

ハイブリッドPC圧着工法を用いた免震構造建物 - 13 - ウェルブ六甲道 4 番街再開発ビル -

角 彰 *1・椿 英顯 *2・上田博之 *3・山田知彦 *4

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。図-1に示した外観写真からもわかるように建物は2棟からなり、地上7階建の区役所棟と12階建の住宅棟が地下部で一体となっている建物である。

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、きわめて高い耐震性能が要求された。そこで、本建物では免震構法を採用するとともに、その免震性能を効果的に発揮するため、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PS構造）を採用した。

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、積極的にプレキャ

スト（以下PCa）工法を採用したRC構造の建物である。

以下では、PC圧着工法による免震構法を採用した区役所棟を中心に、構造設計上の考え方を述べる。

2. 建物概要

建物概要を表-1に、建物断面図を図-2に示す。建物用途は地下1階および2階が駐車場、住宅棟の1階から5階

表-1 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・岡JV
施工	竹中工務店・藤木・岡JV
建物用途	区役所、賃貸住宅、事務所
延床面積	21 902 m ²
建築面積	3 293 m ²
建物規模	
・区役所棟	地下2階、地上7階、軒高 30.95 m
・住宅棟	地上12階、塔屋1階、軒高 43.20 m
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
基礎構造	直接基礎（べた基礎）
工期	着工：H14.2.25、竣工：H16.3.20



図-1 外観写真



*1 Akira SUMI

(株)竹中工務店 大阪本店
設計部 構造部長



*2 Hideaki TSUBAKI

(株)竹中工務店 大阪本店
設計部 構造課長



*3 Hiroyuki UEDA

(株)竹中工務店 大阪本店
設計部 構造課長



*4 Tomohiko YAMADA

(株)竹中工務店 大阪本店
営業部 主任

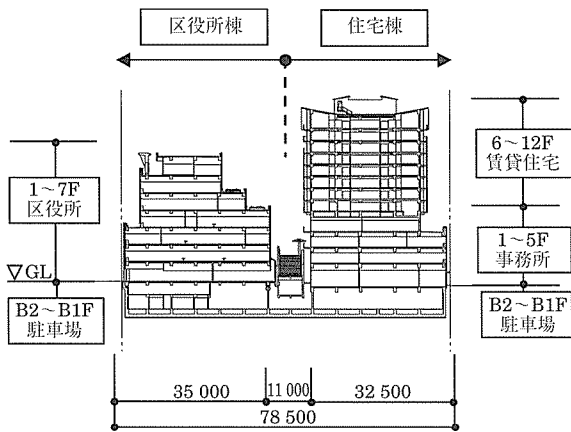


図 - 2 建物断面図

は事務所、6階から12階は63戸からなる賃貸住宅である。また、区役所棟は1階の一部に店舗をもつ事務所である。

なお、本プロジェクトは建築主による性能発注競争入札である。

3. 構造計画概要

性能発注に際して建築主から示された主な要求性能は以下のとおりである。

- ①区役所棟においては、災害時の復旧拠点として十分に高い耐震安全性をもたせること
- ②区役所棟においては、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すること
- ③区役所棟においては、移動ラック等の局所的に大きな積載荷重に対応できる架構とすること
- ④区役所棟・住宅棟ともに、PCa化を推進して環境に配慮すること
- ⑤短工期を図ること

構造概要図を図 - 3 に示すが、要求性能①～⑤に対して以下に示す構造計画を行った。

要求①に対しては、もっとも高いレベルで応えることができる免震構法が最適であると考えた。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。地下階直下に免震層を設ける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・工期の両面で不利になると判断した。一方、B1階柱頭免震であれば、駐車場上部の空間を免震層として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。

要求②に対しては、図 - 3 に示した桁行方向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、次の相反する2条件を満足させる必要がある。

- i) 事務所空間のフレキシビリティを高める⇒
スパンが大きく耐震壁のない構造計画
- ii) 免震効果を高め耐震安全性を確保する⇒
上部構造の架構剛性を高める構造計画

これらを両立させる上部構造種別として、現場打ちPS構造、PC圧着工法を用いたPS構造、SRC構造、RC構造の4者を比較した。表 - 2 に示すように、性能、工期、品

表 - 2 区役所棟G方向の構造種別の比較

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

質、およびコストにおいてもっともバランスがよく、さらに建築主の要求③～⑤も満足できるPC圧着工法によるPS構造を採用した。

一方、住宅棟は同地区で先行して建設された賃貸集合住宅と同様にRC造による耐震構造とし、要求④および⑤を受けて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造による耐震構造としたが、免震建物である区役所棟を支持する下部構造でもあることから、耐震壁をバランスよく配置して、剛性・耐力ともに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GL-5.85～10.75mの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

(1) 本建物に適用したPC圧着工法

一般的なPC圧着工法の概要とメリットを表 - 3 に示す。本建物の区役所棟ではさらに合理性を追求し、G方向とB方向のスパンの違いを利用して、PC構造とRC構造を組み合わせたハイブリッドPC圧着工法とした。ハイブリッドPC圧着工法の構成は以下のとおりで、その施工手順を図 - 4 に示す。

- ✓長スパン12mのG方向梁はPS構造によるPCa部材として、部材接合はPC圧着工法とする
- ✓短スパン6mのB方向梁と柱はPS構造とする必要はないので、PCaによるRC構造とする
- ✓B方向梁は柱梁仕口つきPCa部材とすることで、現場打ちコンクリート量を最小とする
- ✓複雑な納まりで現場施工が困難なPC鋼線定着端は、工場製作の仕口つきPCa部材に組み込む

(2) 免震システム概要

免震材料の選択に際しては、駐車場階の柱頭部に配置する計画から、スペースをもっとも有効に使いコスト的にも有利な、鉛プラグ入り積層ゴム (LRB) と天然ゴム系積層ゴム (RB) を採用した。最小コストで最適の免震性能を得るため、図 - 5 に示したようにLRB 18基、RB 20基の組合

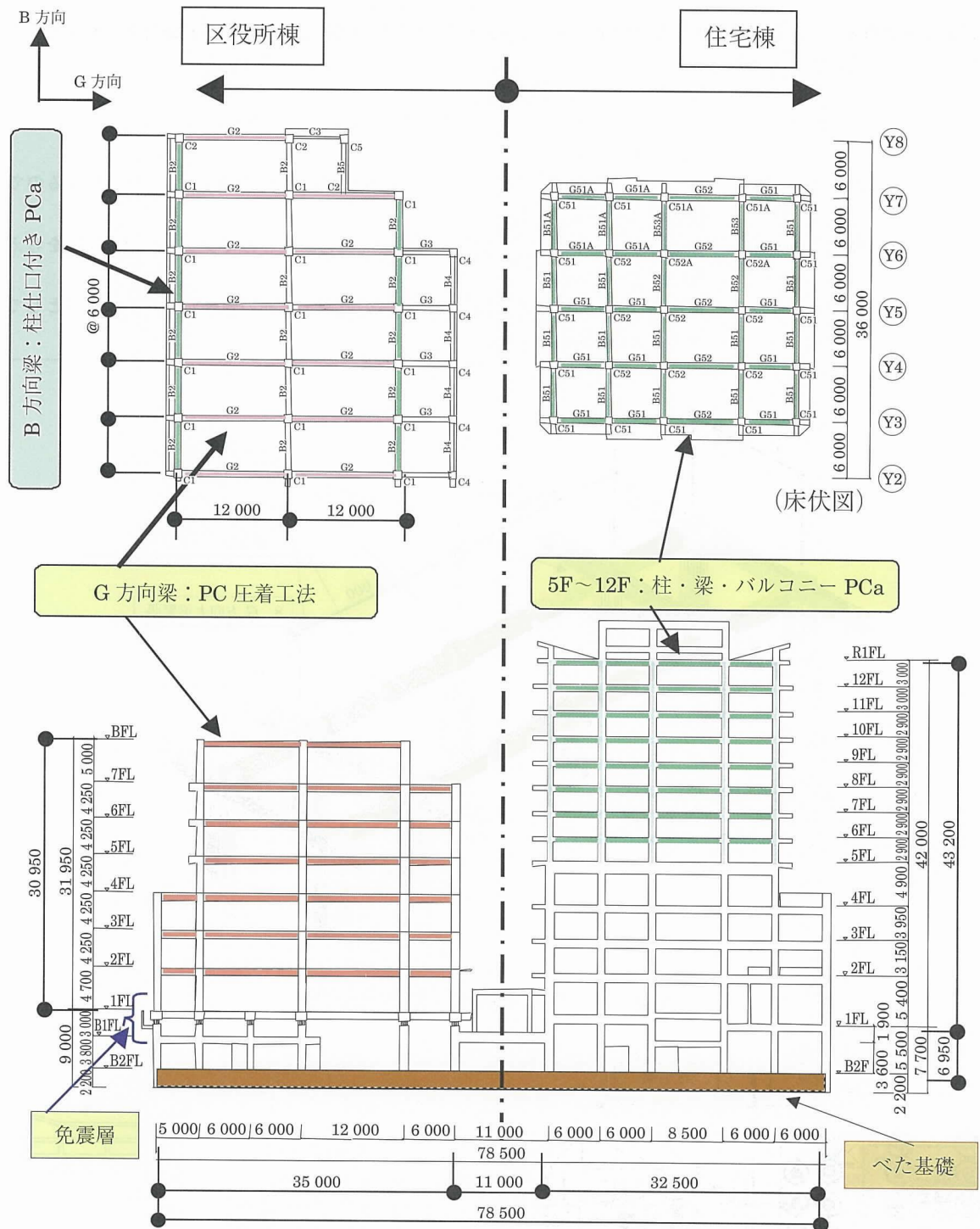


図 - 3 構造概要図

せとした。必要ダンパー量はパラメトリックスタディーにより決定し、微小地震から大地震に至るまで免震層に偏心が発生しないように配置計画を行った。すなわち、建物外周部にLRBを配置することで平面的ねじれ剛性を高め、高性能な免震システムを構築した。

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でき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ぎ、それらの面内

せん断力を確認することで剛床仮定が成り立つように計画した。また、スラブをつなげない独立柱は、その上部の免震材料をRBとすることで柱の負担せん断力を少なくするとともに、応力・変形上問題のないことを確認した。

(3) 施工概要

上部構造の施工過程を写真 - 1 ~ 12 に示す。はじめに、駐車場となる地下躯体施工後、B1階柱頭部分に免震材料を設置する(写真 - 1)。免震材料上部のフーチングは、配筋

表-3 PC 圧着工法の概要とメリット

PC 圧着工法の概要	工場で製作したプレキャスト柱梁部材を、PC 鋼線等により緊結して構造体を構築する工法
メリット	1. 高い構造安全性 PC 鋼線の緊張力により得られる高い接合部強度により、優れた防振性能と十分な耐震安全性が確保される。
	2. 短い躯体工期 部材を工場製作して、型枠工事・鉄筋工事などの現場作業量を著しく低減するため、工期短縮を図ることができる。
	3. 優れた耐久性 単位水量の少ない高強度コンクリートを工場で密実に打設して部材製作するので、構造体の耐久性が高まる。
	4. 優しい環境性 作業所で発生する型枠廃材などの産業廃棄物がさわめて少なく、地球環境を考えた社会貢献が可能となる。
	5. コストメリット 構造体コストは若干高くなるが、仮設の低減・工期の短縮から、トータルとしてコストメリットを享受できる。

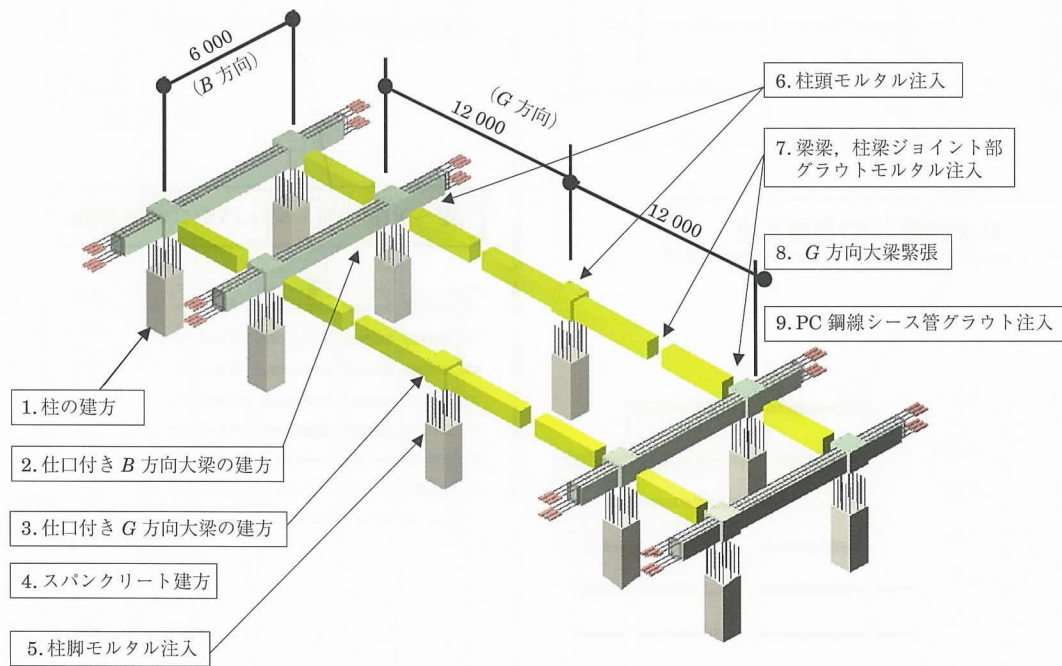


図-4 ハイブリッドPC 圧着工法の施工手順

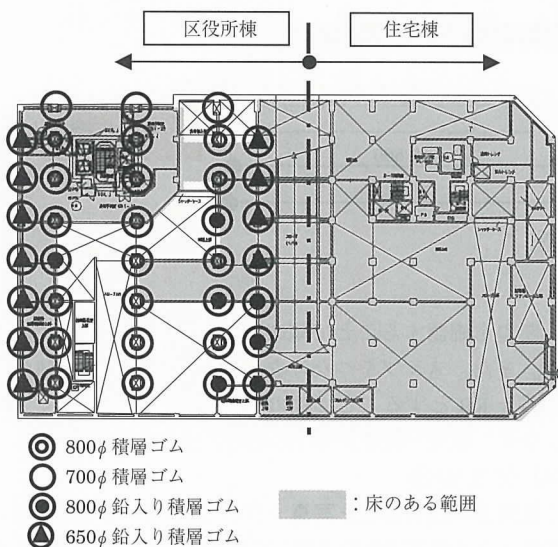


図-5 免震材料配置図

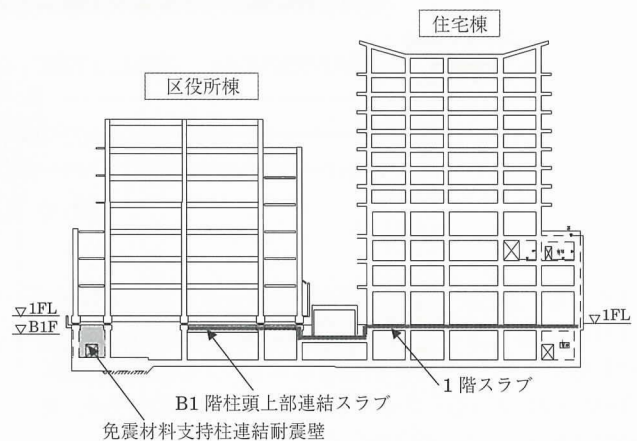


図-6 免震材料レベル関係図

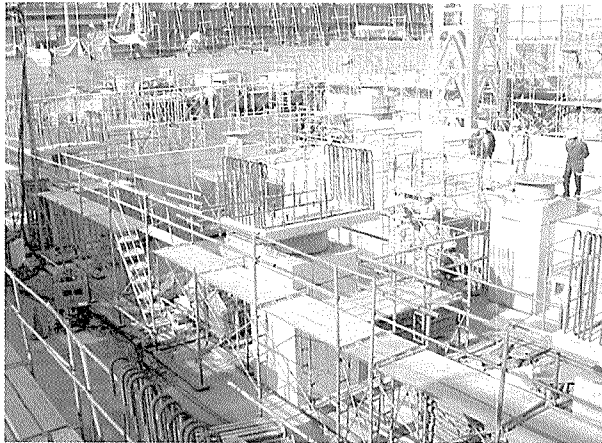


写真 - 1 免震層の施工



写真 - 2 免震材料の設置

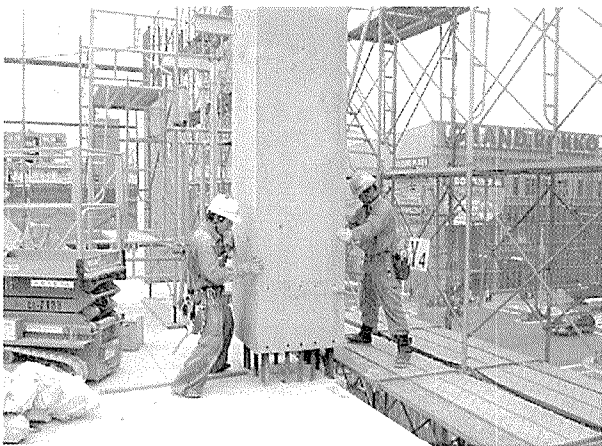


写真 - 3 柱 PCa 部材の建方



写真 - 4 建方の完了した柱 PCa 部材

ヤアンカーボルトが交錯して精度確保が難しいことから半 PCa 部材とした (写真 - 2)。区役所棟上部架構はすでに述べたようにハイブリッド PC 圧着架構であり、柱 PCa 部材を建方し (写真 - 3, 4)、柱梁接合部を一体化した B 方向梁 PCa 部材を差し込み (写真 - 5)、PC 圧着 PS 部材である G 方向梁 PCa 部材を建込む (写真 - 6)。その後、架構を一体化するために緊張力を導入し (写真 - 7)、小梁なしの 1 枚スラブとするために採用したプレストレス導入孔あき PC 版 (スパンクリート) の上に配筋後 (写真 - 8)、コンクリートを打設して当該フロアの施工を完了した。

現場打ちコンクリートは床スラブのトップコンクリートのみで、南洋材型枠をほとんど使用せず、事業主・建築主の要求性能の一つであった地球環境への配慮に大きく貢献する工業化工法を実現した。

(4) 構造設計方針と耐震性能

区役所棟では、上部構造・免震材料・基礎構造について耐震性能目標値を設定し、地震応答解析を行って目標値を満足することを確認している。地震応答解析に際しては図 - 7 に示す解析モデルを用いて、表 - 4 に示す 7 種類の地震波 (建築基準法で定められた特性を有する告示スペクトル適合波、構造設計において慣用的に用いられてきた標準波、兵庫県南部地震時に建設地近傍で観測されたサイト波) に

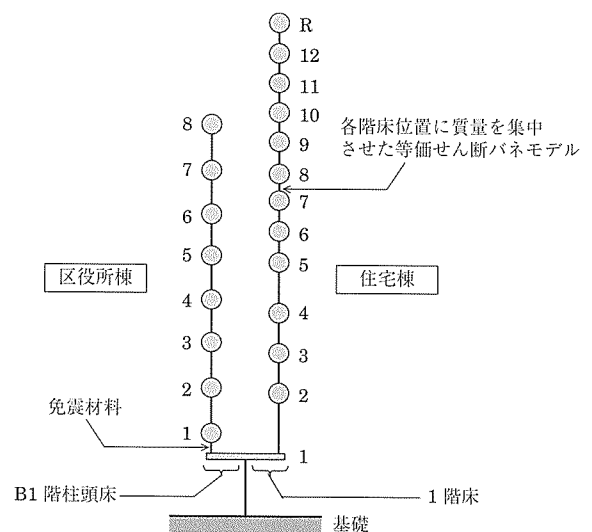


図 - 7 地震応答解析モデル

ついて、中地震を想定したレベル 1 と最大級の地震を想定したレベル 2 の検討を行った。

PS 構造による剛性の高い上部構造と免震システムで、最大級の地震 (地動加速度 400 ~ 500 cm/s² 程度) に対しても、



写真 - 5 B方向の梁 PCa 部材の建方

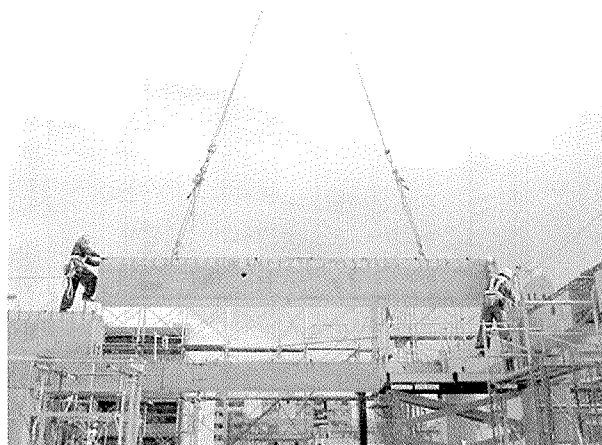


写真 - 6 G方向の梁 PCa 部材の建方

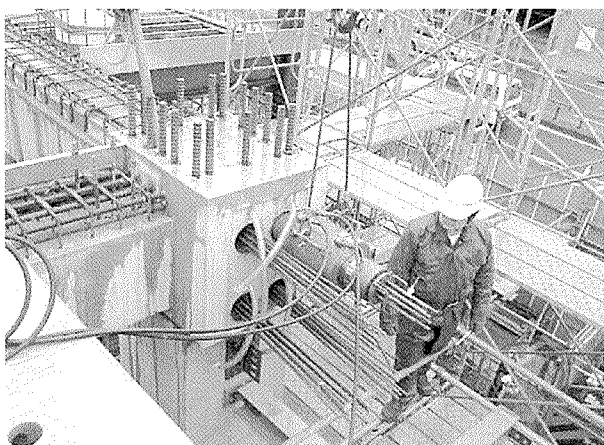


写真 - 7 PC 鋼線の緊張

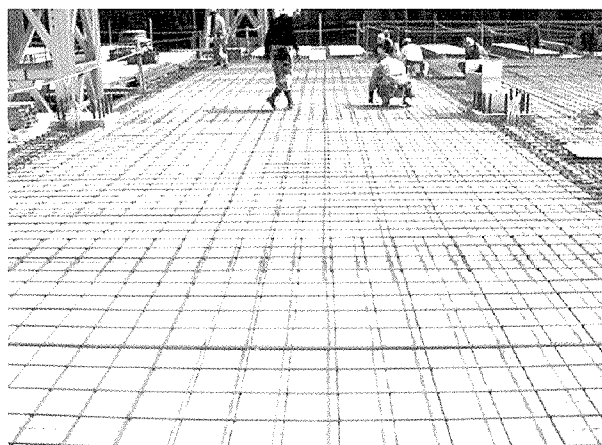


写真 - 8 床配筋

表 - 4 地震応答解析に用いた地震波

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	60.0	48	361	60.0
	告示波 B	11	63	120.0	57	287	120.0
	告示波 C	10	78	120.0	52	304	120.0
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	120.0	50	330	120.0
サイト波	KBU	—	—	—	65	338	100

応答加速度は G 方向で 180 cm/s²、B 方向で 136 cm/s²である。応答加速度を 200 cm/s² 以下におさえることで建物内部の什器等の転倒を防止し、大地震後も区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なっている。長スパンとなる G 方向においても、ひび割れによる剛性低下が少ない PS 構造とすることで、柱間隔 6 m の B 方向架構と同程度の建物剛性を有している。

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、変形量や積層ゴムに発生する圧縮・引張応力度等、中地震時から最大級の地震まで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 45 m 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、終局状態として架構設計変形時（最大層間変形角が $1/75$ となった時）を設定し、その時点に対して各部材の靱性の確保に配慮した。

免震構造である区役所棟と耐震構造である住宅棟が、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。境界部分については、もっとも危険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、応答解析結果から求まる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。

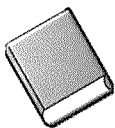
5. ま と め

PS 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。しかし、免震構造という集約されたエネルギー吸収機構を付加することで、優れた構造システムを構築できる。また、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する効果をもたらす応答値低減に結びつく免震構造は、PC 圧着工法による PS 構造と大変に相性が良い。

本建物の区役所棟では、「大スパン化」と「剛性確保」という相反する 2 条件に対して、PS 構造と RC 構造を合理的に組み合わせたハイブリッド PC 圧着工法に免震構法を加えることで、フレキシビリティ、耐震安全性、耐久性、工期のいずれにおいても、要求性能を高いレベルで満足させることができた。

【2004 年 5 月 20 日受付】



刊行物案内

プレストレストコンクリート技術の 適用拡大と世界の動向

第 31 回 PC 技術講習会

（平成 15 年 2 月）

頒布価格 会員特価：5 000 円（税込み・送料別途 500 円）

非会員価格：6 000 円（税込み・送料別途 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会