アンボンドフラットスラブ構造の オフィスビルへの応用

海老原 武*1・谷 田 雅 廣*2・田 中 保 雄*3

概要 従来、フラットスラブ構造の実施例は倉庫に多くみられたが、ここ 1, 2 年、アンボンド P C 鋼材を利用した、いわゆるアンボンド PRC フラットスラブ構造がスーパーマーケットにみられるようになった。アンボンド P C 鋼材を利用した PRC 構造は、コンクリート部材の品質向上ということもあり、今後増加すると思われる。そこで、オフィスビルに適したアンボンド PRC フラットスラブ構造の実施例を紹介する。

キーワード：PRC 構造，アンボンド P C 鋼材，フラットスラブ構造

1. はじめに

大林組技術研究所本館は、「単位面積当りの年間消費エネルギーの絶対量を世界一少ない事務所建築とする。具体的には $100 \text{ Mcal/m}^2 \cdot \text{年}$ をきる」ということを最大の主旨として計画された。この目的のため、本建物には種々の省エネルギー手法が取り入れられている。

建築の構造設計において本建物の設計主旨に大いに貢献している点は、アンボンドフラットスラブ構造を採用することによって建物の階高を縮小することができたことである。階高を縮小することにより建物外表面積を小さくすることは、熱負荷の低減につながり、省エネルギー手法の一つになりうる。本建物の場合、アンボンドフラットスラブ構造を採用することにより、階高は 3.2m となっているが、通常のラーメン構造で計画すれば、階高は 3.6m 程度となる。

フラットスラブ構造そのものは、従来から倉庫、駐車場等に採用されてきた。しかし、鉄筋コンクリート構造では、コンクリートの乾燥収縮、クリープ等の影響によるひびわれ、たわみ等の障害が、スパン長が大きくなった場合には問題となる。これを防止し、かつ床性能の高いものをつくるため、本建物ではアンボンド P C 鋼材を床に配置し、軽微のプレ

ストレスを与えることによりコンクリートの性能を向上させている。はりのない本構造形式を採用することによ

図-1 平面および断面

*1 (株) 大林組東京本社設計第 3 部設計課長

*2 (株) 大林組東京本社設計第 3 部

*3 (株) 大林組東京本社建築技術部

り、施工分野においても、型わく工事の簡易化、鉄筋工事の合理化が可能となった。また、設備のダクト配置も容易になった。さらに、アンボンドPC鋼材を採用したため、一般のPC工事におけるシース管配置作業、グラウト作業等が不要である。このため、通常の鉄筋コンクリート造の工程より延びることなく施工された。次章以降に、本建物の設計および施工について述べる。

2. 設計

2.1 建築概要

以下に建築概要を示す。

所在地：東京都清瀬市下清戸4丁目640

建築面積：886.85m²

延床面積：3775.84m²

建物規模：地下1階、地上3階、塔屋1階

建物用途：研究所

軒高：14.750m

基準階階高：3.200m（天井高2.500m）

構造種別：鉄筋コンクリート造

基礎形式：独立フーチング基礎（コア部ベタ基礎）

支持層：砂れき層（N値50以上）

長期許容地耐力：30t/m²

コンクリート設計基準強度：240kg/cm²

プレストレス導入時コンクリート強度：210kg/cm²

設計：（株）大林組東京本社一級建築士事務所

施工：（株）大林組東京本社

工期：昭和56年4月～昭和57年3月

2.2 構造計画

本建物の平面は、熱負荷低減の観点から、研究室、事務室等の居室部分をなるべく建物外部と接しないようにするため、両側に階段室、縦型蓄熱槽等のコアが設けられている。構造計画上は、この両側のコアを耐震壁として有効に活用することにより、アンボンドフラットスラ

ブ構造の採用を可能とした。フラットスラブ構造そのものは、スラブと柱でラーメン構造を構成するが、一般のはり、柱を有するラーメン構造に比較して、地震時水平力に対する耐震性能が劣るため、耐震壁、ブレース等をバランスよく配置する必要がある。ゆえに本建物は、両側の3.6×21.6mのコア部分を、柱、はり、耐震壁を有するラーメン構造とし、中央部の28.8×21.6m（7.2×7.2mグリッドが12個）をアンボンドフラットスラブ構造として計画した。

2.3 フラットスラブの応力計算

フラットスラブの応力計算においては、大林組保有の構造解析プログラム（SAP-V）を使用した。解析モデルは各柱位置で固定とし、フラットスラブ部分を縦横に分割した薄板プレート要素とし、対称条件、境界条件を考慮したモデルによって解析を行った。

荷重は、床の各使用状態におけるコンクリート縁応力度を把握するため、以下の4ケースを考慮した。

1) 固定荷重（コンクリート重量のみ）

2) 固定荷重＋一部積載荷重（仕上げ荷重＋地震用積載荷重）

3) 固定荷重＋積載荷重（仕上げ荷重＋架構用積載荷重）

4) 固定荷重＋積載荷重（仕上げ荷重＋床用積載荷重）

以上の条件で、各々の要素位置におけるモーメント、主応力度を求め、次節の断面算定に用いた。

2.4 フラットスラブの断面算定方針

アンボンドPC鋼材を使用するフラットスラブの断面算定に関しては、現在定められた規準等はなく、その判断は設計者にゆだねられている。現状では、以下の3種類程度が考えられる。

1) 固定荷重（以下Gと略す）＋一部積載荷重（以下 αP と略す。 $0 < \alpha < 1.0$ 、積載荷重はPと略す）の荷重状態に対して、スラブ中央部でのたわみが生じない

THE RECORD OF THE FLAT SLAB STRUCTURE WITH UNBONDED TENDONS TO OFFICE BUILDING

By Takeshi Ebihara, Masahiro Tanita and Yasuo Tanaka

Concrete Journal, Vol. 20, No. 8, Aug. 1982, pp. 26~32

Synopsis Recently, the flat slab structure with unbonded tendons has appeared in the construction of supermarket. The prestressed reinforced concrete structure (class III PC structure) with unbonded tendons has an advantage of maintaining the better quality of concrete, so the use of its structure will increase in the future. This report indicates the record of the flat slab structure with unbonded tendons to office building. The building has been constructed in March 1982.

Keywords : class III PC structure, flat slab structure, unbonded tendons

ように導入プレストレス量を決定する方法。鉄筋量は $1.2G+2.4P$ か、または $2(G+P)$ の荷重時応力よりも断面の終局曲げ耐力が大きくなるように決定する。

2) $G+P$ の全荷重状態に対して、断面引張側縁応力度がコンクリート曲げ引張強度（よく用いられる値は $1.8\sqrt{F_c}$ ）以下になるように導入プレストレス量を決定する方法。鉄筋量は、1) の方法と同様に $1.2G+2.4P$ か、または $2(G+P)$ の荷重時応力よりも断面の終局曲げ耐力が大きくなるように決定する（全荷重状態でも断面にひびわれは生じない）。

3) $G+P$ の全荷重状態に対して、鉄筋コンクリートとして鉄筋量を算定する。導入プレストレス量は次の条件のいずれかを満足するように決定する。

- G に対して断面引張側縁応力度 $\sigma_t \geq 0$
- $G+\alpha P$ に対して断面引張側縁応力度 $\sigma_t \geq 0$
- $G+P$ に対して断面引張側縁応力度 $\sigma_t \geq f_t$

2.5 フラットスラブの断面算定

本建物の場合は、前節の 2) の方法により断面算定を行った。すなわち、全荷重状態においてもコンクリート断面にひびわれを生じないように、PC 鋼材によるキャンセルモーメントを決定した。鉄筋量は $1.2G+2.4P$ の荷重時応力よりも断面の終局曲げ耐力が大きくなるように決定した。そして、確認申請上の関係から 3) の手法により鉄筋量を追加検討した。結果は以下のようになっている。

〔2 階、3 階のフラットスラブ〕

スラブ厚：18 cm

PC 鋼材の偏心距離：6 cm

アンボンド PC 鋼材配置：

柱列帯 15.2 ϕ ストランド @ 450

柱間帯 15.2 ϕ ストランド @ 1000

スラブ筋：SD 30

位 置	端 部	中 央 部
柱列帯	上端筋 D16, D13 @100	D10 @200
	下端筋 D13 @150	D13 @150
柱間帯	上端筋 D13 @300	D10 @300
	下端筋 D10 @150	D13, D10 @150

〔屋上階のフラットスラブ〕

スラブ厚さ：20 cm

図-2 PC 鋼材の配置

PC 鋼材の偏心距離：8 cm

アンボンド PC 鋼材配置：

柱列帯 15.2 ϕ ストランド @ 300

柱間帯 15.2 ϕ ストランド @ 900

スラブ筋：2 階、3 階のスラブ筋と同配筋

プレストレスレベルは、平均圧縮応力度で

2 階、3 階フラットスラブ $\sigma_g = 13 \text{ kg/cm}^2$

屋上階のフラットスラブ $\sigma_g = 15 \text{ kg/cm}^2$

となっている。

アンボンドフラットスラブ構造部分のコンクリートの設計基準強度は、プレストレスレベルの低いこと、およびコンクリート打設後約 1 週間でプレストレス導入という工程を考慮して、 $F_c = 240 \text{ kg/cm}^2$ とした。また、乾燥収縮によるプレストレスの減退を少なくするため、スランプは 12 cm とし、コンクリートの打設時の施工性を補うため、流動化剤を使用することとした（表-1 参照）。

図-3 に、PC 鋼材の端部詳細を示す。固定端はコンプレッショングリップ（30.0 $\phi \times 70.0 \text{ I}$ ）と定着板（ $\Phi 80 \times 150 \times 19$ ）を用い、緊張端はアンボンド PC 鋼材用専用定着具を用いた。この場合の端部支圧応力を検討し、プレストレス導入時のコンクリート強度は 210 kg/cm^2 とした。

2.6 せん断に対する設計

押抜きせん断に対しては、ACI-ASCE 423 PC フラットスラブ指針に規定する下式と、日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説の両式で検討した。

$$\tau_p = \frac{Q}{0.85 b_o d} \leq 0.928 \sqrt{F_c} + 0.3 \sigma_g + \frac{P_v}{b_o d}$$

表-1 コンクリートの配合

部 位	設計基準 強度 (kg/cm ²)	粗の寸 骨最法 材大 (mm)	ス プ ラ ン (cm)	空 気 量 (%)	水 セ ト メ 比 (%)	細 率 材 (%)	単 位 量 (kg/m ³)					備 考
							水	セ ン メ ト	細骨材	粗骨材	混和剤 (AE 減 水剤)	
地上部分	フラットスラブ	240	20	12	4	58	178	307	815	999	1 228	流動化剤 1.15 l/m ³ 見かけのスランプ 18 cm
	柱 壁	240	20	15	4	58	185	319	820	964	1 276	流動化剤 1.11 l/m ³ 見かけのスランプ 21 cm
地下部分		210	20	18	4	64	185	289	841	969	1 156

図-3 PC鋼材定着部詳細(数字通り方向)

(ACI-ASCE 423)

$$\tau_p = \frac{Q}{\frac{7}{8}d(\phi + 2\pi d)} \leq f_s (=1/30 F_c)$$

ここに、 Q :せん断力、 b_0 :柱周りから $d/2$ はなれた位置の周長、 d :スラブの有効せい、 ϕ :柱の周長、 σ_g :断面の有効プレストレス(今回は無視)、 P_o :柱周断面における有効プレストレス力の垂直成分の和、 F_c :コンクリート設計基準強度、 f_s :長期許容せん断応力度

2.7 たわみの検討

弾性変形によるたわみとプレストレスモーメントによる打消し量を考慮したフラットスラブ中央位置のたわみの計算値は、各荷重ケースで以下のようになっている。

- 1) 固定荷重時(コンクリート重量のみ) -0.02 cm
- 2) 固定荷重+一部積載荷重時(仕上げ+地震用積載荷重) 0.04 cm
- 3) 固定荷重+積載荷重時(仕上げ+架構用積載荷重) 0.10 cm
- 4) 固定荷重+積載荷重時(仕上げ+床用積載荷重) 0.17 cm

上記数値は2階、3階床での値であるが、屋上部分の計算値もほぼ同じ値である。コンクリートにひびわれを許さない程度の軽微のプレストレスレベルではあるが、

クリープ、乾燥収縮等を考慮して、有効率を通常のプレストレストコンクリート(PC)造と同じ $\eta=0.85$ としている。現在、プレストレス導入後約10か月が経過しているが、ひびわれ、有害なたわみ等は生じていない。

3. 施 工

3.1 工 区 分 け

フラットスラブ部分のPC鋼材にプレストレス力を導入するために、片側コア部分を後打ち工区として分け、1層遅れでコンクリートを打設するように計画した(図-4)。

3.2 鉄 筋 工 事

アンボンドフラットスラブの工事では、スラブの下端筋と上端筋の配筋工事の間に、PCケーブルの配置工事が行われる。この職種のためをスムーズにさせるために、スラブ筋を格子鉄筋とし、PC工事を担当するとび土工の工事とした。格子鉄筋は、設計配筋に合わせて異形鉄筋を格子

図-4 施工順序

写真-1 型わく建込み

写真-2 格子鉄筋継手部分

状に工場で溶接したもので、輸送の都合から大きさが $6 \times 2.5 \text{ m}$ 以下、配置作業の容易さから1枚の重量が 150 kg 以下となるように分割した。それぞれの格子鉄筋はタイプごとに色分けしてあり、スラブ型わく上に出した墨に合わせて置いていく。継手は重ね継手で、定められた順序に配置してゆけば2段配筋となるように計画してある(写真-2)。格子鉄筋のメリットとして、現場作業の簡略化がはかれること、配筋精度が確保できること、コンクリート打設時の配筋の乱れが少ないこと、などがあげられる。

3.3 コンクリート工事

コンクリートは、フラットスラブ部分とその他の部分に分けて配合した(表-1 参照)。スランプ 12 cm のコンクリートは、仮設のゲートから生コン車に流動化剤を 1.15 l/m^3 投入し、 120 秒間高速回転させて練り混ぜ、スランプを 18 cm としてピストン式ブーム車で打設した。コンクリート打設後の柱頭ドロップパネル部分を写真-3に示す。

3.4 PC工事

アンボンドPCケーブルは、所定の長さに切断し、固定端側に定着具をセットしたものを、巻径 2 m のコイル状にして現場へ搬入した(写真-4)。ケーブルはXY

写真-3 柱頭ドロップパネル部分

写真-4 固定端定着具をセットしたアンボンドケーブル

写真-5 アンボンドケーブル配置作業

方向それぞれ懸垂状のプロファイルがあるので、その上下関係から、あらかじめ配置順序を決めておく。下端の格子鉄筋の配置が完了したら、ケーブル用のバーサポートを並べ、その上にケーブルを墨に合わせて置いていく(写真-5, 6)。緊張端は、定着部補強筋が不要で、型わくに簡単に取り付けられるアンボンド専用定着具を用いた(写真-7)。

緊張は、コンクリート強度が 210 kg/cm^2 以上あることを供試体で確認してから行った。緊張順序は、まずY方向ケーブルを1本おきに緊張し、次にX方向を全数、

図—5 2,3 階床スラブPCケーブル配置

写真—6 柱頭部配置状況

写真—8 緊張作業

写真—7 緊張端定着部

そして Y 方向の残りを緊張した。緊張端導入力は 19.2 t で、すべて片引きである。緊張管理は、各フロアとも XY 方向それぞれ 3 本ずつ試験緊張を行い、緊張管理図で荷重と伸びの関係をチェックし、あとはマーキング法による管理を行った (写真—8)。緊張後の端部 PC 鋼材は、くさび縁より約 3 cm ($=1.5d$) 残して切断した。そして、エポキシ樹脂を塗ったうえ、無収縮モルタルを施工することにより腐食に対する養生を行った。

4. 計 測

4.1 プレストレス有効率の測定

コンクリートのクリープ、乾燥収縮、および PC 鋼材のレラクセーションを考慮したプレストレス有効率の計算値 ($\eta=0.85$) と実測値の相違を比較検討し、今後の設計資料とする目的で、アンボンド PC 鋼材の緊張端と固定端に 20 t ロードセルを埋め込んだ。位置は、図—2 の PC 鋼材配置図中のスパン方向の No. 14, 16 の鋼材

図—6 PC 導入後の時間経過に伴う PC 鋼材の緊張力比

である。計測は現在も継続中であるが、その中間結果を図-6に示す。プレストレス導入から半年経過時点でのプレストレスは、導入完了時の約 95% となっている。今後の測定結果および他の実験結果を参考にして十分検討する必要があるが、今回のように平均プレストレスレベルが低い場合のプレストレス有効率は、 $\eta=0.85$ より大きい値にとどまりそうである。

4.2 アンボンド P C 鋼材の壁への採用

外壁の収縮ひびわれ防止の目的から、試験的にアンボンド鋼材を採用した。採用範囲は、建物東面の 1 階および 2 階の外壁である。壁厚 18 cm で、平均プレストレスレベルは 1 階壁 13.2 kg/cm^2 、2 階壁 6.6 kg/cm^2 程度とし、通常の壁配筋に追加してアンボンド P C 鋼材 (15.2 ϕ ストランド) を、水平に壁心位置に直線配置した。このプレストレスのある外壁と一般外壁とを以後追跡調査し、収縮ひびわれ防止に対するアンボンド P C 鋼材の有効性を検討することになっている。

5. おわりに

以上、アンボンド PRC フラットスラブ構造を採用し

た事務所ビルの設計および施工について述べてきた。耐震壁を有効に活用することにより、フラットスラブ構造の特徴が生かされ、また床にアンボンド P C 鋼材を採用したことにより床性能の高い建物が施工された。このアンボンドフラットスラブ構造は、低層の事務所ビルをはじめ、駐車場、倉庫、大型店舗、工場など種々の建物に適用可能な構造形式であるので、将来ますます普及すると思われる。

参 考 文 献

- 1) ACI-ASCE Committee 423 : Tentative Recommendations for Prestressed Concrete Flat Plates, J. of ACI, Vol. 71, Feb. 1974
- 2) T.Y. Lin : Load-Balancing Method for Design and Analysis of Prestressed Concrete Structures, J. of ACI, Vol. 60, Jun. 1963
- 3) 六車 照 : アンボンドプレストレストコンクリート (Ⅲ) GBRC, Vol. 2. No. 4, 1977
- 4) American Concrete Institute : Building Code Requirements for Reinforced Concrete, ACI Standard 318-77
- 5) 日本建築学会 : 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1979
- 6) 日本建築学会 : プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説, 1975