

途中定着 PC 鋼材を用いたアンボンド PCaPC 部材の構造性能評価に関する研究  
(その4: 途中定着 PC 鋼材を有する場合の最大耐力評価法の提案)

アンボンド PCaPC 部材 最大耐力評価 途中定着 PC 鋼材 上下配筋 マクロモデル 集約配筋 正会員 ○ 晉 沂雄\*1 正会員 上野 彩菜\*2 正会員 北山 和宏\*3 正会員 崔 琥\*4

1. はじめに

前報<sup>1)</sup>のその1~2では、途中定着 PC 鋼材 (PCX01~03) と全通し PC 鋼材 (PCX04) を用いたアンボンド・プレキャスト・プレストレスト・コンクリート (以下、アンボンド PCaPC) 梁の加力実験を、その3では全通し PC 鋼材を集約配筋した場合の最大耐力評価法を報告した。本報では途中定着 PC 鋼材を有する場合 (PCX01~03) の最大耐力評価法の提案に当たり、マクロモデルの概要から最大耐力時の PC 鋼材ひずみの評価式までを述べる。

2. 途中定着 PC 鋼材を有する場合の最大耐力評価法

筆者らによる既往研究<sup>2,3)</sup>と同様、梁部材の剛体回転を仮定したマクロモデルに基づき、途中定着 PC 鋼材を有する場合の最大耐力 (梁曲げ終局耐力) の評価法を提案する。

(1) マクロモデルの概要

前報まで報告した実験結果からの梁部材の挙動<sup>1)</sup>、また既往研究<sup>2,3)</sup>に基づくマクロモデルを図1に示す。同図は PC 鋼材を上下配筋した場合のマクロモデルを表しており、本報では PC 鋼材を上下配筋した場合 (PCX01、PCX02) の評価法を中心に説明を進める。なお、PC 鋼材を集約配筋する場合 (PCX03) は、梁せい中央部のみに PC 鋼材が存在し、常に引張側 PC 鋼材として取り扱う。本マクロモデルでは、以下を仮定する。

- ① 梁せん断力 ( $P_b$ ) が作用すると、梁圧着面に離間が生じ、梁部材がほぼ剛体的に回転して変形する。この際、コンクリートの縮みによる梁材軸方向への軸変形 ( $\Delta_{c,ex}$ ) は、主に緊張力を導入した PC 部 (PC 鋼材が配筋された区間) から発生し、 $\Delta_{c,ex}$  は梁圧着面に集中する。
- ② 梁圧着面の圧縮側 PC 鋼材位置におけるコンクリート縮み量 ( $\Delta_{c,tp}$ ) 及び引張側 PC 鋼材位置に発生する離間距離 ( $\delta_{d,tp}$ ) は、それぞれの PC 鋼材の縮み量及び伸び量と等しい。なお、集約配筋の場合は PC 鋼材位置 (梁せい中央) に生じる  $\delta_{d,tp}$  が、PC 鋼材の伸び量と等しくなる。
- ③ 引張側 PC 鋼材の引張力 ( $T_{lt}$ ) は圧縮側 PC 鋼材の引張力 ( $T_{lc}$ ) より大きく、PC 鋼材の引張合力 ( $T_{lt} + T_{lc}$ ) はコンクリートの圧縮合力 ( $C_c$ ) と等しい。なお、集約配筋の場合は PC 鋼材の引張力 ( $T_{lt}$ ) が  $C_c$  と等しくなる。

(2) コンクリート及び PC 鋼材の材料特性のモデル化

アンボンド PCaPC 梁部材では一般的に高強度コンクリートが使用される。高強度コンクリートの場合、圧縮強度 ( $\sigma_B$ ) に至るまで圧縮応力度 ( $\sigma_c$ ) がほぼ線形的に増加し、それ以降は  $\sigma_c$  が急激に低下する特性を有する。この材料特性に基づき、かつ後述の評価式を容易に導くため、コンクリートの応力度-ひずみ関係を近似的に線形とする (図2(a))。

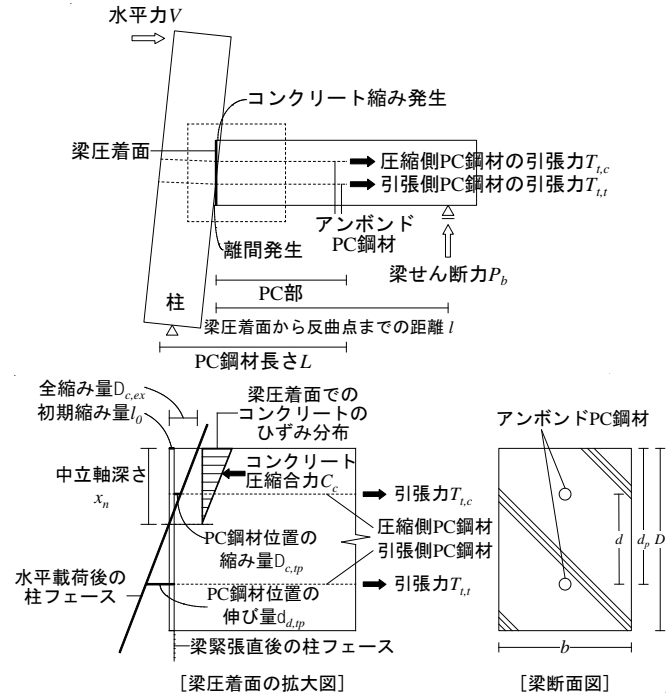


図1 途中定着アンボンド PCaPC 梁部材のマクロモデル (PC 鋼材が上下配筋された場合)

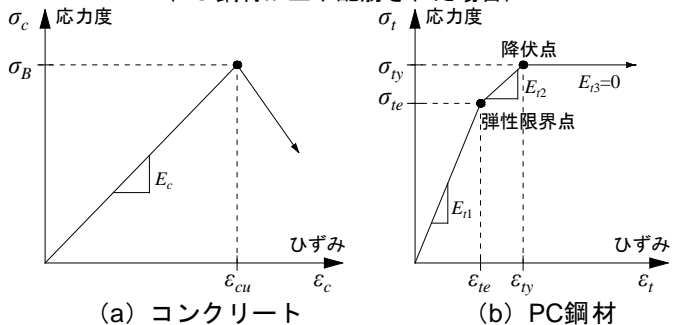


図2 応力度-ひずみ関係

一方、PC 鋼材の引張応力度-引張ひずみ関係は図2(b)のように弾性限界点以降の非線形区間を比較的適切に表現できるトリリニア形とする。よって、PC 鋼材の引張力 ( $T$ ) は、式(1)のように定義される。

$$T = \begin{cases} A_t \sigma_t = A_t E_{t1} \varepsilon_t & \varepsilon_t < \varepsilon_{te} \\ A_t \sigma_t = A_t (E_{t2} (\varepsilon_t - \varepsilon_{te}) + \sigma_{te}) & \varepsilon_{te} \leq \varepsilon_t < \varepsilon_{ty} \\ T_{ty} & \varepsilon_t \geq \varepsilon_{ty} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $\varepsilon_{te}$ 及び $\sigma_{te}$ : PC鋼材弾性限界時のひずみ及び応力度 (0.01%オフセット法)、 $\varepsilon_{ty}$ 及び $\sigma_{ty}$ : PC鋼材降伏時のひずみ及び応力度 (0.2%オフセット法)、 $E_{t1}$ : PC鋼材のヤング係数、 $E_{t2}$ : PC鋼材の2次接線剛性、 $E_{t3}$ : PC鋼材の3次接線剛性、である。

なお、アンボンド PCaPC 梁断面に配筋される主筋は主に肋筋を保持するための組立筋として存在するため、通常 RC 梁

に比べその主筋量が少ない。更に、梁圧着面を除き梁部材には曲げひび割れの発生が非常に少なく、梁危険断面近傍では組立筋が切断されているので、その影響は小さい<sup>3)</sup>。なお、その配筋量が比較的多い場合、特に圧縮側鉄筋の圧縮力により部材耐力が若干向上する可能性が考えられるが、安全側の評価かつ推定式を容易に導くため、本論文では組立筋の影響は考慮しないこととした。次報(その5)に示す最大耐力の推定結果からも、組立筋の影響を考慮しなくても実験値が精度良く評価できることを確認した。

### (3) PC 部の材軸に沿った任意断面での中立軸位置

上記の通り、本研究では PC 鋼材とコンクリートの間の力のつり合いを考慮するので、PC 部から部材耐力が決まるとし、PC 部に焦点をおき評価式を導く。図3のように、梁部材に作用する曲げモーメント ( $M$ ) は梁圧着面から梁材軸に沿って線形的に減少する。PC 部では PC 鋼材の引張合力の位置が一定であり、引張側 PC 鋼材位置から PC 鋼材の引張合力 ( $T_{t,t}+T_{t,c}$ ) までの距離を  $\alpha$  とすると、 $\alpha$  は式(2)となる。なお、集約配筋の場合は、以後の式において  $d$  にゼロを代入する。

$$\alpha = \frac{T_{t,c}}{T_{t,t}+T_{t,c}}d = \beta d \quad (\beta = \frac{T_{t,c}}{T_{t,t}+T_{t,c}}) \quad (2)$$

ここで、 $d$  : 引張側と圧縮側の PC 鋼材間距離である。

PC 部での  $M$  分布に着目すると、コンクリート圧縮合力 ( $C_c$ ) と PC 鋼材引張力 ( $T_{t,t}+T_{t,c}$ ) 間の応力中心間距離 ( $j_d$ ) も線形的に変動する。よって、梁圧着面及び梁圧着面から任意位置 ( $X$ ) における  $M$  の大きさの関係 (式(3)) から、PC 部の任意位置における圧縮縁から圧縮合力までの距離  $C_{cx}$  は式(4)となる。また、コンクリートの圧縮応力度分布を三角形と仮定すれば、中立軸深さ ( $x_{nx}$ ) は  $C_{cx}$  の3倍となり式(5)を得る。

$$P_b l : P_b(l-X) = (T_{t,t}+T_{t,c})\{(d_p-\beta d)-x_n/3\} : (T_{t,t}+T_{t,c})\{(d_p-\beta d)-C_{cx}\} \quad (3)$$

$$C_{cx} = \frac{3(d_p-\beta d)-x_n}{3l}X + \frac{x_n}{3} \quad (4)$$

$$x_{nx} = \frac{3(d_p-\beta d)-x_n}{l}X + x_n \quad (5)$$

ここで、 $x_n$  : 梁圧着面での中立軸深さ、 $d_p$  : 圧縮縁から引張

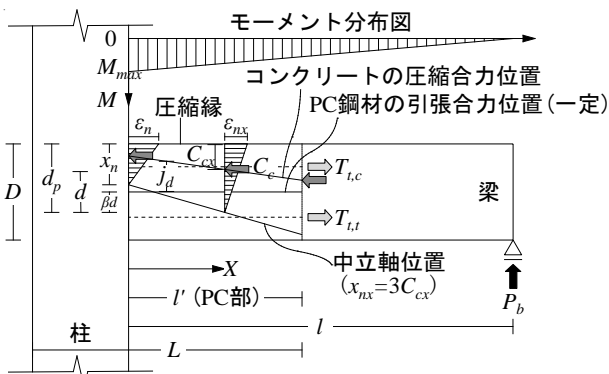


図3 梁任意断面での圧縮合力と中立軸位置

側 PC 鋼材位置までの距離、 $l$  : 梁圧着面から反曲点までの距離、である。

### (4) 梁圧着面における圧縮縁コンクリートの全縮み量

図3のように、PC 部ではコンクリートの圧縮合力の大きさ ( $C_c$ ) も一定であるため、梁圧着面に作用する  $C_c$  は  $l$  区間の任意断面に生じる  $C_c$  と同じになり (式(6))、これらの関係から  $l$  区間の任意断面での圧縮縁ひずみ ( $\epsilon_{nx}$ ) が式(7)のように導かれる。更に、式(7)の  $\epsilon_{nx}$  を梁圧着面から距離  $l$  に渡り積分すると、式(8)により梁圧着面における圧縮縁コンクリートの全縮み量 ( $\Delta_{c,ex}$ ) が求められる。

$$\frac{1}{2}x_n\epsilon_n E_c b = \frac{1}{2} \left( \frac{3(d_p-\beta d)-x_n}{l}X + x_n \right) \epsilon_{nx} E_c b \quad (6)$$

$$\epsilon_{nx} = x_n \epsilon_n \left( \frac{3(d_p-\beta d)-x_n}{l}X + x_n \right) \quad (7)$$

$$\Delta_{c,ex} = \int_0^l (\epsilon_{nx}) dX = \frac{x_n \epsilon_n l}{3(d_p-\beta d)-x_n} \ln \left| \frac{3(d_p-\beta d)-x_n}{x_n l} l + 1 \right| \quad (8)$$

ここで、 $\epsilon_n$  : 梁圧着面での圧縮縁ひずみ、 $E_c$  : コンクリートのヤング係数 (図2(a))、 $b$  : 梁幅、 $l$  : 梁圧着面から PC 鋼材定着部までの距離、ある。

### (5) 圧縮側及び引張側 PC 鋼材のひずみ

梁圧着面における平面保持の仮定に基づき、圧縮側 PC 鋼材位置でのコンクリート縮み量 ( $\Delta_{c,sp}$ ) と引張側 PC 鋼材位置での離間距離 ( $\delta_{d,tp}$ ) を梁圧着面での中立軸深さ ( $x_n$ ) で表わすと、それぞれ式(9)と式(10)となる (図1参照)。また、変形の適合条件によって式(11)及び式(12)が成り立ち、圧縮側及び引張側 PC 鋼材のひずみ ( $\epsilon_{t,c}$  及び  $\epsilon_{t,t}$ ) は、それぞれ式(13)及び式(14)となる。

$$\Delta_{c,sp} = \frac{x_n - (D-d_p)}{x_n} \Delta_{c,ex} - l_0 \quad (9)$$

$$\delta_{d,tp} = \frac{d_p - x_n}{x_n} \Delta_{c,ex} + l_0 \quad (10)$$

$$(\epsilon_{t_0} - \epsilon_{t,c})L = \Delta_{c,sp} = \frac{x_n - (D-d_p)}{x_n} \Delta_{c,ex} - l_0 \quad (11)$$

$$(\epsilon_{t,t} - \epsilon_{t_0})L = \delta_{d,tp} = \frac{d_p - x_n}{x_n} \Delta_{c,ex} + l_0 \quad (12)$$

$$\epsilon_{t,c} = -\frac{x_n - (D-d_p)}{x_n L} \Delta_{c,ex} + l_0 / L + \epsilon_{t_0} \quad (13)$$

$$\epsilon_{t,t} = \frac{d_p - x_n}{x_n L} \Delta_{c,ex} + l_0 / L + \epsilon_{t_0} \quad (14)$$

ここで、 $l_0$  : 初期緊張力によるコンクリートの縮み量 ( $\epsilon_0 \times l$ )、 $\epsilon_0$  : 初期緊張力によるコンクリートの圧縮ひずみ、 $L$  : PC 鋼材の全長、 $\epsilon_0$  : 初期緊張力による PC 鋼材のひずみ、である。

次報(その5)では、PC 鋼材のひずみ ( $\epsilon_{t,c}$  及び  $\epsilon_{t,t}$ ) に基づく PC 鋼材の引張力 ( $T_{t,t}$  及び  $T_{t,c}$ )、また梁圧着面での中立軸深さ ( $x_n$ ) の求め方を述べてから最大耐力を算出し、実験結果と比較することにより、本提案式の妥当性を検証する。

まとめ及び謝辞、参考文献はその5に示す。

\*1 明治大学 理工学部建築学科 准教授 博士 (工学)  
 \*2 明治大学大学院理工学研究科建築・都市学専攻 大学院生  
 \*3 東京都立大学 都市環境科学研究科建築学域 教授 工博  
 \*4 静岡理工科大学 理工学部建築学科 准教授 博士 (工学)

\*1 Associate Professor, Meiji Univ., Dr. Eng.  
 \*2 Graduate Student, Meiji University  
 \*3 Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.  
 \*4 Associate Professor, Shizuoka Institute of Science and Technology, Dr. Eng