論文 機械式定着工法を用いた最上階外部柱梁接合部の構造性能向上に関 する実験的研究

吉村 匡裕*1・清原 俊彦*2・田才 晃*3・楠 浩一*4

要旨:筆者らは RC 造最上階外部柱梁接合部における梁主筋に機械式定着工法を適用する場合の補強方法に関 する実験的研究を行なっている。既往の実験^{1),2)}では,柱主筋を梁主筋より上部に定着し,且つ,全ての柱主 筋に対して柱主筋定着端近傍に補強筋を配することで梁主筋を直線定着し得るが,柱主筋定着端補強筋を外 周筋のみとした場合には梁主筋の定着破壊が生じる場合があることを確認した。本論では,梁主筋の定着破 壊を防止するための補強ディテールを検討し,補強方法の差異による最上階外部柱梁接合部の構造性能の差 異を実験的に明らかにした。

キーワード:鉄筋コンクリート、柱梁接合部、最上階、機械式定着、接合部補強筋

1. はじめに

筆者らは最上階外部柱梁接合部における梁主筋定着に 機械式定着法を適用するために必要な補強方法の検討を 行っている。

その結果,既往の研究^{1),2)}により,柱主筋端部を高強 度鉄筋で拘束することにより梁上端主筋を直線定着とす る際の柱突出の長さを短縮することは可能であるが,梁 上端主筋のかぶりコンクリートが無筋であると,梁上端 主筋の定着部でコンクリートの割裂破壊(以下定着部コ ンクリート割裂破壊)が発生し脆性的で危険な破壊性状 となることを示した。

そこで本研究は、柱頭部の柱主筋拘束の他、複数種の 補強筋を用いて梁上端主筋の定着部コンクリート割裂破 壊を柱突出無しで抑制することを目的とした。定着部コ ンクリート割裂破壊を防止するためには、1)定着端を拘 束して梁主筋が上方に跳ね上げられるような挙動を抑え ようとすること、2)定着筋の付着抵抗力を高めること、 が有効であると考えた。接合部内の補強法と補強量の差 異による構造性能への影響を明らかにするため、1)定着 端の梁主筋跳ね上がりに対し、a)閉鎖型補強筋による梁 主筋端部の拘束、b)小型の定着板を使用したステッキ形 状の鉄筋(以下ステッキ筋)による梁主筋端部の拘束, を施した。また,2)付着抵抗力の向上のために,c)かん ざし筋による梁上端主筋の補強,及びd)スパイラル筋に よる梁上端主筋の補強,を実験パラメータとしたL形接 合部試験体5体の静的載荷実験を実施した。

2. 実験計画

2.1 試験体概要

試験体諸元を表-1に、配筋図を図-1に示す。

試験体は, 柱梁の配筋及び柱主筋端部の拘束(以下柱頭 部拘束筋,□-D13(SD785 相当),3 巻)を全試験体共通と した。柱梁曲げ耐力比を 1.0 とし,柱梁の全主筋に対し 機械式定着具を用いた BL1~5 の5 体とした。コンクリ ート強度は Fc=30N/mm² で全試験体共通である。パラメ ータとして各試験体に梁上端主筋に定着破壊抑制のため の補強を行った。また,昨年度実験を行った試験体 AL2²⁾ を比較対象として参照している。試験体 AL2 は,梁上端 主筋を直線定着とし,柱頭部拘束筋を使用した試験体で, 梁上端主筋の定着破壊により脆性的な破壊性状を示して いる。

表_1	試驗休練売
<u>तर</u> –	市式新史144余有フレ

	梁上端主筋定着部コン	クリート割裂破壊抑制の補強	+ 法审证					
	1)梁主筋定着端補強筋	2)付着補強筋						
AL2	なし	なし	梁: b×D=360×430(mm), 主筋4-D19(SD390),					
BL1	a)閉鎖形補強筋による	なし	スターラップ2-D10,4-D10(SD295)を交互に@100(mm),					
BL2	梁主筋端部の拘束*1	c)かんざし筋による梁上端主筋の補	反曲点距離1915(mm)					
BL3			柱: b×D=480×480(mm), 主筋8-D22(SD345),					
BL4	b)ステッキ筋による	d)スパイラル筋による補強	フープ3-D10(SD295)@100(mm), 反曲点距離2000(mm)					
DIE	梁主筋端部の拘束 ^{*2}	c)かんざし筋による梁上端主筋の補	接合部 : フープ3×2-D10(SD295A,pwj=0.32%)					
BL5		強 ^{*3}	柱頭部拘束筋2-D13(SD785相当), 3セット					
*1:	4-D13(SD785相当) ,	*2: 試験体BL3,4は4-D13(SD390),	試験体BL5は8-D13(SD390)					
*3:	4-D13(SD295), 3セット							
*1 棹	*1 構近国立大学「大学院」都市イノベーション学府「建築都市文化東政(学生会員)							
<u>دا</u> ب								

*2(株)堀江建築工学研究所 (正会員)

*3 横浜国立大学 大学院 都市イノベーション研究院 建築都市文化専攻 教授 博士 (正会員) *4 横浜国立大学 大学院 都市イノベーション研究院 建築都市文化専攻 准教授 博士 (正会員)



(1) 梁主筋定着端補強筋

L 形柱梁接合部の梁の曲げ降伏による変形が進展する と,図-2に示すように梁端部回転角の影響を受け梁上端 主筋が跳ね上がろうとする力が発生し、これを梁上端主 筋面のコンクリートが引張力によって押さえていると考 えられる。試験体 BL1~5 では、梁主筋端部に直行方向 に鉄筋を配し、この応力を負担させることで、コンクリ ートの負担が軽減されるようにした。試験体 BL1.2 は, 梁上端主筋の定着面のコンクリート引張耐力(定着面断 面積(360mm×480mm)×割裂引張応力度)を負担可能な 降伏耐力(鉄筋断面積×降伏強度)を持つ量の閉鎖型補強 筋(□-D13(SD785 相当), 2巻)を用いて梁主筋端部を全主 筋拘束した。試験体 BL3,4 は試験体 BL1,2 と鉄筋断面積 が等しいステッキ筋(4-D13(SD390))で,試験体 BL5 は試 験体 BL3,4 の 2 倍の断面積(8-D13(SD390))を用いて拘束 した。試験体 BL1,2 と比較し試験体 BL3,4 は 1/2, 試験 体 BL5 は同等の降伏耐力を持つ。

(2) 梁上端主筋付着補強筋

梁上端主筋の付着抵抗力向上のため, 試験体 BL2,3,5 は U 字形のかんざし筋(4-D13(SD295), 3 セット)による 補強を行った。試験体 BL4 は, 全梁上端主筋に接合部内 で環内径 50mm, ピッチ 50mm, 鉄筋径 4mm のスパイラ ル筋を配した。試験体 BL1 は付着性能の向上のための補



強は行わなかった。

2.2 材料特性

表-2にコンクリート,**表-3**に鉄筋の材料試験結果を示 す。なお、コンクリートは粗骨材最大径 13mm の早強コ ンクリートを用いている。σ_Bは実験時材齢での試験結 果である。

2.3 実験方法

図-3 に加力装置図を示す。L 形部分架構試験体を 90 度回転させ、柱及び梁の反曲点を仮定した位置をピン支持とした。加力は柱ピン位置に取り付けた水平方向の 1000kN ジャッキで行った。その際、鉛直方向の 1000kN ジャッキを用いて柱反曲点位置のピンの鉛直変動がないように制御した。L 形が閉じる方向を正加力、開く方向を負加力とした。柱に長期軸力は加えなかったが柱には梁せん断力、梁には柱せん断力に相当する変動軸力が生じている。加力履歴は、試験体 BL1~5 は層間変形角 R=±1/800rad を 1 サイクル、R=±1/200、1/100、1/50、1/33、

表-2 材料試験結果一覧(コンクリート)

我 Z 初和政府未 見(コンノノ T)							
試験体	Fc	σB	ヤング係数 × 10 ⁴ N1/2	割裂引張応力度			
	N/mm	N/mm	× 10 N/mm	N/mm			
AL2		30.8	2.79	2.43			
BL1		33.2	2.42	2.58			
BL2	20	33.5	2.58	3.09			
BL3	30	33.9	2.69	2.55			
BL4		33.6	2.57	2.28			
BL5		33.9	2.69	2.76			

		2 - 17 TH- 0.200		20.000		
鉄筋種		庙田郊位	降伏強度	引張強度	降伏歪	ヤング係数
		医用即应	N/mm ²	N/mm ²	%	$\times 10^4 \text{N/mm}^2$
D99	SD345	柱主筋(AL2)	377	553	0.207	18.3
D22	30343	柱主筋(BL1-5)	N/mm" N/mm" % 377 553 0.207 392 569 0.211 435 604 0.237 458 635 0.246 (AL2) 846 1040 0.426 3L1,2) 806 1053 0.473 3,5) 368 532 0.187 4,5) 420 600 0.254	0.211	19.3	
D10	60200	梁主筋(AL2)	435	604	0.237	18.4
D19	20290	梁主筋(BL1-5)	458	635	0.246	19.9
	SD785 相当	柱主筋端部補強筋(AL2)	846	1040	0.426	19.9
		柱主筋端部補強筋(BL1-5)	821	1059	0.455	19.5
D13	10 =	梁主筋端部補強筋(BL1,2)	主主紡端部補強筋(AL2) 846 1040 0.4 注筋端部補強筋(BL1-5) 821 1059 0.4 注筋端部補強筋(BL1,2) 806 1053 0.4 立がんざし筋(BL2,3,5) 368 532 0.1	0.473	19.3	
	SD295	かんざし筋(BL2,3,5)	368	532	0.207 18.3 0.211 19.3 0.237 18.4 0.246 19.9 0.426 19.9 0.426 19.9 0.455 19.3 0.473 19.3 0.187 19.5 0.254 18.9 0.181 200.5 0.194 19.5	19.7
	SD390	ステッキ筋(BL3, 4, 5)	420	600	0.254	18.9
D10	SD295	フープ・スターラップ(AL2)	363	508	0.181	20.3
		フープ・スターラップ(BL1-5)	368	517	0.194	19.7
$\phi 4$	SR295	スパイラル筋 (BL4)	347	514	0.197	18.6

表-3 材料試験結果一覧(鉄筋)

1/25rad を各2サイクル加力し,最後に R=+1/15rad まで 載荷した。試験体 AL2 は,±1/33rad までは試験体 BL1 ~5と同様であるが,その後+1/25rad,-1/15rad を載荷し た。測定項目は,柱端にかかる水平荷重と鉛直荷重,全 体層間変形角,柱及び梁の部分変形角,接合部のせん断 変形角,柱端の鉛直変位,柱及び梁主筋の歪,柱及び梁 せん断補強筋の歪,柱及び梁主筋拘束筋の歪,ステッキ 筋の歪,接合部かんざし筋の歪,スパイラル筋の歪であ る。

3. 実験結果

3.1 破壊経過

全試験体の+1/15rad,-1/25rad のピーク時,及び比較の ため既往の実験²⁾より試験体AL2の±1/25rad時破壊状況, 加力終了後柱頭部破壊状況を**写真-1**,2,3に示す。

全試験体で共通に±1/800rad.のサイクルで柱梁のフェ イス断面位置に曲げひび割れが生じ,試験体 AL2, BL1 ~3 では±1/100rad.の1 サイクル目で,試験体 BL4,5 で は+1/100rad., -1/50rad.の1 サイクル目で接合部にせん断 ひび割れが生じた。

試験体 AL2 は正側では梁曲げ降伏せず,梁上端主筋の 定着破壊先行型となった。負側は-1/50rad で梁曲げ降伏 が先行した。一方,試験体 BL1~5 は±1/50rad で梁曲げ 降伏する梁曲げ先行型となった。試験体 AL2,BL1 は +1/33rad.サイクル時に写真のひび割れ(a)が開くと共に, 柱頭部の梁上端主筋かぶりコンクリートが剥離し,除荷 後も開いたままであった。試験体 AL2,BL1 は共に梁上端 主筋が定着破壊したものと考えられる。

試験体 BL2,5 は共通に,梁端部の曲げひび割れが大き く開き,他の損傷はほとんど進展しなかった。最大加力 時まで梁曲げ降伏型破壊を維持したと考えられる。

試験体 BL3,4 は, ±1/33rad 時までは試験体 BL2,5 と同様の破壊経過であったが,試験体 BL3 は+1/15rad.サイクル,試験体 BL4 は+1/25rad.1回目サイクル時に写真のひび割れ(b),(c)が大きく開き,柱頭部の損傷が急激に進展した。かんざし筋又はスパイラル筋を配筋した試験体 BL2~5 は梁上端主筋のかぶりコンクリートが剥離することはなかった。

負側加力時,全試験体において梁端部の圧縮縁から柱 端部の圧縮縁にかけて,写真-2(d)の斜めひび割れが発生 した。試験体 AL2 はひび割れ発生と同時に大きく開き, ひび割れ幅が最大で 3mm 以上となったが,試験体 BL1







写真一3 加力終了後 柱頭部破壊状況

~4 のひび割れ幅は最大で 1mm 程度となった。試験体 BL5 は最大加力時まで閉じたままであった。

3.2 復元力特性

層せん断力 Q-層間変形角 R 関係を図-4 に,最大耐力 及び最大耐力時変形の一覧を表-4 に示す。

試験体 AL2, 及び試験体 BL1,4 はスリップ型の復元力 特性を示し,かんざし筋を用いた試験体 BL2,3,5 はエネ ルギー吸収に優れた履歴ループの面積の大きい復元力特 性を示した。

正側加力時,試験体 AL2 は梁主筋降伏に至らず, +1/33rad.サイクルの+1/50rad.付近で水平耐力が低下し, その後ほぼ完全に失われた。BL1 試験体は+1/33rad.2回 目サイクル時に耐力低下し,+1/25rad.ピーク時で最大耐 力の約 40%となった。試験体 BL2 及び BL5 は,両試験 体とも同様の復元力特性を示し,+1/15rad.ピーク時まで 耐力低下しなかった。試験体 BL3 は+1/15rad.に向かうサ イクルの途中で耐力低下が発生し,同サイクルピーク時 に最大耐力の 80%程度となった。BL4 試験体は+1/25rad. 1回目加力時に耐力が最大耐力の 80%で頭打ちとなり, 同変形角 2回目加力時からはこれを大きく下回った。 かんざし筋又はスパイラル筋を配筋した試験体 BL2~ 5は、補強筋を用いない試験体 AL2 及び BL1 と比較して、 履歴ループが大きく改善されている。試験体 BL2,5 は耐 力低下せず、試験体 BL3,4 は試験体 AL1 及び BL1 と比 較して耐力低下後の低下の度合いが小さい。かんざし筋 及びスパイラル筋は、大変形時まで耐力を維持させ、急 激な耐力低下を抑える効果があるといえる。

全試験体において,負側最大耐力実験値は計算値に至 らなかった。これは,梁端の回転及び接合部内の圧縮ス トラット形成に影響され,梁端付近では圧縮中心が断面 の内側に寄ってしまうためと考えている。接合部内の圧 縮加力終了時まで最大耐力の80%を下回らなかった。負 側加力時,かんざし筋のない試験体AL2,及びBL1,4 は層 間変形が大きくなるにつれ徐々に耐力が低下したが,か んざし筋を配した試験体 BL2,3,5 は耐力が低下せず,よ り負側耐力計算値に近い値となった。

3.3 梁主筋定着端閉鎖形鉄筋, ステッキ筋の歪

接合部内の補強筋の歪ゲージ位置を図-5 に示す。試験 体 BL1.2 の梁主筋端部拘束筋と試験体 BL3,4,5 のステッ キ筋に張り付けた歪ゲージの歪の推移を図-6 に示す。歪 ゲージ位置は図-5 による。測定グラフに点がプロットさ れていない部分は歪ゲージが計測不能となったものであ



図-4 層せん断力 Q-層間変形角 R 関係

		正加力			負加力				
試験 体名	破壊形式	最大耐力 ^{*1} Qmax(kN)	最大耐力 /計算値 ^{*2} Qmax/Qu	最大耐力 時変形角 (×10 ³ rad)	$\frac{\text{R80}^{*3}}{(\times 10^3 \text{rad})}$	最大耐力 ^{*1} Qmax(kN)	最大耐力 /計算値 ^{*2} Qu(kN)	最大耐力 時変形角 (×10 ³ rad)	$\begin{array}{c} \text{R80}^{*3} \\ (\times 10^3 \text{rad}) \end{array}$
AL2	梁曲げ降伏前,梁上端主筋の定着破壊	94.5	0.84	20.1	20.1	81.8	0.92	20.0	≧30
BL1	梁曲げ降伏後,梁上端主筋の定着破壊	120.7	1.03	28.6	30.3	86.0	0.93	19.9	≥ 40
BL2	梁曲げ降伏による破壊	134.2	1.14	64.8	\geq 70	88.1	0.96	40.0	≥ 40
BL3	梁曲げ降伏後,接合部ひび割れ進展	123.1	1.05	40.0	61.7	87.9	0.95	40.1	≥ 40
BL4	梁曲げ降伏後,接合部ひび割れ進展	121.8	1.04	28.2	36.7	86.9	0.94	20.0	≥ 40
BL5	梁曲げ降伏による破壊	134.0	1.14	66.7	\geq 70	89.3	0.97	40.0	≥ 40
*1:	層せん断力で表示								
*2:	梁曲げ降伏時層せん断力計算値。梁には柱せん断力Q,に等しい大きさの軸力N,が,柱には梁せん断力Q,と等しい大きさの軸力N,が								
	作用するとして算定。梁曲げ降伏モーメントは下式による。使用する数値は材料試験値とする。								
	$M_u = 0.8a_t \sigma_y D + 0.5 \text{ND} \left(1 - \frac{N}{hDE} \right)$ (N \ge 0) , $M_u = 0.8a_t \sigma_y D + 0.4 ND$ (N < 0)								

表-4 最大耐力及び最大耐力時変形一覧

る。

*3 :

最大耐力80%低下時変形角

せん断ひび割れが発生する+1/100rad.加力時から梁主 筋が降伏する+1/50rad.加力時にかけて歪が大きくなるが, 梁主筋降伏後は歪の上昇率が小さくなっている。また, 接合部せん断ひび割れが大きく開き耐力低下した試験体 BL3,4 の耐力低下時と鉄筋の降伏が一致しており、定着 端補強筋が鉄筋の浮き上がり力の抑制と共に、接合部せ ん断ひび割れの進展を抑制する効果があることが示され た。試験体 BL2 と試験体 BL5 の鉄筋歪,履歴ループ共 に差異が見受けられないため、ステッキ筋は十分に梁 端部の拘束効果を持つ。

試験体 BL1,2 の梁主筋定着端補強に用いた閉鎖形鉄 筋は降伏しなかった。かんざし筋を配筋した試験体 BL2 は大変形まで耐力を維持したが、かんざし筋を配 筋していない試験体 BL1 は急激な耐力低下を生じた。 また, BL1 試験体と比較し BL2 試験体は梁主筋が降伏 した+1/50rad 時の閉鎖形鉄筋の歪の値が小さかった。 試験体 BL2 と梁主筋定着端補強筋の断面積が等しい 試験体 BL3 は、梁主筋定着端補強筋の降伏により耐力 低下が生じたが、ステッキ筋の量が多い試験体 BL5 は BL2 と同様大変形まで耐力を維持した。スパイラル筋 を使用した試験体 BL4 は、かんざし筋を用いた BL3 よ りも早期にステッキ筋が降伏し耐力低下が生じた。

以上より,L 形接合部内で梁上端主筋を直線定着する ためには梁上端主筋のかぶりコンクリートに鉄筋を配す る必要がある。かんざし筋などを用いて梁上端主筋のか ぶりコンクリートを補強した場合でも、梁主筋定着端補

強筋が降伏すると耐力低下が生じる。

3.4 かんざし筋の歪

試験体 BL2,3,5 のかんざし筋に取り付けた歪ゲージの 歪の値を図-7に示す。 歪ゲージの位置は図-2による。

全試験体において、かんざし筋は降伏しなかった。梁 主筋定着端補強筋と同様、せん断ひび割れが発生する +1/100rad.加力時から梁主筋が降伏する+1/50rad.加力時 にかけて歪の値が増大するが、梁主筋の降伏以降は、か んざし筋の歪の増大率は小さくなった。梁主筋定着端に





梁主筋端部拘束筋歪(試験体 BL1, 2), ステッキ筋歪(試験体 BL3, 4, 5)



最も近いかんざし筋(Q1)の歪の値が最も大きく,定着 端から遠ざかるほど歪の値が小さくなった。

3.5 梁上端主筋の接合部内付着力

梁上端主筋の定着板支圧力 T1,梁上端主筋の柱フェース断面引張力 T2 の測定位置及び正加力時の推移のグラフを図-8 に示す。引張応力度σは図-8 に示す位置に貼付した歪ゲージの値に材料試験により求めたヤング係数を 算出した。

全試験体において、+1/100rad.加力時までは引張力,支 圧力共に同様の傾向を示した。接合部せん断ひび割れが 発生する+1/100rad.加力時から梁主筋が降伏する+1/50rad. 加力時にかけて支圧力が大きくなり,引張力と支圧力の 差(付着力)は全補強法において最大 200kN 前後で差異が なかった。

試験体 BL2,5 は徐々に支圧力が増加していき, +1/15rad.加力時に支圧力は引張力のほぼ 100%となった。 また,試験体 BL3,4 は耐力低下後もほとんど支圧力の低 下が見られない。これと柱頭部の破壊状況より,梁主筋 定着端の補強及び梁上端主筋付着補強を行うことで,柱 頭部の梁上端主筋定着端周辺のコンクリートの損傷の進 展を抑制し,コンクリートの損傷の進展に伴う支圧力の 低下を抑え,梁上端主筋の定着部破壊を抑制することが 可能であると考えられる。

4. まとめ

梁上端主筋を直線定着とした最上階外部柱梁接合部 に a)閉鎖形補強筋, b)ステッキ筋, c)かんざし筋, 及び d)スパイラル筋, による梁上端主筋の補強を施した試験 体 5 体の静的載荷実験及び検討の結果, 以下の知見を得 た。

- (1) 梁上端主筋定着端を補強することで,接合部せん断 ひび割れの進展を抑制することができる。
- (2) かんざし筋による補強は、梁上端主筋の定着破壊を

抑制し,大変形時まで耐力を維持させ,急激な耐力 低下を抑える効果がある。

- (3) 梁上端主筋のかぶりコンクリートに鉄筋を配する 必要がある。
- (4) 梁主筋定着端補強及び梁主筋付着力補強を行うことで、定着端周辺のコンクリートの損傷の進展に伴う支圧力の低下を抑え、梁上端主筋の定着部破壊を抑制することが可能である。
- (5) かんざし筋等を用いて梁上端主筋かぶりコンクリートを補強した場合でも、梁主筋定着端補強筋が降伏すると耐力低下が生じる。

謝辞

本研究は(財)日本建築防災協会に設置された機械式定 着工法研究委員会の研究プロジェクトの一環として行わ れたものである。また、鉄筋などの材料を東京鐵鋼(株) より提供いただいた。ここに記して関係各位に謝意を表 する。

参考文献

- 加藤史明・清原俊彦・田才晃・楠浩一:機械式定着 を用いたRC造最上階柱梁接合部の構造方式に関 する実験的研究,コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, 2011 289-295
- 2) 加藤史明・吉村匡裕・田才晃・楠浩一・清原俊彦・ 足立智弘:機械式定着を用いたRC造L形柱梁接合 部の柱頭部拘束筋の効果に関する実験的研究その 1,その2,日本建築学会大会学術講演・建築デザ イン発表梗概集,C-2分冊,pp481-484,2011
- 3) 2007 年度版建築物の構造関係技術基準解説書, pp626, 2007.8
- 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建築物の靱性保 証型耐震設計指針・同解説,pp243-255,1999