

遠心鑄造PCポールについて

横 田 博 臣*

1. 遠心力鉄筋コンクリート ポールの種類と特性

JIS A 5309-1960 によると、遠心力鉄筋コンクリートポール（Cポール）には1種と2種とがあり、主として1種は送電、配電、通信、信号用として、また2種は電車線路用として使用される。

2種ポールB形の円筒形柱（直径 25 cm および 30 cm の2種類）を除く他の種類はすべて 1/75 のテーパポールで、その末口径は 12 cm より 28 cm にわたる8種類、また長さは 6~16 m にわたり、これらと荷重条件の組合わせにより、1種は 60 形式、2種は 70 形式、合計 130 形式に達する。いずれも壁厚は全長にわたり一定とする。

設計曲げモーメントの形状は次の4形式に大別され（図-1）、また曲げ破壊モーメントは設計曲げモーメントの2倍以上でなければならない。

コンクリート表面のひびわれ巾は設計荷重時において最大 0.25 mm、また無荷重時において 0.05 mm 以下でなければならない。

2種ポールにはさらに曲げ剛性の規定があり、ポールを支持点（地際に相当）で支え、片持ばりとして末口より 25 cm の箇所には横荷重を加えた場合、長さ 8 m および 9 m 以上のポールに対し、支持点よりそれぞれ 6 m および 7 m の位置のたわみが表-1 のように制限されている。

2. PC ポールの方式と構造ならびに計算記号

(1) 方式

プレストレス導入方式としてプレテンション方式（以下プレテンと呼ぶ）とポストテンション方式（以下ポステンと呼ぶ）との2方式がある。

プレテン式はPC鋼線の緊張作業を鑄造工程の前工程で行ない、このさい緊張総力を型わくで支持するため、その座屈強度を増加する必要があり、またプレストレス導入にたえるまでコンクリートを養生するため製品の早期脱形が困難となり、これがため型わくの使用回転率が低下する欠点がある。

* 東急コンクリート工業KK常務取締役

図-1 C ポール設計曲げモーメントの形式 (JIS A 5309)

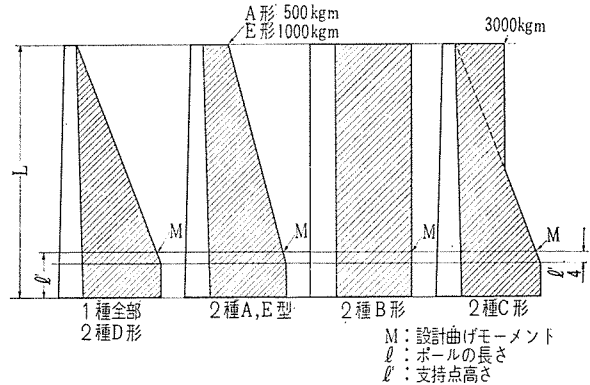


表-1 たわみの制限

形 式	たわみ (mm)	支持点における曲げモーメント
A, B-25, C E	100 50	M/2
D-19 B-30, D (末口径 19 cm を除く)	100 50	$\frac{2}{3} M$

注: M: 支持点における設計荷重時の曲げモーメント
たわみ: ポールを支持点で支え、片持ばりとして末口より 25 cm の箇所に横荷重を加えた場合、支持点より 6 m (長さ 8 m のポールの場合) または 7 m (長さ 9 m 以上のポールの場合) の位置の横方向たわみ

ポステン式はプレストレス導入を脱形後製品が十分な強度を発揮する時期（鑄造後 1.5 週以後）に随時行ないうることを、したがって型わくの強化を必要とせず、また型わくの使用回転率も通常のCポールと変わらない。

プレテン式が構造的にPC鋼線全部にポール長以上に要求するのに対し、ポステン式はPC鋼棒の長さを末口に向って段階的に減少し、柱体内の任意の位置で定着することにより、各断層のプレストレスを必要量に調整できるため、PC鋼棒の量を節約することができる。

以上を総合するのに両者には製造工数および材料コストの面で一長一短があり、にわかにはどちらを有利とするかを断じがたい。

(2) 構造

PCポールに用いる鉄筋カゴの編成形状はPCポールのそれと全く同じであるが、PC鋼材と鉄筋とは交互に等間隔に配筋し、ポールの曲げに対する方向性がないようにする。

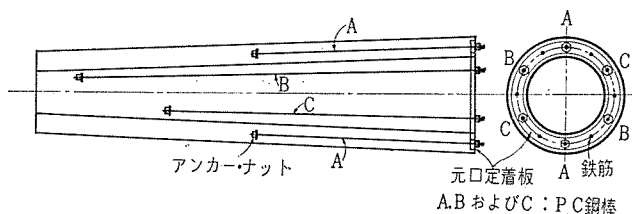
1) プレテン式の場合 PC鋼線は通常 5~7 mm

直径のものが用いられ、これらを型わくの両端面に緊張定着するには、各鋼線を面板にそう入したのち、両端をヘッディングし、一端の面板と型わく端面との間にオイルジャッキをそう入して所定まで同時緊張を行ない、次に間筒をそう入してオイルジャッキを取はずして行なう。しかるのち、コンクリートの遠心鑄造を行ない、その強度が所定の値に達したとき、鉄せん断またはガス切断によってPC鋼線の定着を除去し、かくしてプレストレスの導入が完成する。

2) ポステン式の場合 PC鋼棒の定着は通常定着板、転造ネジおよびナットの組み合わせによって行なう。定着板はボールの壁厚に対するコンクリートのかぶりによって、その支圧面積がおのづから定まり、これとコンクリートの圧縮強度 (σ_{28}) およびPC鋼棒の降伏点応力度 σ_{py} とから、PC鋼棒の幹径は一義的に定まる。通常呼び径 10, 12, 14 mm の転造ネジPC鋼棒が用いられる。

配筋は図-2 に示すように、同長のもの2本を1組(A, B, C など)として、断面直径上に対象に配置し、一端はボール元口端面の定着板に、また他端はコンクリート中の埋設定着板にナットで締結し、この状態でコンクリートの遠心鑄造を行なう。

図-2 ポステン式PCボールにおけるPC鋼棒の配筋図



コンクリートが所定の強度に達した時期 (通常 1.5~2 週以後) に、ボール元口側より2個のセンターホールジャッキを同時に使用し、断面直径に対象に配した同長の長さの最短の組より始め、長さの順にそれぞれ所定の初期緊張力を与えたのち、元口側のナットを緊定して行なう。

なおプレストレス導入に際し、定着板の下面付近に引張応力にもとづく軸方向きれつが入るおそれがあるので、この付近のコンクリートに適当な強化措置を施しておく必要がある。

(3) 計算記号

- A_c : ボールの断面積
- A_e : ボールの換算断面積
- A_p : PC鋼材の総断面積
- A_s : 鉄筋の総断面積
- A_{si} : 柱体ブロックにおける鉄筋の平均断面積
- A_{srx} : 曲げ剛性を確保するために必要な断面 X における最小有効鉄筋断面積

- a_a : PC鋼棒1本あたりの所要支圧面積 (ポステン式の場合)
- a_p : 1組 (2本) のPC鋼棒の断面積 (ポステン式の場合)
- c_p : PC鋼材単価
- c_s : 鉄筋鋼材単価
- d_0 : ボールの末口径
- d_1 : 支持点 (地際に相当) におけるボールの外径
- d_2 : ボールの元口径
- d_p : PC鋼材の直径
- d_x : 末口より x の距離におけるボールの外径
- d_X : 支持点より X の距離におけるボールの外径
- E_c : コンクリートのヤング係数
- E_p : PC鋼材のヤング係数
- E_s : 鉄筋のヤング係数
- I_c : ボール断面の断面2次モーメント
- I_e : 換算断面の断面2次モーメント
- K_c : Cボールにおける主筋原価
- K_{pc} : PCボールにおける主筋原価
- L : ボールの全長
- l : 元口より支持点までの距離
- M : 地際 (支持点) における設計曲げモーメント
- M_r : 支持点における曲げ剛性規定モーメント
- M_{rx} : 断面 x における曲げ剛性規定モーメント
- M_{rX} : 断面 X における曲げ剛性規定モーメント
- M_u : 破壊曲げモーメント
- N_X : 断面 X におけるPC鋼材の所要本数
- n : コンクリート対鋼のヤング係数比 ($=E_p/E_c = E_s/E_c$)
- P_{cX} : 断面 X においてPC鋼材に作用している総有効引張力
- P_i : i 番組 (2本) のPC鋼棒に最初に与えた引張力 (ポステン式の場合)
- P_t : プレストレスを与えた直後1組 (2本) のPC鋼棒に作用している引張力 (ポステン式の場合)
- ρ_p : PC鋼材の鉄筋比
- ρ_s : 鉄筋の鉄筋比
- r : ボール断面の平均半径 ($= (r_0 + r_i)/2$)
- r_i : ボール断面の内半径
- r_0 : ボール断面の外半径
- r_s : PC鋼材および鉄筋の配筋半径
- t : ボール断面の壁厚
- t_p : PC鋼材断面積を半径 r_s の円周上に展開した場合の換算肉厚
- t_s : 鉄筋断面積を半径 r_s の円周上に展開した場合の換算肉厚
- W_{max} : 曲げにより発生しうる最大ひびわれ巾
- X : ある断面の支持点 (地際) からの距離
- X_r : 曲げ剛性規定位置 (表-1 参照)
- x : ある断面の末口からの距離
- y_X : 断面 X におけるボールの曲げたわみ
- α : ボール断面における中立軸の中心半角
- δ_r : 曲げ剛性規定たわみ (表-1 参照)
- ϵ_c : ある断面におけるコンクリートの最大曲げ圧縮ひずみ
- ϵ_s : ある断面における r_s 円上の最大曲げ引張ひずみ
- σ_c : ϵ_c に対応するコンクリートの最大圧縮応力度
- σ_{ca}' : コンクリートの許容曲げ引張応力度

- σ_{cu} : コンクリートの圧縮強度
- σ_{28} : コンクリートの 28 日材令圧縮強度
- σ_{pe} : PC鋼材に作用している有効引張応力度
- σ_{pt} : プレストレスを与えた直後のPC鋼材の引張応力度
- σ_{pu} : PC鋼材の引張強度
- σ_{py} : PC鋼材の降伏点応力度
- σ_{pe} : コンクリートの乾燥収縮およびクリープにもとづくPC鋼材導入応力度の減少量
- σ_{pmax} : 設計荷重作用時のPC鋼材の最大引張応力度
- σ_{sy} : 鉄筋の降伏点応力度
- σ_{smax} : 鉄筋の最大引張応力度
- σ_{scr} : 曲げによるひびわれ発生直前の鉄筋の引張応力度 (Cポールの場合)
- ξ : 曲げ破壊時におけるPC鋼材の貢献度
- η : 剛性係数
- 添字 r : 曲げ剛性に関するもの
- t : プレストレスを与えた直後に関するもの
- X : 断面 X に関するもの
- x : 断面 x に関するもの
- 肩の $'$: 1次計算に関するもの
- $''$: 3次計算に関するもの

3. PCポールの設計

以下に述べるのは壁厚一定の 1/75 テーパーポールの場合であるが、円筒柱 (2種ポールB形) の場合は一部を修正することにより、きわめて簡単に計算できる。

(1) 比例式

図-3 において、元口より支持点 (地際) までの距離

$$l' \approx 0.17L$$

距離 X と x との関係

$$X = (L - l') - x \approx 0.83L - x$$

$$x \approx 0.83L - X$$

ポール外径

$$d_x = d_0 + x/75, \quad d_1 = d_0 + 0.83L/75$$

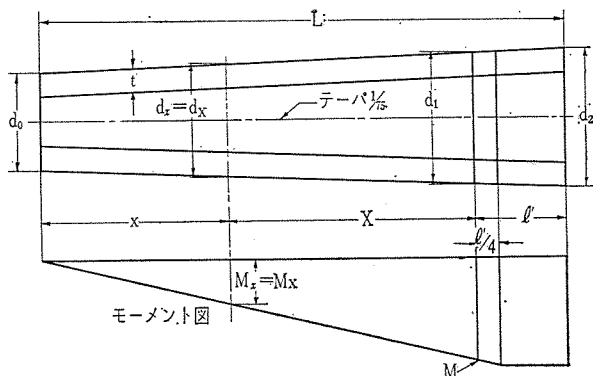
$$d_X = d_1 - X/75$$

曲げ剛性規定モーメント

$$M_{rx} = M_r x / (L - l') \approx 1.2 M_r x / L$$

$$M_{rX} = M_{rx} = 1.2 M_r (0.83L - X) / L$$

図-3 無筋コンクリート柱断面図



(2) 無筋の場合の断面 2 次モーメント

無筋の場合の断面 X における断面 2 次モーメントを I_{cX} とすれば,

$$I_{cX} = \frac{\pi}{64} \{d_X^4 - (d_X - 2t)^4\} \\ = \frac{\pi}{8} t d_X^3 \zeta \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに

$$\zeta = 1 - 3 \frac{t}{d_X} + 4 \left(\frac{t}{d_X}\right)^2 - 2 \left(\frac{t}{d_X}\right)^3 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\approx a - b \frac{t}{d_X} \quad \dots\dots\dots(2)'$$

a, b は t および d_X , したがって d_0, t および X の範囲によって定まる係数であって、これらを計算によって求めるには最小 2 乗法にもとづく次式を用いる。

$$b = \frac{\sum \zeta \cdot \Sigma \left(\frac{t}{d_X}\right) - m \Sigma \zeta \left(\frac{t}{d_X}\right)}{m \Sigma \left(\frac{t}{d_X}\right)^2 - \left\{ \Sigma \left(\frac{t}{d_X}\right) \right\}^2} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$a = \frac{\sum \zeta}{m} + \frac{\Sigma \left(\frac{t}{d_X}\right)}{m} \cdot b$$

すなわち末口より支持点までの間を適当に (例えば 2m おきに) $(m-1)$ 等分割し、末口をふくめた m 箇の断面について $(t/d_X), (t/d_X)^2, \zeta$ を計算し、式 (3) によって a, b を計算する。この際 b の計算精度を相当に高くすることが必要である。いま

$$c = bt \quad \dots\dots\dots(4)$$

とおけば,

$$I_{cX} \approx \frac{\pi t}{8} \left(d_1 - \frac{X}{75}\right)^3 \left(a - \frac{c}{d_1 - X/75}\right) \quad \dots\dots\dots(1)'$$

(3) 無筋の場合のコンクリートポールの曲げたわみ (ひびわれ発生のない場合)

ひびわれが発生しないかぎり、全断面は有効で、抵抗曲げモーメントの中立軸は断面直径に一致する。この条件のもとに、JIS A 5309 による曲げ剛性規定モーメントを受けた場合のポールは近似的に支持点で固定され、末口の位置に横方向集中荷重を受ける片持ばりとみなしうるので、支持点より規定の距離 (高さ) における横方向の曲げたわみは次のように計算される。

1) テーパーポールの弾性変形線の傾斜角 i_X

$$i_X = \int_0^X \frac{M_{rX}}{E_c I_{cX}} dX$$

これに (1) の M_{rX} , 式 (1) および (2)' を代入し、 \ln を自然対数とすれば

$$i_X = 1.72 \times 10^4 \frac{M_r}{E_c L t} \cdot \left[\frac{1}{c} \left(\frac{a}{c} d_0 - 1 \right) \left\{ \ln \frac{1 - \frac{aX}{75(ad_1 - c)}}{1 - \frac{aX}{75d_1}} \right\} \right]$$

$$+ \frac{d_0}{c} \left(\frac{1}{d_1 - \frac{X}{75}} - \frac{1}{d_1} \right) \dots\dots\dots (5)$$

2) テーパーポールの弾形変形線のたわみ y_x

$$y_x = \int_0^x i_x dX$$

これに式(5)を代入し、lnを実用対数logで表わすと

$$y_x = 2.97 \times 10^6 \frac{M_r d_x}{E_c L t^2 b} \left\{ \left[\left(\frac{a}{c} d_0 - 1 \right) \left(1 - \frac{X}{75 d_1} \right) - \frac{d_0}{d_1} \right] \log \left(1 - \frac{X}{75 d_1} \right) - \left[\left(\frac{a}{c} d_0 - 1 \right) \left(1 - \frac{X}{75 d_1} \right) - \frac{d_0 - \frac{c}{a}}{d_1} \right] \log \left(1 - \frac{X}{75 \left(d_1 - \frac{c}{a} \right)} \right) - \frac{1}{2.3} \cdot \frac{d_0}{d_1} \cdot \frac{X}{75 d_1} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

(4) 曲げ剛性を確保するために必要な最小有効鉄筋断面積

いま曲げ剛性に関するJIS規定のたわみおよび、その測定位置をそれぞれ δ_r および X_r (表-1 参照) とし、式(6)に $X=X_r$ を代入して求めた計算たわみを y_{Xr} とすれば、剛性係数 η は

$$\eta = y_{Xr} / \delta_r \dots\dots\dots (7)$$

$\eta \leq 1$ なる場合には、曲げ剛性の見地からは特に鉄筋を必要としない。

$\eta > 1$ なる場合には曲げ剛性を確保するために必要な断面 X における最小有効断面積 A_{srX} は、換算断面2次モーメントを I_{eX} 、配筋半径を r_{sX} として、

$$I_{eX} = \eta I_{cX} = I_{cX} + (n-1) A_{srX} r_{sX}^2 / 2 \text{ より}$$

$$A_{srX} = (\eta - 1) \frac{I_{cX}}{r_{sX}^2} \cdot \frac{2}{n-1} \dots\dots\dots (8)$$

(5) プレストレスおよびPC鋼材の断面積の1次計算

コンクリートに与えるべきプレストレスは曲げ剛性規定モーメント M_{rX} を受けた場合にひびわれが発生しないことを条件とする。

いま断面 X におけるPC鋼材の総断面積および総有効引張力の1次計算値をそれぞれ A_{pX}' および P_{eX}' とすれば

$$P_{eX}' = A_{eX}' \frac{M_{rX} d_X}{2 I_{cX} \eta}$$

または

$$A_{eX}' \left(\frac{M_{mX} d_X}{2 I_{cX} \eta} - \sigma_{ca}' \right) \dots\dots\dots (9)$$

のいずれか小なる値

$$A_{pX}' = P_{eX}' / \sigma_{pe} \dots\dots\dots (10)$$

ここに M_{mX} は支持点における曲げ剛性規定モーメントを地際(支持点)における設計曲げモーメント M

に高めた場合の断面 X における曲げモーメントで

$$M_{mX} = 1.2 M (0.83 L - X) / L \dots\dots\dots (11)$$

$$A_{eX}' = A_{cX} + (n-1) A_{srX} \dots\dots\dots (12)$$

$$A_{cX} = \pi (d_X - t) t \dots\dots\dots (13)$$

σ_{ca}' はコンクリートの許容曲げ引張応力度でPCポールの場合

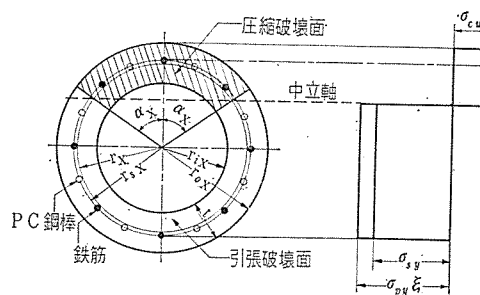
$$\sigma_{ca}' = 0.09 \sigma_{28}$$

上記の式において、 M_{rX} 、 d_X は(1)より、 I_{cX} は式(1)'、 $\eta \geq 1$ は式(7)、 A_{srX} は式(8)により計算される。

(6) 鉄筋断面積の計算

まづ極限設計法により断面 X の破壊曲げモーメント M_{uX} を求め、これが設計曲げモーメントの2倍以上の安全率となるように鉄筋断面積 A_{sX} を求める(図-4 参照)。

図-4 曲げ破壊をうけたポール横断面図 (極限設計法)



コンクリートの圧縮強度を σ_{cu} とすれば、

$$\sigma_{cu} = \sigma_{28}$$

$$M_{uX} = [\sigma_{cu} \{ t(d_X - t)^2 / 2 + t^3 / 6 \} + (d_X - t) F_X / \pi] \sin \alpha_X \dots\dots\dots (14)$$

$$\alpha_X = \pi F_X / (A_{cX} \sigma_{cu} + 2 F_X) \dots\dots\dots (15)$$

$$F_X = A_{sX} \sigma_{sy} + A_{pX}' \sigma_{py} \xi \dots\dots\dots (16)$$

式(16)において A_{pX}' は式(10)により計算され、また $\xi \sigma_{py}$ は曲げ破壊時におけるPC鋼材の引張応力度で、係数 ξ はプレテン式の場合 $\xi = 1$ 、ポステン式の場合コンクリートに対するPC鋼棒の付着の程度によって次の範囲にある。

$$(\sigma_{pe} + 14 \text{ kg/mm}^2 / 2) / \sigma_{py} < \xi < 1$$

ここに $14 \text{ kg/mm}^2 / 2$ は土木学会PC設計施工指針56条(4)項記載の付着のない場合のPC鋼材の曲げ破壊時における応力増加 1400 kg/cm^2 の半分を極限設計法における平均応力の増加とみなしたものである。

式(14)および式(15)より F_X を求め、これを式(16)に代入して

$$A_{sX} = (F_X - A_{pX}' \sigma_{py} \xi) / \sigma_{sy} \dots\dots\dots (16)'$$

いま曲げ剛性に寄与する鉄筋断面積を A_{srX}' とすれば

$$A_{srX}' = A_{sX} + A_{pX}' \beta \dots\dots\dots (17)$$

係数 β はプレテン式または完全付着のポステン式の場合 $\beta=1$, 付着なきポステン式の場合 $\beta=0$ とする。

式 (16)' の A_{sX} は, もし式 (17) の $A_{srX'}$ が式 (8) の A_{srX} より大きい場合にはそのまま用いてよいが, 小さい場合には $(A_{srX}-A_{srX'})$ だけ増加して用いるものとする。

(7) プレストレスおよび PC 鋼材本数ならびに鉄筋断面積の決定

A_{srX} (式 8) と $A_{srX'}$ (式 17) とを比較して

$A_{srX} \geq A_{srX'}$ の場合には

$$P_{eX} = P_{eX'} \quad \text{(式 19)} \quad \dots\dots\dots(18)$$

$A_{srX} < A_{srX'}$ の場合には

$$P_{eX} = A_{eX} \frac{M_{rX} d_X / 2}{I_{cX} + (n-1) A_{srX'} r_{sX}^2 / 2}$$

または

$$A_{eX} \left(\frac{M_{mX} d_X / 2}{I_{cX} + (n-1) A_{srX'} r_{sX}^2 / 2} - \sigma_{ca} \right) \quad \dots(19)$$

のいずれか小なる値

ここに A_{eX} は断面 X における換算断面積の最終値で

$$A_{eX} = A_{cX} + (n-1) A_{srX'} \quad \dots\dots\dots(20)$$

PC 鋼材の断面積の最終値 A_{pX} は

$$A_{pX} = P_{eX} / \sigma_{pe} \quad \dots\dots\dots(21)$$

また PC 鋼材の直径を d_p とすれば, 断面 X における PC 鋼材の所要本数 N_X は

$$N_X = A_{pX} / (d_p^2 \pi / 4) \quad \dots\dots\dots(22)$$

地際 (支持点) よりの距離 X を横軸にとり, 式 (22) を線図で表わすと, 図-5 の N_X 曲線が得られる。

プレテン式の場合には構造的に全 PC 鋼線をポール全長に通す必要があるので

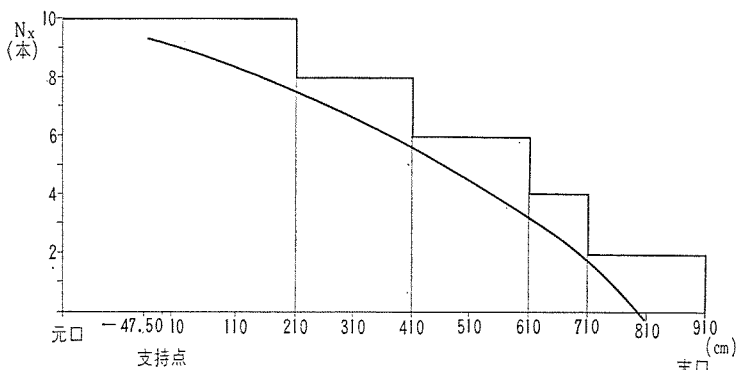
$$N_X = \text{const.} = N_0 \quad (\text{地際における所要本数})$$

$$A_{pX} = \text{const.} = N_0 \frac{\pi}{4} d_p^2 = A_{p0}$$

$$\left. \begin{aligned} A_{srX} \leq A_{srX'} \text{ の場合 } & A_{sX} = (F_X - A_{p0} \sigma_{py}) / \sigma_{sy} \\ A_{srX} > A_{srX'} \text{ の場合 } & A_{sX} = A_{srX} - A_{p0} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(23)$$

ポステン式の場合には構造的に各 PC 鋼棒の長さを変

図-5 N_X-X 線図



えることにより, N_X を 2 の倍数で段階的に変えることができるが (図-5 参照), この際グラウチングによる完全付着を期待できないので, 所要の鉄筋面積 A_{sX} は

$$\left. \begin{aligned} A_{srX} \leq A_{srX'} \text{ の場合 } & A_{sX} = (F_X - A_{pX} \sigma_{py}) / \sigma_{sy} \\ A_{srX} > A_{srX'} \text{ の場合 } & A_{sX} = A_{srX} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(24)$$

いずれの場合も N_X の修正により, ひびわれ発生モーメントおよび曲げ剛性が, 当初の計算値よりも若干上昇する。

(8) ポステン式 PC テーパポールにおける応力導入と定着板の面積

ポステン式 PC テーパポールにおいては, 断面直径上に対象に配置した同長の 2 本の PC 鋼棒を 1 組とし, かつ各組の長さを数種 (m 種) に変え, これらを元口の定着板を基点として, ポールの軸方向に配筋している。したがってポール元口では組数は m であり, これより末口に向かって段階的に 1 組ずつ減少し, 末口付近では 1 組となる。PC 鋼棒の引張応力度はその長さにかかわらず同値とする。

図-6 ポールの縦断面図

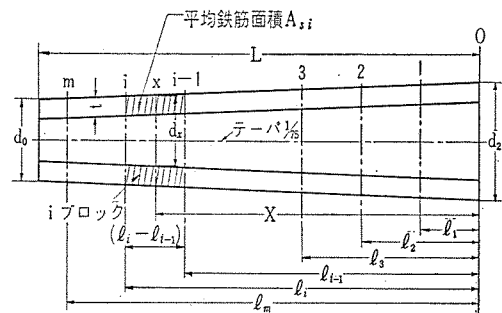


図-6 において l_1, l_2, \dots などは, 各組 PC 鋼棒の長さを示し, ある断面の位置は元口よりの距離 X で表わすものとする。

1) 比例式

換算断面積: $A_{eX} = \pi \{ (d_2 - t) - X/75 \} t + (n-1) A_{si}$

ブロック i の平均鉄筋断面積: A_{si}

元口径: $d_2 = d_0 + L/75$

1 組の PC 鋼棒の断面積: $a_p = \frac{\pi}{4} d_p^2 + 2$

1 組の PC 鋼棒に作用している引張力:
 $P_i = \sigma_{pt} a_p$

2) 各組 PC 鋼棒の応力導入のための引張力

図-6 において断面 $(i-1)$ と断面 i との間にくまれる柱体ブロック (i ブロック) 内にある i 番組の PC 鋼棒の引張力 P_i は, 全 PC 鋼棒の応力導入直後において, すべて同値の P_i に変化するよう定めなければならない ($P_i > P_i$)。

図-7 にブロック i の内部における PC 鋼棒の引張力と柱体の圧縮力との平衡状態を示す。

ブロック i は i 番組の引張力 P_i によってだけ縮み、 i 番組の PC 鋼棒はこのブロッ

ク内で δ_i だけ伸びて、いずれも内力 P_i で釣合うが、この状態は $\triangle ABC$ で表わされる。次に $(i+1), (i+2), \dots, m$ 番組の応力導入が順次終了するにしたがい、ブロックは縮みを増して λ_i' に達するが、このさい内力は ACD 線に沿って変化する。また i 番組の PC 鋼棒の内力は CB 線に沿って減少し、最終値の P_t に達する。

$(i+1)$ ないし m 番組の PC 鋼棒の合力 F_i は、全 PC 鋼棒の応力導入直後では、各組の引張力が P_t に一致するので、

$$F_i = \sum_{j=i+1}^m P_t = (m-i)P_t \quad \dots\dots\dots(25)$$

$\tan \phi_i$ はブロック i の単位ちぢみに対する圧縮内力を表わすもので

$$\tan \phi_i = P_i / \lambda_i$$

しかるに

$$\lambda_i = \frac{P_i}{E_c} \int_{l_{i-1}}^{l_i} \frac{dX}{A_{eX}}$$

$$\therefore \cot \phi_i = \frac{1}{E_c} \int_{l_{i-1}}^{l_i} \frac{dX}{A_{eX}} \quad \dots\dots\dots(26)$$

式(26)より明らかなように $\cot \phi_i$ はブロック i の断面寸法、高さおよび平均鉄筋断面積によって一義的に定まる。

i 番組の PC 鋼棒のブロック i 内部における伸び δ_i は、引張力 P_i による鋼棒全長の伸び δ_i' と、 P_i の追加を受けた元口より断面 $(i-1)$ までの柱体のちぢみ λ_{i-1} との和である。すなわち

$$\delta_i = \delta_i' + \lambda_{i-1} \quad \dots\dots\dots(27)$$

$$\delta_i' = P_i l_i / a_p E_p \quad \dots\dots\dots(28)$$

λ_{i-1} は次のようにして求める(表-2 参照)。

表-2 において $P_1', P_2', \dots, P_{i-1}'$ は、 i 番組の PC 鋼棒に P_i なる引張力を与えた直後の各組 PC 鋼棒の引張力であって、

$$P_1 > P_1' > P_t$$

$$P_2 > P_2' > P_t$$

$$\dots\dots\dots$$

$$P_{i-1} > P_{i-1}' > P_t$$

図-7 ブロック i の内部における内力の釣合状態

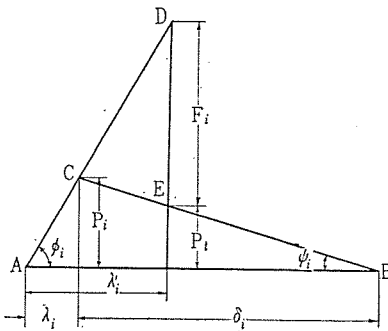


表-2 柱体の内力

ブロック番号	応力導入組	応力導入組数	応力導入による引張力
1	1, 2, ..., i	i	$P_1' + P_2' + \dots + P_{i-1}' + P_i$
2	2, 3, ..., i	$i-1$	$P_2' + P_3' + \dots + P_{i-1}' + P_i$
\vdots	$\dots\dots$	\vdots	$\dots\dots\dots$
$i-1$	$(i-1), i$	2	$P_{i-1}' + P_i$

なる関係がある。しかるに $P_{i-1}' = P_t$ であるから、簡単のために $P_{i-1}' = P_t$ とおくと λ_i は若干少な目に評価され、したがって δ_i は真正値よりも若干小さくなり、また図-7 の E 点は固定点であるから、C 点は AD 線に沿って D 側に移動するため、 P_i および λ_i は真正値よりも若干大きく評価される。応力導入の見地からいえば、これは安全側の評価とみなされる。ゆえに

$$\lambda_{i-1} \cong P_t \sum_{j=1}^{i-1} \{(i+1-j) \cot \phi_j\} \quad \dots\dots\dots(29)$$

図-7 において

$$\lambda_i' = (F_i + P_t) \cot \phi_i = (m+1-i)P_t \cot \phi_i \quad \dots\dots(30)$$

$$\lambda_i' = \lambda_i + \delta_i - P_t \cot \psi_i = \lambda_i + \delta_i (1 - P_t / P_i)$$

$$\therefore (m+1-i)P_t \cot \phi_i = \lambda_i + \delta_i (1 - P_t / P_i) \quad \dots\dots(31)$$

式(31)に式(27), (28), (29)を順次代入して、これを P_i / P_t で解くと

$$\frac{P_i}{P_t} = \frac{l_i / a_p + (m+1-i)E_p \cot \phi_i - k_{i-1}}{2(E_p \cot \phi_i + l_i / a_p)} + \sqrt{\left\{ \frac{l_i / a_p + (m+1-i)E_p \cot \phi_i - k_{i-1}}{2(E_p \cot \phi_i + l_i / a_p)} \right\}^2 + \frac{k_{i-1}}{E_p \cot \phi_i + l_i / a_p}} \quad \dots\dots\dots(32)$$

ここに

$$k_{i-1} = \sum_{j=1}^{i-1} \{(i+1-j)E_p \cot \phi_j\} \quad \dots\dots\dots(33)$$

$$\cot \phi_i = \frac{55}{E_c t \{1 + (n-1)\} P_{si}}$$

$$\log_{10} \left\{ \frac{(d_2 - t) + (n-1)A_{si} / \pi t - l_{i-1} / 75}{(d_2 - t) + (n-1)A_{si} / \pi t - l_i / 75} \right\} \quad \dots\dots(34)$$

A_{si} : ブロック i の平均鉄筋断面積

3) 全 PC 鋼棒の応力導入完了直後における各組 PC 鋼棒の伸び i 番組の PC 鋼棒の伸び e_i は

$$e_i = \frac{P_i l_i}{a_p E_p} + \sum_{j=1}^i \lambda_j'$$

これに式(30)を代入して整理すると

$$e_i = P_t \left\{ \frac{l_i}{a_p} + h_i \right\} / E_p \quad \dots\dots\dots(35)$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} h_i &= \sum_{j=1}^i \{(m+1-j)E_p \cot \phi_j\} \\ &= h_{i-1} + (m+1-i)E_p \cot \phi_i \\ h_0 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(36)$$

各組 P C 鋼棒に順次応力導入を行なう際に e_i を計測すると、オイル ジャッキの緊張力が検定される。

4) 定着板の支圧面積 P C 鋼棒が引張降伏点応力度 σ_{py} に達したとき、定着板の支圧面下のコンクリートがその圧縮強度 σ_{cu} に達するものとして、支圧面積 a_a を定める。

$$a_a = \frac{\pi}{4} d_p^2 \frac{\sigma_{py}}{\sigma_{cu}} \dots\dots\dots(37)$$

通常 $\sigma_{cu} = \sigma_{28}$ にとるが、みかけ上の σ_{cu} は σ_{28} よりも若干大きいものである。

(9) P C 鋼材の応力制限

1) プレストレス導入直後の P C 鋼材の引張応力度

σ_{pt} いま σ_{pu} および σ_{py} を P C 鋼材のそれぞれ引張強度および降伏点応力度とすれば、 σ_{pt} に関し土木学会 P C 設計施工指針 63 条によって制限されるものとする。

2) P C 鋼材に作用する有効引張応力度 σ_{pe}

$$\sigma_{pe} = P_e / A_p = \sigma_{pt} - (0.03 \text{ あるいは } 0.05) \sigma_{pt} - \sigma_{p\phi} \dots\dots(38)$$

ここに

$0.03 \sigma_{pt}$: P C 鋼棒のリラクセーションによる応力度の減少量

$0.05 \sigma_{pt}$: P C 鋼線および P C 鋼より線のリラクセーションによる応力度の減少量

$\sigma_{p\phi}$: コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による P C 鋼材の応力度の減少量 (土木学会 P C 設計施工指針 44 条式 (5) で計算する)

通常簡単のために

$$\sigma_{pt} \geq 1.2 \sigma_{pe}, \quad \sigma_{pe} \leq \sigma_{pt} / 1.2 \dots\dots\dots(39)$$

3) 設計荷重作用時の P C 鋼材の最大引張応力度

σ_{pmax} 土木学会 P C 設計施工指針によると

$$\sigma_{pmax} \leq 0.60 \sigma_{pu} \text{ または } 0.75 \sigma_{py} \text{ のいずれか小さい値} \dots\dots\dots(40)$$

σ_{pmax} はプレテン式の場合、式 (55) により、また付着のないポステン式の場合、式 (56) により計算されるが、一般に後者の場合は式 (40) は常に満足されている。

4. 曲げモーメントを受けた P C ボールの応力状態

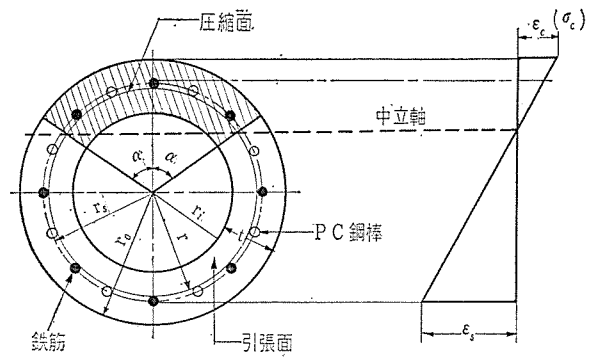
弾性範囲内で曲げモーメントを受けた場合について取扱う (図-8 参照)。

以下の計算においてポステン式で P C 鋼棒とコンクリートとの間に付着のない場合には $t_p = 0$ または $p_p = 0$ と置くものとする。

$$p_p = r_s t_p / r t, \quad p_s = r_s t_s / r t$$

(1) 断面における軸方向力の釣合の条件

図-8 曲げをうけたボールの横断面 (弾性範囲)



1) 圧縮面におけるコンクリートの総圧縮力 C_c

$$\left. \begin{aligned} C_c &= 2 \int_0^\alpha d\theta \int_{r_i}^{r_o} \sigma_c \rho d\rho - 2 \int_0^\alpha \sigma'_s r_s (t_s + t_p) d\theta \\ \sigma &= \sigma_c (\rho \cos \theta - r \cos \alpha) / (r_o - r \cos \alpha) \\ \sigma' &= \sigma'_s (r_s \cos \theta - r \cos \alpha) / (r_o - r \cos \alpha) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(41)$$

2) 圧縮面における鉄筋の総圧縮力 C_s

$$\left. \begin{aligned} C_s &= 2 \int_0^\alpha \sigma_s r_s (t_s + t_p) d\theta - \sigma_{se} \cdot 2 \alpha r_s t_p \\ \sigma &= n \sigma'_s (r_s \cos \theta - r \cos \alpha) / (r_o - r \cos \alpha) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(42)$$

$$\sigma_{se} = n P_e / [2 \pi r t \{1 + (n-1) p_s\}] \dots\dots\dots(43)$$

3) 引張面における鉄筋の総引張力 T_s

$$\left. \begin{aligned} T_s &= 2 \int_0^{\pi-\alpha} \sigma_s r_s (t_s + t_p) d\theta + \sigma_{se} \cdot 2 (\pi - \alpha) r_s t_p \\ \sigma &= n \sigma'_s (r_s \cos \theta + r \cos \alpha) / (r_o - r \cos \alpha) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(44)$$

4) 軸方向力の釣合の条件

$$C_c + C_s - T_s = P_e \dots\dots\dots(45)$$

上式に式 (41)~(44) を代入してこれを整理すると、

$$\frac{\sigma_c \cos \alpha}{1 - \cos \alpha + \frac{1}{2} \left(\frac{t}{r}\right)} \left[\tan \alpha \left\{ 1 - (p_s + p_p) \left(\frac{r_s}{r}\right) + \frac{1}{12} \left(\frac{t}{r}\right)^2 \right\} - \alpha (1 - p_s - p_p) - n (p_s + p_p) \pi \right] = \frac{P_e}{2 r t} \cdot \frac{1 + (n-1) p_s + n p_p}{1 + (n-1) p_s} \dots\dots\dots(46)$$

(2) 断面におけるモーメントの断面中心軸まわりの釣合の条件

1) 圧縮面におけるコンクリートの圧縮応力にもとづく抵抗モーメント M_{cc}

$$\left. \begin{aligned} M_{cc} &= 2 \int_0^\alpha d\theta \int_{r_i}^{r_o} \sigma_c \rho^2 \cos \theta d\rho - 2 \int_0^\alpha \sigma'_s r_s^2 (t_s + t_p) \cos \theta d\theta \\ \sigma &= \sigma_c (\rho \cos \theta - r \cos \alpha) / (r_o - r \cos \alpha) \\ \sigma' &= \sigma'_s (r_s \cos \theta - r \cos \alpha) / (r_o - r \cos \alpha) \end{aligned} \right\} (47)$$

2) 圧縮面における鉄筋の圧縮応力にもとづく抵抗モーメント M_{sc}

$$\left. \begin{aligned} M_{sc} &= 2 \int_0^\alpha \sigma r_s^2 (t_s + t_p) \cos \theta d\theta \\ &\quad - 2 \int_0^\alpha \sigma_{se} r_s^2 t_p \cos \theta d\theta \\ \sigma &= n \sigma_c (r_s \cos \theta - r \cos \alpha) / (r_0 - r \cos \alpha) \end{aligned} \right\} (48)$$

3) 引張面における鉄筋の引張応力にもとづく抵抗モーメント M_{st}

$$\left. \begin{aligned} M_{st} &= 2 \int_0^{\pi-\alpha} \sigma r_s^2 (t_s + t_p) \cos \theta d\theta \\ &\quad + 2 \int_0^{\pi-\alpha} \sigma_{se} r_s^2 t_p \cos \theta d\theta \\ \sigma &= n \sigma_c (r_s \cos \theta + r \cos \alpha) / (r_0 - r \cos \alpha) \end{aligned} \right\} (49)$$

4) 断面中心軸まわりのモーメントの釣合の条件
外力の曲げモーメントを M とすれば

$$M = M_{cc} + M_{sc} + M_{st} \dots\dots\dots (50)$$

上式に式 (47)~(49) を代入してこれを整理すると

$$\begin{aligned} \frac{M}{r} &= \frac{2 r t \sigma_c}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{t}{r}\right) - \cos \alpha} \left[\frac{1}{2} (\alpha - \sin \alpha \cos \alpha) \right. \\ &\quad + \frac{1}{8} \left(\frac{t}{r}\right)^2 \left(\alpha + \frac{1}{3} \sin \alpha \cos \alpha \right) \\ &\quad + \frac{1}{2} (p_s + p_p) \left(\frac{p_s}{r}\right)^2 (n \pi - \alpha - \sin \alpha \cos \alpha) \\ &\quad \left. + (p_s + p_p) \left(\frac{r_s}{r}\right) \sin \alpha \cos \alpha \right] \dots\dots\dots (51) \end{aligned}$$

(3) 中立軸中心半角 α の計算式

式 (46) および式 (51) より σ_c を消去し、これを整理すると

$$\left. \begin{aligned} \lambda \sin \alpha + \mu \sin 2\alpha - \nu \alpha - \omega \alpha \cos \alpha - \varphi \cos \alpha &= \phi \\ \alpha &= \text{度} \\ \lambda &= \left\{ 1 - (p_s + p_p) \left(\frac{r_s}{r}\right) + \frac{1}{12} \left(\frac{t}{r}\right)^2 \right\} \times \\ &\quad \times \frac{M}{r P_e} \cdot \frac{1 + (n-1)p_s}{1 + (n-1)p_s + n p_p} \cdot \frac{180}{\pi} \text{度} \\ \mu &= \left\{ \frac{1}{4} - \frac{1}{48} \left(\frac{t}{r}\right)^2 + \frac{1}{4} (p_s + p_p) \left(\frac{r_s}{r}\right)^2 \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} (p_s + p_p) \left(\frac{r_s}{r}\right) \right\} \cdot \frac{180}{\pi} \text{度} \\ \nu &= \frac{1}{2} + \frac{1}{8} \left(\frac{t}{r}\right)^2 - \frac{1}{2} (p_s + p_p) \left(\frac{r_s}{r}\right)^2 \\ \omega &= (1 - p_s - p_p) \frac{M}{r P_e} \cdot \frac{1 + (n-1)p_s}{1 + (n-1)p_s + n p_p} \\ \varphi &= n (p_s + p_p) \frac{M}{r P_e} \cdot \frac{1 + (n-1)p_s}{1 + (n-1)p_s + n p_p} \cdot 180 \text{度} \\ \phi &= 90 (p_s + p_p) n \left(\frac{r_s}{r}\right)^2 \text{度} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (52)$$

上式を解いて α (度) を求める。この計算に際し、ポステン式で P C 鋼棒とコンクリートとの間に付着のない場

合には $p_p = 0$ とおくものとする。

(4) 最大曲げ応力度の計算

式 (52) により中立面中心半角 α を計算し、これを下式に代入して最大応力度を求める。

1) コンクリートの最大圧縮応力度 σ_c 式 (46) より

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{1 - \cos \alpha \frac{1}{2} \left(\frac{t}{r}\right)}{\cos \alpha} \cdot \frac{P_e}{2 r t} \cdot \frac{1 + (n-1)p_s + n p_p}{1 + (n-1)p_s} \\ &\quad \div \left[\tan \alpha \left\{ 1 - (p_s + p_p) \left(\frac{r_s}{r}\right) + \frac{1}{12} \left(\frac{t}{r}\right)^2 \right\} \right. \\ &\quad \left. - \alpha (1 - p_s - p_p) + n (p_s + p_p) \pi \right] \dots\dots\dots (53) \end{aligned}$$

ポステン式で付着力のない場合には $p_p = 0$ とする。

2) 鉄筋の最大引張応力度 σ_{smax}

$$\sigma_{smax} = n \sigma_c \frac{\frac{r_s}{r} + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha + \frac{1}{2} \left(\frac{t}{r}\right)} \dots\dots\dots (54)$$

ここに σ_c は式 (53) によって計算する。

3) P C 鋼材の最大引張応力度 σ_{pmax} プレテン式またはポステン式で P C 鋼材とコンクリートとの間に完全な付着のある場合には

$$\sigma_{pmax} = n \sigma_c \frac{\frac{r_s}{r} + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha + \frac{1}{2} \left(\frac{t}{r}\right)} + \sigma_{se} + \sigma_{pe} \dots\dots\dots (55)$$

ここに σ_c は式 (53) により、 σ_{se} は式 (43) により計算する。 σ_{pmax} には式 (40) (3. (9). 3) に示す応力制限があり、もしこれを超越するときは、3 次計算として

$$\begin{aligned} \sigma_{pe}'' &\leq 0.75 \sigma_{py} - \sigma_{se} - \sigma_{smax} \\ A_p'' &= A_p \sigma_{pe} / \sigma_{pe}'' \end{aligned}$$

により σ_{pe}'' および A_p'' を定め、これを上述の式の σ_{pe} および A_p に代入して再計算を行なう。この結果、一般にプレテン式では P C 鋼線の断面積が増加し、これにともない破壊の安全率が不必要なまでに増大する傾向がある。

ポステン式で P C 鋼棒とコンクリートとの間に付着のない場合には

$$\sigma_{pmax} = \sigma_{pe} \dots\dots\dots (56)$$

であって、式 (40) による拘束を受けない。

(5) 曲げによるひびわれ巾の検討

Michael Chit と Arthur F. Kirston の実験研究の結果を C ポールに適用すると、起りうる最大ひびわれ巾 W_{max} は

$$W_{max} = (7 d_s \sigma_{smax} - 310) \times 10^{-4} \text{ mm} \dots\dots\dots (57)$$

ここに d_s は鉄筋直径 mm, σ_{smax} は弾性計算によって求めた鉄筋の最大曲げ引張応力度 kg/mm^2 である。

いま $W_{max} \leq 0.25 \text{ mm}$ とすれば

$$d_s \sigma_{smax} \leq 400 \text{ kg/mm} \dots\dots\dots(58)$$

また、ひびわれ発生直前の鉄筋の曲げ引張応力度 σ_{scr} は式 (57) において $W_{max}=0$ とおくことにより

$$\sigma_{scr} = 44.3/d_s \text{ kg/mm}^2 \dots\dots\dots(59)$$

PCポールの場合 $W_{max} \leq 0.25 \text{ mm}$ なるためには、式 (54) により計算した σ_{smax} が式 (58) の条件を満足することが必要である。これに反し式 (59) はPCポールに適用できる根拠はない。

5. CポールとPCポールの特性比較

(1) 所要鉄筋量

断面 X の曲げ破壊は、平均応力度が圧縮面ではコンクリートの圧縮強度、引張面では鋼材の引張降伏点応力度に達したときに生ずるという極限設計法の観念によって、所要鉄筋断面積したがって所要鉄筋量を決定するものとすれば、PCポールにおいては式 (16) により

$$F_X = (A_{sX})_{pc} \sigma_{sy} + A_{px}' \sigma_{py} \xi \dots\dots\dots(16)$$

またCポールにおいては同様に

$$F_X = (A_{sX})_c \sigma_{sy} \dots\dots\dots(60)$$

ここに F_X は式 (14), (15) により定まり、上式において共通とみなしてよい。

一般に $\sigma_{sy} < \sigma_{py} \xi$ なるゆえ、上の2式の比較により

$$(A_{sX})_{pc} + A_{px}' < (A_{sX})_c$$

したがってCポールはPCポールに比較して通常総鉄筋量は大となる。

(2) 設計荷重モーメントを受けた場合の最大ひびわれ巾

JIS A 5309-1960 によれば設計荷重モーメントを受けた場合の最大ひびわれ巾は 0.25 mm 以下なるを要し、4.5 に述べたように、このさい式 (58) が成立しなければならない。

$$d_s \sigma_{smax} \leq 400 \text{ kg/mm} \dots\dots\dots(58)$$

同様にひびわれ発生直前の鉄筋応力度 σ_{scr} は式 (59) で計算される。

$$\sigma_{scr} = 44.3/d_s \text{ kg/mm}^2 \dots\dots\dots(59)$$

ここに d_s は mm 単位、 σ_{smax} および σ_{scr} は弾性係数で求めた鉄筋の応力度 kg/mm^2 単位である。

一般にPCポールにおいては σ_{smax} はCポールのそれよりはるかに小さく、またひびわれの発生はプレストレスの導入量によっては皆無にすることも可能である。

(3) 曲げ剛性

Cポールの場合には比較的近い荷重モーメントで式 (59) で計算される鉄筋応力度に達し、これよりあとは、ひびわれが発生し始めるので、曲げたわみは急速に増大し、しかもこの場合の曲げたわみの計算は経験によるのほかはなく、かつコンクリートの品質や鉄筋との付着の

状況によって大巾に変化するので、曲げ剛性の規定のあるポール (JIS 2種ポール) の場合には式 (60) で要求される鉄筋量のほかに剛性増加のための付加鉄筋が必要となり、このさい総鉄筋量 (断面積) はほぼ所要曲げ剛性に比例して増加する。

これに対しPCポールの場合には少なくとも剛性規定モーメントまでは、ひびわれが発生しないようにプレストレスを導入するため、曲げたわみの計算はかなりな精度で行ないうるうえ、また多くの場合、曲げ剛性増加のため、式 (16) の要求する鉄筋量 (断面積) 以上に鉄筋を付加する必要はない。

(4) 鋼材原価

通常ポール原価の 60% 以上を材料原価が占め、また材料原価の 70% 以上を鋼材原価が占め、かつ鋼材原価の大部分を主筋原価が占めるので、ポール原価の引下げには主筋原価が最大の影響力をもつ。

1) Cポールの場合 ある断面における単位ポール長さあたりの主筋原価 K_c は

$$K_c \propto (A_s)_c C_s \dots\dots\dots(61)$$

ここに C_s は鋼材単価 ¥/kg または ¥/m , $(A_s)_c$ は主筋の断面積である。曲げ剛性の規定のない JIS 1種ポールの場合には $(A_s)_c$ は式 (58) の条件のもとに式 (60) で決定される。すなわち

$$(A_s)_c = F/\sigma_{sy}$$

$$\therefore K_c \propto F C_s \sigma_{sy} \dots\dots\dots(62)$$

したがって C_s/σ_{sy} の最小の鋼材を使用することが有利である。曲げ剛性の規定のある JIS 2種ポールの場合には $(A_s)_c$ は式 (60) によらずに曲げ剛性の見地から一義的に定まり、この $(A_s)_c$ により、使用すべき鋼材の降伏点応力度 $\sigma_{sy} = F/(A_s)_c$ が定まるので、この σ_{sy} を有する鋼材のうちから C_s の最小のものをえらぶべきである。

2) PCポールの場合 ある断面における単位ポール長さあたりの主筋原価 K_{pc} は

$$K_{pc} \propto (A_s)_{pc} C_s + A_p C_p \dots\dots\dots(63)$$

ここに C_p はPC鋼材の単価 ¥/kg または ¥/m である。所要鉄筋量を式 (16) で定めるものとすれば、

$$(A_s)_{pc} = F/\sigma_{sy} - A_p \sigma_{py} \xi / \sigma_{sy} \dots\dots\dots(64)$$

式 (64) を式 (63) に代入して整理すると

$$K_{pc} \propto \frac{C_s}{\sigma_{sy}} (F - A_p \sigma_{py} \xi) + A_p \sigma_{py} \xi \frac{C_p}{\sigma_{py} \xi} \dots\dots\dots(65)$$

式 (65) において F および $A_p \sigma_{py} \xi$ は別に決定されるので、 C_s/σ_{sy} および $C_p/\sigma_{py} \xi$ の最小の鉄筋およびPC鋼材を使用することが有利である。

(5) CポールとPCポールの特性比較

性能的にはPCポールは

①設計荷重モーメント以下では、ひびわれを皆無もしくは極小にとどめる。

②破壊荷重の近辺まで曲げモーメントをかけたのち、荷重を取除くとひびわれは実用上消失する。

③曲げたわみの計算が比率的正確に行ないうるとともに、たわみ量をプレストレス量によって容易に制御できる。

などの点で、Cポールよりも勝れている。

ポール原価の面では、一般にPC鋼材の単価が鉄筋材のそれにくらべて高価であるので、たわみ剛性の制限のない場合もしくは、これのゆるやかな場合にはいづれが有利であるかをにわかに断じたいが、たわみ剛性の制限の厳しい場合には、Cポールの鉄筋量 (A_s)_c は曲げ剛性の見地から一義的に定まり、式 (60) によって σ_{sy} の最小値を求め、次にこれより大きい σ_{sy} を有する鋼材の中から単価の最小の鉄筋材を選ぶことになるが、通常PCポールの方が若干有利となる。ひびわれの発生を特に嫌う場合も同様である。

一般に $C_s/\sigma_{sy} < C_p/\sigma_{py}$ であるから、PC鋼材の使用量したがって断面積 A_p を最小にとどめ、鉄筋の使用量したがって断面積 (A_s)_{pc} を極力増加すべきである。

6. 東急式 PC ポールの曲げ試験結果

東急 コンクリート工業 KK では 37 年半頃より PC ポールの試作試験を行ない約 1 年ののちに市販を開始した。東急式 PC ポールはポステン式で、PC鋼棒はその表面に防錆兼減摩剤が塗布してあり、ポール各断面の必要とするプレストレスに応じて、その本数が段階的に変

表-3 PC ポールの曲げ試験結果と設計計算値との比較

種 別	曲げ剛性規定たわみ (mm)		破壊曲げモーメント (kg-m)		破壊安全率		頂点最大残留ひびわれ巾 (mm)	最大ひびわれ巾 (mm)
	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値		
10-30-B6500	44.2	49.7	14 020	16 000	2.16	2.46	5.1	0
10-19-C4500	47.1	45.9	9 320	9 340	2.07	2.08	7.7	0.15
10-25-D5500	32.7	36.3	12 200	13 300	2.21	2.42	1.0	0.20
10-25-D6500	38.7	43.3	13 260	14 800	2.04	2.28	4.0	0
"	"	38.7	"	"	"	"	6.7	0.005
10-25-D7500	44.6	48.4	15 980	16 400	2.13	2.19	3.4	0
10.5-25-D8000	45.9	49.8	17 940	19 100	2.18	2.39	5.0	0.075
11-25-D7500	40.6	44.1	15 520	17 200	2.07	2.29	9.7	0.15
"	"	43.0	"	18 500	"	2.47	2.2	0.025
12-25-D9000	46.2	48.2	20 500	18 800	2.28	2.08	3.5	0.10
"	"	49.2	"	20 000	"	2.22	5.9	0.05
10-28-D8500	38.9	41.2	17 740	18 600	2.08	2.19	5.3	0.05
10-28-D9500	43.4	45.8	20 800	19 300	2.18	2.03	14.1	0.075
"	"	40.2	"	21 800	"	2.29	5.3	0.15
10-28-D10500	48.0	47.2	22 520	21 100	2.14	2.01	4.1	0.10
11-28-D9500	40.7	38.1	20 260	22 700	2.13	2.39	2.1	0.15
"	"	41.0	"	25 200	"	2.65	—	0.10
11-28-D10500	45.0	47.9	23 280	23 400	2.22	2.23	6.1	0.05
11-28-D11500	49.3	48.5	24 400	26 400	2.13	2.3	8.4	0.05
"	"	44.8	"	24 300	"	2.12	4.4	0
10.5-19-E5000	49.9	49.3	11 280	10 150	2.26	2.03	8.2	0.15

えてある。したがってPC鋼棒とコンクリートとの間には付着が全然ない。JIS A 5309-1960 にもとづいて行なった曲げ試験の結果と、前述の設計法で求めた計算値とを比較表示すると表-3 のとおりであって、実測値はいずれも規格を十分に満足している。

21 個の試験数のうち、曲げ剛性規定たわみでは 13 個、破壊曲げモーメントおよび破壊安全率では 6 個の場合、実測値が計算値を下まわっているが、この程度の差異はコンクリート製品の変動係数からいえばきわめて僅少であり、前述の設計法のきわめて高い実用性を立証している。写真-1~3 は 11-28-D10500 電車線ポールの破壊断面を示す。

写真-1 破断面圧縮側の状況 (11-28-D 10500)



写真-2 破断面引張側の状況 (11-28-D 10500)

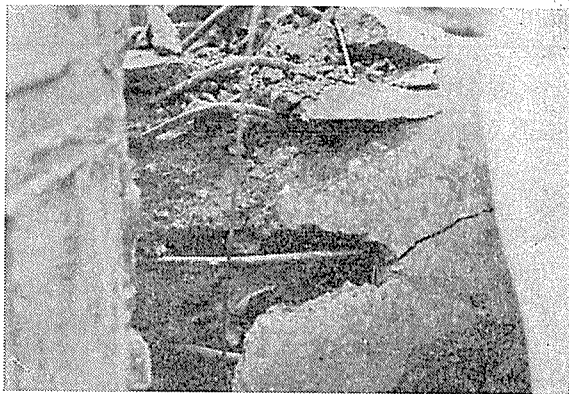
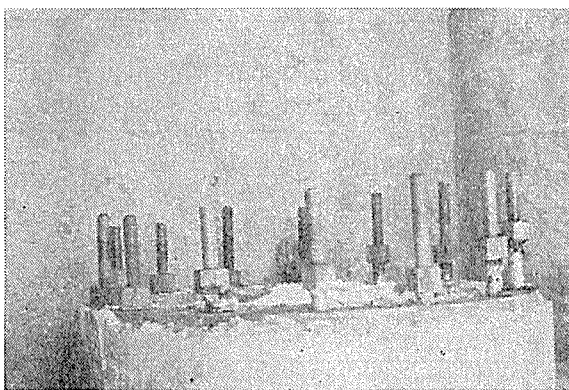


写真-3 元口における PC 鋼棒の突出状況 (11-28-D 10500)



1963.8.20・受付