

論文 機械式定着工法による L 形および T 形 RC 造柱梁接合部の終局時入力せん断力とせん断終局耐力

益尾 潔^{*1}・岡村 信也^{*2}・井上 寿也^{*2}

要旨：本論文では，L 形および T 形柱梁接合部への終局時入力せん断力の閉解型の評価式を提案した。本提案式の特徴は，L 形部分架構において L 形が閉じる時と開く時にそれぞれ発生する柱，梁の付加軸力の影響ならびに L 形および T 形部分架構での柱の中段筋の影響を考慮している点である。また，既往実験に供した試験体の柱梁接合部について，その配筋詳細を分類した上で，本提案式による終局時入力せん断力と靱性保証型指針式によるせん断終局耐力を比較検討し，L 形および T 形部分架構の終局耐力を適切に評価できることを示した。

キーワード：機械式定着，L 形・T 形接合部，終局時入力せん断力，せん断終局耐力

1. はじめに

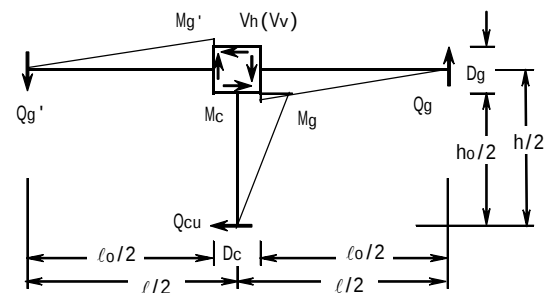
機械式定着工法は，近年，RC 造建物での配筋施工の合理化の観点から普及しつつある。現在提案されている工法の主な適用範囲は，中間階柱と外端梁との T 形接合部である。これに対して，最上階の L 形および T 形接合部については，接合部内の応力状態や定着金物まわりの拘束度合いが T 形接合部の場合と異なる^{1)~12)}。

L 形接合部の場合，それに接続する柱および梁には，それぞれ L 形が閉じる(正加力)時に圧縮軸力，L 形が開く(負加力)時に引張軸力が発生し，この点が終局時入力せん断力の評価を難しくしている。また，柱主筋が多段配置の場合，中間の柱主筋は，柱自体の曲げ終局耐力のみならず，L 形および T 形柱梁接合部への終局時入力せん断力に影響を及ぼす。従来，これらの点を考慮した柱梁接合部への終局時入力せん断力の閉解型の評価式は提案されていない。

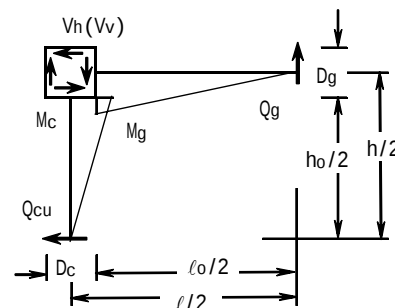
本論文では，そのような評価式を提案し，既往実験^{1)~12)}に供した試験体の実験値と計算値の比較より，柱梁接合部の本提案式による終局時入力せん断力と靱性保証型指針式によるせん断終局耐力の評価方法の妥当性を検討する。

本提案式は，従来の折曲げ定着工法の場合に

も適用可能であり，2.1 節で導出する柱または梁の曲げ終局耐力時柱せん断力と柱梁接合部の終局時入力せん断力との関係式(式(4),(7))，ならびに 2.3 節で導出する柱および梁の曲げ終局耐力時柱せん断力の評価式(式(19),(21),(23))からなる。



(a) T 形部分架構



(b) L 形部分架構

図-1 部分架構の応力状態

*1 (財)日本建築総合試験所 構造部長 工博 (正会員)

*2 (財)日本建築総合試験所 構造部構造物試験室 工修 (正会員)

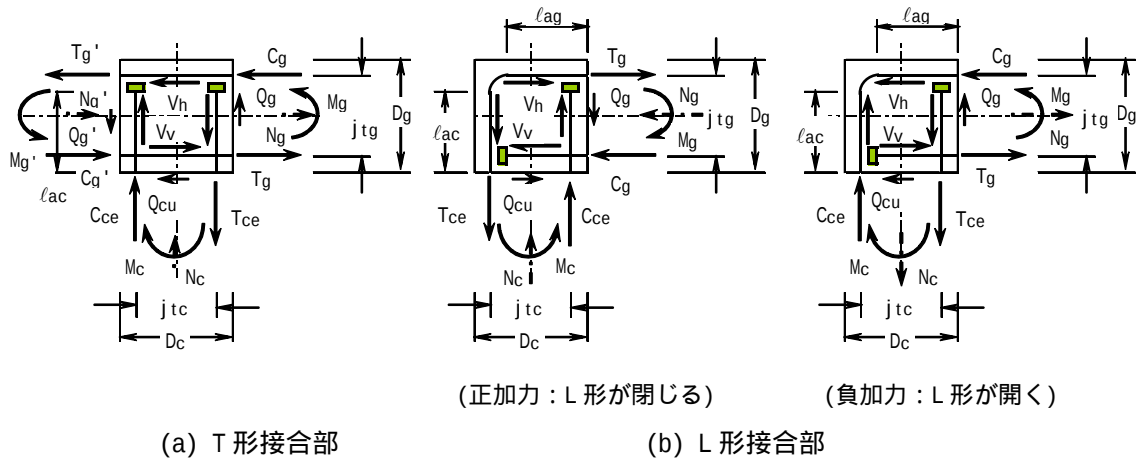


図-2 柱梁接合部の応力状態

2. 柱梁接合部への終局時入力せん断力

2.1 終局時入力せん断力の算定式の導出

(1) 部分架構における力の釣合い式

図-1 に示した T 形および L 形部分架構での柱または梁の曲げ終局耐力時柱せん断力 Q_{cu} と梁せん断力 $Q_g(Q_g')$ の関係は、式(1)で求められる。

$$(T \text{ 形}) \quad Q_g + Q_g' = Q_{cu} \quad (h/\ell)$$

$$(L \text{ 形}) \quad Q_g = Q_{cu} \quad (h/\ell) \quad (1)$$

h : 階高, ℓ : スパン長(柱心間距離)

柱または梁の曲げ終局耐力時柱せん断力 Q_{cu} は式(2)で、その時の柱および梁の危険断面での曲げモーメント M_c, M_g, M_g' は式(3)で求められる。

$$Q_{cu} = \min(cQ_{cu}, cQ_{gu}) \quad (2)$$

$$M_c = Q_{cu} \quad (h_o/2)$$

$$M_g = Q_g \quad (\ell_o/2), \quad M_g' = Q_g' \quad (\ell_o/2) \quad (3)$$

cQ_{cu}, cQ_{gu} : 接合部に接続する柱および梁の曲げ終局耐力時の柱せん断力, Q_g, Q_g' : Q_{cu} 時の梁せん断力, $h_o = h - D_g$: 柱内法高さ, $\ell_o = \ell - D_c$: 梁内法スパン長, D_g : 梁せい, D_c : 柱せい

(2) T 形接合部への終局時入力せん断力

T 形部分架構では、図-2(a)に示すように、柱梁接合部への水平方向の終局時入力せん断力 V_{muh} は、梁上端側から入力される水平せん断力に等しいことから、式(4)で求められる。

$$V_{muh} = T_g' + C_g$$

$$= \xi h Q_{cu} \quad (4)$$

$$\xi h = \{(h/\ell)(\ell_o/j_{tg}) - 1\}/2 \quad (5)$$

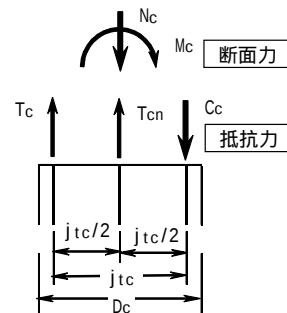


図-3 柱断面での終局時の釣合い

T_g', C_g : 梁上端側の左右梁端での引張合力および圧縮合力, j_{tg} : 梁の上下主筋の重心間距離

式(4)の導出に際しては、梁断面での曲げモーメントの釣り合い条件より、同式中の T_g' と C_g を式(6)で求めた上で、 $M_g + M_g' = (Q_g + Q_g')(\ell_o/2) = Q_{cu}(h/\ell)(\ell_o/2)$, $N_g + N_g' = Q_{cu}$ の関係を用いた。

$$T_g' = M_g'/j_{tg} - N_g'/2, \quad C_g = M_g/j_{tg} - N_g/2 \quad (6)$$

鉛直方向の終局時入力せん断力 V_{muv} は、柱主筋の等価引張力 T_{ce} から梁せん断力 Q_g を差し引いた値に等しいことから、式(7)で求められる。

$$V_{muv} = T_{ce} - Q_g$$

$$= \xi_v Q_{cu} \quad (7)$$

$$\xi_v = \{(h_o/j_{tc}) - h/\ell\}/2 \quad (8)$$

式(7)の導出の際、同式中の柱主筋の等価引張力 T_{ce} は、図-3 に示した柱断面での曲げモーメントの釣り合い条件より、式(9)で求めた。また、同式中の N_c は、水平加力に伴う付加軸力のみを考慮すると、 $N_c = Q_g' - Q_g$ として求められる。

$$T_{ce} = T_c + T_{cn}/2 = M_c/j_{tc} - N_c \quad (9)$$

T_c, T_{cn} : 柱の引張主筋および中段筋の引張力

j_{tc} : 柱の最外縁主筋の中心間距離

(3) L形接合部への終局時入力せん断力

L形部分架構では、図-2(b)に示すように、柱または梁の曲げ終局耐力時の柱せん断力 Q_{cu} に釣合うための軸力 N_g が梁に作用し、梁せん断力 Q_g に釣合うための軸力 N_c が柱に作用する。この点を考慮すると、 V_{muh} および V_{muv} は、以下のように求められる。

(a) 水平方向の入力せん断力 V_{muh}

正加力(梁軸力 N_g : 圧縮)の場合、式(10)に示すように、 V_{muh} は梁端部柱面での梁主筋の引張力 T_g に等しく、 T_g は梁断面での曲げモーメントの釣合い条件より求められる。

$$V_{muh}=T_g, \quad T_g= Mg/jtg-Q_{cu}/2 \quad (10)$$

負加力(梁軸力 N_g : 引張)の場合、正加力の場合と同様、 V_{muh} は式(11)より求められる。

$$V_{muh}=C_g=T_g-Q_{cu}, \quad T_g=Mg/jtg+Q_{cu}/2 \quad (11)$$

したがって、T形接合部と同様、正加力時および負加力時の V_{muh} は式(4)で求められる。

(b) 鉛直方向の入力せん断力 V_{muv}

正加力の場合、式(12)に示すように、 V_{muv} は柱端部出隅側の柱主筋の引張力 T_{ce} と等しく、 T_{ce} は、図-3 に示した柱断面での曲げモーメントの釣合い条件より求められる。

$$V_{muv}=T_{ce}, \quad T_{ce}= Mc/j_{tc}-Q_g/2 \quad (12)$$

負加力の場合、正加力の場合と同様、 V_{muv} は式(13)より求められる。

$$V_{muv}=C_{ce}=T_{ce}-Q_g, \quad T_{ce}=Mc/j_{tc}+Q_g/2 \quad (13)$$

したがって、T形接合部と同様、正加力時および負加力時の V_{muv} は式(7)で求められる。

2.2 柱、梁の曲げ終局耐力の算定式

中段筋を配置した柱の曲げ終局耐力 M_{cu} は、図-3 に示した圧縮合力 C_c の作用位置での終局時における断面力(M_{cu}, N_c)と抵抗力(T_{cy}, T_{cny})の釣合い条件より、下式で求められる。

$$M_{cu}= M_{cuo} \pm N_c(j_{tc}/2) \quad (14)$$

$$M_{cuo}=T_{cy}j_{tc}, \quad T_{cy}=T_{cy}+T_{cny}/2 \quad (15)$$

同様に、軸力 N_g が作用する梁の曲げ終局耐力

M_{gu} は、下式で求められる。

$$M_{gu}=M_{guo} \pm N_g(j_{tg}/2), \quad M_{guo}=T_{gy}j_{tg} \quad (16)$$

T_{cy}, T_{cny} : 柱の引張主筋および中段筋の降伏引張力、 T_{gy} : 梁引張主筋の降伏引張力

M_{cuo} および M_{guo} は、 $N_c=N_g=0$ 時の曲げ終局耐力であり、これらを基準曲げ終局耐力と呼ぶ。そこで、柱、梁の曲げ終局耐力 $M_u(M_{cu}, M_{gu})$ の一般評価式は、 $j_{tc}=0.8D$ とすると、式(17)となる。

$$M_u = M_{uo} \pm 0.4ND \quad (17)$$

$$M_{uo} = 0.8T_yD, \quad T_y=T_{ty}+T_{ny}/2 \quad (18)$$

T_{ty} : 引張鉄筋の降伏引張力、 T_{ny} : 中段筋の降伏引張力、 N : 水平加力に伴う付加軸力、 D : 柱せいまたは梁せい

式(14)、(16)、(17)は、圧縮軸力を正、引張軸力を負として定式化している。これは、2.3 節に示す柱および梁の曲げ終局耐力時柱せん断力の算定式(式(19)、(21)、(24))を柱梁接合部への終局入力せん断力の算定式(式(4)、(7))に適用するためである。

2.3 柱、梁曲げ終局耐力時柱せん断力の算定式

(1) T形部分架構

T形部分架構では、通常、 $Q_g'-Q_g=0$ とみなすことができるので、柱降伏型の場合、 $N_c=0$ と仮定する。また、梁降伏型の場合、梁の上下主筋量が等しいとすると、式(16)より、左右梁の曲げ終局耐力時の梁せん断力の平均値が $Q_{gu}=4M_{guo}/\ell_o$ として求められる。以上より、柱および梁の曲げ終局耐力時の柱せん断力 cQ_{cu} 、 cQ_{gu} は、それぞれ下式で求められる。

$$(\text{柱降伏型}) \quad cQ_{cu} = 2M_{cuo}/h_o$$

$$(\text{梁降伏型}) \quad cQ_{gu} = (4M_{guo}/\ell_o)(\ell/h) \quad (19)$$

(2) L形部分架構

L形部分架構では、柱、梁の軸力 N がそれぞれの付加軸力に等しい時、梁降伏型および柱降伏型の曲げ終局耐力時の柱せん断力(cQ_{cu} 、 cQ_{gu})は、以下のように求められる。

(a) 梁降伏型の場合、 $N_g=cQ_{gu}$ より、

$$M_{gu}=M_{guo} \pm 0.4cQ_{gu}D_g \quad (20)$$

$M_{gu}=(cQ_{gu}\ell_o/2)(h/\ell)$ であるので、これと式

(20)を等値すると，下式が得られる。

$$cQ_{gu} = \{2M_{guo}/(\eta g \ell o)\}(\ell/h)$$

$$\eta g = 1 \mp 0.8(\ell/h)(D_g/\ell o) \quad (21)$$

(b)柱破壊型の場合， $N_c=Q_g$ より，

$$M_{cu} = M_{cuo} \pm 0.4cQ_{cu}(h/\ell)D_c \quad (22)$$

$M_{cu}=cQ_{cu}h o/2$ であるので，これと式(22)を等値すると，下式が得られる。

$$cQ_{cu} = 2M_{cuo}/(\eta c h o)$$

$$\eta c = 1 \mp 0.8(h/\ell)(D_c/h o) \quad (23)$$

ここで，式(21)および式(23)の右辺の第2項の前に付した符号は，正加力(梁軸力 N_g : 圧縮)時 - ，負加力(梁軸力 N_g : 引張)時 + とする。

したがって，式(19)，式(21)および式(23)を式(2)に代入して求めた柱せん断力 Q_{cu} を用いると，式(4)と式(7)より，柱梁接合部への終局時入力せん断力が閉解として求められる。

なお，柱の曲げ終局耐力 M_{cu} に長期柱軸力 N_{CL} を考慮する場合，式(18)の右辺に $0.4N_{CL}D$ を加えて M_{uo} を算定することになる。

2.4 柱の曲げ終局耐力算定式の検証

ここでは，式(17)による曲げ終局耐力と平面保持仮定に基づく曲げ終局耐力を比較検討し，同式の妥当性を検証する。平面保持仮定に基づく場合，コンクリートの応力 - ひずみ関係は e 関数式で求める。検討結果を図-4 に示す。計算諸元は同図中に示す通りである。

同図中には，最外縁の引張鉄筋のみを考慮した慣用設計式および多段配筋式¹³⁾による計算結果を併示した。これによると，軸力 N が $\sigma_B BD/6$ 程度以下の場合，式(17)による曲げ終局耐力は， e 関数法および多段配筋式による場合と大差ない。 σ_B はコンクリートの圧縮強度， B, D は柱の幅とせいを示す。

以上より，L 形および T 形接合部への終局時入力せん断力の評価に，式(17)による柱，梁の曲げ終局耐力を用いてもよいと考えられる。

3. 柱梁接合部のせん断終局耐力

L 形および T 形接合部の水平方向および鉛直

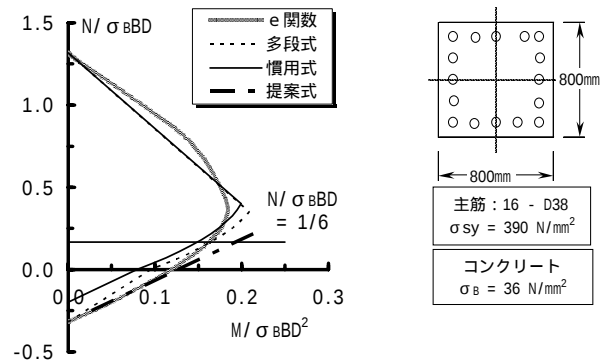
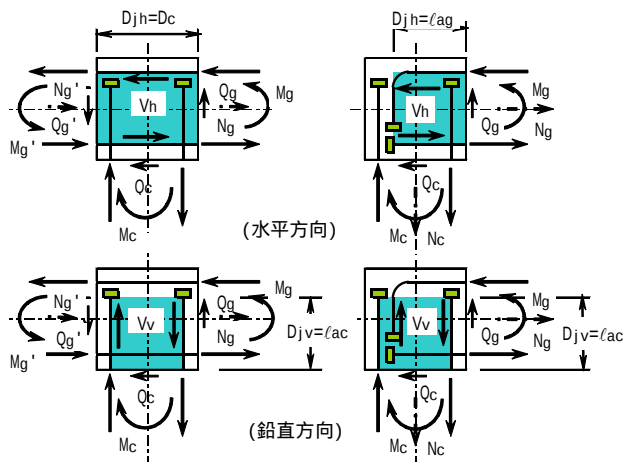


図-4 曲げ終局耐力の検討結果



(a) T 形接合部 (b) L 形接合部

図-5 柱梁接合部の有効せいの定義

方向のせん断終局耐力 V_{puh} , V_{puv} は，靱性保証型指針¹⁴⁾に示された評価式を用いて算定する。ただし，柱梁接合部の水平方向および鉛直方向の有効せい D_{jh}, D_{jv} は，図-5 に示すように，それぞれ梁主筋および柱主筋の定着長さ ℓ_{ag}, ℓ_{ac} を考慮して定めることとした。これは，接合部コンクリートの圧縮ストラットの有効領域が定着長さに支配されることがあると考えたためである。 V_{puh} , V_{puv} の算定式を以下に示す。

$$V_{puh} = \kappa \phi F_j b_j D_{jh}$$

$$V_{puv} = \kappa \phi F_j b_j D_{jv} \quad (24)$$

κ : 柱梁接合部の形状係数

ただし，T 形： $\kappa=0.7$ ，L 形： $\kappa=0.45$

ϕ : 直交梁の有無による補正係数

(両側直交梁付き： $\phi=1.0$ ，それ以外： $\phi=0.85$)

$$F_j = 0.8 \sigma_B^{0.7} \quad (25)$$

σ_B : コンクリートの圧縮強度(単位： N/mm^2)

b_j : 柱梁接合部の有効幅, D_{jh} , D_{jv} : 柱梁接合部の水平方向および鉛直方向の有効せい

本論文では, T 形および L 形接合部ともに, 柱梁接合部をかんざし筋などの柱頭補強筋で十分に補強した場合を想定している。後述の実験の検討結果に基づいて, T 形接合部の形状係数 κ の値は, 靱性保証型指針による場合 ($\kappa = 0.7$) と同じとした一方で, L 形接合部の形状係数 κ の値は, 靱性保証型指針による場合 ($\kappa = 0.4$) よりもやや大きくした。

4. 部分架構の終局耐力の検討

4.1 T 形部分架構

ここでは, 文献(1) ~ (12)による計 27 体(従来工法試験体 4 体, 機械式定着工法試験体 23 体)の T 形部分架構の終局耐力を検討する。検討試験体の Q_{max}/Q_{cu} — Q_{pu}/Q_{cu} 関係を図-6 に示す。

Q_{max} は最大耐力実験値, Q_{cu} は式(2)による柱または梁の曲げ終局耐力時の柱せん断力, Q_{pu} は下式による柱梁接合部のせん断終局耐力時の柱せん断力である(式(4), (7) 参照)。

$$Q_{pu} = \min(Q_{puh}, Q_{puv}) \quad (26)$$

$$Q_{puh} = V_{puh} / \xi h, \quad Q_{puv} = V_{puv} / \xi v$$

図-6 の凡例には, 工法種別, 破壊形式(J, F)を示した。文献番号を付した試験体は, 機械式定着工法による柱曲げ降伏型試験体である。機械なし(J, F)は, 柱頭補強筋なしの機械式定着工法試験体(5 体)^{1), 3), 4), 7)}であり $Q_{pu} < Q_{cu}$ の時, 接合部破壊(J)型 $Q_{pu} > Q_{cu}$ の時, 柱曲げ降伏(F)

型と判別した。

柱頭補強筋ありの機械式定着工法試験体(18 体)については, 8 体が接合部破壊型^{2), 6), 8), 9)}, 10 体が柱曲げ降伏型^{6), 9), 12)}である。接合部破壊型はすべて $Q_{max}/Q_{pu} > 1$ を満足し, 柱曲げ降伏型は 2 体^{9), 11)}を除いて $Q_{max}/Q_{cu} > 1$ を満足した。
 $Q_{max}/Q_{cu} < 1$ となった 1 体¹¹⁾については, 柱頭補強筋に用いられたかんざし筋の足部の長さ

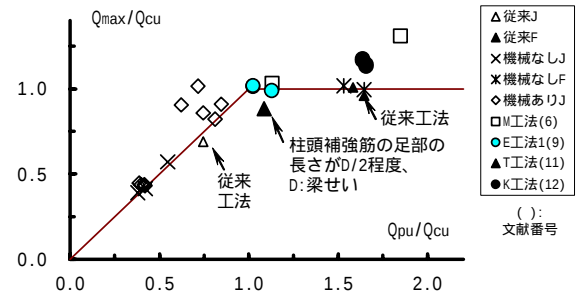
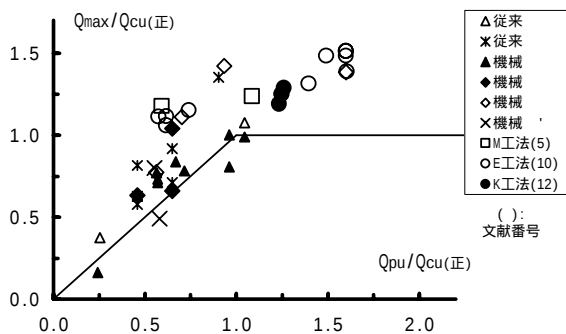


図-6 T 形部分架構の終局耐力の実験値と計算値

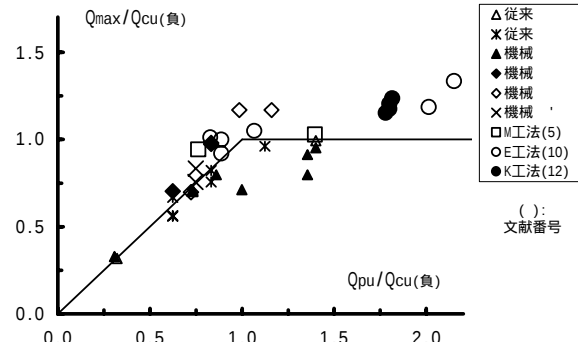
表-1 定着工法による L 形架構試験体の分類

	定着工法			試験 体数	
	柱主筋	梁主筋			
		上端	下端		
従来工法	従来 工法	U形定着		2	
従来工法		曲下	曲上	4	
			曲下	2	
機械式	機械式	U形定着		9	
機械式		曲下	曲上	5	
機械式			機械式		4
機械式				2	
機械式				16	
				合計	44

- 柱筋の従来工法 : (a) 末端部 180° フック付き、(b) U形定着 (c) 4隅のみ 180° フック付き、それ以外、U形定着
- 従来工法試験体および機械式定着工法試験体ともに、梁上端主筋の折曲げ後の余長は、10db ~ 40db の範囲で選定
- 【機械式】 梁上端主筋の定着部 : 直線部末端に定着金物を結合
- 【機械式】 梁上端主筋の定着方法 : 下記の 3 種類
 - 梁上端筋と柱主筋の直線部末端部同士を連結金物を介して接合
 - 梁上端筋折曲げ余長部の先端に定着金物を結合
 - 梁上端筋折曲げ余長部と柱主筋先端部同士を機械式継手で接合



(a) 正加力時



(b) 負加力時

図-7 L 形部分架構の終局耐力の実験値と計算値

が梁せいの半分程度と短いことなどに起因し、接合部に接続する柱の曲げ終局耐力が発揮されなかった恐れがある。

4.2 L形部分架構

ここでは、文献(1)～(12)による実験に供した計44体のL形部分架構の終局耐力を検討する。この検討に際して、表-1に示すように、柱主筋および梁主筋の定着工法を分類した。

検討試験体の Q_{max}/Q_{cu} — Q_{pu}/Q_{cu} 関係を図-7に示す。凡例中で文献番号を付した試験体は、機械式の場合である。この場合、正加力時、負加力時ともに、いずれの実験値 Q_{max} も、計算値(Q_{cu} または Q_{pu} の小さい方)を上回っている。

一方、正加力時と負加力時の Q_{pu}/Q_{cu} の値が同じ時、正加力時の Q_{max}/Q_{cu} が負加力時の場合よりも大きい。これは、柱梁接合部のせん断終局耐力を両加力時で同じ値で評価しているのに対して、実験での加力下の柱、梁には、正加力時に圧縮軸力、負加力時に引張軸力がそれぞれ作用するのに伴い、柱、梁の曲げ終局耐力が増減するだけでなく、柱梁接合部のせん断終局耐力も増減するためと考えられる。

この傾向が機械式の場合^{5),10),12)}に明瞭に現われるのは、機械式に該当するいずれの試験体も、柱梁接合部内に十分な柱頭補強筋が配置されていることに起因すると推察される。

一方、従来^{1)-4),7)}および機械式^{1)-5),10),11)}の試験体では、文献(1)～(4)の場合、柱頭補強筋が配置されていない。この点が、これらの試験体の実験値が計算値を下回る場合がある主な理由であると考えられる。また、機械式^{4),5)}の場合、実験値が計算値よりも低くなる傾向がある。これは、梁上端主筋の直線部先端に定着金物を結合している一方で、柱梁接合部出隅部で梁上端主筋と柱主筋との間の引張力の伝達能力を高める措置を施していないためであると考えられる。

5. まとめ

1) 本論文では、下記の2点を考慮したL形およびT形柱梁接合部の終局時入力せん断力の閉解型の評価式を提案した。

(a) L形部分架構でのL形が閉じる時と開く時にそれぞれ発生する柱、梁の付加軸力の影響

(b) 柱の中段筋の影響

2) 既往実験に供した試験体の柱梁接合部について、その配筋詳細を分類した上で、提案式による終局時入力せん断力と靱性保証型指針式によるせん断終局耐力を比較検討し、破壊形式に応じてL形およびT形部分架構の終局耐力を適切に評価できることを示した。

謝辞

本研究に際して、参考文献に掲載した論文の著者らに実験データベースの作成にご協力頂きました。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 下中裕史,ほか3名: JCI 年次論文報告集, Vol.19, No.2, pp.1023-1028, 1997
- 2) 催建宇,ほか2名: JCI 年次論文報告集, Vol.23, No.3, pp.397-402, 2001
- 3) 宮内靖晶,ほか3名: JCI 年次論文報告集, Vol.21, No.3, pp.313-318, 1999
- 4) 田畑卓,ほか1名: JCI 年次論文報告集, Vol.23, No.3, pp.373-378, 2001
- 5) 青田晃治,ほか3名: JCI 年次論文報告集, Vol.23, No.3, pp.391-396, 2001
- 6) 成瀬忠,ほか5名: AIJ 大会梗概集, 構造, pp.261-262, 2001
- 7) 大和田義正,ほか5名: AIJ 大会梗概集, 構造, pp.257-258, 2001
- 8) 沼田卓也,ほか6名: AIJ 大会梗概集, 構造, pp.555-556, 2002
- 9) 石渡康弘,ほか5名: AIJ 大会梗概集, 構造, pp.563-566, 2002
- 10) 中村一彦,ほか4名: AIJ 大会梗概集, 構造, pp.567-570, 2002
- 11) 中澤春生,ほか2名: JCI 年次論文報告集, Vol.24, No.2, pp.847-852, 2002
- 12) 益尾潔,ほか3名: GBRC No.111, pp.2-13, 2003.1
- 13) 日本建築学会: 建築耐震設計における保有耐力と変形性能, 4.3 鉄筋コンクリート部材の終局強度, pp.390-410, 1990
- 14) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 8章 柱梁接合部の設計, pp.241-277, 1999