

# 兵庫県南部地震PC構造物震害調査報告

兵庫県南部地震PC構造物震害調査委員会

## 1. はじめに

去る1月17日未明に起きた兵庫県南部地震は、阪神・淡路地区に甚大な人的、物的被害を与え、半年を経た現在、交通機関を始めとして社会基盤の一部は復旧したものの、その大部分は未だに本来の機能を取り戻していない。

この地震では高速道路や新幹線、在来線の橋梁を始めとしたコンクリート構造物や港湾構造物、そして建築物が大きな被害を受けた。特に地震直後に大々的に報道された阪神高速道路神戸線のピルツ構造高架橋や山陽新幹線高架橋といったプレストレストコンクリート（以下PC）橋梁の倒壊・落橋は、我々PC技術に携わる者にとっては大きな衝撃であった。

PC技術協会では、こうした状況を重大に受けとめ、協会内に「兵庫県南部地震PC構造物震害調査委員会」を設けて、橋梁を始めとしたPC構造物を中心に被災状態の調査を早急に行うこととした。

このPC構造物震害調査委員会は、多くのPC構造物に対して短期間に震害調査を行い、分析するため、PC技術協会法人会員各社からの参画者を中心に構成し、

「兵庫県南部地震PC構造物震害調査報告書」（平成7年4月）を発行した。

本報文はこの報告書の要約であり、以下、兵庫県南部地震の地震動の特徴を示し、PC構造物の被害状況について報告する。

## 2. 地震の概要

当地震は明石海峡付近を震源とするマグニチュード7.2の地震であり、震源深さは約14kmと推定されている。気象庁発表による震度階は図-1に示すような分布を示し、当初、神戸市と淡路島の一部は震度6であったものが震度7に修正された。この震度7は、震度階が1949年に設定されて以来初めての適用であった。

また、この地震は、都市機能が高度に集中した近代的な大都市圏で発生した直下型地震であり、都市直下型地震としての規模の大きさは世界で初めて経験するものであった。地震による死者は約5500人、建物の全半壊は約14万5千棟に及び、新幹線高架橋や高速道路橋の倒壊、港湾施設の損壊、埋立て地の液状化現象、地下構造物の損壊、ライフラインの断絶などといった土木関連施設の致命的打撃もその特徴であった。

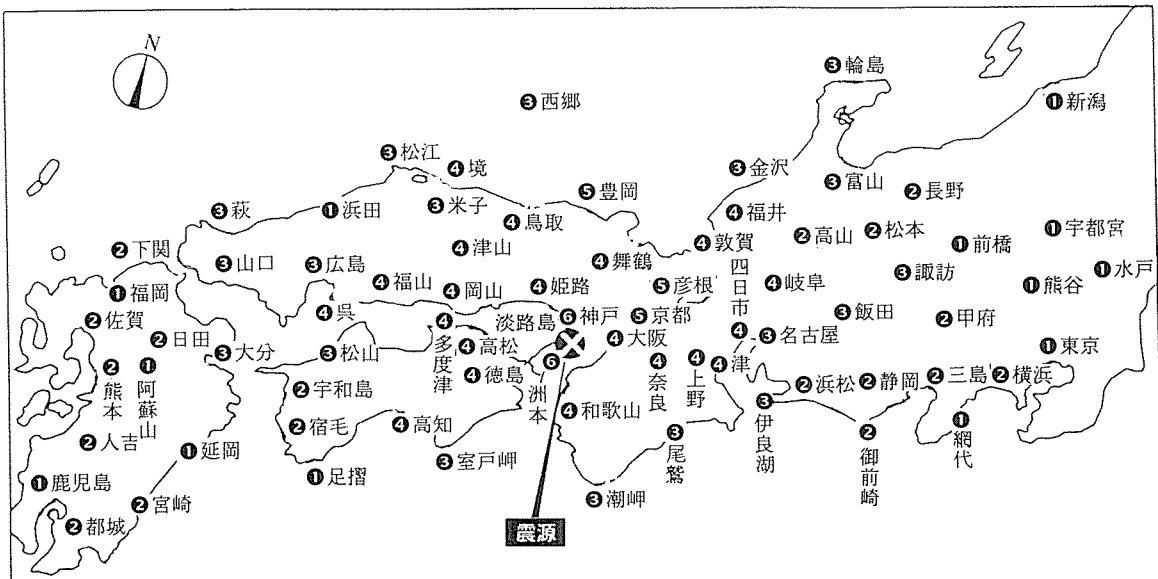


図-1 震度分布

本地震のメカニズム上の特徴のひとつは、活断層のずれによって生じたものである点であり、淡路島付近に在る野島断層がまず動き、その後、神戸側の第2、第3の断層が動いたものと推定されている。

図-2は、神戸海洋気象台（硬質地質上）で観測された地表波形加速度記録と加速度応答スペクトルを示す。観測された水平方向最大加速度は南北 818 gal、東西 617 gal であり、気象庁の観測史上最大加速度を記録した釧路沖地震（919 gal）に比べても同程度であった。なお加速度応答スペクトル（減衰 5%）については、周期 0.3~0.5 秒および 0.7~0.8 秒で 2 000 gal を超える応答を示している。上下動については釧路沖地震の 466 gal に対して 332 gal となっている。地震動継続時間についてみると、釧路沖地震の約半分以下であり、また変位については、1.5~3.0 倍の大きさとなっている点が特徴的である。

これら地震動の特徴は、構造物の被害と関連するものと思われるが、詳しい分析と検討は今後課題として残されている。

### 3. 震害調査結果

震害調査は、震害発生後ただちに（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会加盟各社が独自または共同で開始し、それらを調査委員会に集約する形でまとめた。以下、橋梁、建築構造物、容器・港湾構造物の順に震害調査結果について報告する。

#### 3.1 橋 梁

阪神・淡路地区で調査を行った PC 橋は約 1 470 橋であり、ごく軽微なものも含めて何らかの被害を生じたものがその中の約 210 橋におよんだ。大きな被害はやはり、震度が大きかった神戸市を中心とした地域に集中していた。

約 210 橋の中から、ごく軽微な被害といえるものを除いた、道路橋 57 件、鉄道橋 40 件の計 97 件について、「兵庫県南部地震橋梁関係災害調査シート」を作成した。調査は橋名、路線名を始め、構造データや荷重、適用示方書について記し、細部の被災状況や、その時点での対応策まで記述する方式で行った。

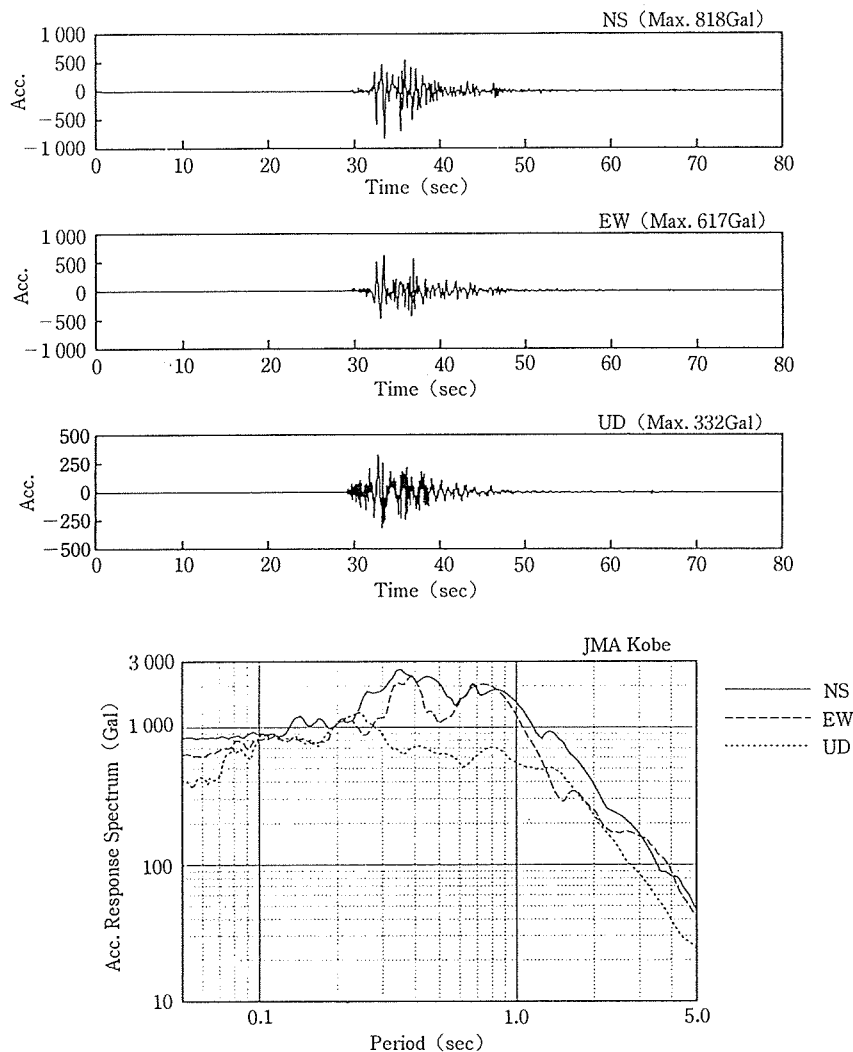


図-2 神戸海洋気象台記録波形と加速度応答スペクトル（減衰 5%）

◇調査報告◇

なお、97 件の中の 82 件が既設橋梁であり、15 件が施工中の橋梁であった。

震害調査シートを作成した 97 件の中から、道路橋 2 件と鉄道橋 1 件について表-1～表-4 に紹介する。

表-1 に示す高架橋は施工中のプレテンション連結桁橋であり、架設され床組工施工前の主桁のうち、耳桁 3 本が落下して破壊し、中桁 23 本が横転して破壊した。また、ゴム支承も破損し、橋脚にも損傷が生じた。

表-2 に示す高架橋は、今回最も話題を集めたピルツ形式の高架橋であり、約 600 m の全長にわたって鉄筋コンクリート構造の橋脚が倒壊した。倒壊時の衝撃により上部構造主桁のコンクリートはハク離し、ひび割れを発生した。またゲルバー部の連結鋼棒も破断していた。橋脚の倒壊の原因としては、当時適用された耐震設計基準に対する今回の地震動の大きさであり、橋脚が主方向鉄筋の段落とし部を起点にせん断破壊を生じたものと推定されている。この橋梁は解体・撤去のうえ架け替えられる予定である。

表-3 に示す高架橋は、ポストテンション連結桁橋であり、ゴム支承の一部にズレが発生し、端部横桁にもひび割れが発生した。また主桁端部ではコンクリートが破壊してアンカーボルトが露出した。この橋梁はエポキシ

樹脂注入や無収縮モルタルで補修されることになっている。

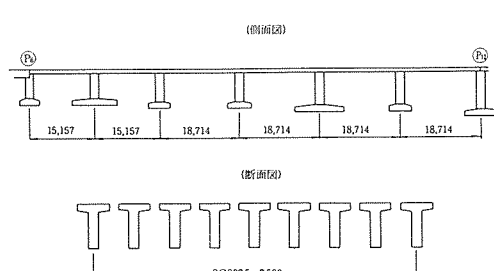
表-4 は JR 東海道線のポストテンション単純桁橋であり、橋脚が破壊したために上部構造が落下した。主桁はこれにより若干の破損を生じたが、最終的には、下部構造を再構築して主桁は再び上部構造として利用したものである。

表-5 は全 97 件を発注者別に、落橋と損傷に分類したものである。落橋・倒壊は既設橋のみ 11 件で、約 1 割を占めるが、これらはすべて下部構造の破壊によって生じたものである。この 11 件は、道路橋が 2 件、鉄道橋が 9 件であり、最終的に撤去されたものが 7 件で、残り 4 件は補修のうえに再利用されるものである。また、架設中に被害を受けた 15 件の中で、3 件は再製作され、残り 12 件は補修された。

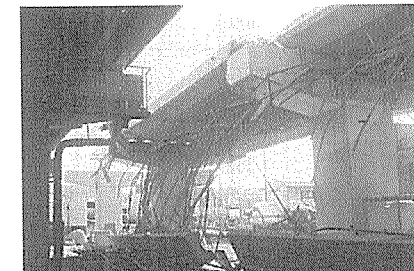
表-6 は、震害調査シート 97 件を、発注者別に分類し、構造や被害内容を記したものである。

被害部位に着目すると、約半数について主桁に損傷が生じ、支承もほぼ同数損傷を受けている。なお主桁の損傷の多くは支承付近のコンクリートの欠落やひび割れであり、横桁の損傷も支承部やアンカーバーの付近に生じている。


表-1 K 高 架 橋

兵庫県南部地震橋梁関係災害調査シート			
整理番号	3		
調査年月日	平成7年1月17日		
橋名	K 高架橋		
路線名	国道176号線	所在地	兵庫県川西市
構造形式	プレテンション連結桁橋		
断面形状	T桁		
平面線形	——		
支承構造	ゴム支承		
完成年月日	施工中		
上部工の変状の程度	橋体 桁が横軸方向への移動 耳桁3本落下破断 中桁23本横転破損		
支 承	ネオスライド上蓋が破損		
橋 面	未施工		
付 属 物	未施工		
下部工の変状の程度	橋 台 —— 橋 脚 張出橋脚の柱の破壊		
橋梁一般図			

被災状況



耳桁が落下した。



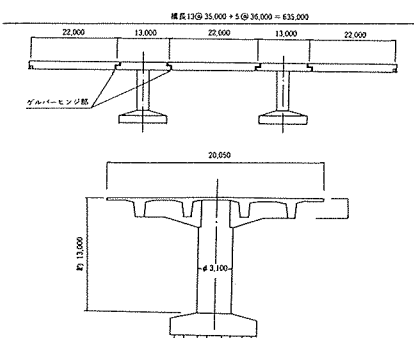
中桁が横転した。

---


P6 - P9 PC桁橋軸方向にずれ(5~15m)、目地シースの破損あり  
 アンカーの曲がり、支座位型枠の破損  
 P9 ネオスライド蓋  
 P9 - P12 中国道側耳桁G1×3本落下破壊する  
 P12 - P11 中桁8+7+8=23本横転破損、吊り足場、防護工70多破損する  
 P12 ネオスライド上蓋破損9枚、アンカーボルトの曲がり、目地シーソ破損あり

表-2 ビルツ橋


兵庫県南部地震橋梁関係災害調査シート

整理番号	15	調査年月日	平成7年1月18日
橋名	ビルツ橋		
路線名	高速神戸線	所在地	神戸市東灘区
構造形式	ビルツ橋		
断面形状	4主版桁		
平面線形	直線		
支承構造	鋼製支承		
完成年月日	昭和44年11月		
上部工の変状の程度			
橋体	倒壊時の衝撃によりコンクリートの剥離、ひびわれの発生 ゲルバー部の連結鋼棒の破断		
支承	倒壊に伴い、破損		
橋面	〃		
付属物	〃		
下部工の変状の程度			
橋台	〃		
橋脚	帯筋、主筋の破断 主筋外側のコンクリートは剥離、内側は破壊		
橋梁一般図			
			

震災状況



橋脚が破壊して倒壊

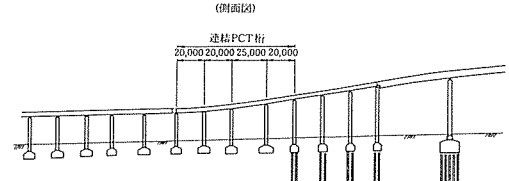


橋脚が破壊


・上、下部工完全撤去

表-3 I 高架橋

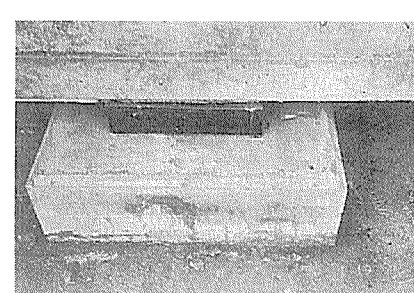
兵庫県南部地震橋梁関係災害調査シート

整理番号	17	調査年月日	平成7年1月19日
橋名	I高架橋		
路線名	高速池田線	所在地	大阪府豊中市
構造形式	ポストテンション連結桁橋		
断面形状	T桁		
平面線形	直線		
支承構造	ゴム支承		
完成年月日	〃		
上部工の変状の程度			
橋体	端部横桁にひびわれの発生、コンクリートの破壊によるアンカーボルトの露出		
支承	ゴム沓の一部にズレ発生		
橋面	〃		
付属物	〃		
下部工の変状の程度			
橋台	〃		
橋脚	〃		
橋梁一般図			
			

震災状況



端部横桁のコンクリートが破壊しアンカーボルトが露出



支承の移動15mm

・ひびわれは、エポキシ樹脂注入  
・コンクリート欠損部は、鉄筋と無収縮モルタルで補修

◇調査報告◇

表-4 Y 架 道 橋

兵庫県南部地震橋梁関係災害調査シート

整理番号	24	調査年月日	平成7年1月21日
橋名	Y架道橋		
路線名	JR東海道線	所在地	神戸市東灘区
構造形式	ポストテンション単純桁橋		
断面形状	T桁		
平面線形	直線		
支承構造	鋼製支承（ロッカー咨）		
完成年月日	（上り）昭和46年、（下り）昭和51年		
上部工の変状の程度			
橋体	上り線・・・落橋によりクラック発生 下り線・・・横方向へ1m程度移動		
支 承	落橋および横移動により脱落		
橋 面	落橋に伴い、破損		
付 属 物	—		
下部工の変状の程度			
橋 台	—		
橋 脚	下り線大阪側橋脚以外は全て破損 上り線大阪側橋脚は破壊		
橋梁一般図			

震災状況  
上部工の落橋状況

橋脚の破壊により上部工が落下

橋脚の破損状況

上り線固定側の橋脚

表-5 被災状況一覧表

(件)

発注者		既設橋		施工中		計
		落橋	損傷	落橋	損傷	
建設省	近畿地建	1	1		2	4
府、県、市	兵庫県		10		2	12
	大阪府		2		3	5
	神戸市		13			13
	伊丹市		4			4
	芦屋市		1			1
	尼崎市		1			1
	西宮市		1			1
日本道路公団			2			2
阪神高速道路公団		1	5		7	13
本州四国連絡橋公団					1	1
JR	山陽新幹線	2	20			22
	在来線	1	2			3
私鉄、その他	阪神電鉄	5	3			8
	阪急電鉄		2			2
	大阪市交通局		1			1
	神戸高速鉄道	1				1
	神戸市交通局		3			3
合計		11	71		15	97

表-6 震害調査シート一覧表

① 建設省

No	橋名(工事名)	所在地	完成年	構造	被害状況	被害箇所								対応策	
						上部工					支承	下部工			
						主桁	横桁	床版	橋面	付属		橋台	橋脚		
1	岩屋高架橋	神戸市灘区	S.48	プレテン連結 T	落橋										撤去
2	橋谷橋	和歌山県紀伊田辺市	施工中	プレテン単純 T	損傷	○									再製作
3	新庄高架橋	奈良県北葛城郡	施工中	プレテン単純 T	移動						○				補修
4	浜手高架橋	神戸市葦合区	S.54	ポステン単純 T	損傷	○	○	○	○	○					

注: NO 2-被災地は神戸市西区(プレテン工場)

② 府、県、市

No	橋名(工事名)	所在地	完成年	構造	被害状況	被害箇所								対応策	
						上部工					支承	下部工			
						主桁	横桁	床版	橋面	付属		橋台	橋脚		
1	久代高架橋	兵庫県川西市	施工中	プレテン連結 T	損傷	○					○				補修
2	久代高架橋	兵庫県川西市	施工中	プレテンTポステンT	移動	○									
3	久代高架橋	兵庫県川西市	H. 6	プレテン連結 T	損傷								○		
4	アステム歩道橋 H-2	兵庫県芦屋市	S. 53	ポステン連続 T	損傷	○			○			○			
5	アステム歩道橋 H-3	兵庫県芦屋市	S. 53	プレテン単純ホロー	損傷				○				○		
6	二見連絡橋	兵庫県明石市	S. 55	ポステン連続箱桁	移動	○					○				
7	都市計画街路事業立体交差	兵庫県明石市	S. 53	プレテン単純 T	損傷				○		○		○		
8	東川管理橋	兵庫県西宮市	H. 3	プレテン単純 T	移動	○					○				
9	門戸跨線橋	兵庫県西宮市	S. 41	プレテン単純 T	損傷								○		
10	連絡橋	兵庫県加古川市	S. 44	ポステン単純 T	損傷	○							○	○	
11	天津高架橋	兵庫県伊丹市		ポステン単純 T	損傷									○	補修
12	上西橋	神戸市西区	S. 62	ポステン単純 T	損傷				○		○				
13	臥龍橋	大阪府羽曳野市	H. 6	ポステン連続箱桁	損傷								○		補修
14	大正川側道橋	大阪府根津市	施工中	プレテン連結 T	損傷	○					○				補修
15	大浜跨道橋	大阪府茨木市	施工中	ポステン単純 T	損傷	○					○				再製作
16	野々宮跨道橋	大阪府茨木市	施工中	プレテン連結 T	移動	○					○				補修
17	樽井高架橋	大阪府泉南市	H. 6	ポステン連結 T	損傷	○	○								
18	伊川橋	神戸市西区	H. 4	プレビーム合成	損傷		○		○				○		補修
19	西神2号橋	神戸市西区		ポステン連続箱桁	損傷				○						
20	上脇橋側道橋	神戸市西区		ポステン単純 T	移動						○		○		
21	西神歩道橋	神戸市西区	S. 62	プレテンTポステンT	移動	○			○						
22	前開地区橋梁上部その2	神戸市西区	S. 61	プレテン単純 T	損傷						○		○		
23	魚崎東橋梁	神戸市東灘区		プレテン単純 T	移動	○			○		○		○		
24	天神橋(拡幅)	神戸市東灘区		ポステン単純 T	損傷				○						
25	石屋川橋	神戸市灘区	S. 44	プレテン単純 T	損傷								○		
26	天神川橋	神戸市灘区	S. 44	プレテン単純 I	損傷				○						
27	唐櫃横断歩道橋	神戸市北区	H. 2	プレテン単純ホロー	損傷	○							○		
28	御影大橋	神戸市灘区	S. 37	ポステン単純 T	損傷	○	○				○		○		
29	唐櫃インター橋	神戸市北区	S. 57	ポステン連続箱桁	損傷									○	
30	深江大橋	神戸市東灘区	S. 47	プレテン単純 T	損傷						○				
31	箱野橋	兵庫県伊丹市	S. 45	プレテン単純ホロー	損傷	○			○				○		
32	御坊橋	兵庫県伊丹市	S. 44	プレテン単純ホロー	損傷								○		
33	武鹿川新橋	兵庫県伊丹市	H. 5	プレテン連結 T	損傷	○									
34	宝塚池田線橋	兵庫県伊丹市	H. 6	ポステン連結 T	損傷						○		○		補修
35	公光橋	兵庫県芦屋市	S. 42	ポステン連続ホロー	損傷	○					○		○		
36	塚口駅小中島橋	兵庫県尼崎市	H. 6	ポステン単純 T	移動					○					補修
37	中津浜跨線橋	兵庫県西宮市	S. 45	ポステン単純 T	損傷	○					○		○		補修

③ 日本道路公団

No	橋名(工事名)	所在地	完成年	構造	被害状況	被害箇所								対応策	
						上部工					支承	下部工			
						主桁	横桁	床版	橋面	付属		橋台	橋脚		
1	沢良宣高架橋	大阪府茨木市		ポステン単純 T	損傷	○					○				
2	三木高架橋	兵庫県三木市	H. 6	ポステン単純合成	損傷	○			○						補修

◇調査報告◇

④ 阪神高速道路公団

No	橋名(工事名)	所在地	完成年	構造	被害状況	被害箇所								対応策
						上部工					支承	下部工		
						主桁	横桁	床版	橋面	付属		橋台	橋脚	
1	神戸西宮線 東灘第5工区	神戸市東灘区	S.44	ピルツ4主版桁	倒壊	○		○	○	○	○		○	撤去
2	池田工区(その2)	大阪府池田市	施工中	ポステン連続箱桁	損傷	○								補修
3	空港第1工区	大阪府豊中市	施工中	ポステン連結T	損傷		○				○			補修
4	下谷上第1工区(その3)	神戸市北区	施工中	ポステン連続合成	損傷	○	○		○	○				補修
5	豊中出入路	大阪府豊中市	S.41	プレテン単純T	損傷								○	補修
6	下谷上第2工区PC桁工事	神戸市北区	施工中	ポステン連続箱桁	損傷	○		○			○	○		補修
7	豊中第3工区(曾根高架)	大阪府豊中市	S.41	ポステン単純T	損傷		○							補修
8	池田高架橋(その5)	大阪府池田市	施工中	ポステン連続箱桁	損傷	○	○			○				補修
9	万条橋	神戸市北区	H.1	ポステン連続箱桁	損傷	○								補修
10	池田工区(その3)	大阪府池田市	施工中	ポステン連続箱桁	損傷				○		○		○	補修
11	池田工区(その4)	大阪府池田市	施工中	ポステン連続箱桁	損傷					○	○			補修
12	月見山工区(第1)	神戸市須磨区	S.41	ポステン単純T	損傷		○		○	○			○	補修
13	京橋ディビダーク橋	神戸港深奥部	S.41	有ヒンジラーメン	損傷				○	○		○	○	補修

⑤ 本州四国連絡橋公団

No	橋名(工事名)	所在地	完成年	構造	被害状況	被害箇所								対応策
						上部工					支承	下部工		
						主桁	横桁	床版	橋面	付属		橋台	橋脚	
1	淡路IC(A・Fランプ橋)	兵庫県津名郡	施工中	ポステンホロー, 箱桁	損傷	○				○	○			

⑥ JR

No	橋名(工事名)	所在地	完成年	構造	被害状況	被害箇所								対応策
						上部工					支承	下部工		
						主桁	横桁	床版	橋面	付属		橋台	橋脚	
1	阪急今津線橋梁	兵庫県西宮市	S.45	ポステン単純T	落橋								○	補修
2	伊川橋梁	兵庫県明石市	S.46	ポステン単純I	落橋	○		○			○	○	○	補修
3	弓場架道橋(上り)	神戸市東灘区	A-S.46	ポステン単純T	落橋	○					○		○	補修
	(下り)		B-S.51	ポステン単純T	移動									補修
4	山陽線明石川B	兵庫県明石市	S.35	ポステン単純T	損傷						○		○	補修
5	明石川B	神戸市西区	S.46	ポステン単純I	損傷	○					○			補修
6	北方BV	神戸市西区	S.46	ポステン単純T	損傷	○					○			補修
7	別府B	神戸市西区	S.44	ポステン単純T	損傷	○		○			○			補修
8	第2阪急神戸線BV	兵庫県尼崎市	S.46	ポステン単純I	損傷	○					○			補修
9	第2互宮BV	兵庫県尼崎市	S.46	ポステン単純T	損傷	○					○			補修
10	中津浜跨道橋	兵庫県西宮市	S.45	ポステン単純T	損傷	○		○			○		○	補修
11	新田川橋梁	兵庫県芦屋市	S.42	ポステン単純T	損傷	○	○		○		○			補修
12	善法寺BV	兵庫県尼崎市	S.46	ポステン単純I	損傷		○							補修
13	第2小中島BV	兵庫県尼崎市	S.46	ポステン単純T	損傷	○					○			補修
14	東浦BV	兵庫県伊丹市	S.46	ポステン単純T	損傷	○					○			補修
15	南野BV	兵庫県伊丹市	S.46	ポステン単純T	損傷	○					○		○	補修
16	金岡BV	兵庫県伊丹市	S.46	ポステン単純T	損傷	○				○				補修
17	西御願塚BV	兵庫県伊丹市	S.40	ポステン単純T	損傷	○				○				補修
18	2号線BVホーム桁	兵庫県明石市	S.46	ポステン単純T	損傷	○				○				補修
19	第2小久保BV	兵庫県明石市	S.46	ポステン単純T	損傷	○				○				補修
20	笹原・野間・時友架道橋	伊丹市-尼崎市		ポステン単純T	損傷				○		○			補修
21	谷八木川橋	兵庫県明石市	S.46	ポステン単純T	損傷	○					○			補修
22	第1常松BV	兵庫県尼崎市		ポステン単純I	損傷						○		○	補修
23	第2常松BV	兵庫県尼崎市		ポステン単純T	損傷						○		○	補修
24	小中島架道橋	兵庫県尼崎市	S.46	プレテンTポステンT	損傷	○					○			補修
25	第5吉田BV	兵庫県明石市		ポステン単純T	損傷	○					○		○	補修

⑦ 私鉄, その他

No	橋名(工事名)	所在地	完成年	構造	被害状況	被害箇所						対応策		
						上部工					支承		下部工	
						主桁	横桁	床版	橋面	付属			橋台	橋脚
1	東明陸橋	神戸市灘区	S.42	プレテン単純I	落落						○		撤去 撤去 撤去 撤去 補修 補修 補修 補修 補修 補修 補修 補修 補修 補修	
2	車庫西陸橋	神戸市灘区	S.42	プレテン単純I	落落						○			
3	車庫東陸橋	神戸市灘区	S.42	プレテン単純I	落落						○			
4	高羽陸橋	神戸市灘区	S.43	ポステン単純T	落落						○			
5	都賀川右岸陸橋	神戸市灘区	S.43	ポステン単純T	損傷							○		
6	都賀川左岸陸橋	神戸市灘区	S.43	ポステン単純T	損傷							○		
7	国魂陸橋	神戸市灘区	S.44	ポステン単純T	落落							○		
8	尼宝陸橋	神戸市灘区	S.46	ポステン単純T	損傷					○				
9	曾根高架橋(PC13)	大阪府豊中市		ブロックポステンT	損傷	○				○				
10	栄町架道橋	兵庫県宝塚市		ブロックポステンT	損傷		○							
11	大阪市高速鉄道1号線	大阪府大阪市	S.43	ポステン単純T	損傷					○				
12	神戸高速鉄道 東西線	神戸市中央区	S.42	ポステン単純T	落落	○				○				
13	名谷高架橋	神戸市須磨区	S.59	ポステン単純T	損傷	○	○			○				
14	伊川谷高架橋	神戸市西区		ポステン単純T	損傷				○					
15	ポートアイランド線	ポートアイランド		ポステン単純箱桁	損傷	○				○				

3.2 建築構造物

PC造建物に関する震害調査は以下の要領にしたがって行った。

1) 調査地域として、神戸市を中心とする周辺各市とし、かつ、気象庁の震度階で6~7の地域に限定した。これは、比較的震害の激しかった地域を集中的に調査すること、ならびに淡路島にある3棟のPC造建物には被害が皆無であったことを考慮してのうえである。

2) 調査対象建物は、PC造部材の適用法から以下の4種類に分類した。ただし、アンボンド工法によるPC部材を用いた建物は除外している。

I-1; プレキャスト PC 造の主要耐震部材(梁、柱、および耐力壁)を適用した建物。

I-2; 主要耐震部材以外の部位にプレキャスト PC 造部材(屋根、床スラブ、小梁等)を適用した建物。

II-1; 場所打ち PC 造の主要耐震部材を適用した建物。

II-2; 主要耐震部材以外の部位に場所打ち PC 造部材を適用した建物。

3) 震害程度を以下の4段階(A~D)に分け、かつ、建物の構造全体(S)か、各PC造部材(M)であるかに分類した。

A; 無被害、または補修を要しない程度の軽微な損傷。

B; 建物、あるいはPC造部材の構造性能に影響を与えない程度の軽度な損傷で、かつ、簡単な補修を要する程度の被害。

C; 建物、あるいはPC造部材の構造性能に影響を与える損傷で、かつ、大規模な補修および

補強を要する被害。

D; 建物、あるいはPC造部材の崩壊、または補修および補強が不能な程度の被害。

その他、PC造部材の設計種別(フルPC、パーシャルおよびPRC)やコンクリートの設計基準強度、新耐震設計法の採用の有無についても調査を行った。

調査したPC造建物の総数は163棟であり、このうちの60棟はプレキャストPC造建物であり、103棟が場所打ちPC造建物であった。

表-7は、プレキャストPC造建物である体育館についての震害調査シートを示している。1972年に竣工したこの体育館は新耐震設計が採用されておらず、PC屋根板が落下し、片持ち柱の脚部が圧壊した。

表-8は、場所打ちPC造建物であるボーリング場についての震害調査シートを示している。このボーリング場も新耐震設計が非採用であり、S造部分の約半分が崩壊し、1階と2階のRC造柱の約半数がせん断破壊を生じたものである。

表-9は、調査した163棟についての、構造別被害度集計の結果である。60棟のプレキャストPC造建物のうち、分類I-1に属するもの11棟はすべて無被害のAランクであった。また分類I-2に属する49棟の中で、プレキャストPC造部材に損傷を受けたものが7棟あり、支持部材の損傷によるPC造部材の落下損傷が2棟、支承部のズレ等軽度な被害が5棟という結果であった。一方、プレキャストPC造部材に損傷は無いが、その支持部材に軽度な被害を受けたものは3棟、ゆえに何らかの被害を受けたプレキャストPC造部材を用いた建物は合計10棟を数えた。

場所打ちPC造建物89棟の中で、2棟が震害を受け、そのうちの1棟は表-8に示したものであり、最も



◇調査報告◇

表-7 A市立体育館

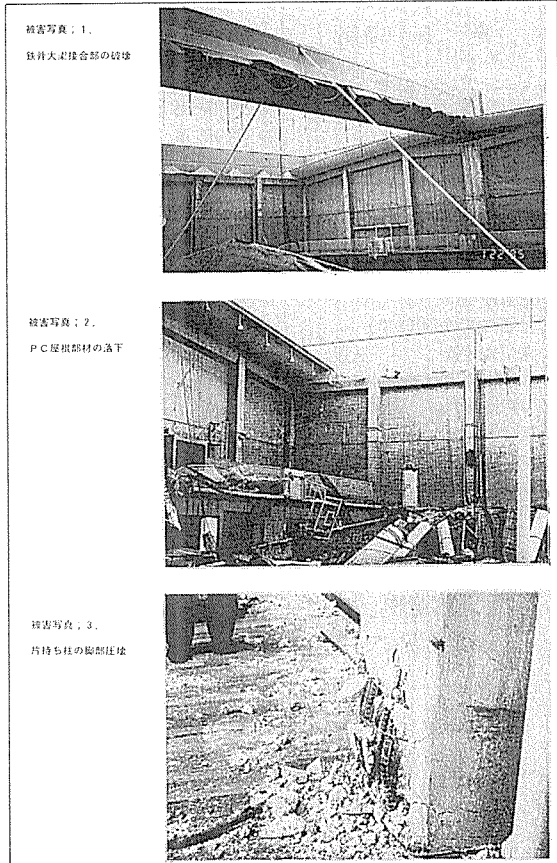
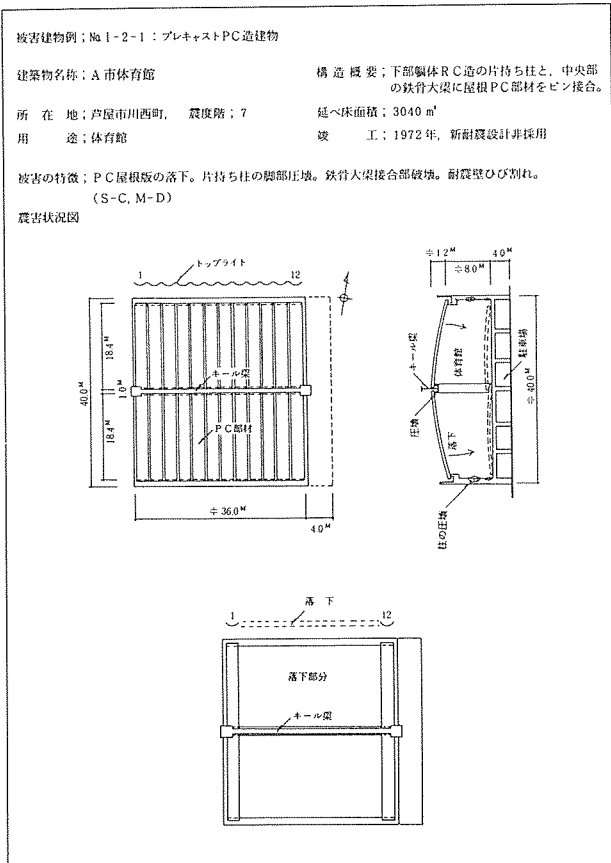


表-8 Gボーリング場

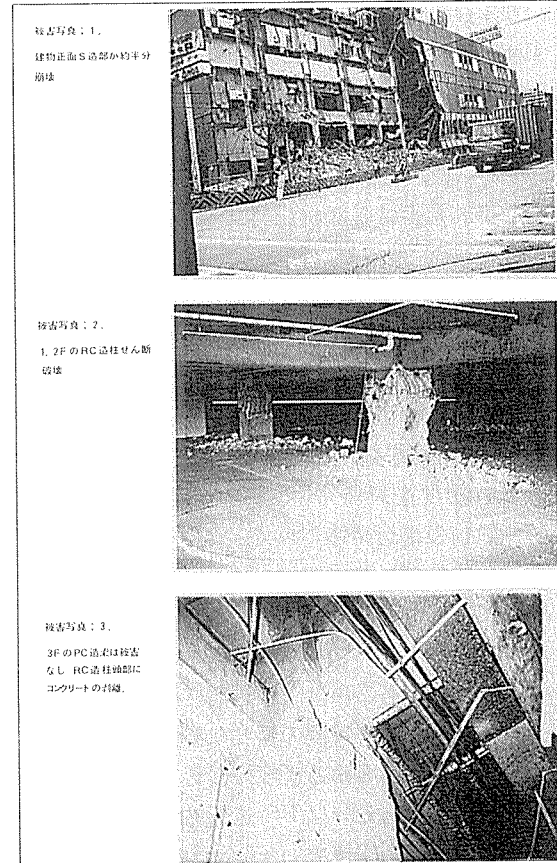
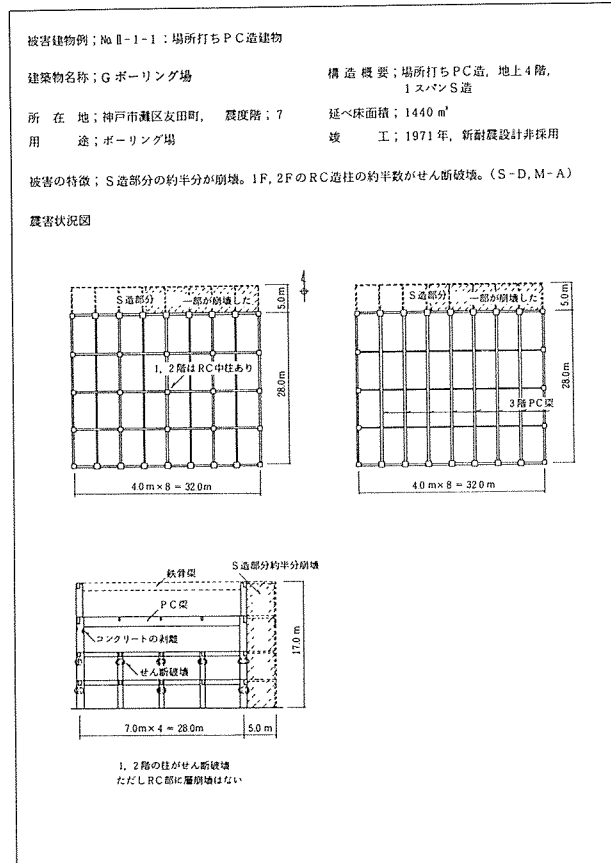


表-9 構造物別被害度集計

震害レベル 建物の分類	構造全体の被害度				PC造部材単独の被害度				調査数計
	S-A	S-B	S-C	S-D	M-A	M-B	M-C	M-D	
I-1:プレキャスト PC 造建物	11				11				11
I-2:プレキャスト PC 造部材	39	8	2		42	5		2	49
II-1:場所打ち PC 造建物	87	1		1	89				89
II-2:場所打ち PC 造部材	14				14				14
各構造および部材の被害集計	151	9	2	1	156	5		2	163

激しい震害を受けたものであった。残る1棟は、PC造の主要耐震フレームには損傷を受けていないが、建物の外周に配置した飾り柱に損傷を受けたものであった。しかし、この2棟ともPC造部材には何らの損傷も受けていない点は特筆されるべきである。場所打ちPC造部材を用いた建物14棟はすべて損傷を受けていなかった。

3.3 容器構造物および港湾構造物

PC容器構造物については、本地震の影響を受けたと思われる、兵庫県、大阪府、京都府、奈良県、および和歌山県を調査地域とした225件が調査の対象とされた。その用途は、配水池が209件であり、他は調整池、調圧水槽、ファームポンド、PC LNG防液堤であった。容器構造物の形式としては、平底円筒形の標準タイプが209件と最も多く、高架水槽タイプが15件、角形タンクが1件であった。

表-10 被害状況集計

(単位:件)

府県名	調査対象 容器構造物数	機能に影響する 構造的損傷発生 容器構造物数	軽微な 損傷発生 容器構造物数	損傷無し
兵庫県	105	2	2	101
京都府	40	0	3	37
奈良県	35	0	1	34
大阪府	31	0	2	29
和歌山県	14	0	0	14
合計	225	2	8	215

クが1件であった。

調査結果として、表-10に被災状況集計表を示すが、機能に影響する構造的損傷を受けたものが2件確認された。側壁下端部に水平および斜め方向のひび割れが発生して貯留水が流出したものと、側壁に鉛直方向ひび割れ

表-11 M市配水池

1) その1

整理番号	Y-1	調査年月日	平成7年1月19日、25日
場所	兵庫県M市	完成年月	昭和46年11月
内容物(用途)	配水池	水深	20.0(有効10.0) m
容量	4,000 m <sup>3</sup>	壁厚	0.20~0.15 m
元内径	16.1 m	その他	
構造形式	本体	環壁タンク 2重タンク 高架タンク 角タンク その他(配水塔タイプ)	
	壁下端	固定 ヒンジ 自由 その他( )	
	屋根部	ドーム フラットスラブ 無し その他( )	
	基礎部	直接基礎 杭基礎 その他(底版がドーム形式)	
写真等付大図 (タテ観見周囲 直径系身長) 本地震が原因と考えられる震害状況をコメントとして記入。 (例えば、ひび割れ、コンクリートの剥離、鉄筋破断等に関して)			
1. 側壁部	下部(壁の基底より60~70cm)にひび割れ発生し漏水。 (貯水不能となり、コンクリート耐力・強度が減少し、解体する)		
2. 歩廊部			
3. 屋根部	ドームリング下部ショットクリートの一部はく離。		

\* ) 平成7年4月3日現在、解体撤去済み。

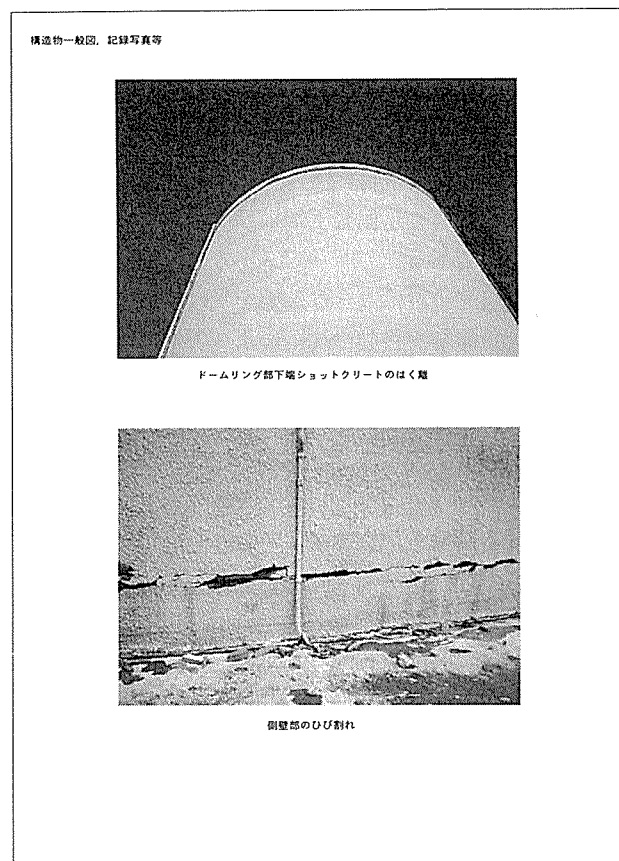


表-12 棧 橋

兵庫県南部地震PC構造物震害調査シート／港湾施設（1／2）

整理番号	神戸港		調査年月日	1995/02/22		
港名	神戸港		場所	神戸港ポートアイランド(巡視船専用棧橋)		
施設名	神戸海上保安部 大型巡視船専用棧橋		場 所	神戸港ポートアイランド(巡視船専用棧橋)		
橋の種類	外かく施設	防波堤(防砂堤、防潮堤を含む)	護岸	突堤	その他	
	係留施設	岸壁 棧橋 浮棧橋	物揚場	その他		
	臨港交通施設	道路 橋架 鉄道	駐車場	その他		
	施設の諸元					
一般条件	構造形式	※スリット方式40-スリット	平面形状	延長	155.0m, 48.6m	
	計画水深	m	ブロック長	20.300×4.20.800.14.813.11.025m		
	設計水深	m	幅	2.0.5.0m		
	天端高さ	m	杭の配置	列×列	一般図	
	設計潮位	H.W.L.	m	杭間隔	×	参照
		L.W.L.	m	施工	プレキャスト 場所打ち	その他
	設計震度	Kh=	Kv=	製作	プレキャスト プレキャスト フォーム	その他
	土質			構造	単独 連続 連続	その他
		対象船舶	DV	断面	T I 断面	ボックス
	接岸速度	m/sec		完成年月日	1985年 月 日	
活荷重	0.500(0.250)tf/m <sup>2</sup> (地震時)		適用示方書	防衛施設庁の設計基準		
震害状況(スケッチ、コメント等)						
地震による直接の被害はドルフィンを構成する鋼管杭(斜杭による組杭)が頭部付近で座屈している。これは三港連の調査(海中写真)によって確認した。これによってドルフィン頭部が傾くなどして変形した。下部工の変状によって、PC上部工は沓座とせりあって、ホロー桁の端部のコンクリートが剥離している。一部スターラップが見えている。(写真参照)また、RC床版とPC桁との伸縮部がズレによって破壊している。RCケーソン(一般図参照)に大きなクラックがはいり、ケーソンは大きく移動している。これによってその両側のPC桁が大きく傾いている。(4~50cm位)						
上部工全体としては、ドルフィン頭部が傾くことによって、横断方向に傾いている。縦断方向も全体的に傾いており、沓座から完全に浮き上がっている桁もほぼ見られる。 (参考)桁端部は据圧力に抵抗するためアンカーボルト(φ105~140.SUS 304)でドルフィン頭部を貫通して固定されている。これは交換可能な構造となっている。						
応急対策(時期、部位、方法等) 特になし。(2/22現在は対策はとっていない。)						

兵庫県南部地震PC構造物震害調査シート／港湾施設（2／2）

施設的一般図

震害状況写真(写真No, 対象部位, コメント)

RCケーソン部が大きく傾き、上部工が陥没している。(連絡橋橋脚側から)

桁端部のコンクリートが剥離している。一部スターラップが見えている。

が発生して漏水したものであった。そのほかには、外壁タイルのはく離などごく軽微な損傷が見られるものが8件で、全く損傷が見られないものが215件であった。PC容器構造物は総じて被害はほとんど無かったといえる。

表-11は、容器構造物の震害の一例として調査シートを示したものであり、側壁下端のひび割れから貯留水が流出したものである。

神戸市の港湾施設は大きな被害を受けており、ほとんどの荷揚げ用岸壁が移動や沈下によって使用不能に陥った。こうした港湾施設の中でPC構造物といえるものは、表-12に示す大型巡視船専用棧橋の上部構造であった。これはRC床版式棧橋の連絡橋としてのPC中空床版橋であり、棧橋の下部構造であるケーソンの傾斜によってPC上部構造が支承部でズレたり破損していた。

4. 震害の特徴と応急処理

各種PC構造物の震害調査結果について前節で報告したが、その分布を含めた震害の特徴について、構造物ごとに総括する。また、被災した構造物について調査時点で採られた応急処理についても報告する。

4.1 橋 梁

震害を受けたPC橋は、阪神地区全域にわたって分布

しており、その中で倒壊・落橋に相当する11件のほとんどは震度7が観測された地域に集中している(調査報告書)。

以下には、PC橋の損傷状況と応急対策について、支承および支承部、上部構造、下部構造、その他(付属物や橋面)という項目分けを行って記述する。

(1) 支承および支承部

鋼製支承の損傷として多く見られるものは、支承モルタルの破損やハク離で、支承本体の被害としてはアンカーボルトの変形やせん断破壊、移動制限装置のストッパーの損傷などであったが、特徴としては、線支承や支

表-13 支承部の被害と応急処理

支承の種類	破損の箇所と状況	応 急 処 置
鋼製支承	沓座モルタル	ジャッキアップし、モルタル打直し
	支承本体	鋼製支承の取替え、ゴム沓に変更
	支承の脱落・落下	ロッカー沓の撤去後ゴム沓に取替え
ゴム支承	支承部桁コンクリートの破損	樹脂注入、欠損部はモルタル補修
	沓の移動・せん断変形	ジャッキアップし再利用、大変形のもの取替え
	沓の亀裂・破損	ゴム沓の取替え
	固定側端横桁のひびわれ	樹脂注入あるいはモルタルにて補修

承板支承などのサイドブロックの破損と同時に上沓の破損したものが被害橋梁全体の半数近くを占めた。

ゴム支承の場合は、桁の移動に伴ってゴム支承が移動した例が多く、これによってゴム支承に亀裂や破損が生じたものがあった。また、ゴム支承がせん断変形したままの状態のものも多数見られた。ゴム支承固定側ではアンカーボルトが変形せずに横桁が破損しているものがあった。これらの応急処理について表-13に示す。

#### (2) 上部構造

上部構造の被害で最も多いのは、橋体の横方向・軸方向のズレであり、これに伴って支承の破損も生じていた。上部構造の傾斜や落橋は、前述したように、下部構造の破壊に起因するものであった。桁本体について見ると、桁端部のはく離やひび割れがほとんどであった。

応急処理として、橋体のズレに対してはジャッキアップによる復元、はく離やひび割れに対してはコンクリート打足しやエポキシ樹脂注入などの措置が講じられた。

#### (3) 下部構造

橋台の被害としては、傾斜・滑動によって桁とパラペットが接触しているものが見られた。これは橋台の裏込め土の土圧や地質の沈下によるものと考えられ、伸縮継手や支承ストッパーの破損を引き起こしていた。橋台本体については、橋座の破損やひび割れ等が見られた。

橋脚の被害の多くはひび割れの発生であり、下端部でコンクリートが欠落して鉄筋が座屈したものもかなり見られた。

これらのうち、軽微な被害についてはエポキシ樹脂注入が、また、鉄筋が座屈したもの等については鋼板巻立てやコンクリート巻立て補強処理が行われた。

#### (4) その他

橋梁付属物として、伸縮継手の変形や破損、壁高欄に埋め込まれた電線等の破断等が見られた。これらは比較的簡単に補修されるものであった。

橋面の損傷としての地覆や壁高欄コンクリートのひび割れやはく離、段差の発生に対しても同様であった。

### 4.2 建築構造物

PC造建物の震害も広範囲に分布しており、崩壊または修復不能と判断されたレベルの震害は、やはり震度7観測地域に位置していた。

震害の特徴と応急処理について分類ごとに記す。

#### (1) プレキャストPC造建物

すべての建物が無被害であった。この理由としては、①PC造建物に適用される耐震設計指針の部材破壊に対する安全余裕度が他構造に比べて高い、②各部材の断面寸法がプレキャスト部材の製作および組立てなどの制約から比較的無理なく設定される、③コンクリートの品質

規定が高く部材のせん断破壊防止に貢献した、などが考えられる。見方を変えれば、これらの建物が位置した地域における地震動によるプレキャストPC部材の各応答応力が、事実上標準ベースシア係数を0.3として弾性解析された応力を用いて設計された部材の終局強度を超えていなかったことが証明されたと考えられる。

#### (2) プレキャストPC造部材使用建物

いずれも支持部材の損傷に起因したものである。また、落下被害2棟は、設計・施工時期が新耐震設計の適用を受けていない建物であった。結果的にプレキャストPC造部材のうち、落下被害を受けたものは撤去し、それ以外の軽微な被害を受けたものについては、耐久性を考慮のうえ、簡単な補修が施された。

#### (3) 場所打ちPC造建物

被害を生じた2棟は、いずれも激震地に位置しており、このうちの1棟はS構造物の半分が崩壊し、RC柱の約半分がせん断破壊した。この崩壊機構は、PC造梁が接続する柱の曲げ降伏、およびRC造梁が接続する柱のせん断破壊が先行する破壊モードと見られた。この建物は新耐震設計の適用対象外でもあったが、適用対象の他の場所打ちPC造建物を見るかぎり、新耐震設計を適用した建物の強度は、地震による応答断面力を上回っていたと考えられる。

なお、場所打ちPC造部材を使用した建物は、震度区分や設計・施工時期に関係なく被害は見られなかった。

PC造建物の被害率としてはわずかに1%（約100棟中の2棟）に過ぎなかったが、これには、PC造建物の耐震設計指針で規定される部材破壊に対する安全余裕度と、プレキャストPC部材のコンクリートの高品質規定が貢献したものと考えられる。

### 4.3 容器および港湾構造物

容器構造物（主にPCタンク）の被害は、前述したように、他の構造物と比べると軽微であった。その理由としては、①建設地点が丘陵地等比較的強固な地盤上であり、地震力が相対的に小さかったことや、構造物の固有周期が地盤の卓越周期に一致しなかったと推定される、②PCタンクは軸対象の壁構造物であり、一般に開口を有しないために耐震的な構造である、③地震力によってPCタンクに作用する荷重は、躯体慣性力と内容液の動液圧であるが、一般に自重が小さいために前者の影響が小さく、また内容液による動的挙動の影響が限られているため、他の構造物と比べて地震時に増加する荷重が限定されること等が挙げられる。

構造的損傷を受けたものは2件であったが、この原因としては、建設当時の設計震度を今回の地震動が上回ったこと、基本的には自由支持構造であったはずの側壁下端が、リングフーチング設置等によって、何らかの拘束

◇調査報告◇

が生じたであろうこと、また躯体の劣化が進んでいたであろうこと等が考えられる。

応急処理として、解体撤去されたもの以外は、簡単な補修が施されたうえで供用された。

被害を受けたPC港湾構造物は、前述のとおり神戸港の栈橋用連絡橋であった。震害の機構や特徴については、件数が少ないためにここで言及するのは困難である。また復旧措置についても、港湾全体の復旧計画とも関連しており、現時点では明確でない。

### 5. おわりに

兵庫県南部地震におけるPC構造物の震害調査結果について報告したが、PC部材が地震の影響を直接受けるような部位にあまり使用されていなかったこともあって、全体的にはPC構造物の震害は軽微なものであったといえる。しかしその震害の機構等についての詳細な調査・分析は今後の課題として残されている。

道路橋示方書を始めとした耐震設計基準は、今後改訂されてゆくことになると思われるが、PC構造物にとって適切なものとなるために、今回の調査報告が何らかの参考となることを期待する次第である。

【1995年7月10日受付】

## 兵庫県南部地震 PC 構造物震害調査委員会

(50音別 敬称略)

委員長	鈴木 素彦	(株)PC技術協会理事 ル建設(株)	オリエンタル建設(株)
委員	秋元 泰輔	(株)PC技術協会理事	(株)長大
同	天野 敏彦	極東工業(株)	
同	○新井 英雄	住友建設(株)	
	○飯泉 章	日本鋼弦コンクリート(株)	
同	泉 佳宏	住友建設(株)	
同	○今尾 勝治	(株)安部工業所	
同	沖田 佳裕	オリエンタル建設(株)	
同	小出 住義	(株)日本ピー・エス	
同	佐久間隆夫	(株)富士ピー・エス	
同	笹子 和弘	興和コンクリート(株)	
同	丹野 政志	フドウ建研(株)	
同	堂前 満	ピーシー橋梁(株)	
同	仲田 健治	(株)ピー・エス	
同	○中村 一樹	オリエンタル建設(株)	
同	野田 行衛	川田建設(株)	
同	◎野村 貞広	(株)ピー・エス	
同	○林 三雄	(株)ピー・エス	
同	○日紫喜剛啓	鹿島建設(株)	
同	弘埜 剛	大成建設(株)	
同	南川 光一	ドーピー建設工業(株)	
同	吉岡 民夫	オリエンタル建設(株)	
同	○渡辺 忠朋	(株)鉄道総合技術研究所	

(◎印：幹事長 ○印：幹事)