

# 建築構造物におけるPRC構造について

大野 義照\*

## 1. はじめに

プレストレスト鉄筋コンクリート(以下 PRC と略記)が現れるまではプレストレスの技術は、建築構造物ではもっぱらスパン 20 m 以上の大スパンのフルプレストレストコンクリート構造に用いられていた。PRC の出現によって鉄筋コンクリート(以下 RC と略記)構造では過大なひびわれやたわみの防止が困難であったスパン長 8~20 m のコンクリート構造が可能となった。プレストレスの技術は、スパンの長大化だけでなく、梁せいの低減、PRC スラブにおける小梁の省略による階高の低減・空間の利用度の向上等に広く利用されるようになった。

まず、このような PRC 構造の建築分野における普及の基になった法と規準の整備について紹介する。

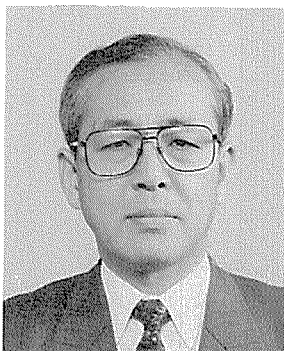
建築構造物における PRC 構造は、昭和 58 年建設省告示第 1320 号「プレストレストコンクリート造の建築物又は建築物の構造方法に関する安全上必要な技術的基準」<sup>1)</sup>が公布され、つづいて昭和 61 年 1 月日本建築学会から「プレストレスト鉄筋コンクリート(Ⅲ種 PC)構造設計・施工指針・同解説」<sup>2)</sup>(以下、PRC 指針と略記)が発刊され、PRC 構造の法・規準が整ったことにより、実用化の段階に至った。なお、PRC 指針作成段階の時点ですでに日本建築学会において、アンボンド PC 鋼材とその施工時の取扱いについてのマニュアル<sup>3)</sup>が作成されていたことが PRC 構造の普及に大きく役

立った。

告示第 1320 号の PRC 構造に関する特徴をあげると次のとおりである。

- ① 従来プレストレストコンクリート(以下 PC と略記)構造ではコンクリート設計基準強度  $F_c \geq 300 \text{ kgf/cm}^2$  とされていたのが、 $\geq 240 \text{ kgf/cm}^2$  となり、しかも特別な検討をした場合には、またはプレストレスを補助的に用いる場合には  $\geq 210 \text{ kgf/cm}^2$  としてもよいとされ、RC 構造とのコンクリート強度におけるギャップが少なくなった。
- ② アンボンド工法の耐力壁以外の壁、床または小梁への適用が認められ、これらの部材へのプレストレスの工法の利用が簡便になった。
- ③ 緊張材のかぶり厚さが一般の床スラブに関して従来 5 cm 以上であったのを 3.5 cm 以上に緩和され、比較的薄い厚さのスラブに対してもプレストレスが導入できるようになった。
- ④ コンクリートの長期許容引張応力度は、PRC に対しては規定せず、長期荷重に対して有害なひびわれを生じないことを構造計算または実験によって確かめるとし、ひびわれを許容した。
- ⑤ 常時荷重に対する断面耐力の規定が緩和された。
- ⑥ また、導入プレストレスが、コンクリート断面の平均プレストレス応力にして  $10 \text{ kgf/cm}^2$  以下であれば RC 構造として取り扱うことができることが付録に記載された。

次に、PRC 指針の特徴は、PRC を表-1 に示すようにⅢ<sub>l</sub>、Ⅲ<sub>lb</sub>、Ⅲ<sub>0.1</sub> およびⅢ<sub>0.2</sub> の 4 つに分類していることにある。この分類のうちⅢ<sub>l</sub>、Ⅲ<sub>lb</sub> はコンクリート



\* Yoshiteru Ohno  
大阪大学  
工学部建築工学科

表-1 PRC(Ⅲ種 PRC)の区分  
(建築学会 PRC 構造設計指針<sup>2)</sup>)

Ⅲ種の区分	長期設計応力時の引張縁の状態 (設計上の仮定)	曲げひびわれ幅制御の方策
Ⅲ <sub>l</sub>	引張応力 $\sigma_{ct} \leq F_t$ (引張強度)	ひびわれ用心鉄筋の配置 <sup>*1</sup>
Ⅲ <sub>lb</sub>	引張応力 $\sigma_{ct} \leq F_{lb}$ (曲げ引張強度)	
Ⅲ <sub>0.1</sub>	最大ひびわれ幅 $w \leq 0.1 \text{ mm}$	ひびわれ幅算定による直接制御
Ⅲ <sub>0.2</sub>	最大ひびわれ幅 $w \leq 0.2 \text{ mm}$	

\*1 最大ひびわれ幅を 0.1 mm 以下に制御

の引張応力を考慮して設計する PC の系列に、Ⅲ<sub>0.1</sub>、Ⅲ<sub>0.2</sub> はそれを無視して設計する RC の系列に分けられる。このように分類されたのは、直接ひびわれ幅を計算せず、Ⅰ、Ⅱ種 PC のように引張縁の応力のチェックのみで断面設計を可能にするためである。ただし、これらの種別においてはひびわれ発生の可能性は大きいので、ひびわれが生じた場合のひびわれ幅を 0.1 mm 以下に制御するように引張応力に応じた量の鉄筋を配置しなければならない。ここで注意を要することは、Ⅲ<sub>Ⅰ</sub>、Ⅲ<sub>Ⅱb</sub> とⅢ<sub>0.1</sub>、Ⅲ<sub>0.2</sub> の区別がされたのは単に実用上の便を考慮してのことで、Ⅲ<sub>0.1</sub>、Ⅲ<sub>0.2</sub> で設計された断面についてコンクリートの引張応力を算定するとⅢ<sub>Ⅰ</sub>、Ⅲ<sub>Ⅱb</sub> より小さいこともある得る。また、逆に鉄筋量もⅢ<sub>Ⅰ</sub>、Ⅲ<sub>Ⅱb</sub> の方がⅢ<sub>0.1</sub>、Ⅲ<sub>0.2</sub> より多いこともあり得ることである。

## 2. PRC 構造設計の考え方

PC および PRC 構造（プレストレストコンクリート

造の構造部分を有する建築物）の構造計算は図-1 に示すような建設省告示第 1320 号に示されているルートに従って行われる。一次設計では長期応力に対しては定められている許容応力度を用い、許容応力度設計を行う。ただし PRC 構造においてはコンクリートの長期許容引張応力度は規定されておらず、有害なひびわれを生じないことを計算または実験によって確かめればよい。

地震時等の短期応力に対しては、断面耐力の数値が規定されている応力の組合せを下回らないことを確かめることにより、終局強度設計を行う。ただし耐震部材は二次設計でルート 3 a を適用する場合にあっては、一次設計は自動的に満足されることになるので省略することができる。スラブや小梁の非耐震部材は破壊に対する安全度のチェック、すなわち終局強度設計を行う。

二次設計では、ルート 1、2、3 a、3 b と 4 つの構造計算ルートが定められ、小規模な建築物は一次設計のみでよいルート 1、高さが 31 m 以下でルート 1 をとれない

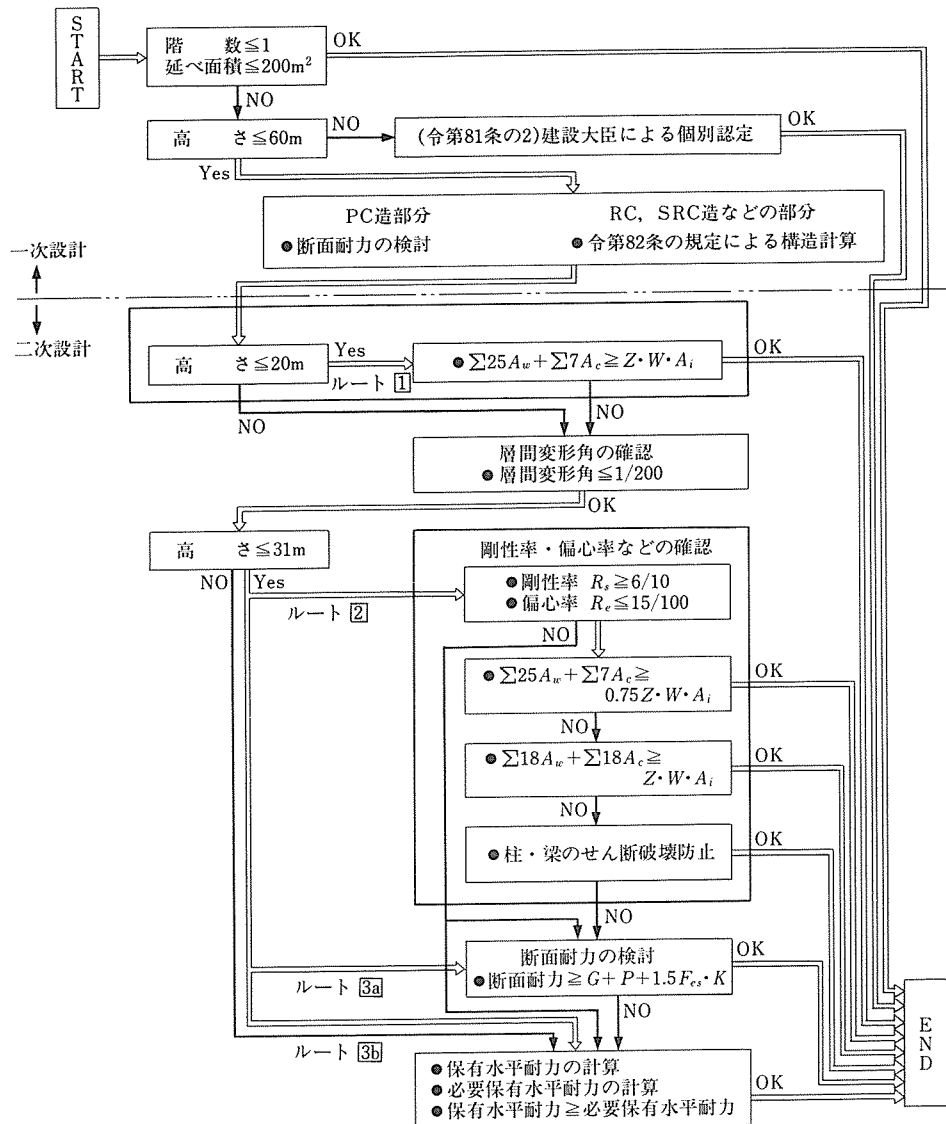


図-1 PC・PRC 構造の設計フロー

建築物はルート 2, 3 a または 3 b のいずれかのルートをとる。ルート 2 は剛性率および偏心率の規定を満足し、壁量の規定あるいは柱・梁のせん断破壊防止の規定を満足するルートである。ルート 3 a は断面耐力が規定されている応力の組合せを下回らないことを確かめる、いわゆる終局強度設計法である。ルート 3 b は建物の保有水平耐力の確認を義務づけるものである。

部材の設計の流れ図で示すと図-2 のようになる。この流れは一次設計の段階で行われる。ルート 3 a をとるときは、耐震部材においては、破壊荷重のチェックを一次設計の応力でなくルート 3 a の応力に対して行えば、設計は終了する。PRC 部材設計における第一のポイントは、図-2 の④においてひびわれの発生を仮定するかどうかである。仮定しない場合 (Ⅲ<sub>l</sub>, Ⅲ<sub>lb</sub>) は、引張縁応力が引張強度あるいは曲げ引張強度以下になるように必要プレストレスを算定する。ひびわれの発生を仮定する場合 (Ⅲ<sub>0.1</sub>, Ⅲ<sub>0.2</sub>) は、全常時荷重のうちどれ

だけの荷重をプレストレスによって打ち消すかが第 2 のポイントとなる。

たとえば固定荷重 (DL)+積載荷重 (LL) の 40 % に対して、フルプレストレスの状態に設計すると、全荷重が作用した時にはひびわれが生じるが、常時はひびわれが生じていないことが多い。あるいは荷重の種類に関係なく、全荷重の何 % か (例えば 60 %) に対してフルプレストレスの状態に設計する。どの程度キャンセルするかは設計者の判断に任される。

⑩の鉄筋量の算出は、PRC 指針ではⅢ<sub>l</sub>, Ⅲ<sub>lb</sub> においてはひびわれ幅 0.1 mm を補償するための鉄筋量が引張縁応力に応じて与えられているので、そこから行い、次いで⑪破壊安全度のチェックを行えばよい。

Ⅲ<sub>0.1</sub>, Ⅲ<sub>0.2</sub> においては、配筋状態に応じたひびわれ幅に対する鉄筋応力が与えられているのでそれによって鉄筋量を算出し、破壊安全度のチェックを行えばよい。あるいは必要な耐力から鉄筋量を定め、次いで鉄筋応力のチェックまたは直接ひびわれ幅の検討を行えばよい。PRC 部材設計の要点であるひびわれ制御は、引張縁のコンクリートの応力をチェックする方式 (Ⅲ<sub>l</sub>, Ⅲ<sub>lb</sub>) と直接ひびわれ幅をチェックする方式 (あるいはそれを簡略化した鉄筋応力をチェックする方式) が採られている。

以上は告示の設計フローおよび建築学会指針によって設計される PRC の場合である。

ひびわれやたわみの制御の目的で、先に紹介した告示の⑩に従って、鉄筋コンクリート構造として設計した大梁、耐力壁、床スラブ等に、わずかのプレストレス (平均プレストレス  $\sigma_g$  が 10 kgf/cm<sup>2</sup> 以下) が導入される場合がある。これも広義には PRC 部材と考えることができよう。定着部の十分な補強、耐震部材においては緊張材の付加によって破壊モードの変わらないことが確認できれば、この種の建築物を RC 構造として取り扱うことができる。プレストレスの効果の確認は、プレストレス力が小さく、軸力は周辺部材の拘束によってほとんど導入されないので、曲げ上げの効果による鉛直荷重のキャンセル量を考えることによって行われる。

### 3. PRC 構造の施工例

#### 3.1 5ケ年間の事例

昭和 61 年から 5 年間に竣工した PC および PRC 構造建築に関する DATA が、(社)日本建築構造技術者協会関西支部「PC & PCa 構造分科会」においてまとめられている。建物は会員がなんらか関与している物件ということで主として関西地方のものであり、また同種のもの除かれ、ある程度選択されており、すべての物件が収集されているわけではないが、法・規準が整備されて

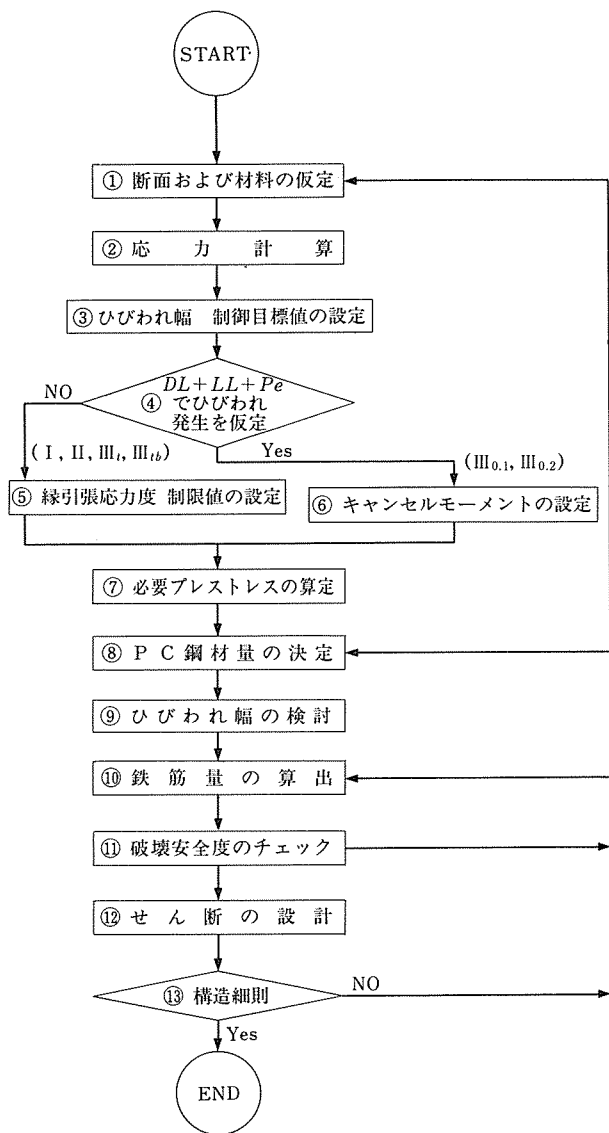


図-2 PRC 部材の設計フロー

からの状況を知るうえで有用であろう。以下にその集計結果の一部を図-3に示し、紹介する。

84件の建物を部材種別にみたのがa図である。IV種は平均プレストレス $\sigma_g$ が10 kgf/cm<sup>2</sup>以下でRC構造として設計されたものであり、これをPRC構造とするとPRCは41件となり、I、II種のPCの43件とほぼ同数で、いかにPRC構造が普及してきたかが分かる。つぎに35件のIII種PC (PRC)を部材種別にみたのがb図で、許容ひびわれ幅を0.2 mmとするIII<sub>0.2</sub>が過半数を占めている。c図はPCおよびPRC構造72件の平均有効プレストレス $\sigma_g$ を示したもので、 $\sigma_g \leq 20$  kgf/cm<sup>2</sup>の26件すべてと20 kgf/cm<sup>2</sup> <  $\sigma_g \leq 40$  kgf/cm<sup>2</sup>の21件の大半はPRC構造である。コンクリート強度（設計基準強度）はd図に示すとおりで、210~270 kgf/cm<sup>2</sup>と300~500 kgf/cm<sup>2</sup>の範囲に2つの度数分布の山があるが、それぞれPRCとPC構造に対応しており、PRC構造のコンクリートの設計基準強度は240 kgf/cm<sup>2</sup>が過半数を占めている。PC鋼材の使用部位を示したのがe図とf図で、前者はPCおよびPRC構造、後者はPRC構造のみを対象としている。全体では大梁に多く使用されているが、PRC構造になると相対的に床への使用例が多くなる。

どのような用途の建築にプレストレス工法が用いられているかを示したのがg図で、事務所・運動施設・倉庫が多く、次いで学校・店舗の順になっている。住宅は1件しかないが、集合住宅のPRCスラブの普及の状況

をみれば実際にはもっと多い。階数をみたのがh図で、5階までのものが67件で全体の83%を占めている。なお、図には示されていないが、建物高さは20 m未満のものが49件、20 m以上31 m以下のものが22件、31 mを超えるものが7件で、プレストレス工法はもっぱら中低層の建物に利用されていることが理解される。2.のPRC構造の設計の考え方で述べた設計ルートは、ルート1, 2, または3のものは、それぞれ16, 15, 41件で過半数の事例がルート3を採用している。

以上の集計に用いられた事例の一部の建物概要が出版物<sup>4)</sup>に紹介されている。その他にも設計データシートとして事例集<sup>5)</sup>が出版されている。それらに紹介されている建築におけるPRC構造の主な採用理由は次のようなものである。

### 3.2 PRC構造の採用理由

1) RC構造では過大なひびわれやたわみが問題となるようなスパン(8~20 m)の大梁や小梁にプレストレスを導入してPRC構造とする。

荷重の大きい工場や倉庫でも、PRC構造とすることにより比較的大きいスパン(12~15 m)とすることが可能で、工場では機械設備ラインの配置計画や将来のラインの変更が容易になり、倉庫では搬送機器の移動を容易にできる。

2) スラブにアンボンドPC鋼材にてプレストレスを導入し小梁を省略して、空間の利用性を高める。集合住

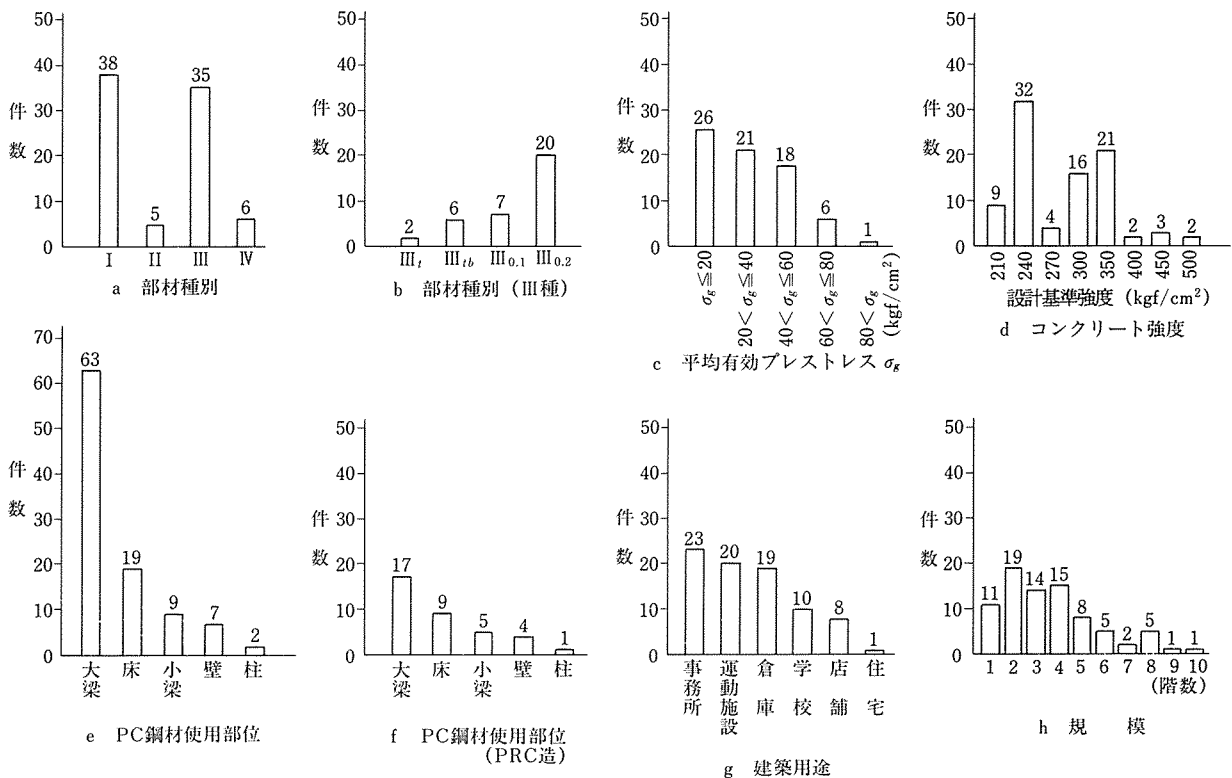


図-3 PC・PRC構造建築の現状 (昭和61年から5年間)

宅では、従来は小梁の配置によって部屋割りが支配される設計上の制約が大きかった。平面形が雁行の場合はコスト的に困難な場合もあるが、整形の場合は多くの実績がある。ある企業では、PRC スラブを集合住宅の標準仕様にし、その性能のよさをセールスポイントにしている。

PRC スラブとし小梁をなくす場合は、RC スラブより数 cm スラブ厚さを増して緊張材の偏心距離を増し、プレストレスの効果の増加と振動性能の改善がはかられている。PC 鋼材は PRC スラブでは一般にアンボンド PC 鋼材が用いられている。

3) 梁せいを小さくし、建物の高さを減じる。あるいは、制限された高さの中で、必要な階数を確保する。

4) フラットスラブにおけるプレストレス技術の利用  
コンクリート構造の特徴の一つは無梁板構造が可能で、広い空間を供用できることにある。プレストレスはその原理から常時荷重を打ち消すことにその効果を発揮

できる。したがって常時荷重が大きい建築物ほどプレストレスの技術を生かすことができる。積載荷重の大きい倉庫、上部の土重量の大きい地下駐車場には PC・PRC 構造が適している。また耐震要素が周辺壁などでとれる場合、広い空間、階高の短縮、使用性能のよさなどの点から大型店舗、事務所ビル、駐車場などに、アンボンド PC 鋼材を用いた PC, PRC フラットスラブ構造が採用されている<sup>6)</sup>。

### 3.3 実施例

最近の事例を紹介する。

#### (1) PRC 大梁を用いた厚生施設 (図-4)

上階に宿泊施設をもった会館で、RC 構造なら一階の 6 m と 8 m の 2 つのスパン割りが上階にも用いられるところを、2 階に広い宴会場を確保するために PRC 大梁を用いて 2 階以上を 14 m を 1 スパンとして設計された。PRC 鋼材は SWPR 19 が用いられ、グラウトが施されている。平均プレストレス  $\sigma_g$  は 22 kgf/cm<sup>2</sup> で、

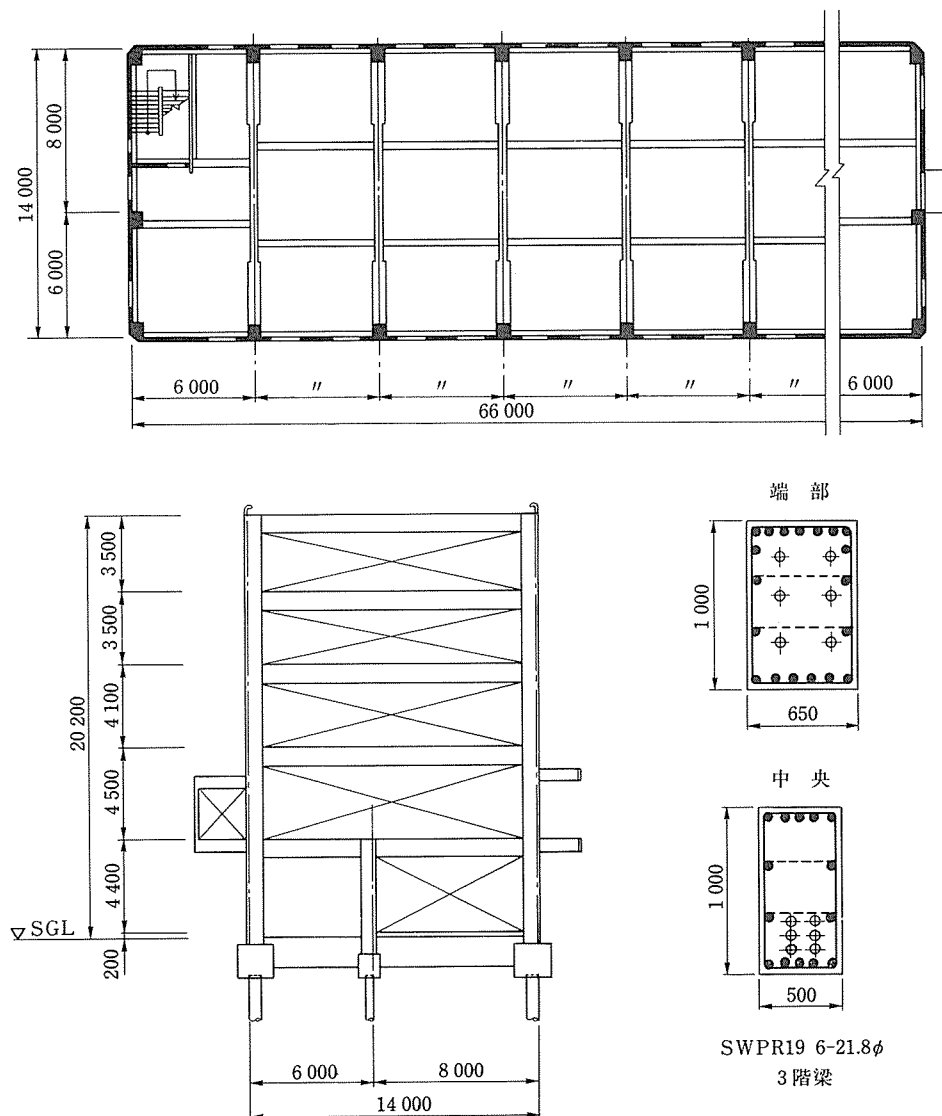


図-4 PRC 大梁を用いた厚生施設  
設計：(株)相和技術研究所, 施工：(株)鴻池組・(株)東急建設 JV

制御目標ひびわれ幅は 0.1 mm である。中柱をなくして空間の機能を高めた例で、従来の設計では SRC 構造として設計された建物である。

(2) 集合住宅の PRC スラブ (図-5)

集合住宅において PRC スラブとすることによって小梁をなくし、空間の自由度を高め、将来の間取りの変更にも対応できるようにした例である。このようなスラブの設計では、軸力は柱や壁の拘束によってスラブには導入されないで、曲げ上げだけを期待して釣合い荷重法が用いられる。この設計例では長期荷重 (固定荷重+積載荷重) の 40 % がプレストレス力によって打ち消され、下縁の最大引張応力は 20 kgf/cm<sup>2</sup> 程度で、最大ひ

びわれ幅が 0.2 mm 以下に制御されるように鉄筋量が決められている。

(3) PRC フラットスラブ地下駐車場 (図-6)

延床面積 9 608 m<sup>2</sup>、駐車台数 308 台の大規模地下駐車場である。1.5 m の土盛で、荷重が大きいこと、階高の抑制、設備配管の容易さなどの点から PRC フラットスラブ構造が採用された。キャンセル量は、造園が不確定であったことや部分的に土を取り除く場合も考えられることからスラブ自重のみとされた。スラブ自重は全荷重 (5.22 tf/m<sup>2</sup>) の 23 % に相当する。平均有効プレストレス  $\sigma_g$  は 6 kgf/cm<sup>2</sup> で、制御目標ひびわれ幅は 0.2 mm である。PC 鋼材にはアフターボンド PC ケーブル

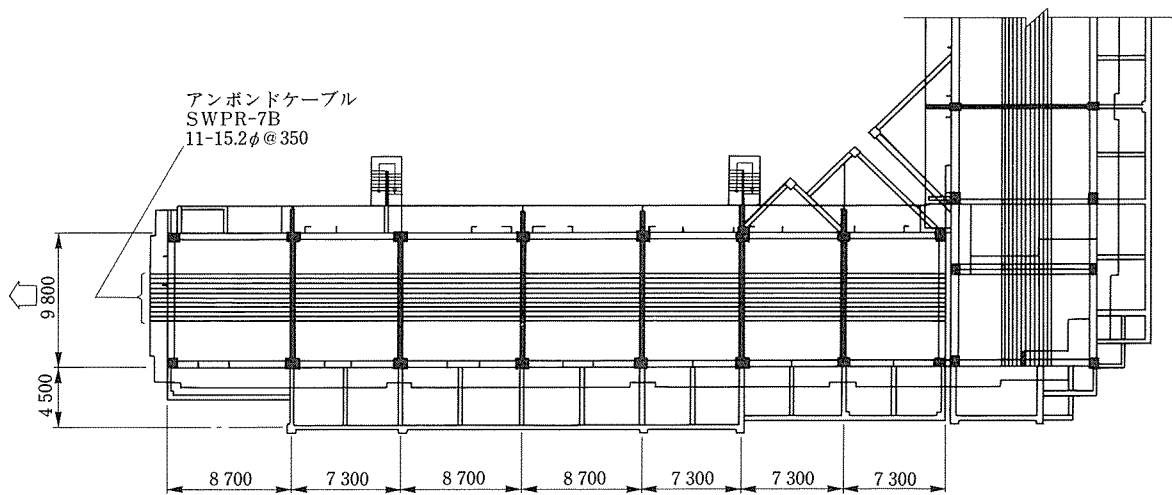


図-5 PRC スラブを用いた集合住宅  
設計、施工：(株)長谷工コーポレーション

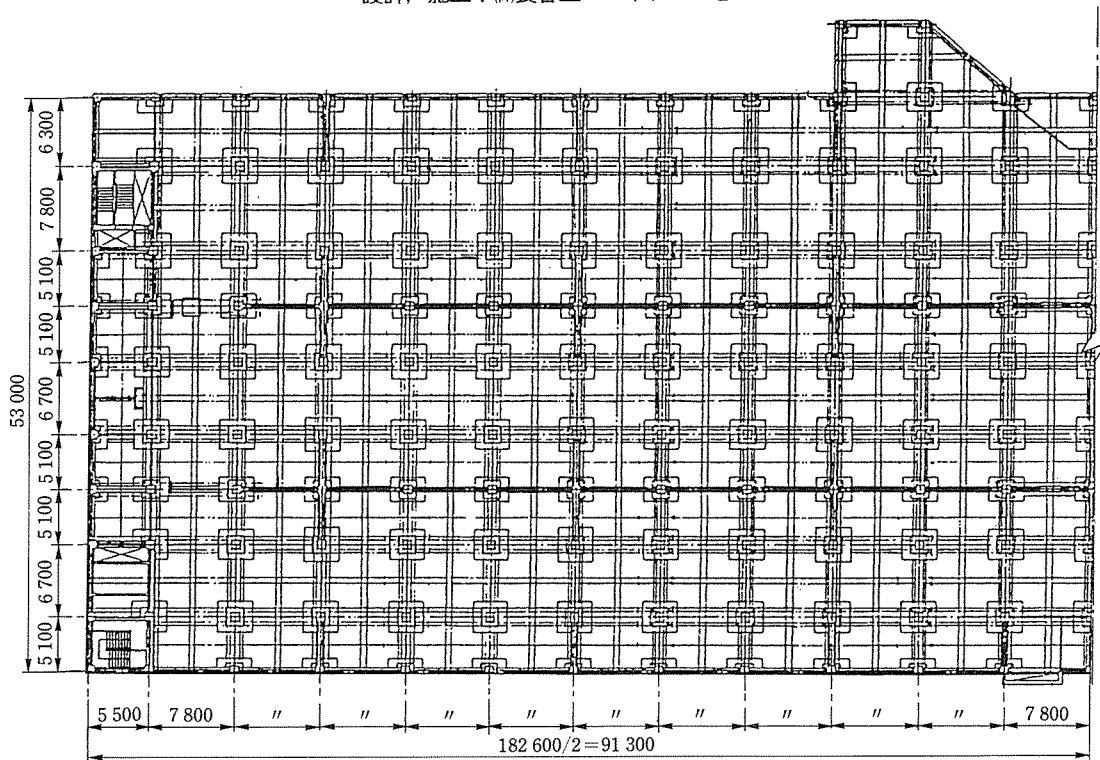


図-6 PRC フラットスラブ地下駐車場  
構造設計：(株)キンキ構造設計、施工：(株)大林組、フドウ建研

SWPR 19, 17.8φが使用されている。

#### 4. あとがき

PRC 構造の出現によってプレストレスの技術が広く種々の分野で生かされるようになった。プレストレスの技術は、コンクリート構造の設計に自由度を与え、コンクリート構造の可能性を広げるもので、RC 構造の分野から PC・PRC 構造の設計に関心を持つ設計者も増えつつある。建築の分野において今後一層の PRC 構造、プレストレス技術の普及・発展が期待される。

最後に、資料の提供をいただいた各位に紙上をお借りして厚く御礼申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) 日本建築センター：プレストレスコンクリート造設計施工指針，昭和58年10月
- 2) 日本建築学会：プレストレス鉄筋コンクリート（Ⅲ種 PC）構造設計・施工指針・同解説，昭和61年1月
- 3) 日本建築学会：アンボンド工法用 PC 鋼材と施工時の取扱について，建築雑誌 Vol. 94, No. 1153, 1979. 7, pp. 57~64
- 4) (社)日本建築構造技術者協会関西支部編：はじめての PC・PRC 構造，(株)建築技術出版
- 5) 鈴木計夫編：プレストレス鉄筋コンクリート構造と設計例，鹿島出版会
- 6) 例えば，鹿島建設(株)：新技術リーフレット No. 019, フラットスラブ工法

【1992年9月24日受付】

#### ◀刊行物案内▶

## Prestressed Concrete in JAPAN

—1990—

(FIP Hamburg, 1990)

[日本のプレストレスコンクリート（1990年 FIP ハンブルグ大会）]

<英・和文併記>

本書は、1990年の FIP ハンブルグ大会に提供するために本協会において編纂・発行したもので、最近の日本の代表的な PC 構造物 28 件についての設計・施工概要を英文・和文併記の形で報告しています。写真・図も豊富で、海外において好評を博しました。

体 裁：A 4 判 140 頁

頒布価格：会員 2 500 円，非会員 3 000 円（送料：350 円）

内 容：鉄筋コンクリート固定アーチー別府明礬橋／バイプレ工法による中央公園橋／PC ラーメン橋—東名阪高架橋—／本州四国連絡橋 児島・坂出ルート of PC 橋梁群／PC・V脚ラーメン橋—常磐自動車道 十王川橋—／CLCA 工法により施工されたコンクリートアーチ橋—城址橋—／PCケーブルを用いた曲線桁の片持ち張出し工法—万江川橋（下り線）—／逆ランガーコンクリートアーチ橋—中谷川橋—／PC斜張橋—新綾部大橋—／PC 5 径間連続ラーメン箱桁橋—岡谷高架橋—／複線 3 主 PC 下路式鉄道橋—大北川橋梁—／北陸自動車道“親不知海岸高架橋”の施工／新素材による PC 橋—新宮橋—／人工軽量骨材コンクリートを使用した鉄道橋—汐見川橋—／PC 斜張橋における新しい片持ち張出し工法—衝原大橋—／架設アウトケーブルを用いた不等径間 T ラーメン橋—筒石川橋（上部工）—／大型移動吊り支保工により施工した都市内 PC 高架線／PC 斜張橋—呼子大橋—／FC 合成床工法による人工地盤／プレキャスト PC 高層建物—日立物流ハイテクセンター—／出雲大社神楽殿／LNG 地上式タンク用 PC 製防液堤／横浜市における PC 卵形消化タンク／PC タンク—大名調整池—／PC プレキャスト版による供用中の滑走路の改修舗装工事／横浜博覧会「海のパビリオン」—H.M.S.（多角形浮体構造物）—／PC スノーシェルター—正善寺シェルター—／プレストレスコンクリート構造ウエーブジェッド