

アンボンド PCaPC 骨組における外柱梁接合部の破壊性状に関する研究

正会員 ○ 鄒 珊珊^{*1}
同 北山 和宏^{*2}

PCaPC 圧着工法 アンボンド PC 鋼材 外柱梁接合部
接合部降伏破壊

1. はじめに

付着の無いアンボンド PC 鋼材をプレキャスト RC 柱および梁部材に貫通して配筋し、その PC 鋼材に緊張力を導入して柱と梁の両者を一体化する圧着工法(以下、アンボンド PCaPC)は、部材の損傷を部材端部に集中させ、損傷した部材を比較的簡易に交換できる工法である。本工法において、RC 造のように柱梁接合部の曲げ降伏破壊¹⁾を想定して柱梁曲げ耐力比(梁曲げ終局耐力に対する柱曲げ終局耐力の比)に着目し、この数値が 1 に近い十字形試験体の実験²⁾では梁曲げ破壊が生じた。ここで、塩原が RC 造において提案した接合部降伏破壊による強度低下率 β_j ³⁾ は 1 より大きかった。そこで本研究では、スラブ有無を実験変数とし、柱梁曲げ耐力比を 1 に近く(1.1 程度)、また接合部降伏破壊による強度低下率 β_j を 1 より小さくし(0.9 程度)、これらがアンボンド PCaPC 外柱梁部分架構の接合部破壊に与える影響を実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図 1 に試験体概要、表 1 に各試験体の諸元及びコンクリートの力学特性、表 2 に使用鋼材の材料特性を示す。試験体は 2 体で、試験体 PCJ16 は平面ト形、試験体 PCJ17 は PCJ16 にスラブのみを付した。両試験体共に梁幅を 250mm、梁せいを 400mm、柱断面を 350mm×350mm とした。試験体は柱と梁(スラブ厚さ 70mm 分を除く)を別々に打設した後、幅 20mm の目地モルタルを介して接合し、アンボンド PC 鋼材に緊張力を導入して圧着接合した。次に、スラブのコンクリートを打設し、スラブと梁を一体化した。スラブと柱との一体性を確保するため、柱の南北面に先付アンカー-D13 を 3 本ずつ埋め込んだ。使用した PC 鋼材、柱主筋、梁主筋およびせん断補強筋は共通である。上下端 PC 鋼材の初期導入張力の平均値を梁引張主筋の負担力と仮定して算定した接合部降伏破壊時の強度低下率 β_j が 1 未満になるように設計した。

2.2 実験方法

試験体の梁端部はローラー支持、柱脚はピン支持とし、柱頭の加力点に鉛直・東西・南北各方向の 3 基のジャッキを取り付けた。柱に一定軸力(軸力比 0.05)を導入した後、変位制御で層間変形角(R : 頂部加力点の水平変位を、頂部加力点から下柱支持点までの距離 2830mm で除したもの)0.125%を 1 回、層間変形角 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4%を 2 回ずつ 1 方向正負交番繰返し載荷した。

3. 実験結果

3.1 破壊性状

写真 1, 2 にスラブの無い試験体 PCJ16 およびスラブ付き試験体 PCJ17 の層間変形角 $R=3%$ 時のひび割れ状況を示す。

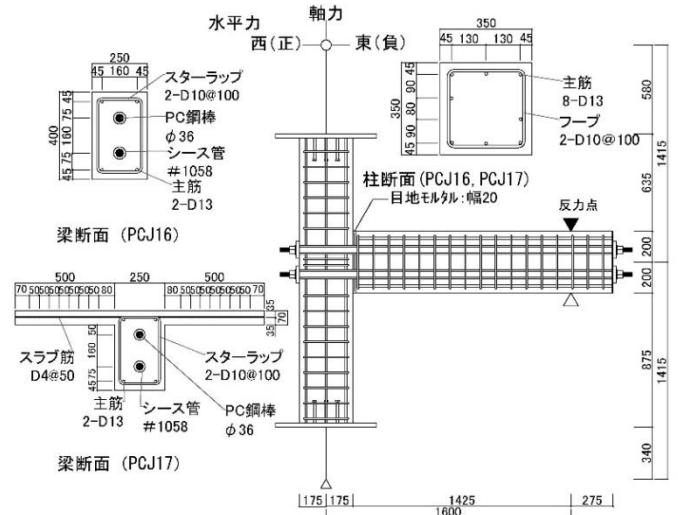


図 1 試験体概要(単位:mm)

表 1 試験体諸元

		PCJ16	PCJ17
試験体形状		平面ト形	スラブ付きト形
梁・コンクリート圧縮強度(N/mm ²)		80.2	80.6
柱・コンクリート圧縮強度(N/mm ²)		80.2	80.6
スラブ・コンクリート圧縮強度(N/mm ²)		-	75.6
目地モルタル圧縮強度 (N/mm ²)		93.6	88.4
梁	幅×せい	250mm×400mm	
	主筋	上下共 2-D13 (SD295A)	
	PC 鋼材	2-φ36 (B種1号)	
		アンボンド	
	上下端 PC 鋼材緊張力平均値(kN)	609	606
	シース管	#1058	
柱	幅×せい	350mm×350mm	
	主筋	8-D13(SD295A)	
	フープ	2-D10@100(SD295A)	
	圧縮軸力(kN)	450	
接合部	横補強筋	2-D10 (SD295A) 2組	
柱梁曲げ耐力比(断面解析による精算値)		1.16	上端引張 1.07 下端引張 1.15
スラブ	厚さ(mm)	-	70
	幅(mm)	-	1250
	スラブ筋	-	D4@50(DS295A)
接合部せん断余裕度(PC 鋼材の引張力はひずみ適合係数を用いた断面解析による)		1.81	上端引張 1.63 ^{*1} 下端引張 1.80
接合部降伏破壊による強度低下率 β_j		0.92	上端引張 0.90 下端引張 0.92
予想破壊モード		接合部降伏破壊	

^{*1} スラブ筋と PC 鋼材の引張力の和を用いて算出したものである。試験体 PCJ17 では $R=0.125%$ でスラブにひび割れが生じた。両試験体共に $R=0.25%$ で柱に曲げひび割れが生じた。両試験体共に $R=1%$ 付近で接合部パネルに斜めひび割れが生じた。その後、 $R=1.5%$ 付近で梁付け根付近でコンクリートが軽微に剥落した。 $R=4%$ では、梁付け根付近のコンクリートの剥落は試験体 PCJ16 では顕著だったが、試験体

表 2 使用鋼材の材料特性

材料種類	径	規格	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏歪み (μ)	弾性限界※2 (μ)	引張強度 (N/mm ²)
鉄筋	D4※1	SD295A	363.9	3775	—	528.3
	D10		389.4	1899	—	533.9
	D13		361.3	1762	—	493.0
PC 鋼棒※1	ϕ 36	B 種 1 号	1028	7139	4625	1167

※1 鉄筋 D4 と PC 鋼材の降伏点は 0.2% オフセット法により定めた。

※2 弾性限界は接 0.01% オフセット法により定めた。

PCJ17 では殆ど生じなかった。試験体 PCJ16 と比較すると、スラブ付きの試験体 PCJ17 では接合部パネルのコンクリートの圧壊が顕著であった。両試験体共に接合部パネルのコンクリートが圧壊し、柱梁接合部内で柱主筋の座屈が観察され、下柱の変形が大きくなった。



写真 1 PCJ16 (R=3.0%) のひび割れ状況

写真 2 PCJ17 (R=3.0%) のひび割れ状況

3.2 層せん断力-層間変形角関係

図 2 に層せん断力-層間変形角関係を示す。層せん断力は計測した梁せん断力から力の釣り合いより求めた。一点鎖線は平面保持解析(PC 鋼材のひずみ適合係数 F^d)を 0.1 とした)により求めた梁曲げ終局耐力の計算値である。□, ◇, ×, ▲, ◆, ○および△は梁曲げひび割れ, 柱曲げひび割れ, 柱梁接合部斜めひび割れ, 最大層せん断力, 柱梁接合部のかぶりコンクリート圧壊, 柱主筋降伏および接合部横補強筋降伏の各発生時を示す。

両試験体共にPC鋼材は弾性限界に至らず、柱主筋は最大耐力前に、接合部横補強筋は最大耐力前後に各々降伏した。試験体PCJ16の正負載荷共にR=2%で最大耐力に到達したが、試験体PCJ17で最大耐力に到達したのは正載荷R=2%で、負載荷R=1.5%であった。試験体PCJ16の正載荷では最大層せん断力は梁曲げ終局耐力の計算値を上回ったが、試験体PCJ17では正負載荷共に最大層せん断力は梁曲げ終局耐力の計算値に達しなかった。両試験体共に履歴ループの形状は最大耐力以降のR=4%時に原点指向型から紡錘形へと移行した。これは柱梁接合部の損傷が激しく進展したためと考えられる。

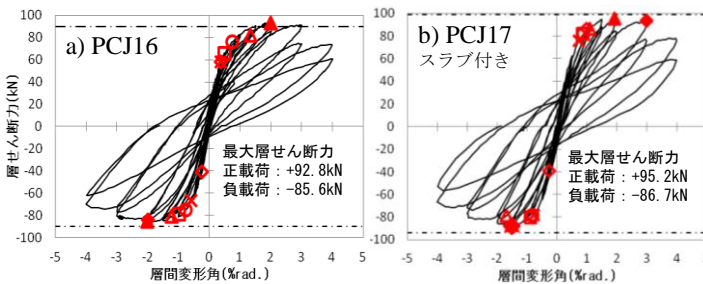


図 2 層せん断力-層間変形角関係

3.3 変形成分

層間変形角に占める柱、梁および柱梁接合部の変形成分を図 3 に示す。柱梁接合部の変形成分は直接測定した層間変形から柱および梁の変形成分(文献⁵⁾の手法によって算定)を控除して求めた。試験体 PCJ16 の変位計は層間変形角負載荷 R=1.5%以降、試験体 PCJ17 では層間変位角 R=2%以降測定不能となった。スラブの無い試験体 PCJ16 では正負載荷 R=1.5%時(最大耐力直前)に層間変形に対する各部材の変形割合はいずれも梁の変形成分が大きかったが、負載荷時には柱梁接合部の変形成分の割合が 36%を占めた。スラブ付きの試験体 PCJ17 では正載荷 R=2%時(最大耐力時)に梁の変形成分の割合が最も大きかったが、負載荷 R=1.5%時(最大耐力時)には柱梁接合部の変形成分の割合が最大になった。

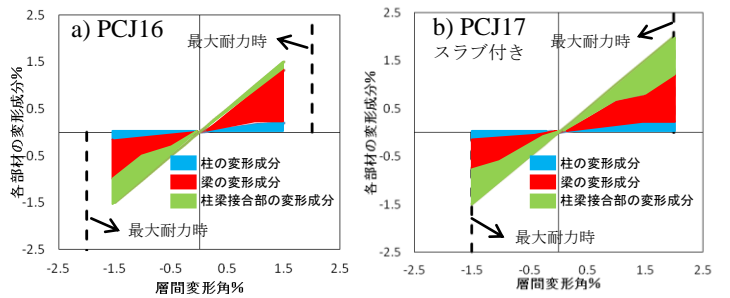


図 3 変形成分の分離

3.4 破壊モード

以上の検討より、平面ト形柱梁部分架構では梁曲げ破壊と接合部降伏破壊が同時に発生し、スラブを付けたト形柱梁部分架構では接合部降伏破壊したと判断した。スラブのみを取り付けた試験体 PCJ17 の最大耐力は試験体 PCJ16 とほぼ同じであったことから、スラブが接合部降伏破壊を抑制する効果はないと考える。

4. まとめ

本研究では接合部降伏破壊による強度低下率 β_j を 1 未満に設計したアンボンド PCaPC 外柱梁部分架構の静的載荷実験を行い、以下の知見を得た。

- 1) アンボンド PCaPC 構造骨組の外柱梁接合部は、RC 骨組と同様に降伏破壊することを確認した。
- 2) スラブのみを付けた外柱梁接合部が降伏破壊する時の最大耐力はスラブのないそれとほぼ同等であった。よってスラブは接合部降伏破壊の抑制に寄与しないと考える。

【謝辞】本研究は JSPS・基盤研究 C により実施した。実験と共に実施した本学大学院生・岩田歩氏、PC 鋼材の材料試験でご協力いただいた清水建設株式会社技術研究所・金本清臣氏に御礼申しあげる。

【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) 鈴木, 宋, 晋, 北山: 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, pp.511-516, No.2, 2016 3) 塩原等: 鉄筋コンクリート柱梁接合部における接合部降伏の終局強度の実用的算定法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.389-390, 2014.9 4) 六車照, 渡辺史夫ほか: アンボンド PC 部材の曲げ終局耐力に関する, プレストレストコンクリート pp.10-16, 1984.1 5) 片江 祐, 北山和宏: 3 方向加力された鉄筋コンクリート立体隅柱梁接合部の破壊機構に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.80, No.713, pp.1133-1143, 2015.7

※1 ヨシザワ建築構造設計株式会社(元首都大学東京大学院) 修士(工学)

※1 Yoshizawa Architectural & Structural Design co.,Ltd.

※2 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科建築学域 教授 工学博士

※2 Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.