# 論文 柱主筋を圧接コブ定着とした RC 架構の力学性状に関する研究

宮内靖昌 \*1・佐々木照夫 \*2・鴻野良太 \*2・村井和雄 \*3

要旨:鉄筋の先端に圧接コブを設ける圧接コブ定着法を柱主筋に適用した RC 造架構の力学性 状をT形およびL形骨組実験を行い検討した。実験の結果,柱主筋を圧接コブ定着とした架構は, 従来のフック定着と同等の力学性能が得られた。また,定着部柱主筋の付着応力度および圧接コ ブの支圧応力度の推移状況が明らかとなり,圧接コプ定着の定着機構が明らかになった。 キーワード:圧接コブ定着,柱主筋定着,付着応力度,支圧応力度,T形骨組,L形骨組

1. はじめに

RC 造建物の最上階における柱主筋の柱梁接合 部への定着は,通常,図-1(a) に示すように 180° フック定着としているが,2方向の大梁主筋と錯 綜し,配筋精度の確保,コンクリートの密実な打 設が困難である。本研究では,図-1(b) に示すよ うに,短い定着長さで十分な定着耐力を確保でき る圧接コブ定着法を,柱主筋の定着に採用した。

鉄筋先端に設けた圧接コブを図 -2 に示す。圧 接コブは圧接コブ形成装置を用いて製作し,直径 は√5d (d:鉄筋呼び径)とした。定着のメカニ ズムは、図 -2 に示すように、鉄筋の付着力と圧 接コブの支圧力の和である。本論は、柱主筋を圧 接コブ定着としたT形骨組およびL形骨組の力学 性状について検討した結果を報告するものである。

2. T形骨組実験

#### 2.1 実験計画

表 -1 に試験体の一覧を示す。試験体は、柱主



(a) 180°フック定着(従来工法)



(b) 圧接コブ定着

図-1 柱主筋の定着法



図-2 圧接コブおよび定着機構

		柱				柱主筋定着部			
試験体	定着方法	断面 B×D	引張主筋 (Pt)	帯 筋 (Pw)	<u>柱主筋</u> かぶり	定着 長さ	接合部内 帯筋 (Pwj)	コブ 補強筋	付着
TCU	180° フック	400×400	3-D16	2-D6 @80	30 mm	320 mm	2-D6 @80	なし	あり
TCK	圧接コブ	40077400	(0.37%)	(0.20%)		(20 d)	(0.20%)	2 - D10	

表-1 試験体一覧(T形実験)

\*1 (株)竹中工務店 技術研究所 技術開発部 (正会員)

\*2 (株)竹中工務店 大阪本店 設計部

\*3 (株)竹中工務店 大阪本店 技術部



図-3 試験体の形状・配筋(試験体 TCK)

筋を従来の 180°フック定着とした試験体 TCU, および圧接コブ定着とした試験体 TCK の2体で ある。主筋の定着法以外の構造諸元は同一である。

図 -3 に試験体 TCK の形状・配筋を示す。柱 断面は BxD=400 mm x 400 mm, 柱主筋は 3-D16 (引張鉄筋比 Pt=at/BD=0.37%)とし, 柱主筋の かぶり厚さは 30 mm である。定着長さは 320 mm (20d)とした。柱および柱梁接合部内の帯筋 は 2-D6@80 (Pw=0.2%)とし, 圧接コブの直下に はコブ補強筋を配筋した。直交梁は設けていない。 表 -2,3 にコンクリートおよび鉄筋の材料試験結 果を示す。加力は柱の部材角Rを制御変位として, 正負繰り返し加力とした。ここで, 柱の部材角は R=δ/ho(δ:柱加力点での水平変位, ho:柱の 加力点から柱梁接合部中心までの距離)とした。

## 2.2 実験結果

図 -4 に荷重-変位曲線を示す。図中には柱の 曲げ降伏耐力の計算値 cQcu を示す。圧接コプ定 着の試験体 TCK と 180°フック定着の試験体 TCU は、同様なひび割れ発生状況および荷重-変 位関係を示した。部材角 R=6~7/1000 rad. で柱主 筋が曲げ引張降伏し、最大耐力は同じであった。 最大耐力後、柱梁接合部のせん断ひび割れおよび 接合部内の梁上端主筋に沿った付着割裂ひび割れ が進展し、柱主筋の定着劣化も生じ耐力低下した。

図 -5 に試験体 TCK の柱主筋 (C4) のひずみ

表-2 コンクリートの材料試験結果(T形実験)

養生	圧縮強度	ヤング係数	割裂強度
方法	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
現場封かん	19.2	22400	2.25

表-3 鉄筋の材料試験結果(T形実験)

	降伏応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
D16 *	347	182000	492
D10	338	188000	465
D6	344	189000	510



状況を示す。梁下端の定着始端 B 点における柱 主筋のひずみは,最大耐力時には降伏ひずみ ε y に達し,その後も増大した。このことより,柱主 筋を圧接コブ定着としても降伏引張応力度までの 定着強度を確保できることが明らかとなった。

# 2.3 付着応力度および圧接コブの支圧応力度

図 -6 に試験体 TCK の柱主筋定着部の付着に よる引張応力度の分担の推移状況を示す。縦軸は 柱主筋 B点の引張応力度に対する, A点, B点の 引張応力度の差(鉄筋の付着により負担される引



図-5 柱主筋のひずみ状況(試験体 TCK)

張応力度に相当する)の比を示す。部材角の増大 に伴い、付着による引張応力度の分担は低下し、 最大耐力時には 50~60% 程度であった。

図 -7 (a) に柱主筋定着部における付着応力度 fhの推移状況を示す。縦軸は付着応力度を日本 建築学会 RC 規準の短期許容付着応力度 sfa (=2.88 N/mm<sup>2</sup>)で割った値を、横軸は柱主筋の 定着始端(図の B点)での引張応力度 r σ b (N/mm<sup>2</sup>)を示す。ここで、付着応力度 fh は、 A点、B点における鉄筋引張力の差を、定着部の 鉄筋の表面積で割って求めたものである。

付着応力度の推移状況は、フック定着と圧接コ プ定着で大差なく、鉄筋の引張応力度の増大に伴 い付着応力度は増大し、降伏引張応力度 r σ b= 347 N/mm<sup>2</sup> では、f h/s f a=1.0 程度であった。

図 -7 (b) に圧接コブの支圧応力度の推移状況 を示す。縦軸は圧接コブの支圧応力度fbをコン クリートの圧縮強度 σ Bで割った値を示す。ここ で,圧接コブの支圧応力度は,A点での鉄筋引張 力を,圧接コブの有効支圧面積(鉄筋断面積の4 倍)で割って求めたものである。

柱主筋の引張応力度が小さい時には,引張応力 度は鉄筋の付着力により抵抗できるため,その時 の圧接コブの支圧応力度は小さい。しかしながら, 柱主筋の引張応力度が増大し,付着応力度がピー



図-7 付着応力度および支圧応力度(試験体 TCK)

ク近くに達すると、支圧応力度は急増する傾向に ある。試験体 TCK では、柱主筋が降伏引張応力 度に達した時点の圧接コブの支圧応力度は、f b  $/\sigma B = 1.8$ 程度であった。

#### 3. L形骨組実験

## 3.1 実験計画

表 -4 に試験体の一覧を,図-8 に試験体 L31 の形状・配筋を示す。試験体 L1,L2 の柱断面は 400 mm x 400 mm である。これに対して,試験体 L31,L41 および L42 の柱断面は 440 mm x 440 mm とし,柱主筋の中心間距離は試験体 L2 と同 じにしたままで, 柱主筋のかぶり厚さを 50 mm にした。なお, 片側に直交梁を設けた。

いずれの試験体も柱の曲げ降伏が先行するよう に計画した。柱主筋の定着長さは 320 mm (20d) および 400 mm (25d) の 2 種類である。試験体 L31 の柱主筋は 4-D16 (Pt=0.5%) とし, SD490 材を 用いて柱主筋の曲げ引張降伏力を大きくした。柱 梁接合部のせん断補強筋は、柱部分の帯筋と同量

表-4 試験体一覧(L形実験)

を基本とし,試験体 L41 とL42 では変化させた。 圧接コブの直下にはコブ補強筋を配筋した。

表 -5,6 にコンクリートおよび鉄筋の材料試験 結果を示す。図 -9 に加力方法を示す。加力は, 柱と梁の対角方向の変位から求めた部材角を制御 変位として,正負繰り返し加力とした。なお,正 荷重は,梁の取り付いていない外側の柱主筋が, 曲げ引張応力になる方向である。

3.686.44		柱			柱主筋定着部			
試験体	定着方法	断面	引張主筋	帯筋	柱主筋	定着	柱梁接合部内	コブ
番 号		$\mathbf{B} \times \mathbf{D}$	(Pt) <sup>(2)</sup>	(Pw) (2)	かぶり	長さ	帯筋 (Pwj)	補強筋
L1	180° フック	$400 \times 400$	3-D16 (0.37%)	2-D6 @50	30 mm	320 mm	2-D6 @50 (0.32%)	<u> </u>
L2	圧接コプ	10077100		(0.32%)		(20 d)		2 - D10
L31	圧接っプ	圧接コプ 440×440 4-D16	4-D16 (0 50%)	2-D10 @60	50 mm	400 mm	2-D10 @60 (0.6%)	2 - D10
				(0.60%)		(25d)		
L41			. 210 (0.0070)	2-D10 @60	50 mm	400 mm 4 (25d) 2	4-D6 @53 (0.6%)	4 - D6
L42				(0.60%)			2-D6 @80 (0.2%)	2 - D6

・引張鉄筋比 Pt および帯筋比 Pw の計算は、全試験体とも柱断面を 400mm x 400mm として行った



表-5 コンクリートの材料試験結果(L形実験)

試験体	養生 方法	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
L1, L2	폐배	24.0	23000	1.85
L31	- 現場 封かん	23.0	23100	2.18
LA1, LA2		27.9	23300	2.38

#### 表-6 鉄筋の材料試験結果(L形実験)

試験体	鉄筋径	降伏応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )
	D19	496	661	197000
L1	D16*	384	589	188000
L2	D10	353	495	195000
	D6	372	548	193000
L31	D16 *	532	710	201000
	D10	361	506	190000
L41	D16 *	453	676	188000
L42	D6	372	548	193000
				*:柱主筋



-316-



図-9 加力方法(L形実験)

#### 3.2 実験結果

写真 -1 に試験体 L2 の部材角 R=20/1000 rad 時のひび割れ状況を,図 -10 に従来のフック定着 の試験体 L1 および圧接コブ定着の試験体 L2 の荷重-変位曲線を示す。縦軸は載荷水平荷重の 1/2 とした柱せん断力 Qc(tonf) を示す。図中には 柱の曲げ降伏時せん断力の計算値 cQcu を示す。

正荷重時における破壊経過は,フック定着の試 験体 L1 では,柱の曲げひび割れ,柱梁接合部の せん断ひび割れが発生し,最終的には柱主筋のか ぶりコンクリートがはく落し,定着破壊した。一 方,圧接コプ定着の試験体 L2 は,写真に示され るように,柱主筋の定着面に圧接コブからの斜め ひび割れが発生・進展し,試験体 L1 と同様に柱 主筋の定着破壊となった。試験体 L2 の最大耐力 後の耐力低下は,正荷重時には試験体 L1 より大



写真-1 試験体 L2 のひび割れ状況 (R=20/1000rad.)

きくなったが、負荷重時では同等であった。

図 -11 に試験体 L31 の荷重 - 変位曲線を示 す。ひび割れ発生状況および破壊経過は,試験体 L2 と同様であった。柱主筋は 4-D16 (SD490) で あるが,最大耐力時に柱主筋は引張降伏した。

図 -12 に柱梁接合部内の帯筋比 Pwj を変化 させた試験体 L41 および L42 の包絡線を比較 して示す。両試験体とも、柱に曲げひび割れ、柱



-317-



梁接合部にせん断ひび割れが発生し,部材角 R= 8/1000 rad で柱主筋が引張降伏した。Pwj=0.2% の試験体 L42 はこの時が最大耐力となり,その 後柱主筋が定着破壊した。Pwj=0.6%の試験体 L41 は,柱主筋が引張降伏した後も耐力は増大し, 柱の曲げひび割れが進展した。R=18/1000 rad で 最大耐力に達し,大きな変形性能を示した。

3.3 付着応力度および圧接コブの支圧応力度

図 -13 に試験体 L31 の柱主筋の付着応力度 の推移状況を、図 -14 に圧接コブの支圧応力度の 推移状況を示す。縦軸は柱主筋定着部の付着応力 度fhを短期許容付着応力度sfa(3.37 N/mm<sup>2</sup>) で割った値、あるいは圧接コブの支圧応力度fb をコンクリートの圧縮強度σB(=23.0 N/mm<sup>2</sup>) で割った値を示し、横軸は梁下端の定着始端にお ける柱主筋の引張応力度rσb(N/mm<sup>2</sup>)を示す。

定着面に梁が取り付く柱主筋 (SD490 材) は, 降伏引張応力度 σ y=532 N/mm<sup>2</sup> に達した。

鉄筋の引張応力度 400 あるいは 530 N/mm<sup>2</sup> 近傍では、定着面に梁が取り付く柱主筋の付着応 力度は、f h/s f a=1.0 程度であった。これに 対して、梁が取り付かない柱主筋の付着応力度は、 f h/s f a=0.7~0.8 程度であった。

また,支圧応力度は取り付く梁の有無にかかわ らず f b/σ B=1.75~2.0 程度であった。

## 4. まとめ

柱主筋を圧接コブ定着としたT形骨組実験,L いた鉄筋の定着性状に関する研究(その2), 形骨組実験から,柱主筋を圧接コブ定着としても, 築学会大会,構造 C-2, 1996 年, pp. 595~596



従来の 180°フック定着と同等の定着性能が得ら れることが明らかとなった。しかしながら, 柱主 筋の定着面に梁が取り付く場合と取り付かない場 合では定着性能が異なり, L形骨組の外側の柱主 筋のように, 梁が取り付かない場合には, より長 い定着長さが必要である。また, 柱梁接合部内の 帯筋が多くなるほど, 変形性能は向上した。

#### 参考文献

 (1) 鴻野,佐々木他: 圧接コブを用いた鉄筋の定着性状に関する研究,日本建築学会大会,構造C-2,1995年, pp.741~742
(2) 村井,佐々木他: 圧接コブを用いた鉄筋の定着性状に関する研究(その2),日本建築学会大会,構造C-2,1996年, pp.595~596