

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11 最大耐力点評価用のマクロモデル)

アンボンドPCaPC構造マクロモデル	途中定着PC鋼材 コンクリートの軟化領域	最大耐力点 PC鋼材の材料特性	正会員 晉 沂雄 ¹ 同 立花 弘 ³	同 太田 陸 ² 同 北山 和宏 ⁴
--------------------	-------------------------	--------------------	--	---

1. はじめに

本研究ではアンボンド状態のPC鋼材をプレキャスト(以下、PCa)部材に途中定着する、途中定着アンボンドPCaPC梁部材の構造性能について実験的・解析的に検討してきた。本稿その1~8^{1)~3)}では、ト形骨組に取り付く途中定着アンボンドPCaPC梁の構造性能を実験的に検討し、剛体回転に基づくマクロモデルにより、最大耐力の評価法を提案した。本稿その9~10⁴⁾では、載荷済み試験体の修復を試み、アンボンドPCaPC梁における修復前後の構造性能を実験的に検討することで本構造システムの更なるポテンシャルを示した。一方、既報による最大耐力の評価法では、後述の通り改良の余地が存在し、既報までの検討では当該部材における変形角の評価手法が提案されていない。そこで本研究では、既往研究を参照しつつ、マクロモデル上の材料モデルの改良を試み、当該部材における最大耐力時の耐力及び変形の評価法を提案する。

2. マクロモデル及び材料モデルを改良

以下に述べるマクロモデルの概要は既往研究と殆ど変わらないが、後述のコンクリート及びPC鋼材の材料モデルについては改良を試み、材料モデルを改良したマクロモデルに基づき、当該部材の最大耐力点を評価する。

2.1 マクロモデルの概要

既往研究^{1)~3)}に基づくマクロモデルを図1に示す。同図はPC鋼材を梁断面上下へ複数本配置した場合を表し、以下の3つの条件を仮定する。本研究では、PC鋼材を梁せい中央部へ集約配置した場合及びそのPC鋼材を断面左右に並列配置した場合も検討対象としているが、より一般的なケースへ適用可能とすべく、引張側及び圧縮側それぞれにPC鋼材を有する断面を例として誘導式を展開する。また、梁せい中央部へ集約・並列配置したPC鋼材の引張合力は常に梁せい中央部に位置し、引張側PC鋼材として取り扱うことで本評価手法が使用できる。なお、アンボンドPCaPC梁の主筋は主に肋筋を保持する組立筋として存在し、危険断面近傍では組立筋が切断されているので、組立筋の影響は考慮しない。

- ① アンボンドPCaPC梁にせん断力(P_b)が作用すると梁部材が剛体回転し、梁圧着面の引張側には離間が生じ、梁圧着面の圧縮側にはコンクリートの軸縮みが集中する。
- ② 引張側PC鋼材の伸び量は、梁圧着面の引張側PC鋼材位置に生じる離間距離($\delta_{t,ip}$)と等しく、圧縮側PC鋼材の縮み量は、梁圧着面の圧縮側PC鋼材位置に生じるコンクリート縮み量($\Delta_{c,pc}$)と等しくなるという変形の適合条件が成り立つ。なお、PC鋼材の引張合力が梁せい中央になる場合(以下、中心並列配置)は梁圧着面の

PC鋼材位置に生じる離間距離($\delta_{t,ip}$)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($T_{t,i}$)は圧縮側PC鋼材の引張力($T_{t,c}$)より大きく、PC鋼材の引張合力($T_{t,t} + T_{t,c}$)はコンクリートの圧縮合力(C_c)と等しくなるという力の釣り合い条件が成り立つ。中心並列配列の場合はPC鋼材の引張力($T_{t,i}$)が C_c と等しくなる。

2.2 マクロモデルにおける材料特性

(1) コンクリートの材料モデル

既往研究^{1)~3)}による最大耐力の評価法では、最大耐力(曲げ終局)時における梁圧着面での圧縮縁コンクリートひずみをおある一定値(0.003)と仮定した。一方、既往実験の最大耐力時にて梁圧着面での圧縮縁コンクリートのひずみを調べたところ、その値が0.003を超える可能性も確認された。よって本研究では、コンクリートの軟化領域を含んだ材料モデルをマクロモデルへ取り入れることにした。以下にコンクリートの材料モデルについて述べる。

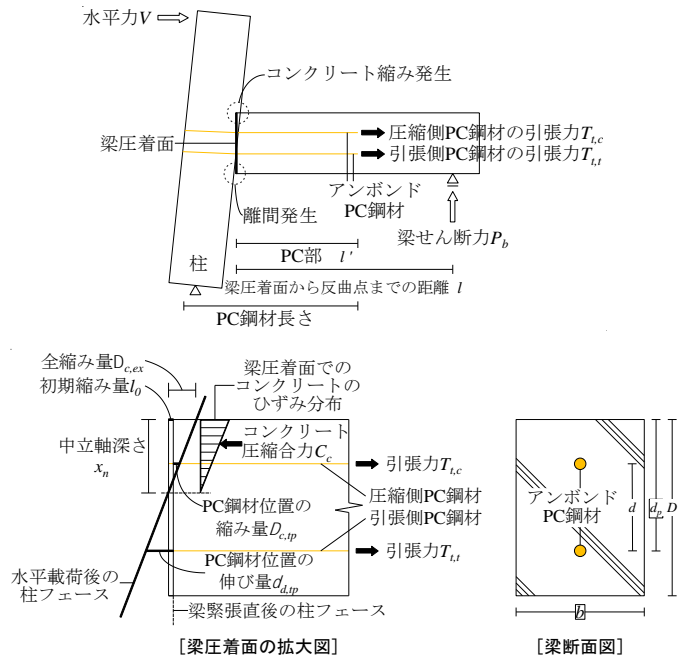


図1 耐力及び変形評価用のマクロモデル

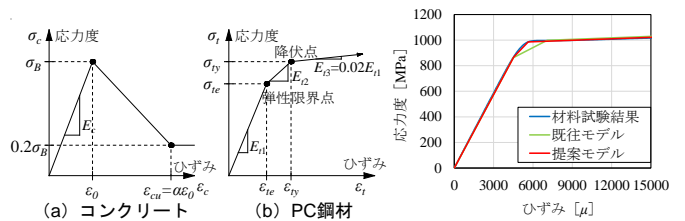


図2 材料特性モデル

図3 PC鋼材モデル比較

アンボンド PCaPC 構造では、一般的に高強度コンクリートが使用され、高強度コンクリートでは圧縮強度 (σ_B) に至るまで圧縮応力度 (σ_c) がほぼ線形的に増加する。この材料特性を活かし、本マクロモデルでは図 2(a) のように σ_B までの σ_c 増分を近似的に線形とした。 σ_B 以後の圧縮軟化域における下り勾配はコンクリート圧縮強度によって異なることから、係数 α を用いたうえ、圧縮強度点 (ε_0, σ_B) と終局限界点 ($\varepsilon_u = \alpha \varepsilon_0, 0.2\sigma_B$) を結ぶ直線とした。よって、コンクリートの圧縮応力度 (σ_c) - 圧縮ひずみ (ε_c) 関係は式(1)のように定義される。なお、次報にて最大耐力点を計算する際は α を仮に 4, ε_0 は既往研究¹⁾³⁾を参考に 0.003 と設定した。

(2) PC 鋼材の材料モデル

PC 鋼材の引張応力度 (σ_t) - 引張ひずみ (ε_t) 関係を図 2(b) に示す。材料試験結果から、PC 鋼材の弾性限界点 ($\sigma_{te}, \varepsilon_{te}$) を第一折れ点、降伏点 (σ_y, ε_y) を第二折れ点としたトリリニア型でモデル化し、降伏後の剛性低下率は 0.02 とした。なお、既往研究¹⁾³⁾では、PC 鋼材の弾性限界点を 0.01% オフセット法、降伏点を 0.2% オフセット法で算出したが、材料試験結果の再現精度の改善をはかり、本研究では、既往の途中定着アンボンド PCaPC 梁実験¹⁾⁴⁾で使用された PC 鋼材の応力度-ひずみ関係を精査したうえ、弾性限界点を 0.06% オフセット法、降伏点を 0.1% オフセット法で算出した。図 3 に既往試験体 PCX01¹⁾の PC 鋼材を代表例とし、材料試験結果との比較を示す。同図の通り、本研究の設定によって、より高い精度で材料試験結果が再現できたと考えられる。

$$\sigma_c = \begin{cases} \frac{\sigma_B}{\varepsilon_0} \varepsilon_c & \varepsilon_c < \varepsilon_0 \\ -\frac{4\sigma_B}{5(\alpha-1)\varepsilon_0} \varepsilon_c + \frac{5\alpha-1}{5(\alpha-1)} \sigma_B & \varepsilon_0 \leq \varepsilon_c < \varepsilon_{cu} \\ 0.2\sigma_B & \varepsilon_{cu} \leq \varepsilon_c \end{cases} \quad (1)$$

$$T_t = \begin{cases} E_{t1} \varepsilon_t A_t & \varepsilon_t < \varepsilon_{te} \\ E_{t2}(\varepsilon_t - \varepsilon_{te}) A_t + \sigma_{te} A_t & \varepsilon_{te} \leq \varepsilon_t < \varepsilon_y \\ E_{t3}(\varepsilon_t - \varepsilon_y) A_t + \sigma_{ty} A_t & \varepsilon_y \leq \varepsilon_t \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 A_t は PC 鋼材断面積、 $E_{t1} \cdot E_{t2} \cdot E_{t3}$ は、それぞれ PC 鋼材のヤング係数・二次剛性・降伏後剛性である。

2.3 マクロモデルにおける力のつり合い条件

コンクリートと PC 鋼材の間の力のつり合い条件は、最大耐力点での力のつり合いに焦点をおき説明を進める。梁圧着面での圧縮縁ひずみ (ε_e) が ε_0 以上になった場合、梁コンクリート断面での平面保持を仮定すると、梁圧縮面及び梁材軸方向の任意断面におけるコンクリートの応力度分布とひずみ分布は図 4 のようになる。同図の d_c は梁圧着面における圧縮縁から σ_B 位置までの距離であり、 d_c は 0 からかぶり厚さまで変動するものとする。即ち、 $d_c=0$ のときは梁圧着面の圧縮縁ひずみが ε_0 、 d_c がかぶり厚さのときは、コアコンクリートの圧縮縁ひずみが ε_0 になったことを意味する。図 4(a) により ε_e は式 (3) となり、梁圧着面での圧縮縁応力度 (σ_e) は、式 (1) の ε_c ($\varepsilon_0 \leq \varepsilon_c < \varepsilon_u$ の場合) に ε_e を代入して式 (4) となる。梁圧着面に生じる C_c は PC 鋼材の引張合力 ($T_{t,t} + T_{t,c}$) と釣り合う

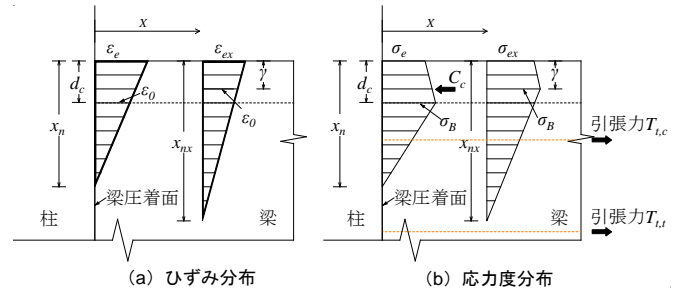


図 4 梁圧着面と任意断面でのコンクリート応力度とひずみ分布

ことから、式 (5) を得る。よって、式 (4) と式 (5) により、梁圧着面での中立軸深さ (x_n) に関する式 (6) を得る。

$$\varepsilon_e = \frac{x_n \varepsilon_0}{x_n - d_c} \quad (3)$$

$$\sigma_e = \frac{5\alpha - 1}{5(\alpha - 1)} \sigma_B - \frac{4x_n}{5(\alpha - 1)(x_n - d_c)} \sigma_B \quad (4)$$

$$T_{t,t} + T_{t,c} = \frac{1}{2}(x_n - d_c)b\sigma_B + \frac{1}{2}d_c b(\sigma_B + \sigma_e) \quad (5)$$

$$\frac{1}{2}b\sigma_B x_n^2 - (T_{t,t} + T_{t,c})x_n = \frac{5\alpha - 1}{10(\alpha - 1)} b\sigma_B d_c^2 - (T_{t,t} + T_{t,c})d_c \quad (6)$$

ここで、 b : 梁幅である。

2.4 マクロモデルにおける変形の適合条件

梁コンクリート断面での平面保持の仮定に基づき、梁圧着面の圧縮側 PC 鋼材位置でのコンクリート縮み量 ($\Delta_{c,pc}$) 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) で表すと、それぞれ式 (7) 及び式 (8) となる (図 1 参照)。また、変形の適合条件により、 $\Delta_{c,pc}$ は PC 鋼材の縮み量 ($(\varepsilon_0 - \varepsilon_{t,c})L$) に等しく、 $\delta_{d,tp}$ は PC 鋼材の伸び量 ($(\varepsilon_{t,t} - \varepsilon_0)L$) に等しくなるので、式 (9) 及び式 (10) が成り立つ。よって、圧縮側及び引張側 PC 鋼材のひずみ ($\varepsilon_{t,c}$ 及び $\varepsilon_{t,t}$) はそれぞれ式 (11) 及び式 (12) のように誘導される。

$$\Delta_{c,tp} = \frac{x_n - (D - d_p)}{x_n} \Delta_{c,ex} - \varepsilon_{c0} l' \quad (7)$$

$$\delta_{d,tp} = \frac{d_p - x_n}{x_n} \Delta_{c,ex} + \varepsilon_{c0} l' \quad (8)$$

$$(\varepsilon_{t0} - \varepsilon_{t,c})L = \Delta_{c,tp} = \frac{x_n - (D - d_p)}{x_n} \Delta_{c,ex} - \varepsilon_{c0} l' \quad (9)$$

$$(\varepsilon_{t,t} - \varepsilon_{t0})L = \delta_{d,tp} = \frac{d_p - x_n}{x_n} \Delta_{c,ex} + \varepsilon_{c0} l' \quad (10)$$

$$\varepsilon_{t,c} = -\frac{x_n - (D - d_p)}{x_n L} \Delta_{c,ex} + \frac{\varepsilon_{c0} l'}{L} + \varepsilon_{t0} \quad (11)$$

$$\varepsilon_{t,t} = \frac{d_p - x_n}{x_n L} \Delta_{c,ex} + \frac{\varepsilon_{c0} l'}{L} + \varepsilon_{t0} \quad (12)$$

ここで、 $\Delta_{c,ex}$: 梁圧着面での圧縮縁コンクリートの全縮み量、 ε_{t0} 及び ε_{t0} : 初期緊張力によるコンクリート圧縮ひずみ及び PC 鋼材ひずみ、 l' : PC 部の長さ、 L : PC 鋼材の全長、 d_p : 圧縮縁から引張側 PC 鋼材までの距離、 D : 梁せい、である。

3. まとめ

途中定着アンボンド PCaPC 梁の最大耐力点評価にあたり、材料モデルを改良したマクロモデルについて述べた。コンクリートには軟化領域を加味し、PC 鋼材では弾性限界点及び降伏点をそれぞれ 0.06% 及び 0.1% オフセット法により算出した。

参考文献はその 12 に示す。

*1 明治大学 理工学部建築学科 准教授 博士 (工学)

*2 オリエンタル白石 (株) (元明治大学大学院生)

*3 オリエンタル白石 (株)

*4 東京都立大学 都市環境科学研究科建築学域 教授 工博

*1 Associate Professor, Meiji University, Dr. Eng.

*2 Oriental Shiraishi Corporation, Former Graduate Student, Meiji University

*3 Oriental Shiraishi Corporation

*4 Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr. Eng.