

Fc=115N/mm² 外殻プレキャストコンクリートの製造

河野政典* 早川邦夫* 小竹琢雄**

1. はじめに

これまで都心エリアで取組まれてきた大型プロジェクトの建設工事が次々と完了しつつあり、建設ラッシュに落ち着きがみられるようになった。しかしながら都心エリアでの超高層住宅の建設工事は引続き多い。超高層RC造の建物においては 60N/mm² を超えるコンクリートの設計基準強度が求められる物件も多くなり、100N/mm² 級の物件も建設されはじめている。

当社は超高層RC造建物の施工法の一つとして外殻プレキャストコンクリート（以下、PCa）柱を用いた独自のエココラムユニット工法を実用化している¹⁾。これまで東京都内の 32 階建て集合住宅、札幌市内の 20 階建て集合住宅（2棟）に適用している。現在は外殻PCa柱の適用では 3 件目となる札幌市内の 40 階建て集合住宅が施工中である。これまでの外殻PCa柱の適用実績は Fc=70N/mm² 級までとなっている。今後は 100N/mm² 級の物件の受注も予想され、また、アウトフレーム形式の建物が多くなりつつあり、そのような物件に備える必要がある。そのため、現在 Fc=100N/mm² 級の超高層RC造の建物に適用する外殻PCa柱の開発を進めている。本報ではそのPCa柱に用いる外殻PCaの製造実験について報告する。

2. 実験計画

外殻PCaの製造は、ポールやパイルの製造方法である遠心成形と、型枠を組み立ててコンクリートを流し込む流し込み成形²⁾によって行う。

Fc=100N/mm² に対応するため外殻PCaの設計基準強度は 115N/mm² とした。製造実験ではまず Fc=115N/mm² の圧縮強度を確保するコンクリート調合を決めるための実機調合実験を実施し、その実験結果に基づき Fc=115N/mm² 対応のコンクリート調合におい

て製作方法および出来形を確認するための実大外殻PCaの製作実験を行った。製作実験ではアウトフレーム形式対応の外殻PCaを製作した。

3. 調合実験

3.1 実験概要

a. 実験因子と水準

実験因子と水準を表-1に示す。遠心成形では、水結合材比を一定とし、シリカフュームの置換率を因子とした。高強度を得るためにはセメントを多量に使用し、かつ、セメントを均一に分散し練り上げる必要があるが、遠心成形用の生コンプラントでは混和剤の使用制限から分散性の高いポリカルボン酸系の高性能減水剤が使用できなかったため、使用セメント量に限界があった。そのため、シリカフュームを使用して練混ぜ性能の向上および強度確保を図った。

流し込み成形は水結合材比を因子とした。

表-1 実験因子と水準

	因子	水準
遠心成形	シリカフューム置換率	19, 16, 13%
流し込み成形	水結合材比	17, 20, 23%

b. 使用材料と調合

使用材料を表-2に、コンクリート調合を表-3、4に示す。遠心成形、流し込み成形ともにセメントには普通ポルトランドセメントを用いた。流し込み成形ではシリカフュームをセメント質量に対し内割りして 10%置換した。練り上がりの目標値は、遠心成形用コンクリートではスランプフロー500±100mm、空気量 2±1%とした。流し込み用コンクリートでは外殻PCaの製造におけるコンクリートの充填性を考慮しスランプフロー650±50mmとし、空気量は2±1%とした。

*技術研究所 **東京支社建築部

表－2 使用材料

材料	記号	性質
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度3.16g/cm ³
混和材	Adm	シリカフューム(粉体) 密度2.2g/cm ³ , ブレーン値20000cm ² /g
細骨材	S	岩瀬産硬質砂岩砕砂 表乾密度2.61g/cm ³ , 吸水率0.88%
粗骨材	遠心	G1 栃木産硬質砂岩 最大骨材径20mm 表乾密度2.62g/cm ³ , 吸水率0.69%
	流入	G2 岩瀬産硬質砂岩 最大骨材径20mm 表乾密度2.65g/cm ³ , 吸水率0.47%
混和剤	遠心	Add1 ナフタリンスルホン酸塩系高性能減水剤 密度1.2g/cm ³
	流入	Add2 ポリカルボン酸系高性能AE減水剤 密度1.1g/cm ³

表－3 遠心成形用のコンクリート調合

調合名	W/B (%)	S/a (%)	Adm置換率(%)	単位量(kg/m ³)					Add1 B#%
				W	B		S	G1	
					C	Adm			
S19	21.7	42	19	138	515	120	687	967	4.0
S16	21.8	42	16	134	515	100	702	987	4.3
S13	21.8	42	13	130	515	80	716	1008	4.6

表－4 流入成形用のコンクリート調合

調合名	W/B (%)	S/a (%)	Adm置換率(%)	単位量(kg/m ³)					Add2 B#%
				W	B		S	G2	
					C	Adm			
N17	17	38.1	10	160	847	94	506	835	3.0
N20	20	43.3	10	160	720	80	628	835	1.75
N23	23	46.4	10	160	626	70	716	835	1.5

c. 試験項目と方法

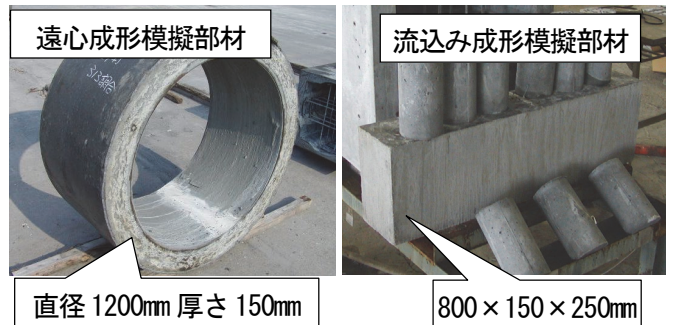
試験項目と方法を表－5に示す。フレッシュコンクリートではスランプフロー、空気量およびコンクリート温度の測定を行った。コンクリート強度は標準水中養生供試体の強度確認の他、外殻P C aのコンクリート強度を確認するため、模擬部材を製作してコアを採取し強度試験を行った。

模擬部材を写真－1、2に示す。模擬部材は外殻P C aの製造方法と同様の方法で製作した。遠心成形模擬部材の形状は直径1200mmで厚さ150mmとした。遠心条件を表－6に示す。遠心成形後1次養生として最高温度70℃で4時間保持の蒸気養生を行い、脱型後2次養生として最高温度180℃で4時間保持のオートクレーブ養生を行った。その後は所定材齢まで気中養生とした。

流入成形模擬部材の形状は800×150×250mmとした。打設後1次養生として最高温度50℃で6時間保持の蒸気養生を行い、脱型後、2次養生として最高温度70℃で10時間保持の蒸気養生を行った。その後は所定材齢まで気中養生とした。

表－5 試験項目と方法

項目	方法	
フレッシュコンクリート	スランプフロー	JIS A 1150
	空気量	JIS A 1128
	コンクリート温度	棒状温度計
硬化コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108, JIS A 1107, 標準水中養生供試体 材齢28日 コア供試体材齢 7, 28日



写真－1 遠心成形模擬部材 写真－2 流入成形模擬部材

表－6 遠心条件

遠心条件	初速	中速1	中速2	高速
重力(G)	3	10	20	25
回転時間(min)	2	3	5	5

3.2 実験結果

スランプフローおよび空気量はいずれの調合においても目標範囲内であった。

圧縮強度試験結果を図－1、2に示す。遠心成形模擬部材のコア強度は、標準水中養生ではシリカフューム置換率16%から19%での強度の増加はみられなかったが、オートクレーブ養生では置換率が高いほど強度は大きい傾向にあった。既往の文献³⁾では通常の養生条件下での最適置換率、すなわち強度増加が期待できる置換率は5～15%、高温あるいはオートクレーブ養生の場合では20～25%と報告されている。高温あるいはオートクレーブ養生によってシリカフュームのポゾラン反応効果が顕著に現れる。

流入成形においては標準水中養生、コア強度ともに水結合材比が小さいほど大きい傾向にあった。

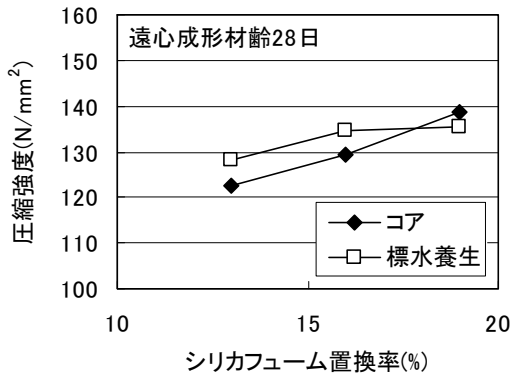


図-1 遠心成形コンクリートの圧縮強度

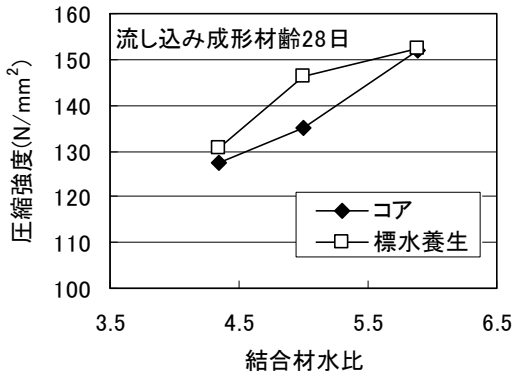


図-2 流し込みコンクリートの圧縮強度

3.3 調合計画

調合は、2003年度版の日本建築学会の建築工事標準仕様書・同解説 JASS5鉄筋コンクリート工事⁴⁾19節高強度コンクリートに準拠し、下式によった。

$$\begin{aligned}
 {}_{28}F &\geq Fq + {}_{28}S_{28} + 2\sigma && (\text{N/mm}^2) \\
 {}_{28}F &\geq 0.9(Fq + {}_{28}S_{28}) + 3\sigma && (\text{N/mm}^2) \\
 Fq &\geq Fc + \Delta F && (\text{N/mm}^2)
 \end{aligned}$$

ここに、

- ${}_{28}F$: 材齢28日におけるコンクリートの調合強度 (N/mm²)
- Fq : 品質基準強度 (N/mm²)
- Fc : 設計基準強度 (N/mm²)
- ΔF : 管理用供試体強度と構造体コンクリート強度との差を考慮した割り増し (N/mm²)
[ここでは ${}_{28}S_{28}$ に ΔF が含まれるため0 N/mm²とする]
- ${}_{28}S_{28}$: 標準養生供試体の材齢28日圧縮強度と材齢28日における構造体コンクリートの圧縮強度との差 (N/mm²)
- $Fq + {}_{28}S_{28}$: 構造体補正強度 (N/mm²)
- σ : 構造体コンクリート強度管理用供試体の圧縮強度の標準偏差 (N/mm²)
[ここでは0.07 ($Fq + {}_{28}S_{28}$) とした]

調合強度は、標準養生した供試体の材齢 28 日における圧縮強度で表し、構造体コンクリート強度の管理材齢は 28 日とした。許容不良率は 2.3%以下となるように正規偏差を定め、計算に用いた標準偏差はこれまで行った 100N/mm² 級の実機データから構造体補正強度の 7%とした。 ${}_{28}S_{28}$ は実験結果から遠心成形用調合で 5N/mm²、流し込み成形用調合で 9N/mm² とした。

以上から、調合強度は遠心成形で 136.8N/mm²、流し込み成形で 141.4N/mm² となり、製作実験の調合には、実機の標準水中養生強度の結果から、遠心成形では S16 調合、流し込み成形では N20 調合を適用することとした。

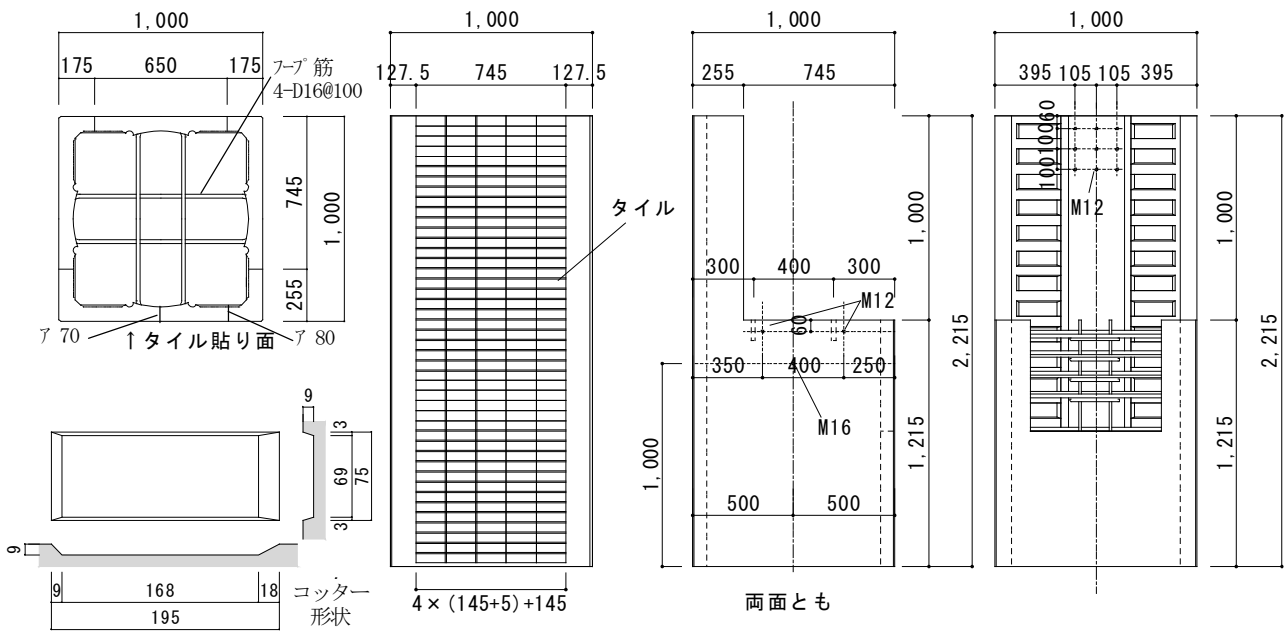


図-3 遠心成形試験体形状

4. 製作実験

4.1 実験概要

a. 試験体形状

製作実験では、流し込み成形および遠心成形でアウトフレーム形式に対応した外殻PCaを各1体ずつ計画した。試験体形状を図-3、4に示す。柱断面は遠

心成形で1.0×1.0m、流し込み成形で1.05×1.05mとし、中子筋を有するD16のフープ筋を打ち込み、内側面には深さ9mmのコッターを設けた。コッター部の肉厚は71mmとした。順梁との取り合い部分に欠き込みを設け、逆梁が取り合う高さの外壁面を立ち上げた。また、外壁面を想定した面にはタイルの打ち込みを行った。

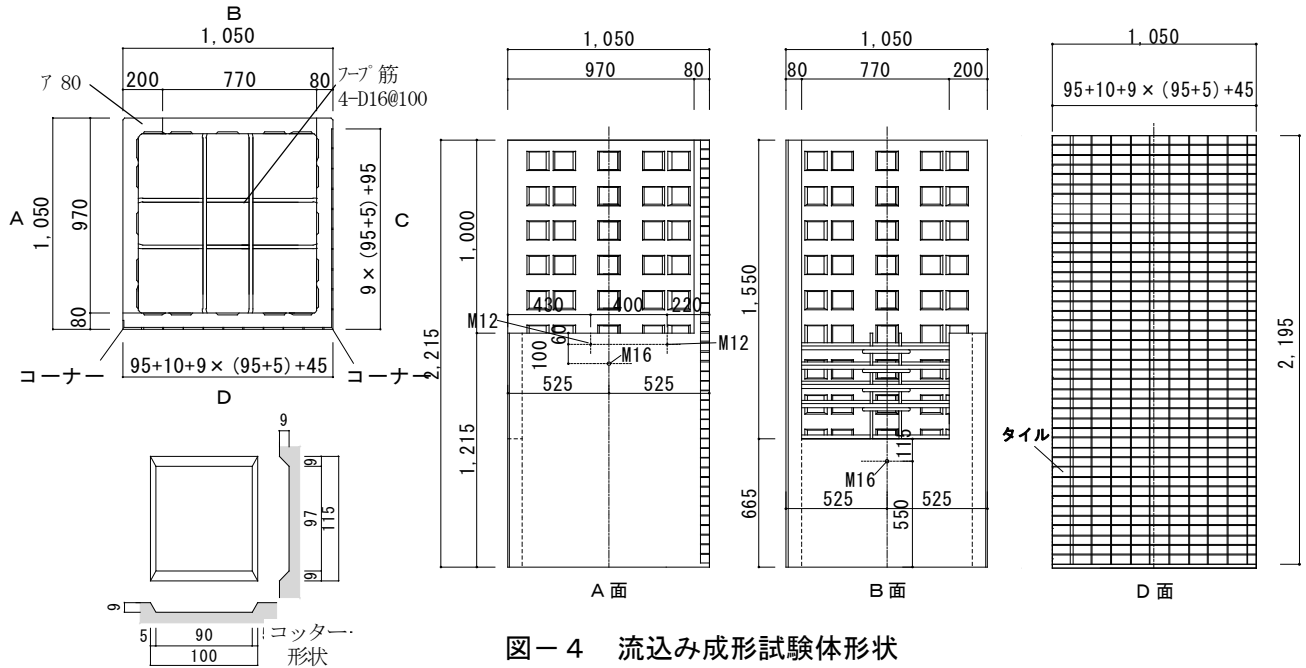


図-4 流込み成形試験体形状

表-7 鉄筋・型枠の組み立て、コンクリートの打ち込みおよび養生方法の概要

	遠心成形	流し込み成形
鉄筋組立	<ul style="list-style-type: none"> フープ筋の組み立ては、先ず外周筋と縦横の中子筋を1対のフープ筋として先行して先組みする。 先行して組み立てた外周筋と中子筋のセットを、組み立て用スタンドを使い、籠状に所定のピッチで組み立てる。 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋籠に内型型枠を取り付け、順梁を設置する部分にはかぶり部分に欠き込み用の型枠を取り付ける。 柱面の一方だけが立ち上がる部分では、遠心成形時のバランスをとるためコンクリート質量と同等のカウンターウェイトを対面の外型枠に取り付ける。 外型枠にインサートおよび打ち込みタイルを貼り付け、内型枠を取り付けた鉄筋籠をセットする。
型枠組立	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋籠に内型型枠を取り付け、順梁を設置する部分にはかぶり部分に欠き込み用の型枠を取り付ける。 柱面の一方だけが立ち上がる部分では、遠心成形時のバランスをとるためコンクリート質量と同等のカウンターウェイトを対面の外型枠に取り付ける。 外型枠にインサートおよび打ち込みタイルを貼り付け、内型枠を取り付けた鉄筋籠をセットする。 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋籠に内型枠として鋼製型枠とエアチューブを取り付ける。中子筋取り合い部分にφ80のエアチューブを密着させ中子筋間のモルタルの漏出を抑える。 フープ筋が配筋されていない部分はエアチューブのはらみだしの危険性が高いため内側に支保工を設ける。 タイル打ち込み部分では十分なかぶり厚さが必要であるが、スパーサーの取り付けによってタイルが押されて反る場合があるため、取り付け位置および厚みに注意する。 外型枠にインサートおよび打ち込みタイルを貼り付け、内型枠を取り付けた鉄筋籠をセットする。
打設養生方法と	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートの投入量は、設計量より25%割り増しとする。 遠心条件は表-6とする。 1次養生(max70°C 4時間保持)後に脱型し、2次養生(オートクレーブ養生max180°C 4時間保持)を行う。 1次養生後の脱型時に、順梁欠き込み部分の裏面に打ち込まれたコンクリートを除去する。 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートの打設は、片面側から打ち込み、反対面を打ち上げて、不足分については上から打ち込んだ。コンクリートは側壁面に直接落とし込まず、スラブ面に一度落として、壁面に流し込むようにゆっくり打ち込む。 打設時には、型枠パイクレタを弱震で使用する。 蒸気養生直前にエアチューブの圧力をゆるめる。 1次養生(max40°C 4時間保持)後に脱型し、2次養生(max70°C 10時間保持)を行う。



写真-3 遠心内型枠

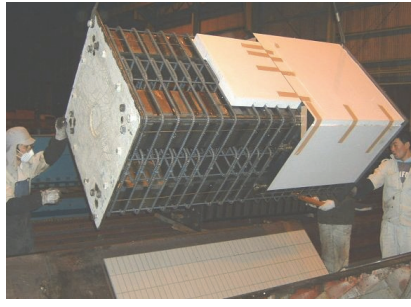


写真-4 遠心外型枠セット状況

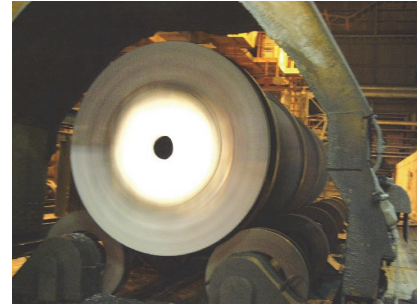


写真-5 遠心成形状況



写真-6 流し込み内型枠状況



写真-7 流し込み型枠状況



写真-8 流し込み打設状況

b. 鉄筋・型枠の組み立て

鉄筋および型枠の組み立て概要を表-7に示す。遠心成形の外型枠の組み立てにおいて、外殻PC a面の一方だけが立ち上がる部分では、遠心締め固めの回転時のバランスを保つため、カウンターウェイトをその対面の外型枠に取り付けた。

流し込み成形では、これまでの中子筋周りの内型枠には中子筋の配筋ピッチに合わせたくし形の型枠を用いていた²⁾が、この方法では型枠の組み立ておよび解体に手間がかかっていた。そこで今回は作業の合理化を図るため内型枠には鋼製型枠とエアチューブを組み合わせ、中子筋取り合い部分にはφ80のエアチューブを密着させ中子筋を挟み込みモルタルの漏出を抑えた(写真-6、7)。

c. コンクリートの打ち込みと養生

コンクリートの打ち込みと養生方法の概要を表-7に示す。製作実験に使用したコンクリートは、遠心成形では表-3に示すS16%調合、流し込み成形では表-4に示すN20%調合で、コンクリートのフレッシュ性は遠心成形ではスランプフロー540×540mm、空気量1.5%、流し込み成形ではスランプフロー640×650mm、空気量2.5%であった。

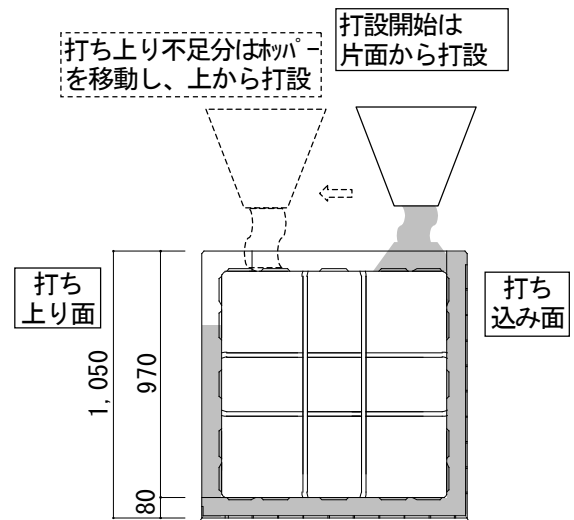


図-5 コンクリート打ち込み方法

遠心成形では遠心力によるコンクリートの締め固めによりコンクリートが圧密され体積が減少するが、シリカフェームを用いたコンクリートは通常のコンクリートより体積減少量が多いため、コンクリート投入量は25%割り増した。

流し込み成形のコンクリート打設にはホッパーを用いて、先ず片面側から打ち込み、反対面を押し上げた。締め固めには型枠パイプレータを使用した。打ち上がり不足分についてはホッパーを移動し、上から打ち込んだ(図-5)。

4.2 実験結果(出来形)

製造した試験体の出来形を写真-9~12に示す。遠心成形試験体は、一部、コンクリート量が不足しコッターの出来形が不十分となった部分があった。肉厚は内型枠部分では所定の厚さであったものの、内型枠のない円弧部分では、所定の厚さ(70mm)よりもやや大きい(100mm)部分があった。またタイルの打ち込みでは一部、タイルの打ち込み位置がずれていた。肉厚の調整は、コンクリート投入量の調整および遠心締固め前の荷崩し運転で対応できると考えられる。タイルのずれについては、タイルの1シートあたりの面積が小さいものがずれており、1シートあたりの面積が十分とれるよう計画すれば対応できると考えられる。また、今回型枠の制約からコーナータイルを打ち込むことができなかったが、通常はコーナータイルまで打ち込むのでタイルのずれは生じにくいと考えられる。

流し込み成形試験体は、フープ筋を内蔵してない外壁面立ち上がり部分においてもコンクリートは充填され、コッターの成形状態も良く、タイルも全て所定通り打ち込まれており良好な出来形であった。

5. まとめ

$F_c=100\text{N}/\text{mm}^2$ 級のRC建物の柱に対応した外殻PCaの設計基準強度を $115\text{N}/\text{mm}^2$ として、遠心成形および流し込み成形による外殻PCaの製造実験を行った。その結果を以下に示す。

- i. 調合実験から $F_c=115\text{N}/\text{mm}^2$ を満足するコンクリート調合は、遠心成形外殻PCaのコンクリートでは水結合材比21.8%でシリカフュームをセメント質量に対し内割りで16%置換した調合、流し込み成形外殻PCaのコンクリートでは水結合材比20%でシリカフュームをセメント質量に対し内割りで10%置換した調合であった。
- ii. 製作実験によりアウトフレーム形式に対応した $F_c=115\text{N}/\text{mm}^2$ 外殻PCaは遠心および流し込み成形により製造が可能であることを確認した。

6. おわりに

都心エリアでこれから着工する $F_c=80\text{N}/\text{mm}^2$ 級の物件に外殻PCa柱の適用が予定されている。今回確立し

た製造手法の展開を図り実績を蓄え、さらに今後の $F_c=100\text{N}/\text{mm}^2$ 級の物件の受注を期待し適用を進めていきたい。



写真-9 遠心成形
出来形[外壁面]



写真-10 遠心成形
出来形[内面]



写真-11 流し込み成形
出来形[外壁面]



写真-12 流し込み成形
出来形[内面]

【参考文献】

- 1) 小澤功治他、「外殻PCa柱を用いたユニット化工法による超高層RC住宅の施工」、コンクリート工学Vol. 38 No. 8、pp. 67-70、2000. 8
- 2) 上西隆他、「流し込み成形による外殻PCa柱部材の開発 その1 外殻PCaの製作方法と打ち込み型枠としての性能」奥村組技術研究年報No. 25、pp. 87-92、1999. 6
- 3) 日本建築学会、「シリカフュームを用いたコンクリートの調合設計・施工ガイドライン」、1996
- 4) 日本建築学会、建築工事標準仕様書・同解説JASS5「鉄筋コンクリート工事」、2003