大型プレキャストコンクリートフロアパネル 複合化工法の開発と実施

——梅田センタービル——

和田 貞男^{*1}・奥本 英史^{*2}・杉本 靖彦^{*3}・西川 公三^{*4}

概要 梅田センタービルは、最先端テクノロジーを備えた地上 32 階、地下 2 階のインテリジェントビルである。超高層ビルにおける床躯体施工工程の大幅な簡略化を図るべく、設計・施工両面からの詳細な検討を加え、RC スラブと鉄骨ばりを現場サイトで一体化し、鉄骨建て方と同時に床躯体を構築するプレキャストコンクリートフロアパネル工法を開発した。鉄骨を同時に打ち込むプレキャスト板でここまで大きなもの (3.2m×15.6m) は日本で初めての試みであり、品質の向上、工数減少による工期短縮や安全性の面で優れた効果があった。

キーワード：超高層ビル，ダブルチューブ構造，合成ばり構造，工業化工法，床工法，サイトプレファブ，プレキャストコンクリート

1. はじめに

建設業を取り巻く環境も、受注競争の激化、労働者の高齢化、熟練工不足などの試練に直面しており、この厳しい環境を克服するために、生産性の向上等を目的とした「省力化」を積極的に推し進めなければならない。特に生産活動の場である作業所での省力化を推進するには、設計と施工、建築と設備との一体化を図り、現場での組立て作業を極力少なくするために、ユニット化をして取合いの調整業務を簡素化することが必要である。

超高層ビルの躯体工事で品質、コスト、工期、安全の面で最も重要な要素である床躯体に関して、設計・施工両面からの詳細な検討を加え、高所での床躯体施工工程の大幅な簡略化を目指し、スラブと鉄骨ばりを現場サイトで一体化したプレキャストコンクリート造フロアパネル（以下、PCaフロアパネルと称す）を開発した。

*1 関竹中工務店大阪本店梅田センタービル作業所所長

*2 関竹中工務店大阪本店設計部構造課

*3 関竹中工務店大阪本店梅田センタービル作業所（正会員）

*4 関竹中工務店大阪本店技術部技術課（正会員）

写真-1 梅田センタービルの施工状況

図-1 断面図

2. 建物概要

建物名称 梅田センタービル
所在地 大阪市北区中崎西二丁目 4-8
用途 事務所、店舗、イベントホール
建築主 ㈱竹中不動産
敷地面積 11 685 m²
建築面積 3 766 m²
延べ床面積 80 088 m²
基準階面積 2 110 m²
階数 高層部：地下 2 階、地上 32 階、塔屋
1 階
低層部：地下 2 階、地上 2 階

構造種別 高層部：鉄骨造

低層部：RC造（一部鉄骨造を含む）

全体工期 昭和 60 年 3 月 1 日～62 年 3 月 20 日

地上躯体工期 昭和 60 年 10 月 16 日～61 年 6 月
30 日

3. 設計概要¹⁾

梅田センタービルは、来るべき 21 世紀のニューメディア本格時代に対応する情報サービスと環境サービスを提供する最先端テクノロジーを備えた、地上 32 階、地下 2 階のインテリジェントビルで、図-1 に示すように貸事務所を主用途とする高層棟部と店舗・駐車場を主用途とする低層棟部から構成されている。高層棟部は、RC造の基礎ばりを除き、地下および地上とも主体構造は鉄骨造で、ラーメンによる外周架構とブレースを含むラーメンの内周架構からなるダブルチューブ構造を採用している。

3.1 RCa フロアパネル工法の概要

超高層ビルの躯体工事において、通常、柱・はりの建て方の後、デッキプレートの敷き込み、床鉄筋の配筋、コンクリートの打設等、その施工に要する工数が多く、各種の専門工を必要とし、高所でのふくそう作業となるため、品質・工期面の確保に多大な労力が必要となる。安全面においても、床の構築が遅れることにより高所作業が多く、資材揚重量が増大するため、墜落・落下物に対する細心の管理が必要となる。このため、床躯体の施工工程は建築工事の全体工期、コストおよび躯体の施工安全性に対して支配的な影響を与える。

図-2 に、PCa フロアパネルの構造概要とその割付け図を示す。PCa フロアパネルは、各種の形状をもつ

Development and Application of Precast Concrete Floor Panels with Structural Steel Beams on Umeda Center Project

By S. Wada, H. Okumoto, Y. Sugimoto, K. Nishikawa

Concrete Journal, Vol. 24, No. 12, pp. 33~40, Dec. 1986

Synopsis Umeda Center is an "Intelligent Building" of 32 floors above ground and 2 floors below ground. It has ultra-advanced technologies. In order to drastically simplify the process of constructing floors for a highrise building, Takenaka has developed a precast concrete floor panel construction method through detailed studies that consider both the design and construction phases. Under this method, reinforced concrete floor slab is integrated with structural steel beams at site so that floors are constructed simultaneously with the erection of structural steel. The Umeda Center project was the first in Japan to use precast concrete panels having structural steel beams of such a large size (3.2m×15.6m). Use of these panels has greatly improved quality and safety and has shortened the time required for construction by reducing the number of steps in the construction process.

Keyword : highrise building, double-tube construction, combined beam construction, industrialization construction method, floor construction method, site pre-fabrication, precast concrete

図-2 PCa フロアパネルの構造概要および割付け

RCスラブと鉄骨小ばりをスタッドジベルにより一体化したもので、総枚数、採用面積および主要材料の使用量を以下に示す。

- ・パネルの種類 17 種類
- ・パネルの枚数 1144 枚 (44 枚/階)
- ・パネルの面積 42 738.8 m²
- ・採用範囲 5F~30F
- ・使用材料 鉄骨 2 254 t (SS 41)
鉄筋 650 t (SD 30)
コンクリート 5 180 m³ (軽量 240 kgf/cm³)

3.2 PCa フロアパネル工法に対する基本要性能

本工法の検討にあたって、設計・施工上要求された基本性能を表-1 に示す。

3.3 PCa フロアパネルの設計

外周と内周の間の床については、鉄骨ばりとRCスラブとを一体化した合成ばり構造を採用し、長大スパンに対する適正な面外剛性と両架構間の床面内剛性を確保することにした。本工法の開発を可能にした設計上の要因としては、第一に、主要架構としてダブルチューブ構造を採用しているため、外周架構と内周架構の間に柱、大ばりが一切存在せず、PCa フロアパネルの配置計画が自由にできたこと、第二に、両架構の地震時における水平力分担比率を適正化することにより、床を通じて伝達

される水平力を小さくしたこと、第三にアンダーカーペット配線システムの採用により床内フロアダクト工事がなくなったことが上げられる。

以下に PCa フロアパネルの設計詳細を示す。

(1) PCa フロアパネルの割付け

基準階の東西南北方向において、外周架構と内周架構が直接連結できるように長スパンパネルの割付けを行った。また、コーナー部に対しては、交差ばり構造のパネルを配置することにより、荷重を2方向に均等に分担させて小ばり断面の軽量化を図った。

(2) 鉄骨小ばりの設計

RCスラブとの合成ばりとすることにより、上フランジ鉄骨断面を下フランジ断面の約 40% の大きさとした。

(3) スラブ筋の設計

スラブ筋に関しては、現地での加工工数を削減すべく溶接金網を用い、その円滑な配筋を可能とするために、スタッドジベルの間隔を考慮して溶接金網の仕様を決定した。

(4) 柱と PCa フロアパネルとの接合部の標準化

外周架構におけるH形柱を極厚H形鋼 400×400 シリーズ (内のり寸法一定) に統一することにより、上階に向かって柱断面が小さくなるにもかかわらず、ガセットプレートの位置の一定化を可能とした。柱と PCa フロアパネル間で地震時水平力を伝達させるため、鉄骨小ばり上フランジ端部において高力ボルト接合とした。標準的な外周柱と PCa フロアパネルとの接合部の詳細を図-3 (a) に示す。

(5) PCa フロアパネル間での水平力の伝達

PCa フロアパネル間で地震時水平力を確実に伝達させるため、図-3 (b) に示すように、隣接した鉄骨小ばりの上フランジ相互を1辺に対して2箇所 (l=200 mm) 現場溶接接合とした。PCa フロアパネル間の目地部には、モルタルを充填してパネルの連続性を確保するよう

表-1 PCa フロアパネルの基本要性能

設計上の要求性能	施工上の要求性能
<ul style="list-style-type: none"> ・人の歩行による床振動時の変位振幅量が許容値以内であること ・設計荷重 (積載荷重: スラブ 300 kg/m², 小ばり 240 kg/m²) に対し、たわみおよび応力が許容値以内であること ・RC造スラブと鉄骨小ばりがスタッドジベルを介して一体化すること ・PCa フロアパネル間で地震時の水平力を伝達できること ・PCa フロアパネルと内・外周架構との接合部において水平力伝達が可能なること 	<ul style="list-style-type: none"> ・基準階の各階を通じて、同一のパネル形状および鉄骨小ばり断面であること (同一型わく仕様可) ・タワークレーンで揚重可能な重量であること (最大 18 t) ・建て方が行いやすいパネル形状、割付けおよび鉄骨継手形状であること ・早期脱型および早期建て方が可能なコンクリート強度をもつこと ・敷地内の適切な製作ヤードが確保できること ・設備配管等の打込みがないこと

図-3 接合部詳細図

にした。

4. 施工概要

PCa フロアパネル工法とは、合成ばり構造のコンクリートスラブを現場サイトで製作し、高所でのコンクリート打設をなくし、品質の向上、工数減少による工期短縮とともに、鉄骨建て方と同時に安全な床を構築しようとするものである。このように多くのメリットがあるものの、鉄骨精度とヤードでの製作工程の難しさがあり、これが地上躯体工事の成功の鍵を握っている。したがって、地上躯体工事のポイントは、鉄骨工事と PCa フロ

アパネルの品質管理と工程管理にある。

4.1 仮設・生産計画

地上躯体工事としての工期は約8か月、1節（3フロア）の施工日数は16日で、その生産・建て方工程を表-2に示す。地下躯体工事（逆打ち工法）と同時施工となるため、その作業通路を確保するとともに、全体の施工計画を検討して、サイト工場として必要な材料置き場、製造ヤード、ストックヤード等の最適配置を図-4のように決定した。生産ヤードとしては、建て方工程上日産5~12枚生産すべく、サイトは2箇所とし、型わくは鋼製型わくで、ベッド数は12ベット（兼用ベット5台）とした。

4.2 コンクリートの調合

PCa フロアパネルは、構造設計上、コンクリートの単位容積重量として2.0を採用した。強度的には、設計基準強度が240 kgf/cm²となっているが、1日1サイクルでの生産を維持するためには、材令16時間で120 kgf/cm²以上を確保するとともに、材令1~5日目には建て方を行う必要から初期強度が要求された。表-3にコンクリートの使用材料を、表-4にその調合を示す。なおコンクリート打設は、定置式クレーンを用いたパケット（容量1m³）打設となり、施工能率の面からスラ

表-2 PCa フロアパネル生産・建て方 SN 表

図-4 サイトプレファブ工場配置図

表-3 使用材料

セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
早強ポルトランド $\rho=3.14$	瀬戸内産 $\rho^{*1}=2.56$	アサノライト+西島 $\rho^{*2}=1.25, \rho^{*1}=2.63$	ボゾリス No. 70 $\rho=1.25$

注) *1 表乾比重 *2 絶対比重

表-4 コンクリート調合表

粗最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m³)	単位重量 (kg/m³)				
						セメント	細骨材	粗骨材(軽)	粗骨材(砕)	混和剤
20	15	5	52	45.5	182	350	783	229	481	0.875

ンプは 15 cm とした。PCa フロアパネルの生産が 10 月から 4 月までの寒い時期にあたり、脱型時のコンクリート強度を確保して確実な生産工程をこなすために、気温に影響されない蒸気養生方法を採用した。図-5 に標準的な蒸気養生の温度条件を示す。最高温度継続時間に関しては、建て方工程に応じて 2.5~3.5 時間の間で調整

図-5 蒸気養生条件

を行った。

4.3 生産のフロー

図-6 に PCa フロアパネルの生産のフローを示す。生産過程の主な作業状況を写真-2、写真-3 に示す。

4.4 コンクリートの品質管理

現状のコンクリートの受入れ検査は事後判定法であり材料 16 時間での脱型強度の確認から建て方時および任

図-6 PCa フロアパネル生産のフロー

写真-2 PCa フロアパネルのコンクリート打設状況

写真-3 PCa フロアパネルの製造ヤードとストック状況

意の材令における躯体強度の確認が現地で随時できなければ、生産ならびに建て方工程に支障を来す。ここでは受入れ検査として JASS 5 に規定された検査に加えて、当社が開発したコンクリート早期品質判定法²⁾を用いて W/C のチェックを行い、スランプ測定結果を踏まえて施工性と品質の確保を図った。さらに、受け入れたコンクリートが満足なものであっても、蒸気養生の程度によって、目標とする初期強度が確保できず、製品の破損を招く恐れがある。そのために、ここでは、京都大学森田教授の指導による引抜き強度試験³⁾を適用するようにした。図-7 はテストピースによる脱型強度と引抜き荷重の相関を示したもので、わずかな資料数であるが、ほぼ過去の推定式と同じものが得られている。引抜き荷重による推定脱型時強度の推移を図-8 に示す。図-9 に1週の圧縮強度試験結果のヒストグラムを示す。今回、受入れから脱型・建て方までの一連の躯体強度推定システムの適用によって、コンクリートの品質確保が確実にでき、基本性能を満足した非常に良好なコンクリートが得られた。

図-7 引抜き荷重と脱型時強度の関係

図-8 引抜き荷重による推定脱型時強度の推移

図-9 1週圧縮強度試験結果
(蒸気養生後現場水中養生)

4.5 施 工

鉄骨の節割りは原則として3フロア1節とし、コア部鉄骨建て方、外周部鉄骨建て方に続いて PCa フロアパネルを建て込むが、鉄骨とコンクリートスラブが一体化され建て方上剛体の接合となるため、コア部の建て方精度管理に重点を置き、図-10 に示す施工手順で行った。PCa フロアパネルの揚重状況および取付け状況を写真-4、写真-5 に示す。

図—10 PCa フロアパネルの施工手順

写真—4 PCa フロアパネルの揚重状況

写真—5 PCa フロアパネルの取付け状況

5. 実施結果

当工法を開発実施した結果をまとめると以下のようなことが言える。品質面では、地上での軽量コンクリート打設となって単位水量の低減が可能となり、コンクリート品質の確保が図れた。床躯体の品質としては、設計上の要求性能をすべて満足し、問題がないことが確認された。PCa フロアパネルの取付け精度は、図—11 に示すように鉄骨自体の寸法精度の影響を受けてややバラツキが見られたものの、ほぼ目標とした取付け精度を確保したと考えられる。工期面においては、図—12 で明らか

図—11 PCa フロアパネルの取付けレベル精度

図-12 タクト数の比較

図-13 施工歩掛りの比較

のように、床デッキ工法に対して 54 日、(鉄骨フロアパネル + PCa 外壁) 工法に対して 36 日短縮することができた。躯体工数は、図-13 に示すように特にとび工、鉄筋工、デッキ工等の技能工の大幅な削減ができ、施工歩掛りとして従来工法の 3 分の 2 で施工できた。従来の方法に比べて、高所での作業員の数も大幅に少なく、しかもとび工と鉄骨鍛冶工だけで、安全面でも非常に優れた工法と言える。

6. あとがき

超高層ビルの床躯体工法の施工に対して、設計・施工および建築・設備の一体化を図り、製造面での工業化を推進し、現場作業の大幅な省力化を可能とした。高層部での乾式化により、各作業が固定された設備および作業者で行われたために、その習熟効果によって作業効率が

大幅に向上するとともに、品質および安全性の確保に大きな成果を上げることができた。

参考文献

- 1) 向井久夫・奥本英史：梅田センタービルの構造設計，季刊 カラム，No. 101，pp. 85～87，1986
- 2) 杉本靖彦・高幣喜文：コンクリート早期品質判定装置の開発と実用化，竹中技術研究報告，No. 31，pp. 75～89，1984.5
- 3) 森田司郎・小松勇二郎ほか：引抜き試験法によるコンクリート強度の推定，セメント技術年報，Vol. 35，pp. 102～105，1981