

13-ウェルブ六甲道4番街再開発ビル

竹中工務店
山田知彦



同
田垣欣也



同
上田博之



同
椿 英顯



同
角 彰



1. はじめに

本プロジェクトは先の阪神淡路大震災で甚大な被害を受けた神戸市灘区における震災復興計画のひとつである。建物は2棟から成り、地上7階建の区役所棟と12階建の住宅棟が地下部で連結したプランとなっている。

区役所棟は再開発事業の中で公共公益施設の整備計画に位置し、災害時には復興拠点としての機能を有するため、極めて高い耐震性能が要求された。そこで本建物では免震構造を採用すると共に、その免震性能を効果的に発揮できるように、上部構造にはPC圧着工法によるプレストレストコンクリート構造（以下PC構造）を採用した。

現場でプレキャスト（以下PCa）部材をPC鋼線の緊張力により組み立てるPC圧着工法は、比較的大きなスパンが要求される建物においては、高品質、耐震安全性、短工期、さらには長寿命といった数々の要求性能をバランスよく満足させることが可能な工法である。

住宅棟はJR六甲道駅南地区再開発事業における住宅整備事業の最終となる賃貸集合住宅であり、耐久性向上、工期短縮、地球環境への配慮の観点から積極的にPCa工法を採用した。

以下では、PC圧着工法と免震構造を採用した区役所棟を中心に、構造設計上留意したポイントについて述べる。

2. 建物概要

外観パースと建物概要を図-1に、断面図を図-2に示す。

建物用途は地下1、2階が駐車場、住宅棟の1階から5階は事務所、6階から12階は賃貸住宅（63戸）であり、区役所棟は1階の一部に店舗を持つ事務所である。



図-1 外観パース

建物概要

建物名称	13-ウェルブ六甲道4番街再開発ビル
建築地	神戸市灘区桜口4丁目
事業主	神戸市
建築主	都市基盤整備公団
設計	竹中工務店・藤木工務店・岡工務店JV
施工	竹中工務店・藤木工務店・岡工務店JV
建物用途	区役所、賃貸住宅、事務所
延床面積	21,902㎡、 建築面積 3,293㎡
建物規模	
・区役所棟	地下2階、地上7階、 軒高 30.95m
・住宅棟	地上12階、塔屋1階、 軒高 43.20m
上部構造	
・区役所棟	地下1階柱頭免震構造 + PC圧着工法によるラーメン構造
・住宅棟	耐震壁付きRCラーメン構造
地下構造	耐震壁付きRCラーメン構造
免震構造	鉛プラグ入り積層ゴム18基+積層ゴム20基

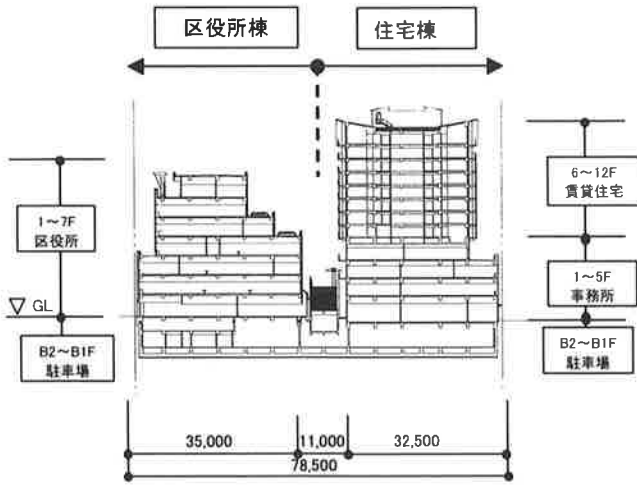


図-2 建物断面図

3. 構造計画概要

建築主から示された主な要求性能は、

- ① 役所棟においては災害時の復旧拠点として高い耐震安全性を有すること。
- ② 区役所棟はレイアウト変更に対してフレキシビリティのある空間とし、移動ラック等の局所的に大きな荷重に対応できる架構とすること。
- ③ PCa化を極力推進して環境に配慮すること。
- ④ 工期24ヶ月の短工期とすること。

であった。これらの要求性能に対して以下に示すような構造計画を行った。構造概要図を図-3に示す。

区役所棟においては、要求①に対して最も高いレベルで応えることのできる工法として、免震構造を採用した。免震層の位置は、1階床下、B1階柱頭とし、いわゆる中間階免震とした。地下階直下の基礎免震も検討したが、免震ピットや高さ10mにも及ぶ擁壁が必要となり、コスト、工期面で不利になると判断した。一方、1階床下、B1階柱頭であれば、駐車場上部の空間を有効利用することができ、免震コストの低減にもつながると考えた。

要求②に対しては、図-3に示すような桁行方向12.0mの2スパン、梁間方向6.0mの6スパンの平面計画において、以下の相反する2条件を満足させる必要があった。

1. フレキシビリティを高めるため、耐震壁やブレースは設けない。
2. 免震効果を高めるため、出来るだけ上部構造の剛性を大きくする。

これらを満足させる上部構造種別として、現場打ちPC構造、PC圧着工法を用いたPC構造、SRC構造、RC構造の4者を比較した。表-1に示すように、上記条件を満足しつつ構造性能、コスト、工期、品質の面でバランスよく性能を満たし、更に要求性能③④も満足できるPC圧着工法を用いたPC構造を採用することとした。

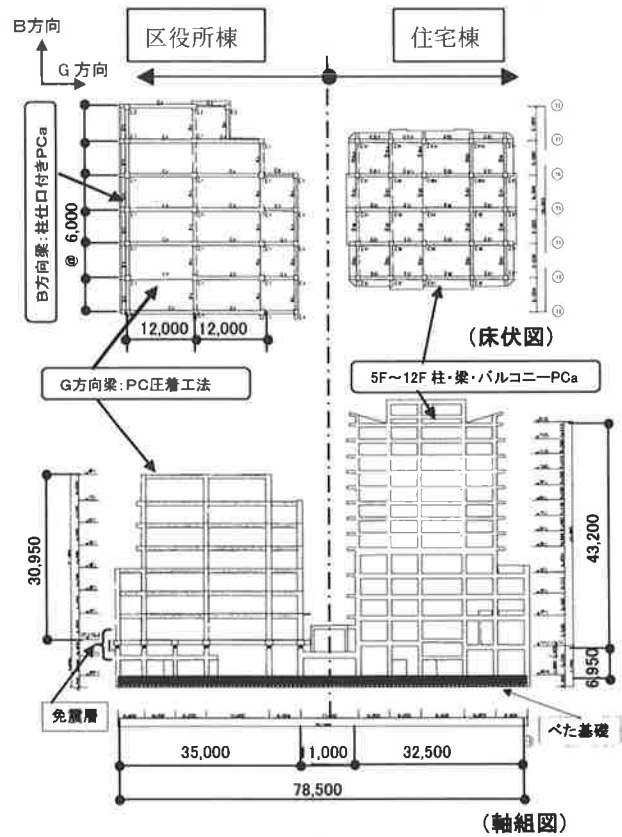


図-3 構造概要図

表-1 区役所棟 (G方向) 構造種別の比較

性能 \ 構造種別	現場打ちPC構造	PC圧着工法によるプレキャストPC構造	SRC構造	RC構造
執務室に対する機能性 (梁下寸法)	◎	◎	◎	△
免震構造システムとの適合性 (ひび割れによる剛性低下防止)	◎	◎	○	○
工期	○	◎	△	○
構造体品質 (耐久性)	○	◎	○	○
コスト	◎	○	○	◎
総合評価	○	◎	△	△

一方、住宅棟については、同地区で先行して建設された住宅と同様に、RC耐震構造とし、要求③④に対して5階から12階の住居部分の柱・梁・床・バルコニーをPCa化した。

区役所棟と住宅棟を連結する地下部分はRC耐震構造とし、耐震壁を有効に配すことにより、剛性、耐力とも十分に大きな架構とした。

敷地地盤は1m程度の盛土層の下はN値20~30の洪積層が15mの厚さで分布しており、その下はN値50以上の安定した大阪層群で形成されている。したがって、基礎は基礎底をGL-5.85~10.75mとしたマットスラブによる直接べた基礎とした。

4. PC圧着工法と免震システム

4.1 本建物に適用したPC圧着工法

本建物の区役所棟では、G方向とB方向のスパンの違いを考慮してPC構造とRC構造を組み合わせたハイブリッド型のPC圧着工法とした。概要、特色を以下に述べる。また、施工手順を図-4に示す。

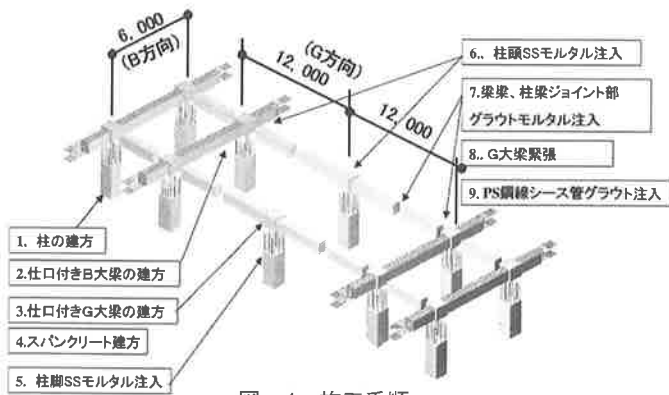


図-4 施工手順

- ①長スパン12mの G方向梁はPC構造によるPCa部材として、部材接合はPC圧着工法により行った。
- ②短スパン6mのB方向梁と柱はPC構造とする必要はないので、PCa部材を用いたRC構造とした。
- ③B方向梁は仕口付きPCa部材とすることで、現場打ちコンクリート量を最小とした。
- ④複雑な納まりで、現場施工が困難なPC圧着定着端は工場製作の仕口付き B方向梁に組込んだ。

4.2 免震材料概要

区役所棟の免震材料については、駐車場階の柱頭

部に配置する計画から、最もスペースを有効に使え、コスト的にも有利な、鉛入り積層ゴムと天然ゴム系積層ゴムを採用した。

免震材料は、積層ゴム (RB) 20基、鉛入り積層ゴム (LRB) 18基の支承材によって構成される。配置状況を図-5に示す。

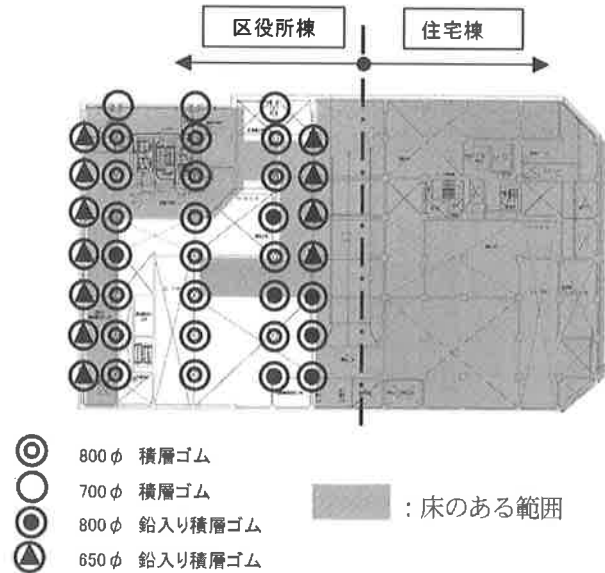


図-5 免震材料と配置図

免震層のねじれ剛性を高め、免震層の偏心を極力小さくするため、外周部にLRBを、内部にRBを配置した。

免震材料を支持する柱は図-5、6に示すように、プラン上支障のない範囲で出来るだけ柱頭を住宅棟1階床スラブと連結するスラブあるいは耐震壁でつなぐとともに、それらの面内せん断力を確認することにより剛床仮定が成り立つように計画した。また、プラン上、スラブをつなぐことの出来ない独立柱については、その上部の免震材料をRBとするとともに、応力、変形上問題のないことを確認した。

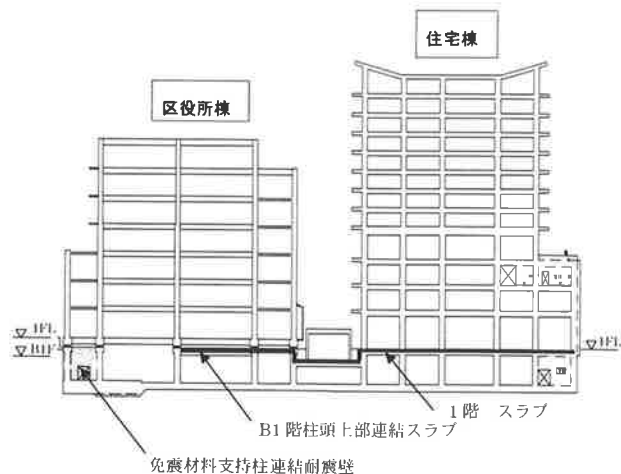


図-6 区役所棟B1階柱頭床と住宅棟1階床の関係図

5. 構造設計方針

免震構造である区役所棟については、表-3に示す耐震性能の目標値を設定し、地震応答解析を行って目標値を満足することを確認した。耐震安全性だけでなく、地震時応答加速度を200gal以下におさえることにより、建物内部の設備及び什器等の転倒を防止し、大地震後も役所機能を停止させないことはもちろん、建物使用者に安心感を与える構造とした。

表-3 耐震性能の目標値 (区役所棟)

部 位	項 目	レベル1	レベル2
上部構造	層間変形角	1/400以下	1/200以下
	部材応力度	短期許容応力度以下	弾性限耐力以下
免震層	水平移動量	30cm以下	50cm以下
鉛プラグ入り 積層ゴム・ 天然ゴム系 積層ゴム	圧縮応力度	短期許容応力度以下	
	引張応力度	生じない	1 N/mm ² 以下
	せん断歪	150%以下	250%以下
地下および 基礎構造	部材応力度	短期許容耐力以下	弾性限耐力以下
	支 持 力	短期許容支持力度以下	

免震材料は、上下動応答、免震層の偏心、および免震材料特性値のばらつきを考慮し、免震層の変形量、および積層ゴムに発生する圧縮・引張応力度等、各レベルに対し安定挙動することを確認した。

耐震構造である住宅棟は、高さ45m以下のRC構造であるため、建築基準法の許容応力度等計算のルート3に基づき保有水平耐力を算出し、必要保有水平耐力を上回ることを確認した。また、終局状態の架構設計変形時(最大層間変形角が1/75となった時)を設定し、この変形時点の応力に対して各部材の靱性の確保に配慮した。

固有値解析から求めた等価固有周期を表-4に示す。

表-4 等価固有周期 (sec)

次 数		1次	2次	3次
免震層固定時	G	1.12	0.41	0.25
	B	0.98	0.39	0.24
水平変位40cm (レベル2地震時相当)	G	3.71	0.66	0.34
	B	3.68	0.61	0.31

6. 地震応答解析結果

6.1 採用地震動

地震応答解析に用いた水平地震動を表-5に示す。告示スペクトル適合3波と標準3波に加え、サイト波として建築地北1.8kmに位置する神戸大学で計測された兵庫県南部地震観測波 (KBU) を参考波として採用した。

告示スペクトル適合波とサイト波の設定にあたっては、敷地地盤のPS検層結果から工学的基盤をGL-21.15mと設定し、表層地盤モデルにより増幅された地震動を解析用地震動とした。

表-5 水平入力地震動の最大速度振幅および加速度

種 類	地震動波形	稀に発生する地震動のレベル (レベル1)			極めて稀に発生する地震動のレベル (レベル2)		
		速度 cm/s	加速度 cm/s ²	解析時間 sec	速度 cm/s	加速度 cm/s ²	解析時間 sec
告示 スペクトル 適合波	告示波A	9	72	60	48	361	60
	告示波B	11	63	120	57	287	120
	告示波C	10	78	120	52	304	120
標準3波	EL CENTRO 1940 NS	25	255	53.8	50	511	53.8
	TAFT 1952 EW	25	248	54.4	50	497	54.4
	HACHINOHE 1968 NS	25	165	36	50	330	36
サイト波	KBU	-	-	-	65	338	100

6.2 解析モデル

水平動に対する弾塑性時刻歴応答解析に用いる構造解析モデルを図-7に示す。

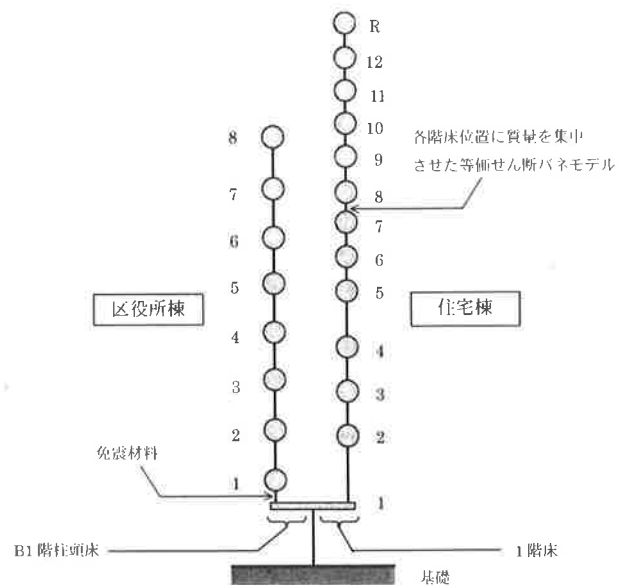


図-7 解析モデル

上部構造は等価せん断型モデルとし、区役所棟と住宅棟に分離した2本棒モデルとすることにより、住宅棟の地震応答が地下構造体を介して区役所棟の地震時挙動に及ぼす影響を確認した。

区役所棟は1階から8階の各床位置に質量を集中させた8質点系モデル、住宅棟は1階からR階の13質点系モデルとし区役所棟B1階柱頭と住宅棟1階床位置で剛床で連結した。

復元力特性は、RCラーメン架構が主体である住宅棟のG・B両方向と区役所棟のB方向を図-8に示す劣化型とし、PC圧着梁が支配的である区役所棟のG方向は図-9に示す原点指向型とした。

なお、免震層の復元力特性は、LRBを図-10に示すバイリニアモデルに、RBは図-11に示す弾性モデルとした。

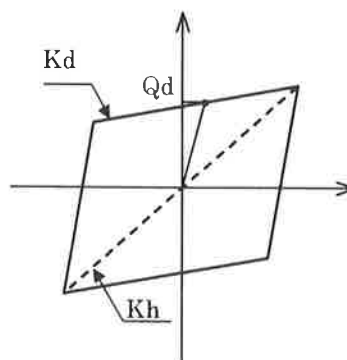


図-10 LRB復元力特性 (バイリニアモデル)

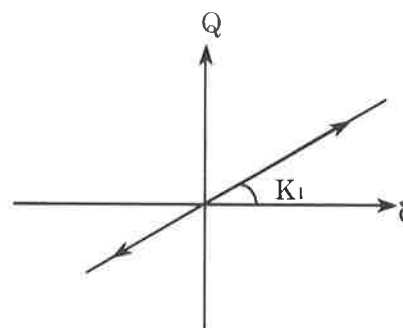


図-11 RB復元力特性 (弾性モデル)

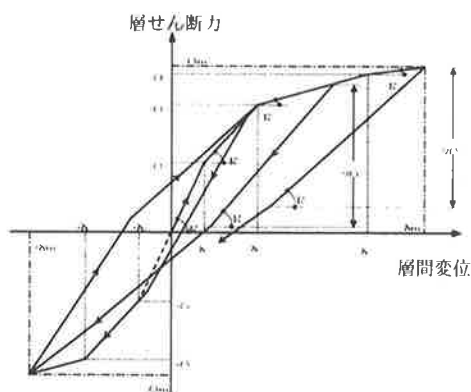


図-8 RCラーメン架構の復元力特性

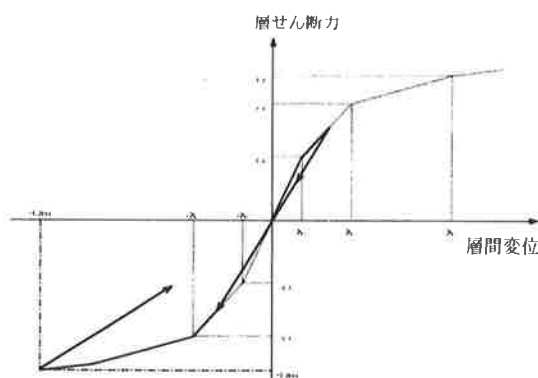


図-9 PC圧着架構の復元力特性

6.3 解析結果

レベル2地震動に対する区役所棟の応答解析結果を図-12～15に示す。

最大層間変形角は、設計目標1/200以下に対して、G方向は1/208、B方向は1/259と目標値を満足している。

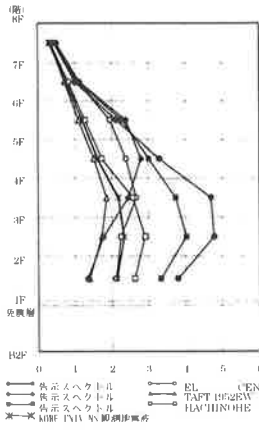
最大応答層せん断力の 弾性限強度に対する比の最大値は、設計目標1.0以下 に対して、G方向は0.52、B方向は0.59である。

免震層の層間変形は、設計目標50cm以下 に対して、G方向は33.4cm、B方向は30.7cmであり、免震材料の力学特性の変動や免震層のねじれ変形を考慮しても衝突することのない範囲である。

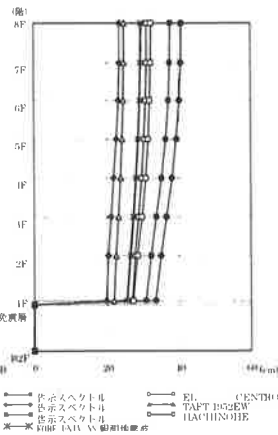
最大加速度応答は、設計目標200galに対して、G方向は180gal、B方向は136galと目標値を満足している。

G方向は柱間隔12mの長スパンで比較的剛性の小さい架構であるが、ひび割れによる剛性低下が少ないPC構造とすることで、柱間隔6mのB方向RC架構と同程度の建物剛性が確保できた。

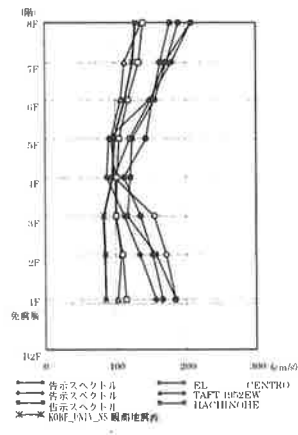
住宅棟の最大層間変形角は、一般的にレベル2で設定されている設計目標1/100以下に対して1/114であった。また、応答層せん断力の終局強度に対する



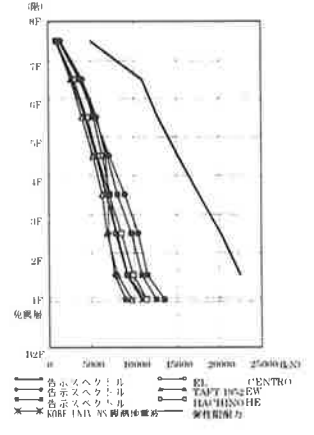
図一12 (a) 最大層間変形角応答 (区役所棟 G方向)



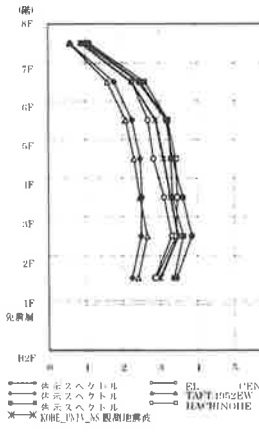
図一13 (a) 最大変位応答 (区役所棟 G方向)



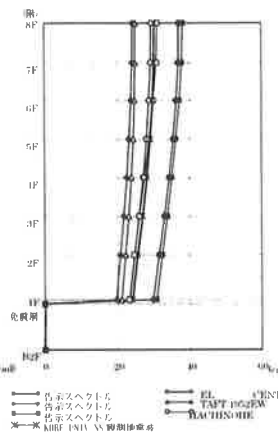
図一14 (a) 最大加速度応答 (区役所棟 G方向)



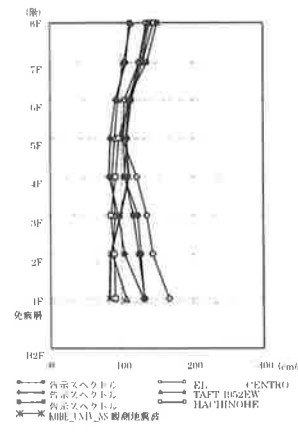
図一15 (a) 最大せん断力応答 (区役所棟 G方向)



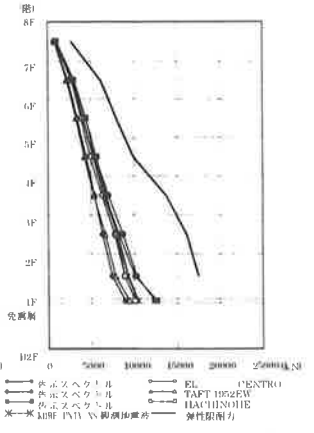
図一12 (b) 最大層間変形角応答 (区役所棟 B方向)



図一13 (b) 最大変位応答 (区役所棟 B方向)



図一14 (b) 最大加速度応答 (区役所棟 B方向)



図一15 (b) 最大せん断力応答 (区役所棟 B方向)

比の最大値は、設計目標1.0以下に対して0.83であり、いずれの目標値に対しても住宅棟の耐震安全性は確保されていると考えられる。

免震構造である区役所棟と耐震構造となる住宅棟が、共通の基礎・地下部を有していることが本建物の特徴であり、お互いの複雑な力のやりとりについても検討を行った。例えば、境界部分の検討として、最も危険であると考えられる区役所棟と住宅棟が逆方向に変形する場合を想定し、各棟の最大応答層せん断力を用いて、境界部分のせん断力と引張り力が許容値以下であることを確認した。

7. まとめ

PC圧着工法によるPC構造と免震構造を組合わせた区役所棟の利点は以下の通りである。

①PC構造は、ひび割れ発生が少なく耐久性に優れ、長いスパンを小さな梁成で支持できる構造であるが、一方で地震時に多くの履歴減衰を期待できな

いという側面を有している。この短所を、免震構造という集約型エネルギー吸収機構を付加することでカバーする合理的な構造形式を実現した。

②免震構造は、建物重量の増加がそのまま負担となる耐震構造と異なり、重量増が固有周期を長くし、免震効果を高める性質を持つ。高い剛性を確保でき、建物重量の大きいPC構造と組み合わせることにより、その特徴を最大限に生かすことが出来た。

③「フレキシビリティを確保するための大スパン化」と「免震構造を効果的に機能させるための剛性の確保」という相反する2条件に対して、PC構造とRC構造を合理的に組み合わせたハイブリッド型のPC圧着工法と免震構造により、フレキシビリティ、耐震安全性・耐久性・工期のいずれも、要求性能を高いレベルで満足させることができた。

最後に、本工法の実現にご協力いただいた神戸市と都市基盤整備公団に紙面を借りて御礼を申し上げる次第である。