

兵庫県南部地震におけるPC造建物の被害と耐震診断

兵庫県南部地震PC建築物調査小委員会

1. はじめに

1995年1月17日未明に発生した兵庫県南部地震(Magnitude 7.2)は、阪神地域にあった多数のプレストレストコンクリート(PC)造建物を襲った直下型の大地震動であった。日本におけるPC造建物の震害については、近年、東日本で発生した3地震(宮城県沖地震/1978, 日本海中部地震/1983, および三陸はるか沖地震/1994)による各被害地域にも数棟から十数棟のPC造建物が実在したが、これらの建物はいずれも無被害かあるいは構造的な損傷のない軽微な被害であった。

一方、兵庫県南部地震では、気象庁の震度階(震度)で6以上に指定された地域に100棟を超すPC造建物が実在し、これまでになく多くの建物が地震に見舞われた。これらPC造建物に対する調査は、本協会/兵庫県南部地震PC構造物調査委員会で行われ、1995年6月にその調査結果¹⁾が公表された。この初期調査によって明らかになったPC造建物の被害は、震度7の地域で大破した建物が1棟あったが、調査数に対する被害建物の比率が1%と小さく、PC造建物の被災率は過去の地震と同様、小さいものであった。このため、同年9月、本協会に兵庫県南部地震PC建築物調査小委員会(主査:岡本伸)が設けられ、PC造建物に関するより詳細な調査が実施されることになった。

PC建築物調査小委員会では、まず初期調査が行われたPC造および2次PC部材を用いたPC関連建物のうち、PC部材が主要耐震部材として使われていた約100棟のPC造建物を選び出し、各建物の竣工年、構造形式、使用材料の特性および建物位置の震度分布、等を調査した。さらに、各PC造建物について(財)日本建築防災協会刊行の“既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説(1995)”に従い、可能な限り耐震診断を実施した。兵庫県南部地震におけるPC造建物の被害概要と竣工年から見た使用耐震設計指針との関連、コンクリートの設計基準強度の分布ならびに耐震診断の結果を報告する。

2. 初期調査

初期調査で明らかになった兵庫県南部地震によるPC造と2次PC部材を用いた建物の被害を要約すると、1) PC造建物の被災率は比較的小さい、2) 新耐震基準によるPC造建物には構造的な被害が生じていない、および3) プレキャスト(PCa)2次PC部材を用いた建物の被害は大きかった、と言える。初期調査の概要と改めて見直した調査結果を、以下に抜粋して示す。

2.1 調査地域

PC造および2次PC部材を用いた建物の調査地域は、震度6以上に指定された地域のうち、神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市、伊丹市、および川西市に限定した。淡路島にも震度6以上の烈震地域があったが、南部地域に実在したPC造建物には何らの被害も無く、さらに被害の大きかった北部地域にはPC造建物が無かったことから調査地域より除外した。

2.2 建物の種類

PC造建物を、場所打ち造とPCa造に分け、さらに地震力を直接負担する主要耐震部材(柱、梁および耐力壁)にPC部材を適用した建物と2次部材(例えば、屋根、床スラブおよび小梁、等)にPC部材を使用した建物に分類した。PC造建物および2次PC部材を使用した建物を、次の4種類に分けた。

I-1: プレキャスト(PCa)PC造建物、

II-1: 場所打ちPC造建物、

I-2: プレキャスト(PCa)2次PC部材を使用した建物、および

II-2: 場所打ち2次PC部材を使用した建物。

2.3 被災度

PC造建物および各PC部材の被災度を、A、B、CおよびDの4段階に分けて、各建物ごとに損傷程度を調査した。さらに、各建物におけるPC部材単独の損傷具合も調べるために、構造全体の被害を、S-A、S-B、S-CおよびS-Dの4段階、およびPC部材単独の被害もM-A、M-B、M-CおよびM-Dの4段階に分けた。調査に用いた各段階の被災度を要約すると、概ね次のと

おりであった。

- A : 無被害か、あるいは補修を必要としない程度,
- B : 構造性能に影響を与えないが、軽度な補修を必要とする程度,
- C : 構造性能に影響を与え、補強および補修を要する程度,
- D : 崩壊あるいは補強・補修が困難な程度。

2.4 調査結果

I-1, および II-1 に分類した PC 造建物の調査数は 100 棟で、内訳は PCaPC 造建物が 10 棟、場所打ち PC 造建物が 90 棟であった。I-2, および II-2 の 2 次 PC 部材を使用した建物の調査数は 64 棟で、PCa 2 次 PC 部材を用いた建物が 50 棟、場所打ち 2 次 PC 部材を用いた建物が 14 棟であった。表-1 に建物の調査数と被害概要を示し、各調査建物の位置を図-1 に示す。再検討

した各分類建物の被害概要は次のとおりであった。

2.4.1 PCaPC 造建物

調査された PCaPC 造建物は 10 棟で、すべてが震度 6 の地域にあった。建物の被災度は、すべてが A ランクで無被害あるいは構造的な被害のない軽微な損傷であった。

2.4.2 場所打ち PC 造建物

調査数が 90 棟で、12 棟が震度 7 の地域にあった。このうち、1971 年竣工の 1 棟が被災度 D ランクの大被害を受け、さらに 1988 年竣工の 1 棟が非構造部材に B ランクの補修を要する被害を受けた。ただし、震度 6 の地域にあった 78 棟は、すべて被災度 A の無被害あるいは軽微な被害にとどまっていた。

大破した 1 棟は 4 層の PC と RC 造の併用構造で、1 層・2 層が RC 造、3 層 Y 方向の大スパン (37.4 m) 架

表-1 各分類建物の被災度

建物分類	震害程度				構造の被害程度				PC 部材単独の被害程度				調査数
	S-A	S-B	S-C	S-D	M-A	M-B	M-C	M-D	計				
I-1: PCaPC 造建物	10				10					10			
II-1: 場所打ち PC 造	88	1		1	90					90			
I-2: PCa 2 次部材	40	8	なし	2	43	5		2		50			
II-2: 場所打ち 2 次部材	14				14					14			
被害建物の集計	152	9	なし	3	157	5		2		164			

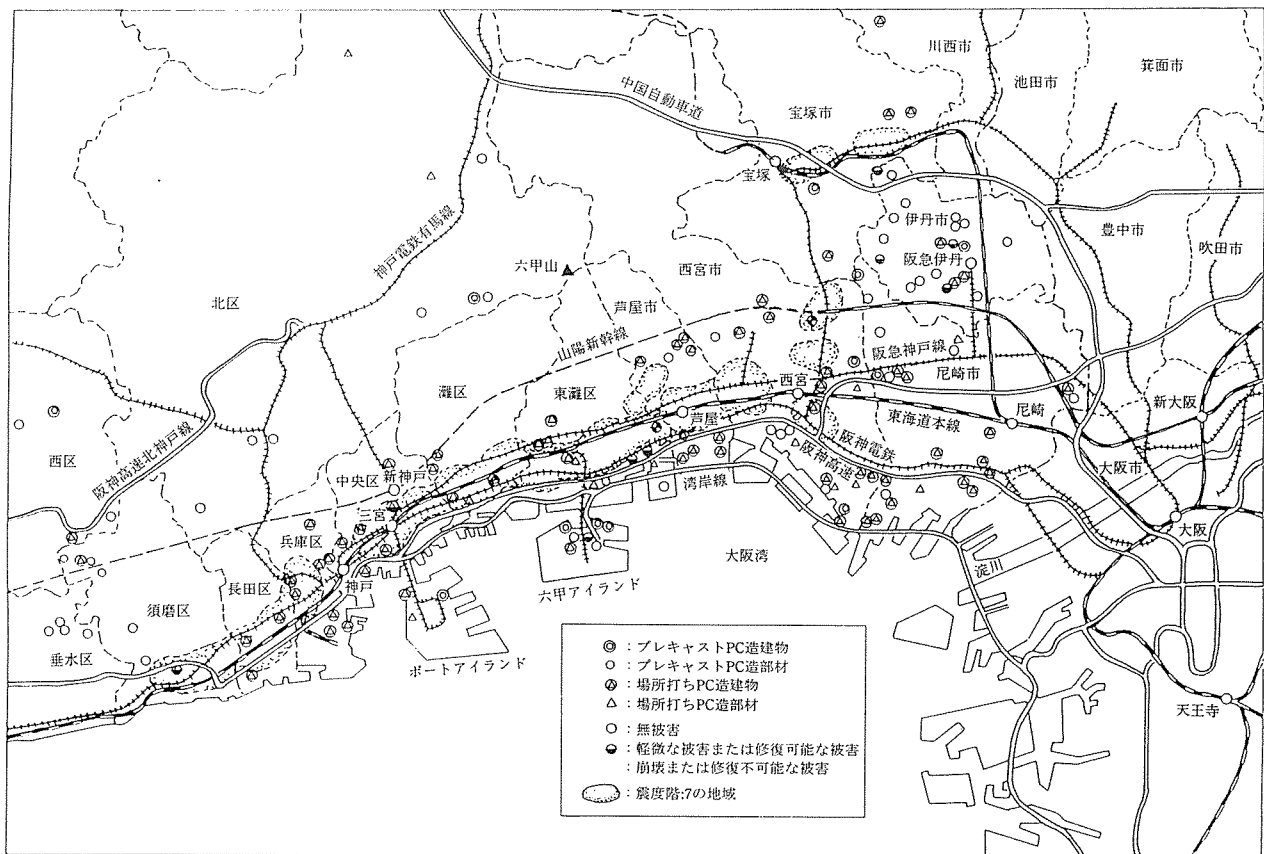


図-1 調査建物の位置



写真-1



写真-2

構の梁に PC 部材が適用されていた。さらに、屋根組および Y 方向の北側 1 スパン (4.5 m) は S 造で構成されていた。被害の概要は、1 階・2 階の柱と雑壁 (構造設計では厚さ 15 cm と 18 cm の雑壁として扱い純フレーム架構としているが、実際には柱梁に囲まれて耐震壁の挙動を示している) にせん断破壊が見られ、さらに S 造 1 スパン部の約半分が崩壊していた。ただし、PC 梁には曲げひび割れも見あらず、その健全ぶりを示していた (写真-1 および 2)。

2.4.3 PCa 2 次 PC 部材

調査数は 50 棟で、震度 7 に位置した 3 棟のうち、1972 年と 1974 年竣工の 2 棟で PC 屋根板の落下を伴う被災度 D ランクの大破被害を受けた。さらに、震度 7 の地域にあった残る 1 棟も、PC 屋根板とその支持部材 (RC 造) に補修を要する被災度 B ランクの軽度な損傷を受けた。震度 6 の地域にあった 48 棟については、7 棟で PC 板あるいはその支持部材に被災度 B ランクの軽度な損傷を受けていた。このため、PCa 2 次 PC 部材を使用していた建物では、50 棟のうち 10 棟が何らかの被害を受けていたが、大破した建物は 2 棟でその被害率は 4% (2/50) であった。ただし、軽度な被害を受けた 8 棟の建物も、震度 6 の地域にあったこと、および被害がす



写真-3

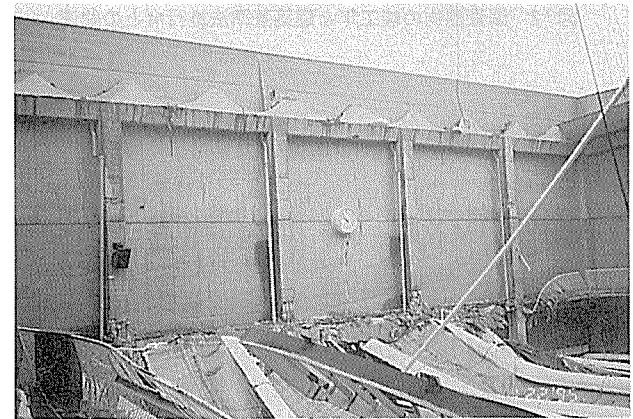


写真-4

べて PC 板の支持部に集中し、わずかな違いで落下を免れたと考えられる建物も存在した。これは、明らかに PCa 2 次 PC 部材を用いた建物の PCa 部材と支持部材との接合部の耐震設計、等に何らかの問題があったものと考えられる (写真-3 および 4)。

2.4.4 場所打ち 2 次 PC 部材

場所打ち 2 次 PC 部材を使用した建物の調査数は 14 棟で、このうち 3 棟が震度 7 の地域にあった。震度 6 に位置した 11 棟の建物を含め、すべてが被災度 A ランクの無被害あるいは構造的な被害のない軽微な損傷であった。

2.5 調査建物の概要

調査した PCaPC 造と場所打ち PC 造建物の計 100 棟における竣工年、規模およびコンクリートの設計基準強度の分布は、次のとおりであった。

2.5.1 建物の竣工年

各調査建物における竣工年と建築基準法施行令改定との関連を、図-2 に示す。1971 年の令改定前に竣工した建物は、場所打ち PC 造の 2 棟のみであった。1971 年の令改定から新耐震設計に移行した 1982 年の間には、2 棟の PCaPC 造と 8 棟の場所打ち PC 造が竣工していた。新耐震設計に移行した 1982 年の令改定後に竣工した建物が 88 棟で、この中には場所打ち PPC 造 (PRC 設計)

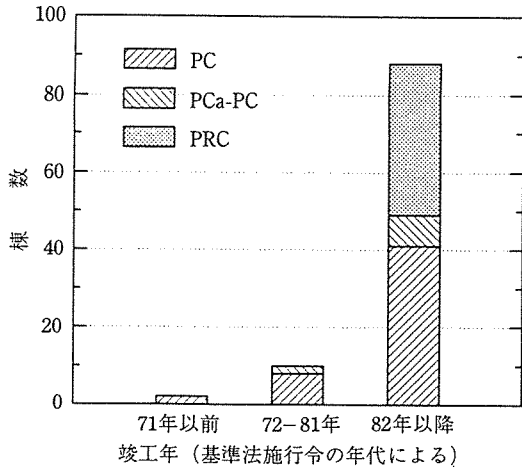


図-2 調査建物の竣工年と建築基準法施行令との関連

も 39 棟含まれていた。

すなわち、調査した PC 造建物の約 9 割が現行基準である新耐震設計によるものであった。また、1983 年の建設省告示 (建告) 第 1320 号以降に PPC 造建物の竣工が多くなっているのが特徴的であった。

2.5.2 建物規模

調査建物の階数別分布を、図-3 に示す。PC 造建物は一般に低層が多く、2 階以下が 34 棟、3 階から 5 階が 38 棟、および 6 階以上は 5 棟であった。しかし、倉庫や体育館のように階数が少なくとも、建物高さが 20 m を超える建物も多数含まれていた。さらに、大規模構造物にも多く使われており、延べ床面積が 5 000 m² を超える建物も多く見られた。

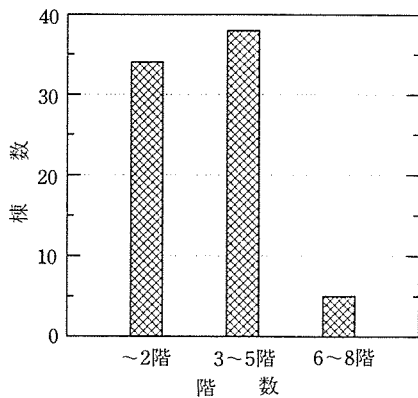


図-3 調査建物の階数別分布

2.5.3 コンクリート強度

1960 年の建告第 223 号以降から 1973 年の建告第 949 号における間の PC 造建物のコンクリート設計基準強度 F_c は 360 kgf/cm² 以上で、1973 年の建告第 949 号以降は 300 kgf/cm² 以上と定められた。さらに、1983 年の建告第 1320 号以降は、PPC (PRC 設計) 造では 240 kgf/cm² 以上と定められた。図-4 に調査建物における

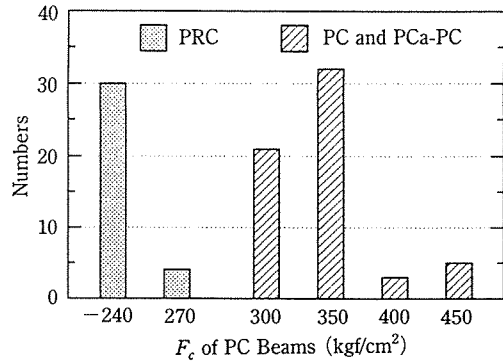


図-4 調査建物における PC 梁 F_c の分布

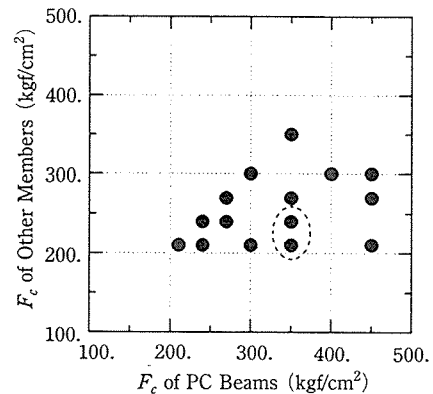


図-5 PC 梁と他の部位における F_c の組合せ

PC 梁のコンクリート設計基準強度 F_c の分布を示し、PC 梁と他の部位 (柱、壁等) とのコンクリート設計基準強度の組合せ状況を図-5 に示す。PPC 造では F_c が 240 kgf/cm² が圧倒的に多く、PC 造では F_c が 350 kgf/cm² の建物が 300 kgf/cm² のものより幾らか上回っていた。

3. 耐震診断

初期の被災度調査の対象にした 100 棟の PC 造建物の中から、1 棟の大破した場所打ち PC 造建物を含め、PCaPC 造が 1 棟および場所打ち PC 造が 2 棟ならびに場所打ち PPC 造で 2 棟の計 5 棟を選び出し、各建物の耐震診断を実施した。検討対象の建物概要およびその診断結果を以下に記述する。

3.1 検討対象建物

検討対象の建物については、工法、用途、竣工年および建設場所などを考慮して次の 5 棟、(1) PC ボウリング場 (神戸市灘区)、(2) PCaPC 倉庫 A (神戸市中央区)、(3) PC 体育館 (西宮市)、(4) PPC 事務所 A (神戸市東灘区)、および (5) PPC 事務所 B (神戸市兵庫区)、を選定した。

各建物の概要と初動調査による被災度を表-2 および表-3 に示し、基準階平面および軸組を図-6 に示す。

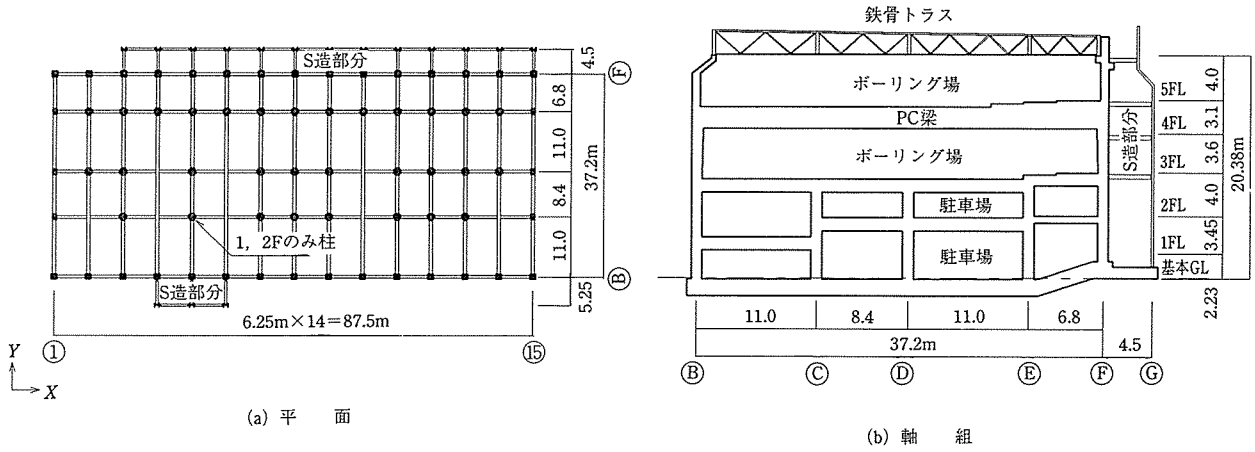


図-6(1) PCボウリング場

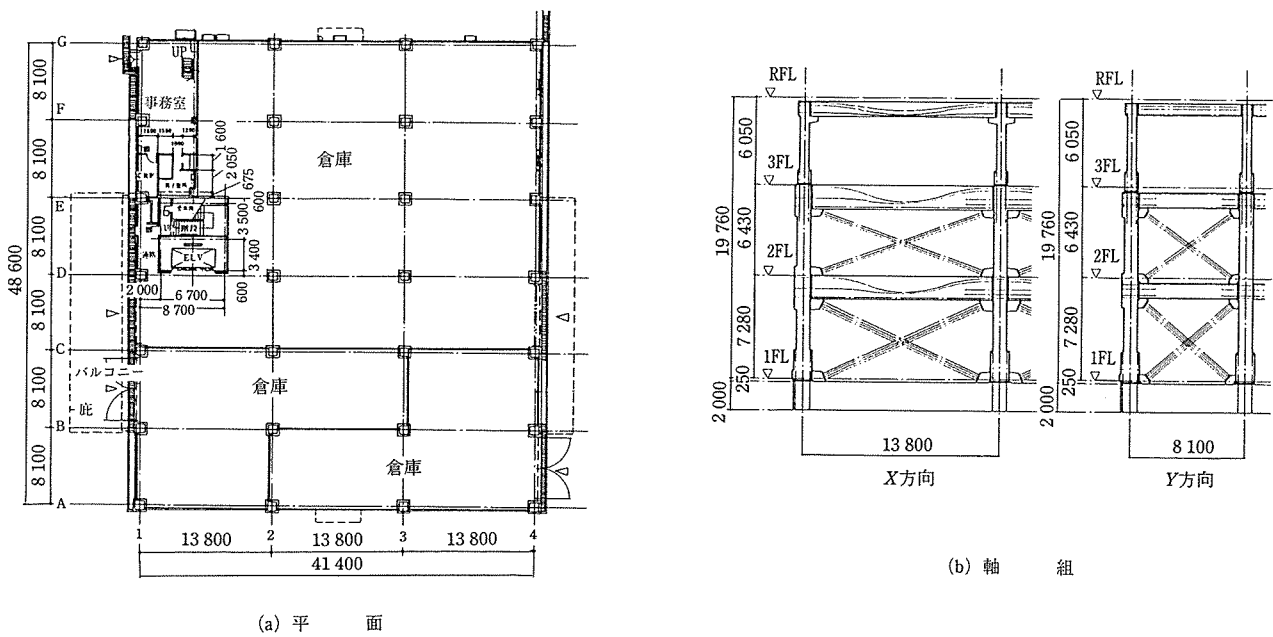


図-6(2) PCaPC倉庫 A

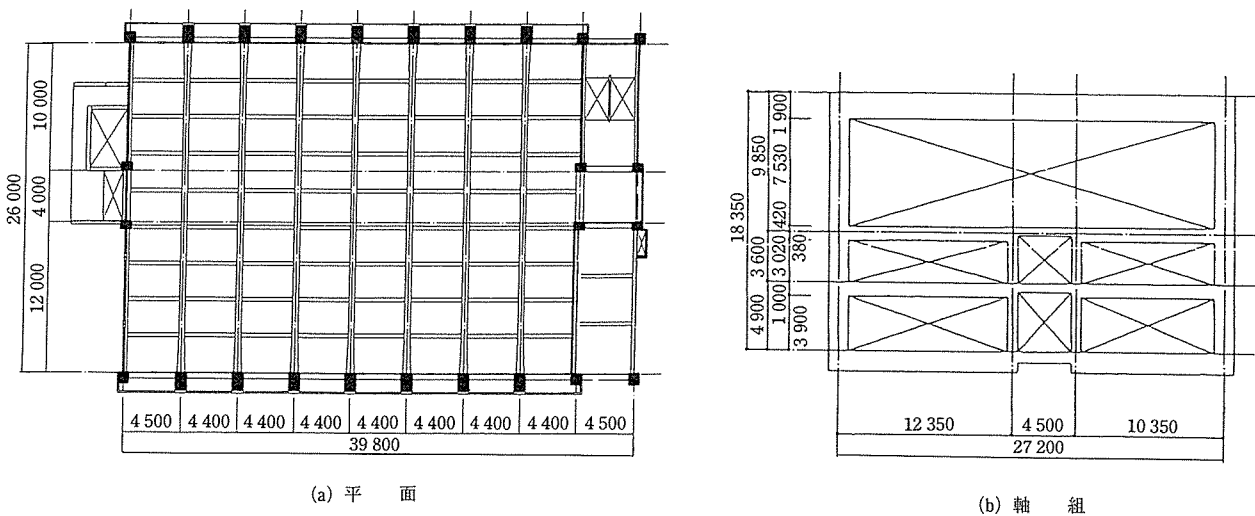


図-6(3) PC体育館

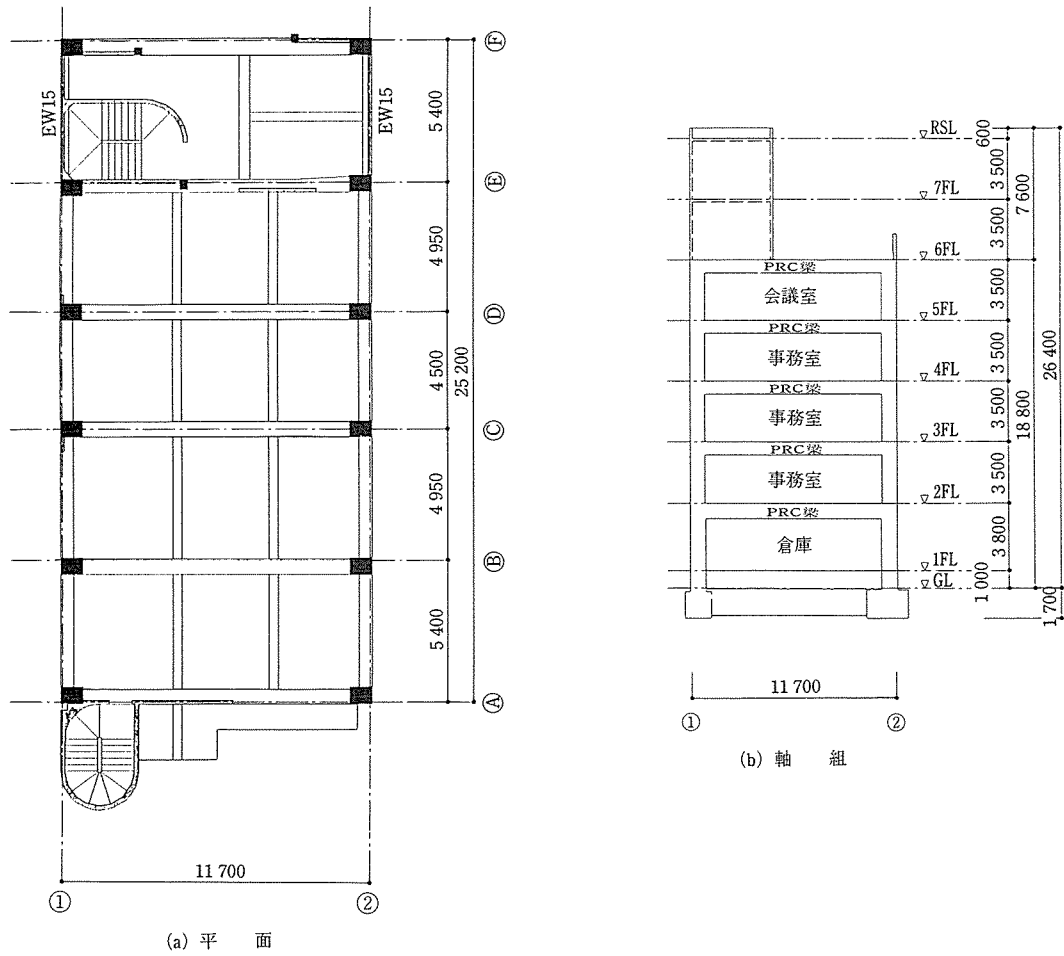


図-6(4) PPC事務所 A

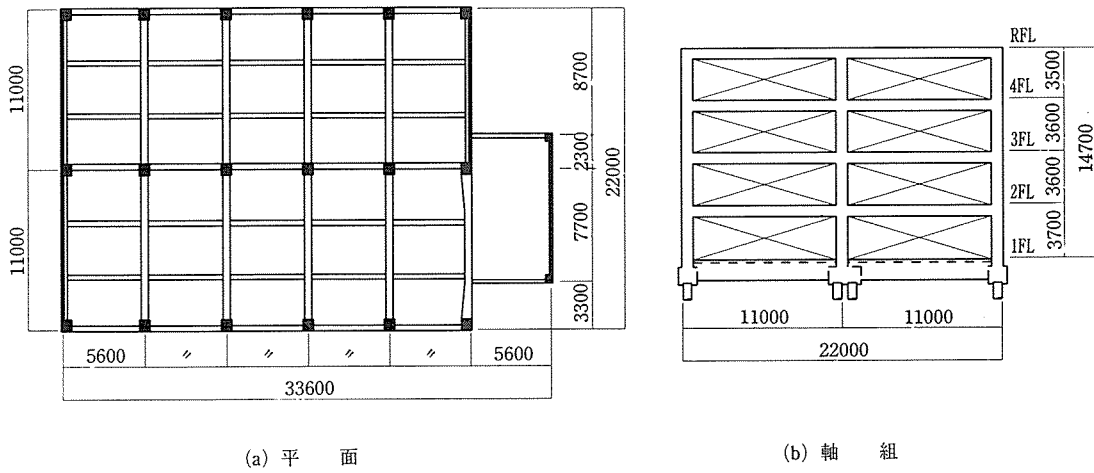


図-6(5) PPC事務所 B

表-2 建物概要

呼 名	規模・工法	竣 工 年
(1) PC ボーリング場	4層 PC 造	1971
(2) PCaPC 倉庫 A	3層 PCaPC 造	1978
(3) PC 体育館	3層 PC 造	1982
(4) PPC 事務所 A	5層 PPC 造	1988
(5) PPC 事務所 B	4層 PPC 造	1992

表-3 初動調査による被災度

建物名称	震害程度				建設場所
	A	B	C	D	
(1) PC ボーリング場				○	神戸市灘区
(2) PCaPC 倉庫 A	○				神戸市中央区
(3) PC 体育館	○				西宮市
(4) PPC 事務所 A	○				神戸市東灘区
(5) PPC 事務所 B	○				神戸市兵庫区

3.2 耐震診断結果

選定した5棟のPC造建物の耐震診断を、RC造を対象に開発された耐震診断基準²⁾に準用して行った。各建物の1次および2次診断の結果を表-4に示す。また、2次診断の結果は、極脆性部材を含む場合には、それらを考慮して計算したものである。各建物における診断結果は、次のとおりであった。

(1) PCボウリング場

建物のXおよびY方向に耐震壁を配した4層のフレーム架構である。1次診断における建物の構造耐震指標 I_s 値は、1階から3階にかけてX・Y方向で、それぞれ0.5, 0.63, 0.71, および0.32, 0.38, 0.52であった。建物は1971年の竣工で、いわゆる旧耐震設計基準による設計であったことから、1階・2階に極脆性部材と評価される柱が含まれていた。このため、2次診断による I_s は、1階から3階までX・Y方向とも、それぞれ0.29, 0.71, 0.52, および0.39, 0.36, 0.61に変化して、X方向の1階 I_s が0.29, およびY方向2階が0.36で、1次診断に比べ小さな値となった。この傾向は、1階・2階で多くの柱がせん断破壊していた被災状況と概ね一致する。

(2) PCaPC倉庫A

プレキャストPC造の3層のフレーム架構で、1978年に竣工した建物である。1次診断における建物の構造耐震指標 I_s は、1階から3階にかけてX・Y方向で、それぞれ0.18, 0.26, 0.23, および0.13, 0.26, 0.23と小さな

値であった。この建物は旧耐震設計基準によるが、梁降伏型の崩壊メカニズムを有していたため、柱の耐力が高く2次診断による I_s は、1階から3階までX・Y方向とも、それぞれ0.69, 0.60, 0.73, および0.70, 0.64, 0.79に変化して、 I_s の一般的な目安に相当する値を確保できた。この建物は埋立地に建てられ、周辺地盤に沈下も見られたが、構造躯体の被害は軽微なものであった。

(3) PC体育館

建物のX・Y方向に耐震壁を持つ3層のPCフレーム架構で屋上にプールが設置されている。1982年に竣工した建物で、いわゆる新耐震設計基準による設計であった。1次診断による建物の構造耐震指標 I_s は、1階から3階にかけてX・Y方向で、それぞれ0.33, 0.39, 0.33, および0.30, 0.34, 0.43と小さな値であった。2次診断による I_s は、1階から3階までX・Y方向とも、それぞれ1.30, 0.77, 0.93, および0.87, 0.89, 0.57に変化した。各方向の I_s は一般的な目安となる値(0.6)を概ね確保できた。さらに、この建物には地震による構造的な被害は全く見あらず、屋上プールに水が入っていたことから制振の役割と建物の振動に対して自由に動ける水が地震時の慣性力を受ける水の有効質量を減じたものと考えられる。

(4) PPC事務所A

外周構面の一部に耐震壁を配した5層のPPC造建物で1988年に竣工している。1階から3階に極脆性部材と評価される柱を含んでいたため、X・Y方向とも2次診断の I_s 値が、1階から3階まで、それぞれ0.47, 0.32, 0.38 および0.27, 0.46, 0.55と小さい。ただし、構造躯体に被害は観察されていない。この建物も埋立地に建てられており、地震後の調査で周辺地盤の沈下と建物の傾斜が確認されている。これらの点から地震入力が低減されていた可能性も考えられる。

(5) PPC事務所B

1992年に竣工した4層のPPC造建物である。Y方向の両妻面に耐震壁が設けられ、1階から4階までの1次診断による I_s 値が1.36から3.04に分布して大きく、2次診断でもほぼ同等の I_s 値を示している。一方、X方向の1次診断による I_s 値は、純フレームのため小さく1階から4階まで、それぞれ0.30, 0.33, 0.40, 0.71であった。2次診断による I_s 値は1階から4階まで、それぞれ0.36, 0.83, 1.05, 1.66となり、1次に比べて幾らか大きくなる。この建物も無被害であった。

以上の診断結果から、ある程度の耐震壁が配置された低層RC造建物を想定して開発された耐震診断法を壁の少ないPC造建物に適用した場合、1次診断では I_s 値が小さいが、2次診断まで実施すれば、PC造建物においても、耐震性能を概ね推定できるものと考えられる。

表-4 各建物の診断結果

呼 名	階 数		階	I_s (1次)		I_s (2次)	
	地上	塔屋		X方向	Y方向	X方向	Y方向
(1) PCボウリング場	4	0	4	2.93	2.36	2.37	2.16
			3	0.71	0.52	0.52	0.61
			2	0.63	0.38	0.71	0.36
			1	0.50	0.32	0.29	0.39
(2) PCaPC倉庫A	3	1	3	0.23	0.23	0.73	0.79
			2	0.26	0.26	0.60	0.64
			1	0.18	0.13	0.69	0.70
(3) PC体育館	3	2	3	0.33	0.43	0.93	0.57
			2	0.39	0.34	0.77	0.89
			1	0.36	0.30	1.30	0.87
(4) PPC事務所A	5	1	5	1.12	1.12	1.93	1.05
			4	0.62	0.69	1.15	0.65
			3	0.30	0.53	0.38	0.55
			2	0.43	0.46	0.32	0.46
			1	0.30	0.32	0.47	0.27
(5) PPC事務所B	4	0	4	0.71	3.04	1.66	2.58
			3	0.40	1.73	1.05	1.47
			2	0.33	1.34	0.83	1.18
			1	0.30	1.36	0.36	1.16

5. ま と め

阪神地域にあった多くの PC 造建物が、1995 年 1 月 17 日未明に発生した兵庫県南部地震に見舞われ、PC 造建物と 2 次 PC 部材を使用した関連建物で 3 棟の大破被害が生じた。地震直後の初動調査と選定した 5 棟の PC 造建物の耐震診断の結果から、以下の事項をまとめることができた。

- 1) PC 造建物の被災率は小さかった。
- 2) 旧耐震設計基準による場所打ち PC 造では、RC 柱に被害が集中する傾向が見られた。
- 3) プレキャスト 2 次 PC 部材を用いた関連建物の被災率が極めて高く、耐震設計の方法に何らかの弱点を持つものと考えられた。
- 4) 調査建物の約 90% が新耐震設計基準によるもので、すべてに構造的被害は生じていない。
- 5) 2 次の耐震診断を行えば、PC 造建物の耐震性能

をある程度把握できるが、適切に評価するにはより詳細な検討を要する。

謝 辞

兵庫県南部地震による被災地域にあった PC 造建物に関する設計図書の提供をいただきました皆様方に心より謝意を表します。さらに、本報告での耐震診断には、ST ニューテック研究会で開発された「既存鉄筋コンクリート造建物の耐震診断プログラム SCREEN-1・2・3 Ver. 1」を使用させていただいた。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 兵庫県南部地震 PC 構造物震害調査委員会報告書、(社)プレストレストコンクリート技術協会、1995 年 6 月。
- 2) 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説、(財)日本建築防災協会、1995。

【1996 年 5 月 2 日受付】

PC 建築物震害調査小委員会

主 査	岡 本 伸 (Shin OKAMOTO)	日本建築センター建築技術研究所 所長
幹 事	加 藤 博 人 (Hiroto KATO)	建設省建築研究所 第 4 研究部
幹 事	林 三 雄 (Mitsuo HAYASHI)	(株)ピー・エス 建築技術部
委 員	沖 田 佳 裕 (Yoshihiro OKITA)	オリエンタル建設(株) 技術部
委 員	丹 野 政 志 (Masashi TANNO)	フドウ建研(株) 技術開発部
委 員	市 澤 勇 彦 (Yuhiko ICHISAWA)	(株)ピー・エス 建築技術部
委 員	坂 田 博 史 (Hiroshi SAKATA)	フドウ建研(株) 技術開発部
委 員	多 賀 秀 俊 (Hidetoshi TAGA)	オリエンタル建設(株) 大阪支店