

# 論文 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

下中裕史\*1・崔 建宇\*2・内田貴之\*3・藤井 栄\*4

要旨：柱筋の定着部ディテールを実験変数とした鉄筋コンクリート T 字型、L 字型柱・梁接合部のせん断破壊実験を行った。本実験の結果、T 字型接合部のせん断強度はト型接合部に対する終局強度型指針式でほぼ推定できること、L 字型接合部のせん断耐力は柱筋を U 字型定着とした場合、正載荷時(梁、柱端が閉じる載荷)には T 字型と同じせん断強度を有するが、負載荷時(梁、柱端が開く載荷)はその 60% 程度の耐力となること、柱筋をプレート定着とした場合には負載荷時の耐力は U 字型定着とほぼ同じであったが、正載荷時には U 字型定着の 40% 程度の耐力となったこと等の結果を得た。

キーワード：柱・梁接合部、せん断強度、プレート定着、U 字型定着、最上階

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート十字型、ト型柱・梁接合部については、耐荷機構の解明にはまだ検討の余地を残すものの、実験資料の蓄積により、かなりの適合性を有するせん断強度式の提案がなされてきている。一方、最上層の接合部となる T 字型、L 字型については参照できる実験資料が極めて少なく [1][2][3]、十分な検討がなされていないのが現状である。本研究は、柱筋定着方法をパラメーターに、T 字型、L 字型接合部のせん断強度について実験的に調査したものである。

## 2. 実験計画

### 2.1 載荷方法

図-1 に載荷方法を示す。試験体は、上下回転させて、実験室床にピン、ローラー支承上に設置し、梁端部と柱端部を油圧ジャッキを介してピン接合して、正負の繰り返し荷重を与えた。L 字型試験体では梁、柱端が閉じる載荷を正載荷、開く載荷を負載荷としている。T 字型試験体では、2 対の油圧ジャッキに符号の異なる大きさの等しい荷重を作用させて載荷した。この載荷方法では L 字型試験体では正載荷時には柱、梁に軸圧縮力、負載荷時には軸引張力が作用する。また、T 字型試験体では柱には軸力が生じず、両側の梁に大きさの等しい軸圧縮力、軸引張力が交互に作用することになる。載荷履歴は、全体変形角 1/300 (または接合部せん断ひびわれ発生荷重)、1/200、1/100、1/50 および 1/25 で各正負 1 回の繰り返し載荷とした。

表-1 試験体一覧

試験体名称	柱	梁	接合部せん断補強筋	柱主筋定着法	梁主筋定着法
T-P	10-D13	4-D13	2-φ6 3set	プレート定着	通し配筋
T-U	鉄筋比 2.6%	引張鉄筋比 1.4%		U 字型定着	通し配筋
L-P	せん断補強筋:	せん断補強筋:		プレート定着	U 字型定着
L-U	2-φ6 @50	2-φ6 @50		U 字型定着	U 字型定着

\*1 京都大学工学部建築学科 (正会員)    \*2 京都大学大学院 工学研究科環境地球工学専攻

\*3 京都大学工学部建築学科    \*4 京都大学大学院工学研究科助教授 環境地球工学専攻 工博(正会員)

## 2.2 試験体と計測事項

試験体はT字型接合部2体、L字型接合部2体である。表-1に試験体一覧、図-2に各試験体の配筋詳細を示す。L字型、T字型接合部それぞれ柱筋をU字型定着としたもの(L-U、T-U)とプレート定着としたもの(L-P、T-P)からなる。柱断面220×220mm、梁断面160×250mmでありU字型及びプレート定着の柱筋(5-D13)の定着投影長さは197.5mm(15.2d<sub>b</sub>)共通である。梁主筋(4-D13)はL字型接合部ではU字型定着(定着投影長さ167.5mm(12.9d<sub>b</sub>))とし、T字型接合部

部では通し配筋としている。試験体は接合部せん断破壊が先行するように設計した。接合部せん断補強筋には溶接閉鎖型の外周フープを3組配置した。使用鉄筋の力学的特性を表-2に示す。試験時材令でのコンクリート圧縮強度は327kgf/cm<sup>2</sup>、割裂引張強度28.7kgf/cm<sup>2</sup>である。コンクリートは、梁が上に、柱が鉛直下向きになる方向で打設した。

全体変形(柱端部ピン位置での変形)および接合部パネルの4隅の変位を実験室床にとりつけた計測用フレームから計測し、梁、柱危険断面位置の主筋ひずみおよび接合部せん断補強筋のひずみをWSGで計測した。

## 3. 実験結果と検討

### 3.1 破壊性状

表-2 使用鉄筋の力学特性

鉄筋	使用箇所	降伏点(kgf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数(×10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )
D13	T-P・T-U梁主筋	5510	1.83
D13	柱主筋, L-P, L-U梁主筋	8210	1.91 <sup>*A</sup>   2.16 <sup>*B</sup>
φ6	せん断補強筋	2830	1.72

\*A: 鉄筋縦リブ上にひずみゲージ貼り付け

\*B: 鉄筋ミゾにひずみゲージ貼り付け

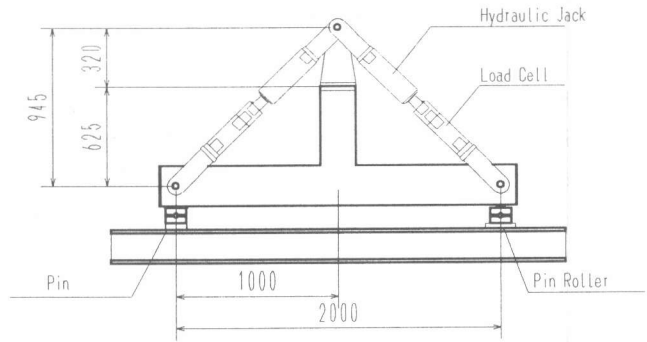


図-1 載荷装置図

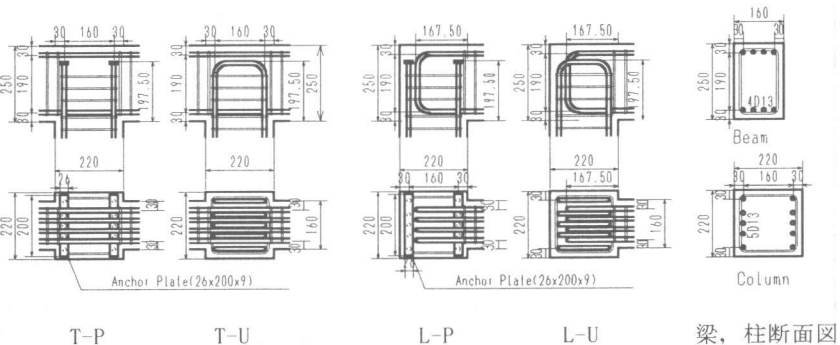


図-2 配筋詳細図

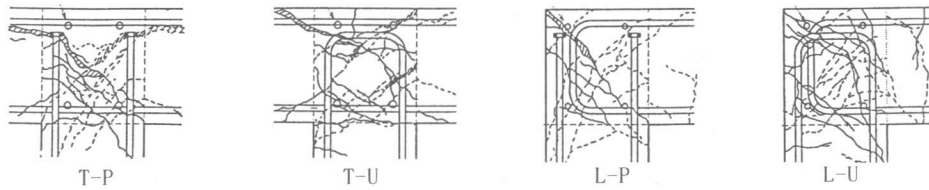


図-3 ひび割れ図

いずれの試験体も柱、梁が降伏することなく接合部せん断破壊した。図-3に実験終了時のひびわれ状況を示す。L-P試験体では正載荷時に柱外面側の定着プレート位置からの角度の急な斜めひびわれが顕著に開口したのに対して、L-U試験体では正載荷時の斜めひびわれがより分散して生じている。T字型接合部でもT-P試験体ではプレート位置からの斜めひびわれが顕著に開口したのに対して、T-U試験体ではU字型定着余長部に沿うひびわれが生じ、より複雑な性状を示している。

### 3.2 荷重変形曲線

図-4に柱せん断力-全体変形(層間変形)曲線を示す。いずれも逆S字型の履歴ループを描いている。試験体T-Uでは層間変形角 $R=1/25$ 、試験体T-Pでは $R=1/50$ で最大耐力となり柱筋をプレート定着とする方がU字型定着に較べて早い段階で接合部がせん断破壊している。L字型接合部では、正負に非対称の荷重-変形性状となる。試験体L-Pでは正側の耐力が負側よりも低く、小さな変形角( $R=1/200$ )で最大耐力を迎えているのに対し、試験体L-Uでは負側の耐力が正側の耐力よりも小さく、柱筋の定着方法の違いで逆の性状を示す。図-5に荷重-変形曲線の包絡線を示す。L-U、T-U、T-Pは正載荷時にはほぼ同一包絡線であり、L-Pのみ大幅に耐力が低い。負側では、L-P、L-Uは同一の包絡線で、T型接合部の約6~7割の耐力となっている。

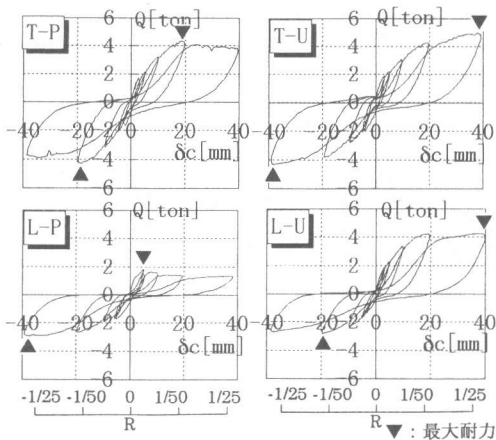


図-4 荷重-変形曲線

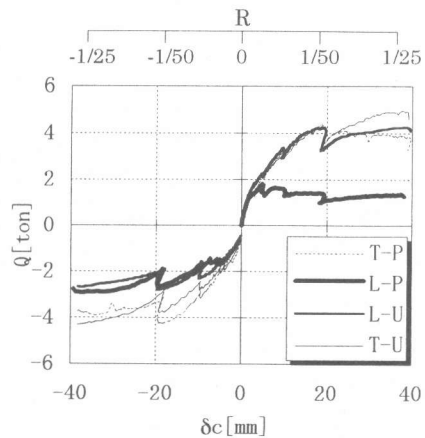


図-5 荷重-変形曲線包絡線

### 3.3 接合部せん断強度

表-3に接合部実験最大水平せん断応力度( $\tau_{jh}$ )、最大垂直せん断応力度( $\tau_{jv}$ )と日本建築学会終局強度型耐震設計指針式による計算値( $\tau_{AIj}$ )の比較を示す。本実験では梁、柱部材に軸力が生じるため、接合部せん断力の計算にあたっては、以下の3つの方法で求めた実験値に対して比較した。(計算仮定の詳細は表-3脚注に記す)

- ・ケースA：軸力を考慮して引張鉄筋力を求めた場合
- ・ケースB：軸力を無視し、柱、梁断面の有効せいを7/8dとして求めた場合
- ・ケースC：危険断面の実測鉄筋引張力を用いて求めた場合

今、垂直、水平せん断応力度実験値 ( $\tau_{jh}$ 、 $\tau_{jv}$ ) のうち大きい方をクリティカルな値 (表中にイタリックで表示) と考えると、計算値に対する実験値の比は、T-P、T-U試験体で0.88~1.02 (ケースA)、0.97~1.12 (ケースB)、0.95~1.11 (ケースC) となりT型接合部ではト型接合部に対するせん断強度式を用いてほぼ評価できることがわかる。一方、L-P試験体では実験値の計算値に対する比は、ケースAで0.35 (正載荷時)、0.44 (負載荷時)、ケースBで0.42 (正)、0.68 (負)、ケースCで0.36 (正)、0.85 (負) となり、正、負荷重時ともかなりの過大評価となる。L-U試験体では、この比率がケースA：0.81 (正) 0.42 (負)、ケースB：0.98 (正)、0.65 (負)、ケースC：1.15 (正)、0.82 (負) となり、正載荷時の接合部せん断強度はト型接合部に対する算定値にほぼ対応するものの、負載荷時耐力は正載荷時耐力の50~70%しかなく、かなりの過大評価になる。建築学会靱性設計小委員会報告書ではL字型接合部のせん断強度をト型の1/2に見積もっており、強度の小さい負載荷時を対象にすればこの評価は設計上、ほぼ妥当といえる。L字型接合部にプレート定着を用いる場合には、本実験結果のように接合部の性能が低下することがあり、フープ筋の配置位置をはじめ配筋のディテールに十分な注意が必要である。

### 3.4 接合部のせん断変形角

図-6に各試験体の柱せん断力-接合部せん断変形角曲線 (Q- $\gamma$ ) を示す。T-U、T-Pでは、R=1/100程度までは接合部のせん断変形は顕著でなくR=1/50で接合部せん断変形角  $\gamma$  が0.5%を超えて増大してゆく性状を示す。L-Pでは正載荷時の方が負載荷時よりも  $\gamma$  が大きく増大していくがL-Uでは正載荷時の  $\gamma$  は小さいままで、負載荷時に  $\gamma$  が増大してゆく。

表-3 実験結果一覧

試験体	実験値		計算値 $\tau_{AIJ}$	ケースA				ケースB				ケースC			
	$Q_{max}$			$A \tau_{jh} / \tau_{AIJ}$	$A \tau_{jv} / \tau_{AIJ}$	$B \tau_{jh} / \tau_{AIJ}$	$B \tau_{jv} / \tau_{AIJ}$	$C \tau_{jh} / \tau_{AIJ}$	$C \tau_{jv} / \tau_{AIJ}$	正	負	正	負	正	負
	正	負		正	負	正	負	正	負	正	負	正	負	正	負
T-P	4.36	4.26	58.9	0.56	0.54	<i>0.89</i>	<i>0.88</i>	0.77	0.75	<i>0.99</i>	<i>0.97</i>	<i>0.95</i>	<i>0.97</i>	0.83	0.86
T-U	4.96	4.32		0.62	0.55	<i>1.02</i>	<i>0.89</i>	0.87	0.77	<i>1.12</i>	<i>0.98</i>	<i>1.11</i>	<i>0.98</i>	0.92	0.95
L-P	1.82	2.92		<i>0.35</i>	0.43	0.34	<i>0.44</i>	<i>0.42</i>	<i>0.68</i>	0.41	0.66	<i>0.36</i>	0.85	0.35	<i>0.85</i>
L-U	4.22	2.82		<i>0.81</i>	0.40	0.79	<i>0.42</i>	<i>0.98</i>	<i>0.65</i>	0.83	0.64	<i>1.15</i>	0.74	0.95	<i>0.82</i>

note

$Q_{max}$ : 経路最大柱せん断力 (tonf)

$\tau_{AIJ}$ : 終局強度型鋼筋耐力係数による接合部せん断強度計算値 (kgf/cm<sup>2</sup>) ( $\tau_{AIJ} = \kappa \sigma_B$ ,  $\kappa = 0.18 : T$ ・L字型接合部)

$\sigma_B$ : コンクリート圧縮強度  $\sigma_B = 327$  (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\tau_{jh}$ : 接合部最大水平せん断応力度実験値 (kgf/cm<sup>2</sup>)     $\tau_{jv}$ : 接合部最大垂直せん断応力度実験値 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\tau_{jh} = Q_{jh} / b_j D_j$      $\tau_{jv} = Q_{jv} / b_j D_j$     ( $b_j D_j$ : せん断抵抗面積)

$b_j$ : 接合部有効幅 (cm)。梁・柱の平均幅

$D_j$ : 接合部有効せい (cm)。T字型接合部水平せん断強度計算の場合は柱全せい、その他の場合は折り曲げ定着筋およびプレート定着筋投影長さ。

$Q_{jh}$ : 接合部水平せん断力実験値 (kgf/cm<sup>2</sup>)     $Q_{jv}$ : 接合部垂直せん断力実験値 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$Q_{jh}$ 、 $Q_{jv}$ は以下の方式で求めた

ケースA: 実験で得られた音階材最大せん断力から、以下の曲げ終局面積算式 (建築学会鉄筋コンクリート構造計算基準)

$$M_r = 0.8at \sigma_y D + 0.5ND(1 - N/bDf_c) : \text{圧縮軸力} \quad M_r = 0.8at \sigma_y D + 0.4ND : \text{引張軸力}$$

により、 $at \sigma_y T$  (T: 接合部破壊時の危険断面鉄筋引張力) を逆算し  $Q_{jh}$ 、 $Q_{jv}$  を求めた。

ケースB: 実験で得られた音階材最大せん断力から、軸力を無視して心中心距離を7d/8としモーメント作用から求めたTを  $Q_{jh}$ 、 $Q_{jv}$  とした。

ケースC: 実験で実測した最大耐力時の危険断面鉄筋のひずみの値から得られるTから  $Q_{jh}$ 、 $Q_{jv}$  を求めた。

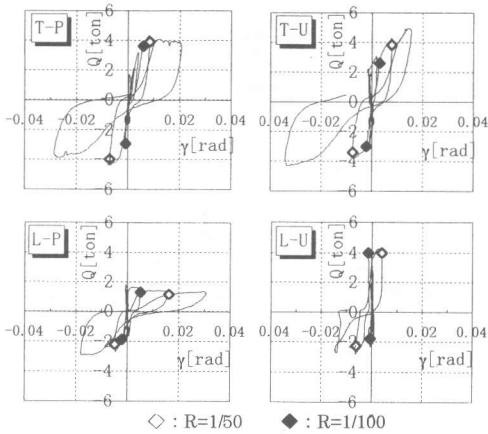


図-6 柱せん断力-接合部せん断変形角曲線

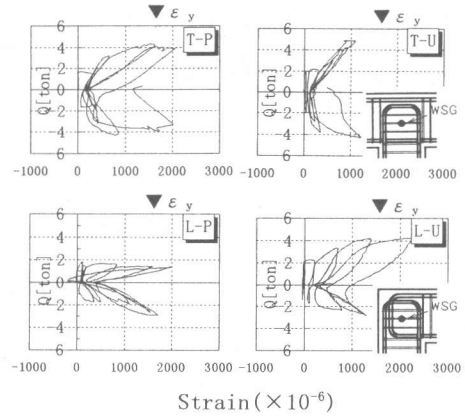


図-7 接合部せん断補強筋ひずみの推移

### 3.5 接合部せん断補強筋および梁、柱主筋のひずみ推移

図-7に接合部中央位置(L-Pのみ柱危険断面近く)のせん断補強筋のひずみ推移を示す。試験体T-Uのみ最大1000 $\mu$ 程度の大きさに留まり、他が最終サイクルで降伏ひずみを越えた2000 $\mu$ 程度の大きさになるのと異なっているが、繰り返し载荷によって接合部せん断補強筋ひずみが増大していく性状は共通である。

図-8にT-U、T-P試験体の梁危険断面での梁筋ひずみの推移を示す。変位振幅の増大に伴って、圧縮鉄筋が引張に転じ、終局時には接合部を貫通する梁主筋の左右の危険断面応力はほとんど等しい大きさになっており、梁主筋の接合部内の付着応力が大変小さいことがわかる。梁上端筋は下端筋に比べてひずみ振幅が小さい。これは载荷方法に起因する軸力の影響にもよるが、柱主筋が梁上端筋位置よりも手前に定着されたことに起因して、接合部のせん断ひび割れ発生、進展に伴い接合部の一体性が失われ、梁上端筋の曲げ抵抗寄与が低下してことを示している。また、T-P、T-Uを比較すると、T-U上端筋は変位振幅の増大に伴って、徐々に圧縮鉄筋が引張に転じるのに対して、T-P上端筋は初期の段階で引張に転じた後、一定勾配でひずみが増大する点が異なっている。

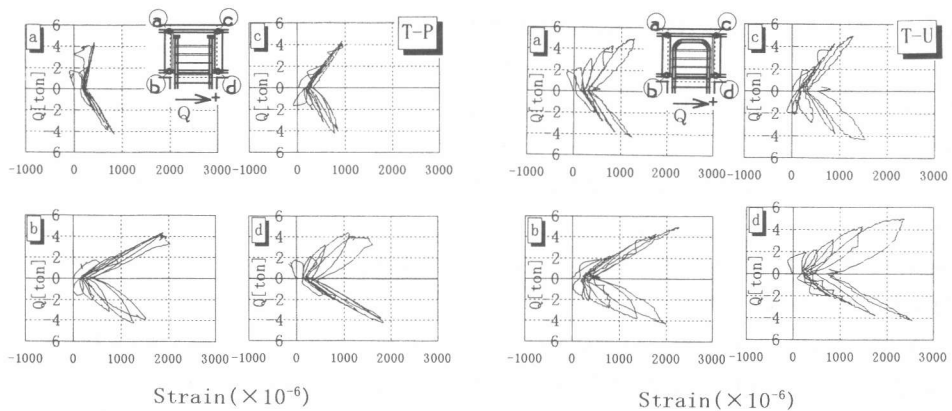


図-8 T字型試験体梁主筋のひずみ

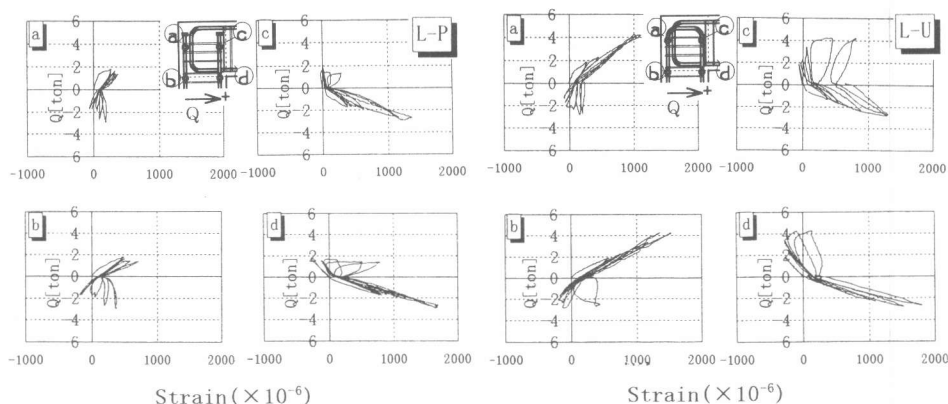


図-9 L字型試験体柱主筋のひずみの推移

図-9にL-U、L-P試験体の柱危険断面および定着部折り曲げ起点または定着プレート位置での鉄筋ひずみの推移を示す。柱危険断面の柱筋ひずみも、圧縮鉄筋が引張に転じる現象が見られる。定着部でのひずみ推移と比較すると、いずれの定着形式も最大耐力時にプレート部分または折り曲げ起点以降で70%程度以上の引張力が定着されていることがわかる。

#### 4. 結論

L字型、T字型接合部のせん断耐力に関する実験を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) T字型接合部のせん断強度はト型接合部に対する終局強度型指針算定式ではほぼ推定できる。
- (2) T字型接合部では柱筋をU字型定着とする場合の方がプレート定着とする場合よりもややせん断強度が高く、より大きな変形角でせん断破壊する。
- (3) L字型接合部のせん断耐力は柱筋をU字型定着とすれば、正載荷時(梁、柱端が閉じる載荷)にはT字型と同じせん断強度を有するが、負載荷時(梁、柱端が開く載荷)はその60%程度の耐力となる。
- (4) L字型接合部で、柱筋を投影定着長さの等しいプレート定着とした場合には、負載荷時の耐力はU字型定着とほぼ同じであったが、正載荷時に早期にプレート部から生じた斜めひびわれが進展し、U字型定着の場合の40%程度の耐力しか発揮しなかった。

付記：本研究は平成8年度文部省科学研究費（基盤(B)(2)研究代表者 藤井 栄）による研究である。

参考文献：

- [1] 関根、小倉：鉄筋コンクリート柱・梁接合部に関する実験的研究—その2—T字型接合部実験、関東支部研究報告集、pp.117-120、1979
- [2] 関根、小倉：鉄筋コンクリート柱—梁接合部（L形）に関する実験的研究、日本建築学会関東支部研究報告集、pp.141-144、1980
- [3] 若林、南、西村、奥居：L字形およびT字形骨組みで構成される鉄筋コンクリート柱・梁接合部の応力伝達機構に関する一実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1802-1803、1977.10