

プレストレスト コンクリート建築物の構造計画

本 岡 順 二 郎*

まえがき

わが国でプレストレスト コンクリートが建物に用いられてから 20 年に近い。この間建物のあらゆる構造形式に利用されてきたが、量的には鉄筋コンクリート造に比べきわめて少ない。工費が割高となりがちである点や大スパン構造の多くが鉄骨造で可能である点が主な理由であろう。しかし、一時期のボウリング場に見られるように、条件が揃えばこの工法が多用されるものと期待される。たとえば、工場では騒音の遮蔽のためコンクリート化が必要となりつつあり、また、長期的展望に立てば資材節約型ともいえる点で再認識される時期にある。

プレストレストコンクリートは応力制御を行う点で他の構造より設計の自由度が多く、構造設計者にとって魅力のある構造である。過去に設計された建物には設計者がこの工法の魅力を楽しんだ形跡があるものも多い。これらの建物の構造計画を振り返ることから将来の展望も開けるものと考ええる。

各種構造の構造計画

PC工法は次のような分類ができる。

緊張力の目的——応力制御および部材の結合

施工方法——現場打ちおよびプレキャスト

部材断面——単一断面および合成断面

導入方法——プレテンションおよびポストテンション

プレストレストの大きさ——フル、パーシャルおよびそれ以下のプレストレスト

見方によってさらに種々の分類ができるので、これらの工法を組合せた構造はそれぞれ多くの特徴をもつことになる。各種構造形式の実施例について述べれば次のようである。

現場打ち 1 スパンラーメン造

従来の PC 建物で最も多いのはラーメン造である。特に昭和 45~47 年に多数建てられたボウリング場では、スパン 35~40 m の 1 スパン多層ラーメンが多い。その

多くはスパン方向大ばりに緊張材が配置してあり、各層のコンクリート打設後不静定ラーメンに緊張力が与えられる。

桁方向は鉄筋コンクリート造であり、多くの場合一部に鉄筋コンクリート造部分をもっており、構造的には様式化したといっても差し支えない。地階または 1 階は駐車場のため柱を多数配置して鉄筋コンクリート造とし、最上階は経済上鉄骨造としたものも多い (図-1)。

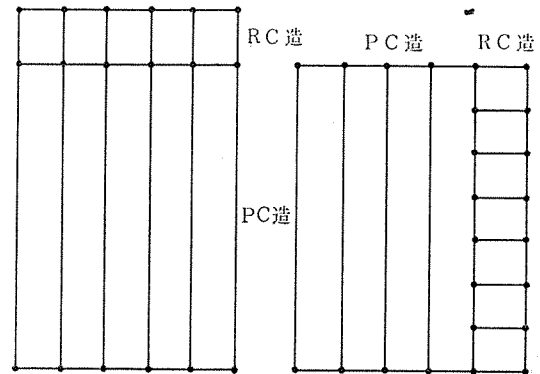


図-1 ボウリング場の代表的平面

このような現場打ち PC ラーメン造は次のような特徴をもっている。

1) 大スパン構造の柱は支配面積が大きいため断面が大きくなる一方、階高は必要限度内で小さくするため、柱のシアスパンは小さくなる。

前記ボウリング場では、スパン方向柱径が 1.5~2m、はりせいが 1.5~1.8 m、階高が 4~4.5 m であるため、柱の(内のり高さ/柱径)は 2.5 程度となる。

さらに、大ばりの曲げ破壊モーメントが大きいため、ラーメンの崩壊は好ましくない柱せん断破壊型となりがちであり、終局設計の立場から必要な塑性比が期待できず、靱性に頼る設計ができない場合も多いと考えられる。また、柱断面が大きいためせん断補強筋量も多く、いわゆる鳥かご状となる。

2) プレストレストはスラブ、はり一体のまま導入され、通常の場合平均プレストレストは 40 kg/cm² 程度である。

はりの断面形はデザイン上および型わく費の点でほと

* 工博 日本大学教授理工学部 建築学科

んどT形断面が採用されている。T形ばりの有効幅は設計者によって採用値が異なるが、図-2 に示すようにPC材に用いる範囲では許容抵抗モーメントに大きな差がないし、また、剛比計算でも柱剛比が圧倒的に大きいのでやはり大きな影響は生じない。

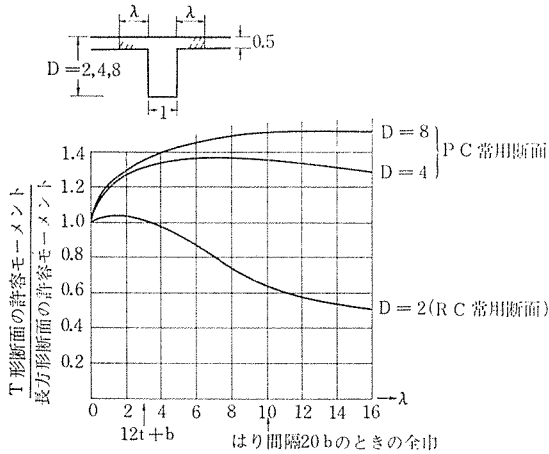


図-2 T形ばり有効幅の影響

3) 並列するPCラーメンの外側には耐震壁を配置する 경우가多いが、端のPCラーメンの緊張力と耐震壁との関係は明確ではない。耐震壁近傍 (30~50 cm) でスラブにスリットを入れてラーメンと壁の縁を切り、プレストレス導入後にあと結めを行う場合と、一体のまま導入する場合があるが、いずれもとくに不都合は生じていない。

4) 大ばり端には緊張力が集中作用するのでスラブの隅角部には斜張力が生じ、初期には若干の斜めひびわれを生じた例もある。通常はこの部分に斜め補強筋を配置しており、外周部スラブのみを厚くした例もある (図-3)。

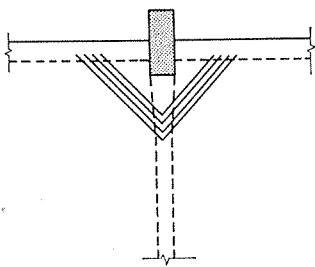


図-3 スラブ隅角部補強

高強度を用いると壁の打設がやや困難となるが、柱のせん断強度増大や壁の収縮低下など構造上は好ましい。

6) 不静定ラーメンの大ばりにプレストレスを与えると、はりの材長短縮による不静定力と節点の回転による不静定モーメントが生ずる (図-4)。

不静定力による曲げモーメントは一般に小さいが、節点回転による曲げモーメントは非常に大きく、外力による曲げモーメントに近い値となる。この曲げモーメント

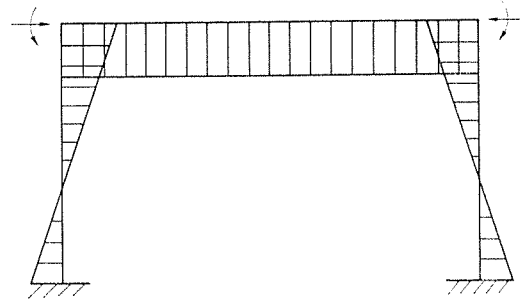


図-4 不静定力による曲げモーメント

ははりの下縁引張りであり、外力の曲げモーメントと合成するとはり中央では M_0 、端では0に近い値となる。

はりの緊張材は端部では定着部があるため合力作用位置が図心に近く、許容抵抗モーメントは小さくなる。しかし、スパン中央では緊張材を下縁に寄せて配置できるので許容抵抗モーメントは大きくとることができる。

したがって、不静定モーメントはPC材にとって都合のよい分布を与えることになる。柱モーメントも同様に外力を打ち消すように分布する。

不静定モーメントの厳密な計算にはコンクリートのクリープと乾燥収縮を考慮すべきであるが、適当な計算法がないためプレストレス有効率 0.85 が一時に生じ、他の階には影響しないと仮定して計算されている。不静定構造ではある程度の応力再配分が行われるので、応力分布の違いは安全度に大きく影響しないとする終局強度的考え方が設計者のよりどころであるが、これらの点は今後の研究を実用計算に反映させる必要がある。

7) 高さ 30 m 程度の建物について振動解析を行った例も多いが、PC造に特有な性質はないようである。耐震性についてはこのシリーズで耐震設計が予定されている。

8) RC造と併用して用いる場合には不静定モーメントがRCラーメンに伝わり、PCラーメンの大きな不静定モーメントはRC断面では負担できない場合が多い。

このようなときにはPC鋼材の一部を延長してRC部分をPC化したり、RC部分の施工をプレストレス導入後に行なって不静定力の伝達を避けたりしている。

9) 前項のようにRC造部分が存在する場合には、この部分に壁量が多くなることが多い。建物全体としては剛心と重心が偏心することになるので、特に壁がない隅柱などでは偏心の影響を十分考慮する必要がある。

10) 平面が正方形に近い場合には直交両方向にPCばりを配置する格子ばりがはりせいを小さくする上で効果的であり、one way に比べて 60~70% のはりせいとなる。側ばりは大きなねじりを受けることに注意する必要がある。

現場打ち連続スパンラーメン造

工場や倉庫などでは連続スパンとなる場合も多い。連続スパンではプレストレス導入部分の全長が長くなるので、材長短縮量も大きくなる。このため、1階外端の柱頭が内側に引き寄せられ、柱軸力が小さい平屋では柱に曲げひびわれを生じた例もある。

このような作用を避けるため基礎ばりにプレストレスを与えたり、柱脚に切欠きを設けて導入後にあと締めを行った例もある。

また、壁が存在する場合には壁が変形しないため桁ばりが水平曲げを受け、桁ばり側面にひびわれを生じた例もある。

プレストレス導入部分の全長が長い場合には、最下階で材長短縮の影響を検討する必要があり、2連続以上の場合や1スパンでも片側が剛強な構造に接続する場合には注意が必要であろう。

プレキャストラーメン造

プレキャストのはり柱を結合してラーメンとする構造は初期のころから多くの実施例がある。

1) 部材の結合法には種々の方法が試みられているが大別すれば次のごとくである。

- a. プレストレスによる圧着結合
- b. 端部の埋込み金物相互の溶接結合
- c. 結合部のガセット プレートの高力ボルト結合
- d. あと打ちコンクリートによるRC的結合
- e. 基礎と柱の結合では掘立て柱

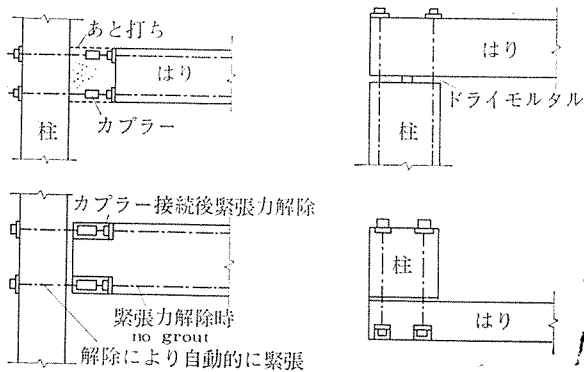


図-5 はり柱圧着接合例

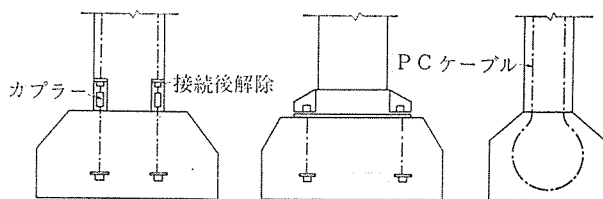


図-6 柱脚圧着接合例

プレストレスによる圧着結合は剛節点となり最も好ましい結合法であるが、接合部の目地モルタルや目地コンクリートの硬化を待って緊張するので、手待ちとなる上目地施工が繁雑である。柱の接合にエポキシ樹脂を用いて工期短縮を計った例もある。緊張材が鋼棒の場合は延長が容易であり、緊張完了の部材に接続して圧着させることや部材の緊張力を一部解除して圧着力に利用することが可能である(図-5, 6)。

溶接結合は完全に施工されればよいが、建築工事における現場溶接は必ずしも信頼性が高くないので、十分の余裕を見込んで設計をする必要がある(図-7)。

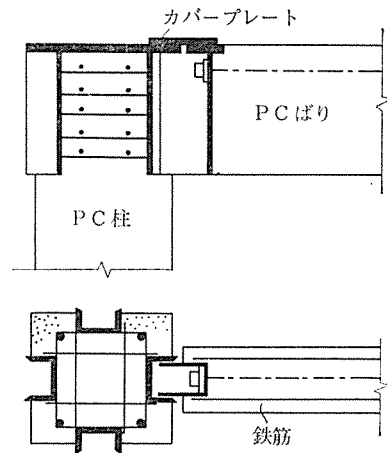


図-7 溶接接合例

高力ボルトによる接合は、部材の製作誤差と建方誤差を許容する範囲が狭いので、建方時に予想外の時間を要する原因となる。現状では、製造建方の誤差は1cm以下とはならないようであり、仮止め後に現場で穴位置を定めた例もある。

材端に鉄筋を露出させておき、あと打ちコンクリートによって結合させるRC的結合は、誤差が吸収できる点ではよいが、節点の剛性や耐力が低下するので構造上は好ましくない(図-8, 9)。

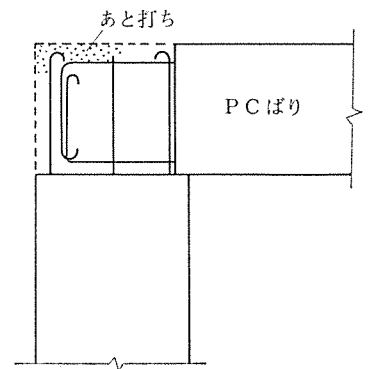


図-8 RC 結合例

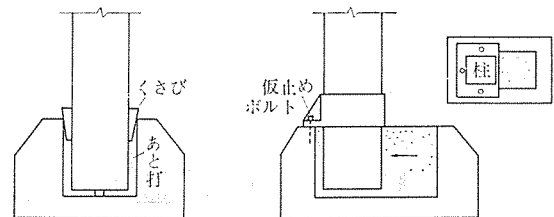


図-9 掘立て柱例

プレストレスト コンクリートの諸分野における現況と展望

2) プレキャストラーメンのスラブにはダブルTスラブや有孔版などのプレキャスト材を用いる場合と、スラブ、小ばり、桁ばりを現場打ちとする場合がある。

プレキャストスラブは施工速度が速く、型わく作業などもなく工事が簡略化されるが、スラブの反りが同一ではないので若干の踊りを生じ、上部に 2,3 cm 厚のならしモルタルを必要とする。

現場打ちスラブではプレキャストばりとスラブが一体となって合成ばりとなり、断面の許容モーメントは増大する。通常はスラブの支保工をはりからとり、スラブの自重をプレキャスト単材で受けるが、さらにはり中央に支保工を設ければり中央のモーメントは著しく減じて応力的に有利とすることができる(図-10)。

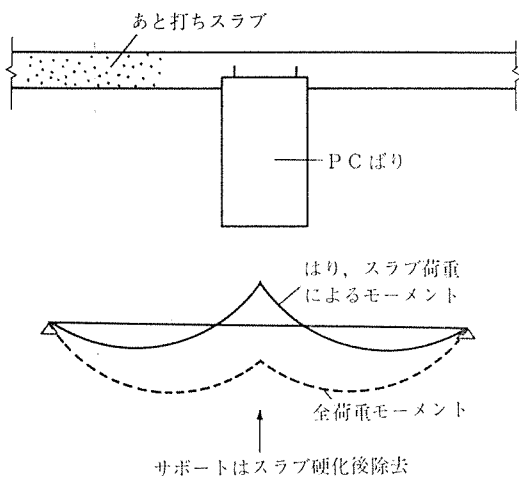


図-10 合成 T 形 ばり

3) プレキャストラーメンでは、現場打ち壁の施工が困難であり、純ラーメンとする場合が多い。プレキャスト筋違を設けて耐震要素としたり、はり下のすき間からコンクリートを打設した例もある。また、積極的にプレキャストの耐震壁を用いた例もある。いずれにしても

プレキャストラーメンの耐震壁の処理については研究の必要があろう。

コアシステム

RC造あるいはSRC造のコアで地震力のすべてを負担し、このコアの外方にPC大ばりを配置すれば外周の柱は鉛直荷重のみを負担するので小断面とすることができる。PC部分は現場打ち、プレキャストのいずれでも可能である。

コアを用いれば高層化が比較的容易であるが、コアに地震力が集中するのでコア壁のせん断補強としてプレストレスを与えた例もある(図-11)。

2個あるいは4個のコアの内側にPCばりをかけ渡して大空間を構成することもできる。はりを現場打ちとしてコア外側から緊張した実施例では、強固なコアの抵抗ではりにはプレストレスが伝達されないで、鉛直荷重は曲線配置の緊張材の上向きの成分でつり合うように設計されている。

リフトスラブ

鉄骨柱を先に立て、地上で重ねて製作したPCスラブ(多くはジョイストスラブ)を順次吊上げて固定するリフトスラブ工法はアメリカでかなり高層のものが実施されている。わが国でも設計例はあるが小規模のものを除いて実施例はない。地震力の処理法を工夫すれば利用できる工法と考えられる(図-12)。

スラブの固定はプレストレスによる圧着が可能であり、リフトスラブではないが柱に現場打ちスラブを圧着して中間階を設けた例がある。

壁式プレキャスト造

壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造は大型プレキャスト

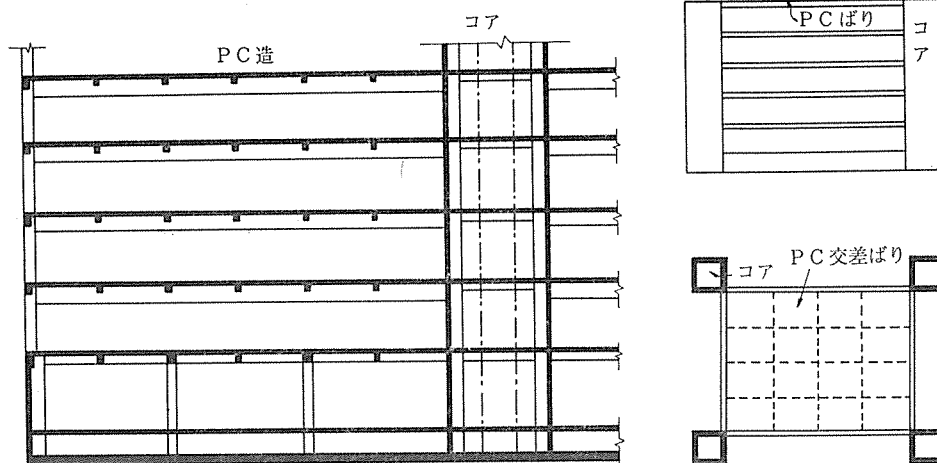


図-11 コアシステム

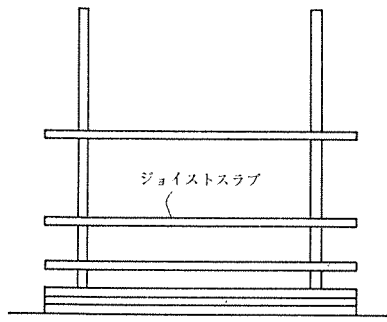


図-12 リフトスラブ

スト板を種々のジョイントで結合して施工されている。しかし、8階をこえるような高層では従来のようなジョイントでは地震力の処理が容易ではない。

そこで、壁板に鉛直方向のPC鋼棒を配置して圧着する工法が用いられており、10階建（標準設計では8階建）が実施されている。

この場合、緊張力の目的は部材の圧着にあるので、壁板のプレストレスは小さい。

個人住宅用の低層プレハブでも部材の圧着のためプレストレスを与えた設計があり、鋼材がカプラー接合できる点でRCの設計として無緊張PC鋼棒を使用している例もある。

地震力による水平接合部のせん断力と鉛直方向の引張力の処理は緊張力によれば容易であり、建設省建築研究所における実大試験でも良好な結果が得られている。

PC シェル、折板

シェルは元来大空間のための構造であり、PC工法の利用に適した構造である。1940年のカラチの車庫に用いられて以来、各種のシェル構造に利用されており、最近ではHPシェルに用いられる例が多い（図-13）。

円筒シェルでは裾ばりのみに緊張材を配置しても有効

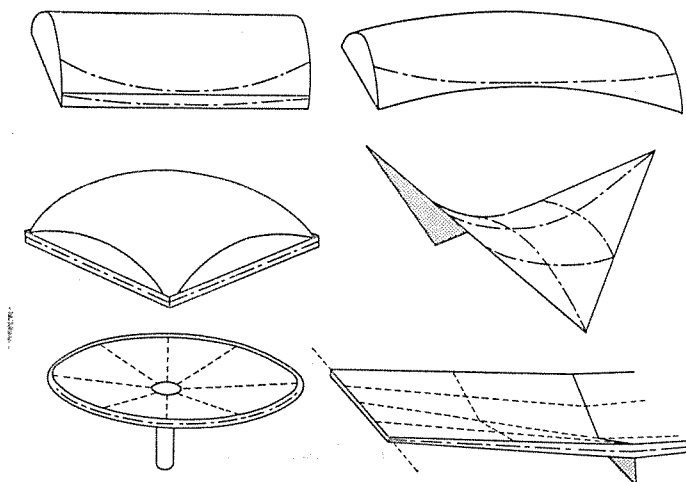


図-13 PC シェル 実施例

であるが、シェル内にシースを曲線配置した例も多い。

円筒シェルにプレストレスを導入すると下部のラーメンに応力が伝達されて応力解析が複雑となる。そこで、裾ばりとラーメン大ばりとの間に絶縁材を配置して計算を単純化した例もある。また、妻端に配置したラーメンの間にシェル全体を単純支持した例もある。

円筒シェルは母線方向スパン 30 m 程度まではRC造で設計できるので、これを越えるものにプレストレスを利用するのがよい。

球形シェルは水槽、サイロなどの容器構造の屋根に用いるほか、裁断球として建物にも用いられている。

緊張材は裾の引張リングに配置され、円周を分割して緊張する場合が多い。下部構造と一体となる場合には応力計算が複雑となるが、現在ではFEMによる数値計算が行われる。

HPシェルでは現場打ちポストテンションの例も多いが、最近ではプレキャスト板を吊ケーブルで支持して目地を打ち、押えケーブルでプレストレスを与えて一体化してシェルとする場合も多い。この場合は施工途中では吊構造であり、完成時にはシェルとなる。裾ばりやタイビームにも緊張材を配置するが、裾ばりは曲げとねじりを受けるので下部構造と一体の場合は応力状態が複雑となる。このため、裾ばりを多数の柱でピン支持とした設計もある。

シェルをプレキャストとした例は古くからあり、分割したシェルをプレストレスで結合した例もある。HP曲面のシェルを規格生産するシルバークール工法もプレキャストシェルであり、スパン 24 m 程度まで可能である（本誌 1971.12 参照）。

折板は施工がシェルより簡単であり、シェルとほぼ同様の大スパンが可能であるため屋根構造に利用される。通常は2構面とし、裾ばりに緊張材を配置することが多い。

吊 屋 根

吊屋根は荷重を引張力で伝える構造であるからプレストレスの必要はなく、厳密にはPC構造ではない。しかし、PCケーブルを用いて周辺のはりに緊張定着する点ではPC工法の施工と同じであり、周辺のはりには軸方向のプレストレスを与えることが多い。

屋根面の中央部が周辺より低いと雨水の処理ができないので、HP曲面として凸方向を押えケーブルとしたり、中央部にテンションリングを配置して放射状のケーブルを2段に緊張し、上段凸形のケーブルに屋根材をふいたりしている。中央部

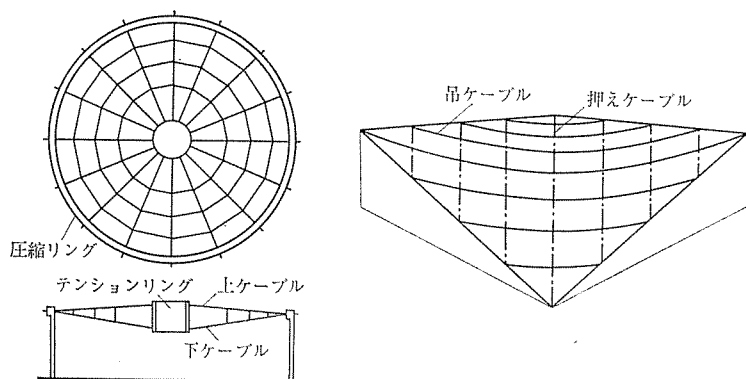


図-14 吊屋根実施例

を周辺より低くしたまま、雨水は中央部のといで建物中央に落した体育館の例もある。

吊屋根は軽量であるため風圧による影響を考慮する必要があり、屋根面の固有周期と風のいぶきとの共振にも注意する必要がある。前記車輪状吊屋根では上下ケーブルの緊張力を調節して所要の周期とした例もある。

また、吊ケーブルは腐食の危険があるので、耐腐食性の鋼材とするか有効な防食処理を行う必要がある(図-14)。

吊構造

柱にプレストレスを与えてスラブを上部から吊下げる構造を坂博士が提唱されたが、小規模なものを除いて実施されていない。

スーパーラーメンから多数の吊柱で順次スラブを吊下げれば、はりのない構造とすることができ、適当な設計を行えば一種の免震構造とすることも可能である。軸力の処理はPC鋼材の能力から容易であり、プレストレスによって柱の剛性も得られるので興味ある構造である。

プレキャスト小ぶり構造

プレキャストスラブはキャンパーが同一でないためトッピングを必要とし、工費的には場所打ちスラブより高くなる。そこで、RCやSRCの主体構造にPC小ぶりをプレキャストとして配置し、スラブを現場打ちとする例が多い。

プレキャスト小ぶりは単純支持もしくは積載荷重に対してのみ固定の状態で行われるので、プレテンション材であっても差し支えなく、遠心鑄造材を用いた例もある。

SRC造のラーメンに並列して大スパンのプレキャスト小ぶりを配置すれば、比較的安い工費で高層大スパンの構造が可能となる。

校舎の場合では等間隔で耐震壁が配置されるので、スパン方向のラーメンをこの位置にとり、廊下を含めた大

スパンを低いはりせいで設計している。

建物の桁方向長さがスパン方向の2倍程度以下の場合では地震力の分配をスラブの水平剛性に頼って両端の壁に負担させ、建物内部はすべて小ぶりとすることができる。このような構造が大講堂や体育館に利用されている。

SRC ラーメンを最上階まで立上げ、プレキャスト小ぶりの建方を全層一挙に行ったのち、ラーメンおよびスラブのコンクリート打設を行った例もある。

部材の剛性向上のためのプレストレス利用

プレストレスによる全断面有効を部材の剛性向上の目的で用いると効果的な場合がある。

長大な小ぶりを受ける桁ばりには大きなねじりを生ずるので、SRCの場合でも設計困難となることがある。このような場合には桁ばりをPC材として、ねじりモーメントとせん断力による引張応力をプレストレスで制御すれば設計可能となる。桁ばりに500tの緊張力を与えて100t・mのねじりモーメントを処理した体育館の例がある。ラーメンのすじかいにPC材を用いた例も多く、ひびわれ荷重までは部材の伸びが小さいのでRCまたはPCラーメンの耐震要素として効果的である。

すじかいの緊張材に所要のno bond区間を設ければ、ひびわれ発生以後に急激な伸びを生ずるので、所要の復元力特性を設計することができる。このようなすじかいをスリット耐震壁などのように用いれば、耐震設計上有効に利用できよう。PC部材の純引張材としての利用は、水槽内で水平に配置したタイビーム、シェルのタイビーム、大スパン柱脚間のタイビーム、トラスの弦材などとして有効に利用されている。

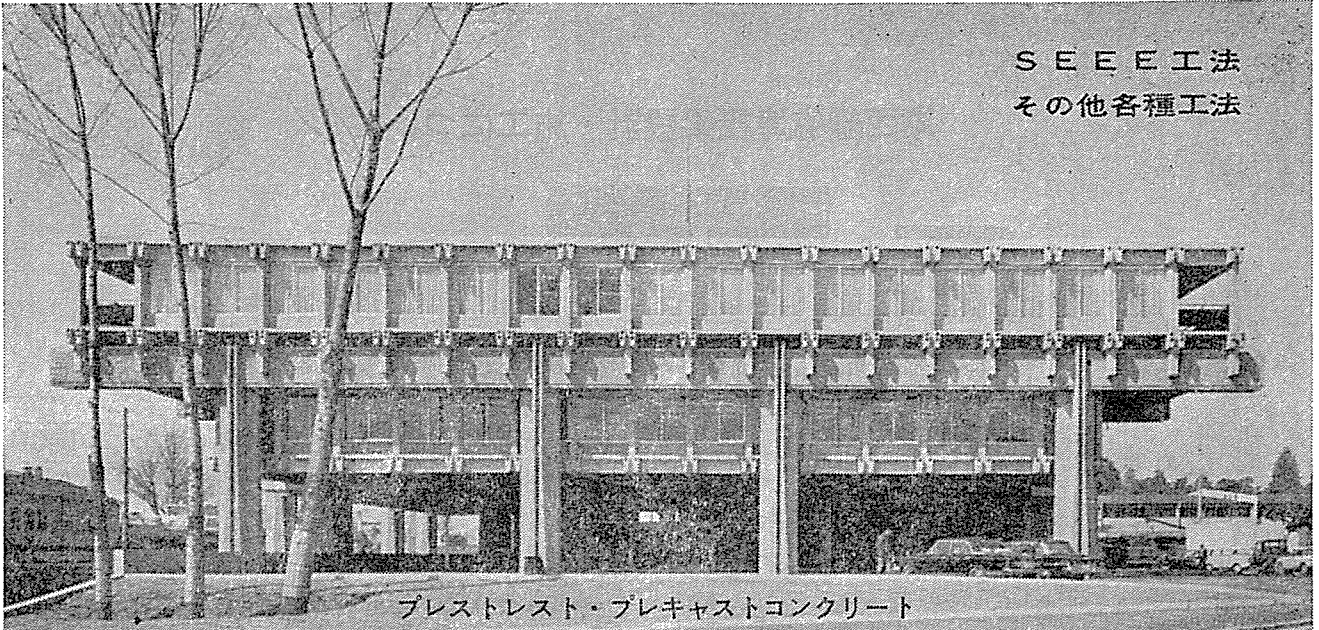
以上、プレストレスを利用した各種構部の実施例について述べた。PC工法の構造上の意義は、

1. 曲げモーメント分布の制御、部材応力の制御を含めた応力制御を行う。
 2. プレストレスによるプレキャスト材の一体化を行う。
- の2点のほか、
3. 積極的にアンボンドを利用して剛性制御、復元力特性の制御の可能性をもつ。

などにあると考えられる。以上の3点は他の構造にみられない特徴であり、今後の発展が期待される。

1974.4.23・受付

SEE工法
その他各種工法



プレストレスト・プレキャストコンクリート

栃木県庁議会議棟

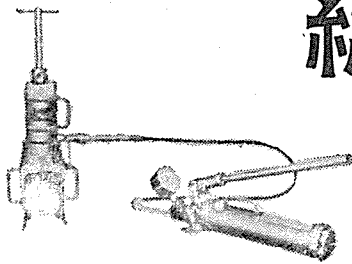
黒沢建設株式会社

取締役社長 黒沢亮平

東京都新宿区三光町25番地 三立ビル TEL 03-356-3573(代)

PC工場 神奈川県秦野市三屋字川原135番地 TEL 0463-75-1324

PC用油圧機器の 総合メーカー



製造元

K.K平林製作所

京都市宇治市槇島町目川8
TEL 宇治(0774) 22-3770番

センターホールジャッキ・モリプラー
PAT.No. 467154

住友 DWジャッキ
PAT.No. 226429

発売元

草野産業株式会社

本社
大阪市東区備後町1丁目11番地
TEL 大阪(261)~8710・8720
東京事務所
東京都千代田区神田錦町3丁目21番地
柴田錦橋ビル TEL (201)~3546