

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 -

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

1. はじめに

RC 規準¹⁾をはじめとする内外の規基準においては、接合部せん断耐力が入力せん断力を上回っていることを規範としており、入力せん断力には接合部水平せん断力の最大値が採用されている。前報-その1-でも触れたように、PC 建物はRC 建物と比較すると接合部入力せん断力がかかなり大きくなるため、上記の規範に従うと、PC 接合部の設計はかなり困難となる。しかしながら、PC 接合部の水平せん断力最大値の発生範囲は局所的であり、接合部の耐力がこのような局所的応力に支配されるか否かについては議論の余地がある。

通常のPC 建物では、PC 定着具を接合部内に設置することが多い。このような場合、接合部は定着具によって有効体積が減少するだけでなく、そのせん断伝達も阻害される可能性がある。定着具は支圧板タイプとキャストタイプに大別できる。後者のタイプを用いた場合、緊張力は定着具外周のリブを介して伝達されることになり、支圧板タイプとは若干異なっている。しかしながら、キャストタイプの定着具を用いたときの接合部の挙動については、実験例がほとんど無く、不明な点多数残されている。

本稿では前報-その1-でもその概要について触れたN1, N2 シリーズの実験についての報告を行う。具体的には、PC 鋼材の配置、緊張力の有無、定着具の位置とタイプがPC 接合部の力学的挙動に及ぼす影響を実験的に検討し、さらにPC 接合部の終局強度の推定法を提案しようとするものである。

2. 実験概要

試験体 試験体は柱をRC 造としたト型部分架構であり、PC 鋼材を梁断面の中央に一段配置したN1 シリーズと梁断面の上下に2段配置したN2 シリーズからなっている。実験要因は表1に示すように、PC 鋼材の配置、緊張力の有無、定着具の位置とタイプである。図1(a)~(d)に試験体配筋詳細の一例を示す。

表1 試験体概要

試験体	PC 鋼材			梁主筋 材種 SD490	定着体		断面寸法(mm)			
	本数 タイプ	ΣPe (kN)	e/D_b		位置*	タイプ	梁		柱	
N1-RC	---	0	---	4-D35	---	---	$b_b=400$ $D_b=600$	$b_c=500$ $D_c=500$ $d_c=440$	軸力=750kN	
N1-PC1	1	1300	0	3-D32	0.65 D_c	支圧板	$d_r=540$ $d_p=300$	$b_c=500$ $D_c=550$ $d_c=490$	軸筋(SD490)=4 段配筋 12-D25	
N1-PC2	E5-12						肋筋=D13@150		帯筋= D13@100	
N2-RC	---	0	---	4-D38	---	---	$b_b=400$ $D_b=600$	$b_c=500$ $D_c=550$ $d_c=490$	軸力=825kN	
N2-PC1	2	1200	1/4	2-D35	0.6 D_c	支圧板	$d_r=540$ $d_p=450$	$b_c=500$ $D_c=550$ $d_c=490$	主筋(SD490)=4 段配筋 12-D32	
N2-PC2							肋筋=D13@150		帯筋= D13@100	
N2-PC3							キャスト			

スパンL=6.4m, 階高H: N1 シリーズ=2.5m, N2 シリーズ=2.9m ΣPe =有効緊張力の総和(kN), e =偏心距離(mm), b_b, D_b =柱せい, 柱幅(mm), b_c, D_c =梁幅, 梁せい(mm), d_r, d_p =鉄筋, PC 鋼材に関する有効せい(mm), 柱内側フェイスからの距離

実験方法と材料試験結果 図2に加力装置と相対変形測定装置を示す。試験体は柱脚をピン、梁先端をローラーとし、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Rは相対変形(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にそれぞれコンクリートと鋼材の材料試験結果を示す。

表2 コンクリートの材料試験結果

	N1-RC	N1-PC1	N1-PC2	N2-RC	N2-PC1	N2-PC2	N2-PC3
$\sigma_B(N/mm^2)$	21.0	23.5	23.9	24.1	26.3	28.8	30.4
$E(\times 10^4 N/mm^2)$	2.16	2.13	2.18	2.30	2.23	2.25	2.40
$\sigma_T(N/mm^2)$	1.85	2.04	2.07	2.30	2.28	2.15	2.40

σ_B =圧縮強度, E =ヤング係数, σ_T : 割裂強度

表3 鋼材の材料試験結果

使用部位	N1 シリーズ					N2 シリーズ				
	D13	D25	D32	D35	7本よりφ12.7	D13	D32	D35	D38	7本よりφ12.7
筋帯筋	369	550	508	518	1803	348	518	532	528	1896
柱軸筋	546	717	651	677	1975	505	674	696	687	2036
PC 梁軸筋										
RC 梁軸筋										
PC 鋼材										
σ_y (N/mm ²)	369	550	508	518	1803	348	518	532	528	1896
σ_u (N/mm ²)	546	717	651	677	1975	505	674	696	687	2036
E (×10 ⁴ N/mm ²)	1.87	1.82	1.85	1.85	1.923	1.86	2.09	2.04	1.97	1.940

σ_y =降伏強度, σ_u =引張強度, E=ヤング係数

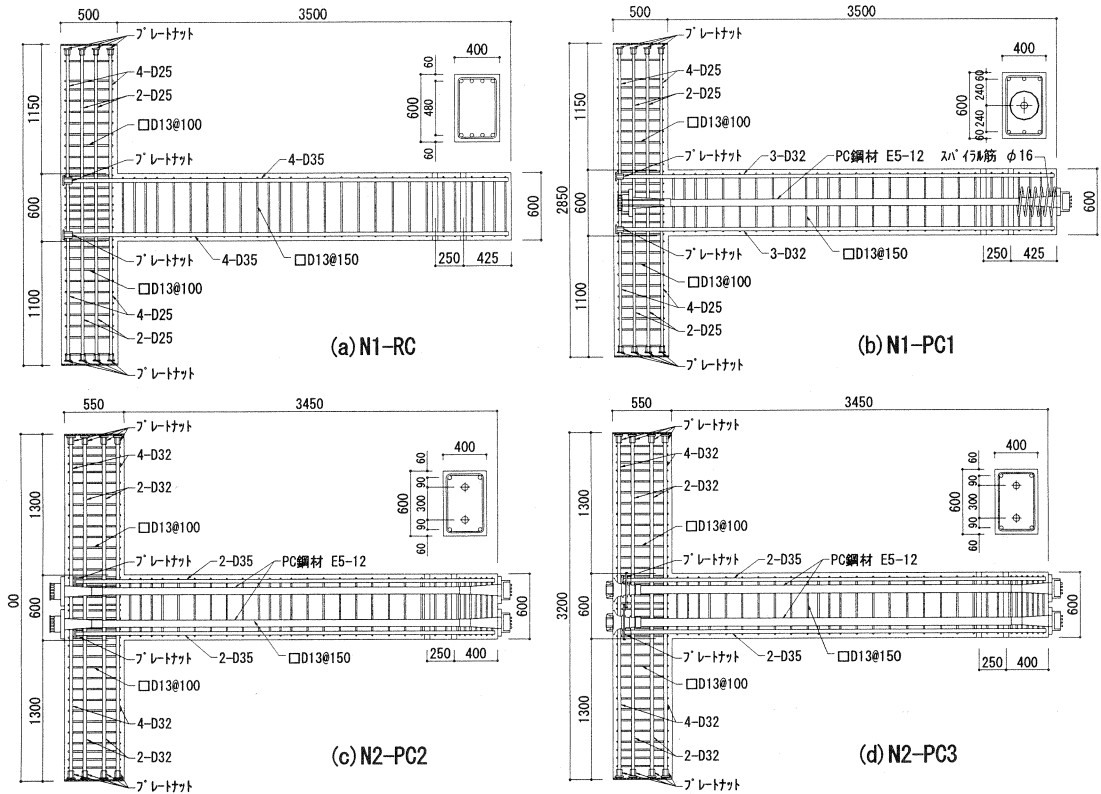


図1 試験体詳細図(単位 mm)

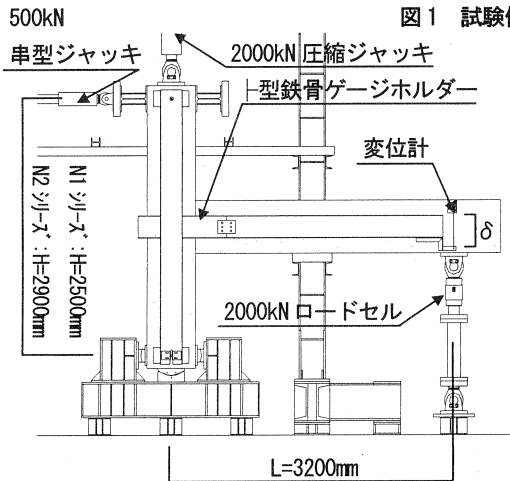


図2 加力装置図

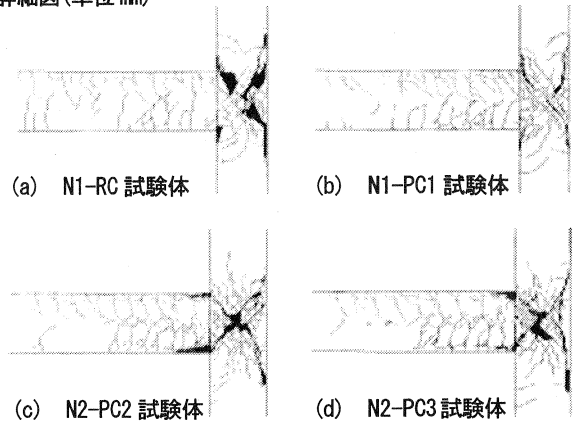


図3 破壊状況

3. 実験結果

最終破壊状況と荷重—層間変形角関係 図3(a)～(d)に最終破壊状況の一例を示す。いずれの試験体も柱梁接合部のせん断劣化によって耐力低下を起こした。図4(a)～(g)に梁せん断力と層間変形角の関係を示す。履歴ループはいずれの試験体も逆S字型を描いており、ループ幅については、PCのほうがRCより若干広い。

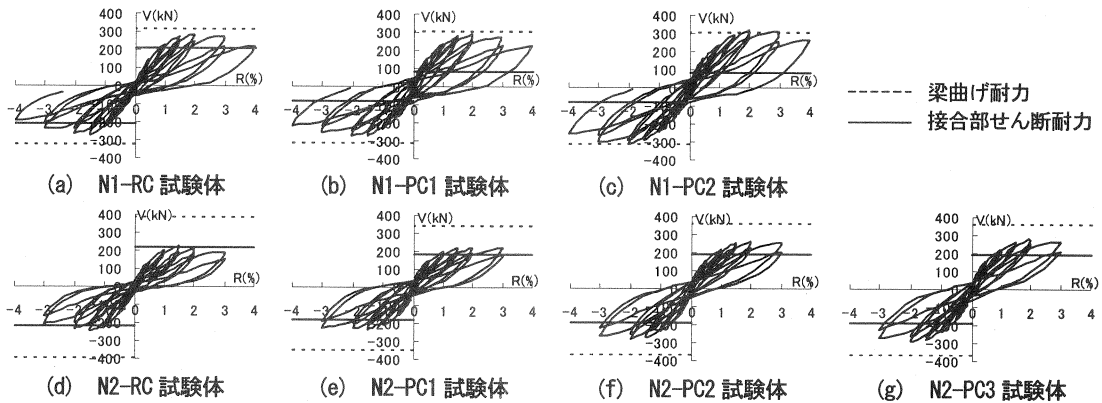


図4 荷重-層間変形角関係

最大耐力 表4は最大耐力の実験値と計算値を比較したものである。表中、 eV_{max} は最大荷重(梁最大せん断力の実験値)、 eV_M は曲げ終局強度(e 関数法による終局モーメントに達したときの梁せん断力)、 eV_u は接合部せん断耐力時における梁せん断力(接合部入力せん断力が(1)式に達したときの e 関数法による梁せん断力)、 eV_{ju} は最大荷重時における接合部入力せん断力の実験値((2)式による)、 $eV_{ju}^{(2)}$ は(1)式による接合部せん断強度計算値を示している。表4より以下のことが指摘できる。

①RCと定着具を接合部内に設置したPC1の最大荷重 eV_{max} を比較すると、PC1/RCはN1シリーズで $279.5/278.3=1.004$ 、N2シリーズで $226.3/235.8=0.96$ となり、両者の最大耐力の間には本質的な違いは見られない。定着具を接合部外に設置したPC2、PC3と接合部内に設置したPC1の梁最大荷重 eV_{max} を比較すると、N1シリーズで $PC2/PC1=313.6/279.5=1.13$ 、N2シリーズで $PC2/PC1=270.3/226.3=1.19$ 、 $PC3/PC1=281.7/226.3=1.24$ となり、定着具を接合部外に設置した試験体は接合部内に設置したものより約13～24%大きい。

③最大荷重 eV_{max} と接合部せん断耐力時における梁せん断力 eV_u の比 eV_{max}/eV_u はRCがN1シリーズで1.179、N2シリーズで1.073であり、実験値と計算値は比較的良好に一致している。これに対して、PCはN1シリーズで約2.6～2.8、N2シリーズで約1.3～1.5となっており、実験値が計算値を大きく上回っている。

④PCの接合部入力せん断力 eV_{ju} はRCの約1.2～1.6倍の値となっている。また、PCの接合部入力せん断力の実験値と計算値の比 $eV_{ju}/eV_{ju}^{(2)}$ は約1.3～1.8となっており、(2)式は実験値をかなり過小評価している。一方、RCの接合部せん断耐力については、 $eV_{ju}/eV_{ju}^{(2)}$ が約1.2であり、(2)式で比較的精度よく推定できる。

表4 最大耐力の実験値と計算値の比較

シリーズ	試験体	eV_{max} (kN)	eV_M (kN)	eV_u (kN)	eV_{max}/eV_M	eV_{max}/eV_u	eV_{ju} (kN)	$eV_{ju}^{(2)}$ (kN)	$eV_{ju}/eV_{ju}^{(2)}$	$\frac{eV_{ju}(PC)}{eV_{ju}(RC)}$
N1	N1-RC	278.3	325.6	236.0	0.855	1.179	1320	1074	1.229	---
	N1-PC1	279.5	306.1	108.4	0.913	2.578	2010	1164	1.727	1.523
	N1-PC2	313.6	306.8	110.4	1.022	2.841	2130	1178	1.808	1.614
N2	N2-RC	235.8	387.2	219.8	0.609	1.073	1379	1134	1.216	---
	N2-PC1	226.3	349.1	177.3	0.648	1.276	1644	1209	1.360	1.192
	N2-PC2	270.3	360.3	187.2	0.750	1.444	1745	1289	1.354	1.265
	N2-PC3	281.7	367.3	193.5	0.767	1.455	1738	1340	1.297	1.260

$$eV_{ju} = 0.587 \cdot \sigma_B^{0.718} \cdot b_j \cdot D_j \dots\dots\dots(1)$$

$$eV_{ju}^{(2)} = T_p + T_p - V_c \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 D_j =接合部せい(梁軸筋定着長の水平投影長さ N1シリーズ=470mm, N2シリーズ=450mm)、 b_j =接合部有効幅(=450mm)、 T_p 、 T_p =ひずみの測定値から求めた柱フェイスにおける梁主筋とPC鋼材の引張力(kN)、 V_c =柱せん断力(kN)

4. 柱梁接合部終局強度の推定式

柱梁接合部終局強度式 3節より, PCの最大耐力時における接合部入力せん断力はRC韌性保証型指針式を大きく上回ったが, 最大耐力についてはRCとPCの間に本質的な違いは見られないことが分かった。1節でも述べたが, PC接合部内での最大せん断力の発生範囲は局所的であり, 上記の結果は接合部の破壊がこのような局所的応力に支配されないことを示唆している。本節では, この結果を勘案してPC柱梁接合部終局強度の推定式を誘導する。

まず, 節点モーメント M_j を節点に集まる柱の曲げモーメントの総和または梁の曲げモーメントの総和と定義すると, 接合部に入力するせん断力 V_j は(3)式で表すことができる。

$$V_j = [(1/j_b) - D_c / (L \cdot j_b) - (1/H)] \cdot M_j \text{----- (3)}$$

ここに, j_b は梁の等価応力中心間距離であり, 接合部の破壊が最大せん断力ではなく接合部内での平均せん断力に支配されると考え, PC, RCに関係なく, 一律 $j_b = 0.9 \cdot d$ とした。(3)式を(1)式のRC韌性保証指針式に等しく置き, M_j について解くと, 接合部の終局強度推定式として(4)式が得られる。

$$M_{ju} = b_j \cdot D_j \cdot j_b \cdot \tau_{ju} / [1 - (D_c / L) - (j_b / H)] \text{----- (4)}$$

ここに, D_j =接合部のせい(mm ト型試験体の場合は梁筋の水平投影定着長さ, 十字型試験体の場合は柱せい), b_j =接合部の有効幅(mm), D_c =柱せい(mm), τ_{ju} は, (5)式による。

十字型試験体 : $\tau_{ju} = 0.799 \cdot \sigma_B^{0.712}$ ----- (5a)

ト型試験体 : $\tau_{ju} = 0.587 \cdot \sigma_B^{0.718}$ ----- (5b)

実験結果との比較 図5は接合部破壊が先行した試験体⁴⁾¹¹⁾について(4), (5)式による計算値 M_{ju} と最大荷重時における節点モーメント M_j の比較を行ったものである。図5より, 計算値と実験値は比較的良好よく一致していることが分かる。なお, M_j/M_{ju} の平均値と変動係数は, それぞれ1.014, 8.15%であった。

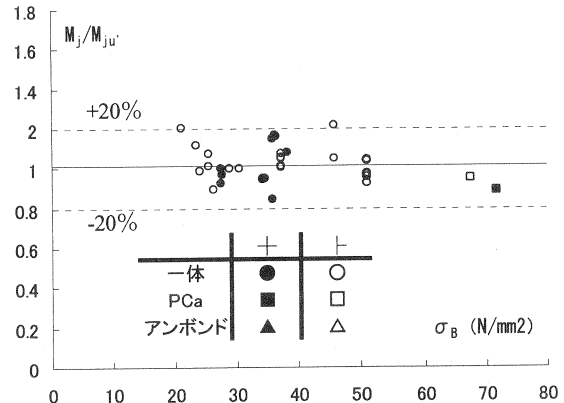


図5 式の精度

5. まとめ

- ①RC試験体と定着具を接合部の内側に設置したPC試験体の最大荷重には本質的な違いは見られなかった。
- ②接合部外側に定着具を設置したPC試験体の最大荷重は内側に設置したものより約12~24%大きかった。
- ③PC試験体の最大荷重時における接合部入力せん断力はRC試験体の約1.2~1.6倍の値となった。また, RC韌性保証型指針による接合部終局強度の計算値精度は, RC試験体に対しては比較的良好であったが, PC試験体については実験結果をかなり過小評価した。
- ④接合部の破壊が最大せん断力ではなく接合部内での平均せん断力に支配されるとの考えに基づき, PC接合部の終局強度推定式を提案し, さらに, この提案式は実験結果に対する適合性が比較的高いことも示した。

参考文献 1) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造計算規準・同解説, pp.135-169, 1999年10月
 2) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の韌性保証型耐震設計指針・同解説, pp.241-249, 1997年7月
 3) 日本建築学会: プレストレスト(鉄筋)コンクリート構造部材の設計法—現状と将来—, pp.256-257, 2000年4月
 4) 西山ほか: PC鋼材定着位置の柱梁接合部強度に及ぼす影響, 大会梗概集, pp.927-930, 2001年
 5) 雑賀ほか: 梁に緊張力を導入した鉄筋コンクリート外部柱梁接合部の接合部せん断破壊, 大会梗概集, pp.609-612, 2002年
 6) サトウほか: 梁にプレストレスのあるRC外部柱梁接合部のせん断抵抗機構, JCI年次論文集, pp.409-414, 2001年
 7) 楊ほか: プレストレストコンクリート柱梁接合部のせん断抵抗機構に関する実験的研究, JCI年次論文集, pp.685-690, 1999年
 8) 佐藤信夫: 柱・梁接合部を有するPC部材の耐力に関する実験的研究, 日大理工学部海洋建築工学科卒業論文, 2002年3月
 9) 鈴木ほか: PC構造内柱・梁接合部のせん断性状に関する研究, 大会梗概集, pp.842-845, 1997年
 10) 本間ほか: PC梁の復元力特性に及ぼす接合部の影響に関する実験的研究, 大会梗概集, pp.1001-1002, 2002年
 11) 森山ほか: 圧着接合されたプレストレストコンクリート柱梁接合部の力学的性状に関する研究, 大会梗概集, pp.613-618, 2002年