外殻 PCa を用いた鉄筋コンクリート柱工法の開発

DEVELOPMENT OF A CONSTRUCTION METHOD OF R/C COLUMN USING PRECAST CONCRETE SHELL

細矢 博 —*1 末岡和久 —*2
上西 隆 —*3 岡 靖弘 —*4
河野政典 —*5 小河義郎 —*5
浅野芳伸 —*5

Hiroshi HOSOYA —*1 Kazuhisa SUEOKA —*2
Takashi UENISHI —*3 Yasuhiro OKA —*4
Masanori KONO —*5 Yoshio OGAWA —*5
Yoshinobu ASANO —*5

キーワード：
鉄筋コンクリート, 柱, 外殻 PCa, ユニット工法

Keywords:
Reinforced concrete, Column, Precast concrete shell, Unit construction method

For rationalization of construction work, a new construction method for R/C column using a precast concrete shell was developed. By a new method of assembling tie-hoops and constructing inner forms, and using high fluidity concrete, four workers can construct two high quality cast-in-place precast concrete shells in a day. In the case of a high-rise building, when a unit construction method is adopted (unit consists of a precast concrete shell combined with column main reinforcement and beam reinforcement) installation expenses decrease with work efficiency increase, a 14~25% reduction is possible over the conventional method in respect to the length of time for skeleton construction work, the number of mechanical joints for reinforcement is decreased by about 25%. This can reduce the cost for skeleton construction of 32-story building by about 3%.

1. はじめに

建設工事の合理化や工期の短縮、施工コストの低減、ならびに型枠合板の使用量削減による森林資源保護を目的として、薄肉中空断面プレキャストコンクリート（以下、外殻PCaと記す）を用いた鉄筋コンクリート柱（以下、外殻PCa柱と記す）の工法開発が各所で行われている。

外殻PCa柱工法に用いる外殻PCaの製作方法は、大別すると、コンクリートをPCa工場の遠心締め固め機を用いて遠心成形する方法と、建設現場の敷地やその周辺もしくはPCa工場で通常の流し込み打設により製作する方法の2種類がある。このうち、流し込み成形外殻PCaでは、帯筋と副帯筋（以下、中子筋と記す）を予め内蔵するタイプの場合、その製作方法は未だ完成されたとは言いがたい。そこで、製作方法の向上とそれに伴うコストの低減を図るため新たな製作方法を開発した。また、工期短縮と施工コストの低減を図るため、外殻PCaと柱主筋および梁鉄筋を現場敷地内で先組みし、一体化したものを施工時まで揚重し、架構を構築する工法を開発した。

本工法を高層RC造建物の施工に採用するに際し、外殻PCaの製作実験および施工実験を行ったので、これらの実験について報告するとともに、外殻PCa柱工法を用いる建物の施工方法と施工コストについて報告する。

2. 開発した外殻PCaと施工方法の特長

外殻PCaと施工方法の主な特長を以下に示す。

- 写真1に示すように、遠心成形外殻PCaの他、新たに製作方法を開発した流し込み成形外殻PCaでは帯筋および中子筋を予め内蔵

できるため、施工階での帯筋組みが不要である。

- 2) 外殻PCaは構造体兼型枠であるため、施工階での型枠組みや型枠解体作業が不要であり、工期短縮が図れる。また、中子筋の効果により、中空部に打設するコンクリートの側圧に耐える強度と剛性を自ら保持しているため、型枠の支保工等が不要である。
- 3) 図1に示すように、外殻PCa、柱主筋ならびに梁鉄筋をユニット化し、それらを同時に揚重して建て込むため工期を短縮できる。

(1) 遠心成形外殻PCa

(2) 流し込み成形外殻PCa

写真1 外殻PCaの外観

本論文の一部は参考文献1), 2)に発表している。

*1 俣奥村組技術研究所 博士(工学)
(〒300-2612 つくば市大字大砂387)

*2 俣奥村組東京支社建築部

*3 俣奥村組本社建築部

*4 俣奥村組東京支社建築設計部

*5 俣奥村組技術研究所

*1 Technical Research Institute, Okumura Corporation, Dr. Eng.

*2 Building Department, Tokyo Branch, Okumura Corporation

*3 Building Department, Head Office, Okumura Corporation

*4 Building Design & Planning Department, Tokyo Branch, Okumura Corporation

*5 Technical Research Institute, Okumura Corporation

4) ユニット化され、建て込まれた柱主筋は2層1節(2層建て)であるため、柱主筋の継手箇所数が在来工法や通常のプレキャストコンクリート工法の1/2となる。また、ユニット化された外殻PCaと柱主筋、梁鉄筋を同時に建て込むため、作業効率が上昇し取り付け費用が減少する。これらにより施工コストを低減できる。

3. 流し込み成形外殻PCaの製作実験

本外殻PCa柱工法では、種々の設計施工要因を勘案して遠心成形外殻PCaか流し込み成形外殻PCaのいずれかを選択し使用する。こ

図1 施工概要図

のうち、遠心成形外殻PCaの製作方法については一般的な製作方法が既往の文献(例えば③、④)に報告されているので、本論では、遠心成形に比べ外殻PCaの形状・寸法の自由度が高く、かつ製作および輸送コストの低減が期待できる流し込み成形外殻PCaの製作方法について報告する。なお、製作方法の開発に際しては、図2に示す形状・寸法の実大外殻PCa 7体(種)の製作実験を行った。

3.1 製作順序

流し込み成形外殻PCaの製作順序を写真2に示す。製作順序の概略は以下の通りである。①鉄筋先組み装置により帯筋と中子筋を先組みしておき、外殻PCa製作時にベッドにセット、②外殻PCa内面に設けるシアコッターを成形するための内型枠を帯筋の列に挿入、その後、エアチューブを挿入し内型枠を支持し固定、③外型枠を取り付け内型枠と外型枠を調整後、コンクリートを打設(横打ちまたは縦打ち)、④所定のコンクリート強度の発現を待ち脱型、ベッド上で1日養生、⑤コンクリート打設後2日目に保管場所に移動し養生。

3.2 型枠の組み立て

内型枠に使用した材種を表1に、内型枠の一例を図3に示す。また、シアコッター成形用型枠の形状・寸法を図4に示す。シアコッターの形状は矩形型もしくは市松型である。矩形型を例にとると、外殻PCaの内側表面に一面あたり3列のシアコッターを設け、さらに入り隅部にも凹凸を付けた隅金物によりシアコッターが形成されるようにした。シアコッター面積比は、中子筋がある場合は矩形型シアコッターで約35%、市松型シアコッターで約30%である。シアコッター成形用型枠(以下、シアコッター型枠と記す)には硬質合成ゴム製とポリウレタン製のものをを用いたが、後述する脱型作業も含め両者の作業性に差はみられなかった。

内型枠の組み立ては、帯筋と中子筋で囲まれた9区画のうち最下段の3区画から開始し、中段、上段の順序で行った。1区画内では、シアコッター型枠、コンクリート漏出防止用補助型枠、押さえ補助型枠(以下、両者ともに補助型枠と記す)を配置後、写真2(2)~(3)に示すようにエアチューブを挿入し、内圧をかけて内型枠を仮止めて、各型枠の位置を調整した。エアチューブの内圧は、内型枠の組み立て完了時には0.01MPaまで加圧し、コンクリート打設前には、コンクリートの側圧に抵抗できるように0.03~0.04MPaまで加圧

(1) 帯筋セット

(2) 内型枠取り付け

(3) 内型枠調整、エアチューブ加圧

(4) 外型枠取り付け

(5) コンクリート打設

(6) エアチューブ撤去

(7) 内型枠脱型

(8) 内型枠、外型枠脱型完了

写真2 流し込み成形外殻PCaの製作順序(横打ちの場合)

した。このエアチューブには、ハイパロンゴム製のものと同合成ゴム製のものをを用いたが、両者の作業性に大差なかった。

3.3 コンクリートの調合と打設

外殻PCaの厚さは58~68mmと薄く、そこにコンクリートを密実に充填する必要があることから、高流動コンクリートを採用した。1回の打設量が少ないことから、生コンプラントで容易に製造できるように、特殊な混和材料は使用せずに、普通ポルトランドセメントと高性能AE減水剤による高流動コンクリートとした。調合は、室内および実機の試し練りを行い2種類設定した。コンクリート調合を表2に示す。粗骨材の最大寸法は20mmである。スランブフローは600(±100)mm、空気量は3%を目標とした。また、コンクリート材料試験結果を表3に示す。外殻PCaは肉厚が薄いので現場気中養生供試体による強度管理が安全側と考えられる。現場気中養生での材齢28日の圧縮強度は、調合Aでは63N/mm²、調合Bでは76N/mm²であった。

コンクリートの打設は横打ち、縦打ちどちらでも可能である。コンクリートの打設状況を写真3に示す。横打ちでは、先ずベッドを傾斜させて下面の打設を行い、その後、水平に戻して両側面、上面の順に打設した。一方、縦打ちでは、3層(h=0.3m, 1.25m, 天端まで)に分割して打設・締め固めを行った。コンクリートを1面か

ら集中的に投入するとその面の側圧が過大になり、外殻PCa内面がはらみ出す原因となるので、L型のホッパーを用いて、対角線上のコーナー部から交互に投入する方法をとった。横打ち、縦打ちとも高流動コンクリートを使用しているため、充填性に問題はなかった。

製作実験前に予備実験を行い、縦打ちによるコンクリート打設時の側圧を土圧計を用いて測定した。調合Bのコンクリートでの側圧の測定値と計算値との関係を図5に示す。測定値は、側圧を液圧と仮定し求めた計算値に対して幾分高い値を示すものの、打ち上がり高さに対してほぼ直線的な分布を示した。これにより、肉厚が薄いためコンクリートの打ち上がり速度が速い外殻PCaの場合には、側圧は液圧と仮定することで評価できることが確かめられた。なお、前述したエアチューブの内圧は、この測定値を参考に設定している。

3.4 型枠の脱型

型枠の脱型時期について、早期脱型(コンクリート発現強度:5N/mm²程度)と翌日脱型(同9N/mm²程度)の2タイプを設定し作業性を相互に比較した。中子筋周辺部からのコンクリートの漏出がほとんど無かったため、コンクリートによる内型枠と中子筋との接着が少なく、脱型時期の違いによらずシアコッター型枠、補助型枠、エアチューブとも容易に脱型できた。また外型枠も同様であった。このため、一体あたりの脱型時間は多能工2人で約1時間であった。

3.5 外殻PCaの出来形および製作精度

外殻PCaの出来形を写真1(2)に、シアコッターの出来形を写真4に示す。充填不良箇所もなく、シアコッターの出来形も良好であった。外形寸法については、外型枠の剛性が大きいので誤差が小さかった。また、外殻PCaの厚さについては、縦打ちした場合には、図6に示す測定値のように柱脚部ほど厚くなる傾向があった。一方、横打ちした場合には上面の肉厚が薄くなる傾向があったが、両者の場合とも、施工性を考慮して設定した目標範囲内(±5mm)にほぼ収まっていた。

3.6 製作工程

製作実験では作業の歩係りを集計した。得られた歩係りから多能工4人で1日2体(1.2~1.6m³)の外殻PCaの製作が可能であることがわかった。これをもとに計画した製作工程を表4に示す。後述す

表1 内型枠の材種

エアチューブ	ポリエスデル+ハイパロンゴム製(外径350mm) 合成ゴム製
シアコッター 成形用型枠	硬質合成ゴム製(矩形シアコッター) ポリウレタン製(市松シアコッター)
コンクリート漏出 防止用補助型枠	塗装合板製(t=12mm)、半円穴あき 塗装合板製(t=12mm)、長円穴あき
押さえ補助型枠	合板製(t=18mm)+塗装合板製(t=12mm)
隅金物	鋼製、シアコッター成形用凹凸付き

図2 流し込み成形
外殻PCaの形状・寸法

図3 内型枠の一例(水平断面)

矩形型シアコッター型枠

市松型シアコッター型枠

図4 シアコッター成形用型枠の形状・寸法

表2 コンクリート調合

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤添加率 (C×%)
			C	W	S	G	
調合A	35	48.9	500	175	798	856	2.20%
調合B	30	46.7	583	175	730	856	2.20%

目標空気量3%、粗骨材かさ容積0.55m³/m³、実積率59.2%
普通ポルトランドセメント(密度3.16t/m³)
ポリカルボン酸系高性能AE減水剤

表3 コンクリートの材料試験結果

調査 記号	養生方法	圧縮強度(N/mm ²)			静弾性係数(kN/mm ²)		
		材齢			材齢		
		7日	28日	91日	7日	28日	91日
調査A	標準水中	64.5	75.6	85.8	36.8	36.7	40.2
	現場水中	66.1	75.6	82.9	35.6	36.6	38.4
	現場封緘	64.8	73.3	79.7	33.3	36.8	37.8
	現場気中	58.0	63.4	68.5	31.2	32.8	34.2
	コア100φ	61.7	68.9	76.2	34.8	35.0	38.3
調査B	コア75φ	60.4	66.1	73.8	-	-	-
	標準水中	73.1	87.0	98.4	35.5	38.7	41.9
	現場水中	74.9	86.9	94.2	36.6	38.5	40.3
	現場封緘	75.4	83.7	89.3	35.1	38.3	39.7
	現場気中	69.5	76.3	85.6	33.2	34.7	37.5

調査A: 打設15.5時間後 5N/mm²、18時間後 9N/mm²

調査B: 打設14時間後 5N/mm²、15.5時間後 9N/mm²

(1) 横打ちの場合

(2) 縦打ちの場合

写真3 コンクリート打設状況

図5 側圧測定値と計算値との関係

る32階建て建物の一部の柱に用いた流し込み成形外殻PCaもこの製作工程に則り製作した。これにより、本工程で外殻PCaの量産化が可能であることを検証できた。

4. 外殻PCa柱ユニット工法による施工

4.1 外殻PCa柱ユニット工法の概要

本工法は、外殻PCaに2層建ての柱主筋と梁鉄筋を事前に地上で組み込み、柱型枠組みに相当する作業と柱および梁の鉄筋組みを一度に完了させるところに特徴がある。柱主筋を2層建てにすることで鉄筋の機械式継手数が半減する。また、外殻PCa、柱主筋、梁鉄筋を一体化し建て込むため、個々に揚重しその都度建て込むより作業効率が上昇し取り付け費用を低減できる。これらによりコストの低減が図れる。さらに一体化したものを一度に揚重できるため工期の短縮が可能となる。

以下に施工順序を述べる。まず、地上において外殻PCaの上に先組みされた梁鉄筋を載置し、次に2層建ての柱主筋を梁鉄筋の上から外殻PCa内に挿入し、柱主筋および梁鉄筋を組み込んだユニットを組み立てる。地組の状況を図7および写真5に示す。次に、外殻PCa、柱主筋、梁鉄筋をそれぞれ別々のワイヤーで治具を介して一体に吊り上げ施工階へ運ぶ。施工階での建て込みは、最初に柱主筋を機械式継手で接合する。帯筋が外殻PCaに内蔵されているため、柱主筋は帯筋に拘束されない。このため、吊り荷全体を下げれば外殻PCaと梁鉄筋は柱主筋に沿って下がり、着床して建て込みが完了する。2層目の階では、外殻PCaの単体を柱主筋の上部より降ろして建て込む。したがって、図1の施工概要図に示すように、柱主筋

図6 外殻PCa厚さの測定値(試験体2, 縦打ち)

幅止め筋
(出来形検査のため切断)

(1) 試験体3

(2) 試験体5

写真4 シアッターの出来形

表4 流し込み成形外殻PCaの製作工程

作業項目	人数	時刻							
		9	10	11	12	13	14	15	16
内型枠脱型	4								
外型枠脱型	2								
養生	2								
PCa移動、養生	2								
型枠クレン・清掃	2								
帯筋セット	2								
内型枠組み立て	4								
コンクリート打設準備	4								
コンクリート打設	4								
養生、場内整理	4								

(注) 外殻PCa製作ベッド数は4台。このうち1日あたり2台使用し、外殻PCaを2本ずつ製作する。他の2台では前日に製作した外殻PCaを型枠の脱型後養生しておく。帯筋、中子筋のユニット化および組み立ては外殻PCaの製作に先行して別途行う。

の継手位置は、通りごとに互い違い(千鳥)に配置され、各階で建て込み作業が同様に繰り返し行われるように標準化されているとともに、継手数は在来工法や通常のプレキャストコンクリート工法に比べ減少する。以後は、本工法を外殻PCa柱ユニット工法と称する。

4.2 施工事例

本外殻PCa柱ユニット工法を適用した32階建てRC造建物の施工事例について以下に述べる。

外殻PCa柱ユニットおよび外殻PCa単体の建て込み状況を写真6に、ユニットの建て込み終了後の状況を写真7に示す。外殻PCa柱ユニットと外殻PCa単体の建て込みは、両者合わせて1工区1日あたり20~25本可能であった。施工サイクルを図8に示す。柱については外殻PCa工法を採用したが、梁についてはコスト試算結果から在来工法を選択した。型枠解体階で、1スパンを2分割して簡易システム型枠化した梁型枠を事前に組み立てておき、施工階に揚重し

建て込んだ。外殻PCaを単体で建て込んだ部分の梁鉄筋については、地上でキ字形に先組みしておき、揚重して取り付けた。スラブにはトラス鉄筋付きデッキ型枠を使用し、一枚床の大きさに地上で先組みして取り付けた。

以上の工法を採用することにより、図8に示すように、基準階においては1フロアあたり6日で施工が可能となった。

4.3 コンクリートの充填性

外殻PCa柱では、外殻PCa中空部に打設する後打ち（中詰め）コンクリートに打ち込み欠陥が生じないように密実に充填することが重要である。特に柱脚部の充填には注意しなければならない。このため、施工に先立ち、後打ちコンクリートの充填性確認のための施工実験を行った。施工実験状況を写真8に示す。実験では1層あたり0.6m

程度の層打ちとし、1層ごとにパイプレータによりJASS5に準拠して締め固めを行った。特に1層目については、外殻PCa柱脚部と止め型枠との隙間からセメントペーストの漏出を確認することによって充填管理を行った。実験後に柱脚部で切断した柱断面を写真9に示す。同様に、他の柱試験体では鉛直方向に切断し、外殻PCa中空部に後打ちコンクリートが密実に打設され、外殻PCaと後打ちコン

写真5 外殻PCa柱ユニット地組

(1) 外殻PCa柱ユニット建て込み (2) 外殻PCa単体建て込み
写真6 建て込み状況

図7 外殻PCa柱ユニットの地組順序

写真7 外殻PCa柱ユニット建て込み終了後の状況

図8 施工サイクル

クリートとの一体性が確保されていることを確認した。

実際の施工では、コンクリートをポンプ圧送により打設した。その際、外殻PCa中空部には後打ちコンクリートを円筒形シュートを用いて3層に層打ちし、1層ごとに締め固めを行った。また、柱脚部の充填性については、施工実験と同様に外殻PCaと止め型枠の隙間からセメントペーストの漏出を確認することによって管理した。柱脚部の止め型枠脱型後にコンクリートを目視により検査したが、写真10に示すように、コンクリートは密実に打設されていた。

4.4 外殻PCa柱ユニット工法による施工コスト

本外殻PCa柱ユニット工法による施工コストの試算を行った。対象とするモデル建物は25階建てで、平面的には図9に示すように5×8スパン(柱50本/階)と仮定した。

本工法は、2層建ての柱主筋を用いるため、在来工法に比べ柱主筋の継手箇所数は半減する。一方、梁鉄筋についてみると、本工法では主として十字形の梁鉄筋を建て込むため、キ字形の梁鉄筋を建て込む在来工法等に比べ、図9に示すように継手箇所数が若干増大する。よって、柱主筋と梁主筋の継手数を総合して勘定する場合には、本工法では表5に示すように、在来工法に比べ継手数がおおよそ25%減少する。また、外殻PCaと柱主筋、梁鉄筋をユニット化し建て込むため、作業効率が上昇し取り付け費用を低減できる。さらに、在来工法では一層あたり7～8日の工期が必要であると想定されるが、本工法では6日の工期で済む。したがって、25階建ての建物では25日以上、すなわち14～25%の地上躯体工期の短縮が可能である。

以上により、本工法では、外殻PCaの製作費が必要であるにもかかわらず在来工法に比べ地上躯体工事費を低減できることがわかった^{注1)}。これは、前述の32階建て建物では、地上躯体工事費が在来工法に比べ約3%低減したことから既に実証されている。

写真8 施工実験状況

写真9(1) 柱脚切断断面

写真9(2) 柱脚切断断面(コンクリート充填状況)

写真10 柱脚部充填状況

図9 コスト試算対象モデル建物の平面図(梁主筋継手箇所)

表5 柱主筋および梁主筋の継手数

(1) 柱主筋リスト

階数	C1	C2	C3	C4
22～25F	12-D32	12-D32	12-D32	12-D32
17～21F	12-D35	12-D35	12-D35	12-D35
13～16F	12-D35	12-D38	12-D38	12-D38
10～12F	12-D38	12-D41	12-D41	16-D41
7～9F	12-D38	14-D41	16-D41	20-D41
4～6F	12-D41	14-D41	22-D41	24-D41
1～3F	16-D41	16-D41	30-D41	36-D41

凡例

◇ 本工法と在来工法で共通の梁主筋継手箇所
◆ 本工法で在来工法に比べ梁主筋の継手が多い箇所

(2) 梁主筋リスト

階数	中央主筋(上下端共通)
23～25F	4-D32
19～22F	4-D35
11～18F	4-D38
3～10F	4-D41
2F	4-D41

(3) 継手数

工法	継手数			(個)
	柱主筋	梁主筋	合計	
ユニット工法	9024	15400	24424	0.77
在来工法	18048	13800	31848	1.00

5. まとめ

- 1) 内型枠組みを工夫し、また高流動コンクリートを使用することにより、コンクリートが密実でかつシアコッターの出来形や肉厚の精度が良好な、帯筋と中子筋を予め内蔵する流し込み成形外殻PCaの製作方法を開発できた。
- 2) 開発した製作方法により、多能工4人1組で1日2体(1.2～1.6m³)の流し込み成形外殻PCaを製作できた。
- 3) 外殻PCa柱の場合でも、中空部に後打ちコンクリートを層打ちし適切に締め固めを行うことによりコンクリートを密実に打設でき、外殻PCaと後打ちコンクリートとの一体性を確保できた。
- 4) 外殻PCa柱ユニット工法を採用すると、在来工法に比べ地上躯体工期を14～25%短縮でき、また、鉄筋継手数をおおよそ25%減少できる。さらに、作業の効率化により建て込み費用を低減できる。これにより、本工法では、外殻PCaの製作費が必要であるにもかかわらず、32階建て建物の場合には、在来工法に比べ地上躯体工事費を約3%低減できた。

謝辞

本工法の研究・開発にあたっては、筑波大学 今井 弘教授に有益なご助言、ご指導をいただきました。ここに記して謝意を表します。また、本研究・開発のうち、流し込み成形外殻PCaの製作実験については、(株)奥村組、(株)五洋建設、(株)大木建設、(株)松村組の4社が共同で行ったものであり、ご協力いただいた方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 黒島 毅、西川宏之、渡辺 聡、梶原茂生、浅野芳伸、山浦 一郎：流し込み成形による外殻PCa柱部材の研究、(その1)外殻PCa柱部材の要素モデル実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、1099、pp.197～198、1999.9
 - 2) 梶原茂生、黒島 毅、野々上昌弘、上西 隆、近藤淳樹、新田泰士：流し込み成形による外殻PCa柱部材の研究、(その2)外殻PCa柱部材の製作実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、1100、pp.199～200、1999.9
 - 3) 高田義夫、岡本秀雄、増田安彦：プレキャスト外殻管柱を使った高層RC建物の省力化施工、コンクリート工学、Vol.32、No.6、pp.45～54、1994.6
 - 4) 辺見和俊：遠心力成形薄肉中空PCa型枠「プレカラム」、建築の技術 施工、No.366、pp.36～38、1996.4
- 注1) サイトシェル研究会：サイト製作外殻PCa工法の開発 開発研究報告書、-外殻PCaを用いた工法コスト試算書-、pp.10～16、1999.3

[2001年4月11日原稿受理 2001年7月27日採用決定]