

第9章 プレストレストコンクリート (PC)

9.1.1 PC の概念

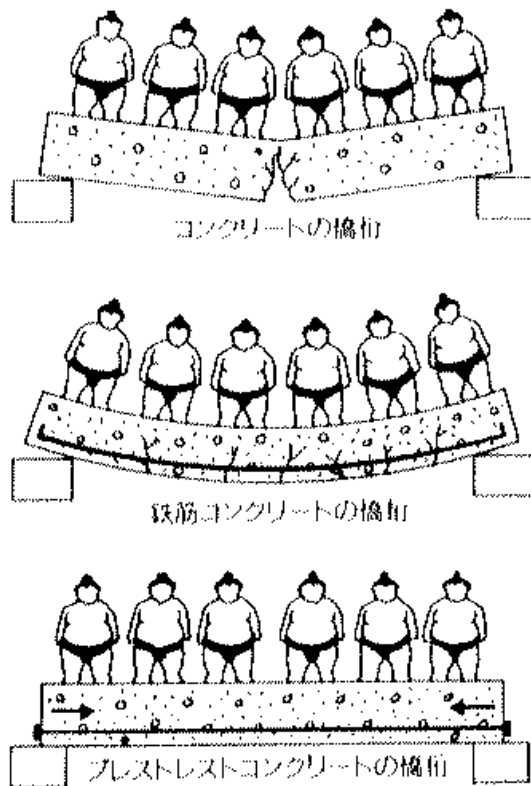


図-9.1 RC と PC

RC (Reinforced Concrete)

コンクリートの引張強度は圧縮強度の1/10である。コンクリートの弱点を引張部材(鉄筋,あるいは竹筋,FRP ロッドなど)で補強した構造。

PC (Pre-stressed Concrete)

コンクリートにあらかじめ圧縮力を与えておき,荷重作用によって生じる引張応力と合成してもなお断面に引張力が生じないか,あるいは,きわめて小さい引張応力しか発生しないようにした構造



応力制御機構

長スパン化のための方法

- ① 形態抵抗による曲げ応力の排除
アーチ，シェル
- ② 部材の交差配置による立体抵抗
格子桁，立体トラス
- ③ 高性能な構造要素や部材の使用
高強度コンクリート，高張力鋼，FRP
- ④ 主部材へのプレストレスの導入
プレストレストコンクリート
- ⑤ 主構造部材への中間支点の挿入
連続桁，斜張橋

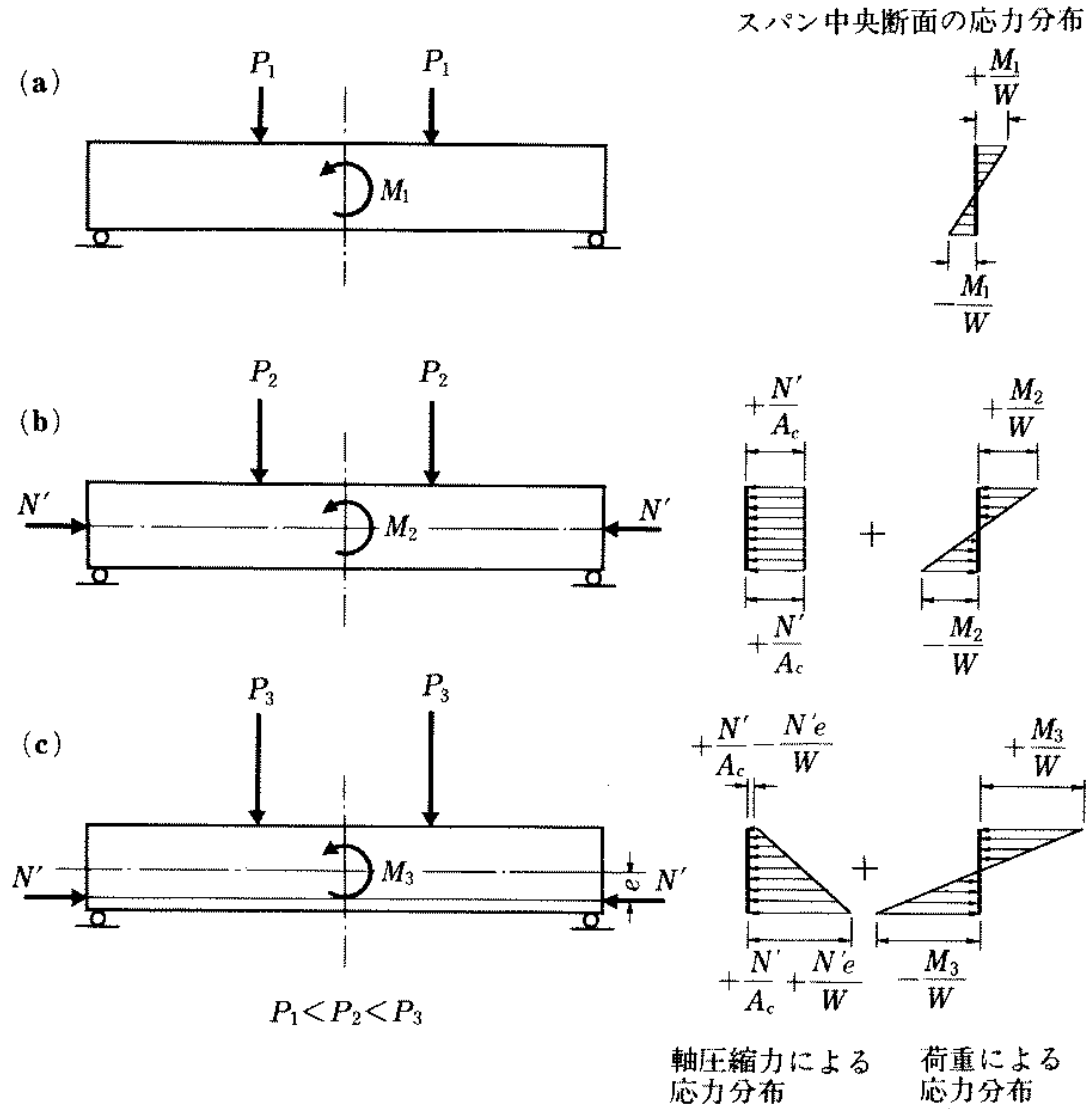


図-9.1 PC の概念

9.2 PCの特徴と分類

9.2.1 PCの特徴

長所

1. PC部材：コンクリートにひび割れが発生しないように設計 ⇒ 長大スパン橋梁
 - コンクリートは全断面有効 → RCに比べ小断面 → 自重軽減
 - ひび割れが発生しない → 鋼材腐食の安全度が大きい
2. 材料強度を有効に利用できる (高強度のPC鋼材，コンクリートの使用)
3. プレストレス導入時，最大応力が作用
 - あらかじめ使用材料の材料試験 → 完成後の安全度に対する信頼性が高い

短所

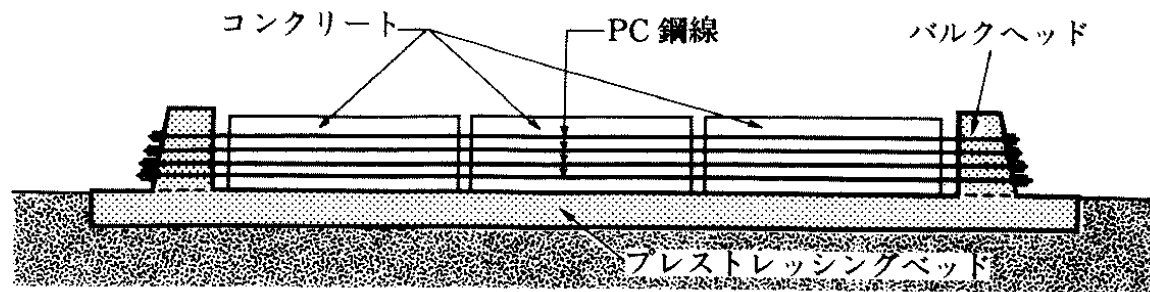
PC構造物の設計・施工において

1. RCに比べ複雑
2. 施工に熟練を要する
3. 設計・施工の誤り → 部材の安全性に重大な影響や事故

9.2.2 PC の分類

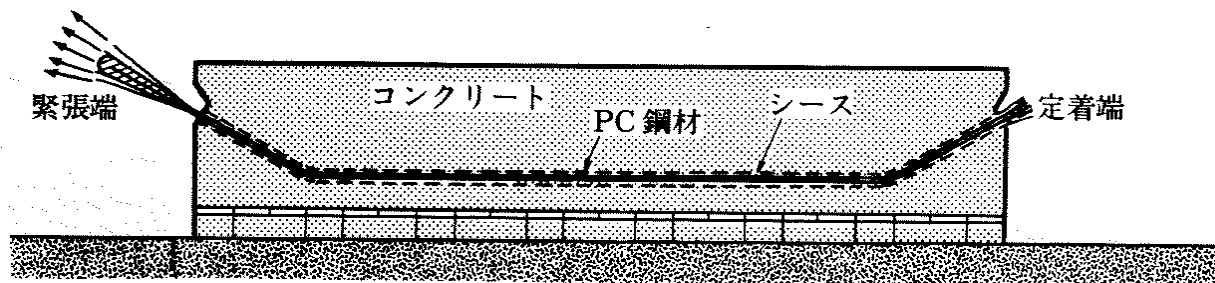
(1) プレテンション方式

緊張材に引張力を与えておいてコンクリートを打設し、コンクリート硬化後に、緊張材に与えておいた引張力を、緊張材とコンクリートの付着によりコンクリートに伝えてプレストレス (PS) を与える方法



ポストテンション方式

コンクリート硬化後、緊張材に引張力を与え、その端部をコンクリートに定着させてPSを与える方法



(2) フルプレストレッシング

設計荷重作用時に，プレストレスと荷重作用による応力との合成応力度が引張応力度にならないようにプレストレスを与える PC の設計法

パーシャルプレストレッシング

設計荷重作用時に，プレストレスと荷重作用による応力との合成応力度がひび割れの生じない程度の引張応力度になることを許容する PC の設計法

(3) ボンド PC 鋼材とコンクリートが付着状態になっている場合をいう

アンボンド PC 鋼材が断面外に配置されている場合 (アウトケーブル) や，断面内にあってもあらかじめ PC 鋼材を被覆して付着が生じないようにしてある場合をいう

(4) PC 構造

使用限界状態においてひび割れの発生を許さないことを前提とし，プレストレスの導入により，コンクリートの縁応力度を制御する構造

PRC 構造

使用限界状態においてひび割れの発生を許容し，異形鉄筋の配置とプレストレスの導入により，ひび割れ幅を制御する構造

9.3 PC材料

9.3.1 コンクリート

高強度コンクリート

設計基準強度 40 N/mm^2

- 大きいプレストレスを導入できる
- 若材齢でプレストレスを導入する場合が多い
- 緊張材定着部に大きい支圧応力が作用する

9.3.3 シース

鋼製管

9.3.3 グラウト

アルミニウム粉末を混入したセメントミルク

9.3.2 緊張材

PC部材に用いられる緊張材に要求される性能

- ① 引張強度および降伏強度が大きい
- ② 伸び能力が大きい
- ③ リラクゼーションが小さい
- ④ 耐久性に富むこと
- ⑤ 加工性に優れていること
- ⑥ コンクリートとの付着性 (除:アンボンド)

PC鋼材 (高張力鋼材)

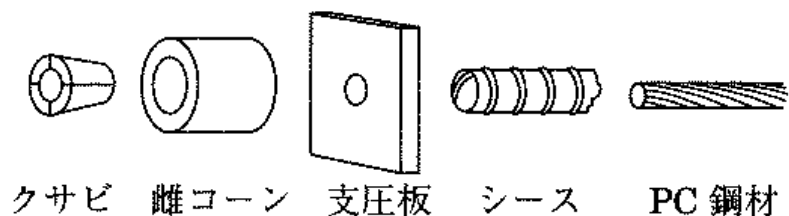
PC鋼線, PC鋼より線, PC鋼棒

降伏強度 $785 \sim 1520 \text{ N/mm}^2$

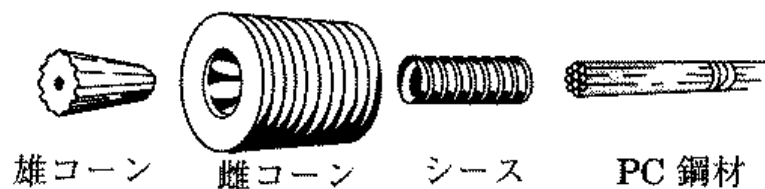
ヤング係数 $1.9 \times 10^5 \sim 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

9.4 PC 鋼材の定着方法

(1) シングルストランドシステム



(2) マルチワイヤシステム



(3) マルチストランドシステム

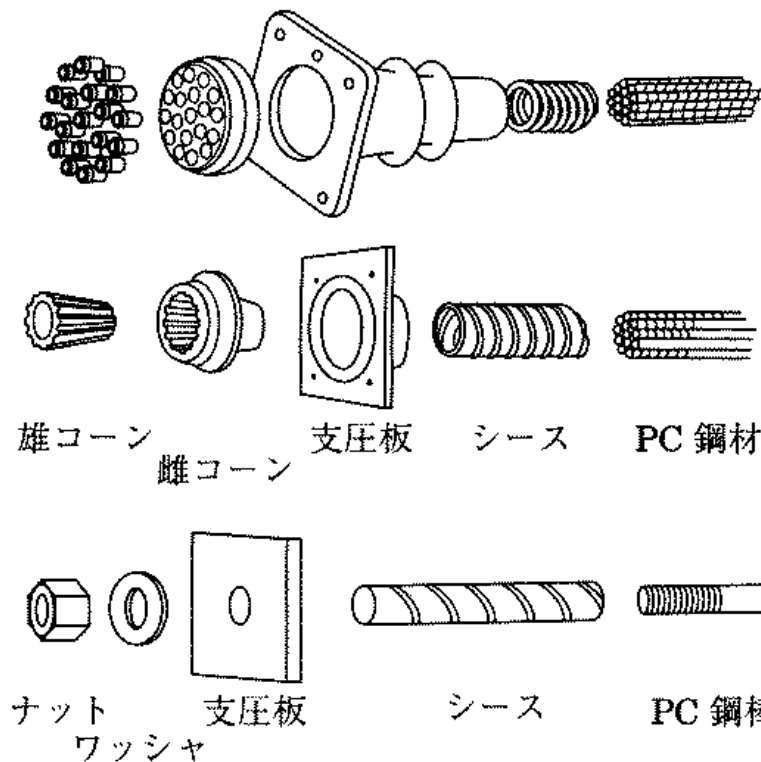


図-9.4~13 定着装置

9.5 PC 部材断面設計における基礎事項

9.5.1 プレストレス力

- 緊張直後のプレストレスの損失

- ① コンクリートの弾性変形による損失
- ② PC 鋼材とシースの摩擦による損失
- ③ 定着端におけるセットによる損失
- ④ その他

- 時間経過に伴うプレストレスの損失

- ⑤ PC 鋼材のリラクセーション
- ⑥ コンクリートのクリープ・乾燥収縮

$$P_x = P_i - (\Delta P_i + \Delta P_t) \quad (9.1)$$

(1) コンクリート弾性変形による減少

(プレテン PC 部材) $\Delta\sigma_p = n\sigma'_{cpg}$ (9.2)

(ポステン PC 部材) $\Delta\sigma_p = \frac{(n/2)\sigma'_{cpg}(N-1)}{N}$ (9.3)

(2) 緊張材とシースの摩擦による減少

(ポステン PC 部材) $P_x = P_i e^{-(\mu\alpha + \lambda x)}$ (9.4)

(3) 緊張材を定着する際のセットロスによる減少

$$\Delta P = \frac{\Delta l}{l} A_p E_p \quad (9.6)$$

(5) PC 鋼材のリラクセーションによる減少

$$\Delta\sigma_{pr} = \gamma\sigma_{pt} \quad (9.8)$$

(6) コンクリートのクリープ・乾燥収縮による減少

$$\Delta\sigma_{pcs} = \frac{n\varphi(\sigma'_{cd} + \sigma'_{cpt}) + E_p \epsilon'_{cs}}{1 + n(\sigma'_{cpt}/\sigma_{pt})(1 + \varphi/2)} \quad (9.9)$$

9.5.2 使用限界状態に対する検討

(1) 応力度計算上の仮定

- ① 維ひずみは中立軸からの距離に比例する。
- ② コンクリート及び鋼材のヤング係数はそれぞれ一定とする。
- ③ PC 構造の場合，コンクリートは全断面有効とする。
- ④ PRC 構造の場合，コンクリートの引張応力は一般に無視する。
- ⑤ 付着がある PC 鋼材のひずみ増加量は，同位置のコンクリートのひずみと同一とする。
外ケーブル方式の PC 鋼材，アンボンド PC 鋼材 → 平面保持の仮定は成立しない。
- ⑥ 部材軸方向のダクトは，有効断面とみなさない。
- ⑦ PC 鋼材とコンクリートとが一体化後の断面定数は，ヤング係数を考慮して算定する。
- ⑧ 永久荷重作用時のコンクリート及び鋼材の応力度は，PC 鋼材のリラクセーション，コンクリートのクリープ・乾燥収縮，および鉄筋の拘束を考慮して算定する。
- ⑨ 変動荷重作用時のコンクリート及び鋼材の応力度は，⑧の永久荷重作用時の応力度を起点とする。

プレテンション方式 PC 部材

(1) プレストレス導入直後

$$\text{(上縁)} \quad \sigma_{coi} = \frac{P_i}{A_e} - \frac{P_i e_{pe}}{I_e} y_{eo} + \frac{M_{d1}}{I_e} y_{eo}$$

$$\text{(下縁)} \quad \sigma_{cui} = \frac{P_i}{A_e} + \frac{P_i e_{pe}}{I_e} y_{eu} - \frac{M_{d1}}{I_e} y_{eu}$$

(2) 設計荷重作用時

$$\text{(上縁)} \quad \sigma_{co} = \eta \left(\frac{P_i}{A_e} - \frac{P_i e_{pe}}{I_e} y_{eo} \right) + \frac{M_{d1} + M_{d2} + M_l}{I_e} y_{eo}$$

$$\text{(下縁)} \quad \sigma_{co} = \eta \left(\frac{P_i}{A_e} - \frac{P_i e_{pe}}{I_e} y_{eu} \right) - \frac{M_{d1} + M_{d2} + M_l}{I_e} y_{eu}$$

(4) 応力度の制限

① 持続圧縮応力に対する検討 → 過大クリープひずみ，軸方向ひび割れの防止 $0.4f'_{ck}$ 以下

② PC 鋼材の引張応力度に対する制限 $0.7f_{puk}$ 以下

ポストテンション方式 PC 部材

$$\sigma_{coi} = \frac{P_t}{A_c} - \frac{P_t e_{pe}}{I_c} y_{co} + \frac{M_{d1}}{I_c} y_{co}$$

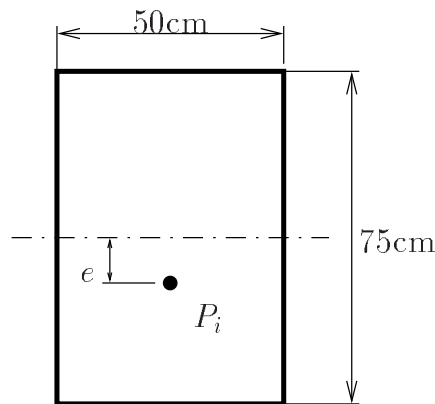
$$\sigma_{cui} = \frac{P_t}{A_c} + \frac{P_t e_{pe}}{I_c} y_{cu} - \frac{M_{d1}}{I_c} y_{cu}$$

$$\sigma_{co} = \eta \left(\frac{P_t}{A_c} - \frac{P_t e_{pc}}{I_c} y_{co} \right) + \frac{M_{d1}}{I_c} y_{co} + \frac{M_{d2} + M_l}{I_e} y_{eo}$$

$$\sigma_{cu} = \eta \left(\frac{P_t}{A_c} + \frac{P_t e_{pc}}{I_c} y_{cu} \right) - \frac{M_{d1}}{I_c} y_{cu} - \frac{M_{d2} + M_l}{I_e} y_{eu}$$

【例題 9.1】

図に示す長方形断面PC部材において、上縁応力度 $\sigma_{co} = 0$ 、下縁応力度 $\sigma_{cu} = 15\text{N/mm}^2$ となるようにプレストレスを導入せよ (プレストレス力 P_i および偏心距離 e を求めよ)。ただし、プレストレス導入時には部材自重モーメント $M_{d1} = 100\text{MN} \cdot \text{mm}$ がこの断面に作用するものとする。



例図-9.1

【解答】

$$A_o = 500 \times 750 = 3.75 \times 10^5 \text{mm}^2$$

$$I_o = 500 \times 750^3 / 12 = 1.76 \times 10^{10} \text{mm}^4$$

$$y_o = 750 / 2 = 375 \text{mm} \quad y_u = 750 / 2 = 375 \text{mm}$$

$$Z_o = I_o / y_o = 1.76 \times 10^{10} / 375 = 4.69 \times 10^7 \text{mm}^3$$

$$Z_u = I_o / y_u = 1.76 \times 10^{10} / 375 = 4.69 \times 10^7 \text{mm}^3$$

プレストレス導入時応力度

$$\begin{aligned} \sigma_{co} &= \frac{P_i}{A_o} - \frac{P_i e}{Z_o} + \frac{M_{d1}}{Z_o} \\ &= \frac{P_i}{3.75 \times 10^5} - \frac{P_i e}{4.69 \times 10^7} + \frac{100 \times 10^6}{4.69 \times 10^7} = 0 \end{aligned} \quad \text{①}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{cu} &= \frac{P_i}{A_o} + \frac{P_i e}{Z_o} - \frac{M_{d1}}{Z_u} \\ &= \frac{P_i}{3.75 \times 10^5} + \frac{P_i e}{4.69 \times 10^7} - \frac{100 \times 10^6}{4.69 \times 10^7} = 15 \end{aligned} \quad \text{②}$$

①, ②より $P_i = 2.81 \times 10^6 \text{N}$, $e = 161 \text{mm}$