

PC 造柱梁接合部研究委員会報告

- その1 第3年度からの成果 プレキャスト PC 造に関する実験 -

社団法人プレストレストコンクリート技術協会 正会員 博士(工学) ○福井 剛
 同 正会員 工学博士 渡邊 史夫
 同 正会員 工学博士 浜原 正行
 同 正会員 博士(工学) 西山 峰広

1 はじめに

本委員会は、2001年から始まり、本年度の9月に終了予定である。その全体計画は昨年度報告したとおりであり¹⁾、本報告は、その中間報告として位置付けられるものである。

昨年度の報告では、梁のプレストレスの有無、柱梁接合部内における定着具の位置とタイプ、PC 鋼材の配置法を実験要因としたト型部分架構に対する載荷実験についての報告を行った²⁾。これらの試験体は、いずれも場所打ちを対象としており、PCaPC についての実験は行われていなかった。通常の PCaPC 造骨組は、普通鉄筋が目地部でカットオフされているため、PC 鋼材のみで外力に抵抗する。PC 鋼材は、梁断面のかなり内側に配置される場合が多く、その付着性能は普通鉄筋よりかなり劣る。このような PCaPC 造建物における柱梁接合部の挙動については実験例が極めて少なく、不明な点が多数残されているのが現状である。

本報告は、梁を圧着タイプの PCaPC 造としたト型部分架構に対して正負繰り返し載荷を行い、その挙動に対して考察、検討を加えようとするものである。

2 実験概要

試験体は梁を PCaPC 造としたト型部分架構であり、柱と梁の接合は厚さ 20mm のモルタル目地を介した圧着タイプとした。定着具は支圧板タイプとし、その位置はいずれの試験体も梁フェイスから 330mm(柱せいの 60%)とした。実験要因は表 1 に示すように、梁断面の上下 PC 鋼材間距離(450mm, 300mm)と柱の工法(RC 造, PCaPC 造)である。図 1(a)~(c)に各試験体の配筋詳細を示す。

表 1 試験体概要

試験体	場所打 or PCa		梁 PC 鋼材 間距離 (mm)	柱 PC 鋼材 (B 種 1 号)			柱 普通鉄筋 (SD345)	共通因子
	柱	梁		径 -本数	P_c (kN)	d_p (mm)		
N3-PC1	RC	PCaPC	450	---	---	---	柱:b=50,D=55cm, N/(bDF _c)=0.1 梁:b=40,D=60cm, PC 鋼材=2-E5-12 $P_c=1200kN$ 階高 H=2900mm, スパン L=6400mm	
N3-PC2			300	---	---	---		
N3-PC3	PCaPC	450	6-φ32	1300	450	---		

図 2 に載荷装置を示す。試験体は、柱脚をピン、梁先端部をローラーとし、柱頭に一定軸力と正負繰り返し水平力を加えた。層間変形角は相対変位(図 2 中、 δ)をローラーから柱心までの距離 L で除して求めた。

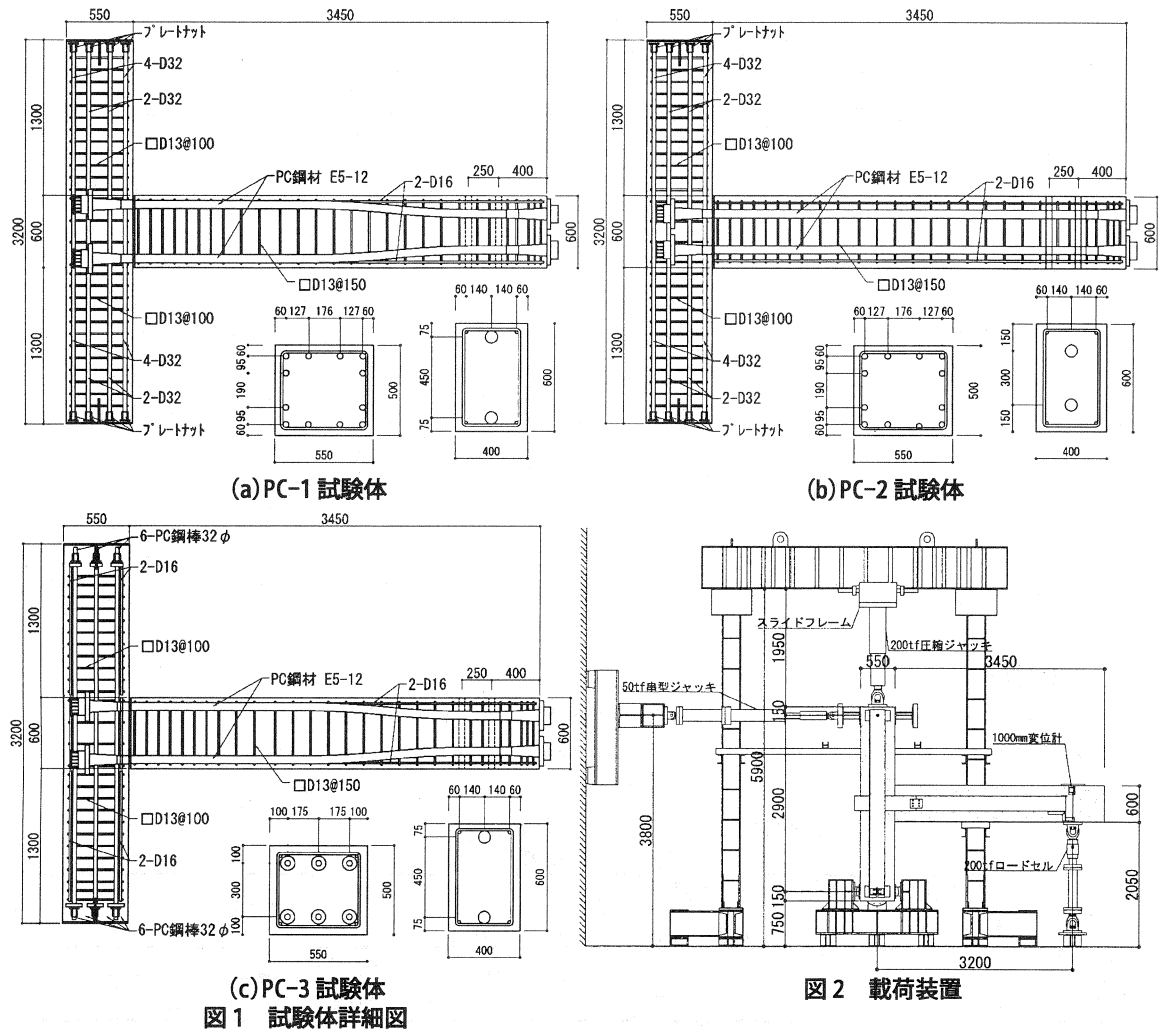
表 2、表 3 にコンクリートと鋼材の材料試験結果を示す。

表 2 コンクリートとグラウトの材料試験結果

試験体名	コンクリート			グラウト圧縮強度 (N/mm ²)
	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)	
N3-PC1	29.8	28.4	2.46	24.9
N3-PC2	31.0	31.3	2.40	28.9
N3-PC3	31.1	33.1	2.33	30.3

表 3 鉄筋と PC 鋼材の材料試験結果

	直径(mm)	材種	使用部位	断面積 (mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	伸び率 (%)
鉄筋	D13	SD295	肋筋, 帯筋	127	385	535	196	19.0
	D16	SD295	梁軸筋, PC3 柱軸筋	199	368	600	198	22.0
	D32	SD345	PC1, PC2 柱軸筋	794	412	626	219	18.5
PC 鋼材	7 本より φ12.7	SWPR7B	梁	99.2	1744	1895	196	7.3
	φ32	B 種 1 号	PCaPC 柱	804	1032	1126	330	11.0



(a)PC-1 試験体

(b)PC-2 試験体

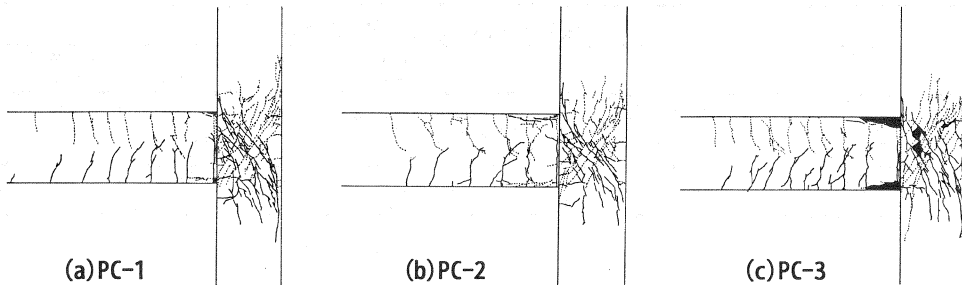
(c)PC-3 試験体

図1 試験体詳細図

図2 載荷装置

3 実験結果

(1)最終破壊状況 各試験体の最終破壊状況を図3(a)～(c)に示す。接合部のせん断ひび割れは、いずれの試験体も定着具と梁フェイス間に発生し、層間変形角の上昇に伴って、全領域に進展した。梁のPC鋼材間距離を450mmとしたN3-PC1、N3-PC3の接合部のせん断劣化は最大荷重に至る前から顕著となった。したがって、これらの試験体の破壊モードは、接合部のせん断破壊が先行する**J破壊**であると考えられる。PC鋼材間を300mmとしたN3-PC2の接合部せん断劣化が顕著となったのは最大荷重経験後であった。したがって、その破壊モードは梁の曲げ降伏後に接合部のせん断破壊が起こる**BJ破壊**であると考えられる。



(a)PC-1

(b)PC-2

(c)PC-3

図3 試験体最終破壊状

(2)梁せん断力-層間変形角関係 図4(a)~(c)は、梁のせん断力(V)と層間変形角(R)の関係を示したものである。いずれの試験体も原点復帰傾向の強いPCaPC部材特有の履歴を描き、スリップ傾向は見られない。

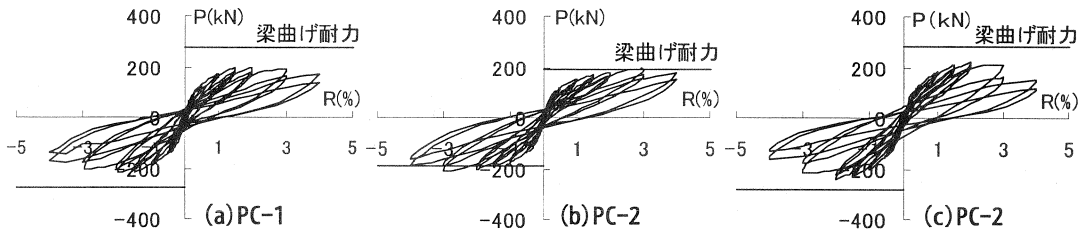


図4 荷重部材角関係

(3)最大荷重 表4は最大梁せん断力の実験値(以後、最大荷重)と計算値を比較したものである。表4中、 V_{u1}, V_{u2}, V_{u3} は(1a)式²⁾、(1b)式³⁾による接合部せん断耐力時の梁せん断力であり、接合部有効せいとして、それぞれ柱せい、0.8×柱せい、PC鋼材の定着長を与えた。 V_M は梁がe関数法による終局モーメント(縁ひずみ=0.35%、圧縮強度時ひずみ=0.25%)に達したときの梁せん断力である。表4より以下のことが指摘できる。

- ①PC鋼材間距離450mmで柱をPCとしたN3-PC3の最大荷重は、柱をRCとしたN3-PC1より約11%大きい。PC鋼材間距離300mmのN3-PC2と450mmのN3-PC1の最大荷重には有意な差異は見られない。
- ②PC鋼材間距離を450mmとしたN3-PC1とN3-PC3の最大荷重は曲げ終局強度(V_M)を下回っているが300mmとしたN3-PC2は曲げ終局強度(V_M)に達している。
- ④接合部せん断耐力時の梁せん断力の計算値($V_{u1} \sim V_{u3}$)の実験値に対する適合性は、柱梁接合部の有効せいをPC鋼材の定着長とした場合(V_{u3})が最も高い。

表4 最大梁せん断力の実験値と計算値の一覧

試験体	最大荷重 V_u (kN)			計算値 (kN)			実験値/計算値				破壊モード	
	正	正	負	V_M	V_{u1}	V_{u2}	V_{u3}	V_e^*/V_M	V_e^*/V_{u1}	V_e^*/V_{u2}		V_e^*/V_{u3}
N3-PC1	196.5	219.3	207.9	273.3	333.0	266.5	199.9	0.761	0.624	0.780	1.040	J
N3-PC2	191.2	210.9	201.1	190.1	322.3	252.0	184.8	1.058	0.624	0.798	1.088	BJ
N3-PC3	220.8	241.3	231.0	279.1	343.3	274.6	206.1	0.823	0.673	0.841	1.121	J

破壊モード：J=接合部破壊 BJ=曲げ降伏後の接合部破壊 V_e^* : 梁最大せん断力の正負平均実験値

$$V_u = \frac{2 \cdot D_j \cdot b_j \cdot j_{be}}{L \cdot [1 - (D_c/L) - (j_{be}/H)]} \cdot \tau_{ju} \quad \text{-----(1a)}^{2)}$$

$$\tau_{ju} = 0.587 \cdot \sigma_B^{0.718} \quad \text{-----(1b)}^{3)}$$

ここに、 D_c , b_j , D_j : 柱せい(mm), 柱梁接合部の有効幅(mm), 柱梁接合部の有効せい(mm)
 j_{be} : 柱梁接合部の等価応力中心間距離=0.8 D_b (mm) H, L: 階高(=2900mm), スパン(=6400mm)

(4)接合部せん断ひび割れ荷重 表5は接合部せん断ひび割れ時の梁せん断力の実験値(以後、接合部せん断ひび割れ荷重)と(2a)式、2(b)式による計算値を示したものである。表5より以下のことが指摘できる。

- ①柱がRC造でPC鋼材間距離450mmのN3-PC1と300mmのN3-PC2の接合部せん断ひび割れ荷重に有意な差異は見られないがPC鋼材間距離450mmで柱をPCとしたN3-PC3の接合部せん断ひび割れ荷重はRC造したN3-PC1より約38%大きい値を示している。
- ②実験値/計算値は0.485~0.6の範囲にあり、計算値は実験値をかなり過大評価していることが分かる。

表5 接合部せん断ひび割れ荷重の実験値と計算値の比較

試験体名	実験値 V_c (kN)			層間変形角 R (%)			計算値 V_c (kN)	V_e^*/V_c
	正	負	平均	正	負	平均		
N3-PC1	115.3	122.9	119.1	0.375	0.325	0.350	240.3	0.496
N3-PC2	115.3	129.0	122.2	0.450	0.425	0.438	203.2	0.601
N3-PC3	162.4	165.4	163.9	0.763	0.644	0.703	338.2	0.485

$$V_c = 2 \cdot V_{jc} \cdot j_b / [L - D_c - (L/H) \cdot j_b] \quad \text{-----(2a)} \quad V_{jc} = b_j \cdot D_c \sqrt{\sigma_T^2 - (\sigma_o + \sigma_g + \sigma_{gc})} \cdot \sigma_T + (\sigma_o + \sigma_{gc}) \cdot \sigma_g \quad \text{-----(2b)}$$

ここに、 $\sigma_g = P_e / (b_c \cdot h_i)$, $\sigma_{gc} = P_{ec} / (b_c \cdot D_c)$, $\sigma_o = N / (b_c \cdot D_c)$, σ_T : コンクリートの引張強度 = 0.07 σ_B (N/mm²)
 ΣP_e , ΣP_{ec} , N : 梁の有効プレストレス力, 柱の有効プレストレス力と軸力 b_c , D_c : 柱幅, 柱せい
 j_b : 梁の応力中心間距離=(7/8)×梁の有効せい b_j : 柱梁接合部の有効幅=($b_b + b_c$)/2 (mm)
 h_i : 柱梁接合部でのプレストレスを計算するための有効高さ= $D_b + D_c/2$ (mm)

(5) **接合部の変形成分と柱梁接合部への入力せん断力** 図5(a)~(c)は層間変形に占める柱梁接合部変形の割合を示したものである。接合部破壊が先行したN3-PC1とN3-PC3の接合部の変形成分は終局で50%を超えている。これに対して、曲げ降伏が先行したN3-PC2のせん断変形成分は終局でも約20~30%である。

図6(a)~(c)は、各試験体の層間変形角と(3)式による接合部入力せん断力の関係を示したものである。表6は最大梁せん断力の実験値(以後、最大荷重)、このときの接合部入力せん断力の実験値、靱性保証型指針の平均値式による接合部せん断耐力の一覧を示したものである。図5と表6より、以下のことが指摘できる。

- ①最大荷重時入力せん断力 V_{je} は、(4)式に示す接合部せん断耐力(V_{ju})の1.08~1.344倍の値を示している。
- ②曲げ降伏が先行し、柱梁接合部のせん断劣化が最も軽微であったN3-PC2の接合部入力せん断力は、3体中最も大きい。この試験体の接合部の変形成分は3体中最も小さく(図5)接合部のせん断劣化も軽微であった。以上のことから、接合部入力せん断力は接合部の損傷に直接関係しない場合があることが分かる。

表 2.2.11 接合部入力せん断力に対する検討

試験体	V_c (kN)			V_{je} (kN)			破壊モード	V_{ju} (kN)	V_{je}^*/V_{ju}
	正	負	平均	正	負	平均			
N3-PC1	196.5	219.3	207.9	1053	1108	1080.5	J	997	1.083
N3-PC2	191.2	210.9	201.1	1421	1337	1379.0	BJ	1026	1.344
N3-PC3	220.8	241.3	231.0	1212	1174	1193.0	J	1028	1.161

V_c : 最大荷重 V_{je} : 最大荷重時における接合部入力せん断力の実験値 V_{ju} : (4)式による柱梁接合部せん断耐力
 $V_j = T_p - V_c$ ----- (3)
 ここに、 V_j : 接合部入力せん断力 T_p : 柱フェイスにおけるPC鋼材の引張力 V_c : 柱のせん断力
 $V_{ju} = 0.587 \cdot \sigma_B^{0.718} \cdot b_j \cdot D_j$ ----- (4)³⁾
 ここに、 σ_B : コンクリート圧縮強度(N/mm²) D_j : 接合部の有効せい(PC鋼材の定着長) b_j : 接合部の有効幅=450mm

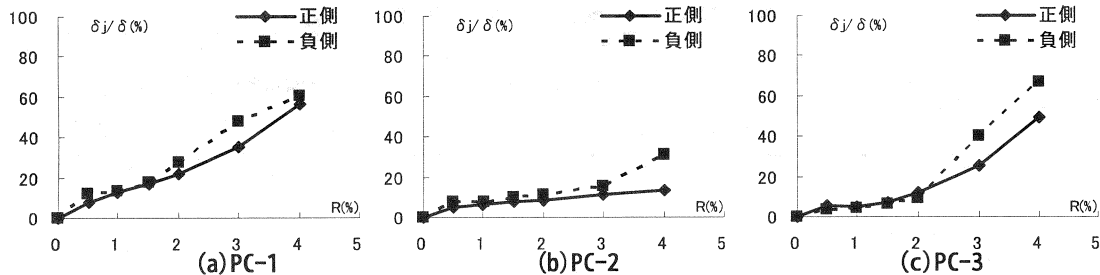


図5 接合部入力せん断力-部材角関係

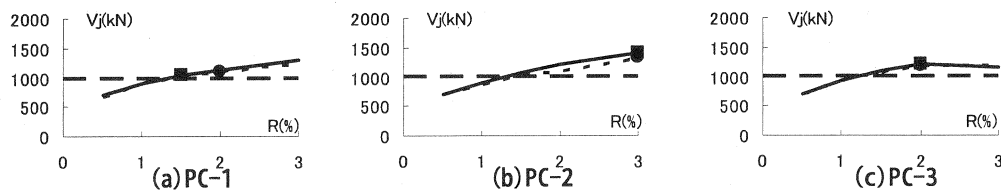


図6 接合部入力せん断力-部材角関係

4 まとめ

- ①PC鋼材間距離が最大荷重に及ぼす影響はみられなかったが、柱にプレストレスを与えることによって約11%の耐力上昇が見られた。
- ②接合部せん断ひび割れ荷重はPC鋼材間距離に依存しなかったが、柱にプレストレスを与えることによって約38%増加した。主応力式による計算値は実験値を過大評価し、実験値は計算値の0.485~0.6であった。
- ③接合部内の最大入力せん断力は接合部の損傷に直接関係しなかった。

参考文献

- 1) 岡本晴彦ほか: PC造柱梁接合部研究委員会報告 第2年度までの中間成果-その1 研究概要, PC技術協会第12回シンポジウム論文集, 2003年10月, pp.133-136
- 2) 浜原正行ほか: PC造柱梁接合部研究委員会報告 第2年度までの中間成果-その2 実験結果と評価, PC技術協会第12回シンポジウム論文集, 2003年10月, pp.133-136
- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型指針(案)・同解説, 1997年7月, pp.241-249