

プレストレスト コンクリート
建築物の構造計画 (2)

本 岡 順 二 郎*

鉄筋コンクリート構造や鉄骨構造では多年の経験によって構造上、経済上に有利な構造設計の基本パターンが定まっている。例えば RC 構造では階数 5~6 階、スパンは 5~7 m、建物重量が約 1.2t/m^2 などである。しかし PC 構造では、まだこのような型は存在せず、いわば無限への可能性を持っていることになる。

建物の構造設計は一般に次の順序で行なわれ、PC の場合でも同様である。

(1) 構造計画——材料の選定、構造形式、配置と大きさの決定

(2) 構造計算——計算仮定の設定、応力算定、設計用応力の決定、断面算定

PC が RC と異なるのは施工方式—建方順序が構造計算に大きく影響することである。したがって構造計画で施工に関することを決定しておかなければならない。建築学会規準が設計施工規準となっているのもこのためである。また、RC では部材断面を大きく仮定したり、荷重を大きく見つめることは経済的とならない場合でも構造上普通安全側となるが、PC では必ずしもそうならない。したがって構造計画でなるべく部材の最適断面を予定することが必要となる。常時荷重に関して PC では荷重が加わった状態で部材の安全が保たれているから、荷重配分は明確に計算されなければならない。耐震壁の配置は基本的には RC と同じであるが、常時荷重時の応力が、あいまいにならないようにする必要がある。

建物全部を PC 構造で計画する必要はまったくなく、RC との混用が一般的な方法である。PC は曲げ材として使用するとき、その能力を最も発揮する構造であるから、柱は RC とすることが多く、またスパンの短い桁行方向は RC ラーメンとすることが多い。このように PC と RC を混用する場合にはコンクリートのヤング係数、鋼材の降伏ひずみなど材料的性質が異なるし、許容応力度もそれぞれ異なる。したがって設計で十分考慮する必要があるし、バランスのとれた構造計画が必要となる。

組立構造とする場合には建物の一体化の上で PC が

* 日本大学講師、理工学部建築教室

最適であるが、建方運搬などの問題で現状では経済的に割高となりがちであり、敷地面積が狭くて作業ができない場合などに行なわれている。

建物荷重は床厚が支配的であるから、ダブル T スラブを使用するか現場打ちとするかなどで大きく変動するが一般的に建物重量は RC にくらべて 60~80% 程度軽くなり、基礎関係がそれだけ楽になる。スパンが大きいから柱 1 本あたりの荷重は RC より大きくなる。

以下構造計画にさいして必要な事項のうち長期応力に関するものを述べる。

9. 曲げ材の断面形

前に述べたように PC 部材は曲げ材として使うときその能力を発揮するものであるが、断面形の選定の方法によっては、その能力が相当変化するものである。プレストレス力とその偏心距離が等しいとき、PC ばりの許容モーメントは断面係数が大きく断面積が小さいとき、すなわち核距離が大きいほど増すものである。したがって一般に PC ばりの断面形は I 形とすることが多い。

図-3 (a) は同一断面積を有する種々の断面積のはり丈とその許容曲げモーメントとの関係を示したものである。図-3 (b) は同じはり丈、同じ断面積を有する種々の断面形のばりの許容モーメントと矩形ばりの許容モーメントとの比を示したものである。PC ばりの許容モーメントは、はり自重と積載荷重との比、使用 PC 鋼材の種類などで異なるものであるが、両図ともおよその傾向は示している。図-4 は実際の PC 建物 14 例における断面積とプレストレス力の関係である。この図からもわかるように平均プレストレスは断面にかかわらず $70\sim 100\text{kg/cm}^2$ で通常の場合 80kg/cm^2 程度が多い。したがって同一断面での比較はほぼ同一価格での比較に等しく、またはり自重によるモーメントが等しいから、載荷能力の比較と考えてよい。図-3 (b) に示さ

図-3 (a)

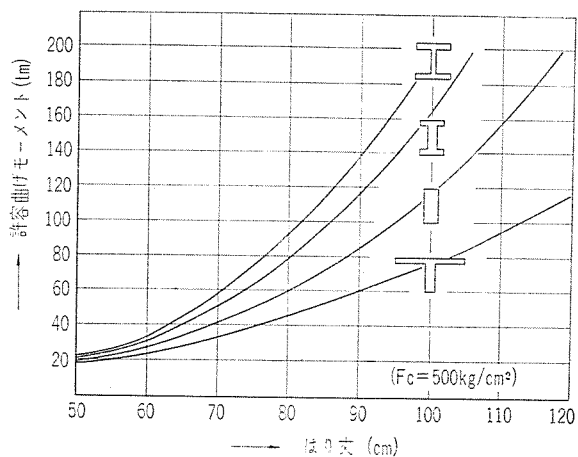


図-3 (b)

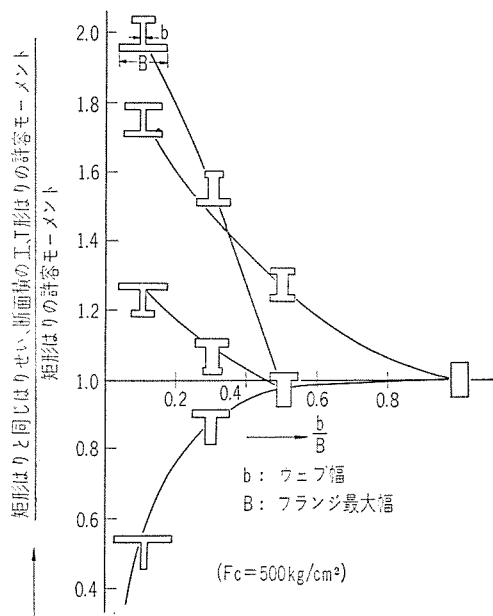
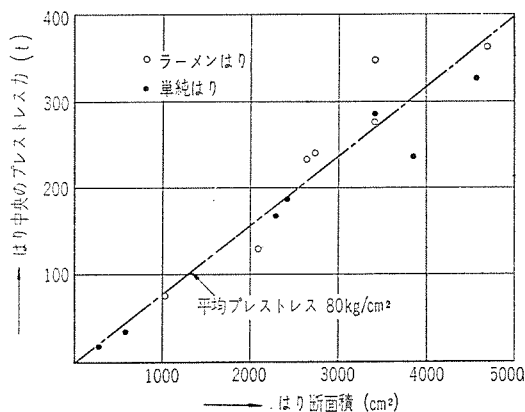


図-4



れるように b/B の実用範囲 0.3 付近では断面形の選定いかんによって載荷能力に 50% 程度の差が生じることになる。建物に使用するはりでは、ちりだまりを避けるため矩形はりまたは T 形を指定されることが多いが、構造上はあまり好ましい断面形ではない。天井を貼る場合には最も有利な I 形断面を選定すべきである。このさい図に見られるように通常用いられる $b/B=0.3\sim 0.4$ の範囲では引張側フランジを大きくしても特に有利とはならない。T 形は最も不利な断面形であるが、矩形はりまたは浅い (b/B の大きい) I 形はりにプレストレスを導入し、その後はり上面にスラブ コンクリートを後打ちして積載荷重に対しては T 形はりとして作用する合成 T 形はりがあり、積載荷重が大きい場合には有効な方法である。

ウェブおよびフランジの厚さは使用する PC 鋼材の形状とその推定量から最低値が定まる。現在建築用ポストテンションばりによく使用されるのは径 27 mm の PC 鋼棒や 7 mm PC 鋼線 12 本よりのフレシネ ケー

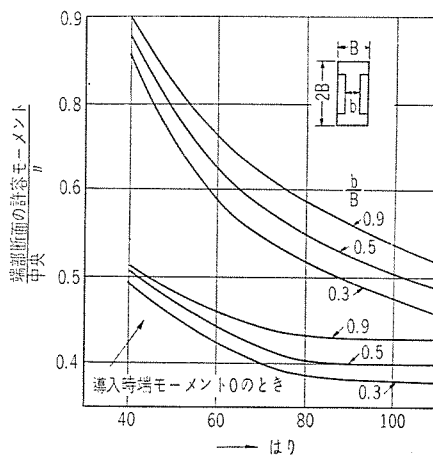
ブルなどである。これらを使用するとき、鋼材 1 本では 14 cm, 2 本ではウェブは 21 cm, フランジは 18 cm 以上が必要となる。

10. はりの端部

はり端部をふくむラーメン隅角部には常時、非常時荷重に対して、あるいは施工に関しての多くの問題があるが、ここでは、はり端部の長期モーメントに関して述べる。

PC 部材を曲げ材の部分にのみ用いラーメンでは柱が RC, はりが PC となることが多い。PC ラーメンではスパンが大きく、はり断面が小さいので、PC 部材のヤング係数が RC の 1.5 倍程度あることを考慮しても、はりの剛比は柱の半分以下となる。このため常時荷重によるはり端のモーメントは固定端モーメントに近づき、端部モーメントは中央部モーメントの 2 倍に近づくことになる。一方、断面の許容モーメントは PC 鋼材の定着端が材端に存在する場合には端部の偏心距離を大きくとれないこと、ポストテンション材では端部の断面を大きくした端ブロックが存在するため中央断面より不利な断面形となることなどにより中央部より小さな値となる。図-5 は中央断面が I 形、端部が矩形のときの各種はり丈に対する中央と端部の許容モーメントの比を示す図である。もちろん断面形と鋼材の種類によってはこの関係も異なってくるが、通常使用される範囲での傾向は示している。この図によれば一般的なはり丈 60~100 cm の範囲で端部の許容モーメントは中央の 0.6~0.5 倍程度となる。したがって外力のモーメントを考慮すれば端部で許容一杯に設計すれば中央では余裕がありすぎることになる。ハンチをつけることは PC の軽快さを失なわせることになるし、端部のみプレストレスを増すことは PC 鋼棒の場合には可能であるが、施工上、経済上あまり望ましくない。この解決法として一般に行な

図-5



われるのは建方導入の順序を設計で計画的に行なう方法である。後記のようにはり柱はプレストレスにより、あるいは RC 的方法により、はりのプレストレス導入後に剛接されることが多い。したがってプレストレス導入時には、はり単支持の状態にあり、はり自重による端部モーメントは発生しない。床がダブルTスラブなどのプレキャストの場合には、これらを載荷したのち、はりのプレストレスを導入すればほとんどすべての固定荷重によるモーメントを中央に集めることもできる。ただし導入時に端部モーメントが0であるから、端の偏心距離は断面の核を出ることができなくなり、図-5のように端の許容モーメントは中央の40%程度となる。以上のような方法によっても、積載荷重が大きく、床が現場打ちの場合には、端の抵抗モーメントが不足しがちとなるようである。

11. プレストレス導入による二次応力

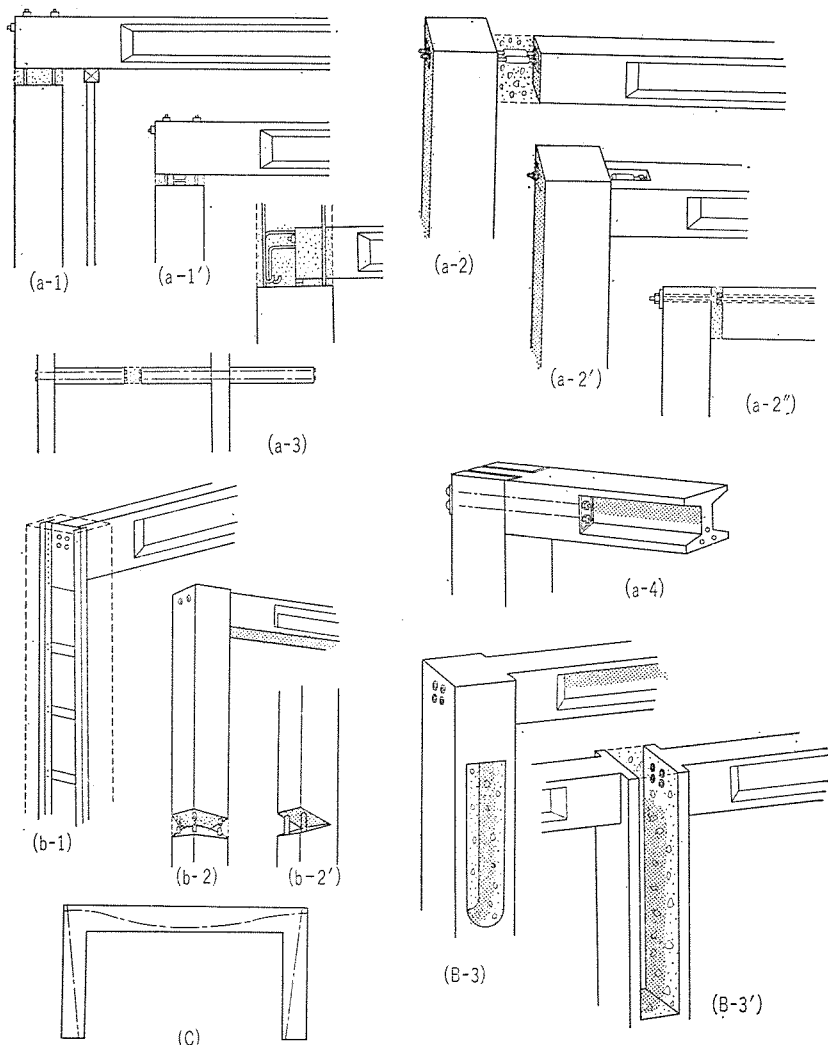
不静定構造物の全部あるいは一部にプレストレスを導

入すれば、材長短縮および節点の回転によって二次応力が発生する。このような二次応力を互いに打消し合うような PC 鋼材の配置も可能ではあるが、不静定次数が高くなれば計算が繁雑となり、また実際の状態からはずれる危険性が大きくなる。そこで施工手順を設計で計画的に行なったり、二次応力が発生しないような部材をくふうしたりすることが必要となる。このような二次応力の処理をいかに行なうかは、いかに剛節点を形作るかともからんで PC 構造物の工費や工期を大きく左右し、また PC の構造設計を RC にくらべて興味あるものにさせてはいるが、本質的には PC の欠点の一つであろう。

二次応力の処理法には大きく分けて次の方法がある。

- a) 静定構造としてプレストレスを導入したのち剛接し、外力に対して不静定構造とする。
- b) 二次応力の発生が少なくなるような部材を用意してプレストレスを導入したのち外力に対して不静定構造とする。

図-6



c) 二次応力が発生しないような PC 鋼材の配置を行なう。

d) 不静定構造としない。

以上の具体的な方法については多くのくふうがなされており、また、くふうする余地を残している。現在行なわれ、また可能性のある方法のいくつかについて述べる(図-6)。

(a-1) はり下端と柱頭との間にすき間をあけてはりの仮わくを支持し、はりのプレストレス導入後にすき間をコンクリートかドライ モルタルで充填し、サポートを除去したのちに、はり上端と柱との間をプレストレスして剛節点を形作る。この場合の鋼棒はアンカーボルト的な短いものでは緊張力が不確実となるから、柱も PC 柱とする方がよい。柱丈が大きい場合にははり端を柱中心付近まで乗せて、はり端から突出させた普通鉄筋を節点内にコンクリートで埋込んで RC 節点をつくることもできる。この場合には、はり自重以外の荷重によるモーメントに対しては RC の設計となる。(a-1') のようにはりを直接柱頭に単純支持してプレストレスを導入することも可能であり、この場合の支点は必ずしもコロを使ったローラーとする必

要はなく、鉄板の支点到減摩剤を塗布したものでよい。地上製作または工場製作のはりを吊上げる組立構造の場合にも上記の方法は用いられる。

(a-2) 鋼棒でプレストレス導入を行なったプレキャストばりを柱頭側面から 20 cm ほど離れた位置に支持し、はり端の鋼棒を柱外面からの短かい鋼棒と連結してはりと柱のすき間をコンクリートで充填する。柱外面から鋼棒を緊張すればすき間のコンクリートは短縮するが、すき間はスパンに比較してはるかに短いので二次応力は無視しうる。(a-2') は、はり端のカプラー位置にくぼみを作って前と同じ操作を行なうもので、すき間は 3 cm 程度としモルタルを充填する。(a-2'') は、はり端から所要長さだけ突出させた鋼棒を、はり端ではくさび定着、柱外面ではナット定着する方法である。

(a-3) 柱の一端または両端から片持ばりを突出させてこの先端からプレストレスを導入し、片持ばりの先端は溶接して連結する。連結部にはプレストレスが作用しないのでスパン中央のモーメントが大きい場合には不適當であるが、桁方向ラーメンの場合には水平力による材端モーメントで定まる場合が多いから、このようなときには適當な方法である。

(a-4) 柱頭を二つに割って、この間にプレストレス導入を終ったはりをそう入して、すき間をモルタルで充填し、はりのエンドブロック内面と柱外面との間を緊張する方法である。

(b-1) 鉄骨の仮柱の間にはり現場打ちし、鉄骨の外面からはりのプレストレスを導入する。柱のラーメン方向剛性をはり自重による座屈荷重よりやや大きい程度のフレキシブルなものとしておけば、柱はプレストレス導入によるはりの短縮、はり端の回転をほとんどさまたげず、二次応力は発生しない。はりのプレストレス導入後に仮柱を包んで柱のコンクリート打ちを行なう。

(b-2) 柱脚を切欠いて露出した鉄筋を切断し、はり

と柱は一体打ちのまま柱外面からはりのプレストレス導入を行なう。柱脚ピンの一次不静定であるから二次応力は発生するが、柱固定の場合にくらべてその影響は小さくなる。プレストレス導入後、柱脚の鉄筋を溶接して切欠き部分をモルタルで充填して固定柱脚とする。(b-2') はこの方法をさらに簡略化したもので、柱脚を引張側からくさび状に切欠いておき、はりのプレストレス導入後に切欠き部をモルタルで充填する方法である。柱製作時に切欠き部に可燃材を充填してコンクリートを打ち、焼き消して切欠きを作れば施工も簡単である。

(b-3) 柱の中央部をラーメンと直角方向にくり抜いてフレキシブルにし、柱頭と一体に製作したはりにプレストレスを導入したのち、くり抜き部分をコンクリートで充填する方法である。コンクリート柱は極端に薄くはできず、前記鉄骨の場合ほど剛性を小さくできないから二次応力の検討を行なっておく必要がある。(b-3') は柱を柱頭まで双子柱にしておき、前と同じ手順で施工されるが、施工上フープの処理が複雑となる。

(c) はりのプレストレス導入による材短縮量と回転角に等しいように柱のプレストレスを調節すれば二次応力は発生しない。しかし不静定次数が増してくれば誤差が集積する恐れがあるし、二次応力を減少させるためにプレストレスを用いるのは不経済である。したがって、この方法は不静定次数が大きい場合には行なわれない。

(d) 地震力によるモーメントをはりが負担しなくてもよいような構造では、はりを最後まで単純ばりとして使うことができる。例えば壁構造ではりは鉛直荷重のみを支持する場合や、地震力を両端のラーメンやコアで受ける場合にはこのような方法が可能である。巧妙な組立法によるよりむしろこのような単純な方法が施工上、経済上成功することが多いようである。

(以下次号)

1963.4.15・受付

「PC 設計施工資料」欄の御利用について

会員各位の御便宜をはかるため協会誌巻末に「PC 設計施工資料」欄を新設し、好評を博しております。より多くのデータを効果的に紹介いたしたいので会社、団体の御利用をお待ちしています。なお、本欄についての御問い合わせは事務局に御願いたします。

1. 対象：PC 関係の材料、工法、機器
2. 内容・体裁：製品、工法等の特徴、性能、規格、使用法、等を一件あたり会誌 2 ページ分にまとめて掲載する。用紙は厚紙を用い切離して利用しうるようにする。
3. 内容の検討：提供先において十分検討されたものを編集委員会でチェックし内容の客観性を確保する。