サイト PCa 部材を主体とした複合化工法による RC 超高層集合住宅の施工

——ダイアシティ 2000 茂庭 C 1 棟——

川崎 英夫*¹・庄司 亀芳*²・高橋 和夫*³・杉原 正秋*⁴

概要 本建物は、仙台市郊外に建設された、9 棟、927 戸の大規模な分譲マンション事業のうちの 1 棟で、東北地方では初めての 33 階建て RC 超高層集合住宅である。当工事では、そのスケールメリットを生かし、作業所直営のサイト PCa 工場で製作した各種の PCa 部材をはじめとして、多数の省資源および省力化技術を積極的に取り入れた「複合化工法」により、効率のよい施工を実施した。また、東北地方では前例のない $F_c=480 \text{ kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートの施工にあたっては、生コンクリートプラントの技術指導、各種の確認試験を実施するとともに、作業所内に品質管理室を設置し、コンクリートの強度管理を行った。本報は当工事におけるサイト PCa 部材の製作、RC 超高層の躯体構築工法および高強度コンクリートの品質管理について報告する。

キーワード：サイト生産 PCa 部材、複合化工法、高強度コンクリート

1. はじめに

「ダイアシティ 2000 茂庭」は、仙台市が開発した閑静な住宅団地のほぼ中央に建設された大規模な集合住宅プロジェクトである。豊かな緑に囲まれ、かつ仙台の中心街まで 7.0 km と比較的近いことから、「定住性と都市性を兼ねた住環境の創造」をプロジェクトのコンセプトとしている。C 1 棟は当プロジェクトのシンボルタワーとして計画された東北地方では初めての 33 階建て RC 超高層集合住宅である。近年の慢性的な熟練工や若年建設作業員不足に加え、プロジェクト着手当時の急激な建設需要の増大に伴う深刻な作業員不足を背景として、当工事では、サイト PCa 部材を主体とした躯体施工法を採用し、省力化を図った。その結果、約 4 100 ピースの PCa 部材をすべてサイトで製作し、型枠面積の 88 % を削減するとともに、工期 28 か月の施工を余裕をもって完了した。また、高強度コンクリートの品質管理においても、作業所内にコンクリート品質管理室を設置し、生コンクリートプラントの指導、打設および強度試験の管理、結果のフィードバック等を行い、よい結果を得た。本報は当建物の概要、サイト PCa 部材の製作、RC 超高層の躯体構築工法および高強度コンクリートの品質管理

について報告する。

2. 工事概要

2.1 建物概要

名称：ダイアシティ 2000 茂庭 C 1 棟
建築地：仙台市太白区茂庭台 4 丁目
用途：共同住宅 (246 戸)
面積：(建) 1 408.94 m² (延) 2 万 8 251.19 m²
階数：地下 1 階、地上 33 階、塔屋 3 階
高さ：最高の高さ 108.7 m 軒高 95.95 m

写真-1 建物外観

*1 かわさき・ひでお／	同 上	作業所長
課長		
*2 しょうじ・きよし／	同 上	設計部 構造
*3 たかはし・かずお／	同 上	課長代理
課長		
*4 すぎはら・まさあき／	同 上	技術部 技術
課長		

図-1 採用工法

地上躯体工事

- ・ 水平・垂直分離打ち工法
- ・ サイト大型オムニア版床工法
- ・ サイトPCa大梁、小梁工法
- ・ サイトバルコニー立上付きオムニア版工法
- ・ 梁、柱、ネジ鉄筋無機グラウト継手工法
- ・ 高強度コンクリート
- ・ 柱システム型枠工法（足場付き）
- ・ 鉄骨階段地上組立工法
- ・ 外壁パネルの大型化
- ・ 柱筋先組工法
- ・ スラブ筋、ウェルドメッシュ工法

地下躯体工事

- ・ フライアッシュコンクリート使用
- ・ 無支保工工法

仕上げ・設備工事

- ・ バルコニー手摺先付け工法
- ・ 外壁先行塗装工法
- ・ 乾式二重床工法
- ・ 乾式耐火間仕切壁工法
- ・ 外壁器具先付け・実管打込み工法
- ・ 住戸、給湯、給水ヘッダー配管工法
- ・ 住戸内ユニット配管工法
- ・ ルーフドレン先配管工法
- ・ 電気幹線プレハブケーブル工法

仮設工事

- ・ 無足場工法
- ・ 親杭レール1段アースアンカー工法

Construction of a RC High-Rise Condominium Building with Site-Fabricated Precast Concrete Members

By H. Kawasaki, K. Shoji, K. Takahashi and M. Sugihara

Concrete Journal, Vol. 32, No. 2, pp. 37~45, Feb. 1994

Synopsis The Daia-City 2000 Moniwa, constructed in a suburb of the City of Sendai, is the first reinforced concrete high-rise condominium building with 33 stories in the Tohoku District, and is a symbol of a new-town project with 9 buildings having total 927 houses. Adopting a integrated construction method, that is, using precast concrete members fabricated at a site shop as well as many other construction methods saving construction labor and resources, construction of the building was completed efficiently. It was the first time to use high-strength concrete of 480 kgf/cm² (47 MPa) to building construction in the Tohoku District. To control the quality of high-strength concrete at the site, technical consulting to ready-mixed concrete plants and testing for concrete were conducted. The report describes the fabrication of precast concrete members, construction of a precast concrete structure and quality control of high-strength concrete.

Keywords : site-fabricated precast concrete members, high-strength concrete, integrated construction method

施 工：竹中・西松・東海建設共同企業体
工 期：平成2年12月～平成5年3月(28か月)

2.2 構造概要

1) 構造種別および架構形式

地下階：RC造	耐震壁を有するラーメン構造
地上階：RC造	純ラーメン構造
塔屋：S造	ブレース構造
外部階段：S造	ラーメン構造
非耐力壁：外壁	ALC板、成形セメント板
戸境壁	乾式耐火間仕切壁

2) 基礎形式

直接基礎（ベタ基礎）

3) 使用材料

コンクリート $F_c=270\sim480 \text{ kgf/cm}^2$ (普通コンク

リート)

鉄筋 柱・梁主筋 SD 390, SD 345 (D 29~D 41)
フープ 溶接格子 SD 295 A (D 10~D 16)
スターラップ 閉鎖型 SD 295 A (D 10~D 16)

主筋継手 ねじ鉄筋無機グラウト継手

4) 構造上の特色

設計段階から施工の省力化を狙いとしたプレファブ化の検討を行い、大梁・小梁・スラブを半プレキャスト部材とする積層工法の採用を決定し、構造上以下の点を考慮した設計を行った。

- ・ 躯体断面は、柱を4種類、大梁をXY方向同一断面で5種類として、種類を少なくするとともに、すべての柱梁仕口部で柱芯と梁芯を合わせることで、型枠および配筋の合理化を狙った。

図-2 総合仮設計画

・半プレキャスト大梁をXY方向別に順次柱仕口へ落とし込む施工法からの制約もあり、大梁主筋はすべて太径鉄筋による1段配筋とした。また、許容応力設計において、コンクリートのひび割れによる剛性低下を考慮した応力再配分の手法を導入し、大梁配筋の均一化を図った。これらにより主筋本数および配筋の種類を少なくし、プレキャスト大梁の生産性向上を狙った。

3. 施工概要

3.1 採用工法と総合仮設計画

当プロジェクトの施工においては、建設作業員不足というきびしい環境の下で省力化を図るため、躯体工事、仕上工事ともに、多数の工業化および省力化技術を積極的に採用した。採用工法を図-1に示す。

とくに、躯体工事においては、梁・スラブ・バルコニーをすべてPCa化し、PCa部材を主体とした複合化

工法を採用した。PCa部材の製作は、建蔽率20%以下で空地が多いことを生かし、作業所敷地内に設置した製作ヤードで生産する、サイトPCa方式を採用した。

サイトPCa製作ヤードには門形クレーンと80tクローラークレーンを設置し、PCa部材の製作およびストックヤードへの移動を行った。製作されたPCa部材は、ストックヤードで塗装等の仕上げ、安全施設および本設手摺の取付け等を行い、2台のタワークレーン(JCC-230)で揚重し、組立て施工を行った。

揚重にあたっては、PCa部材の大型化、外部鉄骨階段の2層分先行組立てなどにより、タワークレーンの揚重効率の向上を図った。

図-2に、PCa製作ヤードおよびストックヤード、柱筋等の鉄筋加工ヤードおよびストックヤード、揚重機等の配置状況を示す。柱筋等の鉄筋加工ヤードには簡易タワークレーンを設置した。建物中央のボイド(12m×12m)内に設置した高速人荷用エレベータはおもに仕

表-1 PCa部材の種類と数量(プロジェクト全体)

部 位	ピース数	コンクリート量	部 位	ピース数	コンクリート量
床	4 125 p	3 032 m ³	大 梁	1 600 p	3 521 m ³
バルコニー	2 365 p	1 794 m ³	小 梁	312 p	163 m ³
壁 PCaF	836 p	523 m ³	階 段	199 p	275 m ³
壁 PCa	745 p	286 m ³	計	1 万 182 p	9 594 m ³

※鉄筋加工、タイル張り、タイル洗い、左官補修、小運搬、出荷等全て含む。管理人員は別。

図-3 PCa部材の製作実績(プロジェクト全体)

写真-2 サイト PCa 工場

写真-3 梁筋組立て用架台

上げ材の揚重および作業員の昇降用に使った。

3.2 サイト PCa 方式による部材の製作

当プロジェクトは、住宅棟が9棟あり、C1棟を含め8棟でPCa部材を採用した。これらの部材を作業所内に設置した製作ヤードで製作し、供給した。表-1にプロジェクト全体のPCa部材の種類および数量の一覧を、図-3に各棟の工期にあわせた製作実績を示す。製作用ベッドは部材の供給量に合わせ、3段階に分けて整備した。C1棟用の部材製作は最終段階であり、梁用の型枠、大型スラブ用のベッドを増設して実施した(写真-2)。

製作ヤードの運営は、ベッドの製作、部材施工図の作図、部材の製作そして各棟への供給まで、作業所で行った。運営管理者、施工図作成者および作業員は、他作業所のPCa製作ヤードやPCa製造メーカー工場の見学および研究会等により指導育成し、固定した人員を確保した。その成果として、PCa部材の製作は、各棟の工事状況に合わせて生産を制御し、ジャストインタイムで各棟に供給することができた。

太径高密度配筋からなるC1棟のPCa大梁の製作にあたっては、高い精度が要求された。とくに鉄筋位置の

写真-4 大梁下端主筋の連結

表-2 PCa 部材の種類と数量 (C1棟)

部 位	ピース数	コンクリート量	最大寸法 (mm)
大 梁	1 600 p	3 521 m ³	650×650×11 025
小 梁	312 p	163 m ³	300×400×4 710
床	1 430 p	1 123 m ³	4 910×4 960
バルコニー	817 p	763 m ³	1 760×7 920
計	4 159 p	5 571 m ³	—

図-4 PCa 部材の割付け

精度は、ねじ鉄筋無機グラウト継手を採用していることから、ねじ山をも合わせなければいけないという条件があった。したがって、写真-3に示す梁筋組立て用の架台を考案・使用し、組立てを行った。また、コンクリート打設時には、ねじ山を合わせるため、写真-4に示すように、梁の下端主筋はすべてカプラーで連結し、コンクリート硬化後にカプラーを外して脱型した。その結果、取付け時にはトラブルもなく順調に作業を実施することができた。

そのほかに小梁、大型スラブ、バルコニーのPCa部材を製作した。表-2にC1棟PCa部材の種類および

表-3 使用材料および資材（安全施設は除く）

部位	使用材料・資材	最大重量	数量／階
柱	現場打ちコンクリート	—	65～90 m ³
	先組柱筋	—	48 ピース
	システム型枠	—	48 セット
大梁	半 PCa 大梁	7.85 t	50 ピース
	大梁接合部型枠	—	31 セット
小梁	半 PCa 小梁	1.36 t	12 ピース
床	半 PCa スラブ	2.94 t	44 ピース
	半 PCa バルコニー	3.06 t	26 ピース
	現場打ちコンクリート	—	125～140 m ³
階段	鉄 骨	総重量 347.8 t

写真-5 PCa 大梁の揚重

写真-6 PCa 大梁用の親綱取付け治具

数量を示す。本プロジェクトのように、多種・多量のPCa部材を作業所が運営するサイトPCa製作ヤードで生産することは初めてであったが、精度のよい製品をそれぞれの棟の工事状況に合わせ生産することができた。

3.3 躯体工事の施工

躯体工事は、1フロアを4工区に分割して行った。平面的な流れ作業と上階への移行をうまく組み合わせ、螺旋状にコンクリート躯体を打ち上げることで、作業

写真-7 柱システム型枠

図-5 柱・梁接合部

図-6 大梁の断面

量の分散を図り、小数固定人員による効率のよい施工が可能となった。図-4に梁・床等PCa部材の割付けを、表-3に1フロア分の使用材料および資材を示す。タイプおよび大きさの異なるPCa大梁の揚重は、写真-5に示すように、ひとつですべての揚重が可能な吊り治具を考案し、使用した。また、写真-6に示すPCa大梁用の親綱取付け治具を考案し、PCaスラブ取付け、スラブ配筋時の墜落災害を防止した。

柱は現場打ちコンクリートとした。柱型枠は、転用性（耐久性）と作業性（軽量化）を考慮し、写真-7に示すような、両面に樹脂コーティングされた合板を使用したシステム型枠を使用した。冬期は型枠の外側に断熱材を張り付けて保温し、コンクリート初期養生を簡略化した。打設工法はPCa部材取付け前（大梁配筋前）に密実な柱コンクリートの打設を目的として、「水平垂直分離打

1日目：墨出し、柱筋接合部グラウト
2日目：柱型枠組立〔午前〕

2日目：柱(垂直部材)コンクリート打設
(梁下まで)〔午後〕

3日目：半PCa梁据付
4日目：スラブ及びバルコニー半PCa板据付
5日目：梁上筋配筋

6日目：梁筋接合部グラウト、スラブ上筋配筋
7日目：上階の先組柱筋組立、設備配管
8日目：梁スラブ(水平部材)コンクリート打設

図-7 施工手順

図-8 調査決定手順

ち」を採用した。水平垂直ともにコンクリートバケットで打設した。柱コンクリートの打設足場は、安全性を考慮し、容易に移動できるものを考案した。

RC 超高層であるため、太径鉄筋が多量に使用される。図-5, 6 に柱と梁の接合部(パネルゾーン)の配筋状

況を示すが、この部分の鉄筋精度、作業手順が工期を左右する。したがって、鉄筋加工図から要求される鉄筋相互のあき寸法以内の精度で鉄筋を組立て、PCa 大梁および柱にコンクリートを打設しなければならない。鉄筋相互の位置ずれ防止には、治具を使用し保持につとめた。これらの工夫により、支障なく工事が進められた。これらの工夫・改善の結果、当初1フロア10日と予定していたサイクル工程が、1フロアを8日間で施工することができた。その施工手順を図-7に示す。また、基準階の施工状況を写真-8に示す。

4. 高強度コンクリートの品質管理

4.1 コンクリートの調査

当プロジェクトはRC 超高層集合住宅であり、設計基準強度 $F_c=480 \text{ kgf/cm}^2$ (最大)の高強度コンクリートが採用されている。RC 超高層および高強度コンクリートは東北地方で初めてであり、実績がある生コンクリート工場はない。したがって、建築地に近接する生コ

写真-8 基準階の施工状況

表-4 実機試験の調査条件

調査条件	水セメント比	単位水量	所要スランブ	空気量
	30, 35, 40 %	175 kg/m ³	21 cm	4.5 %

表-5 高強度コンクリート調査の例

F_c kgf/cm ²	スランブ cm	空気量 %	W/C %	S/A %	単位水量 kgf/m ³				混和剤
					W	C	S	G	
510	21	4.5	31.5	40.1	175	556	622	975	13.5
480	21	4.5	33.0	41.8	175	530	658	961	12.1
450	21	4.5	35.0	42.7	175	500	681	961	10.0
420	21	4.5	37.5	43.7	175	467	709	961	8.5
390	21	4.5	40.0	44.9	175	438	740	953	7.4

ンクリート工場（3工場）を対象にして、骨材調査、工場調査を行うとともに、コンクリートの調査計画に必要な水セメント比と圧縮強度の関係の資料を得るために試験練り、実機試験等を実施した。当作業所で実施した調査計画の手順を図-8に示す。

建築地が寒冷地であり、凍結融解抵抗性向上のため一般のコンクリートは空気量 4.5 % で打設されているが、下記の理由により、空気量をできるだけ小さく設定することを目的として凍結融解試験を行った。

- ・高強度コンクリートは、一般のコンクリートに比較して、凍結融解抵抗性がよいとの報告があること
- ・空気量は小さいほど強度的には有利であること

その結果、水セメント比 30 % では空気量 (3.5~4.5 %) の違いによる凍結融解抵抗性の差は認められなかったが、実際に使用するであろう水セメント比 35 % および 40 % では空気量の大きいほうが凍結融解抵抗性が高い傾向がみられた。

また、乾燥収縮による亀裂防止および充填性を考慮し、単位水量、所要スランブ、出荷時空気量を表-4の数値に固定し、実機試験を行った。

実機試験は、プラントでの製造から現場での打込みまで、実際のコンクリート打設と同じ工程で実施し、水セメント比と圧縮強度の関係を求めた。さらに、現場打ちコンクリートの柱とサイト PCa 部材の梁の実大試験体を作成し、養生温度条件の違いによる強度の発現状況、

写真-9 コンクリート品質管理室

打込み時の充填性等を確認した。

$F_c=360 \text{ kgf/cm}^2$ の基礎梁コンクリートは、マスコンクリートになることから、フライアッシュ B 種高強度コンクリートを採用した。圧縮強度の管理材齢を 56 日として、図-8 に示す手順で試験練り、実機試験等を行った。

これら各種試験の結果を調査計画の基礎資料とし、所要強度に対する水セメント比を求めて調査を決定した。決定した調査計画はプラント別にそれぞれ一覧表を作成した。寒冷地であるため、一覧表の中には温度補正時のコンクリート強度に対する調査も含まれている。高強度コンクリートの発注はこの一覧表を使用することとした。決定した調査のおもなものを表-5 に示す。調査決定までに約 6 か月を必要とした。

4.2 品質管理

現場打ちの高強度コンクリートは 50 m³ ごとに、サイト PCa 部材はほとんど毎日コンクリートが打設され、それぞれ品質検査および圧縮強度試験を行わなければならない。これら繁多な品質管理業務を行い、各種材齢の供試体履歴を明確に管理するために、作業所内にコンクリート品質管理室を設置した (写真-9)。

また、コンクリート主任技士および工業標準化品質管理推進責任者を常駐させ、コンクリートに関する各種の検査および試験結果に対する早期対応体制を確立した。おもな業務は、試験室で行われる各種検査および試験の立合い、定期的な生コンクリート工場における製造および管理状態の確認および指導、品質管理結果の資料作成および生コンクリートプラントへのフィードバック等である。

とくに、高強度コンクリートの温度補正については、支保工解体時の所要強度 210 kgf/cm² と、打設されたコンクリートの強度発現状況のフィードバックにより、必要以上に高い強度のコンクリート打設を避けた。

図-9 材齢 28 日標準水中養生供試体の圧縮試験結果 ($F_c=480 \text{ kgf/cm}^2$)

図-10 現場水中養生供試体圧縮試験結果

4.3 実施結果

設計基準強度 $F_c=480 \text{ kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートについて、材齢 28 日標準水中養生供試体の圧縮強度試験結果を図-9 に示す。圧縮強度の平均値 659 kgf/cm^2 、標準偏差 54 kgf/cm^2 、変動係数 8.15% であった。現場水中養生または封かん養生供試体の圧縮強度試験結果を図-10 に示す。全試験において設計基準強度を十分に満足する結果であった。

5. おわりに

大規模 RC 超高層集合住宅棟の工事において、直営

方式によるサイト PCa 部材を主体とする複合化工法を採用し、少数固定人員で高品質、高効率（施工効率 1.92 人/m^2 ）の施工を実施することができた。基準階においては、1 フロアを 4 工区に分割した水平垂直分離打ち工法で、1 フロア 8 日タクトを実現できた。また、これらの工法の採用が安全領域を拡大し、全工期無災害（228 万時間）の達成に大きく貢献した。

高強度コンクリートについては、材料および調査に関する各種試験と現場施工実験を計画的に実施して調査を決定するとともに、作業所内に品質管理室を設置して、ほぼ毎日打設されるコンクリートに対して綿密かつタイムリーな管理を行った。その結果、安定した高品質の躯体を施工することができた。

最後に、本プロジェクトの計画および実施にあたり、ご指導、ご協力をいただいた関係各位に深謝の意を表す。