

論文

[2111] 重ね継手のある遠心成形PCa柱のせん断性能

正会員 ○小林 努 (筑波大学大学院)

正会員 山口 輝彰 (株木建設 技術研究所)

正会員 今井 弘 (筑波大学 構造工学系)

1. はじめに

柱にハーフ・プレキャスト (以下PCa) 工法を適用する開発研究が近年盛んになり、一部で実用化されているが[1, 2]、PCa部材の形や主筋の継手法にはまだ改良の余地があると思われる。本研究は、柱用に開発された重ね継手を有する遠心成形ハーフPCa柱のせん断性能に関するものである。

2. 試験体

試験体の差異と詳細を表-1と図-1に示す。試験体は、中層(5~6層程度)建物の1層部分を想定して設計されている。1体は一体場所打ち(以下RC, RC-11)、2体は鉄筋継手を持たないPCa(PC-11, PC-12)、3体が鉄筋継手を持つPCa(PC-13~PC-15)である。

PCa柱は外殻部を遠心成形により製作し、中空部分を場所打ちとするハーフPCaである。

PCa部分には、主筋位置にシースと添筋を配すとともに、外帯筋と中子筋を打ち込んでいる。主筋、帯筋等については全試験体共通である。その他の変動因子としては、数種類の軸力を用いている。

まず下梁に柱主筋を配置し、PCa柱を4隅でネジふし主筋とナットを用いて下梁上面より50mm上げて固定し、柱脚部に型枠を取り付けた。下梁には20mmの凹みがあり、柱主筋の

表-1 試験体一覧

試験体名	製作方法	鉄筋継手	軸圧縮応力 (kg/cm ²)
RC-11	一体場所打ち		30
PC-11	ハーフPCa	なし	40
PC-12			30
PC-13		あり	40
PC-14		添筋 24-D16	0
PC-15		SD345	

注) 主筋、帯筋、中子筋は全試験体共通
 主筋 12-D25 SD390
 帯筋 4-D10 SD295A @100
 溶接閉鎖型HOOPを使用
 シース 径34 山高さ2 ピッチ28

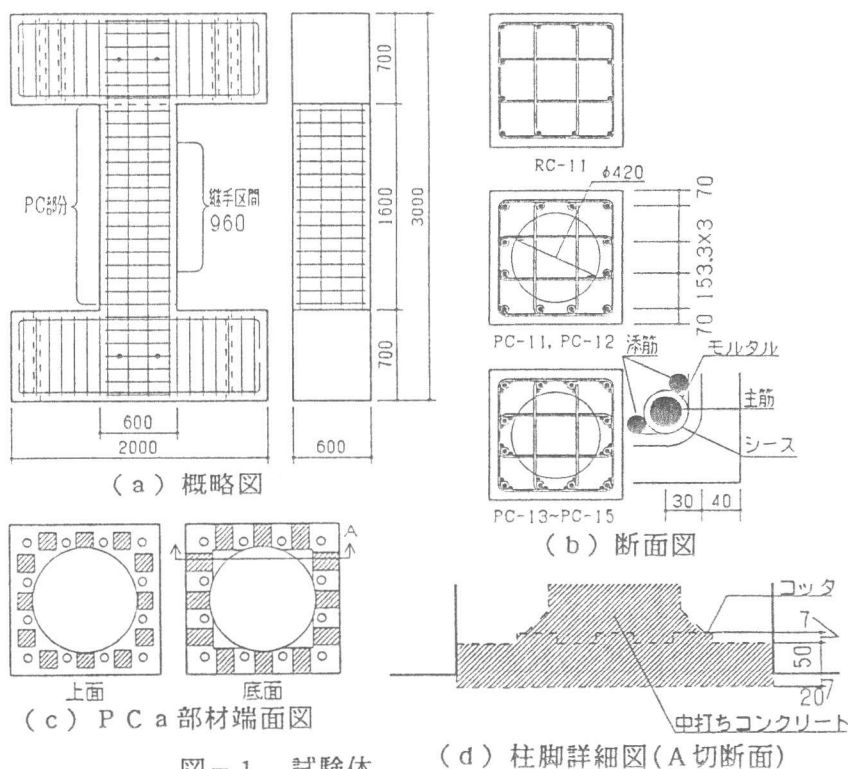


図-1 試験体

(d) 柱脚詳細図(A切断面)

長さは端部が P C a 部材の中央部になるように調整されている。次に、中空部にコンクリートを打設した後、シースに上側の柱主筋を入れ、高強度モルタルを下側より圧入した。なお、P C a 部分の上面と底面には、シアー・コッタが設けられている。

鉄筋の接合方法は、主筋の応力を高強度モルタルとシースとコンクリートを介して添筋に伝達する重ね継手である。実際の設計では 2本の添筋の断面積の和は主筋より少し大きくするが、本試験体はせん断破壊させるため、主筋の断面積を 2本の添筋より大きくした。また、添筋の重ね長さは、添筋径の30倍である。

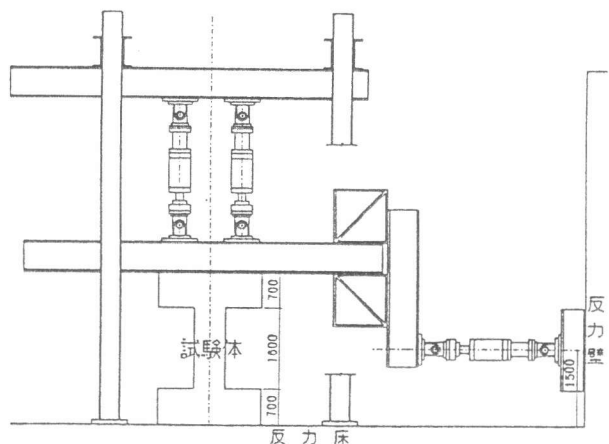


図-2 加力方法

3. 実験方法

3.1 加力方法

加力方法は図-2に示すように、2基のアクチュエーターにより試験体に一定軸力を与えた状態で、試験体中央と同じ高さで1基のアクチュエーターによりせん断力を与えるものである。

3.2 測定方法

図-3に示すように、全体変形（上下梁の相対水平変位）は、表と裏で計測された。縦、横、斜め方向の部分変形は、P I ゲージで計測された。また、試験体表面の初期歪は、3ヶ所で3方向ゲージにより調べた。鉄筋の歪は、一体につき26~40点程度を測定した。

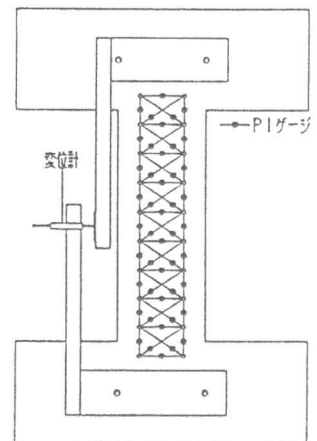


図-3 測定方法

3.3 加力履歴

各試験体とも層間変形角（以下R）で1/800を正負各1回、1/400, 1/200, 1/100, 1/50を正負各 2回づつ加力した後に、正の1/25まで加力し実験を終了した。

4. 材料試験結果

鉄筋とコンクリートの材料試験結果を、それぞれ表-2と3に示す。コンクリートの強度は、設計強度とほぼ同じであったが、モルタル強度は試験日の材令によって異なっている。

表-2 鉄筋の試験結果

径	材種	ヤング率 (t/cm ²)	降伏点 (t/cm ²)	引張強さ (t/cm ²)	伸び (%)
D 10	SD 295 A	1810	3.50	4.65	24.2
D 16	SD 345	1800	3.77	5.57	20.6
D 25	SD 390	1890	4.50	6.20	22.0

表-3 コンクリートの圧縮強度

試験体名	設計強度 (kg/cm ²)	実強度 (kg/cm ²)
R C - 1 1	2 4 0	2 4 6
P C - 1 1	4 0 0	4 3 0
P C - 1 2		4 7 6
P C - 1 3		4 9 3
P C - 1 4		4 6 3
P C - 1 5		4 6 9
中打ちコンクリート	2 4 0	2 7 1
モルタル (4 週)	6 0 0	7 8 5
モルタル (7 週)		8 6 2

注) モルタル(4週)と(7週)は実験日材令を示しそれぞれ PC-11と PC-12~ PC-15の試験日に近いものである。

5. 実験結果

5.1 ひび割れ状況

図-4にR=1/200と1/50変形時のひび割れを示す。各試験体ともR=1/800に向かう加力途中で柱脚及び柱頭に曲げひび割れが発生した。

PCa試験体のせん断ひび割れはR=1/400に向かう加力中に発生した。しかし、RC試験体のせん断ひび割れはR=1/400では発生せず、R=1/200に向かう加力中に発生した。同一変形角ではPCa試験体のせん断ひび割れの幅がRC試験体より大きく、また数も多い傾向がある。RC試験体は対角状にせん断ひび割れが入るのに対し、PCa試験体では45度方向のひび割れが多い。

大変形(R=1/100以上)に至ると、RC試験体、PCa試験体ともせん断ひび割れが顕著となって来る。ただし、RC試験体が全体的にひび割れが生じているのに対して、PCa試験体は材中心軸付近に集中してせん断ひび割れが生じている。これは遠心成形PCa部分の断面の厚みが、隅角部で厚く、辺部で薄く、かつ、中心部と外殻部のコンクリートが完全に一体的挙動をしていないためであると考えられる。

また、PCa試験体では、かぶりコンクリートの剥離がR=1/50以上で始まり、R=1/25では激しくなったが、RC試験体ではR=1/25まで剥離は起こさなかった。

ひび割れ荷重の実験値と計算値を表-4に示す。ただし、表中のPCa試験体の曲げ強度の計算値ではコンクリート強度 F_c は中心部コンクリートの強度を採用し、せん断強度の計算値では外殻部と中心部のコンクリート強度に材中心軸の厚みで重み付けをした平均値を用いた。PCa試験体の初ひび割れ荷重は、RC試験体より少し小さいことが認められる。

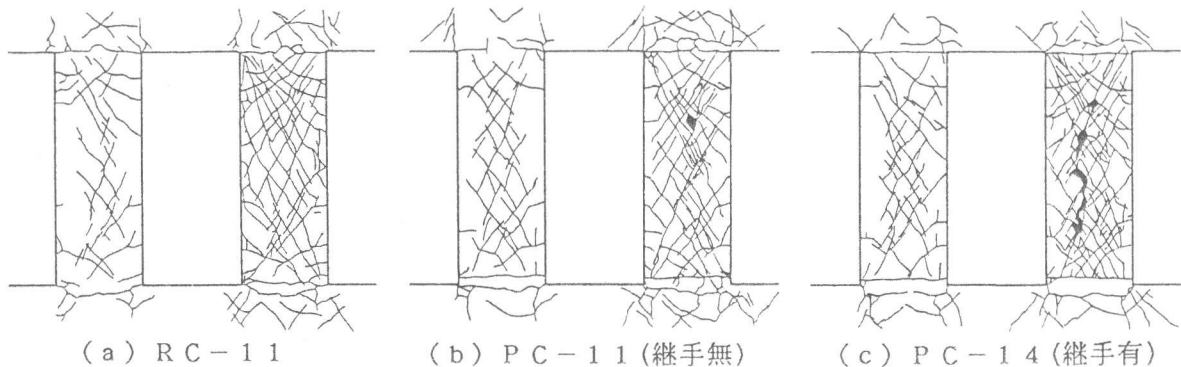


図-4 ひび割れ図(左 R=1/200 右 R=1/50)

表-4 初ひび割れ荷重

試験体名	曲げひび割れ			せん断ひび割れ		
	実験値 (t)	計算値 (t)	実/計	実験値 (t)	計算値 (t)	実/計
RC-11	31	29	1.17	76	40	1.90
PC-11	32	30	1.07	66	44	1.50
PC-12	26	34	0.76	54	45	1.20
PC-13	24	30	0.80	45	45	1.00
PC-14	24	34	0.65	60	45	1.33
PC-15	8	15	0.53	42	45	0.93

注) 曲げひび割れ計算値(QMc)、せん断ひび割れ計算値(Qc)は以下の式で算出した。

$$QMc = (1.8\sqrt{F_c} + \sigma_0) Z_e \times \frac{2}{l}$$

$$Qc = kc(500 + F_c) \frac{0.085}{M/Qd + 1.7} b e j$$

5. 2 荷重変形曲線と最大耐力

各試験体の荷重変形曲線（以下、 $Q-\delta$ 曲線）の例と包絡線をそれぞれ図-5と6に示す。RC試験体とPCa試験体は、同条件であればほぼ同じ挙動を示した。また、図-6(b),(c)より、鉄筋継手が有ると降伏後の再加力時の耐力低下が大きい。同図(d)より、軸力が大きくなっても、耐力の増加は特になく、逆にせん断破壊後の耐力低下が若干大きかった。

表-5に示すように、全試験体のせん断破壊実験値は計算値を上回っている。

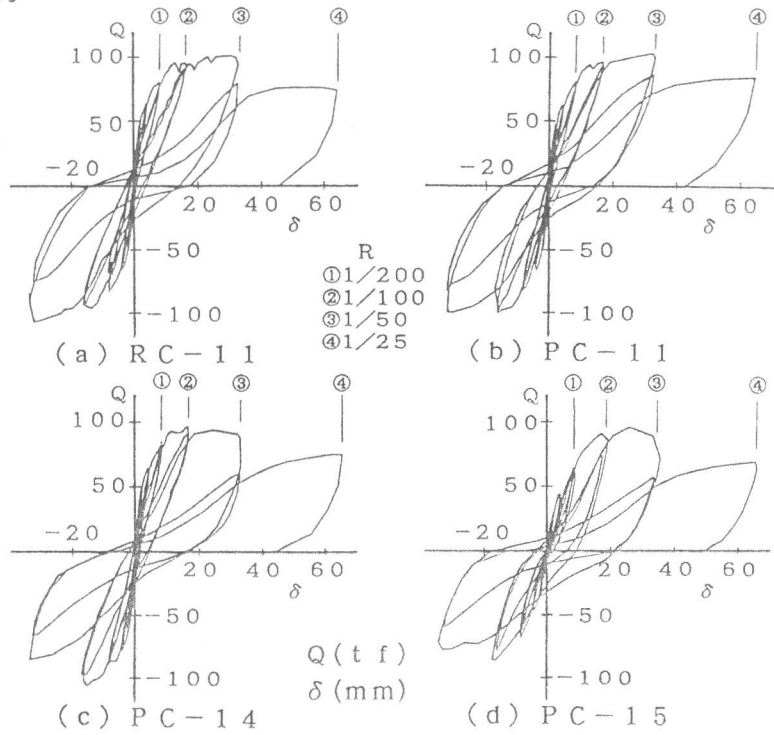


図-5 $Q-\delta$ 曲線

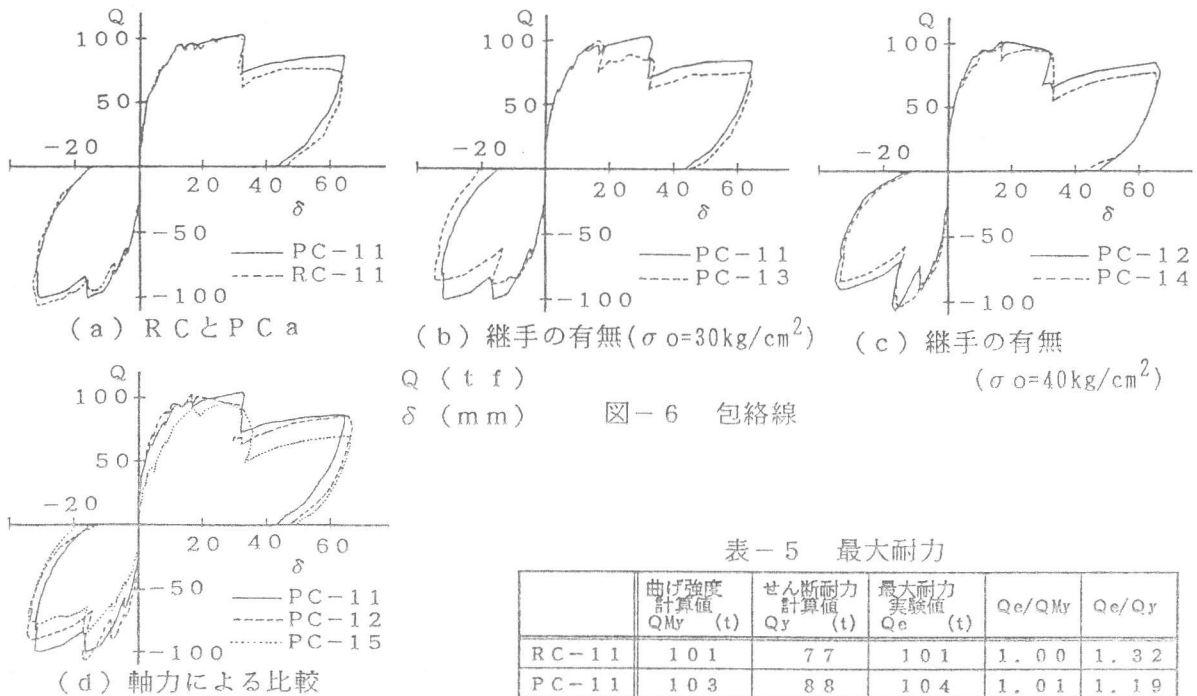


図-6 包絡線

表-5 最大耐力

	曲げ強度 計算値 Q_{My} (t)	せん断耐力 計算値 Q_y (t)	最大耐力 実験値 Q_e (t)	Q_e/Q_{My}	Q_e/Q_y
RC-11	101	77	101	1.00	1.32
PC-11	103	88	104	1.01	1.19
PC-12	114	93	102	0.89	1.10
PC-13	104	91	100	0.96	1.09
PC-14	114	92	96	0.84	1.04
PC-15	66	81	96	1.44	1.18

注) Q_{My} , Q_y は以下の式で算出した。

$$Q_{My} = \left\{ 0.8 a \sigma_y D + 0.5 N D \left(\frac{N}{b d F_c} \right) \right\} \times \frac{2}{\ell}$$

$$Q_y = \left[\frac{0.12 k u k p (180 + F_c)}{M/Q d + 0.12} + 2.7 \sqrt{p \sigma_y} + 0.1 \sigma \right] b e_j$$

5. 3 曲げとせん断の変形成分

試験体の各部の曲げとせん断の変形量の成分の例を図-7に示す。RC試験体はせん断変形より曲げ変形が占める割合が大きく、最終的に、

せん断変形が40%程度になった。それに対し、全てのPCa試験体のせん断変形は曲げ変形より大きく、最終段階では全体変形の90~100%に至った。

また、PCa試験体では打ち継ぎ目のひび割れ幅が大きいいため、柱脚と柱頭の曲率が極端に大きくなった。

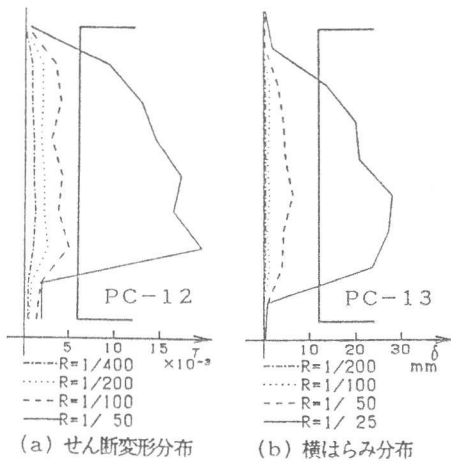
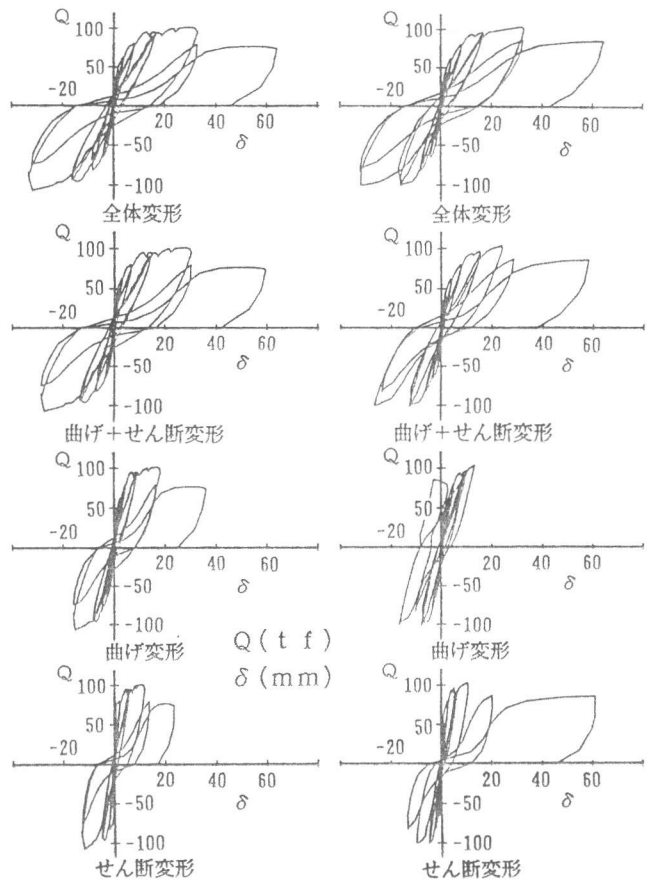


図-8 せん断変形と横はらみ分布



(a) RC-11 (b) PC-11
図-7 曲げとせん断の変形成分

図-8に示すように、柱頭と柱脚の部分で、せん断変形は比較的小さく、中央部で大きい。また、せん断変形の増大にともない、中央部分で横はらみが起こった。横はらみは最大で試験体幅の1/20程度であった。また、最終段階まで、試験体は変形の増大に伴い軸方向に伸び続けた。

5.4 コンクリートの初期せん断剛性

柱コンクリート表面のせん断歪を図-9に示す。外殻部PCa部材のヤング率はRCに比較して大きいにも関わらず、同じせん断力でもPCa試験体のせん断変形量の方が大きい。これは、中心部と外殻部のコンクリートが必ずしも一体として働いていないためであると考えられる。

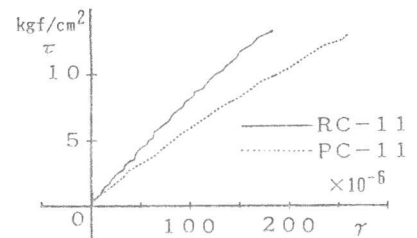


図-9 コンクリートの初期挙動

5.5 鉄筋の挙動

(1) 主筋の挙動

柱脚部同一断面の主筋の歪分布には、図-10に示すように、平面保持の仮定がよく成立している。図-11に示すように、主筋の歪分布が曲げモーメントに相似していることから、

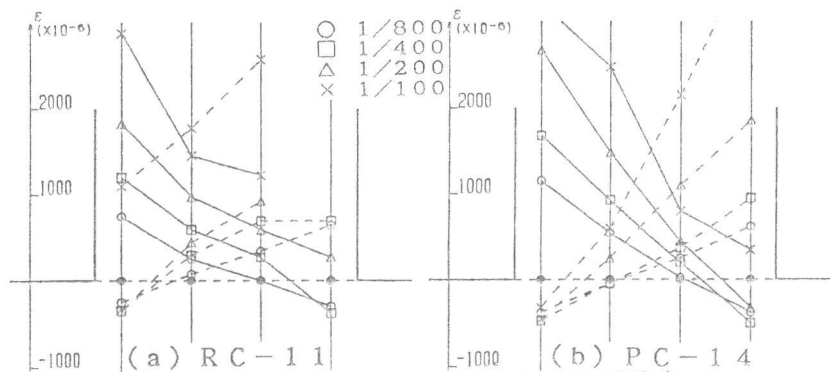
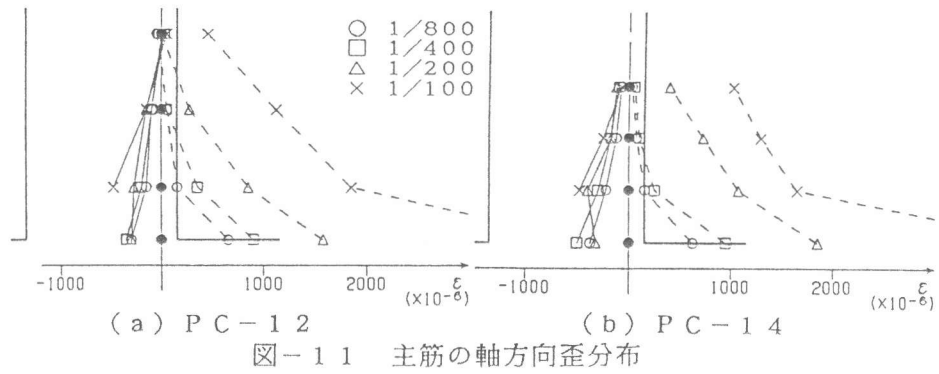


図-10 主筋の柱脚同一断面における歪分布

十分な付着能力があると言える。また、全ての試験体で、柱脚部の隅主筋は $R=1/200\sim 1/100$ で降伏しており、試験体は曲げ降伏していることを示している。



(2) 外帯筋と中子筋の挙動

RC試験体の外帯筋は図-12(a)に示すように弾性範囲内にあった。しかし、PCa試験体の外帯筋は $R=1/50$ になったときに降伏している。これは、かぶりコンクリートの剥離によるものと考えられる。中子筋は同図(b)に示すように、RCとPCa試験体とも弾性範囲内にあった。

(3) 添筋の挙動

重ね継手の設定場所が反曲点付近であったため、添筋は主筋より断面積が小さかったが、弾性範囲内であった。

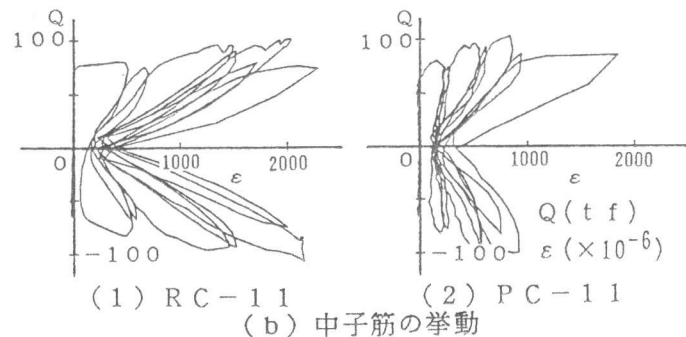
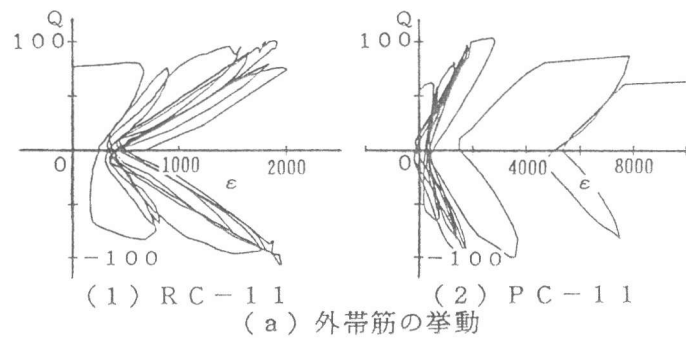


図-12 せん断補強筋の挙動

6. 結論

- (1) RC試験体は $R=1/100$ で曲げ降伏を起こした。PCa試験体は全て $R=1/200\sim 1/100$ で曲げ降伏したが、最終的にせん断破壊を起こした。
- (2) 遠心成形PCa柱ではPCa部分の材中心軸でのせん断破壊が目立った。初せん断ひび割れ耐力はRCのもの約80%であった。これは中心部とPCa部が完全に一体となって働いていないためと推定される。
- (3) 継手の有無による差はせん断降伏まではほとんど認められないが、降伏後の再加力での継手のあるものの耐力低下は、継手のないものより若干大きい。

参考文献

- 1) 松崎育弘ほか：フープ筋付プレキャスト型枠を用いたRC柱部材に関する実験研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.11、No.1、pp.661-666、1989.6
- 2) 増田安彦ほか：遠心成形プレキャストコンクリート柱の曲げせん断実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12、No.2、pp.351-356、1990.6