

# 論文 L字形及びT字形接合部のせん断耐力に及ぼす接合部の配筋 ディテールの影響

崔 建宇\*1・藤井 栄\*2・渡辺 史夫\*3

**要旨**: L字形接合部では、梁余長長さの違い、接合部入隅斜め補強筋の有無、柱筋の接合部での定着形式の違いによって、接合部の破壊耐力がかなり変化する。本研究はそれらの影響を調べるために行った実験的なものである。接合部入隅斜め補強筋を使用し、同時に梁上端筋余長を長くする場合に正負側共に接合部破壊耐力が大きく上昇した。T字形接合部では、接合部スターラップ筋の使用による接合部耐力の改善がみられた。

**キーワード**: L, T字形接合部, 配筋ディテール, 接合部破壊荷重

## 1. はじめに

L字形接合部では、梁上端筋の折り曲げ余長の短い場合に閉じる方向の接合部の破壊荷重が非常に低いことがこれまでの実験<sup>1)</sup>で指摘されている。本研究は、L字形接合部における梁定着筋の余長長さ、接合部フープ筋量、柱筋の端部定着形式、接合部入隅斜め補強筋の影響、T字形接合部のスターラップ筋の使用による接合部耐力の改善効果を実験的に調査したものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

試験体は、L字形試験体6体、T字形試験体2体からなる。部材寸法は、梁断面200×300mm (B×H)、柱断面300×300mm (D×D)で約1/2スケールとした。図-1に配筋詳細を示す。梁筋は上下とも4-D13 ( $p_l = 0.94\%$ )、柱筋12-D13 ( $p_g = 1.69\%$ )、スターラップ筋2-φ6@40 ( $p_s = 0.71\%$ )、フープ筋2-φ6@40 ( $p_h = 0.47\%$ )とした。接合部せん断補強筋はφ6外周フープ4組 ( $p_v = 0.31\%$ )の場合と、中間筋を加えた場合 ( $p_v = 0.62\%$ )とした場合がある。梁上端筋、柱主筋の接合部での投影定着長さはRC計算規準<sup>2)</sup>による最小値の225mm (全せいの3/4、プレート定着では定着板手前面までの長さ)とした。表-1に使用材料の特性値一覧を示す。梁、柱主筋の降伏強度473MPa、コンクリート圧縮強度は27.2MPa (L字形)、22.9MPa (T字形)であり、それぞれ実験

表-1 使用材料一覧表

鉄筋材料	鉄筋直径 (mm)	降伏強度 (MPa)	ヤング係数 $\times 10^5$ (MPa)
柱・梁主筋, 斜め筋	D13	473	2.13
スターラップ筋	φ6	258	1.67
フープ筋	φ6	258	1.67
コンクリート	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 $\times 10^4$ (MPa)
L字形	27.21	2.25	1.99
T字形	22.95	1.99	2.01

前後の材料試験の平均値としたものである。

### 2.2 実験変数

実験変数は、L字形接合部で梁上端着筋余長 (RC計算規準による $36d_b$ 及びト形接合部に対する最小長さ $10d_b$ ,  $d_b$ :主筋径)、柱筋定着形式 (プレート定着及び $180^\circ$ フック定着)、接合部フープ筋比 (0.31%及び0.62%)、入隅斜め補強筋の有無と量 (L-5:2-D13, L-6:4-D13)で、T字形接合部で接合部内スターラップ筋の有無とした。

表2 試験体特性一覧

試験体	形状	梁筋定着法	柱筋定着法	接合部補強筋
L-1	L	90°フック (余長 $36d_b$ )	180°フック	2-φ6×4set
L-2	L	90°フック (余長 $10d_b$ )	180°フック	2-φ6×4set
L-3	L	90°フック (余長 $36d_b$ )	プレート	2-φ6×4set
L-4	L	90°フック (余長 $10d_b$ )	プレート	4-φ6×4set
L-5	L	90°フック (余長 $10d_b$ )	プレート	4-φ6×4set 2D13 (斜め筋)
L-6	L	90°フック (余長 $36d_b$ )	プレート	4-φ6×4set 4D13 (斜め筋)
T-1	T	通し筋	プレート	2-φ6×4set
T-2	T	通し筋	180°フック	2-φ6×4set

\*1 京都大学大学院 工学研究科 建築学専攻 (正会員)

\*2 京都大学助教授 工学研究科 環境地球工学専攻 博士 (工学) (正会員)

\*3 京都大学教授 工学研究科 建築学専攻 工博 (正会員)

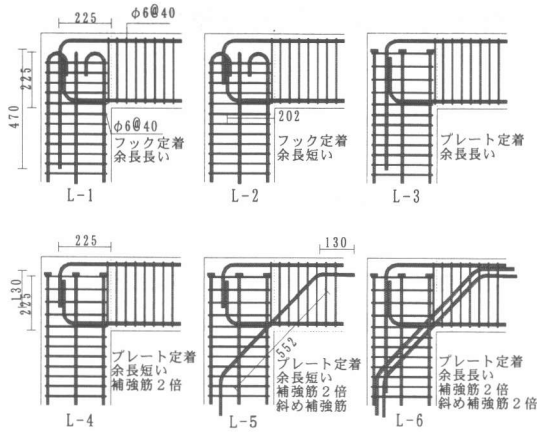


図-1 試験体配筋詳細図

### 2.3 載荷と計測方法

図-2に示すように、L字形試験体で柱、梁両端部の間を油圧ジャッキで結んで正負繰返し荷重を与えた。柱、梁間の閉じる方向を正側、開く方向を負側とした。T字形試験体ではふたつの油圧ジャッキに大きさの等しく符号の異なる一対の荷重を与えた。載荷履歴は、せん断ひび割れ荷重時で除荷した後、層間変形角1/100、1/75、1/50、1/30、1/20で各一回の変位漸増正負繰返し載荷を基本として行った。L字形接合部の場合、柱及び梁に軸力が作用するが、実験中の軸応力レベル(梁)は最大でも2.58MPaであった。なお、この軸力の影響は、3.1節で説明するように接合部せん断力の計算には考慮している。

梁載荷点の水平、垂直方向、柱載荷点の水平方向

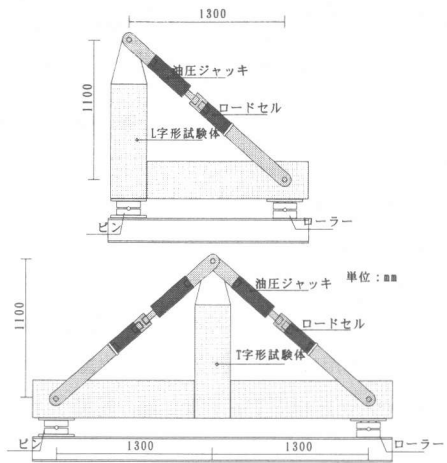


図-2 載荷装置図

変位を変位計で計測した。最外縁柱、梁筋のラインで囲まれる接合部パネルの4隅にボルトを埋め込み接合部の変形を計測した。柱、梁筋ひずみは、部材危険断面位置、折り曲げ起点位置、プレート付根位置で抵抗線ひずみゲージにより計測した。

## 3. 実験結果

### 3.1 破壊モード

すべての試験体は、日本建築学会の靱性保証型耐震設計指針<sup>2)</sup>(以後は耐震指針)によって接合部せん断破壊が梁降伏に先行するように設計したが、余長の長いL字形接合部試験体は、正側に梁上端筋の折り曲げ起点位置、続いて梁危険断面位置で鉄筋が降伏した。いずれも、繰返し載荷とともに、せん断ひびわれが進展し、耐力、剛性が徐々に低下した。表-3に実験結果一覧を示す。表中の「最大接合部せん断力推測値」は本実験方法に起用する梁軸力の影響を考慮するため、表-3の脚注に示す方法で、作用荷重から梁主筋応力を略算的に求めて便宜的に定義した。表中のL-1、L-3、L-6に対して、接合部せん断力の定義に従えば、これら3体の接合部せん断力は層せん断力(柱せん断力)の相違にかかわらず、ほとんど同一の大きさといえる。接合部の破壊形式として定着、せん断破壊を区別せず、いずれもパネルゾーン全幅にわたる破壊形式であるため、配筋詳細の相異による接合部破壊耐力の相異として取り扱っている。

表3 実験結果の概要

試験体	せん断ひび割れ		最大		最大接合部水平		接合部水平		Vjexp/Vjs		曲げ耐力時		Vjexp/Vjm	
	柱せん断力		柱せん断力		せん断力推測値		せん断耐力				接合部			
	Qcr(KN)		Qc(KN)		実験値		計算値				せん断計算値			
						Vjexp(KN)	Vjs(KN)					Vjm(KN)		
	正側	負側	正側	負側	正側	負側	正側	負側	正側	負側	正側	負側	正側	負側
L-1	58.1	35.3	62.1	43.4	214.6	154.4	154.5	138.7	1.39	1.11	240.3	187.5	1.01	0.82
L-2	48.2	30.5	48.1	39.9	166.1	141.9	154.5	138.7	1.08	1.02	240.3	187.5	0.78	0.76
L-3	52.1	41.5	70.3	51.7	242.8	183.7	154.5	138.7	1.57	1.32	240.3	187.5	1.14	0.98
L-4	40.5	35.3	44.6	51.4	154.3	182.6	154.5	138.7	1.01	1.32	240.3	187.5	0.72	0.97
L-5	39.5	46.8	47.2	63.7	163.1	226.3	154.5	138.7	1.06	1.63	240.3	187.5	0.76	1.21
L-6	59.1	53.8	79.1	71.3	273.2	253.4	154.5	138.7	1.77	1.83	240.3	187.5	1.28	1.35
T-1	42.3	42.6	78.1	77.3	276.2	273.3	240.4	240.4	1.15	1.14	240.3	187.5	1.15	1.46
T-2	40.1	39.2	62.8	61.2	222.1	216.4	240.4	240.4	0.92	0.91	240.3	187.5	0.92	1.15

Vjsは靱性指針の接合部せん断強度式による値である。(Vjs=κ×0.85×0.8Fc<sup>0.7</sup>×bj×ldh)

Vjexp=Atσt(正荷重時), Vjexp=Atσt-Vc(負荷重時)

AtσtはRC計算規準の柱曲げ耐力略算式から逆算した。

Mu=0.8AtσtDb+0.5NbDb(1-Nb/BbDbFc)orMu=0.8AtσtDb-0.4NbDb

Vjm=Atσy(正荷重時), Vjm=Atσy-Vc(負荷重時)

ここで, At:梁主筋断面積(508mm<sup>2</sup>), σt:梁主筋引張応力, σy:梁主筋引張降伏強度, Vc:柱せん断力

κ:0.4(L字形), 0.7(T字形), Fc:コンクリート圧縮強度, bj:250mm, ldh:225(L字形), 300mm(T字形)

### 3.2 ひび割れ性状

図-3に支配的なひび割れ状況の模式図を示す。

正側では, 余長の長い試験体には, 外側柱筋の定着位置に生じた斜めせん断ひび割れが特に大きく進展し, 開口した。余長の短い試験体では, せん断ひび割れがより広い範囲で分散して発生した。接合部せん断補強筋量が2倍の試験体L-4, L-5, L-6では, せん断補強筋のひび割れ開口抑制効果がみられた。柱筋をプレート定着とした試験体L-4, L-5, L-6では最終的に接合部上部(柱頭部)コンクリートが本体から分離される傾向があった。

負側では, 余長の長い試験体は余長の短い試験体に比べて, 最初の中央対角線位置に生じたせん断ひび割れABの勾配がより小さく, ABの外側にCD, E Fのような勾配の小さいひび割れが多く生じた。L-2とL-6のほかの試験体は, 中央部ひび割れABがパネルゾーンを超えて下部の柱に大きく伸びた。同じ斜め補強筋を持つL-5とL-6を比べると, 余長が長く, 補強筋が2倍のL-6はひび割れABの内側にせん断ひび割れがほとんど入ってない。斜め補強筋の使用によって, コンクリート損傷の緩和効果がよくみられた。

T字形接合部では, 接合部スターラップ筋を使用するT-1はT-2と異なり, パネルゾーン全域にわたって, せん断ひび割れが入った。

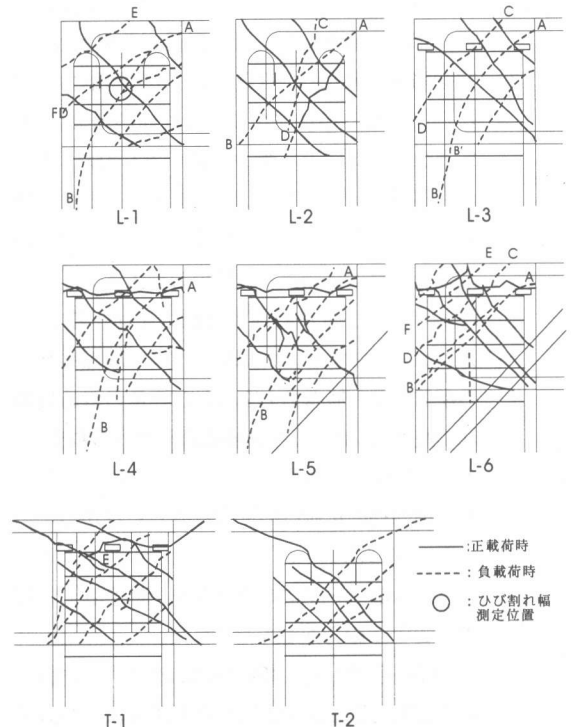


図-3 終局時ひび割れ分布特徴

### 3.3 荷重－変形曲線

試験体はいずれも図-4に示すようにエネルギー吸収能力が乏しい逆S型の履歴ループを描いている。実験変数による性状の相違は以下のようにまとめられる。下記の「耐力」は表-3脚注の略算によるみかけの接合部せん断力実験値である。

- ① 梁定着筋の余長の長い試験体と短い試験体の耐力比は正荷重時に1.29:1(L-1:L-2), 1.58:1(L-3:L-4), 1.50:1(L-6:L-5)になり大きい耐力差がみられた。L-1とL-2の負荷重時耐力は靱性指針式による算定値とほぼ一致した。
- ② 柱筋定着形式の異なる試験体を比較すると、正荷重時の耐力比は1:1.13(L-1:L-3), 1:0.93(L-2:L-4)になった。すなわち、梁上端定着筋余長の長い場合には、柱筋180°フック定着よりプレート定着の方が耐力が大きい、余長の短い場合には、接合部せん断補強筋の増加にも関わらずプレート定着の方(L-4)が耐力がやや小さい。これらの試験体の負荷重時の耐力比は1:1.19(L-1:L-3), 1:1.29(L-2:L-4)になり、いずれもプレート定着した方の耐力が大きい(L-4の2倍補強筋の使用を無視する場合)。
- ③ 補強筋量の異なるL-3とL-6の正側時耐力比は1:1.13になり接合部せん断補強筋の増加(0.31%と0.62%)による耐力上昇がみられた。また負荷重時ではL-2, L-4の耐力を比べると1:1.29になり柱筋定着形式の影響を無視すればせん断補強筋効果は正側より負側の方に大きい。
- ④ L-4, L-5, L-6の負荷重時耐力を比べると1:1.24:1.39となり、本実験での入り隅部補強筋の配置(梁主筋量の1/2および等量の斜め補強筋の配置)により大きな補強効果がみられた。一方、正載荷時の耐力はL-4, L-5でほぼ等しく、斜め補強筋の正側への影響はみられなかった。
- ⑤ T字形接合部T-1とT-2の耐力比は1.25:1になり接合部フープにスターラップ筋をさらに配することで耐力が25%上昇した。
- ⑥ L字形接合部のせん断ひび割れ荷重は、柱軸力の圧縮側となる正荷重時が負荷重時よりも大きい。正側では余長の長いL-1, L-6, L-3が58～

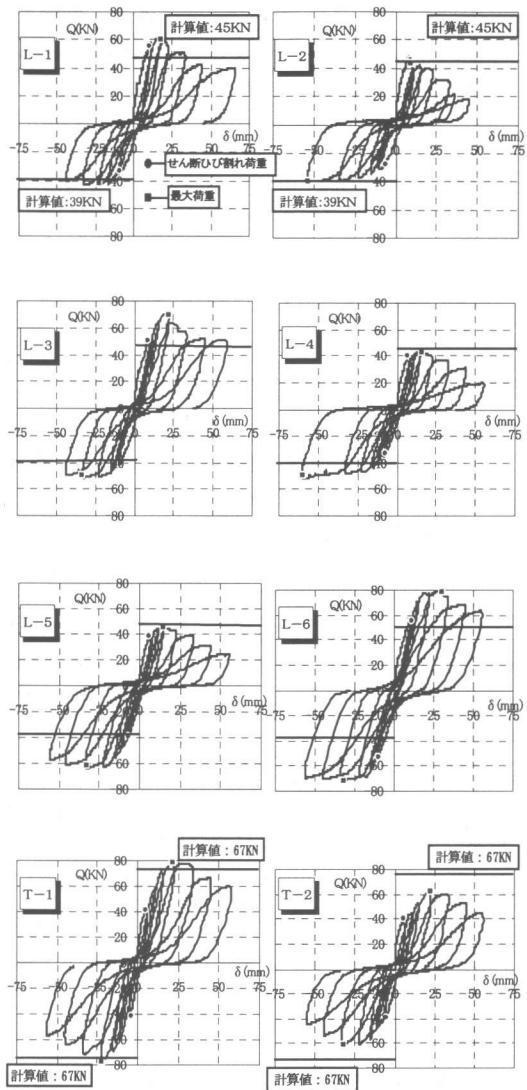


図-4 柱頭水平荷重一層間変形曲線

52kNとなり余長の短いL-2, L-4, L-5が48～39.5kNと余長の影響がみられた。負側では柱筋180°フック定着としたL-1, L-2より、プレート定着としたL-3, L-4の方がせん断ひび割れ荷重大きい。また、入り隅斜め補強筋の配置によってせん断ひび割れ荷重はさらに大きくなった。T字形接合部では、T-1とT-2は正負ともにほぼ同じせん断ひび割れ荷重であった。靱性指針によるひび割れ強度計算値に対する実験値の比はL字型で0.83～1.49(平均値1.16), T字型で平均0.88であった。

### 3.4 荷重-変形曲線包絡線

図-5に荷重-変形曲線包絡線を示す。L字型接合部ではいずれの試験体も初期剛性には大きな差がみられない。正側では最大耐力以降急激に耐力を失う包絡線となっている。一方、負側荷重では正側に比べて初期剛性がやや小さく、梁上端筋の余長の短いもの、補強筋量の小さいものが早期に剛性が小さくなる。正側に比べると、最大耐力を与える変形角は大きく、ピーク以降の耐力低下は緩やかである。入隅斜め補強筋の影響をみると、正側には影響がなく、負側では剛性、耐力の保持に寄与していることがわかる。

T字形接合部では、柱筋フック定着でスターラップの配されないT-2がせん断ひび割れ荷重の直後に剛性が低下している。

### 3.5 せん断ひび割れ幅及び補強筋のひずみ性状

図-6にせん断ひび割れ幅-せん断変形角関係を示す(図中白抜きの点が最大耐力時を表す)。せん断ひび割れ幅は図-3に示すようにすべて接合部中央

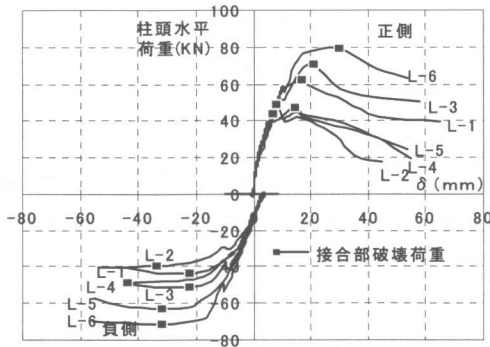


図-4 L字形柱頭水平荷重-層間変形曲線

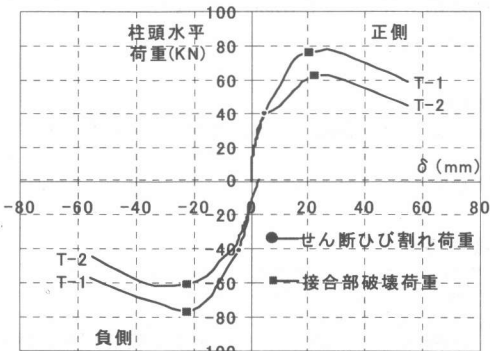


図-5 T字形柱頭水平荷重-層間変形曲線

位置で計測した。L字形試験体ではせん断補強筋量の少ない試験体のほうが同一せん断変形角に対してひび割れ幅は大きい。L-4とL-5を比べると負側の荷重では斜め補強筋の配置により、ひび割れ幅が小さくなるのがわかる。L-1とL-3を比較するとせん断ひび割れ幅は、L-3の方が小さくなっている。図には示さないが、柱筋プレート定着とした方が接合部内の補強筋ひずみが均等に上昇し、フック定着の場合よりも降伏が遅くなる性状が観察され、対応していた。L字型接合部の最大耐力時のせん断変形角は、配筋の相違によらずおおよそ0.5%程度、負側では1%前後である。T型試験体では、最大耐力時のせん断変形角はT-1の正側を除くといずれも1%程度であるが、その時のひび割れ幅は梁スターラップを接合部内にも配置したT-1では0.5mm程度であり、在来型のT-2の1mmに比べて約半分になっている。

### 3.6 梁主筋ひずみの特徴

図-7、図-8に梁主筋のL字形接合部での梁筋ひずみ推移の一例を示す。上端筋曲げ起点(A点)のひずみは当初危険断面(B点)よりも小さいものの、比較的早い段階でほぼ同じ大きさとなる。特に余長の長い試験体L-3では、荷重の増大によって曲げ起点の方が危険断面位置よりも降伏が進行し、L字形

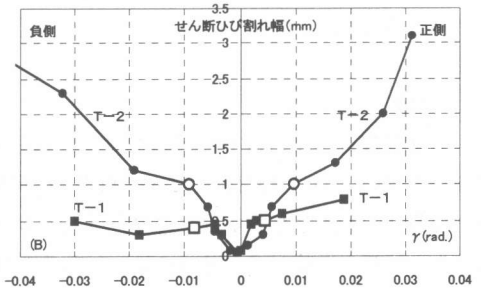
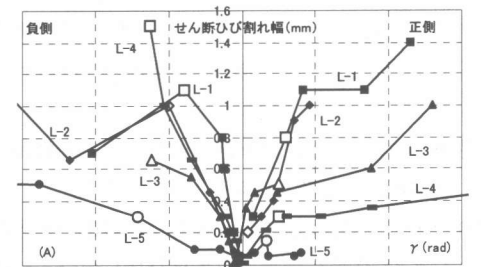


図-6 せん断変形角-せん断ひび割れ幅関係

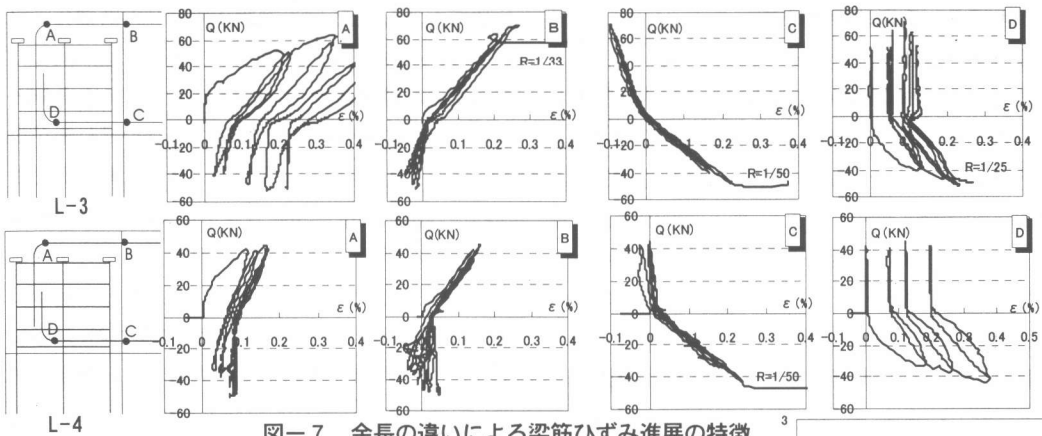


図-7 余長の違いによる梁筋ひずみ進展の特徴

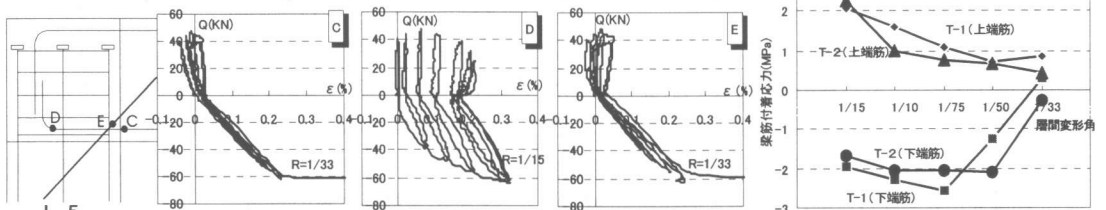


図-8 斜め補強筋による主筋ひずみへの影響

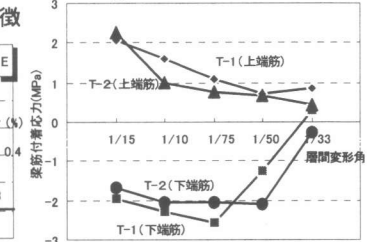


図-9 T字形梁筋付着力劣化比較

接合部上端筋では余長を十分に確保することが重要であることを意味している。下端筋でも最大耐力時には折り曲げ起点と危険断面位置のひずみは等しくなっている。下端筋にはL-3, L-4で顕著な差がみられないが、上端筋余長の長いL-3よりL-4の方が折り曲げ起点(D点)のひずみが大きい。L-5では斜め筋の存在により危険断面C点のひずみがL-4より小さく、D点でも同様である。斜め筋(E点)は $R=1/33$ radで降伏している。

図-9にT字形接合部梁筋の付着応力の変化を示す。上端筋、下端筋ともスターラップを配したT-1が在来型のT-2に比してより大きな付着応力を発揮しているが、変形の増大とともに発揮している付着応力は低下してゆく。柱頭部の分離ひび割れの進展によるものと考えられる。

#### 4. 結論

(1) 本実験範囲では、L字形接合部では梁上端定着筋余長の短い ( $10d_b$ ) 接合部のせん断耐力(柱曲げ耐力略算式を利用したみかけ上の耐力)は、正負荷重時とも柱筋の定着形式の違いに関わらず、靱性指針の接合部せん断耐力式による計算値とほぼ一致し、安全率は小さい。

- (2) L字型接合部の正載荷時破壊耐力は余長長さを  $36d_b$  とすれば靱性指針式の計算値より40% (柱筋フック定着)、57% (柱筋プレート定着) 上回った。
- (3) 梁筋余長の長い場合には正負共に柱筋プレート定着場合の接合部破壊耐力がフック定着より2割程度増大した。
- (4) 入隅部斜め補強筋の配置は正側耐力には影響が及ぼさないが、負側では梁筋量の半分の鉄筋配置で40%、等量断面で60%接合部破壊時の耐力(曲げモーメント)が上昇した。
- (5) T字形接合部では、柱筋プレート定着し、接合部スターラップ筋を配したものが在来型に比して耐力が2割上昇した。せん断ひび割れ幅も半分まで抑えられた。

#### 付記:

本研究は、科学技術庁平成11年度科学技術振興調整費「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」による研究である。

#### 参考文献:

- 1) 下中裕史, 崔 建宇, 内田貴之, 藤井 栄: 鉄筋コンクリートT字型, L字型接合部のせん断耐力, コンクリート工学年次論文報告集, 第19巻第2号, pp.1023-1028, 1997年
- 2) 日本建築学会 鉄筋コンクリート造建築の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999
- 3) 日本建築学会 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1991