

# [76] PC構造物のプレストレス導入に伴う梁・柱・スラブの挙動

正会員 藤井 忠義 (清水建設研究所)

## 1. まえがき

最近、建築構造物にPC(プレストレストコンクリート)を使用する例が多く、特にPRC(プレストレスト鉄筋コンクリート、Ⅲ種PC)を梁、スラブに適用する例が増加傾向にある。このPRCはひび割れ発生を許さないPCとひび割れ発生を認めるRCの中間的性質を持ち、フルプレストレス又はパーシャルプレストレストコンクリートに比べて導入プレストレスが小さく、コンクリートに耐久性上問題にならない程度の小さなひび割れ発生を許す点に特徴がある。又PRCでは導入プレストレスが小さいため不静定二次応力も小さく240 kgf/cm以上の建築工事で一般に使用されている程度の強度のコンクリートを利用できるメリットがある。このPRCでは導入プレストレスも小さい事からアンボンドテンドン(シーストストランド)を使用する事が多い。このアンボンドテンドンは断面も鉄筋なみであり、ストランドはグリースで包まれており、ポリエチレンの被覆があるため耐久性もあり、取扱いも簡単である。アンボンドテンドンを使用したPC構造物の実施例はまだ少なく、又実構造物でのプレストレス導入に伴う構造物の各部材の力学的挙動について実測を行なった例も少ないことから、ここではアンボンドテンドンを使用した大梁を持つPRC構造物のプレストレス導入に伴う大梁及びそれに接する梁、柱、スラブ等の力学的挙動についての測定結果を報告する。

## 2. 建物の概要

地上3階、塔屋1階の事務所で建築面積1,865 m<sup>2</sup>のRC造でスパン16.5 mのPC梁を持つ。建物の平面図及び立面図を図-1に示す。

## 3. PC梁について

### 3.1 PC梁の設計

PC梁は2, 3, R階のスパン16.5 mの大梁各10

本(②~⑪通り)の計30本で同一断面を持ちPC鋼材としてアンボンドテンドンを使用した。アンボンドテンドンの固定端は大梁の延長上のRC梁中に設け、片引き緊張により一本ずつくさび定着した。

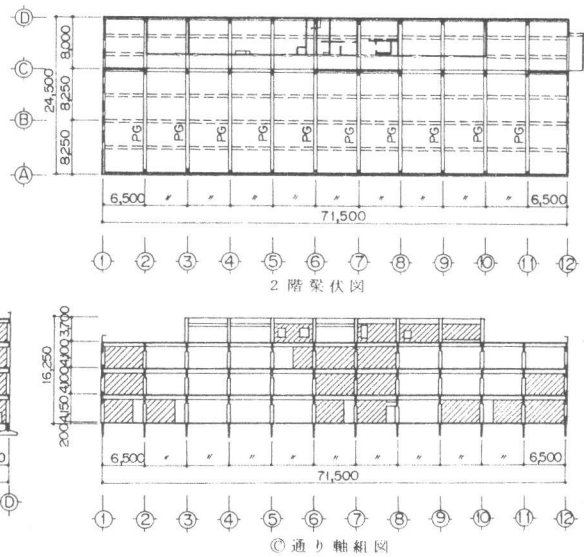
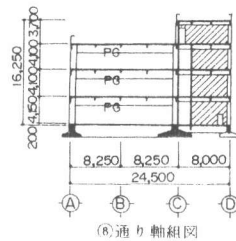


図-1 建物の平面図及び立面図

図-2 3階大梁断面図

固定荷重と積載荷重によるモーメントをプレストレスによりキャンセル(梁中央断面下端の引張縁応力を0とする)する事とし、プレストレス導入により生じる不静定二次モーメントはキャンセルしない事とした。

設計用緊張力の計算値はR階梁 136.7 t、3階 97.2 t、2階 103.2 tで使用したアンボンドテンドンはR階6本、3及び2階4本とした。

コンクリートのひび割れ幅としては建物の用途、環境条件を考慮して

0.1 mmを目標とした。ひび割れ幅、ひび割れ間隔の計算には日本建築学会で作成中の「プレストレスト鉄筋コンクリート(Ⅲ種PC)構造設計・施工指針案」のひび割れ幅算定式(CEB/FIPの修正式)を使用した。

図-2にPC梁の断面の一例を、又図-3にテンドンの配線状況及び定着部の詳細を示す。

### 3.2 使用材料

本構造物に使用したコンクリートは設計基準強度（材令 28 日）が  $240 \text{ kgf/cm}^2$  の普通コンクリートでスランプは 15 cm で現場で流動化剤を添加して 18 cm にあげた。コンクリートの調合を表-1 に示す。

鉄筋は S D 35 で主筋には D 19 及び D 25 を、スラブ筋、フープ、スタラップには D 13 を使用した。

P C 鋼材はアンボンドジーストストランド（B 種）19 本より、直径 17.8 mm を使用した。その性質を表-2 に示す。

表-1 コンクリートの調合

種別	W/C (%)	S/A (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	重量 (Kg/m <sup>3</sup> )				
					セメント	水	細骨材	粗骨材	混和材
普通	54.5	46.7	15	4	305	166	858	1,002	0,763

細骨材 砂（相模川水系）5 mm 比重 2.60 粗粒率 2.80  
粗骨材 砂利（ ” ）25 mm “ 2.66 “ 6.94  
混和剤 AB 減水剤 ポンリスNo.70

### 4. 計測

本 P C 構造物の建築工事に際し、プレストレス導入に伴う梁、柱、スラブの力学的挙動について測定を行った。測定した項目はプレストレス導入に伴う梁のむくり、柱の水平変位と曲げ挙動、コンクリート及び鉄筋のひずみ等で以下に述べる。

#### 4.1 プレストレス導入に伴う P C 梁のむくり

##### 1) 測定法

⑤、⑧通りの大梁の全スパンにわたってピアノ線をはり、プレストレス導入前のピアノ線位置を梁にマークした。プレストレス導入後、最初のマーク位置のピアノ線に対する鉛直移動量でむくりを測定した。

##### 2) 測定結果

2, 3, R 階の P C 梁の緊張によるむくりを図-4 に示す。

##### 3) 考察

プレストレス導入により大梁にはむくり上がりが見られ、梁中央部が最も大きく最大 1.5 mm 程度のむくり上りを生じている。これはプレストレス導入時に固定荷重のみが作用し、積載荷重が作用していないために梁全体が上側にむくれているためである。積載荷重によるたわみは

$$\delta_L = \frac{5WL^4}{384EI} \approx 3 \text{ mm} \quad (\text{但し } E = 2.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2, I = 2.554 \times 10^7 \text{ cm}^4, \ell = 16.5 \text{ m}, \text{積載荷重: } 300 \text{ kg/m}^2 \text{ より } W = 1660 \text{ kg/m})$$

と考えられ、積載荷重が作用すれば逆に下方に 1.5 mm 程度たわむと考えられる。

#### 4.2 P C 梁を支持している R C 柱の水平変位と曲げ応力

##### 1) 測定法

梁のプレストレス導入に伴う柱の水平変位の測定のため、床スラブから鋼材（アングル）を立てそれにダイヤルゲージを取り付け 2 階柱の頂部で測定した。又柱の曲げ応力測定のためには 1 階、⑤通りの P C 梁の両側柱の

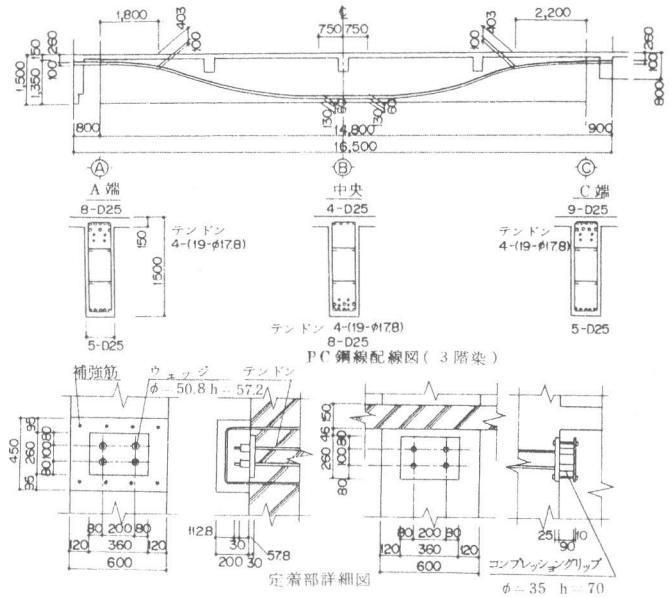


図-3 P C 鋼線配線状況及び定着部詳細

表-2 アンボンドテンドンの性質

種類	基本径 (mm)	シース外径 (mm)	単位重量 (kg/m)	引張荷重 (t)	降伏荷重 P <sub>y</sub> (t)	許容引張荷重 0.85 P <sub>y</sub> (t)
アンボンド 19B-17.8	17.8	21.2	1.750	39.5	33.6	28.6

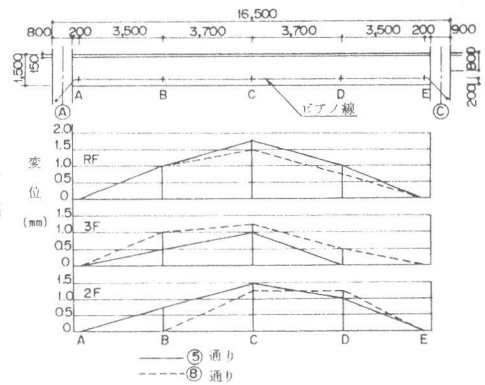


図-4 プレストレス導入による大梁のむくり上がり（2階梁）

柱頭、柱脚部にモールドゲージを計8個埋め込んでコンクリートのひずみを測定し、応力に換算した。

### 2) 測定結果

柱の水平変位は表-3に、柱の内部のモールドゲージによるひずみは図-5に示す。

### 3) 考察

プレストレス導入による柱の水平変位は  
 ④通り柱 0.6~0.8 mm  
 ③通り柱 0.2~0.4 mm

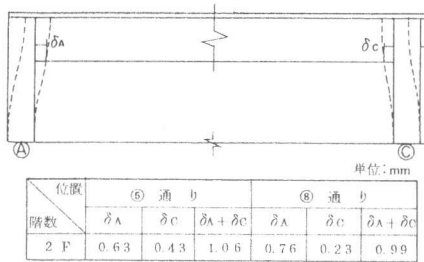


表-3 プレストレス導入による柱の水平変位

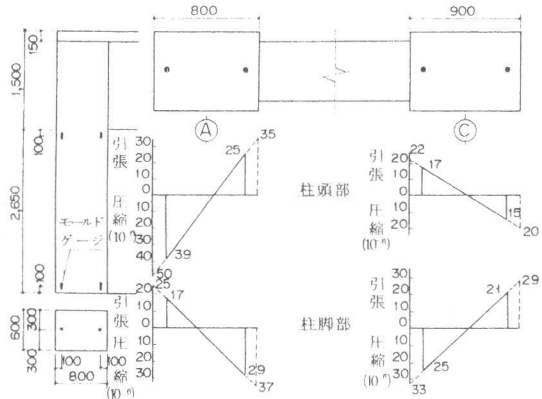


図-5 プレストレス導入による柱の曲げひずみ(1階)

で計約1mmの変位を示した。③通り柱はRC架構と連続し

ており拘束が大きい変位は④通り柱に比べて小さい。T形梁で計算した梁の短縮量は  $\delta = Pl/AE$  で計算され1.2mmと実測値より少し大きい、柱の曲げ剛性を考慮すると計算値をほぼ満足していると判断される。

柱には梁の短縮による曲げが生じており、④通りの柱の方が③通り柱より水平変位も大きく、大きな曲げを生じており、引張側約30 $\mu$ (弾性係数  $E = 2.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$  として引張応力で約6  $\text{kgf/cm}^2$ )、圧縮側約40 $\mu$ (8  $\text{kgf/cm}^2$ の圧縮応力)を生じているがコンクリートにはひび割れを生じなかった。

### 4.3 PC梁のコンクリート、鉄筋のひずみ

#### 1) 測定方法

コンクリートのひずみは⑤通り、2階梁を利用し2種の方法で測定した。1つは梁底に貼ったワイヤーストレインゲージ(W.S.G)5点によるもので他はコンクリート内部に埋め込んだ埋め込み型ひずみ計6点によるものである。鉄筋のひずみは引張側主筋が3段に配置された⑤通りR階梁の主筋にW.S.Gを貼って測定した。

#### 2) 測定結果

プレストレス導入による大梁のコンクリート、鉄筋のひずみを図-6, 7に示す。

#### 3) 考察

W.S.Gと埋め込み型ひずみ計によるコンクリートのひずみは似た傾向が見られた。

コンクリートの最大圧縮ひずみは埋め込み型ひずみ計により得ら

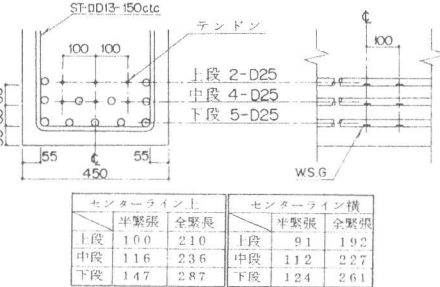


図-7 梁の主筋のひずみ(R階梁)

れた梁中央下端に生じたもので126 $\mu$ である。コンクリートの弾性係数を  $E = 2.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$  とすると約26  $\text{kgf/cm}^2$ の圧縮応力を生じていると考えられる。梁端部下端は逆に最大

39 $\mu$ の引張ひずみ(約8  $\text{kgf/cm}^2$ の引張応力)を生じており、上端側と下端側の埋め込み型ひずみ計は逆の応力状態を示すが、上端側のひずみはスラブがあるためか全て圧縮状態にあり引張は生じていなかった。

プレストレス導入により梁底主筋には190~290 $\mu$ の圧縮ひずみを生じており、圧縮応力は400~600  $\text{kgf/cm}^2$ で最下層(下段)の鉄筋程大きい圧縮を受けており、中段、上段に行く程小さくなっている。又半分のテンションを緊張した半緊張時のコンクリート、鉄筋に生じたひずみは全緊張時の約半分のひずみを示していた。

#### 4.4 PC梁に連続するRC梁及び直交するRC桁梁の挙動

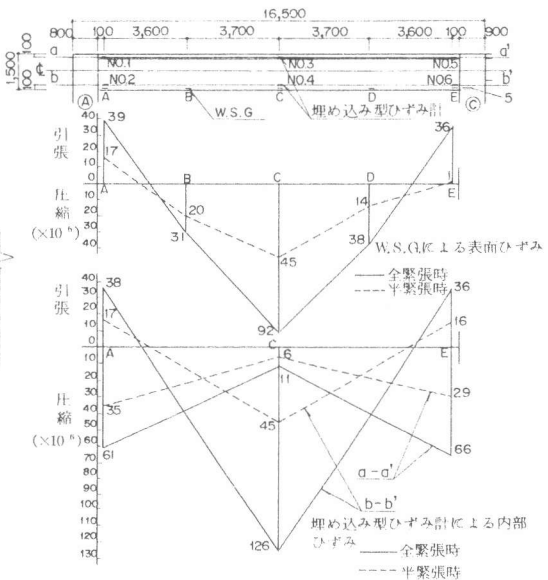


図-6 梁のコンクリートのひずみ(2階梁)

### 1) 測定法

PC梁の延長上の2階RC梁(幅60cm, せい80cm)のコンクリート中の上部と下部にモールドゲージを埋め込んでひずみを測定した。直交桁梁は最もきびしい曲げを受けると思われる2階, (A)通り, (1)~(2)間の桁梁のコンクリート表面に对称にW.S.Gを計8点貼ってプレストレス導入前後のひずみを測定した。

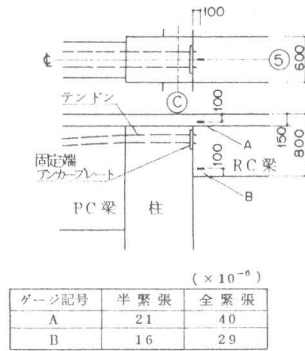


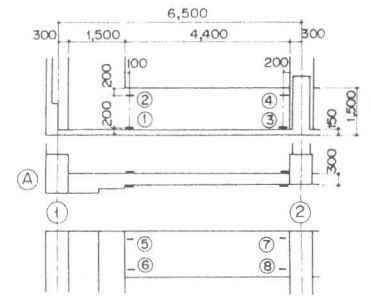
図-8 プレストレス導入による連続RC梁の引張ひずみ

### 2) 測定結果

PC梁の延長上のRC梁のひずみは図-8に, 又直交桁梁のひずみを図-9に示す。

### 3) 考察

PC梁の延長上にあるRC梁のコンクリートは上部に40 $\mu$ , 下部に29 $\mu$ の引張ひずみを生じた。この箇所は固定端に近く引張が生じる所であるが鉄筋も多く引張によるひび割れは見られなかった。又上下のひずみの差は10 $\mu$ にすぎず, 曲げ応力は無視できるオーダーであった。桁梁には曲げを生じているが引張ひずみは最大で6 $\mu$ と小さい事から曲げ応力は問題にならない位小さく, 又ひび割れの発生も見られなかった。



ゲージ番号	半緊張	全緊張	ゲージ番号	半緊張	全緊張
①	-3	-6	⑥	+3	+1
②	0	-2	⑦	+1	+5
③	-14	-38	⑧	-9	-15
④	+5	+6	⑨	-3	-9

+ : 引張 - : 圧縮

図-9 プレストレス導入による直交桁梁の曲げひずみ

### 4.5 コーナー部スラブの挙動

#### 1) 測定法

プレストレス導入に伴う3階スラブ上面のコンクリートのひずみをスラブ2ヶ所でW.S.G計36枚で測定した。

#### 2) 測定結果

スラブコンクリート表面の応力分布図を図-10に示す。

#### 3) 考察

プレストレス導入と平行な方向に圧縮を, それ以外の方向には引張を生じており柱, 梁接合部から遠くなる程一般にひずみは小さくなっている。最大の圧縮ひずみは44 $\mu$ , 引張ひずみは30 $\mu$ であり, スラブにはひび割れは生じなかった。

### 4.6 測定結果のまとめ

今回のPC構造物では梁の導入プレストレスも100t程度と小さく, 心配されたひび割れ発生等の悪影響は見られなかった。柱の水平変位は梁の短縮量の計算値にほぼ近く, 柱, 桁梁には曲げが生じていたが曲げ応力は小さくひび割れを生じるまでには致らなかった。スラブにはプレストレス導入に伴う圧縮, 引張応力を生じていたがひび割れ発生に致る程大きくなかった。

### 5. むすび

今回のPC構造物の設計, 施工, 計測を通して施工時のプレストレス導入による梁, 柱, スラブの挙動が明らかになった。

現場での計測のために測定データの精度は十分とは言えないがPRC構造物のプレストレス導入に伴う各構造物材の挙動の現場計測の例はほとんどなく有意義と思われる。詳細な検討は今後行なっていく予定であり, 又実験室レベルの精度のよい実験とも対比してPC構造物のプレストレス導入による挙動を明らかにしていきたい。

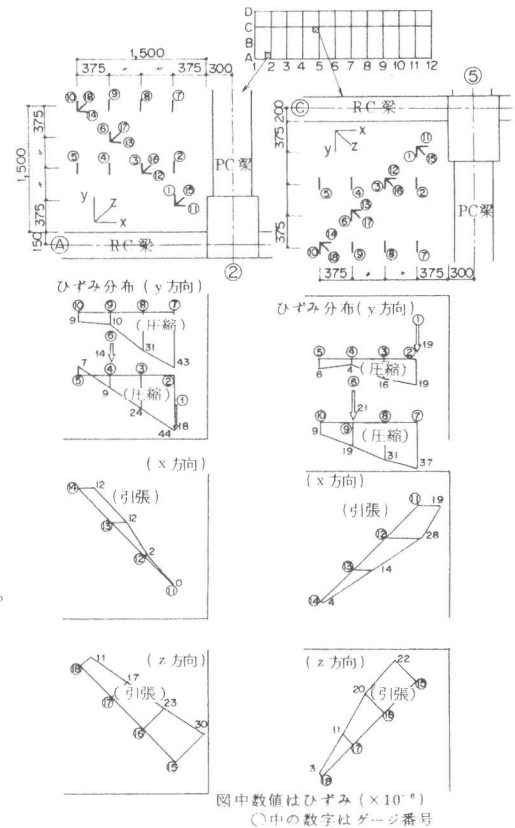


図-10 プレストレス導入によるコーナー部スラブのひずみ分布