

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5: 途中定着 PC 鋼材を有する場合の最大耐力評価法の検証)

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 ○上野 彩菜*1 正会員 晋 沂雄*2
正会員 北山 和宏*3 正会員 崔 琥*4

1. はじめに

引き続き本報では、前報(その4)の圧縮側と引張側 PC 鋼材のひずみ ($\epsilon_{t,c}$ と $\epsilon_{t,t}$) に基づくそれぞれの引張力 ($T_{t,t}$ と $T_{t,c}$)、また梁圧着面での中立軸深さ (x_n) の求め方を説明する。その後、梁曲げ終局時の最大耐力と PC 鋼材ひずみの計算値を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。

2. 梁曲げ終局耐力(最大耐力)の評価

前報で述べた式のうち、最大耐力評価に必要な式を改めて以下に示す。式中の記号の詳細は、その4を参考されたい。

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

$$\Delta_{c,ex} = \int_0^{l'} (\epsilon_{nx}) dX = \frac{x_n \epsilon_n l'}{3(d_p - \beta d) - x_n} \ln \left| \frac{3(d_p - \beta d) - x_n}{x_n l'} l' + 1 \right| \quad (2)$$

$$\epsilon_{t,c} = -\frac{x_n - (D - d_p)}{x_n L} \Delta_{c,ex} + l_0 / L + \epsilon_{t0} \quad (3)$$

$$\epsilon_{t,t} = \frac{d_p - x_n}{x_n L} \Delta_{c,ex} + l_0 / L + \epsilon_{t0} \quad (4)$$

(1) PC 鋼材の引張力及び梁圧着面での中立軸深さの計算法

本研究では、梁圧着面における圧縮縁コンクリートひずみ (ϵ_n) が終局ひずみ (0.003) に到達する時を曲げ終局状態と定義した。その時の梁圧着面での中立軸深さ (x_n)、圧縮側及び引張側 PC 鋼材の引張力 ($T_{t,c}$ 及び $T_{t,t}$) は、以下に示す収束計算法 (Step1~4) に基づき計算する (図1参照)。

Step1) 図2に示す応力状態において、式(5)及び式(6)より、梁曲げ終局時の β 及び梁圧着面での x_n を計算する。初期値は、便宜上、圧縮側 PC 鋼材の引張力 ($T_{t,c}$) を初期緊張力 (T_{t0})、引張側 PC 鋼材の引張力 ($T_{t,t}$) を引張降伏力 (T_{ty}) と仮定し、それ以後は Step4 で計算された PC 鋼材の引張力を使用する。ここで、 σ_B はコンクリートの圧縮強度である。

$$\beta = \frac{T_{t,c}}{T_{t,t} + T_{t,c}} \quad (5)$$

$$x_n = \frac{2(T_{t,t} + T_{t,c})}{b \sigma_B} \quad (6)$$

Step2) 式(2)より梁圧着面における圧縮縁コンクリートの全縮み量 ($\Delta_{c,ex}$) を算出する。この時、式(2)の β 及び x_n には式(5)及び(6)から計算された値を、 ϵ_n には 0.003 を用いる。

Step3) Step1 及び Step2 で得られた x_n 及び $\Delta_{c,ex}$ の値を用いて式(3)及び式(4)より $\epsilon_{t,c}$ 及び $\epsilon_{t,t}$ を求め、式(1)より新たな $T_{t,c}$ 及び $T_{t,t}$ を再計算する。

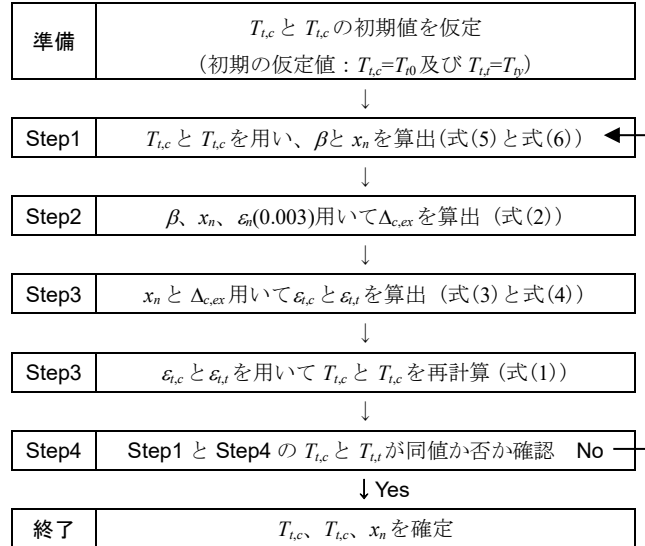


図1 収束計算のフロー

Step4) Step3 で再計算された $T_{t,c}$ 及び $T_{t,t}$ を初期の仮定値と比較する。両者が異なる場合は、Step3 で再計算された $T_{t,c}$ 及び $T_{t,t}$ を用いて Step1~Step4 の過程を繰り返す。即ち、再算出された $T_{t,c}$ 及び $T_{t,t}$ が、前ステップの $T_{t,c}$ 及び $T_{t,t}$ と等しくなるまで収束計算を行う。なお、本計算は Excel 等のプログラムにより比較的簡単に求められる。

(2) 梁せん断力の算出

以上により、図2の応力状態における梁曲げ終局時の曲げモーメント ($M_{(u)}$) を式(7)から算出し、最後に式(8)により梁せん断力 ($P_{b(u)}$) を得る。

$$M_{(u)} = \left(D - d_p - \frac{x_n}{3} \right) T_{t,c} + \left(d_p - \frac{x_n}{3} \right) T_{t,t} \quad (7)$$

$$P_{b(u)} = M_{(u)} / l \quad (8)$$

ここで、 D : 梁せい、 d_p : 圧縮縁から引張側 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。

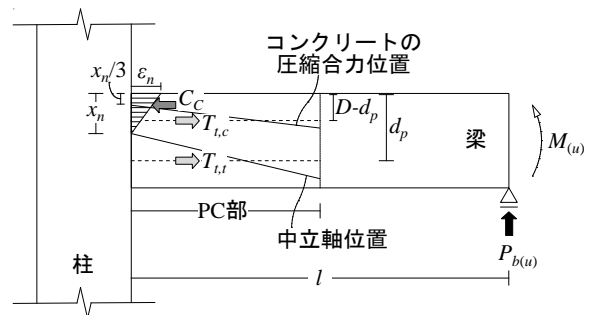


図2 途中定着アンボンド PCaPC 梁部材の応力状態

3. 提案式の検証

その1及びその2で報告した実験結果¹⁾との比較・検討を行い、本提案手法の妥当性を検証する。

3.1 実験概要

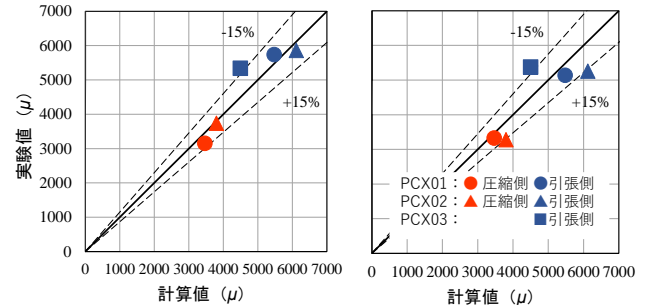
図3に載荷装置及び試験体詳細を、表1に試験体諸元及び材料特性を示す。試験体はPCX01～PCX03の計3体で、ト形架構に取り付け途中定着アンボンドPCaPC梁部材を想定した。梁断面は250×400mm、梁圧着面から梁反曲点までの距離を1,425mmとする片持ち梁形式とした。PCX01とPCX02ではPC鋼材を上下配筋したのに対し、PCX03ではPC鋼材を梁せい中央部に集約配筋した。なお、PCX01とPCX03ではPC鋼材の本数と径が異なるが、PC鋼材の総断面積はほぼ同程度である。全試験体は梁曲げ終局により最大耐力を記録しており、その有効プレストレスレベル（初期緊張力/PC鋼材降伏力）は0.5であった。実験結果の詳細は文献¹⁾を参考されたい。

3.2 実験結果と計算結果との比較

実験結果から得られた各試験体の最大耐力実験値と本研究の提案式により算出した最大耐力計算値の比較を表2に示す。最大耐力の実験値に対する計算値の比率は0.95～1.05であり、正載荷と負載荷時共に本評価式の計算値から実験値が精度良く評価できた。最大耐力時におけるPC鋼材のひずみについて

表2 最大耐力の実験値と実験値の比較

試験体	載荷方向	実験値(kN)	計算値(kN)	計算値/実験値
PCX01	正載荷	+81.0	±77.8	0.96
	負載荷	-78.0		1.00
PCX02	正載荷	+53.8	±54.0	1.00
	負載荷	-51.3		1.05
PCX03	正載荷	+79.5	±75.3	0.95
	負載荷	-76.3		0.99



(a) 正載荷時 (b) 負載荷時
図4 最大耐力時のPC鋼材ひずみの比較

て、実験値と計算値を比較して図4に示す。ここで、ひずみの実験値は、梁圧着面位置に貼付したPC鋼材のひずみゲージ(図3参照)からの出力値であり、試験体PCX01とPCX2では引張側と圧縮側PC鋼材のひずみ値を両方プロットした。なお、PC鋼材を集約配筋したPCX03では、引張側PC鋼材のひずみ値のみとなる。その結果、正載荷と負載荷時共に、PC鋼材ひずみ値の計算値は実験値のおおよそ±15%の範囲内となり、本評価手法はPC鋼材のひずみ予測にも有効であった。

4.まとめ

- (1) 本研究のマクロモデルでは、梁圧着面での離間発生と共に梁部材が剛体回転し、コンクリートの縮みによる梁材軸方向への軸変形は、主に緊張力を導入したPC部(PC鋼材配筋区間)から生じて梁圧着面に集中すると仮定した。
- (2) PC部における力のつり合い条件及び変形の適合条件に基づき、梁曲げ終局時の耐力とPC鋼材のひずみを評価した。
- (3) 最大耐力の計算値は実験値の0.95～1.05倍となり、実験結果を精度良く評価した。最大耐力時のPC鋼材ひずみの計算値は実験値の±15%の範囲内となり、両者は良好に対応した。以上により、本評価法の妥当性が確認された。

謝辞

本研究は明治大学科学技術研究所重点研究費B(研究代表者: 晉沂雄)により行った。本検討の一部に関野恭平氏(元明治大)と本橋斗真氏(元明治大)の協力を得た。ここに記して御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 井上大河、上野彩葉、馬場龍太郎、関口珠央、晉沂雄、北山和宏、崔琥：途中定着PC鋼材で圧着接合したアンボンドPCaPC梁の構造性能評価(その1～その3)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV、pp.713-718、2020年9月
- 2) 晉沂雄、北山和宏：ト形アンボンドPCaPC架構の梁部材における骨格曲線の評価手法、コンクリート工学年次論文集、Vol.41、No.2、pp.481-486、2019年7月
- 3) 宋性勲、晉沂雄、北山和宏：アンボンドPCaPC十字形架構の梁部材における曲げ終局時の耐力および変形評価用マクロモデル、日本建築学会構造系論文集、第81巻、第725号、pp.1121-1131、2016年7月

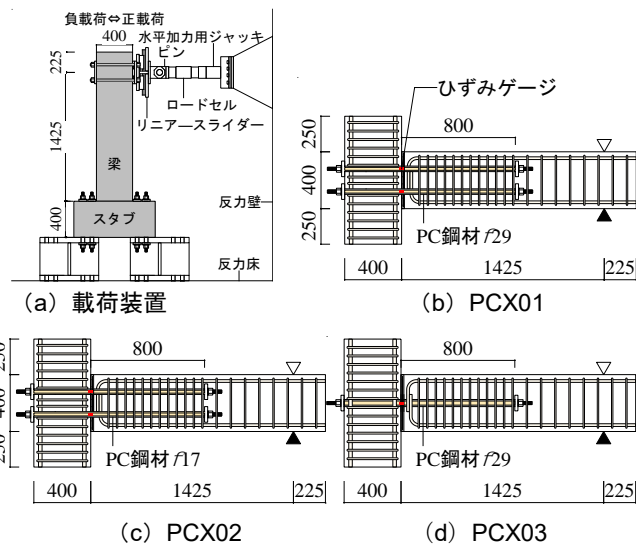


図3 載荷装置及び試験体詳細図

表1 試験体諸元及び材料特性

試験体名	PCX01	PCX02	PCX03
定着長さ	800mm (2.0D)		
径(本数)	φ21 ^{*1)} (2本)	φ17 (2本)	φ29 ^{*1)} (1本)
弾性限界/降伏歪	0.45% / 0.71%	0.42% / 0.69%	0.44% / 0.70%
降伏応力度	998.5MPa	996.1MPa	994.7MPa
ヤング係数	2.0×10 ⁵ MPa		
有効プレストレスレベル ^{*3)}	0.5		
断面 (b×D)	250mm×400mm		
コンクリート圧縮強度	95.2MPa	95.2MPa	95.5MPa

*1) φ21・2本の断面積：692.8mm²、φ29・1本の断面積：660.5mm²
 *2) 弾性限界点及び降伏点は、0.01%及び0.2%オフセット法により定めた。
 *3) 有効プレストレスレベル：初期緊張力/PC鋼材の降伏力

*1 明治大学大学院理工学研究科建築・都市学専攻 大学院生
 *2 明治大学 理工学部建築学科 准教授 博士(工学)
 *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 Graduate Student, Meiji University
 *2 Associate Professor, Meiji Univ., Dr. Eng.
 *3 Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.
 *4 Associate Professor, Shizuoka Institute of Science and Technology, Dr. Eng