プレストレストコンクリート扁平ばり構法の設計・施工

——越谷卸センター新築工事——

福田陽一^{*1}・岡田克也^{*2}・田中幸雄^{*3}・生原唯一^{*4}

概要 越谷卸センターの躯体には、扁平な断面のプレストレストコンクリート大ばり(ＰＣ扁平ばり)とリブスラブから成る架構法が採用された。このＰＣ扁平ばりには、ＰＣ鋼材の納まりを容易にし、かつプレストレスを効率的に導入する目的で、新たに開発された扁平な形状のシースおよび定着具を用いている。本報告は、建物概要、ＰＣ架構の設計および施工概要、フラットシースを用いたＰＣ工法の摩擦係数、床の振動性状の測定結果について述べている。

キーワード：プレストレストコンクリート、扁平ばり、リブスラブ、振動性状

1. はじめに

最近、ショッピングセンターなどの大型商業店舗や卸センターの倉庫など、いわゆる物流の核となる商業施設の建築が相次いでいる。この種の建物の躯体の特徴として、広い床面積で、かつ平面形状は正方形に近い矩形であって、天井高は、統一された比較的均質な空間が求められている。また、建物の延べ容積を小さくし、経済効率を追求するため、はり下の高さを変えずに、階高を小さくすることによって空間の利用効率を大きくすることが要求される。

このような商業施設では、いずれもコストや工期の面で非常に厳しい条件の下に設計・施工が進められており、低コストで、しかも施工性の優れた躯体構法の開発が望まれている。たとえば、フラットスラブに、ひびわれおよびたわみ制御の目的でアンボンドＰＣ鋼材でプレストレスを導入する構法は、この種の建物に適した躯体構法の一つとして用いられており、階高を小さくでき、かつ設備配管なども容易なものとなっている。しかしながらフラットスラブでは、架構としての水平剛性が小さく、一般には建物の外周やコア周辺に設けられる壁を耐震要素とする平面計画が不可欠となる。また、アンボンドＰＣ鋼材を水平荷重に対する補強材として構造計算に見込むことに対する制約があることなど、改善すべき課題となっている。

本構法は、大ばりの断面形状を在来のものに比べて幅広く扁平なものとし、架構としてある程度の水平剛性を確保するとともに、プレストレスを導入してひびわれとたわみを制御することによって、はりの剛性を確保し、振動性状の良好な床を得ようとするものである。

この架構形式としては、図－１に示すように直交両方向を扁平ばりとし、スラブにもＰＣ鋼材を配置する構法や、扁平ばりは１方向のみに配置し、これと直交する方向は通常のＲＣはりとし、床は、リブスラブやこの方向にＰＣ鋼材を配置したスラブ構法の組合せとすることなどが考えられる。

いずれの形式でも、扁平ばりのせいは小さく、ＰＣ鋼材を配置するときに、鉄筋や直交するＰＣ鋼材の納まり、かぶりなどにより、従来の円形シースではＰＣ鋼材の偏心距離を十分確保しにくいので、写真－２のような扁平なシースを用いてＰＣ鋼材を配置し、効果的にプレストレスを導入できる構法としている。

また、プレストレス導入後は、扁平シース内にグラウトする一般のボンド方式のＰＣ部材とすることによってＰＣ鋼材を地震荷重に対する構造計算に見込むことができる。

本工事では、プレストレストコンクリート扁平ばり(以下、ＰＣ扁平ばりと呼ぶ)とリブスラブを組み合わせた構法を採用した。建物竣工後の架構とスラブの状況は写真－１のとおりである。

本稿では、建物の概要、設計および施工の概要、ＰＣ工事、とくにフラットシースを用いたＰＣ工法とその摩擦係数の検討、および床の振動性状の測定結果について

*1 (株) 日建設計構造主管

*2 (株) 竹中工務店技術研究所主任研究員

*3 (株) 竹中工務店東京本店設計部構造課長

*4 (株) 竹中工務店東京本店作業所長

図一1 PC扁平ばり架構形式

述べる。

2. 建物概要

本建物は、現在、敷地面積3万坪、将来は22万坪に拡大が予定されている一大流通センター内にある。建物概要は次のとおりである。

工事名称：協同組合越谷卸センター新築工事

写真一1 PC扁平ばり架構とリブスラブ(越谷卸センター)

建築主：近藤忠商事(株)

設計：(株) 日建設計

施工：(株) 竹中工務店

用途：倉庫

構造：鉄筋コンクリート

2, 3, R階 PC扁平ばり(TFB: 竹中
フラットビーム構法)

階数：地上3階、塔屋1階

建築面積：3322m²

延べ面積：9683m²

工期：昭和59年1月～7月

3. 設計概要

3.1 PC 扁平ばり架構の概要

本建物は図-3に示すように、はり間方向6スパン、けた行方向9スパン、47×67.5mの矩形平面であって、外周はRC造の壁で囲まれ、中央部2箇所に階段室がある。②～⑨通りはスパン8mであり、はり寸法(幅×せい)は190×55cmで、扁平断面のPCばりである。このはりに直交する架構は、スパン7.5mのRC造のはりで(幅×せい)100×55cmであり、床は、PC大ばりに荷重を伝達するように鉄筋トラス(ミッコートラス)

Design and Construction by Using Prestressed Concrete Flat Beams

Y. Fukuda, K. Okada, Y. Tanaka, T. Haibara

Concrete Journal, Vol. 23, No. 2, pp. 21~27, Feb. 1985

Synopsis Prestressed concrete flat beams combined with ribbed slabs are adopted in the construction of warehouse for Koshigaya wholesale center. Flat type duct anchorage for prestressing are developed and used for making tendons arrangement easy in small depth of flat beam, and for prestressing effectively to beam section. This report describes on the design and the construction of prestressed concrete flat beams, the test results of friction coefficients of flat type duct and measured results of vibration on beams and slabs.

Key words : prestressed concrete, flat beam, ribbed slab, vibration

架構の構成を図一2 に示す。

PC扁平ばりの設計条件は、コンクリートの設計基準強度 300 kg/cm²、プレストレス導入時強度 270 kg/cm² 以上であり、フルプレストレスの設計となっている。また、使用PC鋼材は、15.2φ ストランド 4 本を 1 ケーブルとし、その引張荷重、降伏点荷重は、それぞれ 92.4 t、

PC扁平ばりの断面応力の算定にあたっては、はり端部では 190×55 m の矩形ばり、中央部では建築学会 RC 規準により、スラブの有効幅を 350 cm の T 形ばりと仮定している。

図一4 に、P C 鋼線の配置図および緊張端の詳細図を示す。扁平ばりでは、一般にはりせいが小さいため、写真一2 のようなフラットシースを用い、この中に 15.2φ のストランドを 4 本一列配置で挿入する。また、これらの定着のために、扁平な定着具を用いている。

本工事は、約 9700 m² の延べ面積の3階建て倉庫を、工期6か月という非常に短い期間に完了する必要があった。そのため、PC扁平ばり構法の工期短縮と省力化を目的として、大ばり支保工、大ばり型わく、および床構法として採用したミッコスラブ工法の鉄筋トラスとプラスチック成型リブ型わく（コファ型わくと呼ぶ）の先組みなどを行った。

型わくと支保工の転用およびプレストレス導入を効果的に行うため、躯体工事は、図-5に示すように1フロアをA、B、Cの3つの工区に分割して、型わく、鉄筋、コンクリート、およびプレストレス工事を進めた。

全体工程は表-1 に示すとおりであって、各々の工区の型わく組立てからコンクリート打設までは7日で1サイクルである。

(1) PC扁平ばりの支保工の先組み

PC扁平ばりは、断面が190×55 cm と大きく、かつ階高も 4.9 m と高いので、支保工としては、枠組

図-2 PC扁平ばり架構

図—3 床、はり伏図および軸組図

足場をダブルとする方法も考えられる。しかし、この方法では通路の確保がむずかしく、他作業のさまたげになることから、図-6 に示すように、組立ヤードで地組みしたフライングショアをクレーンで運搬、設置した。

(2) PC扁平ばり型わくの先組み

PC扁平ばりの底型わくに側型わくまで取り付けたユニットを、現場の組立ヤードで地組みし、これをフライングショア支保工上に吊り込み、型わく作業の省力化を図った(図-6、写真-3)。

(3) リブスラブの鉄筋トラスと型わく

鉄筋トラスを1本ずつ設

図-4 PC鋼線の配置およびリブスラブ断面図

写真-2 フラットシースとその定着装置

置し、これにコファ型わくを取り付けていく作業の合理化を目的として、組立ヤードで5本の鉄筋トラスにコファ型わくを取り付けて一体化し、クレーンでPC大ばり型わく間にかけ渡した(図-6、写真-4)。

4.3 コンクリート工事

コンクリートの設計基準強度は壁、柱で 210 kg/cm^2 、PC扁平ばりとスラブで 300 kg/cm^2 である。このように強度の異なるコンクリートを同時に打設するため、塩ビパイプシュートを使用して、柱と壁に打設するコンクリートがスラブへこぼれるのを防止した。

壁へのコンクリート打設にあたっては、壁型わくの単管に外振型のフリーローテーションパイププレートを取り

図-5 工区割り

付けることにより、型わくのたたき、つき等の打設人員の省力化を図ると同時に、豆板などの欠陥がなく、コンクリート表面の気泡のない密実なコンクリートを打設した。

4.4 PC工事

PC扁平ばりは、はりせいが小さくてはり幅が広いの

表-1 躯体工事工程表

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13(週)
型わく・鉄筋工事	1F 立上り 2F 床	A		B	C									
	2F 立上り 3F 床			A	B	C								
	3F 立上り RF 床				A	B	C							
P C 工 事	PC 鋼線 配置工事		A	B	C	A	B	C	A	B	C			
	50% 緊張工事					A	B	C	A	B	C	A	B	C
	100% 緊張工事							A	B	C	A	B	C	C
	グラウト 工事							A	B	C	A	B	C	C

■：コンクリート打設

① PC 扁平ばりの支保工(フライングショアー)

② PC 扁平ばり型わく(大型型わく)

③ リブスラブの型わく、鉄筋の先組み

図-6 型わく支持工の施工手順

で、図-7 の作業手順ではり型わくを組み立て、鉄筋も上部スターラップを残して組み立ててから、フラットシースを配置し、ストランドを挿入した。大ばりとスラブ

写真-3 PC 扁平ばりの大型型わく

写真-4 先組みしたリブスラブ(ミッコスラブ)の吊込み

の鉄筋およびPC鋼材の配置状況を写真-5 に、PC 鋼材の定着具取付け状況を写真-6 に示す。

緊張工事は、平面上のコンクリート打設区分や上階のコンクリート打設時期などを考慮して、各工区においてフラットシース中の4本のストランドのうち2本を導入

図-7 PC扁平ばりの作業手順

図-8 フラットシース内のPC鋼材の緊張順序

(50% 緊張工事), 次に残り2本を導入(100% 緊張工事)というように, 2段階に分けて作業を進めた。

また, PCばりに並行して設けられる壁の拘束を小さくする目的で, 壁に沿ってスラブにスリットを残してコンクリートを打設, プレストレスの導入後にスリット部のコンクリートを打設した。

4.5 フラットシースとストランドの摩擦係数

図-8 に示すように, フラットシース中に配置された4本のストランドのうち, まず内側の2本を1本ずつモノストランド用のジャッキにより緊張する。次に両側の2本を1本ずつ緊張する。このように, フラットシースを用いたPC工法では, ストランドを1本ずつ緊張する関係で, はじめに緊張したストランドが, その後に緊張するストランドの摩擦損失に影響するか否かと, 円形シースと比べて差があるか否かについて検討する目的で, プレストレス導入時の両端のストランドの緊張力と緊張端の伸びとを測定して摩擦係数を推定した。

一般に, プレストレスの摩擦損失はPC鋼材の見かけのヤング係数 E , PC鋼材の角度変化と波打ちに関する摩擦係数 μ および λ などの関数である。ここでは $\lambda=0.004$, $E=1.93 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ と仮定して, 緊張側 P_0 と固定側 P_e の測定値から μ の値を算定した結果は表-2 に示す。4本のストランドのうち, 内側2本の μ の平均値は 0.183, 外側2本は 0.251 で, 全体の平均値は

写真-5 鉄筋およびPC鋼材の配置状況

写真-6 フラットシースとその定着具の取付け状況

表-2 フラットシースの摩擦係数

階数	測定本数(本)	見かけのヤング率 (10^6 kg/cm^2)	50% 緊張時 (内側2本)		$\bar{\mu}$	100% 緊張時 (外側2本)		$\bar{\mu}$
			平均値 μ	標準偏差 s		平均値 μ	標準偏差 s	
2F	9	1.93	0.161	0.026	$\bar{\mu}=0.183$ $s=0.025$	0.235	0.029	$\bar{\mu}=0.251$ $s=0.025$
3F	9	1.93	0.185	0.016		0.262	0.022	
RF	9	1.93	0.203	0.009		0.257	0.015	
全ストランドの平均値			$\mu=0.217$			$s=0.025$		

0.217 であり, 設計に用いた $\mu=0.25$ がほぼ妥当な値であることが確認された。

5. 床の振動性状調査

躯体工事完了後(内装工事施工前)に, 本建物の床の振動性状の実測調査を行った。

5.1 測定位置および測定方法

測定は, 図-9 に示すように, 3階床の中央部でコアの影響を受けにくい, 隣近する3枚の床スラブについて行った。床の振動性状を調査するための加振方法として以下の2つの方法を採用した。

1) ランダム加振装置による調査

ランダム加振装置をスラブ上の1点に置いて加振させ, 各点における伝達関数から, 固有振動数, 共

振振動数での床の振動パターンを求める。

2) 衝撃加振装置による調査

衝撃振動装置をスラブ中央やはり中央に置いて加振させ、各測定点における時系列自由減衰波形からの固有振動数と減衰定数を統計処理により求める。

5.2 測定結果および考察

ランダム加振機実験で得られた床の1次固有振動数は22.4 Hzであった。また、衝撃振動加振装置による床の

表—3 各測定点の1次固有振動数と減衰定数

	Bスラブ 中 央	大はり上	Aスラブ 中 央	大はり上	Cスラブ 中 央
1次固有振動数 (Hz)	19.84	27.27	21.60	34.09	20.83
減 衰 定 数 (%)	8.51	16.98	9.61	13.23	12.02

図—9 測定位置

図—10 スラブの振動パターン

振動パターンを 図—10 に示す。各測定点での1次固有振動と減衰定数は表—3 のようであって、スラブの中央における1次固有振動数は20 Hz前後で、ランダム加振実験から読み取った固有振動数とほぼ一致する。また、P C扁平ばり中央での1次固有振動数は30 Hz前後であった。

1次固有振動数での減衰定数は、スラブ中央で10%程度、大はり中央で15%程度であり、P C構造としては大きな値を示した。

一般に、床の固有振動数が15 Hz以上であれば障害は出ないと言われており、また減衰が大きいので、共振点での振幅量は比較的小さく、振動の継続時間も短いので、生じた振動が知覚されにくいと考えられる。以上のことから、P C扁平ばりとリブスラブを組み合わせた床は優れた振動性状をもっていると言える。

6. あとがき

本構法では、扁平なP Cばりを用いることによって、架構の剛性確保と空間の利用効率の向上という、一見背反する要求性能を満たすことが可能になった。また、本構法の実施に先立ち、柱幅よりもはり幅が大きい扁平ばり架構の水平加力実験¹⁾により、その性能を確認している。

本建物に用いた扁平ばり、フラットシースの用途は他にも考えられ、P C工法の適用範囲もさらに拡大することが期待できよう。

最後に、P C扁平ばり構法(TFB: 竹中フラットビーム構法)開発の関係各位に謝意を表し、この報告を終える。

参 考 文 献

- 1) 山口・岡田・岡本: スラブ付き扁平断面プレストレストコンクリート梁をもつ一層架構の水平加力実験, 建築学会大会, 昭 59.10