

第 10 回 建築における緊張管理

講師：大迫 一徳*

1. はじめに

前回の講座まで、主にポストテンション方式の PC 桁橋のプレストレスと緊張管理について説明してきました。今回は、建築における緊張管理と建築構造物にプレストレスを行う際の設計および施工の留意事項について解説します。

建築では、床板や壁板などの単純支持された部材から場所打ちプレレストコンクリート梁（写真 - 1）やプレキャストプレレストコンクリート（PCaPC）建築構造物などの架構までさまざまなところでプレストレスを行います。ここでは場所打ちプレレストコンクリート梁のプレストレスについて主に説明します。



写真 - 1 場所打ち PC 梁の施工状況

2. 建築における緊張管理

2.1 PC 建築構造物の設計

建築構造物は一般的に図 - 1 のように梁と柱が剛接合されたラーメン構造です。ラーメン構造の梁が PC 造の場合の構造計算方法について簡単に説明します。特徴は、以下の 2 点です。

- ① 梁の端部にも検討を要する断面力が生じるため、着目断面の位置は梁の中央以外に両端部が加わり、1本の梁で最低でも 3 箇所

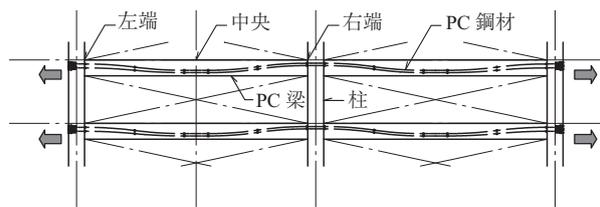
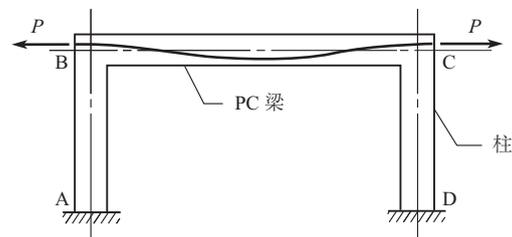


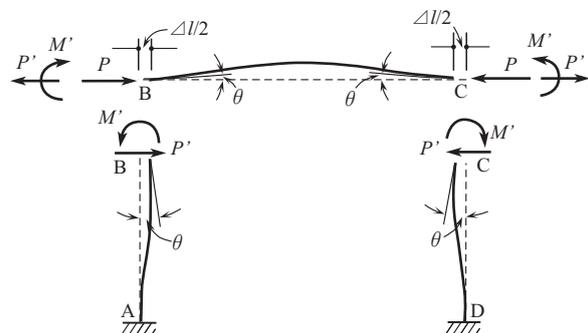
図 - 1 PC 造架構の例（側面図）

- ② プレストレスによって生じる二次力（不静定力）の計算が必要

単純梁にプレストレスを行った場合、梁の端部は自由に変形・回転できるため、プレストレスによる軸力とプレストレスの偏心による曲げモーメントが断面にそのまま生じます。これが一次力です。（詳しくは第 1 回 設計におけるプレストレスを見てください。）図 - 2 のラーメン構造の梁だけにプレストレスを行った場合、梁は



(a) 場所打ち一体式ラーメン架構の概略図



(b) 剛接点に生じる不静定力および不静定曲げモーメント
図 - 2 ラーメン架構に生じる力¹⁾

* Kazunori OSAKO : (株) ピーエス三菱 建築本部

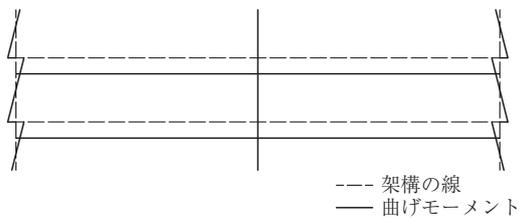


図 - 3 不静定曲げモーメント図

端部で柱に剛接合されて自由に変形・回転できないため、先に述べた一次力に加えて、この拘束により生じる不静定力を計算する必要があります。これが二次力です。

二次力の計算は、プレストレスと偏心距離によりモールの定理や図解法を用いて固定端モーメントを計算し、これを各部材の剛比によって分配するのが一般的です。詳しくは、参考文献2)などを参照してください。

長期設計荷重時の構造計算は、各着目断面について固定荷重と積載荷重による応力とプレストレスによる一次力と二次力による応力の合成応力が許容応力度を超えないことを確かめます。

構造計算におけるプレストレスの計算は、第3回 緊張計算について説明されるように、端部緊張力、摩擦係数およびセット量ならびに弾性変形、コンクリートのクリープと乾燥収縮およびPC鋼材のリラクセーションを仮定し、各着目断面のPC鋼材の引張力をあらかじめ計算します。

端部緊張力は、プレストレス導入時に緊張ジャッキおよび定着具内部の摩擦による損失を考慮して、表 - 1 のプレレストコンクリート設計施工規準・同解説（以下、PC規準という）¹⁾に規定されるプレストレス導入時のPC鋼材の許容応力度を超えないように、定着完了時の許容応力度を採用するのが一般的です。設計に用いる摩擦係数は後で説明する緊張計算の時に用いる値との差が小さくなるように、過去の同種の工事の実績値を用いるのが望ましいですが、通常は表 - 2 のPC規準¹⁾に解説される値を用います。セット量は各定着工法に規定される値を用います。弾性変形、コンクリートのクリープと乾燥収縮およびPC鋼材のリラクセーションによるPC鋼材の引張力の減少は、建築ではPC規準に解説される有効率を用います。

表 - 1 PC鋼材の許容引張応力度

応力度の状態	許容引張応力度	備考
プレストレス導入時	$0.75 \sigma_{pu}$ または $0.85 \sigma_{py}$ のうち小さい方とする	σ_{pu} : PC鋼材規格引張強度 σ_{py} : PC鋼材規格降伏点強度 ただし、呼び名が13mm以下のねじ切りPC鋼棒にあっては、左記の95%の値とする。
定着完了時	$0.70 \sigma_{pu}$ または $0.80 \sigma_{py}$ のうち小さい方とする	

表 - 2 PC鋼材の摩擦係数および見掛けのヤング係数

PC鋼材の種類	μ (1/rad)	λ (1/m)	\bar{E} (kN/mm ²)
PC鋼線	0.3	0.004	195
PC鋼より線	0.25	0.004	190
PC鋼棒	0.3	0.003	200

2.2 建築における緊張管理方法

先に説明したようにラーメン構造の場合、構造計算においてプレストレスを仮定し二次力（不静定力）を計算することが重要です。緊張管理によって各着目断面のプレストレスの大きさが構造計算と違った場合、二次力の大きさも変わり構造計算をやり直さなければならない場合もあります。したがって、各着目断面のプレストレスの大きさが構造計算で仮定した値と変わる摩擦係数をパラメーターとして管理する方法よりも、引張力と伸びを独立して管理する方法（以下伸び管理という）を採用する場合があります。プレストレスによる各着目断面のプレストレスは、構造計算で仮定した値と同じとするため、管理図の引き止め線は図 - 4 のようにします。

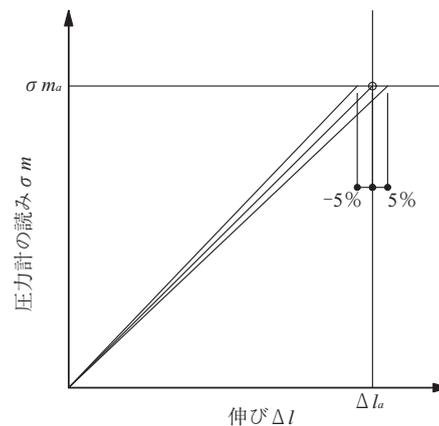


図 - 4 伸び管理の緊張管理図

2.3 緊張計算

緊張計算は、構造計算で用いた摩擦係数と見掛けのヤング係数を用いて伸びを計算します。見掛けのヤング係数も過去の同種の工事の試験緊張から得られた実績値を用いるのが望ましいですが、通常は表 - 2 のPC規準の解説に示される値を用います。

2.4 管理限界の設定

建築における緊張管理に対する規定は、プレレストコンクリート造建築物に対する告示の昭和58年建設省告示第1320号では触れられておらず、日本建築学会発行の「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2009」の19.15 cに、

プレストレスの導入応力の管理は、施工計画書の緊張計算書に基づいて行う。PC鋼材に与える引張力は、荷重計の示度およびPC鋼材の伸びを測定して確認し、伸びの測定値と計算値との差が5%以上にならないように導入応力を管理する。

とあり、またPC規準¹⁾31条には、

緊張材はそのおのおのに所定の初引張力が与えられるように緊張しなければならない。緊張材に与える引張力は、荷重計の示度およびPC鋼材の伸びを測定して確認

○ 講座 ○

する。伸びの測定値と計算値の間には、5%以上の差があつてはならない。

とあります。これらのことにより、建築における緊張管理は、1本ごとに緊張管理図を作成し、伸びの測定値と計算値に5%以上の差がないように管理するのが一般的です。前述のPC規準31条の解説には、

作業緊張力はキャリブレーションを行った圧力計を用いれば、普通は最終緊張力の±2%程度の精度で測定できる。また、伸びの測定は緊張材の長さが10m以上の場合、最小目盛1mmのスケールを用いて最終伸びの±1~2%の精度が得られる。したがって、測定誤差以外のPC鋼材の断面積・ヤング係数のばらつき、摩擦損失の推定誤差その他種々の誤差要因を考慮して、伸びの測定値と計算値との差が5%以上にならないように、導入応力を管理するように決めた。

とあります。ここでいう種々の誤差要因として述べられています5%は、第4回 緊張管理の伸びの測定のばらつきと考えられますから、標準偏差 $\sigma = 5\%$ とみなすことができます。そこで $\pm 2\sigma = 10\%$ を1本ごとの管理限界として管理すれば、グループごとの標準誤差は5%未満になります。ただし、これらの値は平均値に対する値ですから、PC規準の規定に合わせるためには平均値を計算値に近づければなりません。そのためには、摩擦係数および見掛けのヤング係数の測定の実績を積み重ねて整理し、構造計算に反映させることが大切です。

3. 設計および施工における留意事項

3.1 スラブ補強筋

場所打ちPC梁は図-5のように一般に厚さ150mm程度の広い床に取り付いており、PC鋼材は梁部分のみに配置されプレストレスが行われます。プレストレスにより梁は軸方向に縮み、同時に床にも力が伝わり軸方向に縮みます。このとき床には、図-5の着色部の圧縮応力域と、白地部の引張応力域はく裂および割裂応力域があり、引張応力に対する処置として図-6、写真-2のように補強筋を配置する必要があります。

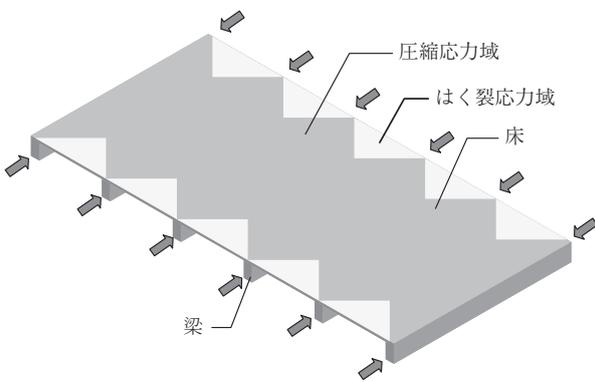


図-5 プレストressingによる応力図

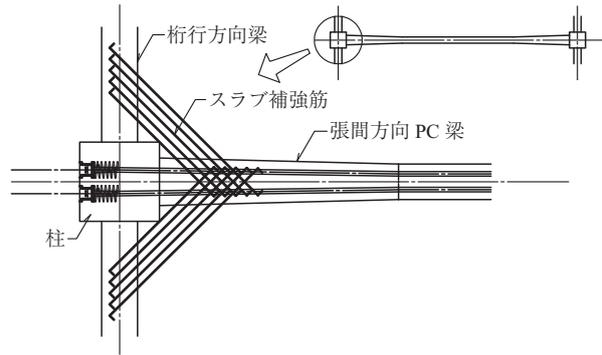


図-6 スラブ補強筋の例（平面図）

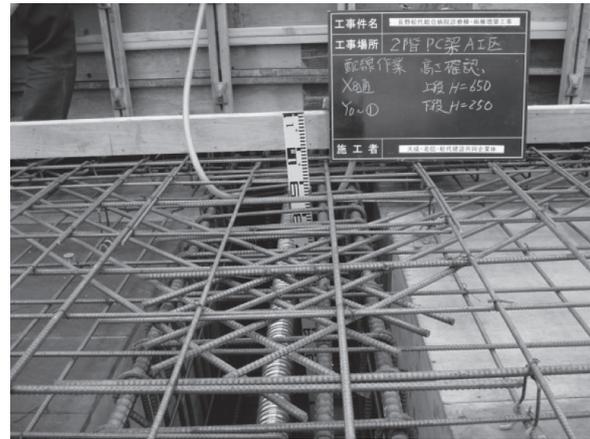


写真-2 スラブ補強筋

3.2 非構造壁

PC梁が含まれるフレーム内に図-7のような非構造壁が取り付けられている場合があります。PC梁と非構造壁が剛接合された状態でPC梁のプレストレスを行った場合、PC梁は軸方向に縮みますから、非構造壁にはせん断力が生じます。せん断力が過大な場合には非構造壁はせん断破壊しますので、PC梁と非構造壁の縁を切るか、非構造壁の施工をPC梁のプレストレス後に行うなどの処置をする必要があります。

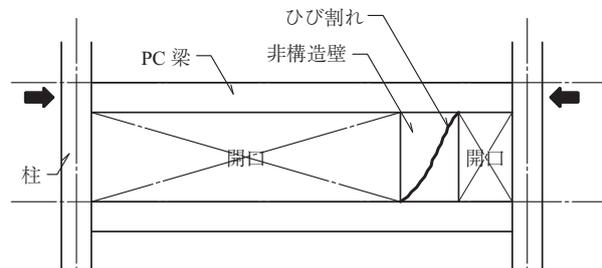


図-7 非構造壁のひび割れの例（側面図）

3.3 耐震壁

PC建築構造物は多数のフレームから組み立てられています。図-8のように、PC梁のフレームと平行するフレームが耐震壁の場合があります。この場合PC梁のフレー

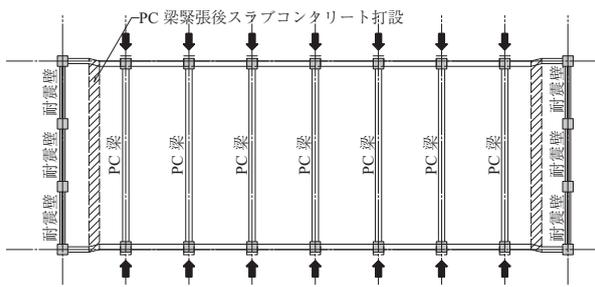


図 - 8 建物両側に耐震壁があるPC造建築構造物の例 (平面図, 変形を強調して書いています。)

ムはプレストレスを行うと軸方向に縮みませんが, 軸方向剛性が非常に大きい耐震壁のフレームは軸方向に縮まないために, スラブ内に面内せん断力が発生します。したがって, PC梁のフレームと耐震壁のフレームの縁を切っておくか, 耐震壁の施工をPC梁のプレストレス後に行うなどの処置をする必要があります。

3.4 プレストレスの時期

プレストレスを行って良い時のコンクリート強度は, PC規準¹⁾32条に

プレストレス導入時のコンクリートの圧縮強度は最大導入応力(プレストレス導入直後の最大圧縮応力度)の1.7倍以上, かつ, ポストテンション方式の場合は20 N/mm²以上, プレテンション方式の場合は30 N/mm²以上とする。

とあり, その解説には

ひとたび導入された応力を過度の応力減退なしに保持しうること。

とあります。コンクリート強度が規定値に達しても乾燥収縮などが大きい場合, 構造計算で仮定した有効率より大きくなるおそれがありますから, プレストレスを行う時期はコンクリート圧縮強度以外の特性も考慮して決めます。また, 最近ではプレストレス導入時に必要とされるコンクリート圧縮強度が20 N/mm²を超える定着具を用いる場合がありますので, プレストレスを行う前に確認する必要があります。

3.5 プレストレスの順序

PC建築構造物は, 図-5のように1枚の床に複数のPC梁が配置され, PC梁だけプレストレスが行われます。したがって, プレストレスは, 床の変形が偏らないように, 全体を少しずつ変形させるように, プレストレスを行う前に計画を立てる必要があります。

3.6 圧力計

プレストレスおよび緊張管理を行う際に用いる圧力計は一般にブルドン管圧力計が用いられます。ブルドン管圧力計は, JIS B 7505において0.6級および1.6級の規格のものについて, 製作時の示度の許容差をそれぞれ最高

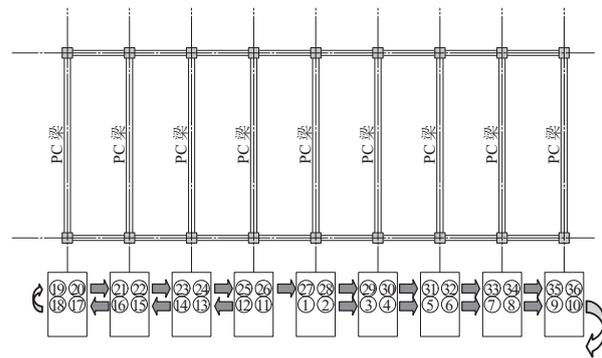


図 - 9 緊張順序の例 (数字は緊張順序)

圧力の±0.6%および±1.6%と規定しています。所要緊張力に比べて容量の過大なジャッキを用いると低スケールで測定することになり, 誤差が大きくなり望ましくありません。

3.7 PCaPC造

プレキャスト工法の留意点についても解説します。プレキャスト工法は, 工場で製造したプレキャスト部材を現場でプレストレスを利用して組み立てる工法です(写真-3)。施工の各段階で, 部材の支持条件および部材の断面が変化します(図-10)。また, プレストレスの時期によっても応力が変化します(図-11)。たとえばCでは, プレキャスト梁を柱に載せた状態では梁の支持条件は単純支持で, 場所打ちコンクリートを打設し梁のプレストレスを行った状態では剛接合へと変化し, 梁の断面はプレキャスト梁単体から場所打ちコンクリートを含めた合成梁へと変化します(図-12)。構造計算では施工の順序とプレストレスの時期を仮定して計算を行っていますので, プレストレスの時期を確認する必要があります。

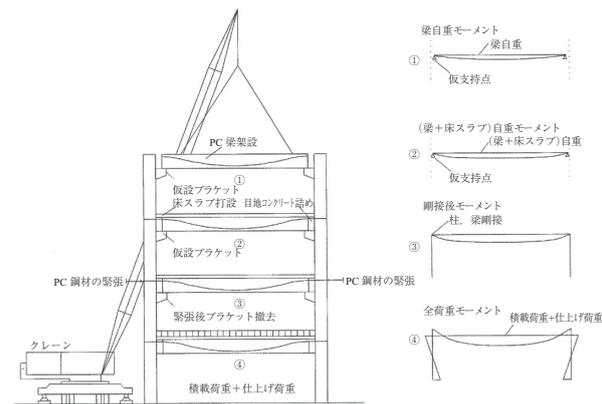


図 - 10 プレキャスト工法の施工順序と応力の変化

4. おわりに

今回は建築において実際に行われている緊張管理について解説しましたが, 統計的手法により行われているのは少ないのが実情です。また, PC梁の長さがそれほど長く

	梁自重	床板	場所打ちコン	仕上げ+積載
A		プレストレスング		
B			プレストレスング	
C				プレストレスング

図 - 11 プレストressing時期による応力

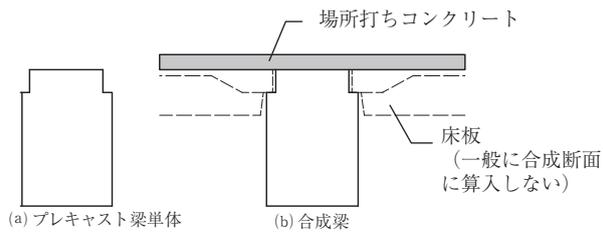


図 - 12 梁断面の変化

ないため片引きが多く、試験緊張による摩擦係数および見掛けのヤング係数のデータが不足しています。今後は建築においても試験緊張をできるだけ行い、データを積み重ねたうえで緊張管理を統計的手法により行い、PC建築構



写真 - 3 PCaPC造建築構造物

造物の品質管理の質を上げていかなければなりません。今回は特殊構造のプレストレスングです。

参考文献

- 1) 日本建築学会：プレストレスコンクリート設計施工規準・同解説，1998
- 2) 例えば，プレストレスコンクリート工学会：フレッシュマンのためのPC講座・改訂版，2007，p.115

【2012年2月29日受付】



刊行物案内

高強度 PC 鋼材を用いた PC 構造物の設計指針

平成 23 年 6 月

定 価 4,800 円 / 送料 500 円

会員特価 4,000 円 / 送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会