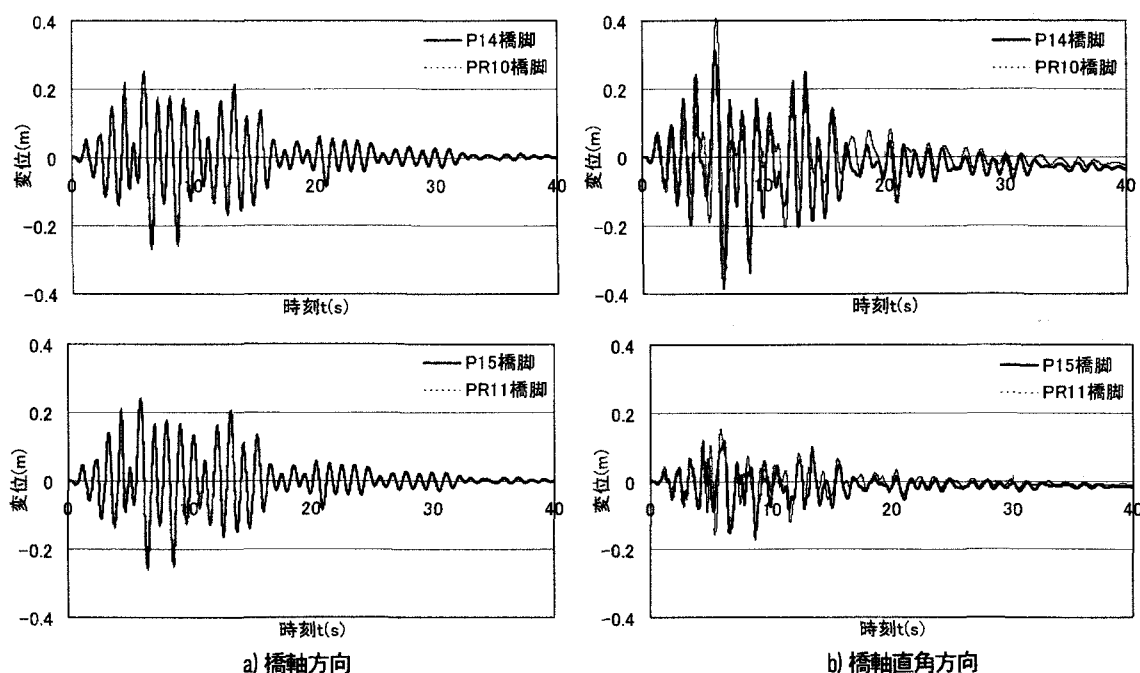


図-7 時刻歴応答変位

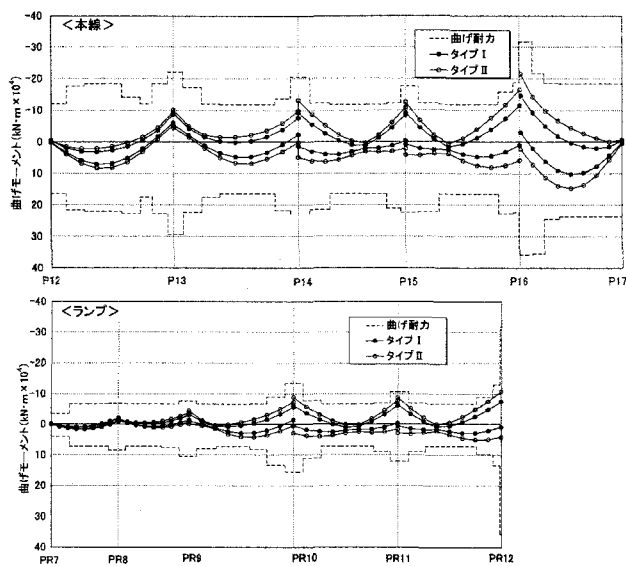


図-8 上部工最大断面力および降伏耐力

剛結橋脚の位置で上部工の曲げモーメントが増加している。特に、上部工が合流する個所においては、上部工合流部の剛性が大きいこと、下部工との剛結構造により下部工断面力が上部工に影響していることから、大きな曲げモーメントが発生する結果となったが、常時で決定される鋼断面により抵抗できる断面力であった。

6. まとめ

本検討では、V字型高架橋の地震時挙動の確認を行った。本検討で確認した地震時挙動は以下のとおりであった。

- ① 橋軸方向は、V字型高架橋の影響があり、合流部付近の上部工や下部工に断面力が偏った。

- ② 橋軸直角方向は、一般的な連続高架橋の挙動と大きな違いがなく、V字型高架橋の影響がなかった。
- ③ 本線橋とランプ橋の地震時挙動は、若干の変位差は生じたものの位相差が生じるまでの異なった挙動を示すことはなかった。合流部付近の橋脚が剛結構造であることが本線橋とランプ橋の異なった動的挙動を抑制したと考えられる。

本線とランプが合流するジャンクション橋梁では、本線とランプの構造規模の違いから、地震時に挙動が異なることが懸念され、合流部付近に目地を設け上部工を分割する形式が採用されてきた。このような実状に対し、本検討では、本線橋とランプ橋を一体化したV字型高架橋において、合流部付近の橋脚へ剛結構造を採用することが、地震時挙動の抑制に優位であるという結果を得ることができたと考える。

今後は、V字型高架橋における効果的な支承構造についてさらに研究を進めていきたい。

今回対象としたV字型高架橋のような上部工の連続化は、耐震性向上の他、伸縮装置をなくすことにより走行性や維持管理の向上を図ることを目的に、今後ますます実施されることが考えられる。本設計報告がその参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」の準用に関する参考資料(案)，1995. 6
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，1997. 3
- 3) 日本道路公団：設計要領第二集，2000. 1
- 4) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V. 耐震設計編，2002. 3