

鉄道総合技術研究所 正会員 松本信之
 西日本旅客鉄道 正会員 松岡義幸
 大林組技術研究所 正会員 大内 一
 大林組技術研究所 正会員 江尻讓嗣

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震で大きな被害を受けた山陽新幹線ラーメン高架橋のうち、阪水高架橋（2層式）と甲東園高架橋（1層式）を例にとり、非線形解析により破壊メカニズムを検討した後に弾塑性動的応答解析により被害の検証を行った。またこれらの高架橋をモデルにして、補強後の耐震性を検討した。

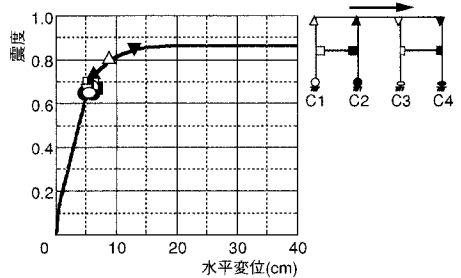
2. 解析方法

橋軸および橋軸直角方向を独立に検討する。耐力、破壊メカニズムを明らかにする目的で骨組構造静的非線形解析を行い、次に得られた荷重—変位関係に基づき質点系弾塑性応答解析を実施して、被害の検証並びに補強後の耐震性を検討した。静的解析は構造物を積層梁要素の集合体でモデル化し、鉄筋およびコンクリート層とも1軸応力—ひずみ関係モデルに従う。材料定数は実強度を考慮し、次のように仮定した。コンクリート： $f_c=350\text{kgf/cm}^2$, $f_t=25\text{kgf/cm}^2$ 鉄筋： $f_y=3,500\text{kgf/cm}^2$ 。各層の自重を柱頂部に载荷したのち、上下層の重量比に応じた水平荷重を漸増载荷した。弾塑性応答解析は、せん断系質点モデルを用い水平動に対する時刻歴応答解析を行った。せん断力と層間変位の関係は、スケルトンは前述の解析により、またヒステリシスは武田モデルによる。減衰は瞬間剛性比例型で5%減衰定数を仮定した。なお地盤等との相互作用や上下動は考慮しない。地表面入力地震動は、関西電力新神戸変電所内の硬質地盤で観測された記録 [1] をそれぞれのサイト想定基盤に入力し、周波数型等価線形手法を用いた重複反射理論に基づく地盤の応答解析を実施して推定した。なお入力方向については、NS成分およびEW成分をそれぞれ橋軸直角方向、橋軸方向の応答解析用に用いた。

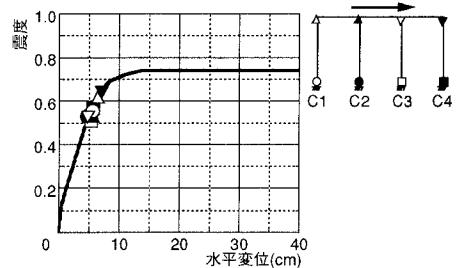
3. 破壊メカニズムと被害の検証

図—1, 2には橋軸方向の解析を例に、得られた荷重—変位関係、降伏ヒンジ発生段階およびその位置を示す。ここに縦軸の震度は水平荷重を自重で除した値である。図—3には阪水高架橋のせん断破壊を決定づける下層C4柱の作用せん断力とせん断耐力 [2] の関係を示す。表—1, 2にはこのようにして予測される耐力を破壊震度として示す。阪水高架橋の場合、橋軸方向および直角方向はそれぞれ最も耐力の小さいC4, C2柱でせん断破壊が導かれる。一方甲東園高架橋の場合、橋軸方向は曲げ降伏先行、直角方向は曲げ耐力とせん断耐力がほぼ等しい。被害が柱端部のコンクリート剥落程度にとどまっていることと符合する。

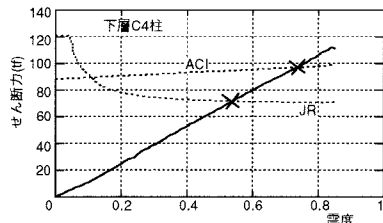
図—4に阪水高架橋橋軸方向を例に動的応答解析で得られた



図—1 荷重—変位関係とメカニズム
 (阪水高架橋—橋軸方向)



図—2 荷重—変位関係とメカニズム
 (甲東園高架橋—橋軸方向)



図—3 作用せん断力とせん断耐力
 (阪水高架橋—橋軸方向)

表一 1 曲げおよびせん断耐力による破壊震度
(阪水高架橋)

方向	橋軸				橋軸直角方向		
	柱番号	C1	C2	C3	C4	C1	C2
柱せん断耐力	—	—	—	—	—	—	0.68
曲げ耐力 (構造全体)	0.74				0.69		

表一 2 曲げおよびせん断耐力による破壊震度
(甲東園高架橋)

方向	橋軸				橋軸直角		
	柱番号	C1	C2	C3	C4	C1	C2
せん断耐力	上層	0.75	—	0.62	—	—	—
	下層	0.66	0.58	0.71	0.53	0.69	0.58
曲げ耐力 (構造全体)	0.87				0.75		

表一 3 最大応答塑性率の一覧

	阪水高架橋				甲東園高架橋	
	橋軸直角方向		橋軸方向		橋軸直角方向	
	下層柱	上層柱	下層柱	上層柱	方向	橋軸方向
神戸気象台波(NS) 818gal	5.7	6.9	2.3	5.0	6.5	5.3
釧路沖波(EW) 922gal	1.7	3.5	1.4	3.7	2.4	2.2
八戸波(EW) 183gal	0.8	0.9	0.6	0.7	—	0.6
サイト波 (橋軸直角方向: NS) (橋軸方向: EW)						
- 阪水- NS: 601gal EW: 688gal	1.5	2.1	2.3	4.5	2.3	5.7
- 甲東園- NS: 665gal EW: 851gal						

せん断力波形を示す。せん断破壊する層はその耐力を
中に示すが最初の1、2波で下層柱がせん断破壊する。

破線で示すそれ以降の応答はせん断破壊が防止された場合の応答となる。一方甲東園高架橋は、曲げ降伏先行の橋軸方向は最大5.7の、またせん断耐力が曲げ耐力とほぼ等しい直角方向は、せん断破壊しなければ最大2.3の応答塑性率を示す。

4. 補強後の耐震性

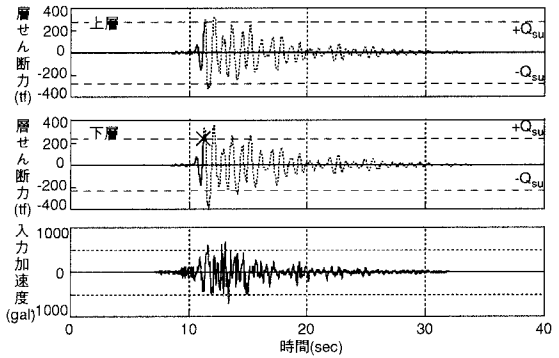
現在鉄道高架橋柱は鋼板巻立てを中心にせん断および靱性補強が進められている。そこで本高架橋をモデルに補強後の耐震性を検討する。推定サイト波を含む過去の代表地震波に対する応答を表一3に示す。また図一5には、応答が最大となる神戸海洋気象台波NS成分に対する補強後阪水高架橋直角方向の結果を例示する。当高架橋の場合 $t=6\text{mm}$ の鋼板補強は橋軸方向上下層柱 $\mu_s=18.0, 12.9$ 、及び直角方向上下層 $\mu_s=15.0, 13.3$ となり[3]、両方向とも十分な靱性能を与えている。

5. あとがき

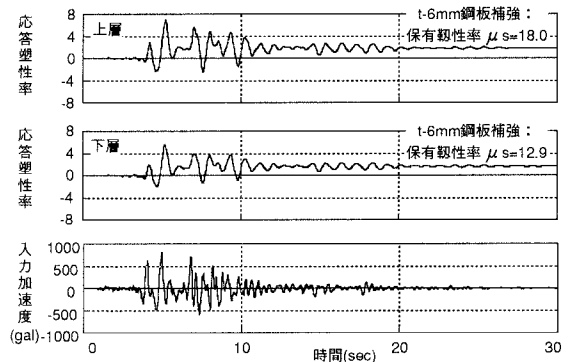
阪水高架橋は橋軸および直角方向ともせん断破壊先行型、甲東園高架橋は橋軸方向は曲げ破壊型、直角方向はせん断耐力が曲げ耐力とほぼ同様である。推定サイト波に対し、せん断破壊型は最初の1、2波で破壊する。両高架橋をモデルに補強後の耐震性を検討したが、最大級の加速度記録である神戸海洋気象台波に対しても十分な靱性を有することが分かった。本検討は土木学会コンクリート委員会阪神大震災調査特別研究委員会の調査活動の一環として行った。

参考文献

- [1] 関西地震観測連絡協議会：第5回総会資料、平成7年5月
- [2] (財) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物、丸善、平成4年10月
- [3] (財) 鉄道総合技術研究所：「鉄道新設構造物の耐震設計に係わる当面の措置について」および「既存の鉄道構造物に係わる緊急措置について」参考資料（案）、平成7年9月



図一 4 層せん断力の応答 (阪水高架橋)



図一 5 補強後の阪水高架橋 (橋軸直角方向)
の海洋気象台波 (NS成分) に対する応答