

論文 モルタル充填式継手を用いたPCa柱主筋の付着性状に関する 実験研究

筏井文隆*1・小林克巳*2・阿瀬正明*3・虻川真大*4

要旨：モルタル充填式継手(スリーブ継手)を用いたPCa部材内のスリーブを含む主筋の付着性状には不明な点が多い。本論では、スリーブ継手が主筋の付着性状に及ぼす影響を把握するために、主筋のひずみ測定に重点をおいて、PCa柱部材と一体打ち鉄筋コンクリート柱部材の水平加力実験を行い、両者のひずみ測定結果を分析した。その結果、主筋降伏以前では、スリーブにも付着が存在し、周長換算してみかけの主筋付着応力にすると、鉄筋なみの付着力があることがわかった。また、引張力の分布から、主筋の最大引張力が生じる位置が、スリーブ上端部付近になるような挙動を示していることがわかった。

キーワード：モルタル充填式継手，スリーブ，付着応力，プレキャスト

1. はじめに

架構式プレキャスト(以下PCa)構造において、接合部の鉄筋継手にモルタル充填式継手(以下スリーブ継手)が多く用いられている。スリーブ継手は、鉄筋よりも太径のスリーブを使用し、モルタルを充填することによって鉄筋を継ぐものであるため、鉄筋の芯ずれなどの施工誤差を吸収できること、また、溶接継手等と異なり熱による鉄筋の力学的特性への影響がないことなどの利点を有する継手である。しかし、鉄筋を太径のスリーブで覆ってしまうため、スリーブ表面とコンクリートとの付着性状が、部材性能に与える影響について不明な点が多かった。スリーブには、表面にモルタルの注入、排出孔などの突起を有しているため、完全に付着がなくなるとは思われませんが、部材内でのスリーブ周囲の付着性状に言及した文献はほとんどみられない。

そこで、本論ではスリーブ継手を用いたPCa部材と一体打ち鉄筋コンクリート部材(以下RC部材)の主筋付着性状を把握するために、ひずみ測定に重点をおいた柱部材の水平加力実験を行

い、両者の主筋およびスリーブのひずみ測定結果を分析することによって、モルタル充填式継手を用いたPCa柱部材のスリーブを含む主筋の付着性状について検討したものである。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は約1/2模型とし、断面400×400mm、M/QD=2.0で、PCa試験体(PCa345-05)とRC試験体(RC345-05)の合計2体とした。試験体の一覧を表-1に、試験体およびスリーブの形状を図-1示す。コンクリートの設計基準強度は $F_c=24\text{MPa}$ 、軸力比は $\sigma_0/F_c=0.05$ とした。主筋は付着を損なわずにひずみを測定するために、たてリブに沿って溝切り加工を施した。溝切り加工による主筋の断面欠損を考慮して、主筋径D22(SD345)を使用した。その他の中段筋の主筋はD19(SD345)を使用している。スリーブ継手はD19用の実物大のものを使用した。使用材料特性を表-2に示す。試験体の設計は、柱脚部にヒンジが発生する曲げモーメントを一段筋のみを考慮した柱の曲げ終局強度略算式より

*1 福井大学大学院 工学研究科システム設計工学専攻 工修(正会員)

*2 福井大学教授 工学部建築建設工学科 工博(正会員)

*3 日本プライススリーブ(株)エンジニアリング部技術課

*4 日本プライススリーブ(株)エンジニアリング部技術課(正会員)

表-1 試験体一覧

試験体名	主筋 SD345	スリーブ 継手	P_l (%)	M/Qd	軸力 (σ_v/F_c)	補強筋量 配筋 P_w (%)	
PCA 345-05	4-D22(溝切) 2-D19(中段筋)	6NX (D19用)	0.90	2.0	0.05	D10 -@100	0.36
RC 345-05	4-D22(溝切) 2-D19(中段筋)	-	0.90	2.0	0.05	D10 -@100	0.36

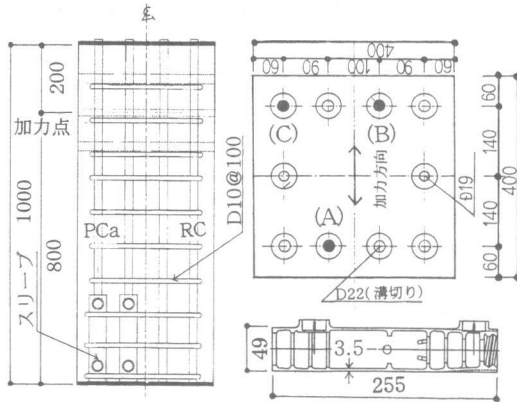


図-1 試験体形状

表-2 材料特性

種類	降伏強度 (MPa)	降伏ひずみ (μ)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	伸び率 (%)
D22	394.1	2195	597.7	197.1	18.5
D19	387.3	2177	555.0	188.3	26.1
D10	335.2	1857	469.4	187.3	29.4

種類	圧縮強度 (MPa)	圧縮強度時 ひずみ(μ)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)
コンクリート	25.1	2233	1.85	17.9
SSモルタル	100.8	-	-	-

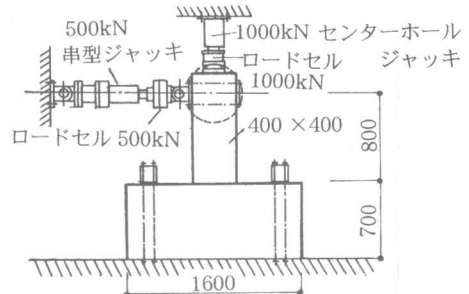


図-2 加力方法

求め、そのときのせん断力を設計用せん断力とし、荒川min式によるせん断耐力が設計用せん断力とほぼ同程度となるようにせん断補強筋量を決定した。せん断補強筋の配置に関しては、スリーブ周りに特別な配慮はせず、補強筋位置及び量は一体打ち試験体と全く同じとした。PCa部材試験体の製作は柱部と基礎部を別々に製作し、所定のコンクリート強度発現を確認したあと、実施工と同様にして組み立て、スリーブ内と脚部にモルタルを同時に注入一体化した。なを、脚部の敷モルタルの厚さは約10mmである。

2.2 加力方法

図-2に加力方法を示す。片持ち形式で、基礎ばりを固定し、1000kN油圧ジャッキで柱頭に一定軸力を加えた後、500kN油圧ジャッキを用いて水平力の正負繰返し载荷を行った。降伏以前の約40kNの荷重で、1回正負繰返し载荷を行った後、部材角で制御して 0.5/100, 1/100, 2/100でそれぞれ正負3回, 3/100, 4/100で正負1回繰返し、最終的に正側で5/100まで変形させた。

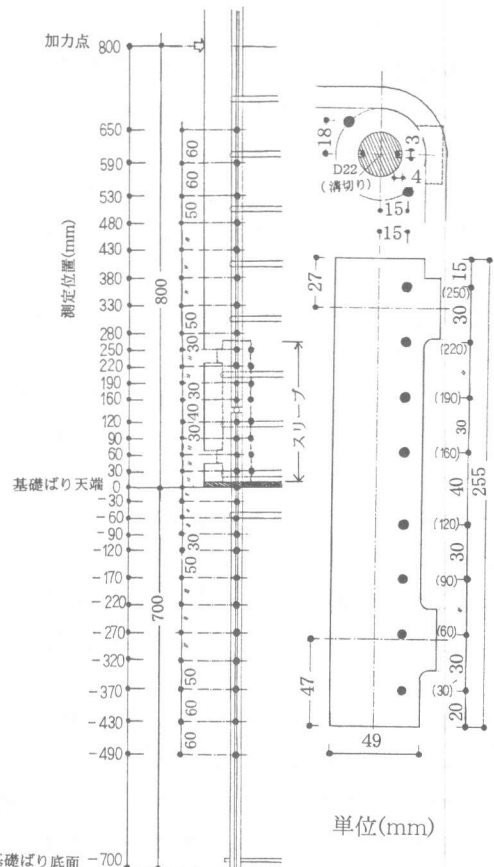


図-3 ひずみ測定位置

2.3 測定方法

水平変位は、試験体側面中心線上の加力点位置で、基礎ばり側面に固定したゲージホルダーに設置した変位計を用い、基礎ばり側面との相対変位として測定した。主筋およびスリーブのひずみ測定位置を図-3に示す。ひずみゲージ貼付による付着の影響を無くすために、主筋には縦リブに沿って幅3mm、縦リブ表面から深さ4mmの溝切り加工を施し、溝の中にひずみゲージを30~60mmの間隔で一本の主筋につき28箇所、表裏に貼付した。ひずみゲージを貼付した主筋は、負加力のとき引張側中間筋となるもの(A)、正加力のとき引張側中間筋となるもの(B)及び正加力のときに引張側コーナー筋となるもの(C)とし、一体の試験体につき3本配置した。なお、ひずみゲージを貼付しないD-22の主筋にも同様の溝切り加工を施している。スリーブの表面には、中に埋設される主筋のひずみ測定点と同じ位置にひずみゲージを8箇所、表裏に貼付した。

3. 実験結果概要

3.1 せん断力・水平変位関係

各試験体のせん断力・水平変位関係を図-4に示す。各試験体とも主筋の降伏が始まる部材角約1/100まで同様のせん断力・水平変位関係を示しているが、部材角2/100の段階になると、RC部材は急激に耐力が低下した。一方PCa部材に関しては、部材角3/100で最大耐力に達した後耐力が低下した。各試験体の最大耐力は正側で決まっており、最大耐力実験値とe関数法による計算値を表-3に示す。最終加力段階(部材角5/100)での最大耐力に対する耐力低下の割合は、RC試験体の0.45に対し、PCa試験体では0.75であった。

3.2 破壊性状

曲げひび割れが発生した後、斜め方向の曲げせん断ひび割れへと進展し、各試験体とも部材角1/100まで同様の性状を示した。また、部材

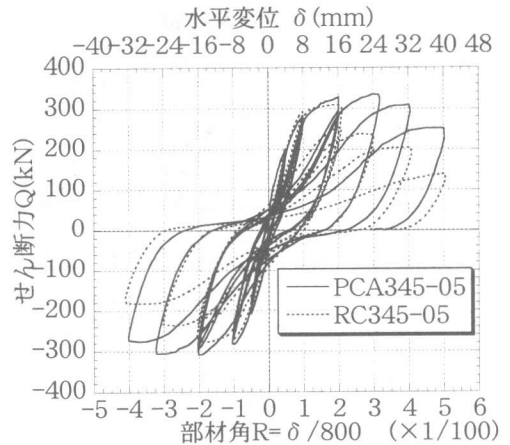


図-4 せん断力・水平変位関係

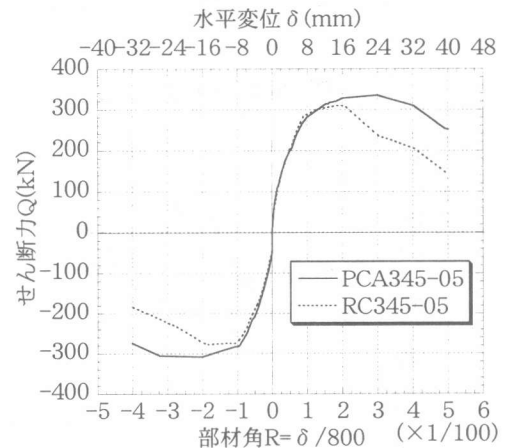


図-5 せん断力・水平変位関係包絡線

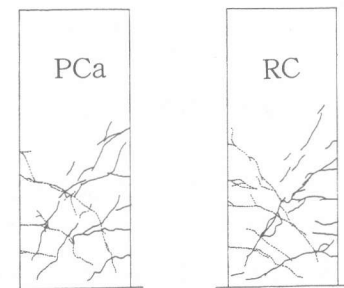


図-6 ひび割れ発生状況(R=1/100)

表-3 実験値と計算値

試験体名	実験値(kN)	計算値(kN)	実験値/計算値
	Q_{max}	Q_{Mu}^*	
PCA345-05	334.5	289.5	1.16
RC345-05	308.6		1.07

* M_u はe関数法による $Q_{Mu} = M_u / L$ L:800mm

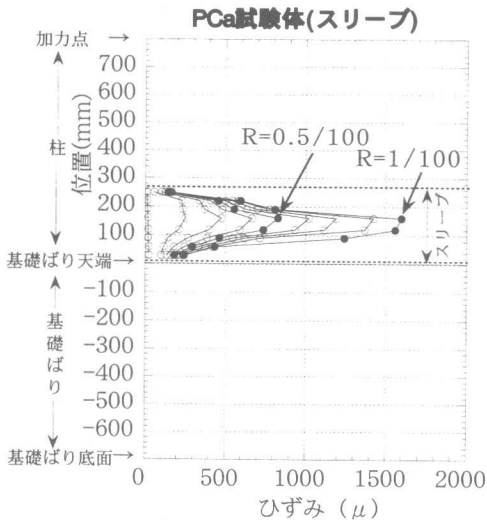
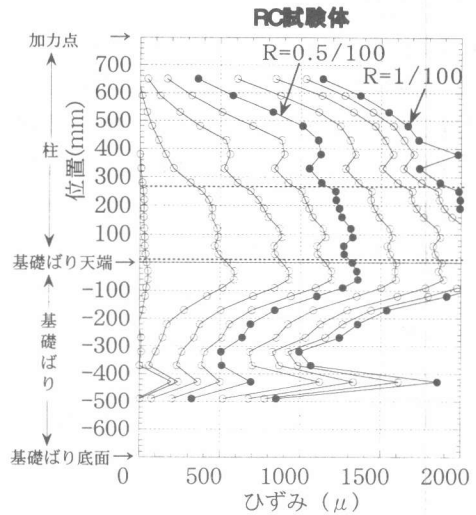
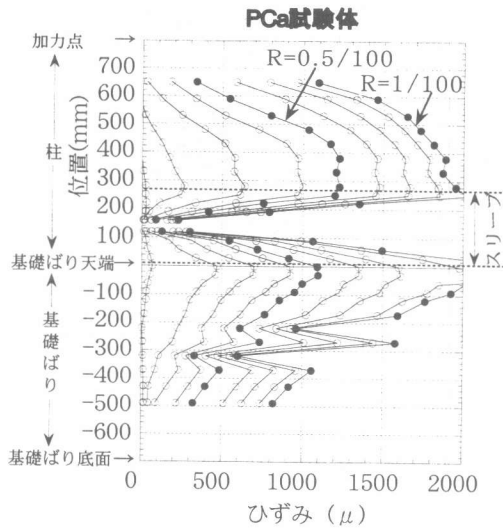


図-7 ひずみ分布

角0.4/100の段階ではすでに両試験体とも曲げひび割れがせん断ひび割れへと移行しており、ひび割れ発生位置および本数に違いはみられなかった。部材角2/100の段階になると、両者ともせん断ひび割れが大きく開口したが、RC試験体が圧縮側の被りコンクリートの剥落が激しくなって耐力低下したのに対し、PCa試験体は、せん断ひび割れが大きく開口した後も圧縮側の被りコンクリートが圧潰せず、急激な耐力低下を起さなかった。図-6に部材角1/100までのひび割れ発生状況を示す。

4. ひずみ測定結果の検討

主筋が降伏強度(部材角1/00)に達するまでの、主筋およびスリーブのひずみ分布を測定主筋(A)について図-7に示す。基礎ばり内部で徐々に減少すべきひずみが急激に変動している部分があるが、ひずみゲージの不良によるものと考えられる。図-7のひずみ分布から、スリーブを含む主筋の引張力の分布を算定したものを図-8に示す。スリーブ継手区間の引張力の算定は、スリーブが負担する引張力とスリーブ内部の鉄筋が負担する引張力を足し合わせたものである。スリーブ継手の断面形状は図-1に示したように、外部にモルタル注入口、排出口、内部に節、ストッパーを有し、外径も一様ではなく非常に複雑な形状をしている。そこで、計算を容易にするため、スリーブ継手を一様な鑄鉄製の円筒と仮定することにした。また、内部の充填モルタルの引張力は無視することにした。スリーブ継手は中央付近の実際の断面から、外径49mm、肉厚3.5mmの一樣断面(断面積=5.00cm²、周長=15.4cm)を有する鑄鉄製の円筒と仮定し、ヤング係数は206GPaとした。なお、溝切り加工を施した鉄筋のヤング係数は表-2の値を用い、周長は公称周長7cm(D22)、断面欠損を考慮した断面積は3.58cm²とした。

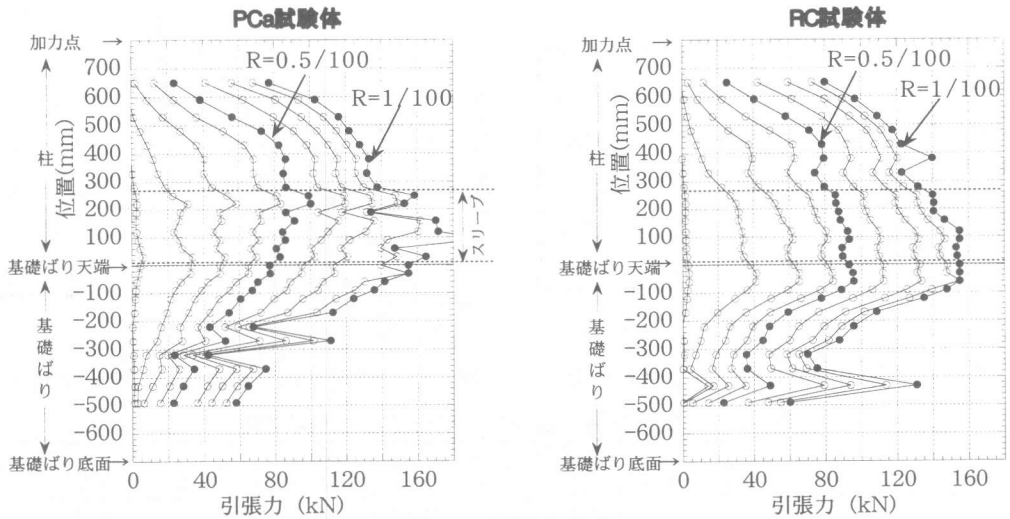


図-8 引張力分布

表-4 スリーブ平均付着応力算定結果

部材角 (×1/100)	スリーブ上(A)	スリーブ下(A)	スリーブ上(B)	スリーブ下(B)	スリーブ上(C)	スリーブ下(C)
0.13	0.52	0.74	0.37	1.07	0.23	1.24
0.25	0.92	0.48	1.31	0.75	0.46	1.26
0.38	1.19	0.16	1.51	0.30	0.13	1.17
0.50	0.98	0.11	1.35	0.02	0.06	1.11
0.63	0.40	0.53	0.59	0.71	0.28	0.78
0.75	0.10	0.75	0.29	1.13	0.56	0.57
0.88	1.35	0.84	0.69	1.77	1.13	0.40
1.00	1.89	0.50	0.86	1.41	1.80	0.52
最大平均付着応力				1.89	(単位MPa)	

4.1 スリーブ継手区間付近の付着性状

引張力の分布をみると、RC試験体では柱脚部ないしは基礎ばり上部で最大となり、柱頭に向かって徐々に引張力が減少していくのに対し、PCa部材は部材角0.4/100の段階ではすでにスリーブ両端の引張力の差がなくなり、主筋降伏時以前は柱脚部よりはむしろスリーブ上端部付近で引張力が最大となっている。このことより、通常RC部材では危険断面が柱脚部になるのに対し、PCa部材では柱脚部よりも部材側、すなわちスリーブの上端部付近になるような挙動を示していることがわかる。また、スリーブ区間の引張力が一定でないことから付着が存在することがわかる。そこで、スリーブ周囲の引張力の差からスリーブ周囲の平均の付着応力を算定した。平均付着応力は、スリーブ継手区間を、ひずみがほぼ直線的に分布していると判断

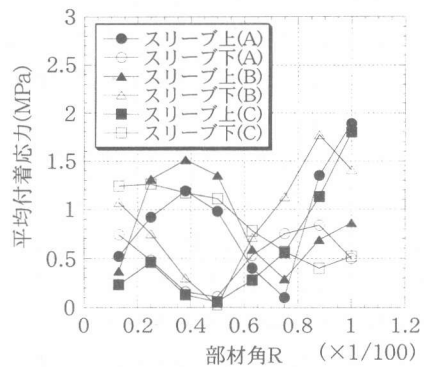


図-9 スリーブ平均付着応力

できる上下、すなわち測定位置でいえば、30～120mm(スリーブ下)と160～220mm(スリーブ上)にわけ、その区間両端に生じる引張力の差をスリーブの仮定周長と区間長さの積で割ったものとして求めた。その結果を図-9に示す。ま

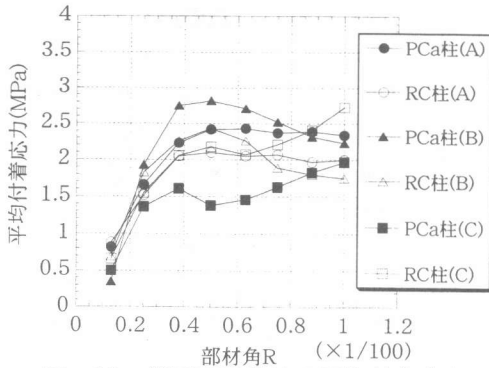


図-10 継手区間外柱の平均付着応力

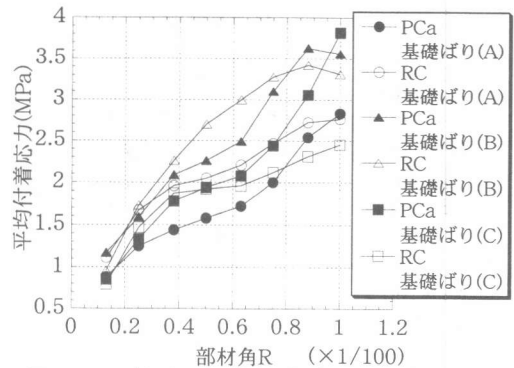


図-11 継手区間外基礎ばりの平均付着応力

表-5 スリーブ継手区間外の平均付着応力算定結果

部材角 (×1/100)	PCa柱			PCa基礎ばり			RC柱			RC基礎ばり		
	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)
0.13	0.82	0.35	0.50	0.88	1.17	0.85	0.88	0.69	0.66	1.11	0.96	0.79
0.25	1.66	1.93	1.36	1.25	1.59	1.33	1.52	1.83	1.55	1.67	1.73	1.47
0.38	2.23	2.75	1.61	1.44	2.09	1.78	2.05	2.26	2.06	1.96	2.26	1.87
0.50	2.42	2.82	1.38	1.58	2.26	1.94	2.10	2.43	2.18	2.05	2.70	1.92
0.63	2.43	2.71	1.46	1.72	2.49	2.08	2.05	2.26	2.07	2.21	3.00	1.96
0.75	2.37	2.52	1.63	2.00	3.10	2.44	2.07	1.89	2.21	2.47	3.28	2.12
0.88	2.39	2.32	1.83	2.54	3.63	3.06	1.97	1.80	2.41	2.72	3.42	2.31
1.00	2.34	2.23	1.97	2.83	3.56	3.82	2.00	1.75	2.73	2.76	3.31	2.45
(単位MPa)	最大平均付着応力 2.82			最大平均付着応力 3.82			最大平均付着応力 2.73			最大平均付着応力 3.42		

た、その値の一覧を表-4に示す。測定区間及び変位の進行によって付着応力は大きく変動しているが、スリーブ周囲に働く平均付着応力は部材角1/100までに最大1.89MPaとなり、周長で換算して、みかけの主筋の付着応力にすれば、約4.0MPaとなることから主筋と同程度の付着が存在することがわかる。

4.2 スリーブ継手区間外の付着性状

スリーブ継手区間外では、主筋のひずみ分布をみるかぎり、PCa、RC試験体に大きな違いは見られない。より明確にするために、スリーブ継手区間外の平均の付着応力を算定した。平均の付着応力は、ひずみがほぼ直線的に分布していると判断できる区間にわけ、区間両端に生じる引張力の差を鉄筋の公称周長と区間長さの積で割ったものとして求めた。具体的には、測定位置で650~280mm(柱部)までの区間と、0~490mm(基礎ばり部)までの区間にわけて算定した。その結果を図-10~図-11に示す。その値の一覧を表-5に示す。以上の結果をみると、両

試験体では部材角1/100までの最大平均付着応力に違いはみられなかった。

5. まとめ

スリーブ継手を用いたPCa部材のスリーブを含む主筋付着性状を把握するために、主筋のひずみ測定に重点をおいて、プレキャスト柱部材と一体打ち鉄筋コンクリート柱部材の水平加力実験を行い、両者のひずみ測定結果から鉄筋およびスリーブが負担する引張力を算定し、比較検討を行った。その結果、主筋が降伏する以前では、スリーブにも付着が存在し、周長換算してみかけの主筋付着応力にすると、鉄筋なみの付着力があることがわかった。また、引張力の分布から、主筋の最大引張力が生じる位置が、スリーブ上端部付近になるような挙動を示していることがわかった。剛性が大きく、鉄筋なみの付着力があるスリーブの存在する影響が、ここに現われていると考えられ、これがPCa部材の変形性能に関わる可能性がある。