

論 文

[2083] せん断力を受ける PCa 柱の力学的性状に関する研究

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)
 日比野孝一 (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

ラーメン構造をプレキャストコンクリート(以下 PCa)工法で建設する場合、コンクリート、及び主筋の接合位置や方法は、構造物の挙動に大きな影響を与える。PCa 部材を柱や梁の単材とし、柱梁交差部で接合すると生産性は向上するが、コンクリートの接合位置は、設計用曲げ応力が大きいところであるため、コンクリートと同じ場所で主筋を接合する場合、鉄筋継手に対しては問題点が残される。これに対して、コンクリートの接合位置とは異なる、柱や梁部材の中央部で主筋を接合する重ね継手法が提案されている⁽¹⁻²⁾。

本研究の目的は、PCa 柱用に開発された 2 本添筋重ね継手を中段部に持つ柱が、せん断力を受けた時に示す挙動を調べることである。

2. 試験体

表-1 と図-1 に試験体の詳細を示す。試験体は中～高層の下層階の柱を想定し、断面寸法は実物の 60～80%とした。実設計では、柱は曲げ降伏先行型とされるが、本重ね継手は、地震力による曲げモーメントの小さい柱中段に配置されるため柱の耐震性能に与える影響は小さい。本研究においては、継手がせん断破壊する柱に与える影響を主に調べるために、試験体をせん断破壊先行型とした。また、2 本の添筋の断面積の和が主筋(D22)より少し大きくなるように、添筋は各主筋に対し 2-D16 とした。添筋の重ね長さは、主筋応力をゆとりを持って伝達できるように、添筋径の 30 倍とし、その 2 倍を継手区間とした⁽¹⁾。

表-1 試験体一覧

試験体の製作順序は、まず、帯筋・シース・添筋で鉄筋籠を作り、PCa 部分を横打ちする。次に、下部 PCa 梁に埋め込まれたシース内に、柱中段までの柱主筋を挿入し、セメント系グラウトモルタルを注入して固定する。PCa 柱部材を配置した後、上半分の主筋をシース内に入れ、柱下部よりモルタルを圧入する。その後、上部 PCa 梁を設置し、柱直上部分のコンクリートを打設する。

試験体は総数 8 体であり、1 体が一體打ち(以下 RC、縦打ちにて製作)、1 体が重ね継手を持たない PCa、6 体が重ね継手を持つ PCa である。パラメータは、単位断面積当たりの軸圧縮力 σ_0 とせん断補強の量と方法である。

試験体名	打設方法	継手の有無	せん断補強筋	σ_0 (kgf/cm ²)
R C 2 1	PCa	なし	4-D10 @100	30
P C 2 2		あり	2-D10 @100	
P C 2 3		あり	4-D10 @100	
P C 2 4		添筋	4+ $\sqrt{2}$ -D10 @100*	
P C 2 5		各主筋に	2-D10 @100	60
P C 2 6		2-D16	4-D10 @100	
P C 2 7		(SD345)	4+ $\sqrt{2}$ -D10 @100*	
P C 2 8				
共通事項 b × D : 50 cm × 50 cm h : 120 cm 主筋 : 16-D22 SD345 コンクリート : F _c 300 シース : 内径 34 mm, 山高さ 2 mm ピッチ 28 mm				* 表中のせん断補強筋の $\sqrt{2}$ はダイヤ筋を示す

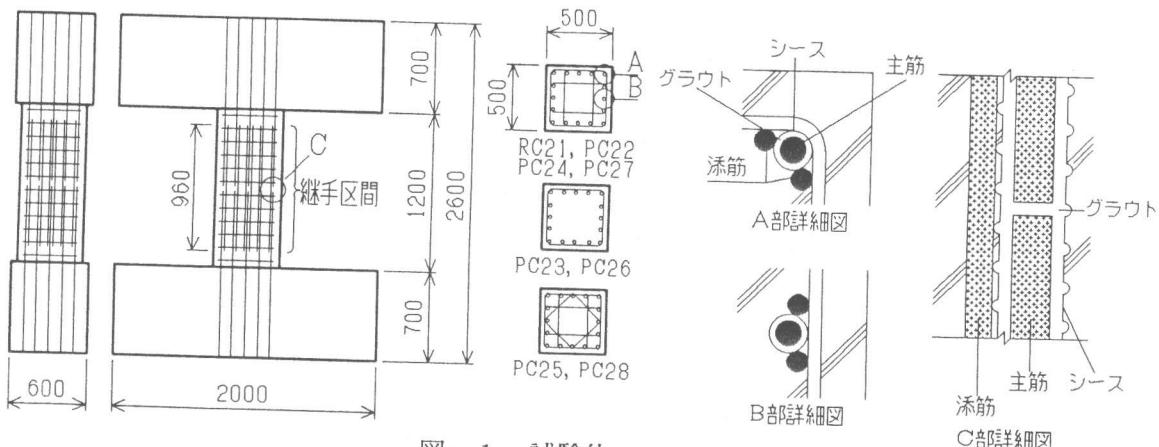


図-1 試験体

3. 実験方法

加力は、一定軸力の下で、逆対称曲げモーメントとなるようにせん断力を与えた。また、加力履歴は、部材変形角(以下R)で1/800を1回、1/400, 1/200, 1/100, 1/50を各2回、1/25を1回とする、正負交番繰り返し加力である。図-2に示すように、上下の剛な梁間の相対水平変形を、また、P I ゲージ(縦、横、斜め)により部分変形を測定した。試験体ごとに50～90点程度、鉄筋の歪を測定した。

4. 材料試験結果

材料の試験結果を表-2に示す。コンクリートは、設計強度とほぼ同じ強度を得た。鉄筋の降伏点は、規格降伏点より1～2割大きかった。

5. 実験結果

5. 1 ひび割れ状況

$R=1/400$ と $1/100$ におけるひび割れ状況を図-3に示す。 $R=1/800$ では、試験体の柱頭、柱脚部分に曲げひび割れが発生した。 $R=1/400$ では、曲げせん断ひび割れが発生し、せん断ひび割れが生じたものもあったが、激しいものではなく、パラメータによる相関も認められない。 $R=1/200$ では、すべての試験体にせん断ひび割れが生じた。せん断補強筋量の少ない2体(PC23, PC26)では、対角方向のひび割れの数が多く認められた。ひび割れの程度には、PCAや継手の有無、及び軸力の差はほとんど認められなかった。 $R=1/50$ では、PCA試験体より、RC試験体の方に小さいひび割れが数多く生じた。また、PC23では付着ひび割れが顕著になった。軸力の大きな試験体のひび割れ幅が大きかった。 $R=1/25$ になると、PC23では、付着ひび割れが大きく開き、付着破壊し、PC26では、せん断ひび割れと付着ひび割れがともに進行した。PC25ではせん断ひび割れが全体に生じていたが、大きく進行しなかった。他の試験体は、せん断ひび割れが進行し、せん断破壊に至った。

表-2 材料試験結果

径	規格	(a) 鉄筋				
		ヤング率 ($\times 10^4$)	降伏点	最大強度	伸び率 (%)	備考
D 22	SD 345	2. 14	39. 7	58. 0	15. 6	主筋
D 16	SD 345	1. 81	37. 7	57. 0	18. 2	添筋
D 10	SD 295	1. 91	38. 0	51. 3	19. 5	帶筋

試験体名	(b) コンクリート			
	RC 21	PC 22～28	グラウト	
	圧縮	割裂	圧縮	割裂
設計強度	300	—	300	—
4週強度	296	—	295	25. 8
実験時強度	18. 6	300	25. 0	778

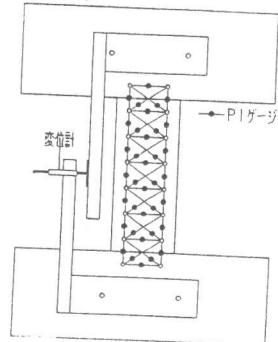


図-2 測定装置

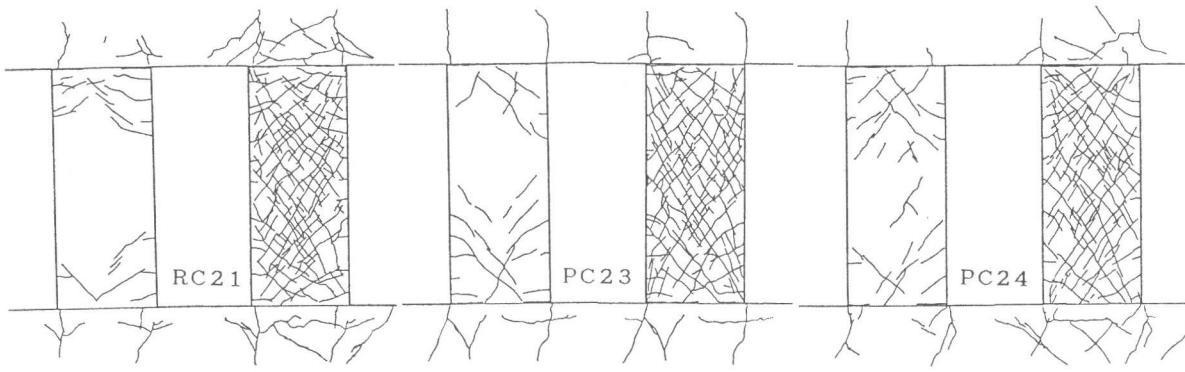


図-3 ひび割れ状況 (左: $R = 1/400$ 右: $R = 1/100$)

5. 2 荷重変形関係

荷重変形曲線（以下 $Q - \delta$ 曲線）を図-4 に示す。PC23 には付着破壊の、PC25 には曲げ降伏の、他の試験体にはせん断破壊の特徴が現れている。また、 $Q - \delta$ 曲線の包絡線による比較を図-5 に示す。RC と PCA、及び継手の有無による差は、ほとんど認められない。軸力差に関しては、軸力の大きいものの方が $R = 1/100$ 程度までは同一の変形で大きな荷重を保持し、また、最大耐力も大きい。しかし、せん断破壊後は耐力低下が著しく、軸力の小さなものより耐力が小さくなる。せん断補強筋量による比較では、補強筋量の大きいものの方が最大耐力も大きく、最大耐力後の耐力低下も小さい。

5. 3 部分変形

図-6 に曲げ変形とせん断変形の分布を示す。曲げ変形は、柱脚と柱頭で少し大きい他は、曲げモーメントの分布とほぼ同じ形である。せん断変形は、柱中段部で大きい。RC と PCA に関して、分布形も変形の大きさもほとんど差がない。

図-7 に部分変形より求めた

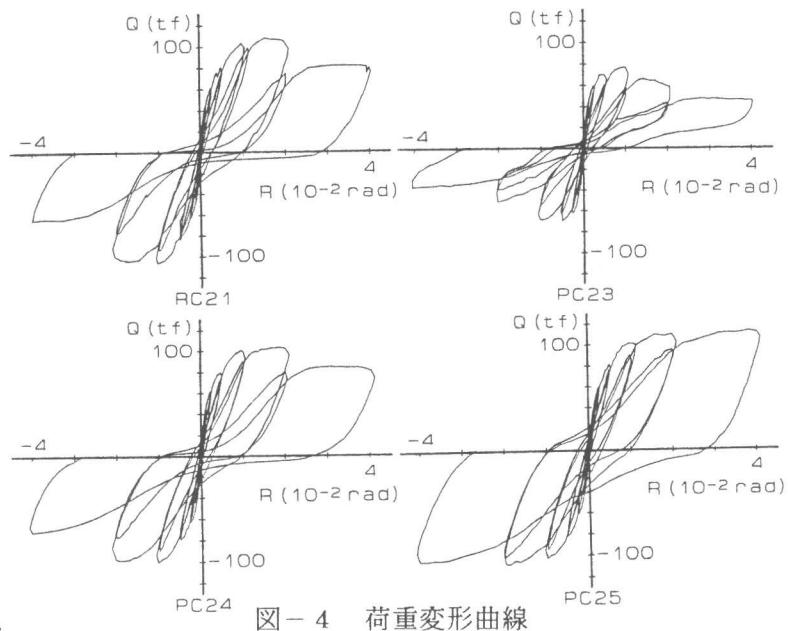


図-4 荷重変形曲線

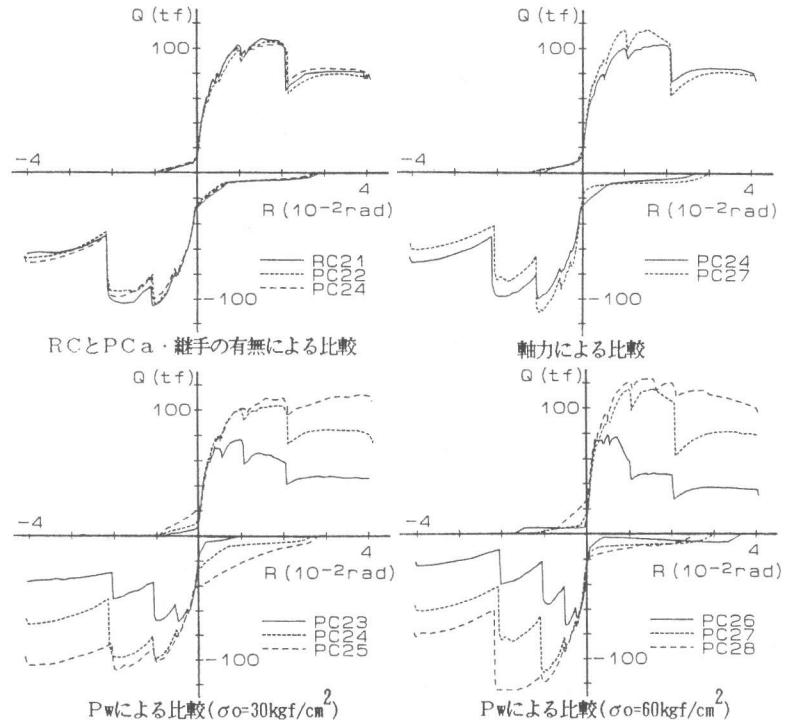


図-5 包絡線

全体変形に占める曲げとせん断の変形の割合を示す。図-7(a)に示すように、RCとPCa、継手の有無、及び軸力差による影響はほとんどなく、せん断補強筋量が同じ4体(RC21, PC22, PC24, PC27)では、小変形時、曲げ変形が7~8割であるが、変形が大きくなるにしたがって、だんだんとせん断変形の割合が大きくなり、大変形に至ると約6~7割を占めるようになる。図-7(b)に示すように、中子筋を持たないPC23, PC26に関しては、R=1/800では、中子筋を持つものと同様であるが、変形が進行するにしたがってせん断変形の占める割合が大きくなり、R=1/100で、8割を占めるようになる。ダイヤ筋を持つPC25とPC28に関しては、R=1/200程度まではダイヤ筋を持たないものとほぼ同じであるが、それ以上の変形になってもせん断変形の割合があまり増えずR=1/50まで至った。

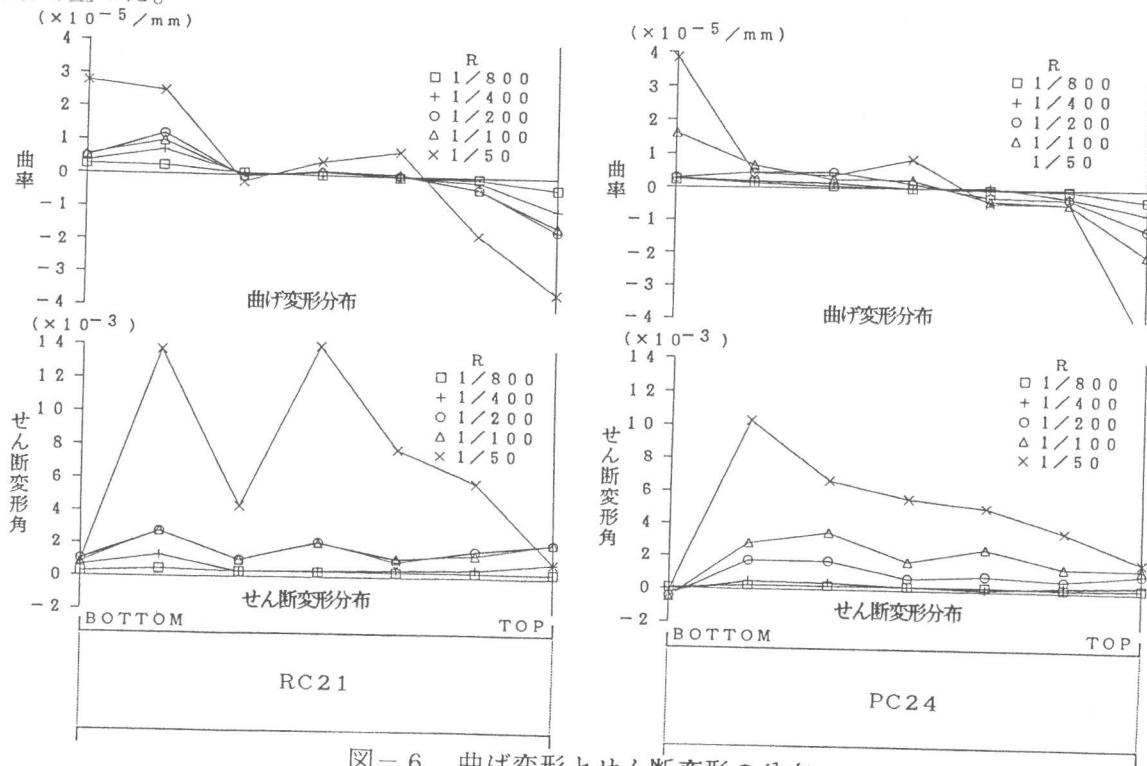


図-6 曲げ変形とせん断変形の分布

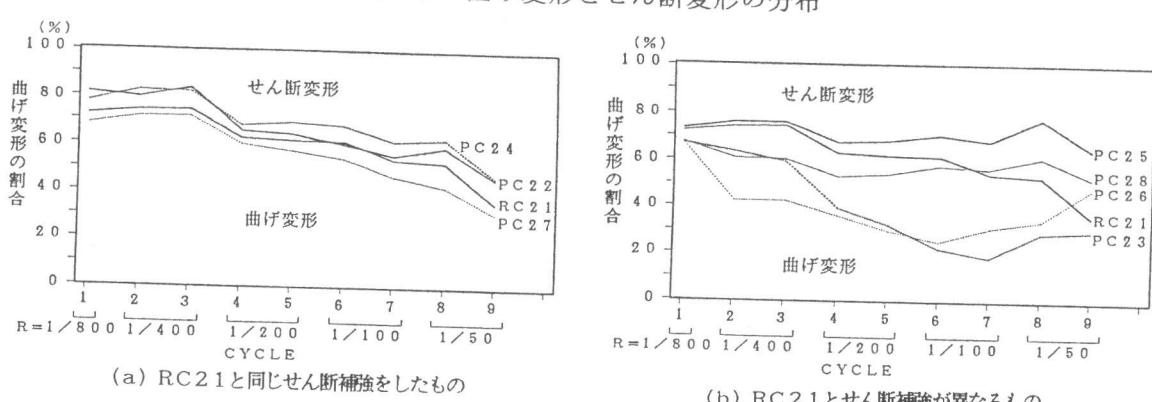


図-7 曲げとせん断の変形に占める割合

5.4 鉄筋歪

5.4.1 主筋

図-8に外側主筋の軸方向の歪分布の一例を示す。モーメント分布と同様の分布形が得られた。柱頭、柱脚における水平方向断面の主筋の歪分布より、各試験体とも平面保持が成立していたこ

とが確認された。中子筋を持たないPC23, PC26の主筋は降伏しなかった。ダイヤ筋を持ち、軸力の低いPC25の引張主筋は $R=1/100$ 変形時に降伏した。他の試験体では、 $R=1/100\sim1/50$ 変形時に外側主筋が降伏したが、内側主筋は降伏には至らなかった。

5.4.2せん断補強筋

図-9にせん断補強筋の歪分布を示す。外帯筋に関しては、RC21が $R=1/50$ で降伏し、PC24では $R=1/100$ で1ヶ所降伏したが、全体が降伏したのは $R=1/50$ になってからであり、PCAであることや継手の有無による大きな差はない。中子筋を持たないPC23, PC26では $R=1/200\sim1/100$ で降伏した。他の試験体は $R=1/50$ で降伏した。せん断力方向の中子筋に関しては、せん断補強筋量が同じである4体(RC21, PC22, PC24, PC27)は、 $R=1/100\sim1/50$ で数カ所が降伏した。RCとPCA、継手の有無による影響はほとんど現れなかった。軸力の大きいPC27の降伏状況は、他の試験体より激しいことが認められた。せん断補強筋量の大きいPC25, PC28の中子筋・ダイヤ筋はともに降伏したが歪は最大でも 300×10^{-6} 程度であった。

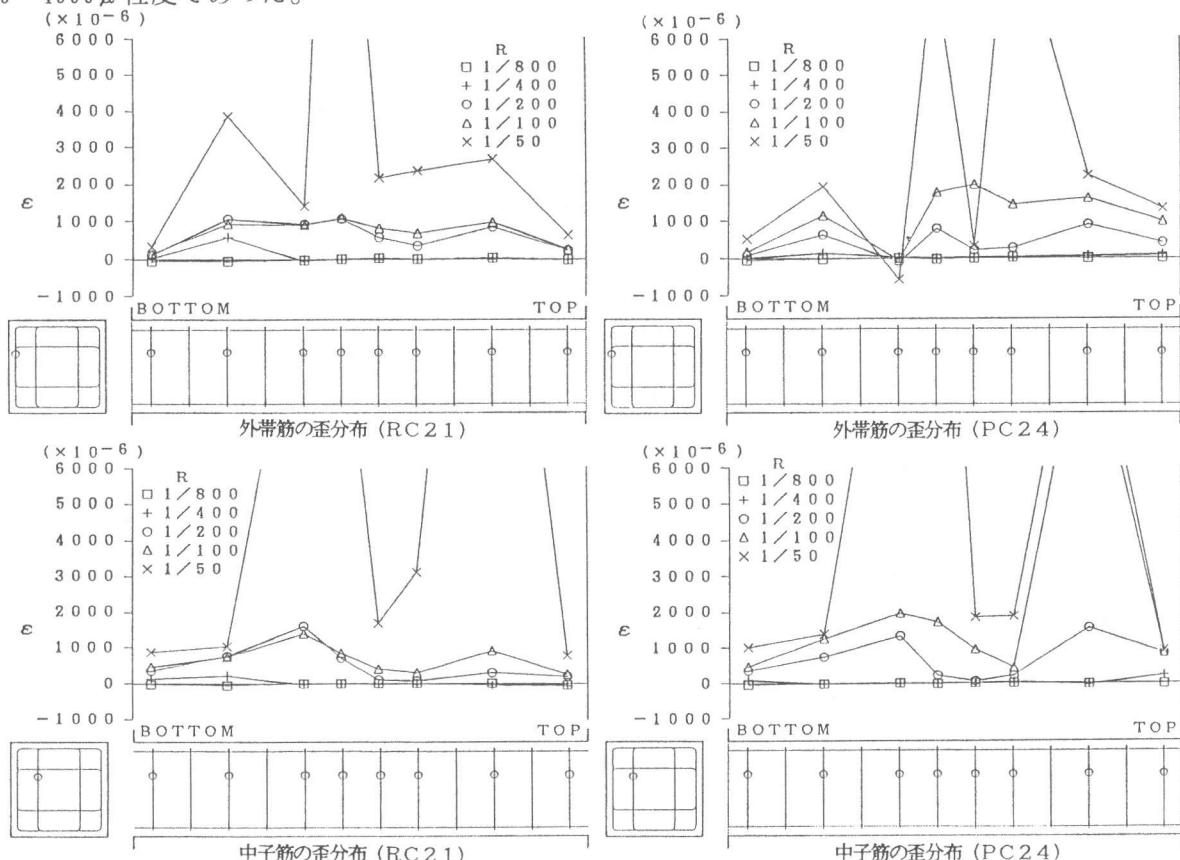


図-9 せん断補強筋の歪分布

5.4.3添筋

図-10に添筋の歪分布を示す。ほぼ弾性範囲内にあるが、大変形時に、せん断ひび割れによる局部的な降伏が生じた。

5.5 最大耐力

表-3と図-11に最大耐力の計算値と実験値の比較を示す。荒川式は、せん断耐力を低めに評価している。一方、AIJの終局強度設計指針にあるアーチ・トラス機構のせん断耐力式による計算値は、RC, PCAに関する実験値と良く一致する。本PCA柱のせん断耐力は、アーチ・トラス機構によるせん断耐力式のA法・B法の内、小さい方に軸力効果として $0.1\sigma_0$ を加えるとさらによく一致する。

6.まとめ

- 1) 重ね継手のあるPCA柱は、同等に補強された一体打ちの柱と、ひび割れ状態、耐力、変形能に関し、ほぼ同じ性能を持っていることが確認された。
- 2) 中子筋は、主筋の入ったシース外面での付着破壊を防止する上でも、効果があることが認められた。
- 3) PCA柱部材を横打ちしたことによる影響は特に現れなかった。
- 4) 本PCA柱のせん断耐力に関しては、アーチ・トラス機構によるせん断耐力式による評価が実験結果と良く一致する。

参考文献

- 1) 今井弘ほか:コンクリートと鉄筋の接合
位置が異なるPCA構造の研究(No.1~6),日本建築学会,学術講演梗概集,C,構造II,pp 723-734, 1991
- 2) 小林努ほか:重ね継手のある遠心成形PCA柱のせん断性能,日本コンクリート工学協会,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.13, No.2, pp665-670, 1991

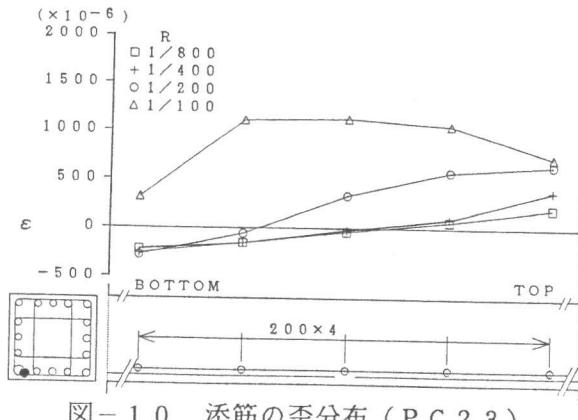


図-10 添筋の歪分布(PC 23)

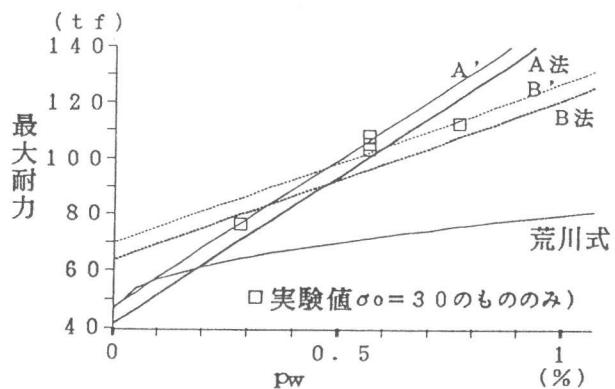
表-3 最大耐力

試験体名	計算値 (t)			実験値 (t)	実験値/計算値			
	荒川式	アーチ・トラス法			荒川式	アーチ・トラス法		
		A法	B法			A法	B法	
RC21	70.4	100.6	96.1	108.1	1.54	1.07	1.12	
PC22	70.2	100.4	96.1	105.3	1.50	1.05	1.10	
PC23	62.9	70.8	79.9	76.7	1.22	1.08	0.96	
PC24	70.4	100.6	96.1	103.5	1.47	1.03	1.08	
PC25	74.6	121.8	108.0	112.4	1.51	0.92	1.04	
PC26	69.1	71.0	79.9	79.1	1.14	1.11	0.99	
PC27	76.5	100.8	96.1	115.2	1.51	1.14	1.20	
PC28	80.6	121.8	108.0	123.1	1.53	1.01	1.14	

計算値は以下の式で算出した

$$\text{○荒川式} \quad Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 P_t^{0.23}}{M/Q_d + 0.12} + 2.7 \sqrt{P_w \sigma_y} + 0.1 \sigma_0 \right\} b_j$$

$$\text{○アーチ・トラス法} \quad Q_{su} = b_j t \cdot P_w \cdot \sigma_y \cdot \cot \phi + b \frac{D}{2} (1-\beta) \nu_o \cdot \sigma_a \cdot \tan \theta$$



注) 図中のA'、及びB'はアーチ・トラス機構によるせん断耐力式のA法・B法に $0.1\sigma_0 b_j$ を加えたものである。

図-11 最大耐力