

論文

[2129] 柱 RC 梁 S 接合部の力学性状

正会員 ○毛井 崇博 (竹中技術研究所)  
 正会員 東端 泰夫 (竹中技術研究所)  
 杉山 靖 (竹中工務店設計部)  
 正会員 藤村 勝 (竹中工務店設計部)

1. 序

省力化・短工期化等を目的として、柱を鉄筋コンクリート (RC)、梁を鉄骨 (S) とした混合構造の開発が近年多く行われている。著者等も内外柱を対象に、十・ト・T・Γ字形の梁貫通形の接合部の実験を行い、その性状を明かにしている [1~4]。本論文は、鉄骨加工度が少ない梁貫通形の柱 RC 梁 S 構造の接合部の実験結果、特に、本混合構造に特有なてこ作用によるめり込み破壊性状と強度についてまとめたものである。

2. はじめに

図-1 に示すように梁貫通形接合部において、S 梁に生ずる応力を RC 柱に伝達させる方法として、接合部内の梁フランジ、梁端のエンドプレート、直交梁、梁フランジに設けたアンカ筋がある。アンカ筋の替りに、施工も考慮して柱主筋をナット定着させて、アンカ筋相当の抵抗力を期待する場合もある。著者等が行った梁貫通形の十字形接合部の例を図-2 に示す。梁を貫通させただけの場合と直交梁やエンドプレートを設けた場合の接合部の破壊状況を図-3 に模式的に示す。直交梁やエンドプレートがあると接合部内のコンクリートの拘束効果だけでなく、フランジとエンドプレートと直交梁が一体となって外力に抵抗するがわかる [1]。

本論文は、このような梁貫通形接合部の性状についてまとめたもので、テーパフランジ形式や接合部の全周を被ったふさぎ板やバンドプレートなどにより補強した接合部については除外している。このような接合部で行われた既往の試験体 61 体 (十~35、ト~22、T~2、Γ~2 体) [1~15] を対象に、てこ作用によるめり込み

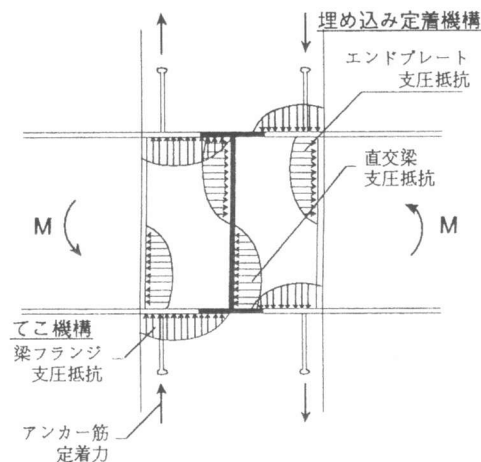


図-1 応力伝達機構

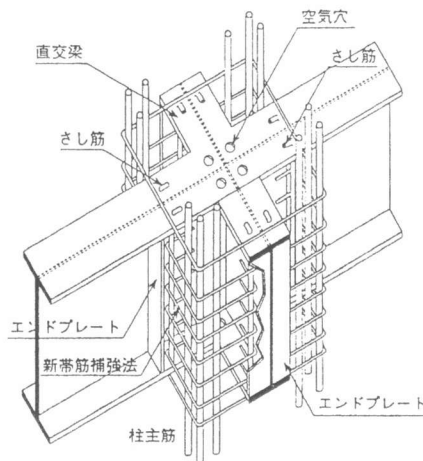


図-2 接合部詳細例 [1]

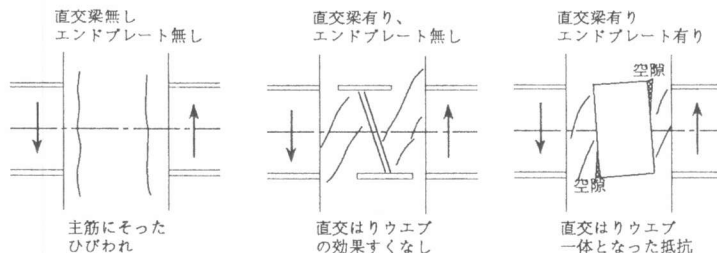


図-3 補強の有無による破壊性状の比較

破壊と強度について検討した。なお、Marcakis等が行ったブラケットタイプのせん断実験14体 [13] もめり込み破壊の検討対象として含めている。対象とした全試験体 ( $F_c = 194 \sim 336 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma_o/F_c = -0.09 \sim -0.33$ ,  $D_c = 18 \sim 65 \text{ cm}$ ) の梁幅と柱幅の比  $B_s/B_c$  および梁せいと柱せいの比  $H_s/D_c$  の関係を図-4に示す。 $B_s/B_c \cong 0.25 \sim 0.50$ ,  $H_s/D_c \cong 0.60 \sim 1.0$  の試験体が多い。

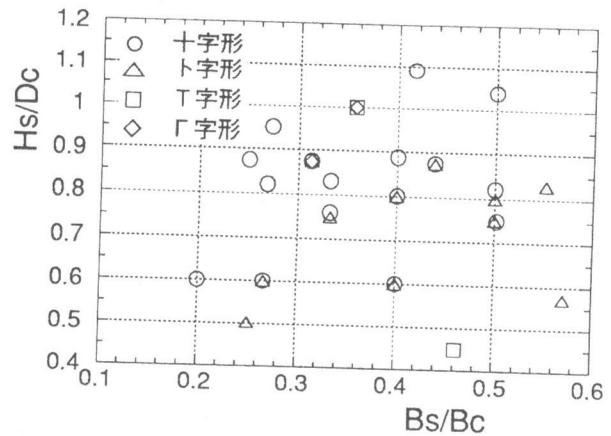


図-4 既往の試験体の梁柱せい比と幅比

### 3. むり込み破壊

#### 3. 1 破壊性状

梁が貫通しているだけでめり込み破壊した試験体No.4とエンドプレートと直交梁を取付けることによりめり込み破壊を防止した試験体No.8、No.15について、梁荷重Pと層間変形角R関係・梁荷重Pと接合部のせん断変形角 $\gamma$ 関係・層間変形角 $R=1/100$ 時のひびわれ状況を比較

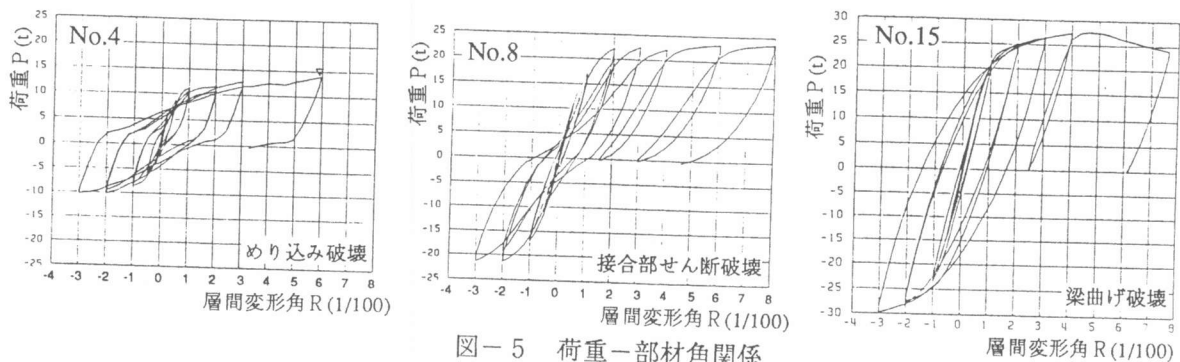


図-5 荷重-一部材角関係

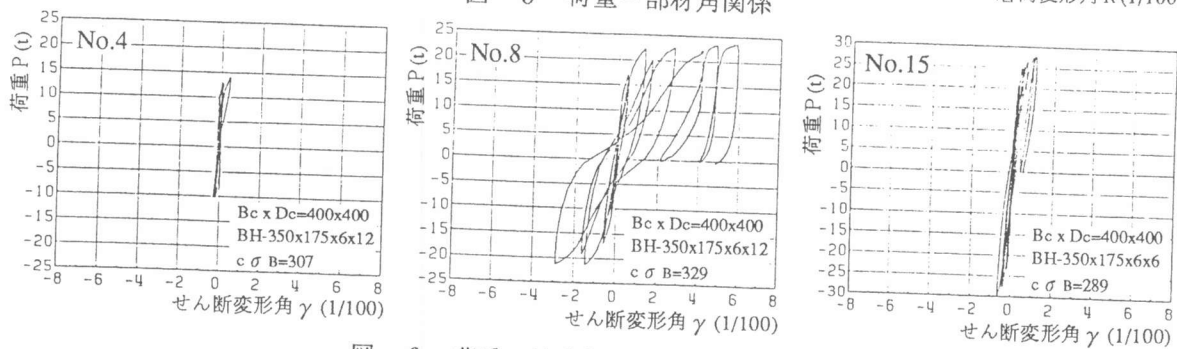


図-6 荷重-接合部のせん断変形角関係

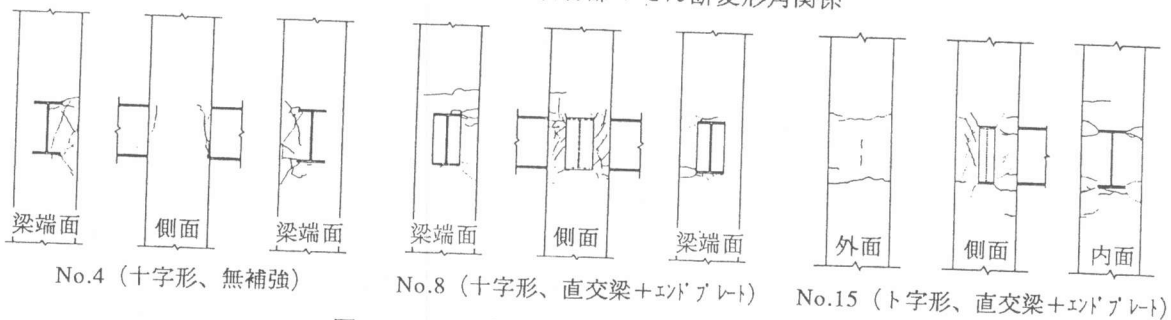


図-7 ひび割れ状況 (R =  $\pm 1/100$ 終了時)

較して図-5～図-7に示す。No 4とNo 8は、十字形、No15はト字形試験体で、No 8は接合部のせん断破壊、No15は梁が曲げ破壊した試験体である[1～3]。めり込み破壊する試験体は、接合部にせん断ひびわれが見られずに、比較的健全に保たれ、履歴性状は比較

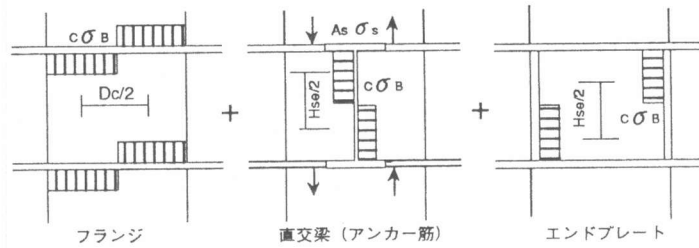


図-8 十字形接合部のめり込み強度

的良く、梁曲げ降伏する試験体と同様に接合部のせん断変形は殆ど生じない。しかしながら、柱主筋への力の伝達は乏しく柱主筋のひずみは高々1000μ程度であり、耐力が低い。

### 3. 2 十字形接合部の最大強度

十字形試験体のめり込み強度は、中立軸を接合部中心とし、コンクリートの応力ブロックを矩形と仮定して、梁フランジとエンドプレートと直交梁とアンカ筋の抵抗の和として次式で評価する(図-8参照)。

$$M_{ul} = M_{ul}(f) + M_{ul}(e) + M_{ul}(c) + M_{ul}(a) \dots (1)$$

$$Q_{ul} = M_{ul} / L \dots (2)$$

$$M_{ul}(f) = \alpha f B_{ef} (D_e/2)^2 \alpha c \cdot c \sigma B \quad (1.1)$$

$$M_{ul}(e) = B_{ee} (H_{se}/2)^2 \alpha c \cdot c \sigma B \quad (1.2)$$

$$M_{ul}(c) = B_{ec} (H_s/2)^2 \alpha c \cdot c \sigma B \quad (1.3)$$

$$M_{ul}(a) = \alpha a A_s f_y j_a \quad (1.4)$$

$M_{ul}(f)$  : 梁フランジによる抵抗力

$M_{ul}(e)$  : エンドプレートによる抵抗力

$M_{ul}(c)$  : 直交梁による抵抗力

$M_{ul}(a)$  : アンカ筋による抵抗力

$Q_{ul}$  : 梁荷重

$L$  : 梁荷重間距離

$\alpha f$  : フランジ有効数 (H形断面  $\alpha f=2$ , □形断面  $\alpha f=1$ )

$\alpha a$  : アンカ筋応力係数 ( $\alpha a=0.5$ )

$A_s$  : アンカ筋1組の断面積

$f_y$  : アンカ筋降伏強度

$j_a$  : アンカ筋間距離

$B_{ef}$  : フランジ有効幅 ( $B_e=B_s$ )

$B_{ee}$  : エンドプレート幅 ( $B_{ee} = B_s - t_w$ )

$B_{ec}$  : 直交梁有効幅 ( $B_e=B_s+B_{sc}/2 \leq B_c$ )

$B_{sc}$  : 直交梁幅

$D_e$  : 梁のみ込み長さ ( $D_e = D_c$ )

$H_s$  : 梁せい

$H_{se}$  : エンドプレートのせい ( $H_{se} = H_s - 2 t_f$ )

$c \sigma B$  : コンクリート強度

$\alpha c$  : コンクリート有効係数 ( $\alpha c=1.0$ )

梁フランジの有効幅は梁幅とした。Seikh等が行った無補強試験体の梁端面のひびわれ状況を図-9 [14]に示す。図-7および図-9より梁端面の圧縮端では梁幅にそった鉛直ひびわれが生じているのに対し、梁引張端面で曲げひびわれと斜めひびわれが生じている。このことからわかるように、梁フランジは上下面で抵抗し、実際には、有効幅が梁幅よりも大きいことが推測される。コンクリートの有効係数  $\alpha c$ は、既往の実験との適合性 および 有効幅を梁幅としたことと、支圧抵抗や接合部内の帯筋の拘束効果によるコンクリート強度の

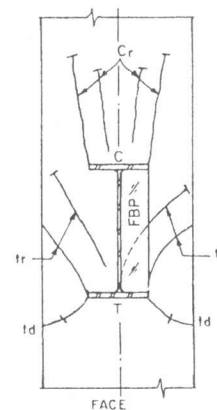


図-9 梁端面のひびわれ状況

上昇などを平均的に捉えるものとして  $\alpha c = 1.0$  とした。

建築学会規準では、接合部の有効幅を実験結果を踏まえ柱幅の半分としており [16]、同じく直交梁の有効幅を柱幅の半分とすることも考えられるが、図-3で示したように直交梁とエンドプレートがあると直交梁が有効に抵抗していることと、直交フランジを介して抵抗することを考慮し、梁幅に直交梁幅の半分を加算した。アンカ筋は、実験結果によると最大耐力時には降伏ひずみの約半分であ

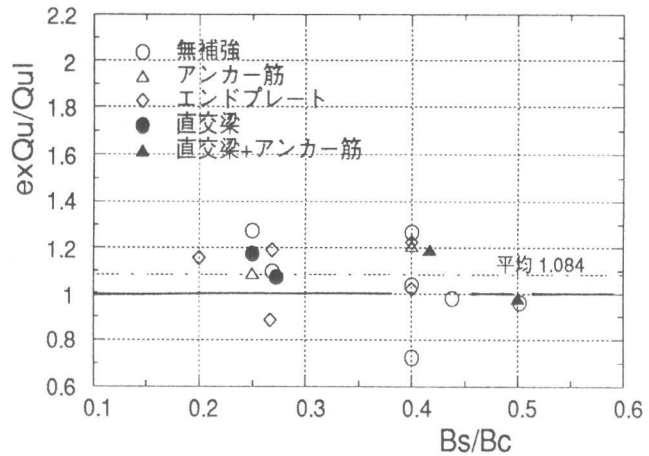


図-10 実験値と計算値の比 (十字形接合部)

あったのでアンカ筋応力係数  $\alpha a$  を 0.5 とした。なお、柱主筋をナット等でフランジに定着した場合、詳細なひずみのデータを持ち合わせていないので、アンカ筋と同様に  $\alpha a$  を 0.5 として計算した。

梁端のコンクリートが圧壊して壊れたとの著述がある試験体 7 体に対して (2) 式が安全側であることを確認した後、既往の柱梁の曲げ強度式とせん断強度式および接合部のせん断強度式 [脚注] と (2) 式を比較し、(2) 式による算定値が既往の総ての算定式に比べて 95% 以下で、めり込み破壊が生じている恐れのある試験体 18 体について、実験で得られた最大強度  $exQu$  と (2) 式を比較した。 $exQu / Qu1$  と梁幅比  $Bs/Bc$  の関係を図-10に示す。 $exQu / Qu1$  が 0.72 と一様だけ小さいが、この試験体は、最終的には接合部のせん断破壊で壊れたようである [14]。梁幅比  $Bs/Bc$  が大きくなるにつれ、 $exQu / Qu1$  はやや小さくなっていく傾向にあるが、(2) 式は、エンドプレート・アンカ筋・直交梁の有無に拘らず、実験結果を安全側に評価していることがわかる。

### 3. 3 ト・T・Γ字形接合部の最大強度

ト・T・Γ字形試験体のめり込み強度は、十字形と同様にして次式で評価する。

$$Mul' = Mul(f)' + Mul(e) + Mul(c) + Mul(a) \quad (3)$$

$$Qu1' = Mul' / L' \quad (4)$$

$$Mul(f)' = \alpha f B_{ef} (De/2)^2 (\alpha c \cdot c \sigma B) \quad (3.1)$$

$Mul(f)'$  : 梁フランジによる抵抗力

$\alpha f$  : フランジ有効数 (H形断面 ト字形-2、T字形-1、Γ字形-1)

$De$  : 梁のみ込み長さ (T字形  $De = Dc$ )  $Qu1'$  : 梁荷重

$L'$  : 接合部中心より梁荷重までの距離 (但し、T字形  $L' = L$ )

[ 脚 注 ]

柱せん断耐力 [17]  $cQ_{su} = \left\{ k_u \cdot k_p \frac{0.115(F_c + 180)}{M/Q_d + 0.12} + 2.7\sqrt{P_w \cdot f_{wy}} \right\} B_c \cdot j_c + 0.1 \sigma_o \cdot B_c \cdot j_c$

柱曲げ耐力 [17]  $cM_{bu} = 0.5a_g f_{gy} g_{1Dc} + 0.5N \cdot D_c \left( 1 - \frac{N}{B_c D_c F_c} \right)$  但し  $N_b \geq N \geq 0$

梁曲げ耐力  $B_{MBU} = f_y f \cdot (H_s - t_f) \cdot a_{sf} + f_{yw} \cdot \frac{H_s - 2t_f}{2} \cdot \frac{a_{sw}}{2}$

接合部  
せん断耐力 [16]  $J_{MSU} = cV_e \cdot (JFs \cdot J\delta + wP \cdot w \sigma_Y) + \frac{1.2 sV \cdot s \sigma_Y}{\sqrt{3}}$

T、Γ字形接合部は、最上階であるので梁上のフランジは無視した。また、一般階側柱のト字形接合部の外側エンドプレートは、耐久性と美観を考慮して一般に柱主筋内で納めるので、無視せずに両側のエンドプレートが有効であるとした。ト・Γ字形の場合、中立軸を梁のみ込み長さの真中としてフランジ抵抗力を求めた。

Γ字形接合部のフランジとエンドプレートと直交梁のめり込み破壊に対する抵抗力を図-11に示す。

十字形と同様に、実験で得られた最大強度と(4)式の比 $exQu / Qu1'$ と梁幅比 $Bs/Bc$ の関係を図-12に示す。T、Γ字形接合部の既往の実験はそれぞれ2体ずつあるが、めり込み破壊はしていないために、ト字形接合部の試験体18体について実験結果を示している。十字形の試験体と同様に、(4)式はアンカ筋の有無に拘らず、安全側の評価である。また、ト字形の実験結果は、十字形の試験体に比べて余裕のある試験体が多い。ト字形接合部の実験の多くが、Marcakis等が行ったせん断実験であるためと、十字形接合部が逆対称のせん断と曲げを受けて厳しい応力状態であるのに対して、ト字形接合部は、十字形ほど応力的に厳しくないためと思われる。

一般にト字形接合部の場合は、梁曲げ降伏で耐力が決定されるので、めり込み破壊が問題になることは殆どないと思われる。同様に、T字形接合部の場合も柱曲げ降伏が先行するのでめり込み破壊することは少ない。むしろ、T・Γ字形接合部の場合は、柱主筋の定着不足による破壊が生じやすいので、柱主筋の定着について検定する必要がある。

最後に、上記のめり込み破壊の恐れのある試験体以外の試験体25体(柱または梁が

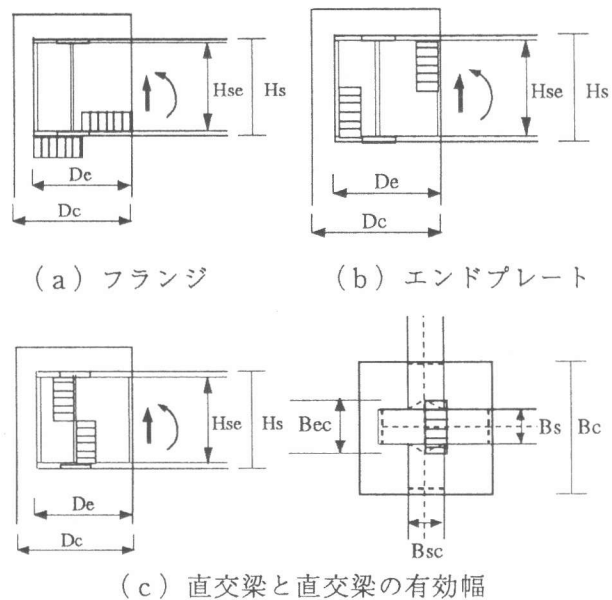


図-11 Γ字形接合部のめり込み破壊強度

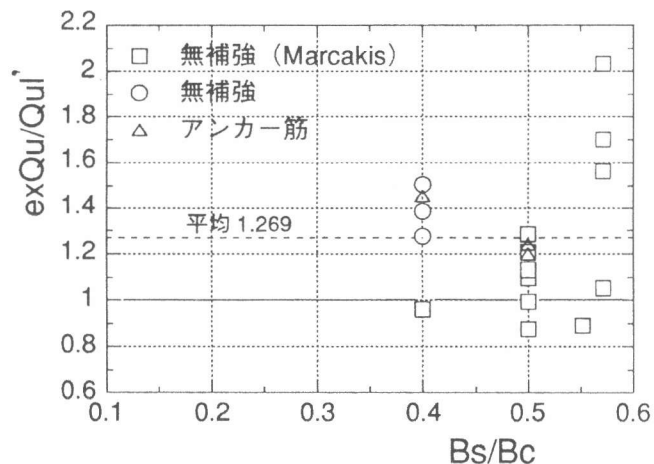


図-12 実験値と計算値の比(ト字形接合部)

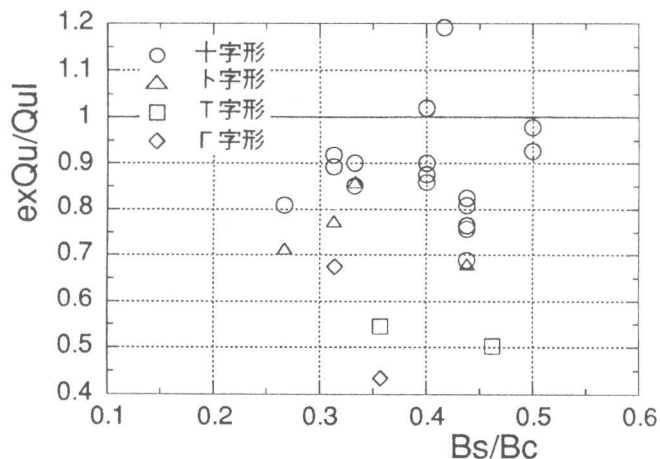


図-13 実験値と計算値の比  
(柱・梁が曲げ破壊および接合部がせん断破壊したと推定される試験体)

曲げ破壊あるいは接合部がせん断破壊したと著述のある試験体18体を含む)について、実験値と(2)(4)式による各接合部の計算値の比較を図-13に示す。十字形試験体1体のみ実験値が計算値を大きく上回っているが、(1)~(4)式と既往の式を用いることによって、破壊モードの推定ができることがわかる。

#### 4. まとめ

梁貫通形の接合部がめり込み破壊する試験体は、接合部のせん断変形が殆ど生じないために、履歴性状は比較的良いが、耐力が低く、柱主筋のひずみが小さいことが特徴的である。このようなめり込み破壊する十・ト・T・Γ字形接合部のめり込み強度は、梁フランジとエンドプレートと直交梁とアンカ筋の抵抗モーメントの和として(1)~(4)式によって算定できることを示した。

#### 参考文献 [本論文で検討対象とした試験体名]

- [1] 本間優子、藤村 勝、毛井崇博他：「柱RC梁S接合部の力学性状 その1. 予備実験計画および破壊経過」日本建築学会大会講演梗概集、pp.1183~1184、1990年10月 [No.1 ~No.8]
- [2] 毛井崇博、杉山 靖、藤村 勝他：「柱RC梁S接合部の力学性状 その2. 予備実験結果の検討」日本建築学会大会講演梗概集、pp.1185~1186、1990年10月 [No.1 ~No.8]
- [3] 以頭秀司、藤村 勝、毛井崇博他：「柱RC梁S接合部の力学性状 その3. 十、ト字形接合部」日本建築学会大会講演梗概集、pp.1623~1624、1991年9月 [No.11 ~No.15]
- [4] 毛井崇博、東端泰夫、藤村 勝他：「柱RC梁S接合部の力学性状 その4. T、L字形接合部」日本建築学会大会講演梗概集、pp.1625~1626、1991年9月 [No.16 ~No.18]
- [5] 岩口勝彦、植岡豊博、西村泰志他：「異種構造部材で構成される十字形柱はり接合部の応力伝達機構」日本建築学会大会講演梗概集、pp.1311~1312、1985年10月 [W00N,W02N]
- [6] 植岡豊博、福田 勉、西村泰志他：「柱RCはりSで構成される接合部の補強効果に関する研究」日本建築学会近畿支部研究報告集、pp.173~176、1986年 [S0002N,S0000N,S0002T]
- [7] 西村泰志、植岡豊博、南 宏一他：「はりS柱SRCで構成されるト字形骨組の柱はり接合部の応力伝達機構」構造工学論文集、vol.32B、pp.135~146、1986年3月 [WH0002N,S0002N,S0000N,SH0002N]
- [8] 富永博夫、村井義則、坂口 昇他：「鉄筋コンクリート柱と鉄骨梁で構成される架構(RC S S構法)の耐力及び変形性能(その1 構法の概要と実験計画)」日本建築学会大会講演梗概集、pp.1427~1428、1986年8月 [No.6]
- [9] 首藤恵治、富永博夫、坂口 昇他：「鉄筋コンクリート柱と鉄骨梁で構成される架構(RC S S構法)の耐力及び変形性能(その3 T字形架構の耐力実験)」日本建築学会大会講演梗概集、pp.1431~1432、1986年8月 [No.6]
- [10] 坂口昇：「鉄筋コンクリート柱と鉄骨梁で構成される柱梁接合部パネルのせん断耐力」日本建築学会構造系論文報告集、第428号、pp.69~78、1991年10月 [A-2,B-2,E-2,S-2,S'-2]
- [11] 長谷川隆、井崎柁男、西山 功：「鉄筋コンクリート柱と鉄骨梁より成る混合構造 柱梁接合部の弾塑性挙動」日本建築学会大会講演梗概集、pp.1325~1326、1987年10月 [A,B]
- [12] 西山 功、長谷川隆、内山泰之：「柱が鉄筋コンクリート造、はりが鉄骨造である柱-はり接合部の耐力と変形」建築研究資料、建設省建築研究所、No.71、1990年9月 [A~G]
- [13] Kostas Marcakis, Denis Mitchell : Precast Concrete Connections with Embedded Steel Members, PCI Journal, pp.88-116, Jul.-Aug. 1980 [C1~C4,SC2~SC14,TC1~TC4]
- [14] Tauqir M. Sheikh, Joseph A. Yura, James O. Jirsa: Moment Connections Between Steel Beams and Concrete Columns, PMFSEL REPORT, The University of Texas at Austin, No.87-4, Aug. 1987 [1~9]
- [15] Gregory G. Deierlein, Joseph A. Yura, James O. Jirsa : Design of Moment Connections for Composite Framed Structures, PMFSEL REPORT, The University of Texas at Austin, No. 88-1, May. 1988 [10,11]
- [16] 日本建築学会：「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」1989年8月
- [17] 日本建築学会：「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」1991年4月