

論文 RC 造ト・T・L 形柱梁接合部のせん断および定着性状

田畠 卓^{*1}・西原 寛^{*2}

要旨: 鉄筋コンクリート造ト・T・L形柱梁接合部のせん断性状について、主筋の定着方法および定着位置(定着長さ)の及ぼす影響を実験的に検討した。その結果、いずれの形状の接合部も定着条件の如何に関わらず、せん断強度は韌性保証型耐震設計指針による計算値と同等以上であることが認められた。L形接合部では柱主筋を梁上端主筋の上で定着することによってせん断強度が向上し、また接合部せん断変形が抑制される性状を示した。しかし、ト・T形接合部ではそのような主筋定着位置による影響は認められなかった。

キーワード: 柱梁接合部、鉄筋コンクリート造、せん断強度、最上階、定着

1. はじめに

鉄筋コンクリート造建物の最上階 T 形・L 形柱梁接合部では、柱主筋を梁上端主筋の下で定着させるのが一般的である。しかしこの場合、何らかの補強を施さない限り柱頭は無筋状態となってしまい力学的不安が残る。これについて「鉄筋コンクリート造配筋設計指針」¹⁾では、柱主筋を梁上端主筋の上方に延長し定着する方法を推奨している。一方、ト形柱梁接合部では、定着すべき梁主筋と平行してせん断補強筋が配されるが、例えは梁主筋を柱背面側主筋の先方で定着すれば、接合部の一体性が向上し、より安定したせん断挙動を示すのか興味深いところである。

そこで、本研究では主筋定着位置による接合部力学性状への影響を実験的に明らかにすることを目的とした。また L 形接合部のせん断性状に関しては主筋の定着方法による影響が指摘されており²⁾、それらについても併せて検討を行うこととした。

2. 実験計画

2.1 試験体および使用材料

表-1に試験体一覧を、図-1に各試験体の接合部配筋詳細を示す。実験に用いた試験体は L 形試験体が 5 体、T 形およびト形試験体が各 2 体の計 9 体である。いずれも接合部せん断破壊が先行

するよう計画しており、柱断面は $b \times D = 40 \times 40\text{cm}$ 、梁断面は $b \times D = 30 \times 40\text{cm}$ で共通とした。柱主筋は 12-D19 とし、梁主筋は L 形試験体において 4-D19 (1 段配筋)、T 形・ト形試験体において 6-D19(2 段配筋)とした。また、接合部に D10(SD295A) の外周補強筋を 2 組づつ配した。

L 形試験体では柱・梁主筋の定着位置と定着方法を変動因子とした。L-BH1 と L-BH2 は従来配筋を模擬したもので、柱主筋を梁上端主筋の下で 180° フック定着、梁主筋を柱背面側主筋の手前で 90° 折り曲げ定着としている。両試験体の相違は梁上端主筋の余長および下端主筋の折曲げ方向である。他の 3 体は柱主筋を梁上端主筋の上で定着させ、その定着方法として L-BU では U 型定着(ただし四隅主筋は 180° フック)、L-BP および L-PP ではプレート定着を採用した。梁主筋の配筋は L-BU, L-BP とも L-BH1 と共通であるが、L-PP では柱背面側主筋を越える位置でのプレート定着とした。

ト形・T 形試験体では、定着方法をプレート定着として定着位置のみを変化させた。即ち T 形試験体では柱主筋を梁上端主筋の下で定着した T-P17 と上で定着した T-P22 を計画し、ト形試験体では梁主筋を柱背面側主筋の手前で定着したト-P18 と背面で定着したト-P22 を計画した。

表-2に使用材料の力学特性を示す。L 形試験

*1 安藤建設(株)技術研究所 (正会員)

*2 安藤建設(株)技術研究所 室長 (正会員)

表-1 試験体一覧

試験体	断面 b × D (cm)	接合部 形状 (a/D)	主筋		せん断補強筋		定着方法		定着長さ(mm)		
			(柱 p_g)	(梁 p_t)	(柱 p_w)	(梁 p_w)	接合部	梁主筋	柱主筋	梁主筋	柱主筋
L-BH1	柱: 40×40	L形 (柱: 2.78) (梁: 2.05)	12-D19 (2.15%) [SD345]	4-D19 (0.96%) [SD685]	2-D10 @50 (0.71%)	2-D10 @50 (0.95%)	2-D10 @130 (2組)	90°折曲げ1	180°フック	上端: 342	330
L-BH2								90°折曲げ2			
L-BU								90°折曲げ1	U型	下端: 333	400
L-BP								ブレート		400	
L-PP								通し配筋	ブレート	—	308
T-P17	梁: 30×40	T形 (柱: 2.87) (梁: 2.03)	12-D19 (2.15%) [SD685]	6-D19 (1.43%) [SD685]	4-D10 @60 (1.18%)	2-D10 @50 (0.95%)	2-D10 @130 (2組)	通し配筋	ブレート	—	400
T-P22								2-D10 @50 (0.71%)	4-D10 @60 (1.58%)	320	
T-P18									ブレート	通し配筋	420
T-P22										—	

[90°折曲げ1] 上端: 曲げ下げ、下端: 曲げ上げ (R=114mm, Lt=266mm)

[180°フック] R=57mm, Lt=76mm

[90°折曲げ2] 上記に対し上端筋Lt=361mm、下端筋を曲げ下げ [ブレート] ブレート寸法: w×h×t=45×45×22mm

[U型] R=114mm (四隅の主筋は180°フック) (R: 折曲げ内法直径, Lt: 余長)

定着長さ: 折り曲げ定着では投影定着長さ、ブレート定着ではブレート付け根までの定着長さを示す。

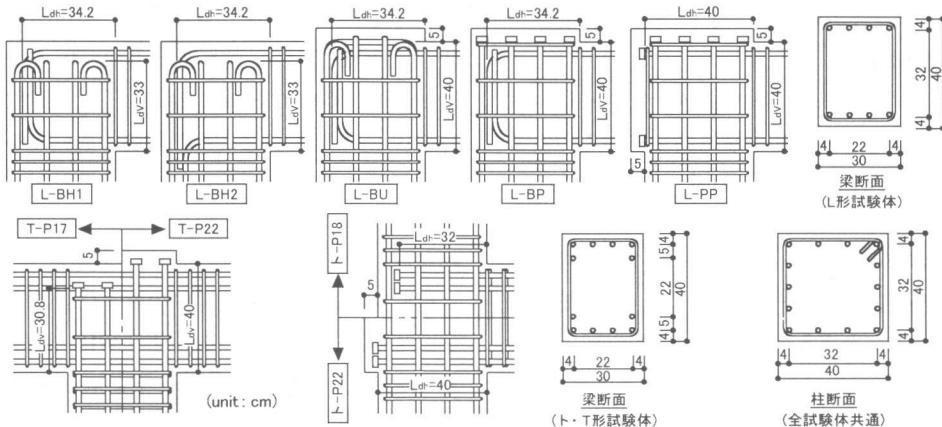


図-1 接合部配筋詳細

体の柱主筋は SD345, 他の主筋は SD685 である。

実験時のコンクリート圧縮強度は 25.2~26.0MPa であった。以降の検討ではその平均値 25.6MPa を用いることとした。

2.2 加力および計測

図-2に加力方法を示す。L形試験体はダミー柱を用いて 3 ヒンジラーメンを構成し、ダミー柱頂部に正負繰り返しの水平力を与えた。載荷は梁・柱端の閉じる方向が正加力、開く方向が負加力である。なお、この載荷方法では正加力時に圧縮の、負加力時に引張りの軸力が柱・梁に生じる。T形試験体では梁反曲点位置をピン・ローラー支持して柱端に、ト形試験体では柱反曲点位置をピン・ローラー支持して梁端に、それぞれ正負繰り返し荷重を与えた。T形・ト形試験体のどちらも初期柱軸力は付加していない。加力の制御は層間変形角 R

表-2 使用材料の力学特性

種別	a) 鉄筋				b) コンクリート		
	降伏強度 (MPa)	降伏金み (%)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	圧縮強度 (MPa)	割裂強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
D19(SD685)	735	0.387	998	197	25.6	2.22	2.66
D19(SD345)	370	0.217	575	178	粗骨材粒径=15mm スランプ=18cm		
D10(SD295A)	357	0.189	502	189			

に基づく変形制御とし、R=± 1/400, =± 1/200, =± 1/100, =± 1/67, =± 1/50, =± 1/33rad.で各 1 回繰り返すこととした。ただし L 形試験体は正加力時と負加力時とで剛性が異なり、正加力時の破壊の進行が早かつたため、正加力時では最大耐力を確認した後、数回、繰り返しを省略した。

各試験体では層間変位および接合部せん断変形(接合部対角変位)を電気式変位計により計測した。また、主筋の主要な箇所に歪みゲージを貼付し、歪みの計測を行った。

3. 実験結果

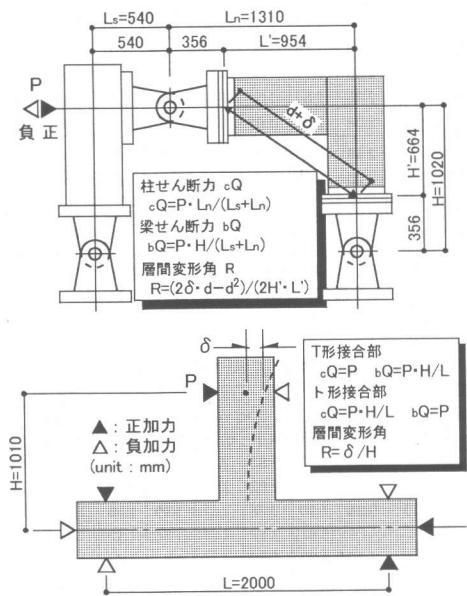


図-2 加力方法

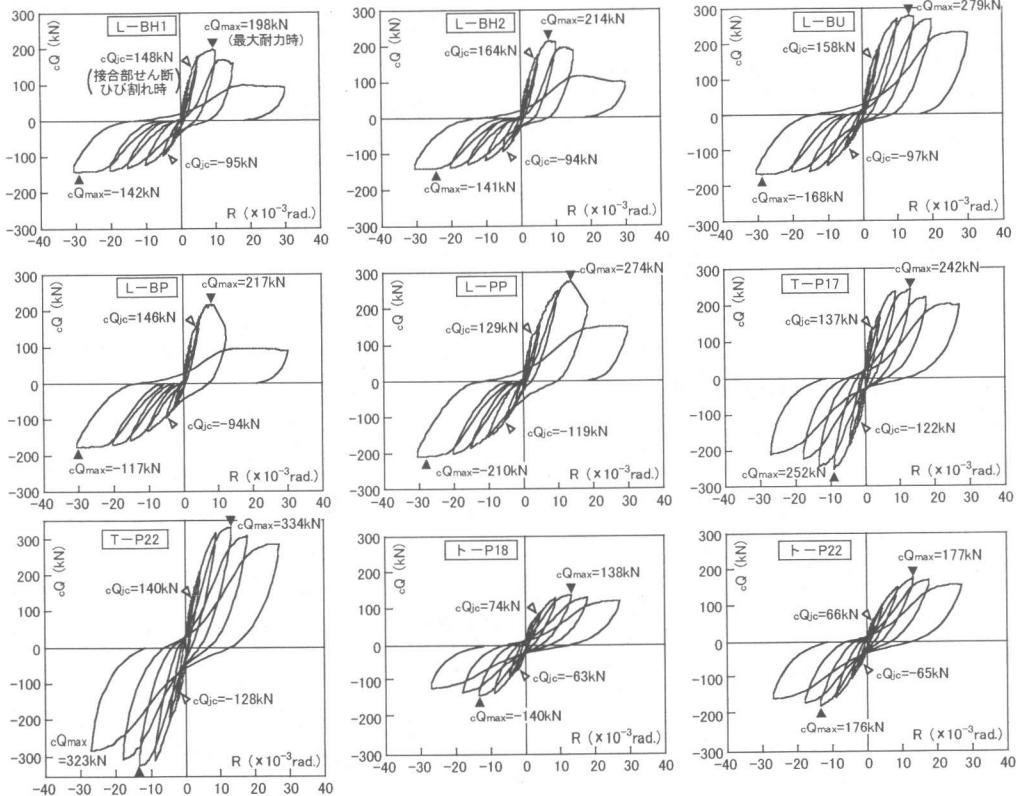


図-3 柱せん断力-層間変形角 関係

3.1 履歴性状

図-3に柱せん断力(cQ)ー層間変形角(R)関係を示す。L-BP では正加力時に梁上端主筋が折り曲げ部で破断(1/4 本)し耐力低下したが、他の試験体は L-BP の負加力時も含め全て接合部せん断破壊を呈した(ただし L 形試験体では $R=-1/67\text{rad}$ に柱主筋が降伏した)。L 形試験体は正負に非対称な履歴であり、いずれも最大耐力は正加力の方方が高く、負加力時では最終サイクルまで荷重が漸増し続けている。L-BH1 と L-BH2 は履歴性状および最大耐力とも明確な差はみられない。L-BH1 に対し柱主筋の定着長さを延長した L-BU および L-BP は、梁主筋が破断した L-BP の正加力時を除き最大耐力が向上した。L-PP は柱主筋の定着長さが同等の L-BU と比較して、正加力時の最大耐力は同程度であるが、それ以降、急激に耐力低下した。T 形・ト形試験体では、定着長さを長くしたことによる最大耐力の向上が明確にみられた。

3.2 破壊性状

図-4に最終ひび割れ状況を示す。柱主筋を梁上端主筋の下で定着した L-BH1 および L-BH2 では、柱上面を観察したところ、梁上端主筋の折り曲げ部内側とその外側のコンクリートが分離する様相を呈しており、L-BU および L-PP と明確な違いがみられた。主たるせん断ひび割れは、柱主筋を U 型定着した L-BU では正加力時、ほぼ接合部対角に発生したが、他の L 形試験体では柱上面に抜けるよう発生する傾向があった。ト形試験体では柱圧縮域を結ぶように接合部せん断ひび割れが発生している。T 形試験体は柱中段筋の定着プレート位置からも斜めひび割れが発生しており、柱主筋を梁主筋の手前で定着した T-P17 では、定着プレート側部のコンクリートが損傷し剥落した。

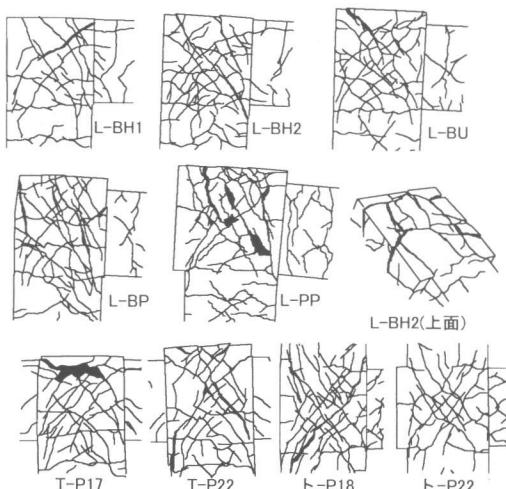


図-4 最終ひび割れ状況

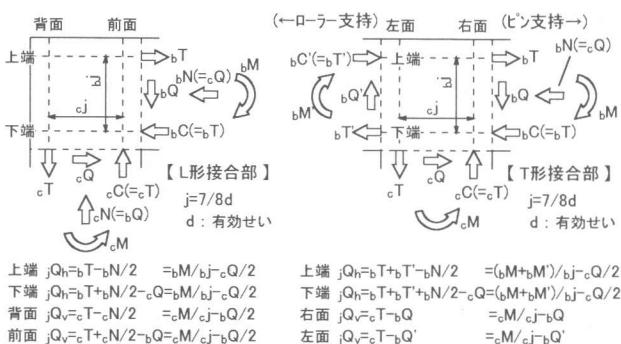


図-5 接合部せん断応力の定義

表-3 接合部せん断ひび割れ強度一覧

試験体	計算値 $\tau_{j,cal}$ (MPa)	実験値 $\tau_{j,exp}$ (MPa)		$\tau_{j,exp} / \tau_{j,cal}$					
		正加力		負加力					
		水平	鉛直	水平	鉛直				
L-BH1	2.38	2.60	1.52	1.50	0.80	0.91	0.80	0.76	
L-BH2	2.64	2.89	1.52	1.50	0.89	1.01	0.80	0.76	
L-BU	2.53	2.77	1.56	1.54	0.86	0.97	0.82	0.78	
L-BP	2.35	2.57	1.52	1.50	0.80	0.90	0.80	0.76	
L-PP	2.08	2.27	1.92	1.56	0.70	0.79	1.01	0.79	
T-P17	2.38	2.16	2.27	1.91	2.01	0.91	0.96	0.80	0.85
T-P22		2.20	2.32	2.01	2.12	0.93	0.98	0.85	0.89
ト-P18	2.38	2.27	2.45	1.93	2.08	0.95	1.03	0.81	0.88
ト-P22		2.01	2.17	1.98	2.15	0.85	0.92	0.83	0.90

$\tau_{j,cal}$ ：文献3(解8.8.1式)による(L型試験体は変動軸力を考慮)

「H」は水平方向、「V」は鉛直方向を表す)

$\tau_{j,exp} = jQ / (jb \cdot jd)$ $jb=350\text{mm}$, $jd=400\text{mm}$, jQ は図-5による

表-4 接合部せん断終局強度一覧

試験体	計算値 $\tau_{j,cal}$ (MPa)	実験値 $\tau_{j,exp}$ (MPa)		$\tau_{j,exp} / \tau_{j,cal}$					
		正加力		負加力					
		水平	鉛直	水平	鉛直				
L-BH1	3.73	4.23	2.83	2.73	1.42	1.61	1.07	1.04	
L-BH2	4.03	4.57	2.82	2.72	1.53	1.73	1.07	1.03	
L-BU	5.24	4.90	3.35	2.67	1.99	1.86	1.27	1.01	
L-BP	(4.08)	(3.81)	3.52	2.81	(1.55)	(1.45)	1.34	1.07	
L-PP	4.40	4.82	3.39	3.34	1.67	1.83	1.29	1.27	
T-P17	4.61	3.80	5.19	3.96	5.40	0.83	1.13	0.86	1.17
T-P22		5.24	5.52	5.07	5.33	1.14	1.20	1.10	1.16
ト-P18	4.61	5.36	4.50	5.43	4.56	1.16	0.98	1.18	0.99
ト-P22		5.51	5.79	5.47	5.75	1.20	1.26	1.19	1.25

$\tau_{j,cal}$ ：文献3(8.3.1式)による。 jQ は図-5による

$\tau_{j,exp} = jQ / (jb \cdot jd)$ $jb=\min(bD, L_d)$ or $jb=\min(cD, L_d)$

3.3 接合部せん断強度

接合部せん断応力(jQ)は、T 形接合部の鉛直方向、ト形接合部の水平方向以外に対して、載荷方法による軸応力の影響を考慮し算定した(図-5)。

表-3に接合部せん断ひび割れ強度一覧を示す。計算値に対する実験値の比は L 形試験体が 0.70 ~ 1.01, T 形試験体が 0.80 ~ 0.98, ト形試験体が 0.81 ~ 1.03 であり、接合部形状、定着方法、定着長

さの違いによる顕著な差はみられない。なお L 形試験体の負加力時ひび割れ強度は正加力時の 6 割程度に低下している。

表-4は接合部せん断終局強度一覧である。L 形試験体では正加力時に比べ負加力時のせん断強度は低くなるが、いずれも韌性保証型耐震設計指針³⁾による計算値は確保されている。いま鉛直と水平とで大きい方を接合部せん断強

度として採用すると、柱主筋を梁上端主筋の上で定着した L-BU・L-PP は、下で定着した L-BH1・L-BH2 に比べ、正・負加力時とも幾分せん断強度が高く、柱主筋の定着位置による効果が認められる。L-BU と L-PP とでは負加力時のせん断強度は同等であるが、正加力時ではむしろ梁主筋を柱背面側主筋の手前で定着した L-BU が、柱背面主筋を越えて定着した L-PP よりせん断強度は高い。これは L-BU における U 型筋(柱主筋)が柱上面から発生するせん断ひび割れを抑制するためと考えられる。T 形試験体の鉛直方向、ト形試験体の水平方向のせん断強度は定着長さに関わらず概ね一定であり、主筋定着位置それ自体、例えば T 形試験体において柱主筋を梁上端主筋の上で定着するか否かはせん断強度に影響していない。また T 形試験体とト形試験体のせん断強度はほぼ等しく、靱性保証耐震設計指針による計算値と良く適合している。

3.4 定着主筋の歪み性状

L 形試験体 図-6 に L 形試験体の梁せん断力(bQ)—梁端主筋歪み($b\epsilon_s$)関係を示す。図中には梁主筋が引張りとなる場合について、ジャッキ荷重に基づく計算値を併せて示している。負加力時ではいずれの試験体も圧縮鉄筋が引張りに転じる現象がみられるが、特に L-BH1・L-BH2 でこの現象が著しい。これに伴い負加力時、若干ではあるが他の試験体より引張り鉄筋(下端主筋)の歪みが大きく推移している。これらは圧縮鉄筋の引張りへの転化により応力中心間距離が減少したことを示す。また最大耐力時における L-BH1・L-BH2 の引張り歪みは、梁主筋の配筋(定着方法、定着長さ)が共通の L-BU・L-BP と同程度であり、従って表-4における負加力時のせん断強度の差異は、主に応力中心間距離の違いに起因して生じたものといえる。

T 形およびト形試験体 図-7 に T 形試験体の柱せん断力(cQ)—柱端主筋歪み($c\epsilon_s$)関係を、図-8 にト形試験体の梁せん断力(bQ)—梁端主筋歪み($b\epsilon_s$)関係をそれぞれ示す。T 形試験体およびト形試験体でも L 形試験体と同様、圧縮鉄筋が引張りに転ずる現象がみられる。ここで T 形試験体の柱最外縁筋、およびト形試験体の 1 段筋に着目する

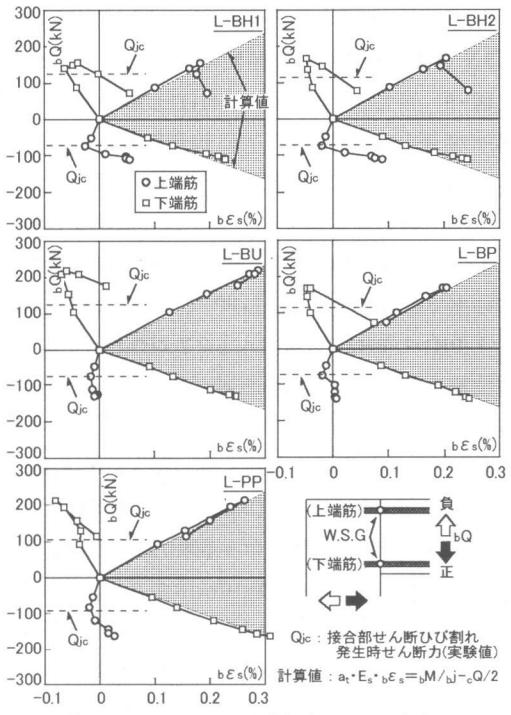


図-6 bQ — $b\epsilon_s$ 関係 (L形試験体)

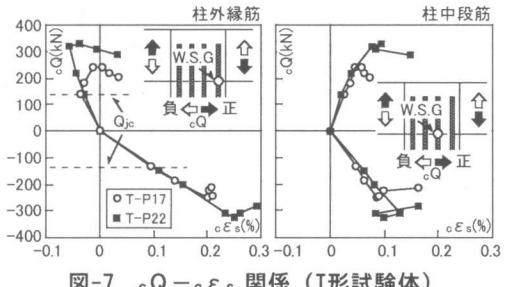


図-7 cQ — $c\epsilon_s$ 関係 (T形試験体)

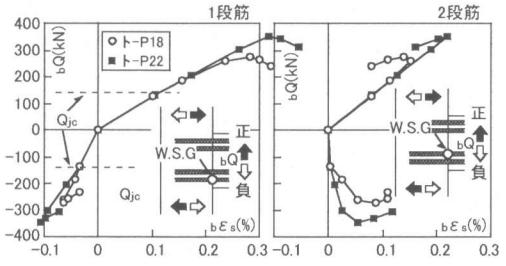


図-8 bQ — $b\epsilon_s$ 関係 (ト形試験体)

と、定着長さの短い T-P17・T-P18 では、定着長さの長い T-P22・T-P22 に比べ、接合部せん断ひび割れ発生時(図中 Q_{jc})あたりから引張り歪みが増す傾向がみられる。しかし、これらは表-4に示したように、

せん断強度に影響を及ぼすまでには至っていない。

3.5 柱梁接合部のせん断変形

図-9に接合部せん断変形角(γ)—層間変形角(R)の関係を示す。ここで γ は接合部対角の伸縮量から算出した。L 形試験体では負加力時に比べ正加力時のせん断変形が増大する傾向がみられる。正加力時で比較すると、柱主筋を梁上端主筋の上で定着した L-BU・L-PP では、最大耐力以降 L-BH1・L-BH2 より幾分小さく γ が推移しており、柱主筋の定着位置による影響が認められる。これら 4 体においては最大耐力時(正加力時)の全体変形に占める接合部せん断変形の割合は L-BH1・L-BH2 で 40%程度、L-BU・L-PP で 30%程度であった。負加力時では図-9をみると限り配筋方法による影響は小さい。しかし図-10に示すとく対角圧縮方向の変位 δ_c は、柱主筋を梁上端主筋の下で定着した L-BH1・L-BH2 において他の試験体より大きく推移しており、せん断変形が正加力時せん断ひび割れの残留によって膨張しつつ進行していくことが伺える。T 形・ト形試験体では、最大耐力以降、幾分、定着長さによる違いがみられるものの、それまでの履歴に明確な差ではなく、せん断変形に及ぼす定着長さの影響は小さいと思われた。

4. 結論

L 形・T 形・ト形接合部の実験を行った結果、以下の知見が得られた。

(1) 最上階の L 形・T 形接合部について、従来通り、柱主筋を梁上端主筋の下で定着した試験体は、韌性保証型耐震設計指針によるせん断強度を上回ることが確認された。

(2) L 形接合部では柱主筋を梁上端主筋の上で定着することによってせん断強度が向上した。

(3) T 形・ト形試験体では定着位置それ自体、例えばト形接合部で梁主筋の定着位置を柱自由面側主筋の外側とするか否かの違いはせん断強度に影響を及ぼさなかった。

(4) L 形接合部では、柱主筋を梁上端主筋の下で定着すると、柱・梁端が開く場合において、柱・梁端が閉じる側の接合部せん断変形が残留する

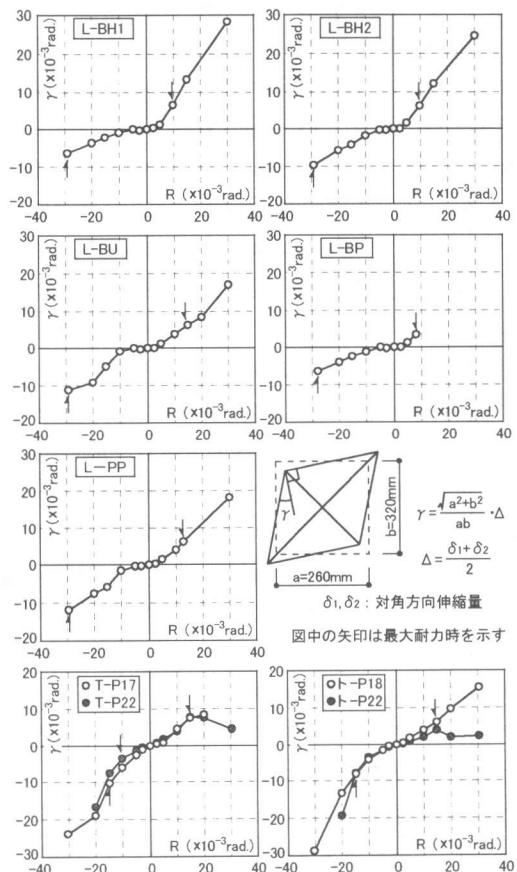


図-9 接合部せん断変形角の推移

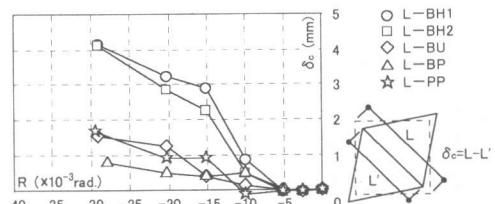


図-10 接合部対角圧縮方向の変形(L形試験体)

傾向があり、これを解消する上で、柱主筋を梁上端主筋の上で定着することは有効であった。

参考文献

- 日本建築学会:鉄筋コンクリート造配筋設計指針
- 下中裕史ほか:鉄筋コンクリート T 字型, L 字型柱・梁接合部のせん断耐力、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.2, pp.1023-1028, 1997
- 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の韌性保証型耐震設計指針(案)・同解説