論文 機械式定着を用いた T 形柱梁接合部の定着部の補強筋量に着目した 接合部耐力の分析

新井博登*1·村井克成*1·真田靖士*2

要旨:本論では既往の実験研究から,機械式定着を用いた T 形柱梁接合部の損傷状態について詳細に報告が なされた論文を収集し,既往の研究で提案された定着破壊を防止する定着端部の補強筋(以下,定着補強筋) の有効性の検討を各試験体の耐力評価を通して行った。これにより以下の知見を得た。提案された定着補強筋 は定着破壊に対し抑制効果があることを確認した。さらに,提案された定着補強筋量を満たす試験体は,接合 部降伏による強度低下率 β を考慮すると実験による最大耐力が ACI ストレスブロック法に基づく計算値を上回 ることを確認した。

キーワード:鉄筋コンクリート,最上階柱梁接合部,機械式定着,定着補強筋,接合部降伏による強度低下率β

1. はじめに

近年,鉄筋コンクリート造(以下, RC造)建物の高層 化に伴い,高強度,太径の鉄筋が多用され,鉄筋の折り 曲げ作業が困難となっている。加えて,柱梁接合部内の 配筋を簡略化するため,機械式定着工法が開発されてき た。この種の工法を用いたT形柱梁接合部(以下,T形 接合部)では一般的に柱幅が梁幅よりも大きく,柱主筋 が梁主筋の外側に位置するため,柱主筋の定着破壊が発 生しやすいと考えられる。この問題に対して,文献1)で は機械式定着工法を用いたT形接合部の柱主筋の定着破 壊を防止するため,定着部に必要な補強筋(以下,定着 補強筋)量の評価方法を提案している。同文献では,接 合部横補強筋量をパラメータとした梁曲げ降伏先行型の T形接合部試験体3体に対して提案した必要定着補強筋 量を満たす試験体が定着破壊しないことを確認した。た だし,検証事例(試験体数)は限定的である。

そこで本論文では,既往の研究¹⁻¹⁹)で行われた機械式 定着を用いたT形接合部の試験体を対象に定着補強筋量 を算出し,定着補強筋の有効性の検討を各試験体の耐力 評価を通して行った。

2. 必要定着補強筋量の計算方法¹⁾の概要

図-1 に定着補強筋の説明図,図-2 に機械式定着さ れた柱主筋端部の力の釣合状況(文献1)の仮定)を示す。 文献1)で定義された定着補強筋とは図-1 に示すように 機械式定着の定着金具端部に設けられた定着補強帯筋お よび定着補強中子筋を指す。なお,文献1)以前の研究で 用いられた試験体では定着金具と柱主筋の境界に設けら れた帯筋および中子筋を定着補強筋とみなし,また後述 の文献3),8)および14)で示された試験体は定着金具頭 部に設けられた帯筋も定着補強筋とみなす。文献1)では

*1 大阪大学大学院 工学研究科 博士前期課程 (学生会員) *2 大阪大学大学院 工学研究科 教授 博士(工学) (正会員)



図-2 柱主筋端部の力の釣合状況

以下の設計概念で定着補強筋の必要量を評価している。 図-2 に示すように定着金具端部に作用する力として柱 主筋引張力,定着補強筋引張力およびコンクリートの支 圧力を想定し,力の釣合から定着破壊の発生の有無を評 価した。ここで,(1)コンクリートが健全な場合,コンク リートは均等に柱主筋引張力に対する支圧力を負担する こと,(2)早期に剥落すると考えられるカバーコンクリー ト(図-2 の斜線部分) は応力を負担せず,その他のコ ンクリートに均等に再分配される,の2点を仮定した。 以上より,隅角部柱主筋の力の釣合は式(1),柱中段筋の 力の釣合は式(2)で示される。なお,図-2(b)のB-B'断 面はコンクリートの支圧力と柱主筋引張力で力が釣合い, 定着補強筋がなくても定着破壊は発生しないと考えられ る。したがって,必要な定着補強帯筋および定着補強中 子筋は式(3)および式(4)を満たす補強筋量である。

$(C/2)^2 = (T_v/2)^2 + T_h^2$	
$C/2: T_v/2 = \sqrt{2}: 1$	(1)
$(C/3)^2 = (T_v/3)^2 + T_h^2$	
$C/3: T_v/3 = \sqrt{2}: 1$	(2)
$T_h \ge T_v/2$	(3)
$T_h \ge T_v/3$	(4)

ここで,*C*:コンクリート支圧力,*T_h*:定着補強筋の 引張力,*T_v*:柱主筋の引張力である。

対象とする試験体

本研究では文献 1)~19)の中で,以下のi)~iv)に該当す るものを除いた試験体を検討対象とした。

i) 試験体に直交梁が存在するもの

ii) 柱が梁の上面から突出しているもの

iii) 接合部せん断余裕度が1以下のもの

iv) 文献 20)および文献 21)に示す必要定着長さを確保し ていないもの

検討対象とした試験体は計 52 体である。試験体の概 要一覧を表-1 に示す。同表中の定着補強帯筋および定 着補強中子筋の余裕率は2章の式(3), (4)より2Th/Tvおよ び3Th/Tvにより算定する。

接合部降伏による強度低下率β₀の算定では定着補強帯 筋も考慮し,ト形接合部の規定を準用し以下の略算式²²⁾ で算出した。なお,梁曲げ耐力計算値が柱曲げ耐力計算 値を上回る場合は式(5),下回る場合は式(6)を用いる。

$$\beta_{j} = \left\{ 0.85 - \frac{\sum A_{t} f_{y}}{b_{j} D_{c} F_{c}} + \frac{1}{4} \left(\frac{M_{bu} + M'_{bu}}{M_{cu}} \xi_{a} - 1 \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{\sum A_{jw} f_{jy}}{\sum A_{t} f_{y}} \right) \right\} \xi_{r} (5)$$

$$\beta_{j} = \left\{ 0.85 - \frac{\sum A_{t} f_{y}}{b_{j} D_{b} F_{c}} + \frac{1}{4} \left(\frac{M_{cu}}{M_{bu} + M'_{bu}} \xi_{a} - 1 \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{\sum A_{jw} f_{jy}}{\sum A_{t} f_{y}} \right) \right\} \xi_{r} (6)$$

ここで、 ΣA_t :有効な引張主筋の断面積、 f_y :有効な引張 主筋の降伏強度、 b_j :柱梁接合部の有効幅、 D_c :柱せい、 D_b :梁せい、 F_c :コンクリート強度、 M_{bu} 、 M'_{bu} :左梁(右梁) の柱フェースでの曲げ終局時の節点モーメント、 M_{cu} :下 柱の梁フェースでの曲げ終局時の節点モーメント、 ζ_a :柱 の有効せい比、 ΣA_{fw} :柱梁接合部内の梁の上端筋と下端 筋の間に配置された横補強筋の断面積の総和、 f_y :柱梁接 合部の横補強筋の降伏強度、 ζ_r :柱梁接合部の有効アスペ クト比である。

曲げ耐力計算値は柱および梁の危険断面位置の曲げ





耐力を柱せん断力に換算した値である。柱および梁の曲 げ耐力はACIストレスブロック法²³⁾を用いて算出した。 この時,鉄筋は完全弾塑性の応力ひずみ関係を持つこと, コンクリートの縁ひずみは 0.003 であること,柱の軸力 は 0kN であることおよび平面保持を仮定した。また、コ ンクリート強度および主筋の降伏強度は材料試験値を用 いた。破壊機構は柱降伏による破壊機構を C,接合部降 伏を示した試験体を J,定着破壊を示した試験体を A, 梁降伏を示した試験体を Bと表記する。また,柱降伏に よる破壊機構を示した後,接合部降伏および定着破壊し た試験体を CJ および CA と表記する。なお,破壊機構が 明確に記載されていない試験体は実験結果の破壊状況と 履歴性状およびそれらの説明より判断した。

図-3は実験最大耐力値/ACI柱(梁)曲げ強度計算値 と、図-4は定着補強帯筋および定着補強中子筋の余裕 率と、図-5は接合部降伏による強度低下率 β_iと、それ

								三				※凡例の括弧は				は負側を示す					
試			柱梁			接合部			材料試験値			強度低下率 β _j		曲げ耐力 計算値(kN)] N)	実験 耐力(最大 直(kN)	础		
験体番号	試験体	参考 文献	B×D (mm) 主筋		B×D (mm)	主筋	接合部 せん断 補強筋	定着神 余裕 帯筋	甫強筋 率(%) 中子筋	コンク リート 圧縮強度 (N/mm ²)	鉄 降伏 (N/n 柱	筋 強度 m ²) 梁	正	負	柱	· 選	20	Ē	負	◎ 壊 機 構	凡 例
1	TPN-1	2)	400×400	8-D16 (SD390)	300×400	8-D16 (SD390)	3-D10 (SD295)	59.8	0.0	28.1	442	442	1.21	1.15	111.6	200.5	169.6	109.4	112.9	CJ	▼(▽)
2	T18-2	3)	350× 350	12-D16 (SD345)	275× 350	8-D16 (SD345)	4-D6 (SD685)	115.3	0.0	29.9	375	375	1.07	1.13	113.1	134.9	163.2	114.6	99.6	A	■(□)
3	T20-4	3)	350× 350	12-D13	275×	8-D13	4-D6	310.1	155.1	33.3	350	549	2.23	2.28	70.8	136.5	154.3	99.6	78.3	С	●(())
4	IT36C-	4)	400×400	(SD293)	$310 \times$	6-D19	3-D10	44.3	66.4	39.5	481	481	1.00	0.93	206.0	296.2	238.6	180.4	167.6	A	■(□)
5	TPN-1	5)	400×400	(SD390) 8-D16	300×400	(SD390) 8-D16	(SD390) 3-D10	0.0	0.0	28.1	441	442	1.22	1.16	111.4	206.1	175.3	115.0	103.8	CJ	▼(▽)
6	TPN-2	5)	400×400	(SD390) 8-D16	300×400	(SD390) 8-D16	(SD295) 3-D10	0.0	0.0	26.9	447	447	1.21	1.15	112.3	207.9	176.9	123.3	114.0	CJ	▼(▽)
7	TPN-3	5)	400×	(SD390) 8-D16	$300 \times$	(SD390) 8-D16	(SD295) 3-D10	0.0	0.0	26.9	447	447	1.21	1.15	112.3	207.9	176.9	123.2	115.2	CJ	▼(▽)
8	T-1	6)	400×	(SD390) 12-D19	$300 \times$	(SD390) 8-D19	(SD295) 3-D10	100.5	0.0	45.2	431	431	0.93	0.93	304.5	322.4	322.4	302.0	292.4	J	▲ (△)
9	T-3	6)	400 400×	(SD390) 12-D19	400 300×	(SD390) 8-D19	(SD390) 3-D10	148.2	0.0	70.6	534	534	1.03	1.03	384.0	402.2	402.2	364.0	342.5	J	▲ (△)
10	T-4	6)	400 400×	(SD490) 12-D19	400 $300\times$	(SD490) 8-D19	(SD685) 3-D10	100.5	0.0	45.2	431	431	0.93	0.93	304.5	322.4	322.4	301.0	284.1	J	▲ (△)
11	T-5	6)	400 400×	(SD390) 12-D16	400 300×	(SD390) 8-D19	(SD390) 3-D10	123.4	92.6	44.9	448	373	1.27	1.27	224.5	288.4	288.4	230.0	233.9	С	•(())
12	T-6	6)	$\frac{400}{400\times}$	(SD390) 12-D16	$\frac{400}{300\times}$	(SD345) 8-D19	(SD345) 3-D10	157.5	118.1	48.3	351	373	1 49	1 49	180.5	297.6	297.6	183.0	188.1	C	● (○)
13	T-7	6)	$\frac{400}{400\times}$	(SD295) 12-D13	$\frac{400}{300\times}$	(SD345) 8-D16	(SD345) 3-D10	249.9	187.4	25.4	336	385	1.89	1.89	109.2	213.7	213.7	113.0	109.5	C	
14	T-8	6)	400 400×	(SD295) 12-D13	400 300×	(SD345) 8-D16	(SD295) 3-D10	249.9	0.0	26.9	336	385	1.89	1.89	109.2	213.7	213.7	113.0	114.1	C C	
15	т.0	6)	400 400×	(SD295) 12-D13	400 300×	(SD345) 8-D16	(SD295) 3-D10	249.9	0.0	20.9	410	295	1.62	1.62	124.6	214.2	214.2	142.0	129.6	CI	
16	T345-	0) 7,	400 $400 \times$	(SD390) 8-D19	400 300×	(SD345) 8-D19	(SD295) 5-D6	200.4	0.0	27.9	206	226	1.02	1.02	190.5	210.0	210.0	211.0	210.0	CJ C	
10	30-4S T345-	8) 7,	400 $400 \times$	(SD345) 8-D19	400 300×	(SD295) 8-D19	(SD785) 6-D6	64.4	90.0	33.5	300	330	1.75	1.04	100.5	205.5	222.5	211.0	210.0	C	
17	30-3N T490-	8) 7,	400 $400 \times$	(SD345) 8-D19	400 300×	(SD295) 8-D19	(SD785) 5-D6	64.4	96.6	33.3	386	336	1.57	1.48	180.5	285.3	222.5	210.0	200.0	c	
18	30-4S T490-	8)	$400 \\ 400 \times$	(SD490) 8-D19	400 $300\times$	(SD390) 8-D19	(SD785) 6-D6	44.1	66.2	49.7	563	427	1.43	1.34	263.3	366.0	272.6	296.0	284.0	С	
19	30-3N	8) 9.	400 600×	(SD490) 8-D29	400 $400\times$	(SD390) 8-D29	(SD785) 5-D10	44.1	66.2	49.7	563	427	1.32	1.23	263.3	366.0	272.6	294.0	278.0	С	•(())
20	2S-2	10) 9.	600×	(SD490) 8-D29	600 400×	(SD490) 8-D29	(SD785) 5-D10	40.1	60.1	35.7	532	532	1.49	1.39	542.6	1023.4	827.4	557.4	577.8	CA	♦ (◇)
21	2S-0	10) 9	600 ×	(SD490) 8-D29	600 400 ×	(SD490) 8-D29	(SD785) 5-D10	40.1	60.1	35.7	532	532	1.49	1.39	542.6	1023.4	827.4	544.6	557.0	CA	♦ (♢)
22	WN-ST	10)	600×	(SD490)	600 600	(SD490)	(SD785)	40.1	0.0	37.4	532	532	1.32	1.23	545.1	1025.3	827.9	578.1	531.7	CA	♦ (♢)
23	SP-ST	9, 10)	600 ×	8-D29 (SD490)	400 × 600	8-D29 (SD490)	(SD785)	40.1	0.0	37.4	536	536	1.32	1.23	545.1	1025.3	827.9	570.8	558.2	CJ	▼(▽)
24	SP-U	11, 12)	600 × 600	8-D29 (SD490)	400 × 600	8-D29 (SD490)	S-D10 (SD785)	39.1	0.0	35.5	536	536	1.31	1.22	546.0	1030.5	833.5	570.6	581.6	CA	♦ (♢)
25	SP-U3	11, 12)	600 ×	8-D29 (SD490)	400 × 600	8-D29 (SD490)	(SD785)	38.9	0.0	60.0	539	539	1.33	1.24	576.4	1058.7	844.4	627.1	615.8	CJ	▼(▽)
26	SN-U	11, 12)	600× 600	8-D29 (SD490)	400× 600	8-D29 (SD490)	5-D10 (SD785)	38.9	0.0	60.0	539	539	1.33	1.24	576.4	1058.7	844.4	634.4	626.5	CJ	▼(▽)
27	1490- 27-3A1	13)	400×400	8-D19 (SD490)	300×400	8-D19 (SD345)	3-D10 (SD295)	35.2	0.0	29.3	528	345	1.01	1.01	236.3	329.1	329.1	225.0	213.0	A	■ (□)
28	T490- 40-8A1	13)	400×400	8-D19 (SD490)	300×400	8-D19 (SD345)	5-D10 (SD295)	35.2	52.7	45.1	528	390	1.34	1.34	246.3	370.1	370.1	273.0	276.0	CA	$\blacklozenge (\diamondsuit)$
29	T490- 40-8A2	13)	400×400	8-D19 (SD490)	300×400	8-D19 (SD345)	5-D10 (SD295)	35.2	52.7	45.1	528	390	1.34	1.34	246.3	370.1	370.1	273.0	280.0	CA	$\blacklozenge (\diamondsuit)$
30	T490- 40-8B	13)	400×400	8-D19 (SD490)	300×400	8-D19 (SD345)	5-D10 (SD295)	35.2	52.7	45.1	528	390	1.34	1.34	246.3	370.1	370.1	274.0	286.0	CA	$\blacklozenge (\diamondsuit)$
31	T-1	14)	500×500	12-D22 (SD345)	400×500	8-D22 (SD390)	5-D10 (SD295)	75.2	0.0	38.6	371	441	1.09	1.04	222.2	357.5	301.3	220.0	210.0	J	▲ (△)
32	T0-3	14)	500×500	12-D22 (SD345)	400×500	8-D22 (SD390)	7-D10 (SD295)	37.6	0.0	38.6	371	441	1.18	1.13	222.2	357.5	301.3	240.0	210.0	CJ	▼(▽)
33	Ts-4	14)	500× 500	12-D22 (SD295)	400× 500	8-D22 (SD345)	5-D10 (SD295)	86.3	0.0	38.6	323	371	1.07	1.02	195.2	302.5	253.0	213.0	195.0	CJ	▼(▽)
34	T1-5	14)	500× 500	12-D22 (SD345)	400× 500	8-D22 (SD390)	7-D10 (SD295)	75.2	0.0	38.6	371	437	1.39	1.32	222.2	458.8	403.0	278.0	257.0	CJ	▼(▽)
35	T27- 390-0	15)	400× 400	8-D19 (SD390)	300× 400	8-D19 (SD390)	3-D10 (SD295)	44.4	0.0	30.9	410	410	1.17	1.17	197.1	355.1	355.1	194.0	179.0	А	■(□)
36	T54- 490-0	15)	400× 400	12-D19 (SD490)	300× 400	8-D22 (SD490)	3-D10 (SD295)	34.5	0.0	54.8	528	610	1.10	1.10	376.1	710.4	710.4	366.0	310.0	J	▲ (△)

表一1 試験体の概要一覧(続き) ※凡例の拮弧は負側を示す													: 不す								
試			7	柱	1	梁		接合部		材料試験値			強度低下率 β ;		曲げ耐力 計算値(kN)) N)	実験最大 耐力値(kN)		砺	
験体番	試験体	参考 文献	B×D	主筋	B×D	主筋	接合部 せん断	定着補強筋 余裕率(%)		コンク リート 圧縮強度	鉄筋 降伏強度 (N/mm ²)		正	負	柱	梁		Ē	負	₩ 壊 機 構	例
号	'						補強筋	帯筋	中子筋	(N/mm^2)	柱	梁				E	負			1175	
37	VT-36- N	16)	400×400	8-D19 (SD390)	300×400	8-D19 (SD390)	3-D10 (SD295)	42.2	0.0	38.5	416	430	1.19	1.19	202.7	375.2	375.2	240.0	210.0	CA	♦(♢)
38	VT-54- N	16)	400×400	12-D19 (SD390)	300×400	8-D22 (SD390)	3-D10 (SD295)	42.2	0.0	61.9	416	435	1.11	1.11	305.3	516.0	516.0	349.0	333.0	CA	$\blacklozenge (\diamondsuit)$
39	T-1	1)	350× 350	12-D13 (SD345)	250× 350	12-D10 (SD345)	10-D6 (SD345)	98.0	98.0	33.0	388	357	1.64	1.64	165.0	112.5	112.5	137.5	142.3	в	♦(◊)
40	T-2	1)	350× 350	12-D13 (SD345)	250× 350	12-D10 (SD345)	7-D6 (SD345)	98.0	98.0	33.0	388	357	1.41	1.41	165.0	112.5	112.5	136.8	136.5	в	♦(◊)
41	T-3	1)	350× 350	12-D13 (SD345)	250× 350	12-D10 (SD345)	4-D6 (SD345)	98.0	98.0	33.0	388	357	1.17	1.17	165.0	112.5	112.5	136.5	143.0	в	♦(◊)
42	T-4	1)	350× 350	12-D13 (SD345)	250× 350	8-D13 (SD345)	7-D6 (SD345)	98.0	98.0	28.0	379	374	1.19	1.19	155.8	146.2	146.2	154.0	150.5	CJ	▼(▽)
43	T-5	1)	350× 350	12-D13 (SD345)	250× 350	6-D16 (SD345)	7-D6 (SD345)	98.0	98.0	29.4	379	374	1.26	1.26	156.4	178.2	178.2	167.0	162.5	CJ	▼(▽)
44	T-6	17)	350× 350	12-D13 (SD345)	250× 350	6-D16 (SD345)	6-D6 (SD345)	55.1	55.1	32.3	375	375	1.31	1.31	149.5	168.0	168.0	160.5	150.5	CA	♦(♢)
45	T-7	17)	350× 350	12-D13 (SD345)	250× 350	6-D16 (SD345)	5-D6 (SD345)	0.0	0.0	30.6	375	375	1.24	1.24	148.8	180.6	180.6	163.6	156.0	CA	♦(♢)
46	T-8	17)	350× 350	12-D13 (SD345)	250× 350	6-D16 (SD345)	6-D6 (SD345)	53.8	0.0	31.3	375	375	1.29	1.29	147.1	185.8	185.8	158.3	153.5	CA	$\blacklozenge (\diamondsuit)$
47	T-10		350× 350	12-D13 (SD345)	250× 350	6-D16 (SD345)	4-D6 (SD345)	107.6	107.6	28.8	375	375	1.15	1.15	147.5	186.1	186.1	164.8	153.5	CJ	▼(▽)
48	T-11	18, 19)	450× 600	16-D13 (SD345)	400× 240	8-D13 (SD345)	4-D6 (SD345)	107.5	107.5	41.0	405	393	1.13	1.13	386.7	129.9	129.9	141.5	141.8	в	♦(◊)
49	T-12	18, 19)	450× 600	16-D13 (SD345)	400× 240	8-D19 (SD345)	4-D6 (SD345)	107.5	107.5	41.3	405	400	0.72	0.72	386.9	261.8	261.8	247.5	233.3	J	▲ (△)
50	T-13	18, 19)	450× 600	16-D13 (SD345)	400× 240	12-D19 (SD345)	4-D6 (SD345)	107.5	107.5	37.8	405	400	0.57	0.57	385.4	375.3	375.3	269.0	237.8	J	▲ (△)
51	T-14	18, 19)	450× 600	16-D13 (SD345)	400×240	12-D19 (SD345)	2-D6 (SD345)	0.0	107.5	35.9	405	400	0.56	0.56	384.5	373.9	373.9	261.3	256.3	J	▲(△)
52	T-15		350×350	12-D13 (SD345)	250×350	6-D16 (SD345)	5-D6 (SD345)	0.0	107.5	28.0	405	393	1.12	1.12	167.8	182.5	182.5	159.0	155.0	J	▲ (△)

ぞれ破壊機構の関係に着目した一覧図を示す。各図中の 数値および試験体番号は**表-1**に示すとおりである。

図-3 をみると柱および梁曲げ降伏による破壊機構 (●, ○, ◆, ◇) を示した試験体の実験最大耐力値/ACI 柱(梁)曲げ耐力計算値は概ね 1.0 を上回っている。一 方,接合部降伏と定着破壊(▲, △, ■, □)を示した 試験体は実験最大耐力値/ACI柱(梁)曲げ耐力計算値が 1.0 を下回っている試験体が多くみられる。

図-4 をみると,既往の研究では定着補強帯筋および 定着補強中子筋の余裕率が 100%未満の試験体が多く見 られる。特に,定着補強中子筋は半数の試験体に設けら れていない。また,定着補強帯筋および定着補強中子筋 の余裕率がともに 100%を超える試験体では定着破壊に よる破壊機構を示した試験体はないことを確認できる。

図-5をみると,対象とするほぼ全て試験体は接合部 降伏による強度低下率 β_i が 1.0以上の値である。これは 接合部せん断余裕度が 1.0以下のものを対象外としたこ とが考えられる。なお、 β_i が 1.0を大きく下回る試験体 は接合部アスペクト比が非常に小さい試験体であり、 β_j の略算式(式(5),(6))からも接合部アスペクト比が小さ くなると β_i が小さくなりやすいことをみてとれる。

4. 定着補強筋量に着目した統計調査

4.1 定着補強筋の有効性

図-6に実験最大耐力値/ACI柱(梁)曲げ耐力計算値 -定着補強筋の余裕率の関係を示す。(a)では横軸を定着 補強帯筋の余裕率としており,(b)では定着補強中子筋の 余裕率としている。

図-6 に示すように、各試験体を定着補強筋の余裕率 により以下の2通りに分類し、定着補強筋の有効性を検 討する。

- i) 定着補強帯筋または中子筋の余裕率が 100%を下回 っている試験体(図-6の黒色記号)
- ii) 定着補強帯筋および中子筋の余裕率が 100%を上回 っている試験体(図-6の赤色記号)

i)で示す試験体では、図-6(a)および(b)より補強筋に よる柱主筋の拘束力が低いため定着破壊した試験体(◆, ◇, ■, □)が多く確認できる。接合部降伏した試験体 (▼, ▽, ▲, △)についても最大耐力時に接合部の面 外方向へのはらみだしや、定着金具近傍のコンクリート の損傷および剥落が各参考文献より確認されている。ま た,柱および梁曲げ降伏による破壊機構(●, ○, ◆, ◊) を示した試験体も確認できるが、これらの試験体は定着 補強筋の余裕率(定着補強帯筋と定着補強中子筋の余裕 率を比較し小さい値)が100%に近いこと,または鉛直方 向に補強筋を多く配筋し接合部コンクリートの拘束が良 いことが原因であると考えられる。

ii)で示す試験体では、定着破壊した試験体(\diamond , \diamond , \blacksquare , \Box) は確認できない。接合部降伏した試験体(\bigtriangledown , ∇ , \blacktriangle , \triangle) についても最大耐力時に i)の場合にみられ た損傷は確認されない。また、柱および梁曲げ降伏によ る破壊機構を示した試験体(\bullet , \bigcirc , \diamond , \diamond) も多く確認 できる。さらに、一部の試験体を除き実験最大耐力値/ACI 柱(梁) 曲げ耐力計算値が 1.0 を上回っている。一部の 1.0 を下回った試験体は、図-5 で論じた接合部アスペク ト比が非常に小さいものである。

これらのことから,既往の研究で示された定着補強帯 筋および定着補強中子筋は柱主筋の定着破壊抑制に有効 であることを確認した。ただし,定着破壊した試験体の 一部に実験最大耐力値/ACI柱(梁)曲げ耐力計算値が1.0 を上回る試験体は存在するため,2章の必要定着補強筋 量の評価仮定に修正の余地もあり得る。

4.2 接合部降伏による強度低下率 β_jによる耐力評価

図-7 に実験最大耐力値/ACI 柱(梁)曲げ耐力計算値 -接合部降伏による強度低下率β_iの関係を示す。青色の 実線は接合部降伏による強度低下率β_iを考慮した場合に 実験最大耐力値/ACI 柱(梁)曲げ耐力計算値が 1.0 とな る境界である。

定着補強筋が実験最大耐力値と接合部降伏による強 度低下率 $\beta_j を考慮した計算値の比に与える影響を検討す$ るため,4.1節同様に各試験体をi)およびii)の2つに分 $類し,接合部降伏による強度低下率<math>\beta_j$ の分析および耐力 評価を行う。

i)で示す試験体では,柱および梁曲げ降伏による破壊 機構(\oplus , \bigcirc , \diamond , \diamond)を示した試験体は青色の実線を上 回る。一方,定着破壊および接合部降伏した試験体(\bigtriangledown , \bigtriangledown , \diamond , \diamond , \triangle , \blacksquare , \Box) は青色の実線を上回る試 験体も確認できるが,下回る試験体も多く確認できる。 接合部降伏した試験体は 4.1 節で示したように接合部の 面外方向へのはらみだしや,定着金具近傍のコンクリー トの損傷および剥落がみられており,定着破壊が発生し て耐力低下した可能性が考えられる。一方, ii)で示す試 験体では,柱および梁曲げ降伏による破壊機構(\oplus , \bigcirc , \diamond , \diamond)を示した試験体は i)で示す試験体と同様に青色の 実線を上回る。また,接合部降伏した試験体(\bigtriangledown , \bigtriangledown ,

▲, △) も青色の実線で示した値を上回っている。

これらのことから,定着補強筋の余裕度が 100%を上回る場合,接合部降伏による破壊機構を示した試験体は 接合部による強度低下率β,を考慮すると,実験最大耐力 値が計算値を上回る傾向を確認した。



5. まとめ

本論文では既往の研究で提案された柱主筋が機械式 定着されたT形接合部の定着破壊を防止する必要定着補 強筋量を既往の文献の同構造の試験体について算定し, 耐力評価を通してその有効性を検討した。以下に本研究 で得られた知見を記す。

- (1) 定着補強筋の余裕率が 100%未満の試験体の場合, 定着破壊した試験体が多く確認でき,一方で定着補 強筋の余裕率が 100%以上の試験体は定着破壊して いなかった。とくに後者では接合部アスペクト比が 非常に小さい試験体を除き,実験最大耐力値/ACI 柱 (梁)曲げ耐力計算値が 1.0 を上回った。
- (2) (1)の知見より、定着補強筋による定着破壊抑制の効果を確認した。ただし、前者のうち定着破壊した一部の試験体にも実験最大耐力値/ACI柱(梁)曲げ耐力計算値が 1.0 を上回る試験体は存在するため、2

章の必要定着補強筋量の評価仮定に修正の余地も あり得る。

- (3) 定着補強筋の余裕率が 100%未満の接合部降伏による破壊機構を示した試験体の実験最大耐力値は接合部降伏による強度低下率 βjを考慮した計算値を下回る場合があった。これらの試験体は定着破壊が発生した可能性がある。
- (4) 定着補強筋の余裕率が 100%を上回っており,接合 部降伏による破壊機構を示した試験体に接合部降伏 による強度低下率 β_jを考慮すると実験値が計算値を 上回った。

謝辞 本研究は、(一社) ニューテック研究会に設置され た「機械式定着工法研究委員会(委員長:前田匡樹東北 大学教授)」の研究の一部として行われたものである。委 員の方々より貴重な助言および、文献の原著者より多く の貴重な実験結果を使用させて頂いた。ここに記して感 謝の意を表する。

参考文献

- 市川覚,李曰兵,真田靖士, Bah Alpha Oumar Bagou, 機械式定着を用いた T 形柱梁接合部の実験,コンク リート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.619-624, 2016.7.
- 大和田義正, 隈澤文俊, 太田勤, 小杉雅男, 新藤健 太, 小曾根茂雄, 機械式定着金物を柱頭柱主筋の定 着に使用したL字型, T字形接合部の耐力と変形性 能, 日本建築学会大会学術講演便概集, C-2, pp.257-258, 2001.9.
- 3) 成瀬忠,山本憲一郎,渡邊朋之,森本敏幸,青田晃治,堀伸輔,柱主筋のプレート定着工法に関する研究(その3)T型架構実験の概要と結果,日本建築学会大会学術講演便概集,C-2, pp.261-262, 2001.9.
- 4) 中澤春生,坂口昇,浅井政宏,主筋を機械式定着した鉄筋コンクリート造柱梁接合部の構造性能に関する実験、コンクリート工学年次論文集,Vol.24, No.2, pp.847-852, 2002.6.
- 5) 沼田卓也,小杉雅男,隈澤文俊,大和田義正,機械 式定着工法を用いたT字形接合部の耐力と変形性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.2, pp.487 -492, 2003.7.
- 石渡康弘,竹内博幸,中村一彦,細矢博,円形定着 板により機械式定着されたT形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,Vol.25, No.2, pp.919-924, 2003.7.
- 石橋一彦,井口良平,小野秀雄,益尾潔,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),日本建築学会大会学 術講演便概集, C-2, pp.533-534, 2003.9.
- 8) 井口良平,石橋一彦,小野秀雄,益尾潔,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2 接合部の変形と定着性状),日本建築学 会大会学術講演便概集,C-2, pp.535-536, 2003.9.

- 9) 石橋一彦,井口良平,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3 実大ク ラス試験体の耐力と変形性能),日本建築学会大会 学術講演便概集, C-2, pp.819-820, 2004.8.
- 10) 井口良平,石橋一彦,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4 接合部 の挙動),日本建築学会大会学術講演便概集,C-2, pp.821-822, 2004.8.
- 清水弥一,石橋一彦,井口良平,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 5 スパイラル筋と逆U字筋を用いた試験体の耐力 と変形性能),日本建築学会大会学術講演便概集,C-2, pp.281-282, 2005.9.
- 12) 石橋一彦,清水弥一,井口良平,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 6 スパイラル筋と逆 U 字筋による補強効果),日本 建築学会大会学術講演便概集, C-2, pp.281 -282, 2005.9.
- 13) 井上寿也,足立将人,益尾潔,松崎寿,スクリュー プレート工法による RC 造 T 形および L 形部分架構 の実験,GBRC, Vol.30, No.3, pp.43-52, 2005.7.
- 14) 後藤祐生、中村一彦、高橋文美、楠浩一、緒伏勲、 田才晃、機械式定着を用いた RC 造 T 形柱梁接合部 の履歴性状に関する実験的研究、日本建築学会大会 学術講演便概集、C-2、pp.151-152、2008.9.
- 15) 足立将人、益尾潔、機械式定着工法による RC 造 T 形およびL形柱梁部分架構の構造性能に及ぼす直交 梁の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.31, No.2, pp.349-354, 2009.7.
- 16) 田川浩之,堂下航,足立将人,益尾潔,機械式定着 柱主筋・外定着によるRC造最上階T形,L形柱梁 接合部の実験,GBRC, Vol.36, No.1, pp.67 -74, 2011.1.
- 17) 村井克成,市川覚,真田靖士, Bah Alpha Oumar Bagou, 機械式定着部に対する横補強筋量を変動因子とする T 形柱梁接合部の実験,コンクリート工学年次論文 集, Vol.39, No.2, pp481-486, 2016.7.
- 18) 新井博登,村井克成,真田靖士,迫田丈志,藤原薫, 村山峻一郎,千葉雅大,機械式定着を用いた柱 - 扁 平梁 T 形接合部の構造実験 その1 実験概要,日本 建築学会大会学術講演便概集, C-2, pp.619-620, 2018.9.
- 19) 村井克成,新井博登,真田靖士,迫田丈志,藤原薫, 村山峻一郎,千葉雅大,機械式定着を用いた柱 - 扁 平梁 T 形接合部の構造実験 その2 実験結果,日本 建築学会大会学術講演便概集, C-2, pp.620-621, 2018.9.
- 20) 東京鉄鋼:プレートナット工法(BCJ 評定-RC0152-07) 設計施工指針, 2010.11
- 21) 朝日工業株式会社:スクリュープレート工法(BCJ 評定-RC0287-03) 設計指針
- 22) 鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算基準(案)・ 同解説, pp179-205, 2016.4
- 23) American Concrete Institute: Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-14), 2014.11