

大型ユニットによる省力化工法の開発

- CFTフラットスラブ構造の大型プレキャスト部材による実大施工実験 -

瀧口 雅己* 小田 康弘*
宮良 光一郎* 村田 義行*
瀬尾 正幸**

要 旨

フラットスラブ構造は梁を架けずに柱に柱頭部(以下、キャピタル部)を設けてスラブを直接柱で支える構造で、梁がないため空間を有効に利用できることから、物流倉庫やショッピングセンターなどに採用されている。このフラットスラブ構造の柱に鋼管コンクリート柱(以下、CFT柱)を用いた構造がCFTフラットスラブ構造で、構造の簡易さ、型枠の低減により大幅な施工の合理化が可能である。

本開発では、この構造の実物件への適用を想定し、さらなる施工の合理化をめざしてフラットスラブのキャピタル部のプレキャスト化(以下、PCa化)及びスラブ部のハーフプレキャスト(以下、ハーフPCa)床板の大型化による施工方法を提案し、工期・コストを検討をするとともに実大規模での施工実験によりその施工性を実証した。

その結果、提案したキャピタル部のPCa化と大型ハーフPCa床板による施工方法は、実物件への適用は可能であり、施工の合理化に寄与できることが確認された。

1. はじめに

建築のプレキャスト化の目的は、品質向上、施工の省力化、工期短縮、コストダウンである。さらに、PCa部材を大型化してサイト(現場)で製作することにより運送費の削減、建方部材数の削減による施工の高速化が可能になる。

しかし、CFTフラットスラブ構造についてはPCa化した施工事例は少ない。また、CFT柱とフラットスラブの接合方法についても事例が少なくまだ一般化されていない。

そこで本開発では、フラットスラブのPCa化に対応

可能な簡易かつ安価な接合方法を考案し、さらにPCaキャピタルと大型部材化したハーフPCa床板を使用した施工方法を提案し、実大モデルでの施工実験によりその施工性を実証した。加えて、接合方法の施工性とコスト比較、フラットスラブ部分を現場打ちコンクリート(以下、在来工法)で施工した場合との工期とコスト比較を行った。また、大型ハーフPCa床板は球状中空体のボールポイドを使った中空スラブの施工性の検証を兼ねて製作した。この中空スラブはまだ日本での実績がなく、日本での導入を図るため、今後研究開発を行っていくものである。

工法概念図を図-1に示す。

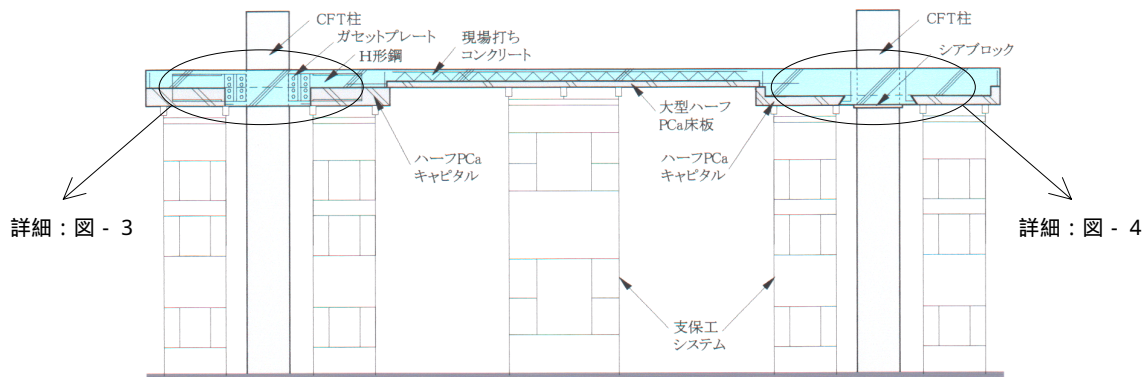


図-1 工法概念図

2. 実大施工実験

2.1 実験概要

実験計画図を図 - 2 に、考案した 2 種類の接合部断面図を図 - 3, 4 に、製作したハーフ P C a 部材寸法を表 - 1 に示す。柱は $\phi 700 \times 700 \times 19$ の一般構造用角形鋼管を使用し、長さは建物 1 層分に余長 1m を加えて 6m とした。

実験は階高 5m、スパン 10m、床積載荷重 1600 kg/m^2 の 5 層の建物への適用を想定して行った。接合方法の異なる 2 種類の C F T 柱とハーフ P C a キャピタルをそれぞれ 2 ピースずつ、スラブ部分については 1 スパン 1 ピースの大型ハーフ P C a 床板を製作し、建方を行った。P C a 部材の製作はサイトで蒸気養生を行い翌日脱型とした。

接合方法 A (以下、A タイプ) は、C F T 柱の四方に溶接したガセットプレートとプレキャストキャピタルに予め打ち込んだ 4 本の H 形鋼を高力ボルトにより接合し、後打ちコンクリートを打設して一体化する方法である。

接合方法 B (以下、B タイプ) は、フラットスラブのキャピタル下端と接する部分の C F T 柱周囲に溶接したシアブロックを介して鉛直力を伝達する方法で、接合方法 A と同様に、後打ちコンクリートを打設しフラットスラブと C F T 柱を一体化する方法である。

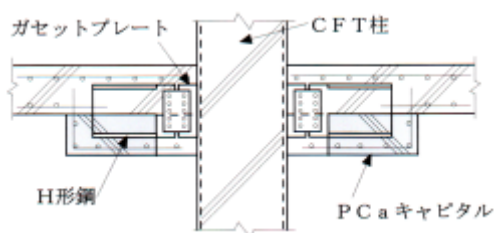


図 - 3 Aタイプ 接合部断面図

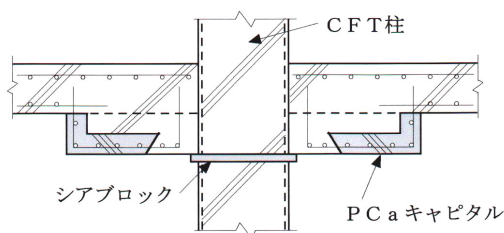


図 - 4 Bタイプ 接合部断面図

表 - 1 ハーフ P C a 部材寸法

部材種類	寸法 (mm)	厚さ (mm)	重量 (t)	製作数 (ピース)
キャピタル Aタイプ	4000 × 4000	300	10.5	2
キャピタル Bタイプ	4000 × 4000	150 (外周部 300)	6.3	2
床板	10000 × 10000	90	19.0	1

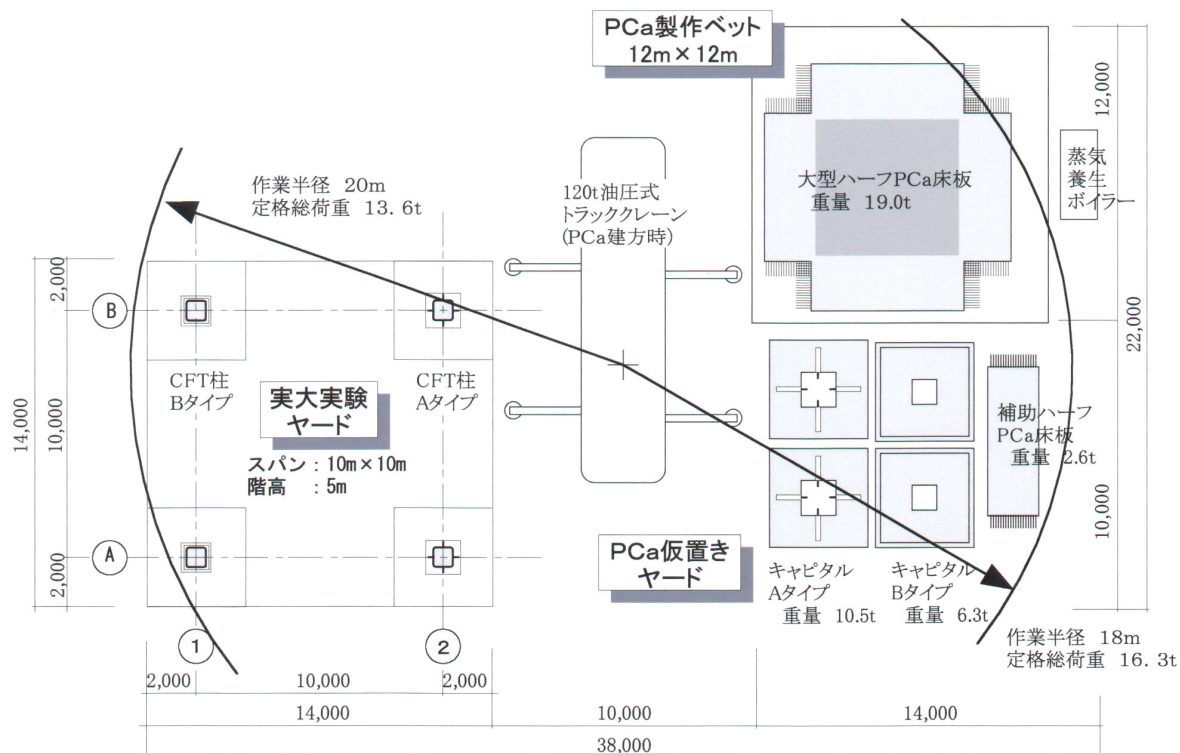


図 - 2 実験計画図

2.2 実験方法

(1) CFT柱製作・建方

製作したCFT柱の接合部を図-5, 6に示す。これら2種類の柱を製作して建方を行い、製作段階においては、製作時の問題点の有無と接合方法の違いによる製作難易性とコストを比較した。

建方時には柱をつなぐ鉄骨梁がないため、建方精度の確保が懸念された。そのため、通常鉄骨建方と同様に建て直しワイヤーで建入れ調整を行い、柱脚のアンカーボルトの本締めを行った後に建直しワイヤーを撤去して、柱の倒れがJASS6の鉄骨精度検査基準の管理許容範囲内に納まっているかどうかを確認した。

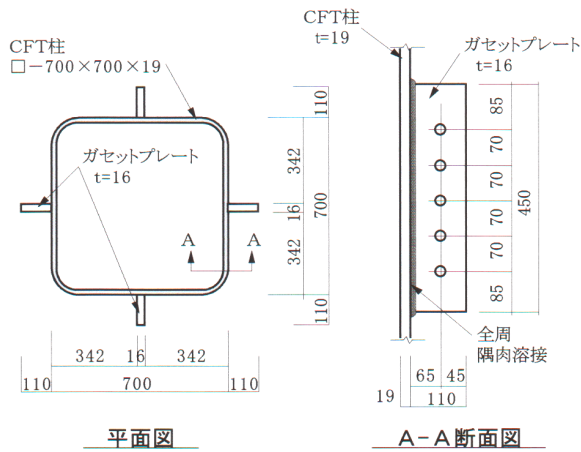


図-5 CFT柱Aタイプ接合部

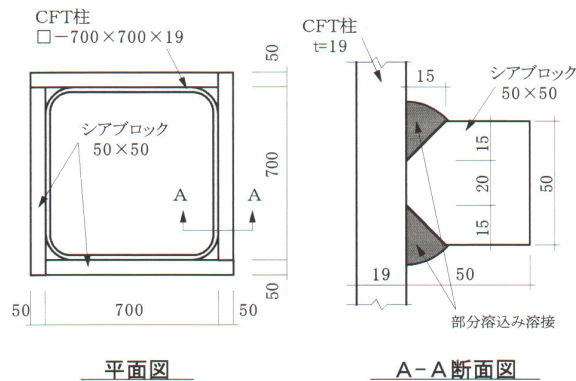


図-6 CFT柱Bタイプ接合部

(2) PCa部材製作・建方

製作した2種類のハーフPCaキャピタルと大型ハーフPCa床板の形状を図-7, 8および9に示す。実験ヤードに設置した製作ベツト上で各部材を製作し、製作方法の実証、H形鋼打込み方法の実証と問題点の抽出、

2種類のキャピタルの製作手間と時間の比較を行った。

大型ハーフPCa床板についてはボールポイドの施工性の確認を兼ねて製作を行った。

建方時には、柱との接合方法の違いによる施工性の比較と歩掛り計測、接合部での納まりと施工性の確認を行い、問題点の抽出を行った。

(3) 支保工

選定した支保工システムの組立・解体時における歩掛りを計測し、施工性の確認を行った。

(4) 接合部型枠

本開発で考案したCFT柱とハーフPCaキャピタル接合部の型枠施工方法を実証し、組立解体の難易性、後打ちコンクリートの仕上がり状況を確認した。

(5) 後打ち部分の施工

スラブ上筋の配筋については、歩掛りを計測して施工性を確認し、後打ちコンクリートを打設した。

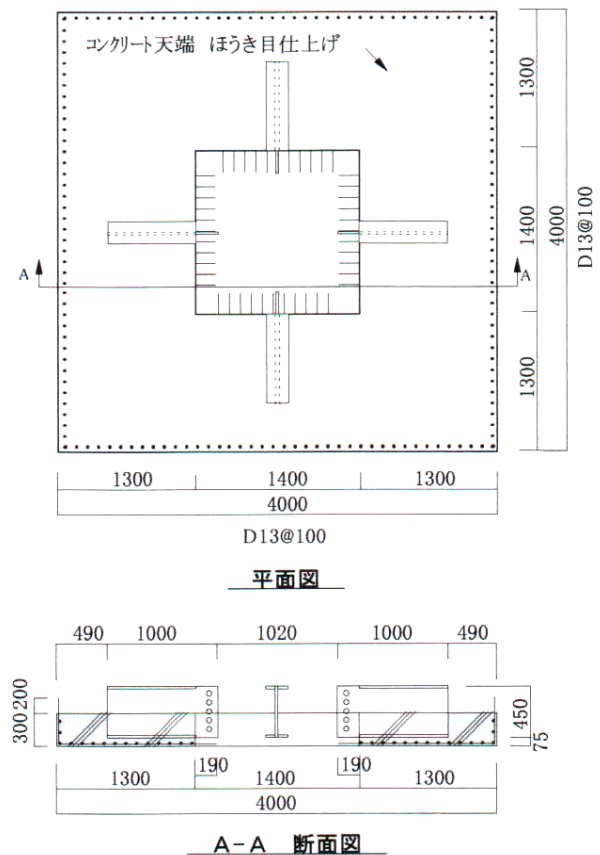


図-7 キャピタルAタイプ

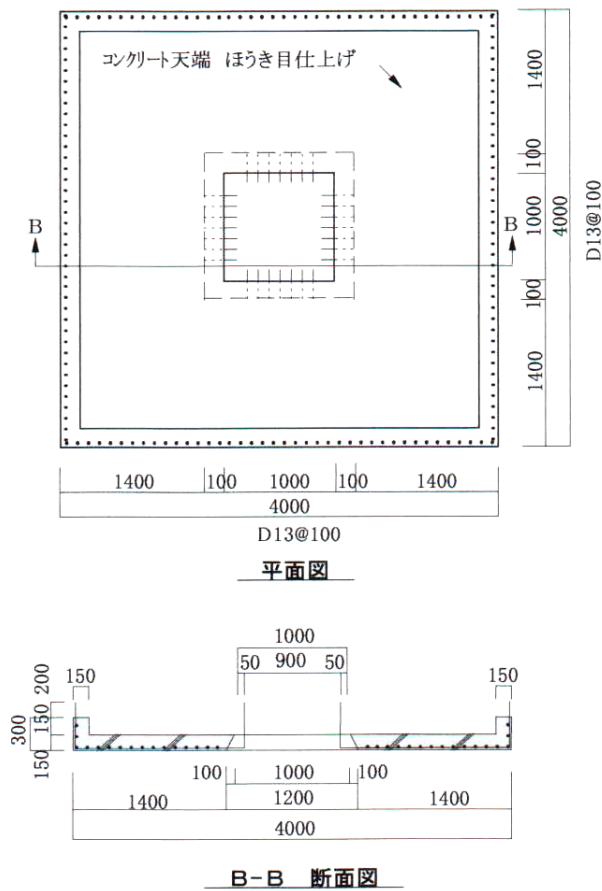


図 - 8 キャピタルBタイプ

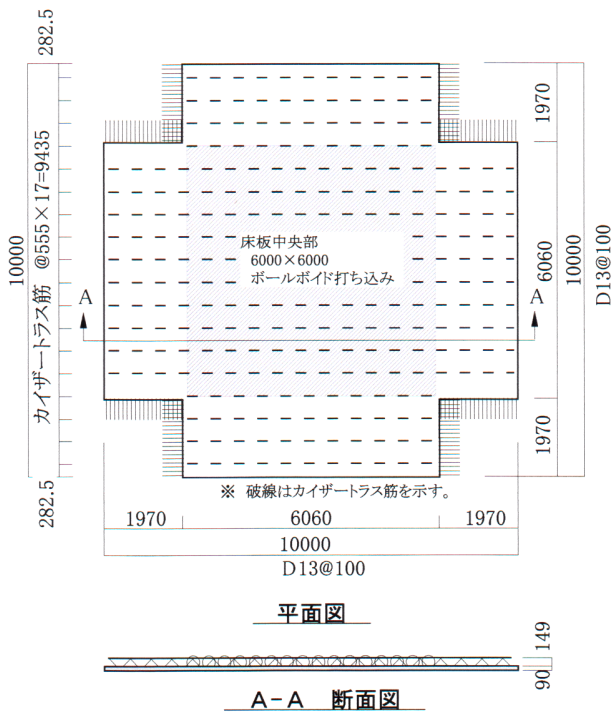


図 - 9 大型ハーフPCa床板

2.3 実験結果

実大モデルの部材を製作し建方を行った結果、得られた知見を各項目別に以下に記す。

(1) CFT柱製作・建方

Aタイプ、BタイプのCFT柱接合部を写真 - 1, 2に、建方状況を写真 - 3に示す。接合方法の違いによる2種類の柱を製作した結果、両方とも特に難しい納まり部分はなく、実製作に支障のないことが確認できた。接合部の比較では、Bタイプの方がAタイプよりも使用する鋼材量が少なく済むため、コストが削減できることが確認できた。通常の鉄骨造や鉄筋コンクリート造の柱と比較しても、両タイプとも柱梁接合部にダイヤフラムを取り付ける工程がないため、その部分での柱の切断加工やダイヤフラムの溶接作業がなく、製作加工手間とコストを削減することが可能である。

しかし、Aタイプの柱ではガセットプレートを直接柱の側面に溶接するため、角形鋼管成型時の鋼管側面のはらみによる誤差を考慮する必要性が生じた。鉄骨製作工場での誤差を計測したところ、最大で8mmのはらみがあることがわかった。この接合部に取り付けてくる梁の方は、プレキャスト部材に打ち込まれて4方向とも固定されているため、取付が困難になることが予想された。そのため本実験では、プレキャストに打ち込む梁を鋼管柱の製作誤差に合わせて取付位置を調整する方法で対応した。



写真 - 1 AタイプCFT柱接合部



写真 - 2 BタイプCFT柱接合部



写真 - 3 建方状況

(2) P C a 部材製作・建方

Aタイプ、Bタイプキャピタルおよび大型ハーフP C a 床板の製作状況を写真4、5および6に示す。

Aタイプのキャピタルに打ち込むH形鋼は、柱の接合部と同形状の治具を使用して固定した。前述した柱製作時のガセットプレートの取付誤差に合わせて4本のH形鋼を調整しながら固定しなければならなかったため、多能工2名で約30分の時間を要した。この場合、鉄骨建方時に使用する「ボル芯」(ボルト穴と同じ径の治具)を使用すればボルト穴のクリアランス調整をする必要がなくなるため取付時間を短縮できたと思われる。

本実験では、柱側ガセットプレート取付時の誤差調整を、キャピタルに打ち込むH形鋼の位置を調整して行ったが、実施工時のP C a 部材製作時間の削減のためには、柱製作時にガセットプレートを正規の位置に取り付けておく方が良いと思われる。

Bタイプのキャピタルは部材の軽量化のため部材厚を150mmとして、床板受けのため幅150mm、高さ150mmの立上りを設けた形状にしたため、キャピタルAタイプよりも型枠組立とコンクリート打設作業に約1時間多く要した。また周囲の立ち上がり部の型枠を浮かし型枠としたためコンクリート天端の調整にも時間を要した。

配筋からコンクリート打設完了までの時間を比較すると、Aタイプのキャピタルの方が打設するコンクリート量が多く、H形鋼をセットする作業が一工程多いにも関わらず、Bタイプよりも製作に要する時間が短いことが確認された。

大型ハーフP C a 床板は配筋からコンクリート打設までを1日で行った。ボールポイドスラブ部分は配筋の格子目でボールポイドの間隔を保持して打ち込むために、上筋下筋ともD19不等ピッチの溶接格子鉄筋として製作し配筋した。下筋配筋後のボールの配置作業は、下筋の格子間にボールが固定されるよう製作したためスムーズに行うことができた。しかし、溶接格子鉄筋のジョイ

ント部を添え筋での重ね継ぎ手とし、納まり上ボールポイドを配置する部分を避けて添え筋を配置しなければならず時間を要した。溶接格子鉄筋の端部を継ぎ手の定着長さ分確保して製作すれば添え筋を使わずにジョイントできるが、ボールポイドの納まり上それができなかった。さらに、コンクリート打設時のボールの浮き上がり防止対策としてボールポイド打込み部分は上筋を先組としたため、スランブ18cmのコンクリートを使用したにも関わらず、その部分のコンクリート天端レベルを均一に均すことができなかった。ボールポイドを適用した場合のハーフP C a 床板の製作方法の改善に課題が残った。



写真 - 4 Aタイプキャピタル製作状況



写真 - 5 Bタイプキャピタル製作状況



写真 - 6 大型ハーフP C a 製作状況

PCa部材は120t油圧式トラッククレーンを使用して、1日目にキャピタル4ピース、2日目に床板の建方を行った。キャピタルAタイプと大型ハーフPCa床板の建方状況を写真-7, 8に示す。

キャピタルAタイプは、接合部のスプライスプレートに柱側ガセットプレートに仮止めし、柱に差し込まれるキャピタル側のH形鋼のガイドとなる建方方法とした。しかし、キャピタル部周囲の足場上から接合部の位置を確認できないため、建方方法を検討する必要がある。

支保工に載せたあと、ボルト穴の微調整をしながらボルト入れを行った。玉掛け開始からワイヤー取り外しまでの時間は、1ピース目はボルト入れに時間がかかり79分要したが、2ピース目は30分で行うことができた。

キャピタルBタイプの建方は、玉掛け作業から支保工に載せるまでの手順はキャピタルAタイプと同様の方法で行った。位置決めは、あらかじめ部材の天端に基準墨を出しておき鋼管柱側面からの距離により調整した。X, Y方向のどちらか一方を先に位置を決め固定し、残りの一方の位置決めを行った。建方にかかった時間は2ピースとも21分で、キャピタルAタイプの2ピース目と比較すると、約9分短い時間で取り付けることができた。

4本の柱にキャピタルを取り付けた後、大型ハーフPCa床板の建方を行った。



写真-7 Aタイプキャピタル建方状況

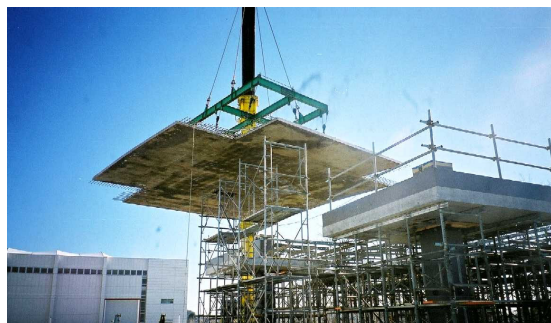


写真-8 大型ハーフPCa床板建方状況

(3) 支保工

本実験では通常大型床板型枠工法で用いられる支保工システムを使用した。組立状況を写真-9に示す。構成部材の重量が通常の枠組み支保工部材よりも重く、材料の受け渡しが困難で、また補強のための横架材が多く入っているため、組立中の作業員の横移動が難しくスムーズな作業ができなかった。組立歩掛りは24.0架²/人・日(架²=支保工立面面積)だった。

支保工取外しは、足下のジャッキベースを下げることで自重により問題なく行うことができた。本施工での転用時を想定し、枠幅1800mm、4スパンの支保工を数mの移動と方向転換したところ、比較的容易に移動または方向転換が可能であることが確認できた。解体歩掛りは41.8架²/人・日であった。



写真-9 支保工組立状況

(4) 接合部型枠

型枠取付状況、型枠脱型後の接合部コンクリート仕上がり状況を写真-10, 11に示す。

支保工はハーフPCaキャピタルの支保工を兼用し、鋼管柱側は受アングルによる形式とした。受アングルを鋼管柱に仮止めして型枠をセットし、キャピタル建方完了後、型枠の下端に合わせて受アングル取付ボルトの締め付けを行った。受けアングルと型枠の取付、PCa建方後のボルト締め付けは建方当日に鷹工で行い、要した時間は4名で合計1時間だった。

脱型時は先に受アングルを取り外し、支保工を下げることで容易に型枠を取り外すことができた。なお、打ち継ぎ部分がコンクリート素地仕上げの場合は、型枠とキャピタルの間に打継ぎ目地を入れてコンクリートのはみ出しを防止する必要がある。受けアングルと型枠の取り外しは建方時と同様に、支保工解体時の鷹工で行った。1ヶ所あたりの取り外しに要した時間は鷹工2名で10分だった。



写真 - 10 型枠取付状況



写真 - 11 接合部コンクリート仕上がり状況

(5) 後打ち部分の施工

後打ちコンクリート打設状況を写真 - 12 に示す。

PCa建方後、先組部分以外のスラブ上筋を配筋しコンクリートを打設した。ハーフPCa床板のジョイントを柱列帯部分としたため、ジョイント部の補強配筋は下筋と同じD13@100として施工した。トラス筋をスペーサとして配筋できるため、場所打ちのスラブよりも施工性は良く、歩掛りは750kg(40㎡)/人・日だった。

コンクリートは、はじめに4ヶ所のキャピタル部分を大型ハーフPCa床板天端まで打設し、その後順次スラブ天端まで打設した。

スランブ15cmのコンクリートを用いたが、ボールポイド部分はパイプレーターを充分にかけることでコンクリートを充填することができた。

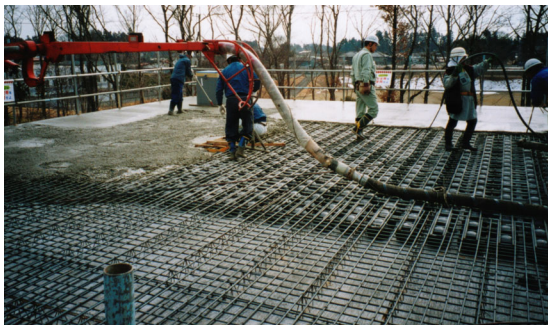


写真 - 12 後打ちコンクリート打設状況

3. 工期・コスト比較

「大型ユニット」での施工方法を検討するにあたり、その効果を確認するために工期およびコストについて、フラットスラブ部分を在来工法で施工した場合との比較検討を行った。

また、フラットスラブとCFT柱の接合方法に関しては、公表されている接合方法の中でもっとも施工性が良く、製作コストのかからないと思われる方法(以下、接合方法C)との比較検討を行った。接合方法Cは、スラブ天端とキャピタル下端に接する部分のCFT柱周囲に溶接したシアブロックを介して応力を伝達する方法で、接合方法Bと違ってシアブロックはコンクリート中に埋め込まれた形である。

工程・コスト比較は、過去に自社施工した鉄骨鉄筋コンクリート造の物流倉庫をCFTフラットスラブ構造に置きかえた建物を想定して行った。接合方法の比較は、施工性・製作コストについて行った。

適用想定建物概要・施工条件を表 - 2 に示す。

表 - 2 適用想定建物概要・施工条件

建物用途	物流倉庫
建築面積	4,000㎡(桁行80m、梁間50m)
階数	5階建て(内、フラットスラブ部は2階床~5階床の4フロア)
階高	5m(各階共通)
スパン	10m×10m
積載荷重	1,600kg/㎡
構造形式	CFTフラットスラブ構造
使用材料・各部寸法	<ul style="list-style-type: none"> ・柱：一般構造用角形鋼管(STKR400) - 700×700×19 ・コンクリート設計基準強度：Fc=27N/mm² ・鉄筋の種類：SD295A ・キャピタル寸法： 4,000mm×4,000mm×厚さ300mm ・スラブ厚：300mm
施工条件	<ul style="list-style-type: none"> ・1フロアを3工区に分けて施工 ・柱は2層1節のものを使用 ・スラブ型枠は床型枠一体型大型床板型枠工法を使用。PCa部分は上記工法の構成部材から床型枠と根太部材を除いたものを使用。 ・在来工法は50tクローラークレーンを2台で施工。PCa工法は300t1台、100t1台のクローラークレーンで施工。

工期の比較はそれぞれの工法について1フロアあたりの施工数量を算出し、歩掛り、人工数および施工条件を設定し工期を算出し比較した。コストについても工期比較と同様に、同じ施工単価でのコスト比較を行った。

その結果、PCa化により型枠支保工や配筋作業など

の現場作業の削減ができ、在来工法で施工した場合よりも約27%の工期短縮が図れ、コストについては、現場作業の削減とP C a化による部材と揚重機の大型化による費用が相殺され、在来工法とほぼ同等となることことが確認できた。

接合方法の施工性比較は、本実験で製作した接合方法AとBで行った。接合方法CについてはP C a化が可能であるかが不明なため除外した。コストについては接合部1ヶ所あたりの製作コストを算出し比較した。

その結果、施工性については実大実験の歩掛りから、接合方法AよりもBの方が施工性がよく、製作コストについては図-10に示すように、接合部に使用する鋼材の工場加工費が少ない接合方法Bが一番安価に製作できることがわかった。

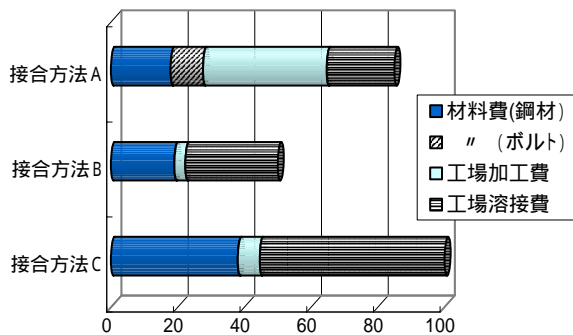


図 - 10 製作コスト比較

4. 今後の課題

本報で提案した「C F Tフラットスラブ構造の大型プレキャスト部材による施工方法」を実物件に適用するにあたっての今後の課題を以下に述べる。

(1) 外周部耐震壁の省力化施工方法の検討

C F Tフラットスラブ構造は地震時の水平力を建物外周部に配置した耐震壁で受けることで建物を構成している。さらなる工期短縮とコストダウンを行うためには、この耐震壁についてもプレキャスト化による省力化施工

方法を提案することが重要である。

(2) 支保工のさらなる簡略化

本実験により大型ユニット工法の方が、P C a化により支保工支柱間隔の拡大が可能になり、在来工法よりも約22%支保工を削減できることが確認できた。しかし実験で使用した支保工システムは必ずしも施工性がよいとはいえず、よりよい施工性を有し、施工手間の削減可能なシステムの適用検討が必要であると考えられる。

(3) 鋼管柱の建方方法の検討

本実験では建物1層分の柱を使用しての建方方法が確認できた。実物件では、柱が2層1節または3層1節での施工になると想定されるため、その場合の建方方法の検討が必要になるとと思われる。

(4) ハーフP C aキャピタルの建方方法の検討

今回提案したハーフP C aキャピタルを柱に差し込む形での施工方法では、柱を2層1節または3層1節で施工する際に揚重機の吊りフックと柱が干渉するため、専用の吊り治具等の検討が必要である。

5. おわりに

C F Tフラットスラブ構造について、フラットスラブのキャピタル部分とスラブ部分を大型化したプレキャスト部材による施工方法を提案し、実大実験によりサイトでの製作と提案した建方方法で施工可能であることが明らかになった。

また、適用を想定した建物について工期およびコストを試算した結果、フラットスラブ部分を在来工法で施工した場合と比較して、工期短縮が可能であること、プレキャスト部材を大型化しサイトで製作することで在来工法とほぼ同等のコストで施工可能であることが確認できた。