# 論文 機械式定着を最上階 T 形柱梁接合部の柱主筋に使用する工法の実験 的研究

# 石橋 一彦\*1・井口 良平\*2

要旨:鉄筋コンクリート構造の最上階T形柱梁接合部を対象とした柱主筋の機械式定着について 1/2 およびほぼ実大の部材モデル8体の正負交番繰り返し加力実験を行い、定着破壊に対して有効な補強方法を確認した。とくに接合部における柱と梁の幅比が大きい実大試験体では、柱の隅の主筋の定着が悪くなることと、接合部のせん断破壊が3次元的に生じることが確認された。

キーワード:機械式定着、T形柱梁接合部、定着破壊、接合部せん断破壊

#### 1. 実験目的

機械式定着工法を用いた最上階の T 形柱梁接 合部について, 柱曲げ降伏先行で設計された 1/2 縮小部材モデル(以下:縮小モデル)実大クラ スの部材モデル(以下:実大モデル)の架構に よる正負交番繰り返し加力実験を行い、文献1) で示されている終局限界状態で保証すべき部材 の変形角や高層建築設計例で要求される層間変 形角を目安として、実験では 1/50 以上の層間変 形角まで耐力を保持し、さらに耐力の 80%を保 持する変形角 R(0.8Qcmax)が 1/25 以上あるかを 確かめる。また、実大モデル試験体では、梁幅 に対する柱幅の比を縮小モデル試験体より大き くすることにより、接合部内での柱主筋の定着 条件を厳しくして、より現実的な条件でも変形 性能を保てるか確かめることとする。なお、縮 小モデルの実験結果は文献 2) において既に報告 されているのでその内容を抜粋して示す。



図-1 定着金物(または定着板)詳細

2. 試験体

全ての試験体の柱主筋には、二条式のねじ節 鉄筋を用い,接合部内の鉄筋末端には図-1に示 す定着金物を取り付けて柱主筋を定着した。表 -1に試験体諸元を、図-2に接合部の詳細配筋 を示す。

縮小モデルの試験体はコンクリート強度、接 合部水平・横補強筋量、柱・梁主筋強度を実験 因子とする 4 体である。接合部には水平・横補 強筋の他に U の字鉄筋を上下に用いた割フープ 形式の鉛直・横補強筋を配置した。4Sの試験体 は 3N の試験体に比べ接合部水平・横補強筋量が 多い試験体となっている。実大モデルの試験体 は、実験因子を鉛直・横補強筋量、水平・横補 強筋量,定着に対する補強方法としている。2S-2 は水平・横補強筋として帯筋と中子筋を、さら に鉛直・横補強筋(Uの字鉄筋を上下に用いた 割フープ形式、縮小モデルより少ない配筋量) を配置した。2S-0 は定着板を柱主筋の端部と梁 下端筋レベルの2段にそれぞれ配置した。2S-0 には接合部鉛直・横補強筋は配置していない。 WN-ST は定着板を柱主筋の端部と梁下端筋レベ ルより若干上部の 2 段にそれぞれ配置した。接 合部の鉛直・横補強には梁のあばら筋を配置し

\*1 千葉工業大学 工学部建築都市環境学科教授 工(博) (正会員)

\*2 千葉工業大学 工(修) (正会員)

コンクリート 梁長 強度 L(mm) Fc 柱長 N/mm <sup>2</sup> H(mm)		柱配筋				梁配筋		接合部配筋			接合部			
		強度	L(mm)	主筋		かぶり	定着長さ	主筋		水平·横補強筋		鉛直·横補強筋		せん断余裕度
		Fc	柱長	配筋	種別			配筋	種別	配筋	種別	配筋	種別	Vpu
		N/mm²	H(mm)	(Pg)		mm	mm	(Pt)		pwjh		(pwg)		/V <sub>mu</sub>
縮小	T345-30-4S	30	3400 × 1000	8-D19 (1.44%)	SD 390	- 57 342 (18ab <sup>%1</sup> )	4~D19 SD295A	SD295A	3-S6(5相) 0.38% 2-S6(6相)				1.46	
	1345-30-3N						342 (18db <sup>**†</sup> )	1.06%		0.30%	KSS785	2-D10(3組) (0.37%)	SD 29 5A	
	T490-45-4S	45			SD 490			4-D19 SD390 (1.06%)	SD490	3S6(5組) 0.38%				1.35
	T490-45-3N									2S6(6組) 0.30%				
実大	2S-2				SD 490	87	522 (18db <sup>**1</sup> )	4-D29 (1.19%) <sup>**2</sup> (1.17%)	SD 490	3-S10(5相) 0.37%。 RB	<b>DB</b> 795	2-S10(4組) (0 <u>22</u> %)	SD 29 5 A	1.10
	2S-0	40	5100 × 1500	8-D29 (1.43%)							10700	無し	—	
	WN-ST									2-S10(5組) 025%	RB 785	2-S10(6相) (0.34%)	705	
	SP-ST												ND /85	1.13

表-1 試験体緒元

(共通因子)柱、梁の横補強筋:KSS785, RB785(溶接閉鎖型) 接合部せん断余裕度は文献3)の提案式による Vpu:接合部のせん断終局耐力 Vmu:柱曲げ降伏時接合部のせん断入力 (縮小モデル共通因子)柱帯筋(30シリーズ):3-S6@60 梁あばら筋(30シリーズ):2-S10@90 柱帯筋(45シリーズ):3-S6@40 梁あばら筋(45シリーズ):2-S10@60 (実大モデル共通因子)柱帯筋:3-S10@90 梁あばら筋:2-S10@90 ※1 dbは主筋径,※2 梁主筋:Pt=1.19(ただし、2S-2梁上端のみ Pt=1.17%)



- 422 -

た。SP-STには、定着補強としてスパイラル状に 加工した鉄筋を定着板の支圧面より柱危険断面 まで、水平・横補強筋を巻き込むかたちで巻き 付けている。また、接合部の鉛直・横補強筋と して WN-ST と同様に梁のあばら筋を配置した。

各試験体の接合部せん断余裕度は,縮小モデ ルでは1.4程度,実大モデルでは1.1程度となっ ている。

使用した材料の試験結果を表-2 に示す

#### 3. 実験方法

本実験は図-3に示すように、実際の施工に合わせてコンクリートを打ち込んで作製した試験体の上下を逆に柱を上、梁を下にセットして行う。梁両端の支点の位置に平鋼ブレースをピン 接合して柱の加力点で交差する方向に配置して、 その交差点でさらにピン接合によって加力のための治具鉄骨とともに接合する。2台のジャッキ による荷重はこの水平な鉄骨治具の両端に反力 を取って交互に与えられる。この実験方法では 試験体に対して静定な条件で外力が与えられる ので、柱への水平荷重と部材応力は一義的な関 係を保てる。一方の梁は引張軸力を受けるが曲 げ降伏しないで、柱が曲げ破壊する。

載荷履歴は層間変形角 R が(0.5, 1, 2, 3, 4, 6)/100rad の正負 2 サイクルずつの繰り返し載荷およびその後の正加力方向への単調載荷とした。



図-3 加力測定方法

#### 表-2 使用材料強度

(錺	ŧ筋)				単位	单位:N/mm <sup>2</sup>			
何音	使用 移位	۹ )	呼び名 種別)	降伏点 σy	ヤング係数 E <sub>s</sub> (×10 <sup>5</sup> )	引張強度 <sub> </sub> のu			
			SD295A	336	1.94	507			
	主筋	D19	SD345	386	1.85	577			
			SD390	427	1,90	640			
福			SD490	563	2.06	765			
		S6	KCC785	1123	1.97	1196			
	横補 強筋	S10	K33/00	1069	2.14	1163			
		D10	SD295A	396	1.93	531			
	主筋	D29	SD490	532	1.97	731			
実	横補	S10	RB785	961	1.95	1146			
	強筋	D10	SD295A	415	1.81	594			

※1: 高張力鋼(KSS785, RB785)は 0.2%オフセット法にて算出

- (	コンクリ	リート)	単位:N/mm			
	強度 種別	<b>圧縮</b> 強度 σB	ヤング係数 E <sub>c</sub> (×10 <sup>4</sup> )	割裂強度 <i>σ</i> t		
縮	Fc30	33.3	2.54	2.9		
小	Fc45	49.7	2.91	3.3		
実	Fc40 <sup>**</sup>	35.7	2.86	4.2		
×	Fc40 <sup>*2</sup>	37.4	3.4	4.6		
	<b>※</b> 1:2S	-2、2S-0 試	験体			

※2:SP-ST, WN-ST 試験体

# 4. 縮小モデル試験体の実験結果

写真-1に実験終了後(T390-45-3N)の状態,図 -4に柱のせん断力Q(kN)と層間変形角R(rad)の関係を示す。

実験終了後の試験体を観察すると、各試験体 で接合部パネル中央の破壊よりも柱断面 4 隅に 位置する定着筋のかぶりコンクリートの破壊が 大きく、特に顕著であったのは梁上端筋に沿う 付着ひび割れの拡大と柱上面の定着板の外側の コンクリートの破壊であった。T490-45-3N では 実験終了以後接合部パネルのかぶりコンクリー トを取り除くと定着板近傍に配置した帯筋のコ ーナーで鉄筋の破断が見られた。

接合部のせん断破壊および柱主筋の定着破壊 について実験結果のまとめを文献 2)より以下に 抜粋する。

- 1)各試験体において、R=±0.01 の変形振幅で柱 は曲げ降伏し、R=±0.02 にかけて試験体の剛 性は急激に低下するが R=±0.03 まで荷重は 徐々に上昇し最大荷重に至った。
- 2) 各試験体において, R=±0.04 および R=±0.06 および R=+0.08 と変形振幅を増加して加力を

続けると耐力は低下した。接合部の水平補強 筋量が小さい程(4Sシリーズに対して 3Nシ リーズ)耐力の低下が各サイクルで比較して 大きかった。また,接合部せん断余裕度が小 さい(30シリーズに対する45シリーズ)と耐 力低下が大きく生じた。



3) 試験体が加力によって最大荷重に至るまでは、 定着板の定着耐力は保持された。最大荷重以 降の大きな変形振幅での加力において定着板 のコンクリートに対する滑動が非常に大きく なって定着破壊が生じ、耐力が低下した。

T390-45-3N



# 5. 実大モデル試験体の実験結果

# 5.1荷重-変形角関係

SP-ST 試験体については予定どおり 13 サイク ルでの押し切りで終了しているが、それ以外の 3 試験体は最大荷重経験後に大きな荷重低下が見 られたため、本来予定していた 11-12 サイクル (0.06rad)の繰返し載荷は1サイクルのみ行い、 12サイクル R=+0.08 までの加力で実験を終了し た。図-5 に各試験体の柱のせん断力 Q(kN) と層間変形角 R(rad)の関係を示す。

各試験体に共通して, R=±0.005の変形振幅で は曲げひび割れなどによって若干の剛性低下は あるが、低荷重時のスリップ性状などは見られ なかった。R=±0.01 の変形振幅では R=±0.005 までは弾性的ではあるが新しい変形領域で再び 剛性低下する。R=±0.02の変形振幅では、R=± 0.01 を超えるあたりの変形より剛性が低下する が、材料試験値を用いた柱曲げ降伏の計算荷重 の耐力を保持していた。このときの正負の荷重 が各試験体の耐力で、2S-0の正加力に限り R=+0.03 の 7 サイクルのときに最大荷重となっ た。WN-ST の負加力では R=-0.02 の5 サイクルで 計算荷重を若干下回る最大荷重となった。各試 験体でR=±0.02の6サイクル以降の変形では低 荷重時に履歴ループのスリップ性状が比較的顕 著になった。R=±0.03×2 サイクルの繰返し加力 において、SP-ST のみ耐力の 80% (0.8Qcmax)

を超える荷重を示し,WN-ST は載荷中に荷重が 大きく低下した。2S-2 では,0.8Qcmax を迎える あたりで,2S-0 では下回る荷重で,荷重を維持 したまま変形が進行した。 $R=\pm 0.04 \times 2$  サイクル において,SP-ST ではスリップ性状は大きくなる が,0.8Qcmax の耐力を維持し,2S-2 では70% 弱,2S-0 では60%程度,WN-ST では50%程度 に耐力が減少しスリップ性状が強くなっていた。 R=+0.06の11 サイクルの正加力まで SP-ST では 0.8Qcmax を維持する耐力が見られ,耐力が低下 するとともにスリップ性状の確認できた。

#### 5.2 試験体観察と考察

実験終了後、各試験体の接合部パネルかぶりコ ンクリートを取り除き接合部の破壊状況を確か めた。写真-2 に示すように, SP-ST では定着筋 のかぶりコンクリートはスパイラル筋で拘束さ れているので、定着筋と一体となって移動して いる。他の試験体では鉄筋とコンクリートの間 での滑動が確認できた。また, SP-ST では接合部 断面梁幅外のコンクリートが激しく破壊されス ターラップで囲まれた領域の接合部コアと完全 に分離している。WN-ST では定着筋の滑動によ る鉄筋節間でのコンクリートのせん断破壊とフ ープに囲まれたコアコンクリートの破壊が確認 できるが、接合部梁幅内のコアコンクリートと は完全に分離していなかった。2S-2 では定着筋 の滑動によるコンクリートのせん断破壊が見ら れ、フープと鉛直補強筋で囲まれた接合部コア コンクリートの破壊は激しく生じていない。2S-0 では定着筋の滑動によるコンクリートのせん断 破壊とフープ筋に囲まれた接合部コアコンクリ ートの破壊が見られ、とくに定着板近傍のコン クリートの破壊が激しい。また、この試験体で は梁上端筋の膨み出しが他の試験体と比べると 顕著であった。SP-ST ではスパイラル筋によって 定着強度は上昇したが、接合部の厚さ(幅)方 向においてせん断破壊と思われる破壊が見られ た。これは、接合部梁幅内のコアが梁あばら筋 によって拘束されていたが、比較的拘束が弱い 接合部梁幅外とコアとの間で捩れせん断破壊が 生じたと考えられる。柱主筋端部と梁下端筋レ ベルに定着板を取り付けた WN-ST, 2S-0 の各試 験体では梁下端筋レベルに取り付けた定着板に よる定着強度の上昇効果は鮮明には見られなか った。また, WN-ST においては定着筋の滑動が 梁曲げ降伏後の早期の変形で生じたため SP-ST のような破壊は見られなかった。2S-0 では柱上 面の梁幅内のかぶりコンクリートも梁主筋の膨 み出しを拘束する補強筋が無いため上方に大き く浮き上がったが,他の3 体の試験体では鉛直 補強筋及びスターラップによってこの盛り上が りが拘束された。

SP-ST (正面) (柱上面) WN-ST (接合部斫り後) (正面) 2S-2 (柱上面) (正面) 2S-0 (柱上部) (正面)

写真-2 最終破壞状態

6. 変形性能に与える主要因子

耐力の 80%を維持する層間変形角 R (0.8Qcmax)とせん断余裕度の関係を図-6に示 す。試験体は縮小モデル4体,実大モデル4体, 文献4)で報告されている9体,文献5)で報告 されている4体である。文献4)で報告されてい る9体にはすべて逆Uの字型の柱頭補強筋を配 置した試験体であり,文献5)で報告されている 4体は,本研究の縮小モデル・実大モデル(2S -2)と同様にUの字鉄筋を上下に用いた割フー プ形式の鉛直・横補強筋を配置した試験体であ る。梁幅に対する柱幅の比は実大モデルを除き すべての試験体で同じ1.33であり,実大モデル の梁幅に対する柱幅の比は1.50であった。

せん断余裕度が 1.2 以下の試験体では, 1/25 ま で耐力の 80%を維持する性能を発揮したのは実 大モデルの SP-ST のみであり,実大モデルは他 の試験体より梁幅に対する柱幅の比が大きい厳 しい定着条件であったことも考慮すると,スパ イラル状に加工した鉄筋を定着板の支圧面より 柱危険断面まで,水平・横補強筋を巻き込むか たちで巻き付けた補強は変形性能の向上に有効 であると考えられる。

せん断余裕度が 1.3~2 の試験体では、ほとん どの場合で、1/25 まで耐力の 80%を維持する性 能を発揮している。したがって、接合部の補強 が十分なされせん断余裕度が 1.3 以上の場合、架 構の変形能力は 1/50 まで保証され、さらに 1/25 までの変形性能を保持していることが期待でき ると考えられる。文献 5) の 2 試験体は 1/25 ま でに耐力が低下している。これらの 2 試験体は 文献 5) の 1/25 まで耐力の 80%を維持する性能 を発揮した他の 2 試験体に比べ水平・横補強筋 量が少ない試験体であった。

鉛直・横補強筋を配置した実大モデル 2S-2 と 配置していない 2S-0 では、変形性能の大きな違 いは見られなかった。よって、縮小モデルに比 ベ少ない鉛直・横補強筋の配筋量であった 2S-2 では鉛直・横補強筋による接合部の変形拘束は 十分ではなかったと考えられる。



- 7. まとめ
- 縮小モデル,実大モデル共に 1/50 以上の層 間変形角を保持し,さらに,1/25 までの最初 の正加力で耐力の 80%を保つ変形性能を発 揮しのは,縮小モデル全試験体と,実大モデ ルでは,スパイラル筋と梁あばら筋を配置し た SP-ST のみであった。
- 2)特に,実大モデル試験体では柱断面四隅に位置する定着筋の定着破壊が顕著であった。柱断面四隅に位置する定着筋に対して定着強度を保証すれば変形性能を確保できると考えられる。
- 3) 梁幅に対する柱幅の比が大きくなる場合には、接合部の平面方向ばかりでなく、厚さ (幅)方向でもせん断破壊が生じることが実 大モデル(SP-ST)で明らかになった。

### 謝辞

本研究は(株)伊藤製鐵所の機械式定着工法開発 の一環として行われたものである。ここに関係各 位に深く感謝します。

- 参考文献
- 1) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の靭性保証型耐震設 計指針・同解説, pp.80-84, pp.245-249, 1999
- 2) 石橋一彦ほか: 柱主筋定着板工法における最上階 T 形柱梁接 合部の実験的研究(その1 耐力と変形性能),(その2 接合 部の変形と定着性状),日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.533-536,2003
- 3) 益尾 潔, 岡村信也, 井上寿也:機械式定着工法による L 形 および T 形 RC 造柱梁接合部の終局入力時せん断力とせん断 終局耐力, コンクリート工学年次論文集, Vol25, No.2, pp.493-498, 2003
- 4) 石渡康弘ほか:円形定着板により機械式定着されたT形柱梁 接合部に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、 Vol25, No.2, pp.919-924, 2003
- 5) 井上寿也, 益尾 潔, 岡村信也:機械式定着工法による曲げ 降伏先行型・L形およびT形 RC 造部分架構の終局耐力と変 形性能, コンクリート工学年次論文集, Vol25, No.2, pp.499-504, 2003

- 426 -