

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 実験概要および実験結果)

PCaPC 圧着工法 アンボンド PC 鋼材 柱梁曲げ強度比
梁曲げ破壊 接合部せん断破壊 接合部曲げ破壊

正会員 ○鈴木 大貴*¹ 同 宋 性勲*²
同 晉 沂雄*³ 同 北山 和宏*⁴
同 金本 清臣*⁵

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）は、震災後に損傷した部材を比較的簡易に交換でき、部材損傷をその端部に集中させることで損傷制御を可能とする。一方、本構造形式において、RC 構造のように接合部曲げ破壊を想定した事例^{1),2)}、即ち柱梁曲げ強度比（梁曲げ終局強度に対する柱曲げ終局強度の比）に着目した実験および研究例は殆どない。そこで本研究では、柱梁曲げ強度比および試験体の形状を主な実験変数とし、これがアンボンド PCaPC 造柱梁接合部および架構の耐震性能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 に各試験体の諸元およ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。実験に用いた試験体は計 6 体で、全試験体共に梁幅を 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）のコンクリートを別々に打設した後に、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させた。本研究では実験開始時における PC 鋼材のプレストレス力（以下、有効プレストレス力）がその規格降伏点荷重の 0.8 倍程度になるように初期張力を導入し、各試験体の有効プレストレス力は PC 鋼材の規格降伏点荷重の 0.83~0.90 倍となった。

試験体 PCJ07 および PCJ08 は平面十字形で、試験体 PCJ07 は柱梁曲げ強度比を 2.11、試験体 PCJ08 は柱主筋量を減らして 1.32 とした。試験体 PCJ09 は接合部の挙動に対するスラブの効果を検証するため、試験体 PCJ08 にスラブのみ（直交梁無し）を付加したものとし、その柱梁曲げ強度比は 1.19 である。試験体 PCJ10 は試験体 PCJ08 に直交梁とスラブを付加したもので、その柱梁曲げ強度比は試験体 PCJ09 と同値（1.19）である。一方、試験体 PCJ11 および PCJ12 は平面ト形で、試験体 PCJ11 は柱梁曲げ強度比を 1.31、試験体 PCJ12 は柱主筋量を増やして 1.90 とした。また、接合部せん断余裕度（梁曲げ終局時接合部入力せん断力に対する接合部せん断終局強度³⁾の比）は全試験体共に 1.3 以上とした。以上より、試験体 PCJ07 および PCJ12 の予想破壊モードは梁曲げ破壊先行型である。試験体 PCJ08 から PCJ11 においても梁曲げ破

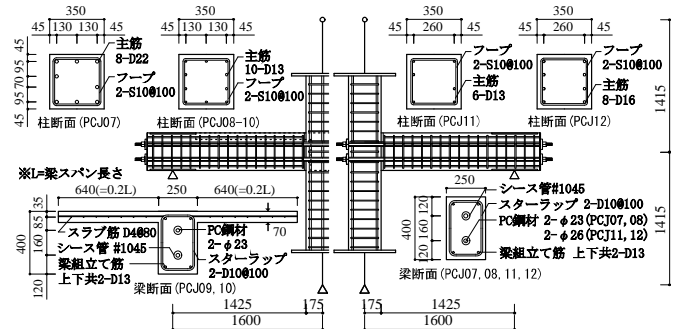


図 1 試験体概要(単位: mm)

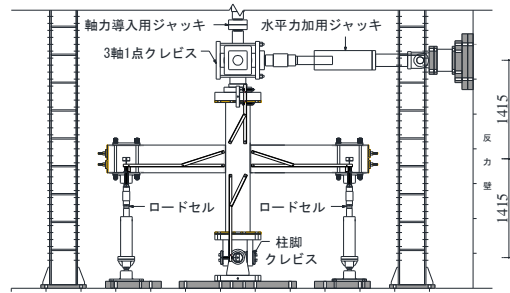


図 2 加力装置図(単位: mm)

表 1 各試験体の諸元およびコンクリートの力学特性

試験体名	PCJ07	PCJ08	PCJ09	PCJ10	PCJ11	PCJ12
	形状					
柱	十字形					
	平面		スラブのみ		スラブ+直交梁	
コンクリート圧縮強度(MPa)	42.8	43.3	45.0	44.7	41.8	43.4
コンクリート引張強度(MPa)	3.7	3	3.4	3.3	2.6	3.3
主筋	8-D22 (SD390)		10-D13 (SD295A)		6-D13 (SD295A)	8-D16 (SD390)
コンクリート圧縮強度(MPa)	79.2	78.2	82.3	81.3	77.5	81.2
コンクリート引張強度(MPa)	4.0	3.6	4.2	4.9	3.5	4.5
PC鋼材 (B種1号)	上下共1-φ23			上下共1-φ26		
プレストレス率	1.0		0.87		1.0	
コンクリート圧縮強度(MPa)	-	-	83.4	81.9	-	-
コンクリート引張強度(MPa)	-	-	3.0	3.9	-	-
幅×せい(mm)	1530×70					
コンクリート圧縮強度(MPa)	-	-	-	44.7	-	-
コンクリート引張強度(MPa)	-	-	-	3.3	-	-
幅×せい(mm)	250×400					
目地グラウト圧縮強度(MPa)	111.0		110.2		102.8	
接合部内補強筋	□S10@100 (KSS785) [pw=0.41%]					
圧縮軸力(kN)	800(η≒0.15)			400(η≒0.08)		
柱梁曲げ強度比 (精算による)	2.11	1.32	1.19	1.19	1.31	1.90
接合部せん断余裕度	1.34	1.35	1.29	1.51	1.43	1.48
予想破壊モード	梁曲げ圧壊		接合部曲げ破壊(従来は梁曲げ圧壊)		梁曲げ圧壊	

表 2 使用鋼材の材料特性

材料種類	径	規格	降伏応力度 (MPa)	引張強さ (MPa)	降伏ひずみ (μ)	弾性限界ひずみ (μ) ※2
鉄筋	D4	SD295A	320.8	502.1	3565	-
	S10※1	KSS785	941.4	1087.8	6592	3564
	D13	SD295A	368.3	519.9	1827	-
	D22	SD390	449.1	633.6	2202	-
PC鋼材※1	φ23	B種1号	1013.3	1132.7	7067	4746
	φ26	B種1号	1009.3	1119.4	7046	4647

※1 鉄筋 S10 と PC 鋼材の降伏点は 0.2% オフセット法により定めた。

※2 弾性限界ひずみは 0.01% オフセット法により定めた。

壊先行型と予想されるが、RC 構造における柱梁曲げ強度比と接合部曲げ破壊との関係に倣うと^{1),2)}、その破壊モー

ドは接合部曲げ破壊先行型になると予想される。

なお、柱曲げ終局強度は平面保持を仮定した断面解析により、梁曲げ終局強度はひずみ適合係数を 0.1 とした断面解析および文献 3)の略算式の 2 つの方法により算出した。また、柱梁接合部曲げ終局強度は文献 1)および 2)、柱梁接合部せん断終局強度は文献 3)および 4)に基づき算定した。

2.2 実験方法

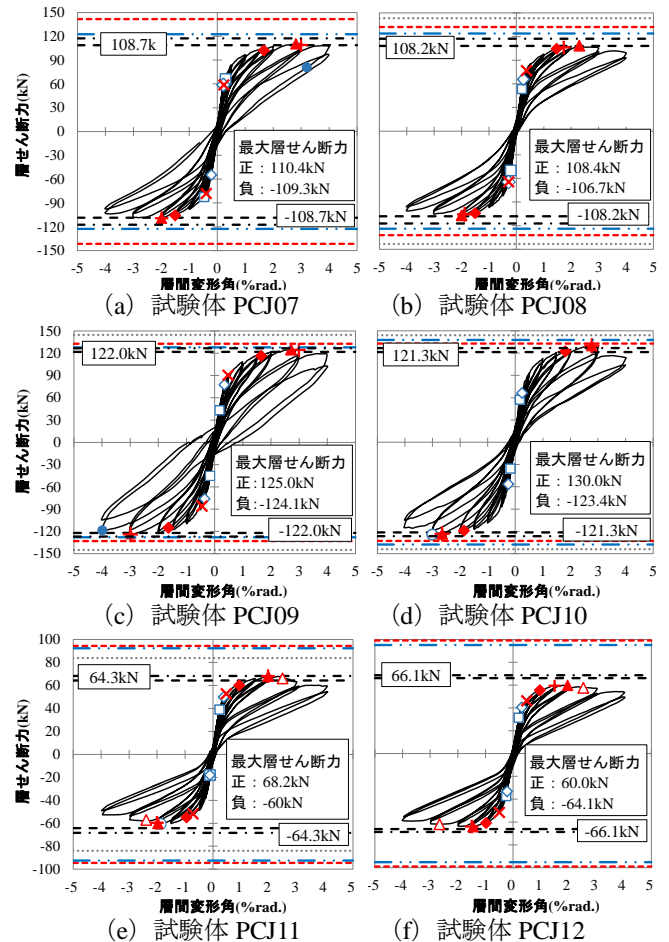
図 2 に加力装置を示す。試験体の梁端部はローラー支持、柱脚をピン支持とし、柱頭の加力点に鉛直・東西・南北各方向の 3 基のジャッキを取り付けた。柱に一定の圧縮軸力を導入後、変位制御で層間変形角 (R : 頂部加力点の水平変位を頂部加力点から下柱支持点までの距離 2830 mm で除したのもの) 0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0%を 2 回ずつ 1 方向正負交番繰返し载荷した。

3. 実験結果 (層せん断力-層間変形角関係)

図 3 に各試験体の層せん断力-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を用いて力の釣り合いより求めた。同図の□, ◇, ×, ◆, ▲, +, △, ○および●はそれぞれ、梁曲げひび割れ発生、柱曲げひび割れ発生、接合部パネルせん断ひび割れ発生、PC 鋼材弾性限界、最大層せん断力、かぶりコンクリート圧壊発生、PC 鋼材降伏、柱主筋降伏および接合部横補強筋降伏の各到達時を示す。ここで、梁曲げひび割れ発生は剛性急変点と目視により、かぶりコンクリート圧壊は目視により判断した。

全試験体で柱梁圧着接合面の目開きが発生したのは $R=0.17\% \sim 0.25\%$ であった。全試験体共に梁、柱、接合部パネルに曲げおよびせん断ひび割れが発生してから PC 鋼材が弾性限界に至り、最大耐力以前に PC 鋼材の降伏は見られなかったが、ト形試験体 PCJ11 および PCJ12 では最大耐力以降に PC 鋼材が降伏した。また、試験体 PCJ07 および PCJ09 の接合部横補強筋は最大耐力以降の大変形時に降伏ひずみを僅かに超えたが、他の試験体は降伏に至らなかった。なお、試験体 PCJ10 では最大耐力以降に危険断面近傍の柱主筋が降伏した。試験体 PCJ07, PCJ09, PCJ10 の最大層せん断力は $R=3.0\%$ 、試験体 PCJ08, PCJ11, PCJ12 は $R=2.0\%$ 程度で発生した。全試験体共に最大層せん断力付近で梁付け根コンクリートの圧壊が生じ、これが最大耐力後の耐力低下の要因となった。最大層せん断力実験値と計算値を比較すると、いずれの試験体でも最大層せん断力実験値は梁曲げ終局強度の 0.91~1.07 倍となり、梁の曲げ性能が試験体の挙動を支配した。ただし試験体 PCJ09, PCJ10 の最大層せん断力は接合部せん断終局強度および接合部曲げ終局強度に対して 0.98, 0.94 および 0.94, 0.98 倍であり、それらはほぼ同一だった。スラブを付加した試験体 PCJ09 および PCJ10 の最大耐力は平面十字形試験体 PCJ08 の 1.2 倍程度となり、これはスラブ筋の協力効果によるものである。なお、スラブを付加した試験体 PCJ09 および PCJ10 のスラブ筋は 6 割程度が降伏した。

前述した通り、PC 鋼材が弾性限界を超えたものの降伏



凡例	
□	梁曲げひび割れ
◇	柱曲げひび割れ
×	接合部パネルせん断ひび割れ
◆	PC鋼材弾性限界
▲	最大耐力
+	かぶりコンクリート圧壊
△	PC鋼材降伏
○	柱主筋降伏
●	接合部横補強筋降伏
---	梁曲げ終局耐力(解析値)による計算値
---	梁曲げ終局耐力(略算値)による計算値
---	柱曲げ終局耐力(解析値)による計算値
---	接合部せん断終局耐力による計算値
---	接合部曲げ終局耐力による計算値

図 3 層せん断力-層間変形角関係

までは至らなかったため、各試験体における履歴性状はほぼ原点指向型を示したが、試験体 PCJ09 においては最大耐力以降の $R=4.0\%$ 時に原点指向型から紡錘形へと移行した。これは接合部パネルの損傷が激しく進展したためと考えられ、これについては本稿 (その 2) で詳しく述べる。

4. まとめ

本稿では柱梁曲げ強度比および試験体の形状を実験変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組に対する静的载荷実験の概要および結果の一部を報告した。そのまとめは本稿 (その 2) に併せて示す。

謝辞

本稿 (その 2) にまとめて示す。

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 年 10 月
- 2) 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ト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 78 巻, 第 693 号, pp.1939-1948, 2013 年 11 月
- 3) 日本建築学会: プレストレストコンクリート造建築物の性能評価型設計施工指針 (案)・同解説, 2015 年
- 4) 北山和宏: 圧着接合されたプレストレスト・コンクリート柱梁接合部がせん断破壊するときの層せん断力について, 日本建築学会学術講演梗概集, 2004 年 8 月

*1 首都大学東京 大学院生
 *2 首都大学東京 大学院生 修士(工学)
 *3 首都大学東京 都市環境科学研究科 特任助教 博士(工学)
 *4 首都大学東京 都市環境科学研究科建築学域 教授 工博
 *5 清水建設株式会社 技術研究所 修士(工学)

*1 Graduate Student, Tokyo Metropolitan Univ.
 *2 Graduate Student, Tokyo Metropolitan Univ. M. Eng.
 *3 Research Assistant Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.
 *4 Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.
 *5 Institute of Technology, Shimizu Corporation, M. Eng.