

特集：PC建築

—設計報告・工事報告—

プレキャストプレストレストコンクリート 組立て工法による免震構造建物 —興亜火災神戸センター計画—

福山 國夫*1・上田 博之*2・池田 英美*3

1. はじめに

未曾有の大被害をもたらした阪神大震災からすでに4年が経過した。この震災を契機として、また建築基準法の性能規定化の流れを受け、社会の建物性能に対する関心が高まっている。

今回報告する興亜火災神戸センター（図-1に建築概要と全景写真を示す）は、横浜日吉センターとならび同社の中核拠点となる電算センターとして計画された。したがって、建築主からは建物性能に関して厳しい要求性能が提示された。

この高い要求性能に応えるため、筆者らは本建物に、プレキャスト工法（以下、PCa工法）を用いたプレストレストコンクリート構造（以下、PS構造）と免震構造を組み合わせた構造システムを採用した。以下では設計を中心にその概要を報告する。

2. 建築主要性能と構造計画概要

2.1 建築主要性能

保険会社の心臓部である電算センターに要求される建物性能は非常に高く、とくに構造体に関しては、以下の条件が建築主から示された。

- （要求1） PR効果に優れる特長ある電算センター
- （要求2） フレキシビリティに富む電算機室空間
- （要求3） 災害に強く高い耐震安全性を有する施設
- （要求4） 着工から1年以内の機器搬入開始
- （要求5） 得られる性能に対して適正なコスト

これらの条件の中には、従来の構造計画では両立させることが困難なものも含まれているが、以下に示す構造計画で建築主の要求性能に応えた。

2.2 構造計画概要

（要求2）は、将来にわたる自由なレイアウト変更を可能にするための、大きな積載荷重（1t/m²）の下での大スパン

工事名称	興亜火災神戸センター計画
建築地	神戸市北区鹿ノ子台北町
設計・監理	竹中工務店大阪一級建築士事務所
施工	竹中工務店 他8社JV
PC工事	黒沢建設(株)
建物用途	電算センターおよび事務所
延床面積	12 110.07 m ² , 建築面積 4 362.22 m ²
建物規模	地上3階, 塔屋1階, 軒高15.2m
構造形式	プレストレストコンクリート構造(一部鉄骨造)
上部構造	PC圧着工法によるラーメン構造
免震構造	鉛プラグ入り積層ゴム36基+積層ゴム8基
基礎構造	独立フーチング直接基礎, 一部地盤改良



図-1 建築概要と全景写真

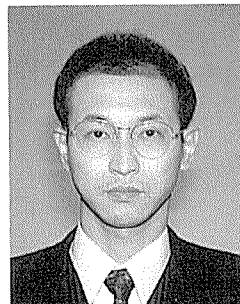
化、および耐震壁やブレースのない構造計画を意味する。本建物では、電算センターに必要な床振動性能も考慮し、図-2に示すように、桁方向に9.0m×10スパン、張間方向に16.2m、13.5m、16.2mの3スパンの平面計画とした。

現在のところ、（要求3）に最も高いレベルで応え得るの



*1 Kunio FUKUYAMA

(株)竹中工務店 大阪本店
設計部 構造部長



*2 Hiroyuki UEDA

(株)竹中工務店 大阪本店
設計部 課長代理



*3 Hidemi IKEDA

(株)竹中工務店 総本店
課題解決部門

は免震構造をおいてほかにはない。そこで、本建物では図-3に示すように、基礎の上に免震装置を介して、純ラーメンの3層建物を支える構造計画とした。

また(要求4)に応えるため、部材をすべて工場製作するPCa工法(床はハーフPCa化)を採用して短工期化を図った。高強度コンクリート(F_c50)によるPS構造の柱梁部材の現場接合にはPC圧着工法を採用した。

そして、玄関からガラス越しに見える免震装置や、免震層を一望できる構造的プレザールームなどの演出により、来訪者に高い構造的な魅力を積極的にアピールして(要求1)に応えることを計画した。

3. 免震構造

電算センターの耐震安全性を確保する工法は、表-1のように複数案考えられる。本建物では「大地震時にも建物全体の健全性を維持することができる」点が決め手となり、最も高いレベルの耐震安全性を確保し得る免震構造を採用した。この際、表-2に示す3種類の免震システムについて最適システムを検討した。

検討の結果、表-2に太線で囲んだ部分の比較から、最適

免震効果を得るための設計自由度が高く、かつコストが最小となる、鉛プラグ入り積層ゴム(以下LRB、図-5に詳細)を採用した。なお念のため付け加えるが、最適免震システムは建物特性(形状や構造計画)に密接に関連するので、建物ごとに検討を行う必要がある。

4. PC圧着工法によるPS構造

構造計画のポイントは図-4に示したように、「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架構剛性の確保」という相反する2条件を満足させることである。

これに対しては、積載荷重($1t/m^2$)とスパン(16.2m, 13.5m)を勘案して、表-3に示すように現場打ちPS構造、PC圧着工法によるPS構造、およびコンクリート充填鋼管柱(CFT柱)と鉄骨合成梁などを用いた鉄骨系構造の三者を比較検討した。

表-3に太線で囲んだ部分の比較から、免震構造を効果的に機能させるために、上部構造に必要な剛性と重量を確保するには、鉄骨系構造よりPS構造が望ましい。また、現場

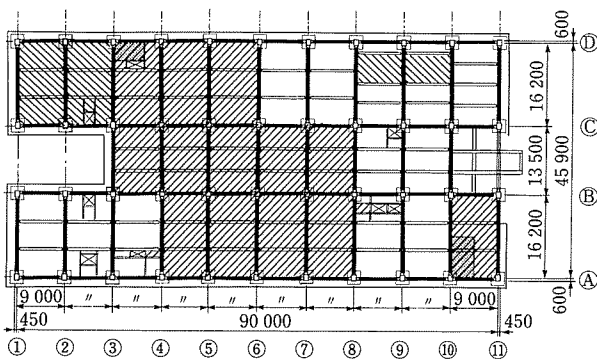


図-2 1階床伏図

表-1 耐震安全性を確保する各種工法

〔建物免震〕

- 基礎に免震装置を設置することで、作用する地震力を低減する。
- 大地震時には機器類の転倒を防ぐとともに、建物全体の健全性を維持することができる。

〔免震床工法〕

- 対象とする床面に免震床装置を設置して、機器類に作用する地震力をスムーズに吸収することで転倒から守る。

〔耐震設計〕

- 大地震に耐えることができる強さと変形能力を建物に付与する。

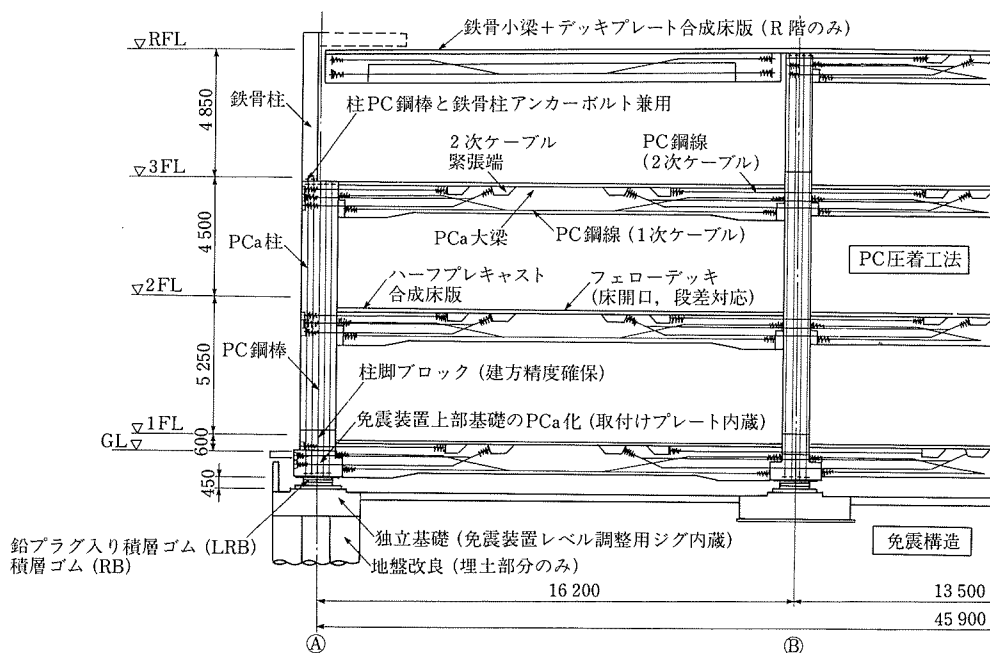


図-3 軸組み図と採用工法

表-2 各種免震システムの比較

装置要因	積層ゴム+粘性体ダンパー	鉛プラグ入り積層ゴム(LRB)	高減衰積層ゴム
特徴	ベアリング部に天然ゴム系積層ゴム、振動エネルギー吸収部に粘性体ダンパーを使用した免震装置	天然ゴム系積層ゴムの中心部にダンパーの役割を果たす鉛プラグを埋め込んで一体化した免震装置	天然ゴム系積層ゴムに特殊な配合を行って、ゴム自体にダンパー機構を付加した免震装置
地震に対する免震効果	◎ (小地震から効果あり)	○ (大中の地震時に効果あり)	○ (大中の地震時に効果あり)
免震性能の設計自由度	◎ (周期・減衰の調整可能)	◎ (周期・減衰の調整可能)	○ (減衰の調整幅が狭い)
メンテナンス性	△ (装置数が多い)	◎ (一体化)	◎ (一体化)
コスト	△	○	○
総合評価	○	◎	○

◎：非常に優れている，○：優れている，△：普通

表-3 各種構造架構の比較

構造種別要因	現場打ちPS構造	PC圧着工法によるプレキャストPS構造	CFT柱と鉄骨合成梁などによる鉄骨系構造	PC圧着工法によるPS構造のメリット
電算機室に対する機能性	◎	◎	○	剛性・減衰性および質量効果が大きく防振性能に優れている。
免震構造システムとの適合性	◎	◎	○	構造体重量が大きく建物を長周期化できるので免震性能が向上する。
工期	△	◎	◎	部材を工場製作するプレキャスト工法なので工期の短縮が可能である。
構造体品質	○	◎	○	高強度コンクリートを工場で密実に打設するので高い耐久性が得られる。
構造体コスト	◎	○	○	構造体コストは若干高くなるが、仮設の低減等でデメリットは生じない。
総合評価	○	◎	△	フレキシビリティ、耐震安全性、耐久性に優れた構造体を短工期で提供できる。

◎：非常に適している，○：適している，△：普通

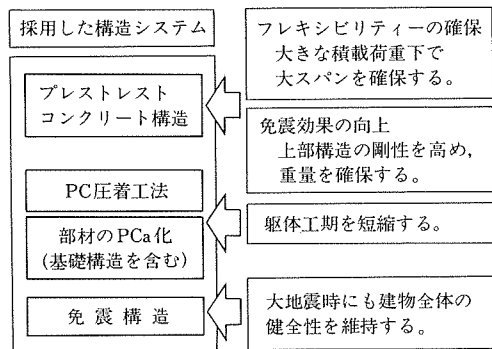


図-4 構造計画のポイント

打ちPS構造では、建築主の要求工期を満足することは不可能と判断し、PC圧着工法によるPS構造を採用した。

PC圧着によるPCa工法採用に伴う構造体コストの微増を仮設コストの低減でカバーし、現場打ちPS構造と同等のコストに抑えた。また、建築主から求められた適正コスト内に収めるため、荷重の小さな最上階小梁などへの鉄骨造の採用、PC鋼線配線計画の工夫による部材断面の縮小、梁の芯ずれ・段差を処理するための増打ちの減少などを積極的に設計に取り入れ、コスト低減を図った。

PC圧着工法の概要とメリットを表-4にまとめる。本工法の採用で、現場打ちPS構造の場合には6ヵ月程度必要な構造体工期を、半分の約3ヵ月にするという大きな効果を得

表-4 PC圧着工法の概要とメリット

[PC圧着工法の概要]	工場でPC鋼線の1次緊張力を導入して製作したPCa柱梁部材を、PC鋼棒やPC鋼線の2次緊張により緊結して構造体を構築する工法
[メリット]	<ol style="list-style-type: none"> 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蒸気養生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極めて少なく、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。

た。全体工期12ヵ月の中で3ヵ月の工期短縮の効果は計り知れない。さらに、優れた耐久性と優しい環境性など、当初の建築主要性能になかった副次的なメリットも生まれた。

5. 耐震安全性

本建物の耐震安全性を「大地震時に機器の転倒がないこと」と判断し、地震時応答加速度の低減を主たる目標として設計した。表-5に、建築主との合意に基づいて設定した性能目標値と地震応答解析結果を示す。

表-5 耐震性能目標値と地震応答解析結果
(本建物敷地で想定される最大級の地震に対する耐震性能)

	目標値	応答結果
建物の最大加速度 (gal)	200以下	115
建物の変形(水平変形/階高)	1/500以下	1/1 700
免震ゴムの最大水平変形 (cm)	40以下	22

表-2の検討に基づき、アイソレーターとしての積層ゴム中心部に、ダンパーとして鉛プラグを封入したLRB(図-5)を中心に、免震システムを構成した。積層ゴムは、G4と呼ばれるせん断弾性係数の小さな(固有周期を長くできる)高性能ゴムを使用し、応答加速度の低減をねらった。

最小コストで最適免震性能を得るため、図-6のように免震ゴム必要数44個のうち36個を既製品のLRBとし、残り8個を鉛プラグのない、より廉価な積層ゴム(以下、RB)とした。また、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。

PS構造による剛性の高い上部構造と、LRBとRBの最適配置による高性能な免震システムで、建物敷地で想定される最大級の地震(地動加速度500gal程度)に対する応答加速度を115galに低減した。これは、入力1/5程度の加速度で「座りの悪い置物が倒れることがある(気象庁震度階級)」程度である。また、建物の変形は1/1 700と非常に小さく、構造体だけでなく外壁や間仕切り壁にも損傷や機能障害は一切発生しないレベルである。

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構造とたいへんに相性が良いと言える。

6. PC圧着工法の基礎構造への適用

本建物の施工プロセスを写真-1に示す。1階柱より上(⑧、⑨)は、自立工法によるコーベルつき柱の建方後に大梁を架設し、PC鋼線で柱梁仕口部を圧着接合して施工を行った。

このタイプのPC圧着工法はこれまでも幾度か紹介されているが、免震構造との組合せは過去に例がない。耐震構造建物に適用したPC圧着工法では、基礎・基礎梁は現場打ちとし、その後柱脚ブロック・PCa柱を建方することが一般的である。

本建物では図-7に示すように、免震装置直上の基礎ブロックからPCa化し、更なる工期短縮を図った。基礎ブロッ

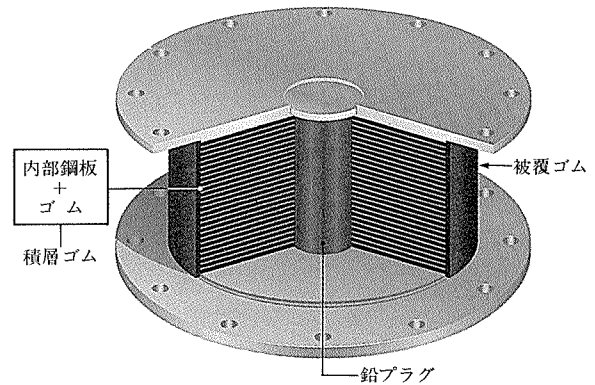
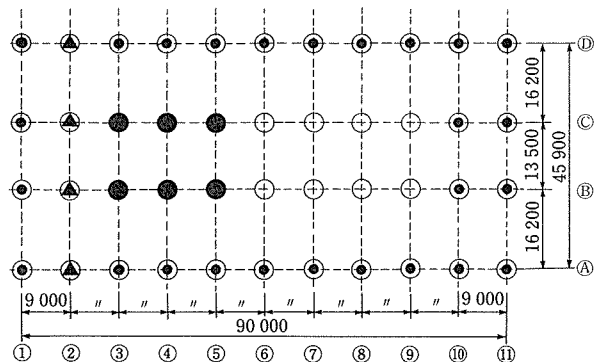


図-5 LRB(鉛プラグ入り積層ゴム)
(写真提供:オイレ工業)



記号	鉛プラグ入り積層ゴム(LRB)			積層ゴム(RB)	合計
	●	▲	●	○	
積層ゴム直径 (mm)	800	850	900	900	—
鉛プラグ径 (mm)	160	170	180	—	—
個数	26	4	6	8	44

図-6 免震ゴムの配置

クのPCa化に際しては、免震ゴム上部プレートを基礎ブロック底型枠兼用で打ち込み、施工性の向上に努めた。この基礎ブロックに柱脚ブロックとPCa 1階大梁を架設して、PC鋼線およびPC鋼棒を用いて圧着接合を行った。

7. 施工時の成果と反省点

本建物における構造体に関する就労者数を、歩掛から推定した在来工法の就労者数と比較すると、約40%に低減できており、大きな省力化を達成できた。さらに、この省力化に伴う安全性向上、およびISO 14000の主旨にふさわしい作業所環境に対して、建築主から高い評価を得た。

逆に、設計時点では想定できず、施工時に対処した代表的な反省点として下記2点が挙げられる。

- ① 1階梁建方時に免震ゴムに作用する偏荷重による変形を防ぐため、基礎ブロックと基礎フーチングの間にジャッキを挿入する必要がある。
- ② 建物外周部1階梁のPC鋼線挿入スペースが小さく、作業効率の低下を招いた。

8. おわりに

プレキャストプレストレストコンクリート組立て工法による免震構造建物の概要を報告した。PC圧着工法の当社施

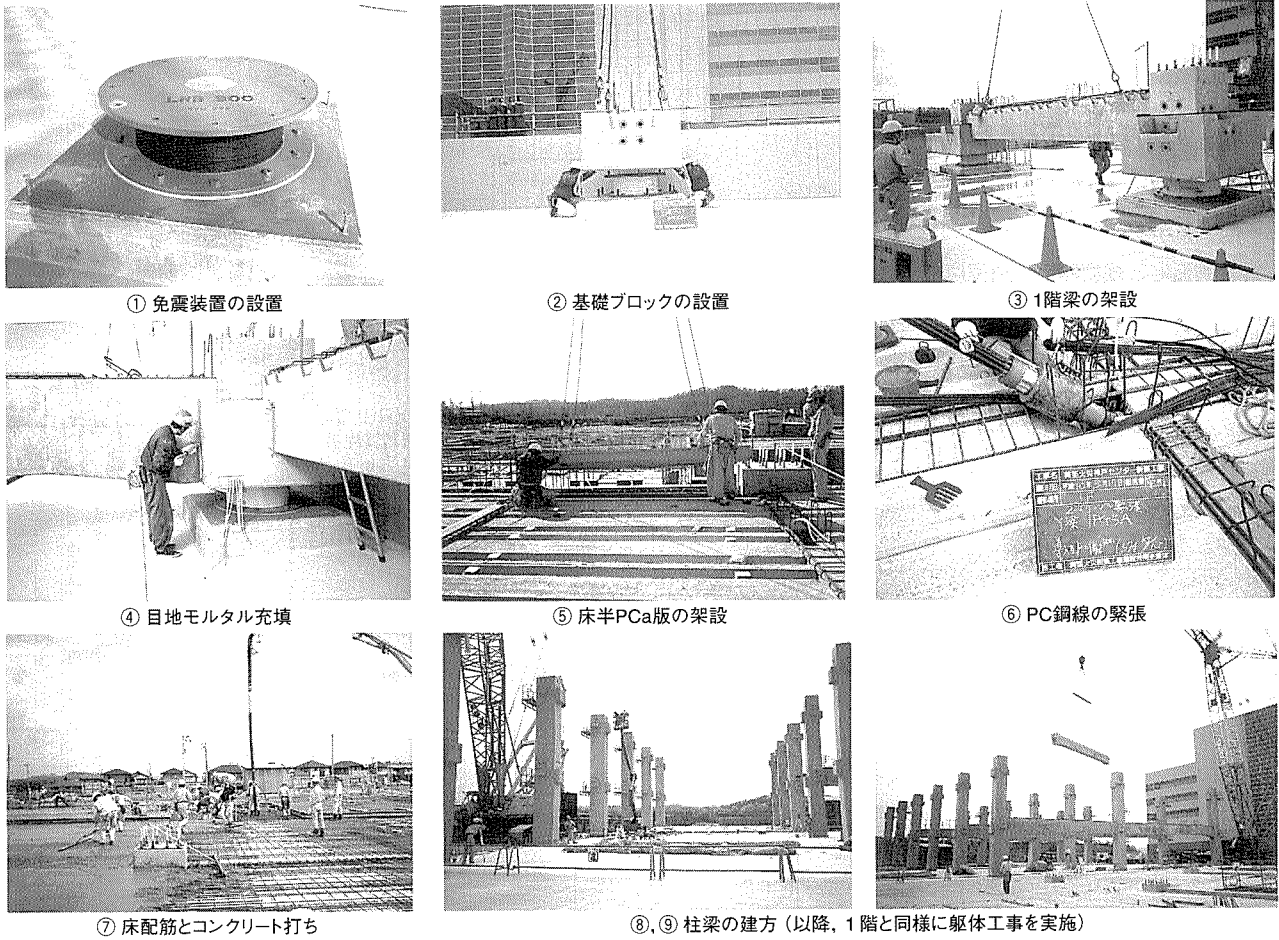


写真-1 本建物の施工プロセス

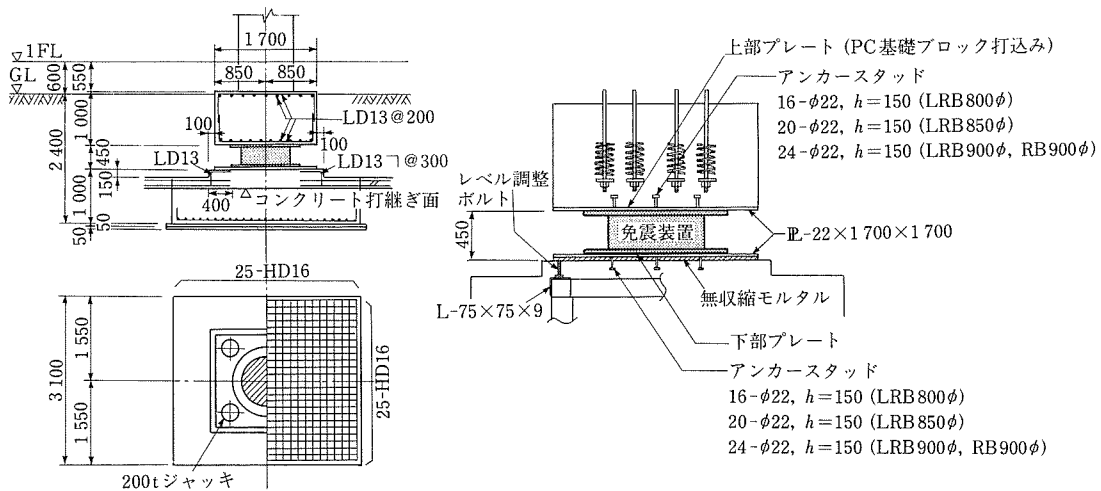


図-7 基礎ブロックと免震ゴムの取合い詳細図

工実績を見ると（おそらくは一般的にも同様の傾向があると思われるが）、これまでは主に倉庫や競技場といった構造体中心の施設に採用されてきた。今回初めて、建築主の理解にも恵まれ、企業の顔とも言うべき施設に適用した。PS構造と免震構造による構造システムは、フレキシビリティ・耐震安全性・耐久性・工期のいずれも比類のない高性能を有している。

しかしながら、型枠転用回数の増加や効率的なPC鋼線配線計画が可能な平面計画など、コストダウンに結びつく改善の余地は残されている。これらに改善を加えながら、本構造システムを今後も積極的に採用したいと考えている。

最後に、PC工事の設計・施工に関してご協力をいただいた、黒沢建設(株)の方々に感謝の意を表する次第である。

【1999年4月26日受付】