RCFT 構造による超高層建築の施工

CONSTRUCTION OF HIGH-RISE BUILDING USING REINFORCED CONCRETE COLUMNS FORMED IN STEEL TUBE (RCFT) STRUCTURAL SYSTEM

谷垣勝彦 —*1 金井隆夫 —*2
小室 努 —*3

Katsuhiko TANIGAKI —*1 Takao KANAI —*2
Tutomu KOMURO —*3

キーワード：
RCFT 構造, 鋼管, 高強度コンクリート, RC 造, 耐久性, 無耐火被覆

Keywords:
RCFT structure, Steel tube, High strength concrete, RC structure, Durability, Non-Fireproofed

RCFT columns (Reinforced Concrete Columns Formed in Steel Tubes) were used for the first time as the core columns of a 30 story high-rise hotel building. RCFT columns are high strength concrete columns contained in a thin-walled steel tube. The concrete is reinforced by high strength steel bars as the main reinforcement and deformed PC steel bars as shear reinforcement. This type of columns show excellent structural performance and fire resistance. Several factors need to be considered in the erection of such columns. These include, assembling and anchoring of the steel reinforcement within the tube, joining of reinforcement, erection of the steel frames, method of filling the steel tube with 80N/mm² high strength concrete and its quality control. These problems were investigated and solved through model tests and during the actual erection.

1. はじめに

CFT 構造は、鋼管とコンクリートの相互拘束効果とコンクリートを充填することによる耐火性能に優れた構造である。RCFT 構造は、鉄筋コンクリート柱の外周を薄い鋼管で覆った柱 (RCFT 柱) を有する構造で、鉄筋コンクリート構造と CFT 構造の利点を併せ持つ構造として開発された。本報は超高層 RC 造の 30 階建てホテル建築のコア柱に採用された RCFT 柱の施工計画、施工実験および品質管理結果について述べる。

2. 建物概要

建物概要を表 1 に示す。

表 1 建物概要

建設地：東京都港区高輪	施主：西部鉄道
用途：ホテル、映画館、音楽ホール、宴会場、店舗など	
建築面積：6,283.51m ²	述床面積：49,995.00m ²
階数：地下 2 階、地上 30 階、塔屋 2 階	
軒高：101.5m	最高高さ：102.2m
工期：35 ヶ月	

3. RCFT 構造の概要

RCFT 柱は図 1 に示すように高強度鉄筋の主筋、異形 PC 鋼棒のせん断補強筋と高強度コンクリートからなる RC 柱を比較的薄い鋼管で覆った構造である。横補強鉄筋と鋼管の拘束効果により耐力、靱性および変形性能に優れ、CFT 柱と同等以上の構造性能を有する。従って鉄骨梁と組み合わせることにより、大スパンが可能になることから、空間構成の自由度が高く、風などの横揺れにも高い居住性が期待できる。また耐火性能に優れ、耐火被覆なしで 3 時間以上の性能を有する。施工面でも鋼管の建方を先行できるため、S 造や CFT 構造と

同等の工期で施工できるほか、鉄骨量の削減や耐火被覆が不要になるなどのメリットがある。

図 1 RCFT 柱 (鉄筋コンクリート鋼管柱)

4. 建物の構造計画

基準階平面を図 2 に示す。高層部のコア柱は、円形の鋼管柱が 9 本あり、これが RCFT 柱である。角柱 1 本はタワクレーンのマストとして利用するマストコラムとしたため鉄骨柱とした。高層部の外周は、6 階から上は柱梁とも RC 造である。B2 階から 6 階までの高層直下は、独立柱を RCFT 柱としたが、耐震壁に取り合う部分は SRC 柱と RC 梁で構成している。コア部梁および内部梁は S 造である。

RCFT 柱の構造設計仕様を下記に示す。

鉄筋—主筋 12-D41~D32、帯筋 U10.7@100(ワイルド)

鉄骨—鋼管 φ812.8、外ダイヤフラムリング t 50mm

充填コンクリート—B2F~13F Fc80N/mm²、

14F~30F Fc60、42、36、30N/mm²

*1 大成建設建築本部
(〒163-0606 新宿区西新宿1-25-1)

*2 大成建設東京支店

*3 大成建設設計本部

*1 Building Construction Division, TAISEI Corp.

*2 Tokyo Branch, TAISEI Corp.

*3 Design Division, TAISEI Corp.

図2 構造設計平面図・軸組み断面図

5. 建物の施工計画と実大施工実験

5.1 施工方法

施工方法は、B 2 階から 6 階までは低層棟と同時施工となるため在来工法とし、6 階からは 1 フLOOR 毎に施工していく積層工法で計画した。積層工法は 1 フLOOR 毎に床を施工し、その階の柱、梁と外壁を先に組み立てる。そのため高所作業がなく、一定作業の繰り返しとなるので安全性と労務の平準化などに利点がある。また仮設の低減、工程の短縮、品質の向上と均一化などの効果が期待できる。コア部の RCFT 柱は 3 層一節とし、鉄筋を予め鋼管に挿入し固定して建方を行うこととし、鉄筋は重ね継手とした。RCFT 柱のコンクリートの充填は、外周部の RC 柱が在来工法でバケットによる現場打ちが適することもありバケットによる落とし込み工法を採用した。外周の RC 梁と間柱はプレキャスト (PCa) 部材とした。

施工手順は m 節の RCFT 柱を建て、n 階の養生パネル、RC 柱、n+1 階の S 梁、PCa 梁および床デッキを敷き込み、n+1 階の床コンクリートを打設し、n 階の外壁 PCa カーテンウォールを取り付ける。1 フLOOR 7 日間のサイクル工程である。n+3 階まで同じ手順で繰り返し、n+3 階床コンクリート打設後、m 節 RCFT 柱のコンクリートを充填する。

5.2 施工上の問題点

施工計画時に次のような施工上の問題点が浮かび上がったの

で、実大モデル施工実験を行い検討することとした。

(1) 鉄筋を鋼管柱に挿入し固定する方法

鋼管内にダイヤフラムリングが 33mm 突出しており、鉄筋との隙間が 20mm と少なく鉄筋の挿入方法に検討が必要である。

(2) 鉄骨建方時の鉄筋継手の処置方法

鋼管柱建込み時に鉄筋の重ね継手の配置が円滑にまた正確に行えるか検討が必要である。

(3) コンクリートの充填方法

鉄筋外側の鋼管との間とダイヤフラム下部の密実な充填が行えるか確認が必要である。

5.3 高強度コンクリートの製造および品質管理計画

(1) 製造工場の選定

Fc80N/mm² および Fc60N/mm² は特に品質管理が重要であるため、実績がありかつ地理的に近い S 工場を指定した。

(2) 調合計画

Fc80N/mm² は結合材を当社が高強度コンクリート用に開発した 3 成分セメント(VKC)^[1]とし、目標スランブフロー値を 60cm、目標空気量を 2.0%とした。Fc60N/mm² は結合材を低熱セメント(L)とし、目標スランブフロー値を 60cm、目標空気量を 2.0%とした。Fc42N/mm² は普通ポルトランドセメント(N)を使用し、目標スランブを 21cm、目標空気量を 3.0%とした。Fc36,30N/mm² は普通コンクリートとして普通ポルトランドセメントを使用し目標スランブを 18cm、目標空気量を 4.5%とした。RCFT 柱の充填コンクリートのうち、Fc80,60,42N/mm² の調合を表 3 に示す。

コンクリートの調合強度のうち、Fc80N/mm² は施工実績^[3]から構造体強度の強度補正值₅₆S₅₆=11.8N/mm² (冬期)とした。Fc60N/mm² はこの工事に先行しているほかのプロジェクトで実施した試し練りの結果から強度補正值₅₆S₅₆=10.8N/mm² (冬期)とした。図 3 に試し練り結果の水結合材比と強度および S 値の関係式を示す。調合強度を決める材齢と構造体強度の管理材齢はともに 56 日である。

表2 調合式

$F_{56} \geq F_c + s_{56} S_{56} + 2 \sigma \cdots \cdots (1)$
$F_{56} \geq 0.9(F_c + s_{56} S_{56}) + 3 \sigma \cdots \cdots (2)$
F_{56} : コンクリートの調合強度(N/mm ²)
F_c : コンクリートの設計基準強度(N/mm ²)
$s_{56} S_{56}$: 材齢 56 日におけるコア供試体と標準養生供試体の強度差
σ : 標準養生材齢 56 日圧縮強度の標準偏差(N/mm ²)
80N/mm ² : 実績から 0.08(Fc+s ₅₆ S ₅₆), 60N/mm ² : 0.1(Fc+s ₅₆ S ₅₆)

図3 結合材水比と圧縮強度、強度補正值₅₆S₅₆ (低熱セメント)

表3 調査表

設計基準強度 (N/mm ²)	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				高性能AE減水剤 (B×%)
			水	結合材	細骨材	粗骨材	
80	26	47.3	155	596 ^{*1}	770	891	2.9/HE
60	32	49.6	165	516 ^{*2}	829	907	1.4/S
42	35	46.2	170	486 ^{*3}	777	940	1.55/HR

^{*1}: NSK 普通ポルトランドセメント、スラグ石膏系混和材、シリカヒューム 混合比 7:2:1
^{*2}: 低熱ポルトランドセメント
^{*3}: 普通ポルトランドセメント
 細骨材: 市原産山砂、鳥形山産石灰岩砕石
 粗骨材: 嵯峨産石灰岩砕石
 高性能AE減水剤: レオビルトSP-8HE, S, HR

5.4 実大モデル施工実験

(1) 実大モデル試験体

試験体を図4に示す。コンクリートの充填確認を流動性が大きいFc80N/mm²と普通の流動性の代表としてFc42N/mm²の2調合で行うこととして試験体A、Bの2体を製作した。

鋼管は長さ9.3mで、リングが6個ある。基礎に重ね継手となる継手筋を図4に示すように固定した。試験体は先組した鉄筋を鉄骨に挿入して固定した後、鉄骨を吊り上げ、基礎上の継手筋をかいしてセットした。

試験体AはFc42N/mm²を柱頭まで充填し、試験体BはFc80N/mm²を3.65mの高さまで充填することとした。コンクリート硬化後、コンクリートを切断し充填状態を確認した。図4に切断位置を示す。

図4 試験体

(2) 鉄筋・鉄骨組立て

鉄筋は吊込み時の組立て精度を確保するため縦組みで行った。鋼管への鉄筋の挿入時の問題点は、鉄筋先端にすべり材(図6)を取付けることでリング部分に引っかかることなく解決した。

鋼管と鉄筋の位置精度を確保するため、鋼管下部にスペーサー、鋼管上部には主筋を正確に固定する治具を取り付けた。その結果、

鉄骨と主筋の位置精度が確保できるため、鉄骨の吊下ろし位置を管理することで鉄筋は下部に固定した継手筋部分にスムーズに挿入され鉄骨を建て込むことができた。コンクリート打設後、試験体Bは図4に示すジョイント部を切り離し、図6に示すように試験体Aの上に支障なく建込めることを確認した。

図6 鉄筋・鉄骨継手部分

(3) コンクリート打設に使用したバケット

図5にバケットによる打設状況図を示す。バケットにはサニーホースと先端にパイプレータ付きの筒先金物を取付け、パイプレータはリモコンで稼動できるものとした。位置センサーにより筒先金物を常にコンクリートに沈めた状態に保持できると共にクレーン運転者に点滅で知らせるため、バケットの巻き上げ速度を調節可能にした。またカメラで筒先位置およびコンクリート表面状態を把握できる。

(4) コンクリート打設

コンクリートは計画通り、表3に示す調合で打設を行った。

Fc80N/mm²はほぼ目標通りであった。Fc42N/mm²は目標よりやや柔らかい。コンクリート打設は常に筒先をコンクリートに沈め、パイプレータによる締め固めを行った。打設速度を図7に示す。

Fc42N/mm²は約1m/分の打設速度で、Fc80N/mm²は約73cm/分とやや遅い。Fc42N/mm²は打設に約9分、バケットの入替えに約14分で計23分かかった。Fc80N/mm²は3.65mの打設に約5分かかったので、1本の打設には約28分要すると予想される。実施工では入替え時間を考慮する必要がある。締め固めは、筒先金物に取り付けたφ50mmの棒状パイプレータ2本で行った。その状況はTVモニターで観察し、予想した以上に震動が強力であり、締め固め効果を確認した。

図7 打込み速度

充填状況は切断位置①～⑥は横断面、①と⑤は下部の鉄板を剥ぎ取りコンクリート表面状態を観察した。切断位置②③はさらに縦切断して観察した。その結果の1例を写真1に示す。全ての断面に隙間などなく密実に充填されていることを確認した。図8に圧縮強度の試験結果を示す。打設温度が高い時期にも関わらずFc80N/mm²は標準養生とコア強度に差がないことを確認した。これは結合材の特徴と思われる。Fc42N/mm²も十分な強度が得られた。

図8 圧縮強度の試験結果

写真1 コンクリート充填状況

6. RCFT 構造建物の施工結果

6.1 積層工法

当初の計画では、1フロアー7日サイクル工程であったが、積層工法の特徴である小人数での繰り返し作業が長期にわたることによって、作業の効率化、熟練が図られ、1フロアー6日サイクル工程に短縮できた。

6.2 鉄筋組立ておよび鉄骨建方

鉄筋組立ては、実大モデルでは縦組みで行ったが、作業効率から専用の架台を設けて横組みで行った。鉄骨への挿入および固定は、鉄骨を複数あずけられるよう工夫した組立て専用の足場架台で行った。鉄筋固定用治具など実験と同じ要領で行った結果、鉄筋を円滑に鉄骨に挿入し精度よく固定できた。鉄骨建方時には、鉄筋の重ね継手部分がスムーズに挿入できるか心配であったが、実大モデル施工実験通りに支障なく実施できた。

6.3 コンクリート

(1) コンクリートの打込み

実大モデル施工実験では、小型カメラによる TV モニターを使用し、打設状況の観察を行い、センサーによってホース先端がコンクリート内部に入っているか管理した。しかし実施工で TV モニターが日射の影響で見にくいなど不具合があることがわかり、鉄骨上部から照明を強力にして観察して施工した。

コンクリートの打設速度は、1本当たりの所要時間が Fc42N/mm² 以上で平均約 40 分弱、Fc36N/mm² 以下では 30 分弱であった。

(2) コンクリートの品質管理

Fc42N/mm² 以上の高強度コンクリートは、100m³ 毎、かつ打設日毎に 3 台のアジテータ車から 3 本ずつ採取した 9 本の供試体で圧縮強度を管理した。フレッシュコンクリートの検査は、Fc60N/mm² 以上は供試体採取時を含めて 5 回実施した。また Fc80N/mm² に関しては全車単位水量試験を行い、安定した品質を得た。図 9 に高層棟 5,6,7 節の Fc80N/mm² の変動調査結果を示す。表 4 に RCFT 柱に打設した Fc80、60N/mm² の品質調査結果を示す。なお Fc36、30N/mm² に関しては普通コンクリートとして品質管理を行い良好な結果を得た。

7. まとめ

設計基準強度が最高 80 N/mm² の高強度コンクリートを使用した RCFT 構造の超高層建築の施工結果を以下にまとめる。

- (1) RCFT 柱は、積層工法の工程で支障なく施工できる。
- (2) RCFT 柱のコンクリート打込みの管理は、従来方法で支障なく実施したが、TV モニターが見にくいなど図 5 に示すパケットに改良の余地がある。
- (3) Fc80N/mm² のコンクリートは、フレッシュコンクリートの単位水量を管理することで安定した品質を得ることができた。
- (4) 鉄筋の組立ておよび継手の処置、鉄骨への固定と鉄骨建方などは実大モデル施工実験の手順通り円滑に施工できた。

謝辞 本工事の施工に際して西部鉄道の関係者を初め、工事関係者の協力を得たことに対して心から謝意を表します。

図9 Fc80N/mm² の品質変動調査結果表4 Fc80N/mm²、60N/mm² の品質調査結果

		単位水量 (kg/m ³)	スランプ (cm)	標準養生圧縮強度 (N/mm ²)	
				材齢 28 日	材齢 56 日
Fc80 N/mm ²	試験回数	36	43	27	27
	平均値	152.9	61.1	104.1	110.6
	標準偏差	3.8	5.0	6.8	5.8
	変動係数	2.5	8.2	6.5	5.3
Fc60 N/mm ²	試験回数	—	5	3	3
	平均値	—	60.0	79.7	88.9
	標準偏差	—	3.6	0.9	0.1
	変動係数	—	6.0	1.1	0.2

参考文献

- 1) 陣内 浩他：「設計基準強度 100N/mm² の高強度コンクリートを用いた超高層建築の施工」日本建築学会技術報告集 No.9.7-12,1999.12
- 2) 新都市ハウジング協会：CFT 構造技術指針・同解説 p 97-106
- 3) 谷垣勝彦他：「RCFT 柱の施工方法の検討」日本建築学会大会学術講演梗概集 A1.pp895-896,2000.9
- 4) 小室 努他：「鋼管で囲んだ高強度鉄筋コンクリート柱」コンクリート工学年次論文集、Vol.22,No.3,pp361-366,2000
- 5) 川端一三、小室 努他：「鋼管で囲んだ高強度鉄筋コンクリート柱 (RCFT 柱) の開発 (その 1、2)」日本建築学会大会学術講演梗概集 C1.pp1209-1212,2000.9

[2001年11月30日原稿受理 2002年7月23日採用決定]