

報告 二分割されたプレキャスト壁柱の鉛直接合面に関する基礎的性能

古田 智基^{*1}・伴 幸雄^{*2}・倉本 洋^{*3}・中田 慎介^{*4}

要旨：本研究は、壁式ラーメン鉄筋コンクリート造（HFW）のプレキャスト（PCa）化（WR-PC）工法の施工性を向上させるために、新たなPCa部材分割による新工法の可能性を、基礎的な要素実験により検討するものである。工法的には、壁柱のPCa部材を縦に二分割し梁と一体化した門型部材とし、その二分割された柱部材間をグラウト充填に加えて、PC鋼棒にプレストレスをかけることで一体化する圧着工法である。

ここでは、柱部材間の接合面におけるPC鋼棒の応力と滑り抵抗の関係を実験的に調べ、柱部材の一体性を保つためのPC鋼棒の締め付け量を定量的に探る。

キーワード：壁式ラーメン鉄筋コンクリート造、プレキャスト、壁柱、プレストレス

1. はじめに

現在おこなわれているHFWのPCa化工法においては、架構の柱梁部材をそれぞれPCa部材としているため部材数が多く、またセンタージョイント方式のため柱梁接合部の配筋が混み合い、大幅な作業能率向上には結びついてはいない。また、そのジョイント部のコンクリート充填には、十分な注意を払い打設しなくてはならない。そこで、より施工性を向上させる工法が提案できないかということで、本報の開発がスタートした。

まず、在来工法をPCa化する際に、施工性に大きく左右するのがPCa部材間のジョイントである。ここでは、各PCa部材を柱梁接合部でジョイントするのではなく、図-1に示すようなPCa部材分割とし、大きな壁柱を縦に二分し、その分割された柱とスラブ下端までのハーフPCa梁部材を一体化した門型のPCa部材を提案した。

工法的には、図-2に示す門型PCa部材を、スラブ上に伸びているジョイント鉄筋と機械式継手により一体化する。また、柱部材間は、接合面にコッターを付けグラウトを充填し、硬化後にPC鋼棒によりプレストレスをかけることで一体化し、ジョイント部の混み合った鉄筋の接合をなくした。図-3に柱の断面詳細図を示す。

本報告では、図-2に示す○印部分の柱部材間の接合面における、PC鋼棒の応力と滑り抵抗の関係を実験的に調べ、柱部材の一体性を保つPC鋼棒の締め付け量を定量的に探るものである。その結果として、今回提案した工法の可能性を検討する。

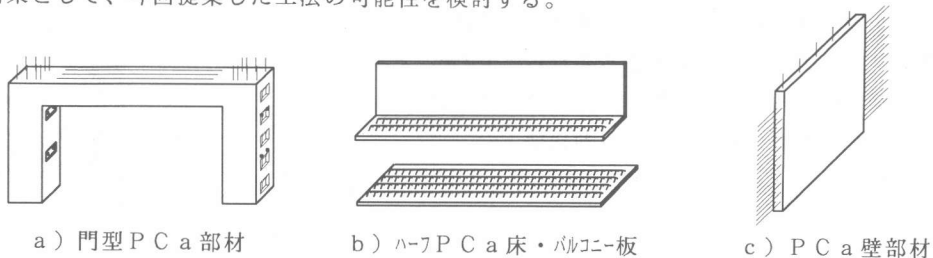


図-1 各PCa部材

*1 矢作建設工業(株) 建築工務部技術課主任、工修（正会員）
 *2 矢作建設工業(株) 建築工務部技術課副主任
 *3 建設省建築研究所 第四研究部主任研究員、工博（正会員）
 *4 建設省建築研究所 第四研究部部长、工博（正会員）

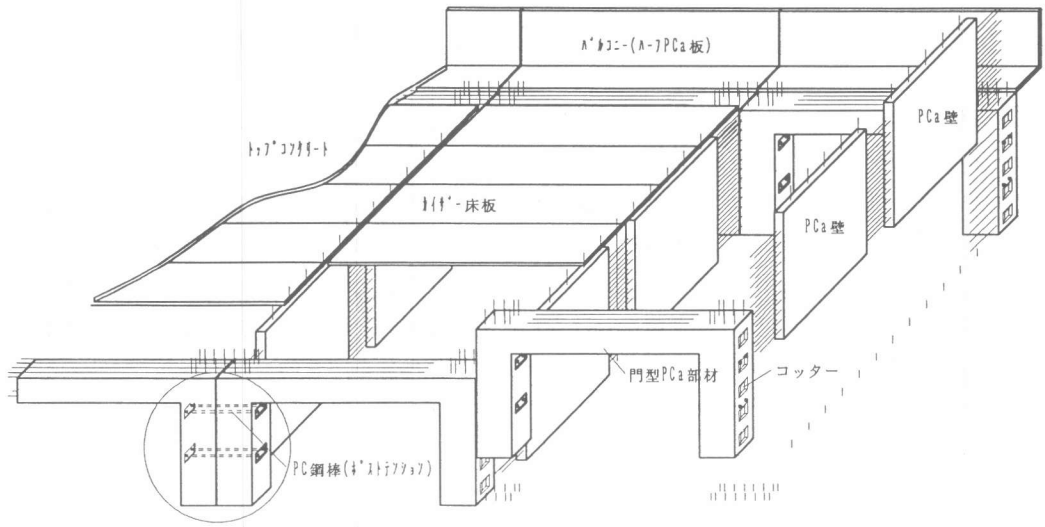


図-2 工法概要

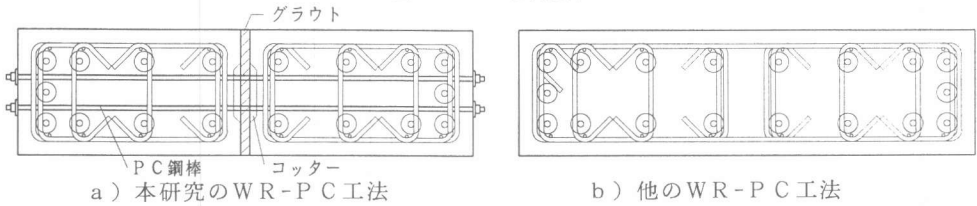


図-3 柱断面詳細

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は、PCa鉛直接合部をモデル化したS字形試験体であり、15層の試設計建物に対して約1/5に縮尺されたものである。試験体の配筋ならびに形状を図-4に示す。試験体断面は各々の柱が100×185mmで、グラウトを充填する隙間が10mmである。主筋は13mm筋で、その周りに6mmの組立筋を入れ、130mmピッチに帯筋が巻かれてある。試験部分の長さは530mmで、その間にPC鋼棒を2ヵ所入れており、各箇所とも試験面に均等なプレストレス応力がかかるように、9.2mmのコッターが2本ずつ入っている。また、接合面は目荒しがされていない型枠の脱型状態となっており、コッター(40×50mm、深さ3mm)の有るものと無いものがある。

PC鋼棒を締め付ける応力としては、コッターを付けた試験体で0.0, 1.5, 3.0, 4.5tの4種類、コッターの無い試験体が1.5tの1種類である。

試験体のパラメーターを表-1に示す。

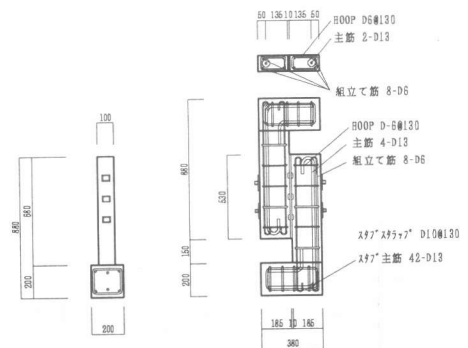


図-4 試験体図

2. 2 材料特性

(1) コンクリート・グラウト

コンクリートは、設計基準強度 400kg/cm^2 に対して、実験時のテストピース圧縮強度は 412kg/cm^2 で、グラウトは設計基準強度 600kg/cm^2 以上に対して、実験時のテストピース圧縮強度は 1116kg/cm^2 であった。

(2) 鉄筋・P C 鋼棒

鉄筋は、主筋にSD490のD13を、帯筋および組立筋にSD345のD6を使用した。また、P C 鋼棒は、D種1号の9.2mmを使用した。

使用材料の性質を表-2及び表-3に示す。

表-2 コンクリート・グラウト

試験体	圧縮強度 (kg/cm^2)	割裂強度 (kg/cm^2)	弾性係数 (kg/cm^2)	材令 (日)
コンクリート	412	44.6	2.39×10^5	28
グラウト	1116	45.3	4.84×10^5	28

2. 3 加力方法

加力方法を図-5に、実際の加力状況を写真-1に示す。加力は50t曲げ試験機を使用して、試験体を立ててセットし片側ピン支持とし、一方向単調載荷とした。

2. 4 測定方法

変形の測定は、図-6に示すように鉛直方向の滑り量を鉛直にセットした2本の変位計で、水平方向の試験体間の目開き量は水平にセットした2本の変位計で測定した。(水平方向の目開き量は、変位計の斜め移動量を考慮して水平方向のみの変位量となるように補正する。)また、P C 鋼棒の歪量は、P C 鋼棒の表面に歪ゲージを貼り付けておこなった。歪の測定位置は、各部材の中央位置に2ヵ所で、P C 鋼棒1本に対して4点測定している。

表-1 試験体のパラメータ

試験体名	プレストレス量		コッターの有無
	p (t)	σ_n (kg/cm^2)	
SE-3 SE-4	0.0	0.00	有り 40×50×3 mm
SE-6 SE-11 SE-12	1.5	2.83	
SE-5 SE-9 SE-10	3.0	5.66	
SE-7 SE-8	4.5	8.49	
SE-1 SE-2	1.5	2.83	無し

p : プレストレス量

σ_n : 接合面に作用する垂直応力度($=p / A_v$)

A_v : 接合部の全断面積

表-3 鉄筋・P C 鋼棒

試験体	降伏強度 (kg/cm^2)	引張強度 (kg/cm^2)	弾性係数 (kg/cm^2)
鉄筋 D 6	3864	5660	2.10×10^6
D 13	5565	7250	2.09×10^6
P C 鋼棒	14130	14950	2.05×10^6

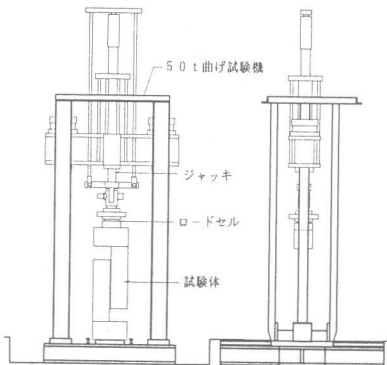


図-5 加力装置

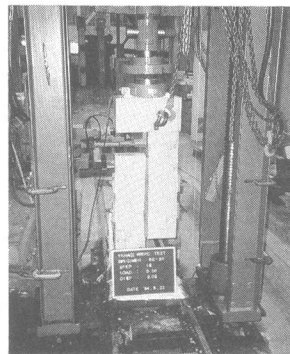


写真-1 加力状況

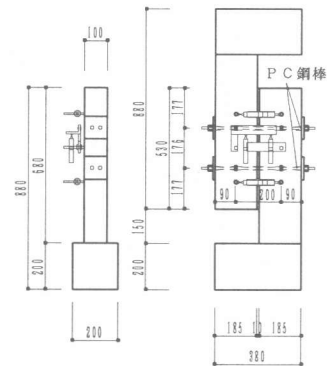


図-6 変位・歪測定位置

3. 結果及び考察

実験結果の一覧を表-4に示す。プレストレス量が大きくなるにしたがって、滑りが生じる荷重は上昇している。また、ここではコッターの効果は、SE-12の1体のみ確認できた。コッターの破壊形式は全て支圧破壊となっており、有効に働いていると思われるが、耐力上顕著には確認できなかった。

亀裂発生状況を図-7に、荷重-滑り（鉛直変位）曲線を図-8に示す。（ここで、図-8, 9および11では、同じファクターの試験体の代表的なもの載せる。）コッターの有無、プレストレス量に関係なく、各試験体とも接合部打ち継ぎ面に沿ってと鉛直方向の亀裂が同時に発生し、急激に荷重が低下し滑りが生じた。滑りが生じるまでは、亀裂は全く発生しなかった。導入するプレストレス量が大きくなるにしたがって、滑り開始時の荷重も上昇していることがわかる。

その後、滑り変形が進むとともにP C鋼棒の応力が増加し荷重も再上昇する。また、P C鋼棒を導入している孔のコンクリート面までのクリアランスが6.8mmのため、滑り量が6.8mm近傍でP C鋼棒がコンクリート面に接触し、P C鋼棒の抵抗により荷重が急上昇する。

滑り量と目開き量の関係を図-9に示す。コッター有りの試験体では、滑り量にともない目開き量が増加しているが、コッター無し試験体では、滑り量が約4mm以上に变形してからは目開きは進行していない。

表-4 実験結果一覧

試験体名	接合部断面積 A_c (cm^2)	プレストレス		コッター断面積		耐力					
		D (t)	σ_p (kg/cm^2)	A_c (cm^2)	A_c/A_v	P_u (t)	τ_u (kg/cm^2)	P_u (t)	τ_u (kg/cm^2)		
SE-3 SE-4	530.0	0.0	0.00	60.0 ($\pm 3\text{mm}$)	0.11	4.44 11.12	8.4 20.9	3.68 5.80	6.9 10.9		
SE-6 SE-11 SE-12		1.5	2.83			11.50 9.43 13.06	21.7 17.8 24.6	8.74 7.15 8.82	16.5 13.5 16.6		
SE-5 SE-9 SE-10		3.0	5.66			13.46 14.40 12.90	25.4 27.2 24.3	9.51 10.88 9.07	17.9 20.5 17.1		
SE-7 SE-8		4.5	8.49			16.68 17.73	31.5 33.4	10.41 10.36	19.6 19.5		
SE-1 SE-2		1.5	2.83			0.0	0.00	11.31 11.10	21.3 20.9	7.92 5.91	14.9 11.1

* P_u : 滑り開始時の荷重
 P_u : 荷重低下後の荷重

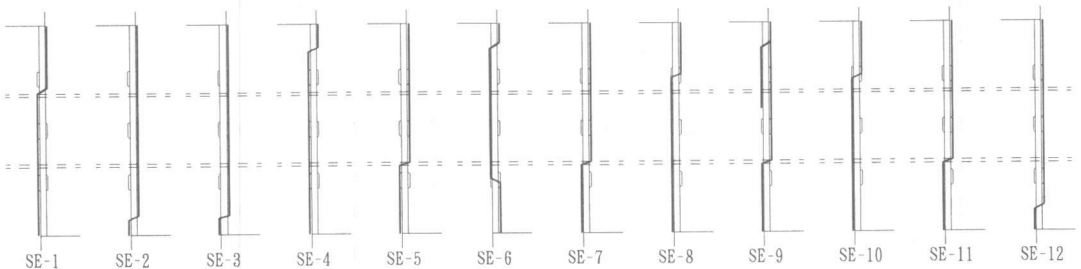


図-7 亀裂発生状況

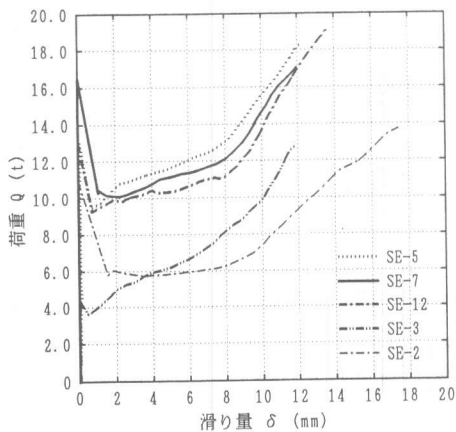


図-8 荷重-滑り曲線

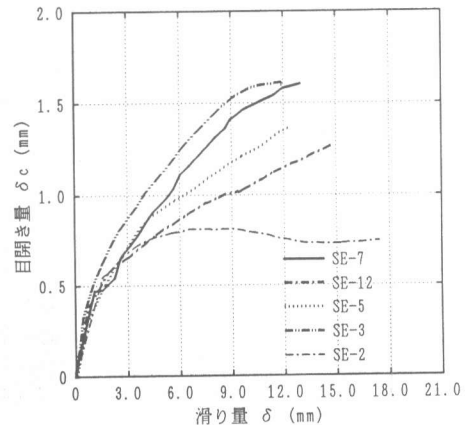


図-9 滑り-目開き曲線

これは、コッター有りの試験体においてコッター部分が支圧破壊したため、滑り変形が増加するにつれ各部材が外側に押し出され、目開きが進行したと思われる。

図-10に滑り開始後の荷重低下量とプレストレス量の関係を示す。コッター有りの試験体では、プレストレス量の大きい試験体ほど荷重低下量は大きい。荷重低下率(=滑り開始後荷重/滑り開始時荷重)でみると、平均して約30%の荷重低下を示した。また、コッターの有無による荷重低下率への影響は確認できなかった。

荷重とプレストレス力の関係を図-11に示す。ここで示した図は、PC鋼棒が孔のコンクリート面に接触する変形までの範囲である。滑りが生じるまでのPC鋼棒の応力はほとんど変化していないが、滑りが生じ荷重低下と同時に応力が急激に増加する。その増加率を図-12に示す。プレストレス量が3.0t(2.8kg/cm²)を越すとプレストレス増加量は80%近傍になる傾向が見うけられる。

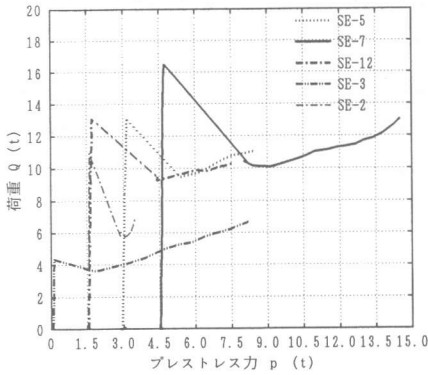


図-11 プレストレス力と荷重の関係

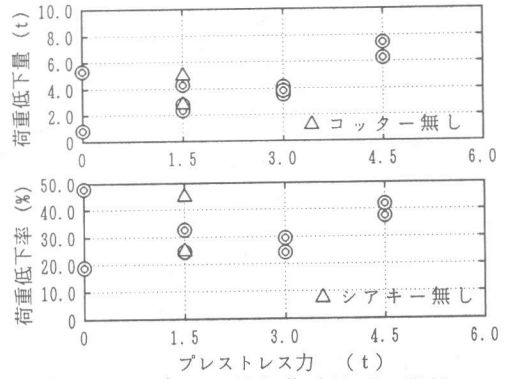


図-10 プレストレス量と荷重低下の関係

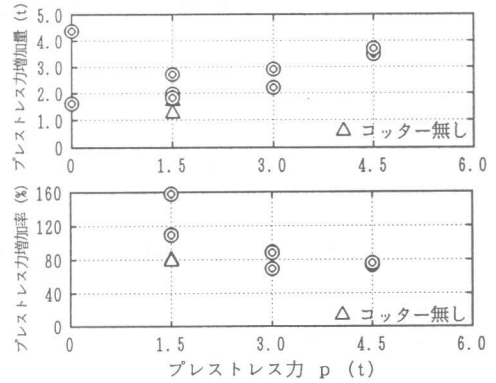


図-12 PC鋼棒プレストレス力の増加

4. 耐力式の検討

鉛直接合部の耐力に影響を及ぼす要素として、鉛直接合面せん断面積、コッター全せん断面積、コッターせん断面積比、接合部コンクリート強度等が考えられてきた^{1), 2)}。

この実験ではコッター筋が無い場合、接合耐力はコッター部分のグラウトのせん断耐力もしくは局部圧縮耐力と、コンクリートとグラウトの付着力の和と考えられる。そして、各々の要素にPC鋼棒による圧縮力が加わるとき、耐力にどのような影響を及ぼすかである。

コッター耐力の評価は、コッターの破壊性状で異なり、破壊形式がせん断破壊か局部圧縮破壊かで採用する耐力式が異なる。ここで、コッターの耐力式に使うグラウトのせん断耐力は、テストピースの試験結果から $1.5\sqrt{\sigma_{vc}}$ を採用する³⁾。そして、コンクリートの支圧係数は、通常1.0以上の値が採用できると考えられているが、ここでは1.0とする³⁾。

また、付着耐力の評価は、コンクリートどうしてはMattock等によって14kg/cm²の負担が提案されているが²⁾、(3)式においては、プレストレスによる影響を考慮する項がないため、その検討が必要である。

(コッターのせん断耐力)

$$\cdot RQ = A_c \times 1.5 \cdot \sqrt{\sigma_{vc}} \quad \dots\dots(1)$$

$$\cdot Q_{uc} = 14 \cdot A_v + m \cdot n [A_c \times 1.5 \cdot \sqrt{\sigma_{vc}}, Ae \times 1.0 \cdot \sigma_{vc}] \quad \dots\dots(3)$$

記号 A_c : コッター全断面積
 Ae : コッター支圧面積
 σ_{vc} : グラウト材圧縮強度
 A_v : コッターを除く接合部面積

図-13に、滑り開始時及び、滑りが生じ耐力が低下した時の荷重 $Q(t)$ とプレストレス $p(t)$ の関係を示す。この結果、 p が1.5tにおいてコッターの効果が確認できなかったため、滑りが生じるまでの耐力はほとんど付着力であると思われる。よって、 p が0t時の Q_u の値から、コンクリートとグラウトの付着力が8.0t(15.1kg/cm²)あることが推測できる。

しかし、プレストレスが0tにおける試験体が2体しかなくばらつきが大きいため、(3)式で採用している付着力(14.0kg/cm²)を使用し、(5)式を滑り開始時耐力式として提案する。

また、耐力低下時の耐力式としてはコッターが局部圧縮破壊しているため、滑り開始直後のコッターの接触面積とその時のプレストレス増加量が理論的に評価することが難しいため、ここでは実験近似の(6)式を採用する。(3)~(6)式を図-13に示す。

(滑り開始時)

$$\cdot Q_u = 15.1 \times A_v + 2.0 \times Ae \quad \dots\dots(4)$$

$$\cdot Q_s = 14.0 \times A_v + 2.0 \times Ae \quad \dots\dots(5)$$

(耐力低下時)

$$\cdot Q_d = (10.7 + 1.2 \times \sigma_n) \times (A_v + A_c) \quad \dots\dots(6)$$

5. 結 論

今回の実験で、鉛直接合面にプレストレスをかけ、圧縮応力を少量与えるだけでせん断耐力が上昇し、滑りが生じた後においても耐力低下はするものの、変形が進むにつれて再び耐力が上昇することがわかった。(3)式に関しては付着力の評価をしており、プレストレス効果の係数を考慮して検討したいが、地震による繰り返しせん断応力を受ける場合には、境界面の付着作用が失われやすく、いったん滑りが発生すると耐力が約30%低下することが今回の実験によって確認されている。また、(5)、(6)式に関しては実験式のため、耐力式に用いられる係数値の取り方によって相違することは否めないが、現段階の試設計においては、たとえ滑りが生じても耐力が確保できるように(6)式で今後の設計等の検討を進めていきたい。

よって、今後は正負繰り返し載荷実験や、接合面を改良した実験をおこない、PC鋼棒応力と滑り抵抗の関係を明確にし、耐力式の信頼性を把握する必要がある。そして、柱部材の曲げ実験及び柱梁接合部実験等も進め、現実のものにしていきたい。

「参考文献」

- 1) 日本建築センター：壁式鉄筋コンクリート造設計施工指針、pp. 61-62
- 2) 日本建築学会：プレキャスト鉄筋コンクリート構造の設計と施工、pp. 172
- 3) 建設省建築研究所：プレキャストコンクリートラーメン構造に関する研究報告書、p. 662

(コッターの局部圧縮耐力)

$$\cdot RN = Ae \times 1.0 \cdot \sigma_{vc} \quad \dots\dots(2)$$

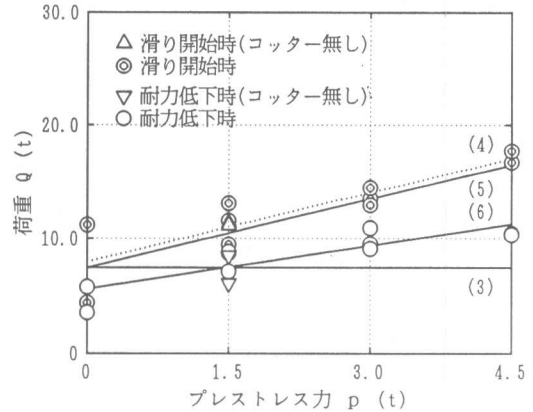


図-13 滑り耐力とプレストレス量の関係