論文 接合部一体型高強度プレキャスト RC 骨組の接合部補強に関する実 験的研究

竹中 啓之*1·和泉 信之*2·菊田 繁美*1·濱田 聡*3

要旨:鉄筋コンクリート建物の外周部を想定したプレキャスト柱梁接合部部分架構実験を行った。試験体は 柱梁接合部と梁を一体のプレキャスト部材として、プレキャスト柱部材と接合するものである。既実験より、 柱梁接合部のせん断補強筋量を 0.53%程度とした試験体は梁降伏後の接合部せん断破壊を示した。本実験で は、既実施試験体に比して接合部横強筋量を増したもの、および鋼繊維混入コンクリートを使用して実験を 行い、接合部の補強効果を確認する。実験より、梁降伏後に接合部のせん断破壊を起こしたディテールに対 して、接合部補強を行ったものは、梁降伏後のせん断破壊を抑制できることがわかった。 キーワード:接合部一体型プレキャスト部材、高強度コンクリート、柱梁接合部、鋼繊維補強

1. はじめに

著者らは、超高層プレキャスト鉄筋コンクリート造建 築物の研究を行っている^{例えば1)}。本研究は、図-1に示す ように、梁と接合部を一体のプレキャスト部材とする、 接合部一体型の高強度コンクリートを使用したプレキ ャスト構造を対象としている。既報²⁾では、建物の外周 架構を想定した梁せいの比較的大きな接合部一体型プ レキャスト RC 造骨組の部分架構試験体載荷実験につい て報告した。既報の試験体は梁降伏型で設計したが、実 験では梁降伏後の大変形時において接合部のせん断破 壊により耐力低下が生じる結果となった。本報では、梁 降伏後の大変形時にも接合部の損傷を抑えることを目 的として、既報と同じ強度レベルの材料及び形状の試験 体に対して2種類の方法で接合部の補強を行い、その補 強効果を確認するために載荷実験を行った結果を報告 する。

2. 実験計画

2.1 試験体

本研究で対象とする試験体は3体で,図-2に示すように、すべての試験体の外形は同一とする。各試験体の 諸元を表-1に示す。3体の試験体は柱梁接合部の補強 方法を除いてはすべて同じとする。柱のコンクリート強 度をFc60級、柱梁主筋の鉄筋強度をSD490級とした既 報試験体(HRPC23)を基本としてHRPC25およびHRPC26 の2体の試験体に対して柱梁接合部の補強を行う。 HRPC25はHRPC23と比較して、柱梁接合部のせん断横 補強筋量を1.5倍(柱梁接合部せん断補強筋比(pw)で 0.56%(HRPC23)から 0.84%(HRPC25))とする。HRPC26

*1	戸田建設	(株)	技術研究所 工修 (正会員)
*2	戸田建設	(株)	構造設計部グループ長 工博 (正会員)
*3	戸田建設	(株)	構造設計部 工修 (正会員)



図-1 接合部一体型プレキャスト構造の概要

では、柱梁接合部のせん断横補強筋量は HRPC23 と同量 とし、接合部のコンクリートに長さ 30mm 太さ 0.6mm の 鋼繊維をコンクリート体積の 1%に当たる量を混入させ る。試験体は、柱および梁・接合部をプレキャスト部材 とし、梁接合部を一体としたプレキャスト部材には下層 階の柱主筋を貫通させるシース管を埋め込んでおき,上 層階の柱にはモルタル定着部を有するスリーブ継手を 埋め込んでおく。梁は,建物外周架構を想定し,通常の 断面よりも柱せいに対する梁せいの比を 1.375 と少し大 きめに設計している。すべての試験体について,接合部 の片側に直交梁を設け,直交梁の梁芯は載荷方向梁の梁 芯より 225mm 下げている。実験に使用した材料の素材 試験結果を**表-2**に示す。

試験体は、梁曲げ降伏先行型として設計し、梁自体の せん断余裕度は1.62、梁曲げ降伏時の接合部のせん断余 裕度は1.19となるよう設計している。

2.2 加力方法および加力スケジュール

実験装置を**写真-1**に示す。試験体の梁端部(梁反曲 点位置)をピン・ローラ支持,柱上下部(柱反曲点位置) をピン支持とし,柱上端部に水平力と鉛直軸力を載荷す る。加力スケジュールを図-3に示す。加力スケジュー ルは3体とも同じものとし,載荷の制御は層間変形角(R rad.)で行い,R=1/1000rad.,1/400rad.を各1回,1/200rad., 1/100rad.,1/75rad.,1/50rad.を各3回繰り返した後,1/25rad., 1/20rad.を各1回載荷する正負交番加力とする。各試験体 とも柱断面コンクリート軸圧縮耐力(σ_B·A_c)の 0.3 倍に 相当する一定軸力を与えて水平加力を行う。



図-2 試験体概要

±	
オー	
11	ロベッスドキョロノレ

		HRPC23*	HRPC25 HRPC26		
	断面(B×Dmm)	400 × 400			
柱	$Fc(N/mm^2)$	60			
	柱主筋	12-D19(SD490)			
	柱補強筋	4-D6@40(USD685)			
	梁断面(B×Dmm)	275 × 550			
洂	梁 $Fc(N/mm^2)$	42			
木	梁主筋	上端:4+2-D19(SD490) 下端:4+2-D19(SD490)		+2-D19(SD490)	
	梁補強筋	4-D6@75,90(USD685)			
	$F_{2}(N/mm^{2})$	60		60	
接る				鋼繊維(1%/vol 混入)	
白部	補強筋	$4-D6(USD685) \times 8$	$4-D6(USD685) \times 12$	$4-D6(USD685) \times 8$	
нР	(補強筋比:pjw)	(0.56%)	(0.83%)	(0.56%)	
+	直交梁断面(B×Dmm)		300×400		
した	直交梁 Fc(N/mm ²)	42			
又 涩	直交梁主筋	上端:4-D19(SD490) 下端:4-D19(SD490)			
*	梁補強筋	4-D6@75(USD685)			
接合部グラウト充填法		接合部上面からの流し込み			
۱	トッピング・コンクリート Fc(N/mm ²) 36				
	軸力(kN)		一定軸力 (=0.3 σ _B ·Ac)		

*HRPC23 は既報 2), σ_B(N/mm²): コンクリート圧縮強度, A_c(mm²): 柱断面積

衣一∠ 茶付訊駛結果

分 件 存在	ヤング	降伏	引張
————————————————————————————————————	係数	強度	強度
(竹竹木针作里方门)	$(\times 10^5 \text{N/mm}^2)$	(N/mm^2)	(N/mm^2)
D19 (SD490) ⁽¹⁾	1.88	517	683
D19 (SD490) ⁽²⁾	1.91	528	702
D6 (USD685) ⁽¹⁾	1.96	715*	903
D6 (USD685) ⁽²⁾	1.84	779*	999

(1) HRPC23 使用材 (2) HRPC25,26 使用材

※ 0.2%オフセット

コンクリート ・グラウト材		割線剛性 (×10 ⁵ N/mm ²)	圧縮 強度 (N/mm ²)	割裂 強度 (N/mm ²)
	柱・接合部	0.356	69.8	3.9
23	梁	0.349	57.1	3.4
ЪС	梁上	0.290	39.4	3.2
HR	下目地グラウト	0.379	122.9	5.7
	上目地グラウト	0.388	128.5	5.6
HRPC26 HRPC25 HRPC23	柱・接合部	0.378	71.3	4.4
	梁	0.331	45.1	3.4
	梁上	0.288	36.5	3.2
	下目地グラウト	0.354	104.8	5.2
	上目地グラウト	0.323	96.0	4.3
	柱	0.377	68.7	4.2
9	接合部**	0.368	69.5	5.9
C2	梁	0.341	46.6	3.7
RP	梁上	0.294	37.7	3.3
Ξ	下目地グラウト	0.362	123.1	4.8
	上目地グラウト	0.379	103.7	3.3

※※体積の1%の鋼繊維(長さ30mm太さ0.6mm)を混入。 接合部シース管内グラウトは下目地グラウト。 上柱主筋継ぎ手内グラウトは上目地グラウト。



写真-1 実験装置



図-3 加力スケジュール

3. 実験結果と考察

3.1 実験経過および荷重変形角関係

実験経過について、3 試験体とも R=1/50rad.まで ほぼ同じ経過をたどった。R=1/1000rad.で梁に曲げ ひび割れが発生し、R=1/200rad.で同じく梁にせん 断ひび割れが発生した。R=1/100rad.で梁主筋の降 伏および接合部のせん断ひび割れが見られ、最初 の 1/100rad.到達時に最大耐力を示した。R=1/50rad. 以降について, HRPC23 は, R=1/25rad.で接合部せ ん断補強筋が降伏およびかぶりコンクリートの剥 落が見られ, R=1/20rad.で接合部内柱主筋の降伏に 至り, 接合部せん断破壊が生じて大きく耐力が低 下した。HRPC25 は、柱のかど部主筋に沿ったひ び割れが進展し, 柱コーナー部のかぶりコンクリ ートが剥落したが, 柱主筋および接合部せん断補 強筋は弾性範囲であり、HRPC23 のような激しい 接合部のせん断破壊は見られなかった。HRPC26 は、がぶりコンクリートの剥落や接合部部分の鉄 筋の降伏など、接合部の大きな損傷はほとんど見 られず,耐力低下も3体の中で最も少なかった。 各試験体の R=1/50rad.と R=1/20rad.の接合部の状 況を写真-2, 3, 4に示す。

HRPC23,25,26の柱水平せん断力(Qc)-層間変形角 関係を図-4に、各試験体の包絡線の比較を図-5 に示す。なお、図-4には、一点鎖線でP-δ効 果を示している。



写真-2 接合部状況(HRPC23)





写真-3 接合部状況(HRPC25)



写真-4 接合部状況(HRPC26)

実験経過と同様に各試験体とも R=1/50rad.まではほぼ 同じ履歴をたどっている。また,大変形時の R=1/25rad., 1/20rad.でスリップ型の履歴が顕著となり耐力が低下し



ているが,接合部コンクリートに鋼繊維を混入させた HRPC26はHRPC23,HRPC25に比べて大変形時の耐力 低下の度合いが小さくなり,接合部のせん断破壊に対す る抵抗性が大きく改善されていることがわかる。

また,断面分割法により求めた梁降伏時の柱水平せん 断力計算値は546kNで,すべての試験体の計算値に対す る実験時の柱最大水平せん断力値の安全率は1.14 程度



となった。

3.2 等価粘性減衰定数

HRPC23, 25, 26 の等価粘性減衰の推移を図-6 に示 す。等価粘性減衰定数の推移は3体ともほぼ同じ傾向を 示しているが, HRPC26, 25, 23の順に僅かではあるが 大きな値となっている。

3.3 接合部のせん断応力とせん断変形角

接合部のせん断応力とせん断変形角の関係を図-7 に 示す。また,文献 3)の接合部せん断強度式より算定した 接合部せん断応力計算値と実験時の最大入力せん断応 力および計算値を実験時最大入力値で除した安全率を

表-3 に示す。接合部のせん断応力とせん断 変形角の履歴より, HRPC23 は 1/50rad.を超え ると急激に接合部のせん断変形角が増大しせ ん断破壊に至ったことがわかる。また, HRPC25,26 は,水平変形角 1/20rad.の大変形 時にも HRPC23 に比べて接合部のせん断変形 角の増大が大きく抑えられていることから, 接合部せん断補強筋の増量や,接合部のコン クリートに鋼繊維を混入させることは,梁降



図-7 接合部せん断応カーせん断変形角関係

表-3	接合部最大耐力
-----	---------

	①せん断強度計算 値時応力度 (N/mm ²)	②入力せん断 応力度 (N/mm ²)	安全率 (①/②)
HRPC23	12.05	10.53	1.14
HRPC25	12.23	10.67	1.15
HRPC26	12.01	10.77	1.12

①文献 3)による接合部せん断強度式より算出。

②実験時の最大値より算出。

伏後の接合部せん断破壊の抑制に大きく影響を及ぼす ことがわかった。

3.4 接合部梁主筋の抜け出し量

梁端部面と接合部面の目開き量を梁主筋の接合部か らの抜け出し量として, 柱水平変形角と梁主筋の接合部 からの抜け出し量との関係を図-8に示す。目開き量の 計測は梁端部に固定した水平変位計の先端を接合部側 面に当てて計測した。写真-2からわかるように、大変 形時には梁上端部の圧壊が激しくなり、計測値が不安定 となったため、図-8に示した梁主筋の抜け出し量には、 大変形時にも比較的コンクリートが健全であった梁下 端部の目開き量を用いた。R=1/50rad.以前は、すべての 試験体でほぼ同じ挙動を示し、その量も僅かである。 R=1/50rad.から抜け出し量が増大していき, R=1/50rad.以 降の大変形には, すべての試験体で目開き量の増大が顕 著となった。このことから、R=1/50rad.以降の耐力低下 は、梁主筋の抜け出しによる梁主筋の付着劣化もその一 因であると考えられる。特に接合部のせん断破壊による 損傷が小さかった HRPC25 と HRPC26 を見ると、大変形 時の耐力低下は梁主筋の付着劣化にあると考えられる。 なお,本実験では,接合部のコンクリートに鋼繊維を混 入したことによる梁主筋の付着力の差は確認すること ができなかった。

4. まとめ

本研究より得られた知見を以下に記す。

- (1) 本実験に供した試験体の最大耐力は,断面分割法に よる計算値によって,安全側に精度良く評価できる。
- (2) 接合部のせん断補強筋の増量や,接合部のコンクリートに鋼繊維を混入させることによって、本実験に供した試験体については、梁降伏後の接合部せん断破壊による柱梁接合部の損傷を抑えられることがわかった。
- (3) 接合部コンクリートに鋼繊維を混入させた試験体は、 柱梁接合部のせん断破壊防止およびかぶりコンクリ ートの剥落防止には非常に効果があったが、接合部 内での梁主筋の付着力を向上させる可能性があると ころまでは確認できなかった。

最後に、今後は、梁降伏先行型で設計した架構部材にお いて、梁降伏後の接合部せん断破壊を抑制するためには、 接合部せん断補強筋量やコンクリートに混入させた鋼 繊維が接合部せん断破壊の抑制に及ぼす補強効果を定 量的に把握する必要があると考えられる。

参考文献

1) 竹中啓之,濱田聡,和泉信之,千葉脩:接合部一体



型高強度プレキャスト RC 骨組に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.2, pp.631-636, 2005.6

- 竹中啓之,和泉信之,菊田繁美,濱田聡:梁せいの 大きい接合部一体型高強度プレキャスト RC 骨組に 関する実験的研究,コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.589-594, 2006.7
- 鉄筋コンクリート造建物の靭性保証型耐震設計指 針・解説,日本建築学会,pp245,1999.8