

アンボンド・プレキャスト・プレストレストコンクリート架構の柱梁接合部降伏破壊に関する解析研究
その1 十字形柱梁接合部の曲げ終局モーメント算定法

PCaPC 圧着工法 アンボンド PC 鋼材 柱梁接合部
接合部降伏破壊 力学モデル

正会員 ○李梦丹*1
正会員 北山和宏*2

1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) 柱梁接合部に関する研究では、梁曲げ終局耐力に対する柱曲げ終局耐力の比 (柱梁曲げ耐力比) が 1 に近い場合には、柱梁接合部内で柱主筋および梁主筋が引張り降伏して最大耐力に到達し、梁の曲げ終局耐力を発揮できないこと (以下、接合部降伏破壊) が指摘された¹⁾。また、RC 接合部降伏破壊が先行するときの接合部終局モーメントを評価する算定法が提案された²⁾。

アンボンドの PC 鋼材を梁部材に通して圧着接合したプレキャスト・プレストレストコンクリート (PCaPC) 骨組の柱梁接合部降伏破壊についてはわずかに実験研究³⁾があるものの、アンボンド PCaPC 骨組の設計に必要な柱梁接合部の曲げ終局耐力の評価法は明確に示されていない。

そこで本報では RC 骨組の 9 自由度モデル²⁾を参考に、柱および梁の配筋が対称ではない一般的な場合を想定して、アンボンド PCaPC 十字形部分骨組における柱梁接合部が降伏破壊する時の曲げ終局耐力の算定式を導出した。

アンボンド PCaPC 十字形架構の既往実験³⁾では、柱梁接合部内で柱主筋、接合部横補強筋および柱中段筋はすべて降伏し、PC 鋼材は弾性限界に達して接合部はほぼ終局状態に至った。そこでこの状況に到達する時の柱梁接合部の抵抗モーメントを曲げ終局モーメント M_{ju} とする。この際、柱梁接合部のコンクリートは圧壊するとして、抵抗モーメントの算出では、コンクリートの圧縮応力度分布として簡便な ACI のストレスブロック⁴⁾を使用する。

2. 接合部パネルの力学モデル

2.1 仮想断面に生じる応力

十字形部分骨組における柱梁接合部の対角線を仮想断面とし (図 1)、仮想断面により分割された 4 つのフリーボディを考える²⁾。対象とするアンボンド PCaPC 骨組では梁部材の PC 鋼材は付着がないので、応力は均一である。ここで、上下の柱および左右の梁に作用する応力の分布は材軸の交点に対して点対称ではない一般の場合を考える。図 2 は柱梁接合部に働く梁軸力 N_b 、柱軸力 N_c およびせん断力 (梁: V_b , 柱: V_c) を示す。図 3 は仮想断面に分配して作用する軸力およびせん断力を示す。 N_{b1} から N_{b4} および N_{c1} から N_{c4} は梁軸力および柱軸力をそれぞれの仮想断面に分配した力である。 V_{b1} から V_{b4} および V_{c1} から V_{c4} は梁および柱のせん断力をそれぞれの仮想断面に分配した力である。

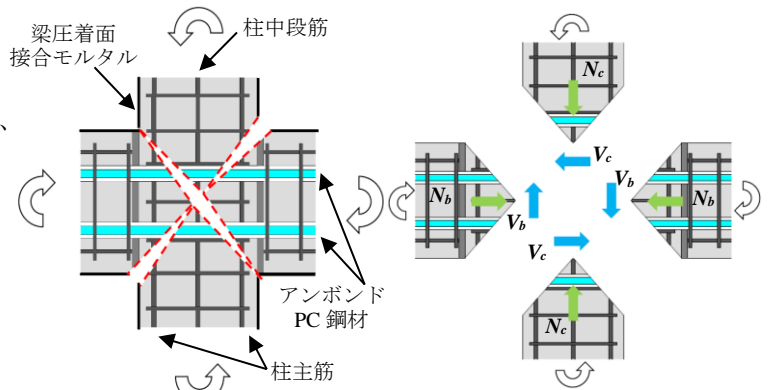


図 1 十字形柱梁接合部の変形機構

図 2 柱梁接合部に働く外力

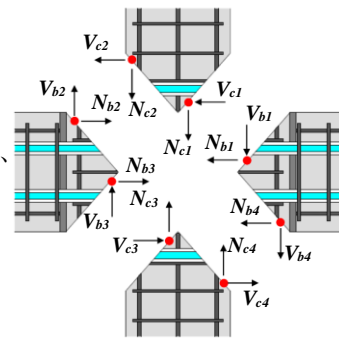


図 3 仮想断面に分配した外力

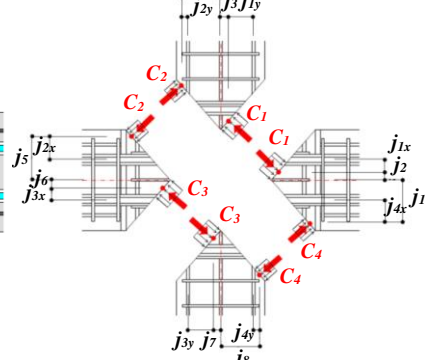
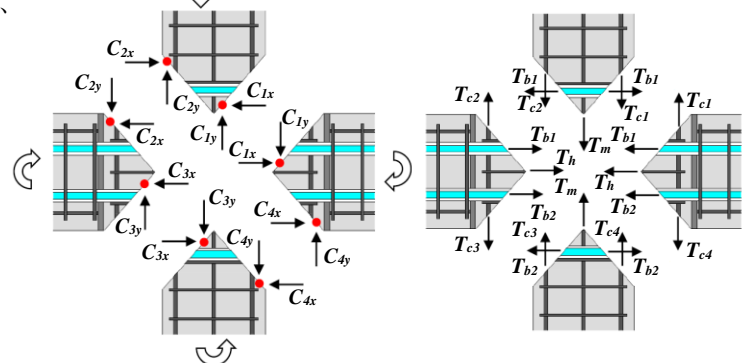


図 5 応力中心間距離



(a) コンクリートの応力 (b) 鉄筋および PC 鋼材の応力

図 4 仮想断面に生じる応力

これらの分配した軸力およびせん断力は、仮想断面上のコンクリート応力と同じ位置に作用するものとする。図 4 は柱梁接合部の仮想断面上の応力分布を示す。 C_{1x} , C_{1y} , C_{3x} , C_{3y} は接合部パネル中央のコンクリート圧縮応力、 C_{2x} , C_{2y} , C_{4x} , C_{4y} は接合部パネル入隅部のコンクリート圧縮応力である。 T_{b1} , T_{b2} は梁断面内の上下 PC 鋼材の各応力である。

T_{c1} 、 T_{c3} は柱の引張主筋の応力、 T_{c2} 、 T_{c4} は柱の圧縮側主筋の応力である。柱の圧縮側主筋の応力 (T_{c2} 、 T_{c4}) は、楠原ら²⁾と同様に接合部抵抗モーメント (後述の式(6)) が極大値をとるように定めた。 T_h 、 T_m は材軸に作用する接合部横補強筋、柱中段筋の引張合力である。 T_h 、 T_m は各仮想断面の材軸に対称な位置に $1/2$ ずつ作用すると仮定した。右梁フリーボディの仮想断面での力の釣り合いから、コンクリート圧縮応力 C_{1x} 、 C_{1y} 、 C_{4x} および C_{4y} は式(1-1)~(1-4)となる。ほかのフリーボディでも同様な方法でコンクリート圧縮応力を求める。

スラブ付き十字形接合部では、スラブ筋の圧縮力はコンクリート応力と比べて非常に小さいので無視し、スラブ筋の引張力 T_{sl} のみが働くとした。スラブ付き十字形接合部パネル中央のコンクリート圧縮応力 C_{1x}' を式(2)により求める。ほかのコンクリート圧縮応力は平面十字形接合部と同様に求める。

$$C_{1x} = T_{b1} + N_{b1} + T_h/2 - V_{c1} \quad (1-1)$$

$$C_{1y} = T_{c1} + N_{c1} + T_m/2 - V_{b1} \quad (1-2)$$

$$C_{4x} = T_{b2} + N_{b2} + T_h/2 + V_{c4} \quad (1-3)$$

$$C_{4y} = T_{c4} + N_{c4} + T_m/2 + V_{b2} \quad (1-4)$$

$$C_{1x}' = T_{b1} + T_{sl} + N_{b1} + T_h/2 - V_{c1} \quad (2)$$

2.2 コンクリートの応力の作用位置

柱の引張側主筋と接合部パネル中央部のコンクリート圧縮応力、圧縮側主筋と接合部パネル入隅部のコンクリート圧縮応力の各々の応力中心間距離 (j_{1y} 、 j_{3y} 、 j_{2y} 、 j_{4y})、および梁の PC 鋼材と接合部パネル中央部のコンクリート応力、PC 鋼材と接合部パネル入隅部のコンクリート応力の各々の応力中心間距離 (j_{1x} 、 j_{3x} 、 j_{2x} 、 j_{4x}) を図 5 に示す。右梁および上柱のフリーボディにおける j_{1x} 、 j_{4x} および j_{1y} 、 j_{2y} は式(3-1)~(3-4)により得る。ほかのフリーボディにおける応力中心間距離も同様な方法で求める。

スラブ付き十字形接合部の場合、スラブ筋の全引張力は梁断面内のスラブ筋位置に集約して作用するとした。梁の上端側の PC 鋼材とスラブ筋との引張合力 T_{b1}' が作用する位置は、スラブ筋引張力と PC 鋼材応力の大きさによって決まる。上記の引張合力 T_{b1}' と接合部パネル中央部のコンクリート応力の応力中心間距離 j_{1x}' は式(4)によって求める。スラブ付き十字形接合部における応力中心間距離 (j_{1x}' を除く) の求め方は平面十字形接合部と同じである。

$$j_{1x} = D_b/2 - C_{1x}/(2b_j k_3 \sigma_B) - dt_1 \quad (3-1)$$

$$j_{4x} = dt_2 - C_{4x}/(2b_j k_3 \sigma_B) \quad (3-2)$$

$$j_{1y} = g_c D_c/2 - C_{1y}/(2b_j k_3 \sigma_B) \quad (3-3)$$

$$j_{2y} = D_c/2 - g_c D_c/2 - C_{2y}/(2b_j k_3 \sigma_B) \quad (3-4)$$

$$j_{1x}' = D_b/2 - C_{1x}'/(2b_j k_3 \sigma_B) - dt_1 + T_{sl}/T_{b1}' \times (dt_1 - d_{sl}) \quad (4)$$

ここで、 b_j : 柱梁接合部の有効幅、 D_b : 梁せい、 D_c : 柱せい、 g_c : 柱主筋間距離比 (柱の引張主筋と圧縮側主筋の応力の重心間距離の柱せいに対する比)、 σ_B : コンクリート圧縮強

度、 d_{sl} : スラブ筋からスラブ天端までの距離、 dt_1 、 dt_2 : 梁断面内上下のそれぞれの PC 鋼材から梁のコンクリート上下縁までの距離である。

2.3 接合部の抵抗モーメント

はじめに、接合部横補強筋および柱中段筋がなく、軸力およびせん断力は作用せず、外力として曲げモーメントのみが作用する場合を考える。柱梁接合部では C_{1x} と T_{b1} 、 C_{1y} と T_{c1} 、 C_{2x} と T_{b1} 、 C_{2y} と T_{c2} 、 C_{3x} と T_{b2} 、 C_{3y} と T_{c3} 、 C_{4x} と T_{b2} 、および C_{4y} と T_{c4} がそれぞれ偶力となり、柱梁接合部の基本となる抵抗モーメント M_{j0} は上記 8 組の偶力によるモーメントの和となる (式(5-1))。

次に、材軸上に作用する梁・柱の軸力とその反力、柱中段筋および接合部横補強筋の引張力による抵抗モーメントの増分 ΔM_{j1} は式(5-2)となる。ここで、距離 $j_1 \sim j_8$ は図 5 の通りである。柱梁接合部中心に作用するせん断力による抵抗モーメントの増分 ΔM_{j2} は式(5-3)となる。よって、接合部横補強筋および柱中段筋のある柱梁接合部に軸力およびせん断力が作用する一般的な場合には、接合部抵抗モーメント M_{ju} は式(6)のように M_{j0} 、増分 ΔM_{j1} および増分 ΔM_{j2} の和として求められる。

$$M_{j0} = T_{b1} j_{1x} + T_{c1} j_{1y} + T_{b1} j_{2x} + T_{c2} j_{2y} + T_{b2} j_{3x} + T_{c3} j_{3y} + T_{b2} j_{4x} + T_{c4} j_{4y} \quad (5-1)$$

$$\Delta M_{j1} = -(N_{b1} + T_h/2) j_2 - (N_{c1} + T_m/2) j_3 + (N_{b2} + T_h/2) j_1 + (N_{c2} + T_m/2) j_4 - (N_{b3} + T_h/2) j_6 - (N_{c3} + T_m/2) j_7 + (N_{b4} + T_h/2) j_5 + (N_{c4} + T_m/2) j_8 \quad (5-2)$$

$$\Delta M_{j2} = V_{c1} j_2 + V_{c2} j_5 + V_{c3} j_6 + V_{c4} j_1 + V_{b1} j_3 + V_{b2} j_8 + V_{b3} j_7 + V_{b4} j_4 \quad (5-3)$$

$$M_{ju} = M_{j0} + \Delta M_{j1} + \Delta M_{j2} \quad (6)$$

3. まとめ

アンボンド PCaPC 架構の十字形柱梁接合部を四分割した力学モデルにおいて、力の釣り合いおよびコンクリートや鉄筋の塑性条件を考慮して、接合部降伏破壊発生時の曲げ終局モーメントを算定する手法を示した。

参考文献

- 1) 楠原文雄, 塩原等: 柱と梁の曲げ強度の比が小さい鉄筋コンクリート造十字形柱梁接合部の耐震性能, 日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第656号, pp.1873-1882, 2010.10
- 2) 楠原文雄, 塩原等: 鉄筋コンクリート造十字形柱梁接合部の終局モーメント算定法, 日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第657号, pp.2027-2035, 2010.11
- 3) 鈴木大貴, 宋 性勲, 晋 沂雄, 北山和宏: 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十字形部分架構の力学特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, 2016年7月, pp.511-516.
- 4) American Concrete Institute. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (Metric). ACI318 M-14. 2014

*1 首都大学東京 都市環境科学研究科 建築学域 博士前期課程
*2 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, Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ.
*2 Prof., Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng.