

### 隣接梁がPC造骨組の終局強度に及ぼす影響

日本大学 理工学部 学生会員 ○坂梨 嘉洋  
 同 正会員 工学博士 浜原 正行  
 松井建設(株) 正会員 博士(工学) 内田 龍一郎

#### 1. はじめに

文献1)では、接合部の破壊が接合部内の柱曲げモーメントのピーク値を結んだ直線の勾配に支配されるとの考えに基づいて、プレストレストコンクリート造柱梁接合部の終局強度の推定式が提案されている。しかし、この推定式は、骨組中における接合部位置によるせん断終局強度の差異を説明できるものではない。

図-1は、ト型試験体の接合部内における主筋のひずみ分布を示したものの一例である<sup>2)</sup>。この図によると、内側の主筋ひずみは最終的に3000 $\mu$ に達しているが、外側の主筋ひずみは750 $\mu$ 未満の値となっている。これは、柱外側には隣接梁が存在しないため、この部位の柱主筋が十分な付着を確保できなかったことに起因している。したがって、ト型試験体の柱外側に隣接梁または、これに代わる十分なボリュームの突起部を設ければ、柱外側の主筋も内側と同等の付着が確保でき、結果的に十字型試験体と同等な耐力を確保できる可能性がある。

本論文は、ト型部分架構試験体、ト型部分架構の背面側に隣接梁を設けた試験体、および十字型部分架構試験体に対して正負繰り返し載荷実験を行い、接合部内の柱外側主筋の付着性能が接合部耐力に及ぼす影響について検討しようとするものである。

#### 2. 実験概要

##### 2.1 試験体概要

試験体は、柱をRC造、梁をPC造とした十字型部分架構2体とト型部分架構1体の計3体である。これらの試験体は、いずれも柱断面を250×250mm、梁断面を200×300mmとし、梁の平均プレストレス $\sigma_g$ 、柱の平均軸応力 $\sigma_o$ はいずれも5N/mm<sup>2</sup>とした。十字型試験体のうち、1体はト型試験体同様に梁の荷重は片側のみとし、柱外側の隣接梁が柱主筋の付着性状、および接合部終局強度に及ぼす影響を調べた。

表-1に試験体概要、図-2に配筋詳細を示す。

表-1 試験体概要

試験体名	形状	荷重位置
I-PC3	十字型	南北の梁端
E-PC3ADJ	十字型	北側の梁端
E-PC3	ト型	

【共通因子】コンクリート設計強度  $F_c=30\text{N/mm}^2$ ,  
 柱 250×250mm, 梁 200×300mm  
 柱軸筋=12-D16 (KSS785), 梁主筋 3-D16 (KSS785)  
 フープ=□D6-@50 (SD295, 帯筋比  $\rho_{wc}=0.51\%$ ),  
 接合部内フープ=7-□D6 (SD295, 帯筋比  $\rho_{wc}=0.67\%$ )  
 スターラップ=□D6-@50 (SD295, あばら筋比  $\rho_{wc}=0.64\%$ ),  
 PC鋼棒φ23 (材種:B種1号, 規格降伏点=930N/mm<sup>2</sup>),

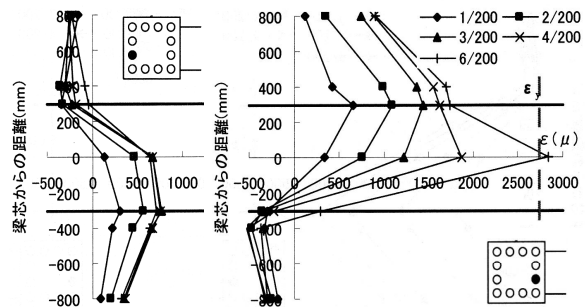
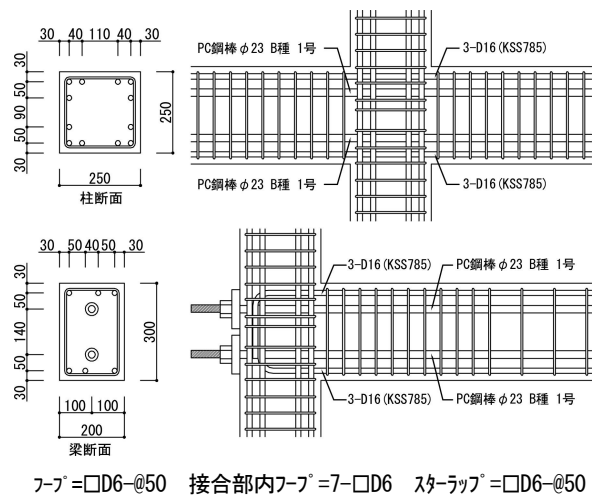


図-1 ト型試験体の接合部内における柱主筋のひずみ分布



フープ=□D6-@50 接合部内フープ=7-□D6 スターラップ=□D6-@50

図-2 配筋詳細

### 2.2 試験体の設計

試験体は、柱梁接合部のせん断破壊が柱、梁の曲げ降伏に先行するように設計した。柱、梁の曲げ終局強度は、平面保持の仮定と、ACIのストレスブロックを用いて算定した。柱梁接合部終局強度時における柱せん断力は、接合部内における柱曲げモーメントのピーク値を結んだ直線の勾配に支配されているという仮定の下、(1)式で評価した<sup>1)</sup>。なお、コンクリート設計基準強度  $F_c$  は  $30\text{N/mm}^2$  とした。

$$V_{ju} = \frac{\tau_{ju} \cdot b_j \cdot D_c \cdot j_{be}}{H - D_c \cdot (H/L) - j_{be}} \text{----- (1) } ^1$$

(1)式中、 $j_{be}$  は等価応力中心間距離(接合部内における柱の最大曲げモーメント間の距離)であり、(2)式<sup>1)</sup>で計算した。

$$j_{be} = 0.8 \cdot D_b \text{----- (2) } ^1$$

ここに、 $D_c$ : 柱せい、 $D_b$ : 梁せい、 $b_j$ : 接合部有効幅(=柱幅と梁幅の平均値)、 $H$ : 階高、 $L$ : スパン  
柱梁接合部の終局せん断応力度  $\tau_{ju}$  は(3)式に示す RC 靱性保証型指針<sup>3)</sup>の平均値式を用いた。

$$\text{平均値式 十字型接合部: } \tau_{ju} = 0.799 \cdot F_c^{0.712} \text{----- (3a) } ^3$$

$$\text{ト型部接合部: } \tau_{ju} = 0.587 \cdot F_c^{0.718} \text{----- (3b) } ^3$$

### 2.3 実験方法

試験体の支点は、図-3に示すように、柱脚をピン、柱頭を上下方向のローラーとした。軸力は柱頭に設置した500kN圧縮ジャッキによって一定荷重313kNを加えた。正負繰り返し荷重は、梁の先端部に設置した200kN串型ジャッキを用いて載荷した。載荷ルールは、初期ひび割れ発生荷重で正負1回繰り返しした後、層間変形角1/200を基準部材角とし、その1, 2, 3, 4, 6, 8倍の変位振幅で正負2回繰り返しした。層間変形角  $R$  は梁載荷点に取り付けた200mm電気変位計による測定値  $\delta_N, \delta_S$  を用い、(4)式で評価した。

$$\text{試験体E-PC3ADJ, E-PC3: } R = 2 \cdot \delta_N / L \text{----- (4a)}$$

$$\text{試験体I-PC3: } R = (\delta_N - \delta_S) / L \text{----- (4b)}$$

ここに、 $L$ =スパン(梁の載荷点間距離)=2400mm

### 2.4 材料試験結果

表-2~4にコンクリート調合表、コンクリート、グラウト、鉄筋とPC鋼棒の材料試験結果を示す。

表-2 コンクリート調合表

W/C (%)	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和材
	W	C	S	G	
51	175	344	775	996	3.44

スラブ=18cm, 粗骨材最大寸=20mm, 混和材=フェノールEX20  
[記号] W/C=水セメント比, W=単位水量, C=単位セメント量, S=単位細骨材量, G=単位粗骨材量

表-3 コンクリート, グラウトの材料試験結果

試験体名	コンクリート			グラウト
	$\sigma_B$	$E_c$	$\sigma_T$	$\sigma_B$
I-PC3	32.6	22.6	3.1	53.7
E-PC3ADJ	33.9			
E-PC3	36.3	23.8		

[記号]  $\sigma_B$ =圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>),  $E_c$ =ヤング係数(kN/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_T$ =割裂強度(N/mm<sup>2</sup>)

表-4 鉄筋, PC鋼棒の材料試験結果

径	材種	使用部位	$\sigma_y$	$\sigma_B$	$E$
D6	SD295	スターラップ	349	546	198
D16	KSS785	柱, 梁主筋	969	1060	209
φ23	B種1号	梁の緊張材	1046	1126	200

[記号]  $\sigma_y$ =降伏強度(N/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_B$ =引張強度(N/mm<sup>2</sup>),  $E$ =ヤング係数(kN/mm<sup>2</sup>)

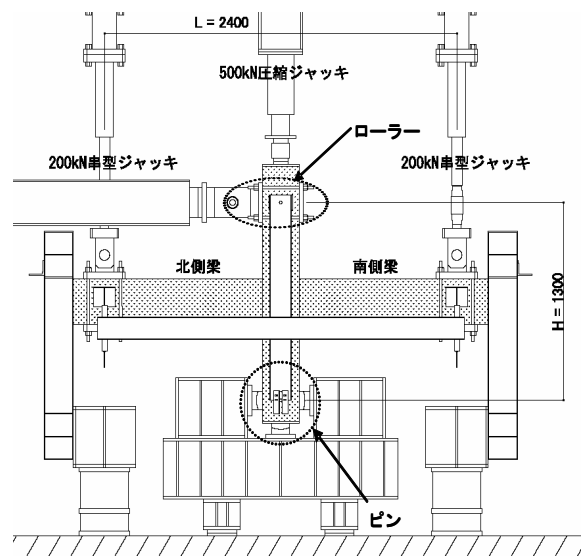


図-3 載荷装置

3. 実験結果

3.1 最大荷重

表-5は最大柱せん断力の実験値  $V_{max}$  および  $V_{max}$ 時における層間変形角  $R$ の一覧を示したものである。

梁両側を載荷した I-PC3 と北側梁のみを載荷した十字型試験体 E-PC3ADJ の最大荷重はそれぞれ 141.7kN, 145.2kN であり, ほぼ同じ値を示している。ト型試験体 E-PC3 の最大荷重は, 121.9kN であり, 上記2体の試験体より小さな値を示している。

3.2 復元力特性

図-4 (a) ~ (c) は各試験体の柱せん断力  $V_c$  と層間変形角  $R$  の関係を示したものである。いずれの試験体も, 初期の段階では PC 部材特有の原点復帰傾向が強い S 字型の履歴ループを描いているが, 接合部のせん断劣化の進行に伴い, 逆 S 字型の履歴ループに変化している。

3.3 最終破壊状況

図-5 (a) ~ (c) は各試験体の最終破壊状況を示したものである。これらの図より, いずれの試験体も接合部せん断圧縮破壊していることが分かる。

3.4 入力せん断力

十字型およびト型接合部の入力せん断力は図-6 の接合部における水平方向の釣合条件より, (5) 式で評価した。

十字型接合部:  $V_j = T + T' + T_{p1} + T_{p2}' - V_c$  -----(5a)

ト型接合部:  $V_j = T' + T_{p1} - V_c$  -----(5b)

ここに,  $T, T'$ =梁主筋の張力

$T_{p1}, T_{p2}'$ =PC 鋼材の張力

$V_c$ =柱せん断力

入力せん断応力  $\tau_j$  は, (5) 式で求めた  $V_j$  を用い, (6) 式で評価した。

$\tau_j = V_j / (b_j \cdot D_c)$  -----(6)

ここに,  $b_j$ =接合部有効幅,  $D_c$ =柱せい

図-7(a) ~ (c) は (6) 式による接合部入力せん断応力  $\tau_j$  と層間変形角  $R$  の関係を示したものである。図-7 中, 黒塗りの点は最大柱せん断力に達した点を, 破線と実線は, それぞれ RC 靱性保証型指針 3) による十字型柱梁接合部の平均値式 (9a) 式と同ト型の平均値式 (9b) 式を示している。図-7 より, (9) 式による計算値は実験値よりかなり小さいことが分かる。

表-5 最大柱せん断力の実験値の一覧

試験体名	$V_{max}$ (kN)			$R$ (%)		
	正	負	平均	正	負	平均
I-PC3	143.1	140.3	141.7	1.5	1.5	1.5
E-PC3ADJ	144.6	145.8	145.2	3.0	3.0	3.0
E-PC3	120.4	123.4	121.9	3.0	3.0	3.0

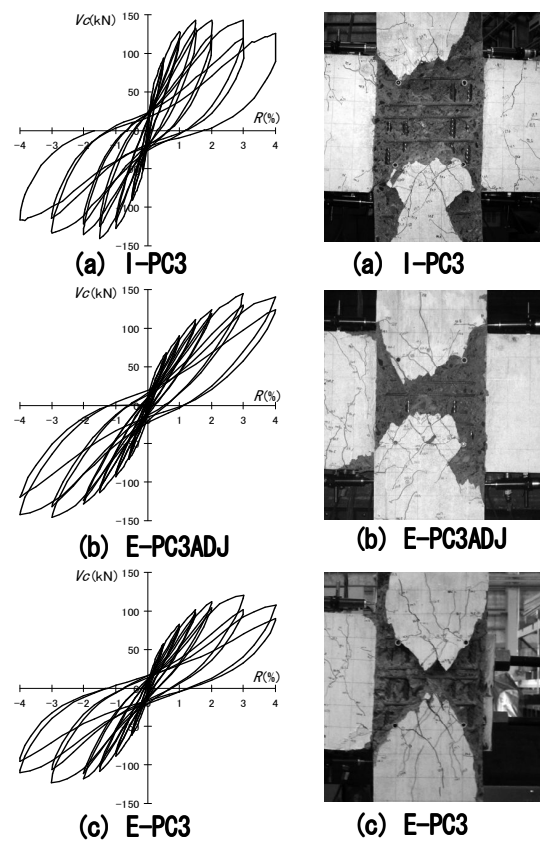


図-4 柱せん断力 - 層間変形角

図-5 最終破壊状況

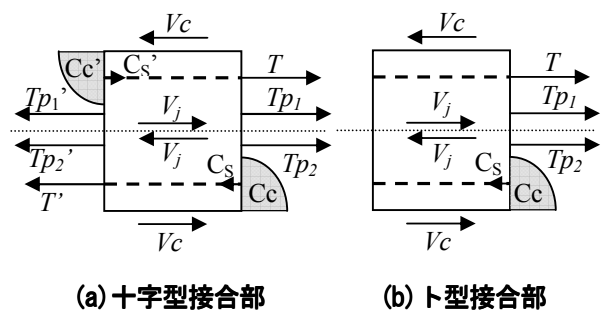


図-6 PC 柱梁接合部の入力せん断力

### 3.5 平均せん断力

図-8(a)～(c)は(7)式より求めた柱梁接合部平均せん断力  $\bar{V}_j$  を接合部断面積で除したせん断応力  $\bar{\tau}_j$  と層間変形角  $R$  の関係を示したものである。表-6は(8)式による接合部平均せん断力を適用した最大柱せん断力の計算値<sup>1)</sup>と実験値を比較したものである。図-8中の破線と実線は、図-7同様、(9a)式、(9b)式によるRC靱性保証型指針中の平均値式<sup>3)</sup>による柱梁接合部せん断強度の計算値を示している。

$$\bar{\tau}_j = \frac{\bar{V}_j}{b_j \cdot D_c} = \frac{H - D_c(H/L) - j_{be} \cdot V_c}{b_j \cdot D_c \cdot j_{be}} \quad \text{-----(7)1)}$$

$$\bar{V}_{ju} = \frac{\tau_{ju} \cdot b_j \cdot D_c \cdot j_{be}}{H - D_c \cdot (H/L) - j_{be}} \quad \text{-----(8)1)}$$

ここに、 $V_c$ =柱せん断力、 $D_c$ =柱せい、 $D_b$ =梁せい  
 $b_j$ =接合部の幅、 $L$ =スパン、 $H$ =階高  
 $j_{be}$ =等価応力中心間距離(=0.8・ $D_b$ )

十字型接合部： $\tau_{ju} = 0.799 \cdot \sigma_B^{0.712}$  -----(9a)<sup>3)</sup>

ト型部接合部： $\tau_{ju} = 0.587 \cdot \sigma_B^{0.718}$  -----(9b)<sup>3)</sup>

十字型試験体については、梁の南北両側を載荷したI-PC3、北側梁のみを載荷したE-PC3ADJとも、十字型を対象とした(9a)式(破線)によって精度よく推定できる。ト型試験体は、ト型を対象とした(9b)式(実線)とよく一致している。

### 4. まとめ

1) 北側梁のみを載荷した十字型試験体の最大荷重時の平均せん断応力は、RC靱性保証型指針<sup>3)</sup>による十字型柱梁接合部平均値式(9a)式で精度よく推定できた。

2) 接合部入力せん断応力は、いずれの試験体もRC靱性保証型指針平均値式<sup>3)</sup>を大きく上回ったのに対し、各試験体の最大柱せん断力は、平均せん断力を用いた計算式で精度よく推定できた。

#### 【参考文献】

1) Hamahara et al. "Design for Shear of Prestressed Concrete Beam-Column Joint Cores", ASCE, Jour.of Structural Engineering pp.1520-1530, Nov. 2007

2) PC技術協会:PC造柱梁接合部に関する共同研究 第2年度報告書, p86, 2003年3月

3) 日本建築学会:RC造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, pp.246-249, 1999年8月

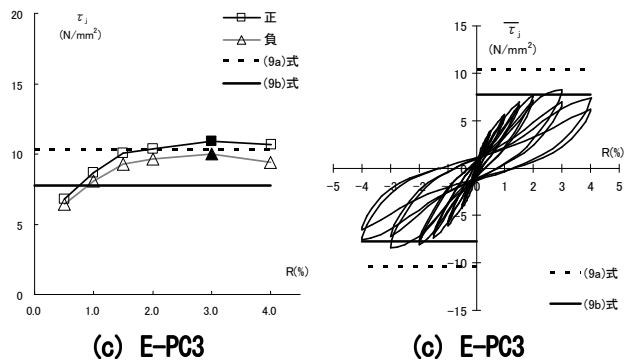
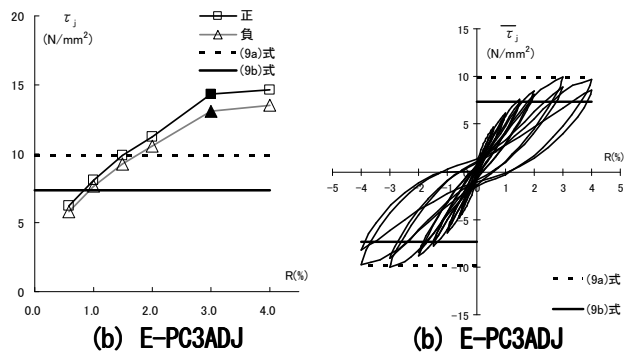
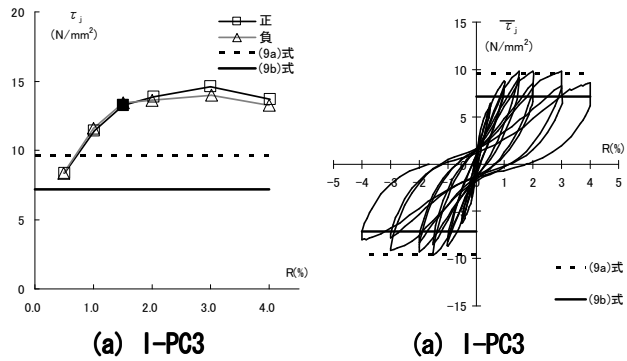


図-7 入力せん断応力 - 層間変形角

図-8 平均せん断応力 - 層間変形角

表-6 最大柱せん断力と計算値の比較の一覧

試験体名	$V_{max}$ (kN)	$V_{ju}$ (kN)		$V_{max}/V_{ju}$	
		十字型	ト型	(9a)式	(9b)式
I-PC3	143.1	139.4	104.6	1.02	1.37
E-PC3ADJ	144.6	143.4	107.6	1.01	1.34
E-PC3	120.5	150.5	113.0	0.80	1.08