

アンボンド PCaPC 十字形架構の梁部材の任意断面における中立軸位置の評価

PCaPC 圧着工法 十字形架構 アンボンド PC 鋼材 正会員 ○宋 性勲\*1 同 晋 沂雄\*2  
中立軸位置 ひび割れ状況 同 北山 和宏\*3

1. はじめに

アンボンド PC 鋼材をプレキャスト RC 柱及び梁部材に貫通して配筋し、その PC 鋼材を緊張して両者を一体化する圧着工法（以下、アンボンド PCaPC 圧着工法）では付着の無い PC 鋼材を用いるため、従来の PRC 造又は RC 造に比べ梁部材にひび割れの発生が抑制され、梁圧着面近傍での離間や曲げひび割れの発生が卓越する。その一方で、部材のひび割れ性状にはその材軸方向に沿った中立軸位置も深く関係すると考えられる。よって、アンボンド PCaPC 梁部材の材軸方向に沿った中立軸位置の変化は PRC 及び RC 梁部材とは大きく異なる可能性が高いが、これに着目した研究事例は殆どない。そこで本研究では、アンボンド PCaPC 十字形架構における梁部材の地震時挙動や力学特性を更に明らかにすべく、その材軸方向に沿った中立軸位置分布を力学的根拠に立脚して推定する方法を提案し、既往実験との比較検証を行った。

2. 梁部材の任意断面における中立軸位置の推定法

2.1 推定法の概要

本研究で提案する推定法では、アンボンド PCaPC 梁部材の PC 鋼材が上下等量であり、かつ梁全長に渡り対称配置されたアンボンド PCaPC 十字形部分架構を対象とする。また、推定式を容易に導くため、以下の仮定を用いる。

- (i) 梁圧着面及び部材断面では平面保持が成り立つ。
- (ii) アンボンド PCaPC 部材に一般的に用いられる高強度コンクリートの場合、図1のように圧縮強度に至るまで圧縮応力度がほぼ線形的に増加する。そこで、梁断面におけるコンクリートの圧縮応力度分布は圧縮ひずみ分布と同様に圧縮縁から中立軸位置まで線形的に変化する（図3参照）とし、これを本推定法の適用の条件とする。
- (iii) アンボンド PCaPC 梁部材の組立筋は主に肋筋を保持するため、通常 RC 梁に比べその主筋量は少なくその影響も大きくないと考え、組立筋の影響は考慮しない。

本研究の対象となるアンボンド PCaPC 十字形部分架構及びその地震時挙動を簡略化して図2に示す。本架構に水平力が作用すると梁圧着面での離間が生じて梁部材が剛体的に回転し、圧縮側コンクリートは圧縮力を負担する。

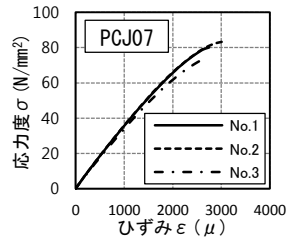


図1 高強度コンクリートの応力度—ひずみ関係

2.2 梁材軸に沿った中立軸位置分布の推定式

まず、梁材軸に沿った任意断面における圧縮縁から圧縮合力位置までの距離 ( $C_{dx}$ ) を考える。梁断面に作用する曲げモーメント ( $M$ ) は、図3のように梁圧着面から梁材軸に沿って線形的に減少する。ここでアンボンド PC 鋼材が上下等量・対称配置された場合、PC 鋼材による引張合力 ( $2T_p$ ) の位置は常に梁せいの中心にあって一定であるため、圧縮合力 ( $C$ ) と引張合力の中心間距離 ( $j_d$ ) は曲げモーメントの減少に比例して線形的に減少する。また、支持点では圧縮合力位置と引張合力位置が一致する。これより任意断面での圧縮縁から圧縮合力位置までの距離 ( $C_{dx}$ ) は、式(1)で表わせる。また、前述した通りコンクリートの圧縮応力度分布を三角形と仮定すれば、任意断面での中立軸深さ ( $x_{nx}$ ) は圧縮合力位置までの距離 ( $C_{dx}$ ) の3倍となり、式(2)を得る。

$$C_{dx} = \frac{3D - 2x_n}{6l'} X_1 + \frac{x_n}{3} \tag{1}$$

$$x_{nx} = \frac{3D - 2x_n}{2l'} X_1 + x_n \tag{2}$$

ここで、 $D$  : 梁せい、 $l'$  : 梁圧着面から支持点までの距離、 $x_n$  : 梁圧着面での中立軸深さ、 $X_1$  :  $l'$  区間（中立軸位置が梁断面の内側に存在する区間、図3参照）での梁圧着面から材軸方向への距離、である。

この際、式(2)の中立軸深さ ( $x_{nx}$ ) が梁せいとちょうど

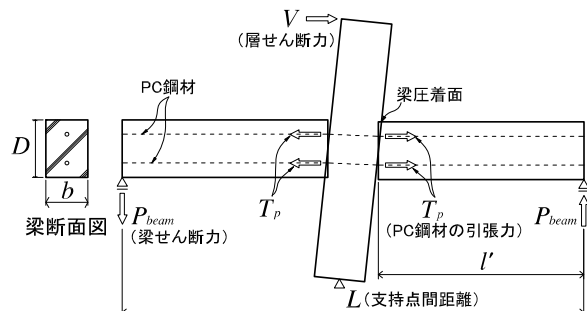


図2 アンボンド PCaPC 十字形部分架構の挙動

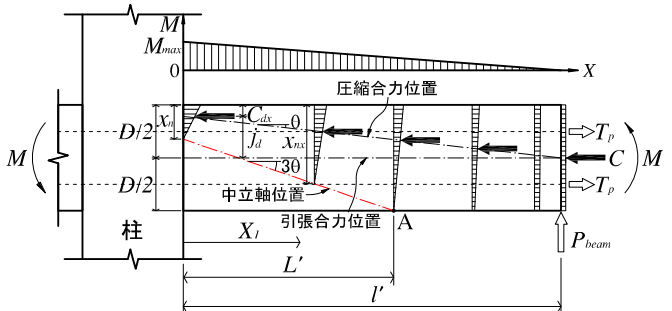


図3 梁材軸に沿った任意断面での中立軸位置

等しくなる A 点 (図 3 参照) が, 梁断面内の圧縮ひずみ分布を三角形とする限界点である。梁圧着面から A 点までの距離 ( $L'$ ) は式 (3) より算定される。

$$L' = \frac{(D - x_n)}{\left(\frac{3D - 2x_n}{2l'}\right)} \quad (3)$$

### 3. 既往実験結果との比較検証

#### 3.1 試験体概要

本章では, 2 章で説明した推定式により求めた中立軸位置分布と既往の実験研究<sup>2),3)</sup>から得られた実験値との比較を行い, 推定式の妥当性を検証する。本論文で対象とした試験体はアンボンド PCaPC 十字形部分架構であり, その梁断面の PC 鋼材は上下等量・対称配置された。表 1 に検証対象となる試験体の寸法や材料特性等の主要諸元を示す。また, 図 4 に梁材軸に沿った三ヶ所の断面 (梁圧着面から 50mm, 200mm, 400mm) での中立軸位置を測るための変位計設置位置を示す。本研究では各区分 (50mm, 150mm, 200mm) での変位計測定値を直線補間して中立軸位置を算出し, これを各変位計位置での中立軸位置とした。

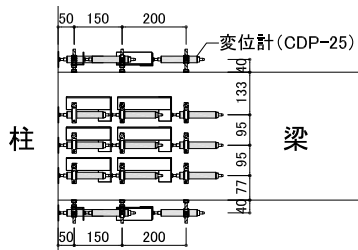


図 4 中立軸位置測定方法

表 1 試験体の諸元

試験体名	梁幅 $b$ (mm)	梁せい $D$ (mm)	圧着面から支持 点までの距離 $l'$ (mm)	PC 鋼材 全長 $L$ (mm)	PC 鋼材 直径 $\phi$ (mm)	コンクリートの 圧縮強度 $\alpha_c$ (N/mm <sup>2</sup> )
PCJ07 <sup>2),3)</sup>	250	400	1425	3750	23	79.2
PCJ08 <sup>2),3)</sup>						78.2

#### 3.2 推定法による中立軸位置と実験結果との比較

図 5 に推定法による中立軸位置分布と層間変形角 1.0%, 2.0%, 3.0% 時の実験値の比較を示す。同図の縦軸は圧縮域から中立軸位置までの距離を, 横軸は梁圧着面から梁材軸方向への距離をそれぞれ表す。図中の黒色及び赤色の破線は式(2)により計算した正載荷時 (梁上部圧縮) 及び負載荷 (梁下部圧縮) 時の中立軸位置分布を表す。式(2)による中立軸位置分布の算定の際, 梁圧着面での中立軸深さ  $x_n$  は梁曲げ終局時 (層間変形角  $R=2.0\%$ ) の実験値を用いた。実験結果から得られた中立軸位置は梁材軸に沿って大きく変化し, 正負載荷時とも提案式により求めた中立軸位置の分布線とほぼ一致した。

#### 3.3 推定法による中立軸位置とひび割れ状況との比較

図 6 に梁部材の最終的な損傷及びひび割れ状況を図 5 の中立軸位置の分布線と併せて示す。両試験体において層間変形角  $R=0.25\%$  付近で梁に曲げひび割れが発生し, これらとほぼ同時に梁圧着面で離間が観測された。この以降

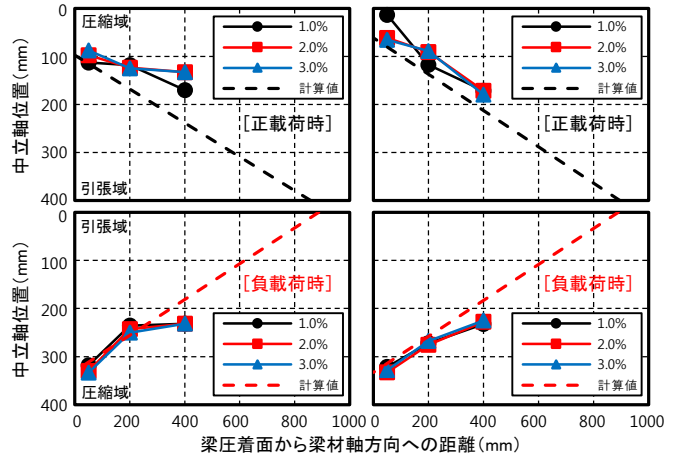


図 5 梁材軸に沿った中立軸位置  
(a) PCJ07 (b) PCJ08

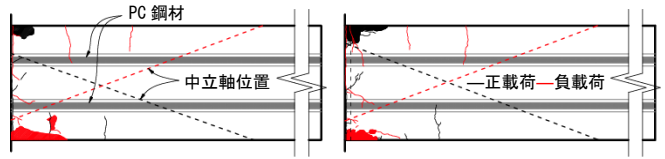


図 6 ひび割れ状況と中立軸位置の推定値

$R=1.5\%$  まで梁の曲げひび割れが伸展し,  $R=2.0\%$  では梁圧着面近傍のかぶりコンクリートが圧壊し, 梁の損傷は梁圧着面付近に集中した。図 6 より, 実験結果によるひび割れの発生や進展は本論文で提案した中立軸位置の分布線の外側 (引張域) に留まり, アンボンド PCaPC 梁におけるひび割れ発生領域を概ね推定できた。

### 4. まとめ

本研究では PC 鋼材が上下等量・対称配置されたアンボンド PCaPC 十字形部分架構の梁部材を対象に, その地震時挙動や力学特性を明らかにすべく, 梁材軸の任意断面における中立軸位置の評価手法を提案した。また, その評価精度を実験結果を用いて検証し, 以下の知見を得た。

(1) アンボンド PCaPC 十字形架構の梁部材では梁材軸に沿って中立軸位置が大きく変化し, その中立軸位置分布は本研究で提案した推定値とほぼ一致した。

(2) 検証対象とした試験体において, アンボンド PCaPC 梁部材のひび割れの発生及び進展は, 提案式による中立軸位置の分布線の外側 (引張域) に留まり, そのひび割れ発生領域を概ね推定できた。

[謝辞] 本研究は, 日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究 C (課題番号: 15K06302, 課題名: アンボンド PC 鋼材で圧着接合したプレストレストコンクリート架構の復元力特性評価法, 研究代表者: 北山和宏) により実施した。ここに記して御礼申し上げます。

[参考文献] 1) 小坪幸恵, 中塚侑: 角形コンファインドコンクリートの応力-ひずみ特性に及ぼす寸法・辺長比の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.3, pp.1147-1152, 2003 2) 鈴木大貴, 宋性勲, 晉沂雄, 北山和宏, 金本清臣: 柱梁曲げ強度比を実験変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能に関する研究(その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp.711-712, 2015.9 3) 宋性勲, 鈴木大貴, 晉沂雄, 北山和宏, 金本清臣: 柱梁曲げ強度比を実験変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能に関する研究(その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp.713-714, 2015.9

\*1 首都大学東京 大学院生 修士(工学)  
\*2 首都大学東京 都市環境科学研究科 特任助教 博士(工学)  
\*3 首都大学東京 都市環境科学研究科 建築学域 教授 工博

\*1 Graduate Student, Tokyo Metropolitan Univ. M. Eng.  
\*2 Research Assistant Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.  
\*3 Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.