柱プレキャスト RC 造・はり S 造とする 混合構造によるオフィスの施工

小早川 敏*¹・三瓶 昭彦*²・小林 進*³・小松 芳樹*⁴

概要 柱を鉄筋コンクリート (RC) 造、はりを鉄骨 (S) 造とする混合構造を工業化した工法を開発し、このほど 4 階建ての中規模オフィスビルに適用した。この工法は FSRPC 工法と称し、建築生産技術の面では PC 工法の特長を持ちながら、構造計画の面では RC 造と S 造双方の長所を活用しようとのねらいで開発されたものである。その実施に際しては、部材の製作や組立・接合工程における工事計画、品質管理面において通常の架構式プレキャストコンクリート (FRPC) 工法とは異なるいくつかの課題が想定された。本報告はそれらの課題に対して本工事の実施を通して試みられた解決策、ならびにその結果について紹介するものである。

キーワード：混合構造、工業化、PC 工法、工事計画、架構式プレキャストコンクリート工法

1. はじめに

最近の建築生産技術面における傾向を眺めるとき、2 通りの流れがあるように見受けられる。

一つは、プレキャスト・コンクリート (以下 PC と呼ぶ) 工法に代表される工業化工法を在来工法と組み合わせてシステム化するものである。これらのシステムは複合法と呼ばれ、その試みは多種多様であるが、そのねらいとするところは工業化工法の持つ長所と在来工法の持っているメリットを組み合わせることにより、コスト、省力、工期等生産性や施工性の面で最適解を見つけようとするものである。

他の一つは、異なった構造形式を組み合わせることにより単独の構造形式では得ることのできない建物の機能や構造設計上の性能の向上をねらうものである。その構造形式は一般に混合構造と呼ばれている。

FRPC (フジタ式 Reinforced Precast Concrete) 工法は、鉄筋コンクリート (RC) 造の軸組構造の各部位を単材方式の PC 部材とし、仕口部や耐震壁を現場打ちとする一種の複合法であるが、過去に 40 件を超える実績を持ち、適用した建物の種類も店舗建築をはじめ多岐にわたっている。

今回開発した FSRPC (フジタ式 Steel Structure and Reinforced Precast Concrete) 工法は FRPC 工

法の大ばり部分を鉄骨 (S) 造に置き換え混合構造としたシステムであり、複合法と混合構造をミックスした工法といえる。すなわち、建築生産面においては PC 工法の特長を留保しながら、構造計画面では RC 造と S 造の双方の長所も活用しようとする工法である。

この工法の構造計画面および生産技術面での特長を以下に示す。

(1) 構造計画上の特長

通常の RC 造や S 造の建築物に比較して下記の項目を挙げることができる。

- ① RC 造に比べて比較的大スパンとすることが可能である。
- ② 同じく、はりせいを小さくできるので、階高を抑えることが可能である。
- ③ はりを S 造とすることにより建物の軽量化が図れる。
- ④ S 造と比較して架構の水平せん断剛性が高められて居住性の改善ができる。

(2) 生産技術面の特長

- ① PC 化によるプレファブ化、およびそれとともなう品質の確保が図れる。
- ② 工期の短縮が可能となる。
- ③ 作業所における省力化が図れる。

一方、この工法を実用化し、現実の建物に適用するた

*1 こばやかわ・さとし/㈱フジタ 建築本部 技術部技師長

*2 みかめ・あきひこ/ 同上 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 グループリーダー (正会員)

*3 こばやし・すすむ/ 同上 建築本部 建築設計部 構造部 チーフエンジニア

*4 こまつ・よしき/ 同上 札幌支店 建築部 工事長

めには、S ばりから RC 柱への応力伝達機構解明等の構造設計面や、生産・施工技術の面において解決しなければならぬいくつかの課題が挙げられた。

このたび北海道札幌市に建設されたオフィスビルにこの工法を適用し、予定どおりの成果を上げることができたので、ここにその技術的な検討の経過および結果について施工記録をもとに報告する。

2. 工法概要

この工法の概要を図-1に示す。

柱を RC 造、はりを S 造とする混合構造の設計上の課題は、鉄骨ばりから柱・はり接合部を介して鉄骨のな

り、その構造ディテールの開発と応力伝達機構の解明が重要な課題となっている。本工法の構造ディテールは S ばりを RC 柱に貫通させ、柱頭および柱脚の外周を床スラブの厚さ以下の幅の鉄骨バンドプレートで被覆したものである。

この鉄骨バンドプレートの拘束効果によりコンクリートの支圧強度を高め、S ばりから RC 柱に合理的に応力を伝達させようとするものである。

図-2に柱・はり接合部のディテールを、また図-3に内柱接合部の架構実験による柱せん断力-変形関係を示す。

実験結果より、この鉄骨バンドプレートは柱の性能を向上させるだけでなく、S ばりの応力をきわめて合理的

図-1 FSRPC 工法概要

Construction Record on an Office Building with a Composite Structure Composed of Precast Concrete Columns and Steel Beams

By S. Kobayakawa, A. Mikame, S. Kobayashi and Y. Komatsu

Concrete Journal, No. 30, Vol. 9, pp. 37~47, Sept. 1992

Synopsis We have developed an industrialized method to construct an office building with a composite structure constituted of reinforced concrete columns and steel beams. Recently, this method was applied to the construction of a 4-storied office building. Known as the FSRPC method, it features a PC method in the aspect of building production technology on the one hand and has the advantage of a reinforced concrete structure and a steel structure in the aspect of structural planning, on the other. Before its field application, we established several assumptions such as work execution planning involving the manufacture, assembly and connection of members, and a quality control system, all of which are different from those by the ordinary precast concrete frame method (FRPC). This paper will describe several solutions which we provided to cope with the abovementioned tasks through the construction of the 4-storied office building, as well as the results.

Keywords : composite structure, industrialized method, PC method, execution planning, precast concrete frame method

図-2 柱・はり接合部ディテール

に RC 柱へ伝達させること、さらに柱・はり接合部の構造性能は SRC 造と同等以上であることを確認した¹⁾。

部材および部材の組立・接合システムの概要は下記のとおりである。

- ① 柱は RC 造の PC 部材であり、柱頭部には大ばりと接合するための鉄骨部材を内蔵している。
- ② 柱主筋の接合は、柱脚においてモルタル充填式スリーブジョイントを使用する。
- ③ 大ばりおよび小ばりは S 造とする。
- ④ 大ばりと柱頭部の鉄骨ブラケットとの接合は、高力ボルトを用いる。
- ⑤ 床については選択の幅が広く、建物の用途や設計条件、立地条件に応じて在来工法や各種の床工法のなかから選定する。

3. 工事概要

3.1 一般事項

所在地：北海道札幌市厚別区下野幌テクノパーク 2 丁目 1-10

建築主：日本アイ・ビー・エム（株）

用途：事務所

敷地面積：5 291.66 m²

建築面積：1 175.70 m²

延床面積：4 199.09 m²

基準階床面積：972.81 m²

階数：地上 4 階、地下 1 階、塔屋 1 階

建物高さ：軒高 GL+14.445 m

最高部高さ GL+18.895 m

基準階階高 3.55 m 天井高 2.60 m

構造種別：基礎 場所打ちコンクリートぐい

架構 地下 現場打ち鉄筋コンクリート造

地上 FSRPC 構造

柱：RC 造 (PC 造)

はり：S 造

塔屋 鉄骨造

外壁：PC カーテンウォール

設計監理：(株)フジター級建築士事務所

施工：フジタ・伊藤組土建 共同企業体

工期：平成 3 年 6 月 18 日～平成 4 年 6 月 30 日

3.2 建築計画概要

本建物は、日本アイ・ビー・エム(株)がソフトウェア開発の地方拠点の強化をねらいとして、北海道札幌市に建設したものである。建設敷地は、札幌市の中心部から東南東約 12 km の札幌テクノパーク内にあり、自然・地域環境との調和を配慮した計画としている。平面計画は、快適でフレキシブルなオフィス空間を確保するために、建物の北側にコアを配置し、その外側に廊下を設けている。南側にはアメニティの高いアトリウムを配置し、北側と同じように外部環境を制御することにより、中央部に快適空間を確保している。大ばりを S 造とすることにより、建設地区の協定事項である 15 m の高さ制限の中で、4 階建てを可能とし、オフィスレイアウトの

図-3 柱・はり接合部荷重-変形曲線

図-4 基準階平面図 (3 F)

図-6 基準階伏図 (3 F)

図-5 A-A 断面図

図-7 軸組図

図-8 FRPC工法の概要

フレキシビリティの確保と経済性の向上を図っている。

3.3 構造設計概要

本建物は、X 方向 6 スパン、Y 方向 3 スパンの 4 階建てのシンプルな平面形状をしている。両方向とも純ラーメンで、基本グリッドは 6.4 m×9.6 m である。

建物の機能上、電気配線用のピットが多数配置されているので、床工法はデッキプレートを使用した在来工法とした。基準階平面図、断面図、伏図、軸組図を図-4～7に示す。

なお、当物件の構造設計においては、(財)日本建築センター コンクリート構造評定委員会の構造評価を受けている²⁾。

4. 施工計画

本工事は FSRPC 工法を採用して実施工を行う初めての工事であった。工事全体の進め方は FRPC 工法(図-8)に準じて計画した。FRPC 工法と異なり接合方式が鉄骨造と同じ乾式であるので、部材の組立順序の自由度が高く施工面での制約が少ないが、一方で新たな課題も想定された。

あらかじめ想定された課題は次の 2 項であった。

- ① 柱～大ばりおよび大ばり～小ばりの接合が高力ボルト接合であり、場所打ちコンクリートのウェットジョイントによる接合法に比べて施工誤差の許容値が小さい。
- ② したがって、部材精度、組立精度の確保がとくに要求される。

以上の課題を考慮しながら施工計画を立案した。

4.1 全体計画

(1) 工区分割

工事の進め方としては、図-9 に示すように平面的に A 工区、B 工区の 2 つに分け、部材の組立て・本締め作業と床工事・グラウト工事を交互に行うことにより、作業の重複と停滞が生じないように計画した。

図-9 工区分割

図-10 部材組立サイクル

(2) 建方サイクルと工程計画

建方サイクルを図-10 に示す。FRPC 工法においては、柱脚部のグラウト工事を大ばり架設前に済ませるのに対し、本工法では、柱～大ばりの組立・接合後にグラウト工事を行うこととした。先に柱脚部を固定すると柱～大ばりの接合が困難となる可能性が予想されたためである。

1フロアの建方サイクルは 8 日とし、外壁を含めた躯体工事の年内完了を目標とした。厳寒期前に躯体工事を終了しておくのが寒冷地における施工計画のポイントの一つである。

(3) 揚重機配置計画

本工法を採用すれば、躯体の建て逃げ方式(建物の奥の部分から組立てを始め、上階まで組み立てた後、平面的に順次手前部分に移動する)が可能である。本工事は、建物の 2 面に揚重機を配置するためのスペースがあり(図-11 参照)、この方式を採用する必要性はなかったが、一部分において試験的に施工をし、その可能性を確認することとした。

外周部の PC カーテンウォールの取付けも躯体完了後、同じ揚重機を使用することとした。

4.2 部材製造計画

鉄骨および PC 柱部材の製造工程における、製造効率の向上と製作精度の確保は本工法の施工面における最大のポイントと言ってよい。

(1) 鉄骨部材の製作

図-11 揚重機配置計画

図-12 鉄骨部材精度基準

本工法に使用する鉄骨部材は、はりブラケットを含む柱・はり接合部（仕口部）、大ばり、小ばりである。仕口部の鉄骨は製作後順次 PC 工場へ運搬し PC 柱に打ち込み一体化する。

本工法における鉄骨の製作に関しては、通常の SRC

造の鉄骨に比べて下記の点がとくに重要である。

- ① 仕口部の部材における直交するブラケットの直角度の確保。
- ② 仕口部の平面的なねじれの防止。
- ③ 大ばり本体については全長寸法の精度管理が重要

であり、配管スリーブ周りの補強溶接による鉄骨の縮み量の管理が必要となる。

躯体組立て時に必要な精度、鉄骨製作工程における製作精度の限度、JASS 6 の基準等を考慮して部材の製作精度基準を図-12 に示すように定めた。

(2) PC 部材の製作

工事に先立ち部材製造工場を選定する必要がある、以下の項目を考慮して前田製管(株)北海道工場に決定した。

- ① 作業所および鉄骨部材製作工場との運搬距離
- ② 工場の生産規模(生産量、作業人員数、ストック・運搬能力等)
- ③ 品質管理体制(コンクリートの品質管理状況等)
- ④ 類似部材の製作経験の有無(建築部材の製作経験)

PC 部材の製造計画概要を下記に示す。

- ・製造方式:横打ち方式
- ・養生方式:蒸気養生方式(最高温度 60℃)
- ・製作サイクル:1 サイクル/1 日
- ・型わく数量:3 わく

通常の PC 部材の製作と比較して、本工法においては下記の点が留意された。

- ① 柱本体部と仕口部の鉄骨との相対的な位置精度の確保。
- ② 仕口部の鉄骨周りへのコンクリートの充填締固め。

(3) PC 部材の精度基準

鉄骨部材と同様に躯体組立て時に必要な精度、JASS 10 の基準等を考慮して、PC 柱部材の精度基準を図-13 に示すように定めた。

(4) 部材コンクリート柱の打設・締固め

柱 PC 部材のコンクリートの打設方法として、たて打ち方式と横打ち方式が考えられる。それぞれの方式とも一長一短があるが、今回の工事は製造規模も小さいので、簡便な方式である横打ち方式を採用した。

測定方法	許容値 mm
辺 長 a ± 3
	断 面 b, c ± 3
	主 筋 位 置 d, e ± 2
	主筋の出の長さ f ± 3
	スプ ラ イ ス g, h ± 3
	スリ ー プ 位 置 i, j ± 3
	鉄 骨 位 置 k, l ± 3
	鉄骨のたおれ e_1 ± 2
	鉄骨のねじれ e_2 ± 2

図-13 PC 部材精度基準

写真-1 コンクリート打設実験

写真-2 コンクリート打設実験

横打ち方式を採用する場合、仕口部の鉄骨のウェブ材の下面部分へのコンクリートの打設・充填性の確保が部材の構造性能の点からとくに重要となる。

部材の製造開始に先立ち、実物大の模型により施工実験を行い、下記各項の標準を定めた(写真-1, 2)。

- ① コンクリートの調合(施工軟度)。
- ② 打設方法(打設方向、速度)。
- ③ 締固め方法(パイプレーターの種別、加震時間)。
- ④ 鉄骨の加工方法(空気孔の径、位置)。

最終的に決定したコンクリートの調合を表-1 に示す。調合管理のための基準強度(F_m)=500 kgf/cm²である。

4.3 部材の組立工事計画

(1) 人員配置計画

部材組立作業と高力ボルトの本締作業は同一のメンバー(5名)で行い、柱脚グラウトおよび床工事(デッ

表-1 部材コンクリート調査表

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメン ト比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)						
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗 骨 材 G		混 和 材 料	
								5～10 mm	10～20 mm	MY 150	MY AE-03
20	8.0±1.5	4.5±1.0	34.1	42.7	155	454	770	315	735	2 724	0.182

キブレードの敷込み作業)は別チームを編成した(グラウト作業3名、デッキブレード敷設作業4名)。

(2) 部材の組立精度基準

部材の組立精度は、部材の製作精度や組立誤差の集積された結果として表れる。また、建物の性能上や施工面で必要な組立精度は設計条件や、仕上げ工事、設備工事等との取合いにより定まるので、建物の設計や仕様によりさまざまであり、必ずしも一様ではない。

今回の工事においては、設計上躯体が直接仕上面として露れたり、設備工事と干渉する部分はなかったが本工法の今後の展開を図るためには、精度の確保は重要な項目となるので、精度基準の目標値を図-14に示す値に設定した。

また、建物の機能・性能確保のうえから最低限必要な精度を限界値として別に定め、それを超える誤差が生じた場合は、高力ボルトの本締めの前に建方用斜めサポートを操作したり、必要に応じて鉄骨接合用のスプライス・プレートを変更することにより修正を加えることとした。

5. 実施結果

部材の製造から組立てまでを工程順に写真-3~11に示し躯体工事の実施結果をFRPC工法との対比を交え

測 定 方 法	許 容 値 mm		
	目 標 値	許 容 値	限 界 値
柱の位置 (ex1+ex2)/2 (ey1+ey2)/2	±3	±3
	柱のねじり ex1, ex2 ey1, ey2	±3	±5
	柱の倒れ δ_x, δ_y	±5	±7
	柱のレベル h0, h1~h4	±3	±3

図-14 部材の組立精度管理基準

て以下に示す。

5.1 工事工程

部材の製作を含めた工事の全体工程を図-15に示す。部材製作期間は鉄骨3.0か月、PC柱2.5か月であった。部材の組立ては1.5か月で、計画どおり1フロア当たり8日で完了した。

FRPC工法に比べて在来工法部分の工程に左右される要素が少なく、より正確な工程計画を立てることができる。ただし、鉄骨ばりの耐火被覆の作業を工程に組み込んでおく必要がある。

躯体工事は当初の予定どおり年内に完了することができた。その結果、厳冬期での設備工事、仕上げ工事の施工が可能となり、本工法の特長を生かすことができた。

5.2 躯体精度

FRPC工法に比べて、大ばりの部材精度・組立誤差の影響を受ける本工法の場合、柱の精度に関して、より厳密な精度管理が必要である。

部材の組立後、高力ボルトの本締めにかかる前の時点で測定した精度結果を図-16に示すが

柱のねじれの大きさ：最大10mm、平均2.1mm

同じく倒れの大きさ：最小10mm、平均2.9mm

であった。

限界値を超えたものについては、斜めサポートによる加力等により修正したが、当初想定したスプライス・プレートの交換を必要とする修正作業は皆無であった。

5.3 労務量

作業日報から調べた部材製作・組立工程の労務量とそ

写真-3 鉄骨ばり（仕口部）の製作

写真-4 PC柱の製作（コンクリート打設）

写真-7 PC柱組立て

写真-5 PC柱の製作（脱型・吊上げ）

写真-8 PC柱建入れ直し

写真-6 PC柱の搬入

写真-9 鉄骨ばり取付け

の歩掛かりを表-2に示す。

この工法による初めての工事であり、工事規模も小さいので、その結果だけで断定することはできないが、

写真-10 高力ボルト本締め

写真-11 柱脚グラウト

FRPC 工法の過去の実績と比較した場合、次のことが言える。

- ① 作業所での組立工程における労務生産性（作業能率）は FRPC 工法よりも高く、部材ピース当たりの作業能率は鉄骨造のそれに近い。
- ② 部材製造工程における労務生産性は FRPC 工法よりも低く、鉄骨の製作を含めてその改善が課題である³⁾。

図-16 PC柱の組立精度測定結果

図-15 全体工程図

表-2 部材数量および部材製作・組立労務量

人・日 (人・日/ピース)

部 材 名	部材数量 (ピース)		部 材 製 作*1		部材組立て**	合 計
			鉄 骨	PC		
P C 柱	P C 柱	112	—	293 (2.62)	20 (0.18)	628 (5.61)
	コア鉄骨	112	315 (2.81)	—	—	
鉄 骨 ばり	大 ばり	180	301 (1.67)	—	20 (0.11)	321 (1.78)
合 計		404	909		40	949

(注) *1 鉄骨製作：プレート製作から仮組立て、本溶接まで (除現寸)

PC 製作：鉄筋組立てからコンクリート打設、仕上げまで

*2 部材の荷降しから組立て・仮ボルトまで (除本締め、グラウト)

6. おわりに

労務事情を含む社会情勢の変化や、建物の機能に対して要求されるニーズの多様化に応じて、建築生産の技術も対応を迫られてくる。冒頭に述べた複合化への流れや、混合構造への取組みもその一環ととらえることができる。

今回紹介した FSRPC 工法はその解決策の一つとして開発したものであり、過去に多くの実績を持っている FRPC 工法のバリエーションの一つとして位置付けられる。

柱 RC、はり S による混合構造は、その特性を生かして利用すれば、経済性・施工性からみても今後有効な構・工法になり得るものと考えられる。

今回の工事の経験をもとにこの工法をさらに改良し、PC 工法のメニューの一つとして育てていきたい。

最後に、本工法の実施にあたり助言・指導をいただいた日本建築センター、委員の先生方に深く感謝の意を表する次第である。また、今回の工事に際しては、とくに部材の製作精度が現場での組立工程における施工性や精度に及ぼす影響等を定量的に明示できるデータもなく、手探りで進めた部分もあったが、工事の工程、施工性、品質精度とも十分満足できる結果を得ることができた。これは、初めての工法に対して前向きに取り組んでいた鉄骨メーカー、PC 部材メーカーをはじめ関係者の熱意と保有する技術に負うところが大きい。併せて感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 三瓶昭彦ほか：柱 RC・梁 S とする混合構造の PCa 工法 (FSRPC-B 工法) の開発、混合構造の力学的挙動と設計・施工に関するシンポジウム、日本コンクリート工学協会 JCI-C 26, pp. 69~76, 1991. 12
- 2) 小林 進ほか：柱 RC (プレキャスト)・梁 S 造の混合構造、ビルディングレター、No. 272, pp. 11~19, 1991.11

- 3) 佐藤民佳ほか：ラーメンプレハブ工法 (FRPC 工法) の生産システムに関する研究 (その 4) 鉄骨併用 RPC 工法とその労務生産性の事例調査、日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸)、1992.8