

中高層鉄筋コンクリート造建物の短工期化工法の開発

坂上 肇 池田 雄一 浜田 耕史
山田 雄一郎 藤生 直人 森岡 徹
(東京本店生産技術部) (東京本店生産技術部) (東京本店生産技術部)

Development of New Construction Method for Mid-to-High-rise RC Building

Hajime Sakagami Yuichi Ikeda Koji Hamada
Yuichiro Yamada Naoto Fujiu Toru Morioka

Abstract

Mid-to-high-rise reinforced concrete (RC) buildings are generically built by the conventional method of construction. However, a precast concrete method is often used in the case of super-high-rise constructions or large-scale warehouse, for shortening construction periods and reducing the work required to be done at the construction site. In recent years, there is a demand for shortening construction periods and conformance to targeted deadlines of construction periods for mid-to-high-rise RC buildings. However, it is difficult to apply the precast concrete method to mid-to-high-rise RC buildings, as it increases construction cost. Then, a new construction method is developed in this study and applied to 10-story the tabular connective housing. As a result of application of new method, an ~50% shortening of the construction periods and ~20% reduction in the amount of work required are achieved as compared to the conventional method of construction.

概要

通常、中高層鉄筋コンクリート（以下、RC）造建物の場合、施工階で鉄筋・型枠・コンクリート工事を行う在来工法が採用される。一方、超高層RC造建物や大規模RC造倉庫では、工場生産・現場組立のプレキャスト（以下、PCa）工法の採用により短工期化や省力化が図られている。近年、中高層RC造建物の短工期化や労務不足時の工期遵守が求められている。しかし、この規模の建物にPCa工法を全面的に採用するのは、コスト面の制約上困難な場合が多い。そこで、建物の水平部（梁および床板の底部）のみをPCa化して先行建方し、上下層の在来工法部分を並行施工することで短工期化する新工法を開発した。PCa工法と在来工法を組み合わせることで躯体コストの増加を抑制しつつ短工期化・省力化できる。新工法の施工性について施工実験により検証し、10層の板状集合住宅に適用した結果、在来工法に対して約50%の短工期化および約20%の省力化を実現した。

1. はじめに

10～15層程度の中高層鉄筋コンクリート（以下、RC）造建物の場合、施工階で鉄筋・型枠・コンクリート工事を行う在来工法が採用される場合が多い。これに対して、超高層RC造建物や大規模RC造倉庫等では、工場生産した部材を現場で組み立てるプレキャスト工法（以下、PCa工法）の採用により、短工期化や省力化が図られている。従来から、中高層RC造建物においても、床板等の一部の部材にPCa工法を採用して在来工法と組み合わせた事例は見られるが、PCa工法を柱、梁、壁等に全面的に採用して短工期化・省力化を図った事例は少ない。これは、PCa化率の上昇に伴う躯体コストの増加に対し、短工期化で得られる仮設経費差額が少ないことが大きな理由である。

一方で、近年、中高層RC造建物における短工期化や労務不足時の工期遵守の要望が高まっており、短工期化・省力化施工技術の開発が求められている。そこで、PCa化率を抑制しつつ、短工期化や省力化が可能な新工法を開発した。本報では、新工法の概要および10層の板状集

合住宅工事における適用結果について報告する。

2. 工法概要

2.1 従来の施工法と開発の要点

Table 1に従来の施工法と新工法の概略工程を示す。同表に示すように、RC造建物の躯体工事における主要工事は、鉄筋・型枠・コンクリート工事である。従来の施工法のうち在来工法（以下、在来工法）は、一般に、鉄筋・型枠工事を施工階で行い、全部材（柱、壁、梁、床等）を一体打設する方法を言う。在来工法では、先組鉄筋やシステム型枠を用いて短工期化や省力化を図るが、これらは、上記の主要工事のうちの作業員中心の作業を揚重機中心の作業に置き換えることを意図したものである。一方、従来の施工法のうちPCa工法（以下、PCa工法）は、あらかじめ工場生産した部材を現場で組み立てる工法であり、現場で行う主要工種の作業を省略することで短工期化や省力化する。また、従来の施工法には、在来工法とPCa工法を組み合わせた事例や、鉛直部と水平部を分離してコンクリート打設を行うVH分離工法など種々の

Table 1 従来の施工法と新工法の概略工程
Outline process of the conventional construction method and new building methods

従来の施工法		新工法	
<p>在来工法</p> <p>鉄筋工事 → 型枠工事 → CON工事</p> <p>ユニット化施工による短工期化・省力化</p>	<p>PCa工法</p> <p>鉄筋工事 → 型枠工事 → CON工事 → PCa工事</p> <p>工場生産による現場短工期化・省力化</p>	<p>新工法</p> <p>鉄筋工事 → 型枠工事 → CON工事 → PCa工事</p> <p>並行施工による現場短工期化・省力化</p> <p>PCa化率の抑制</p>	<p>並行施工による現場短工期化・省力化</p>

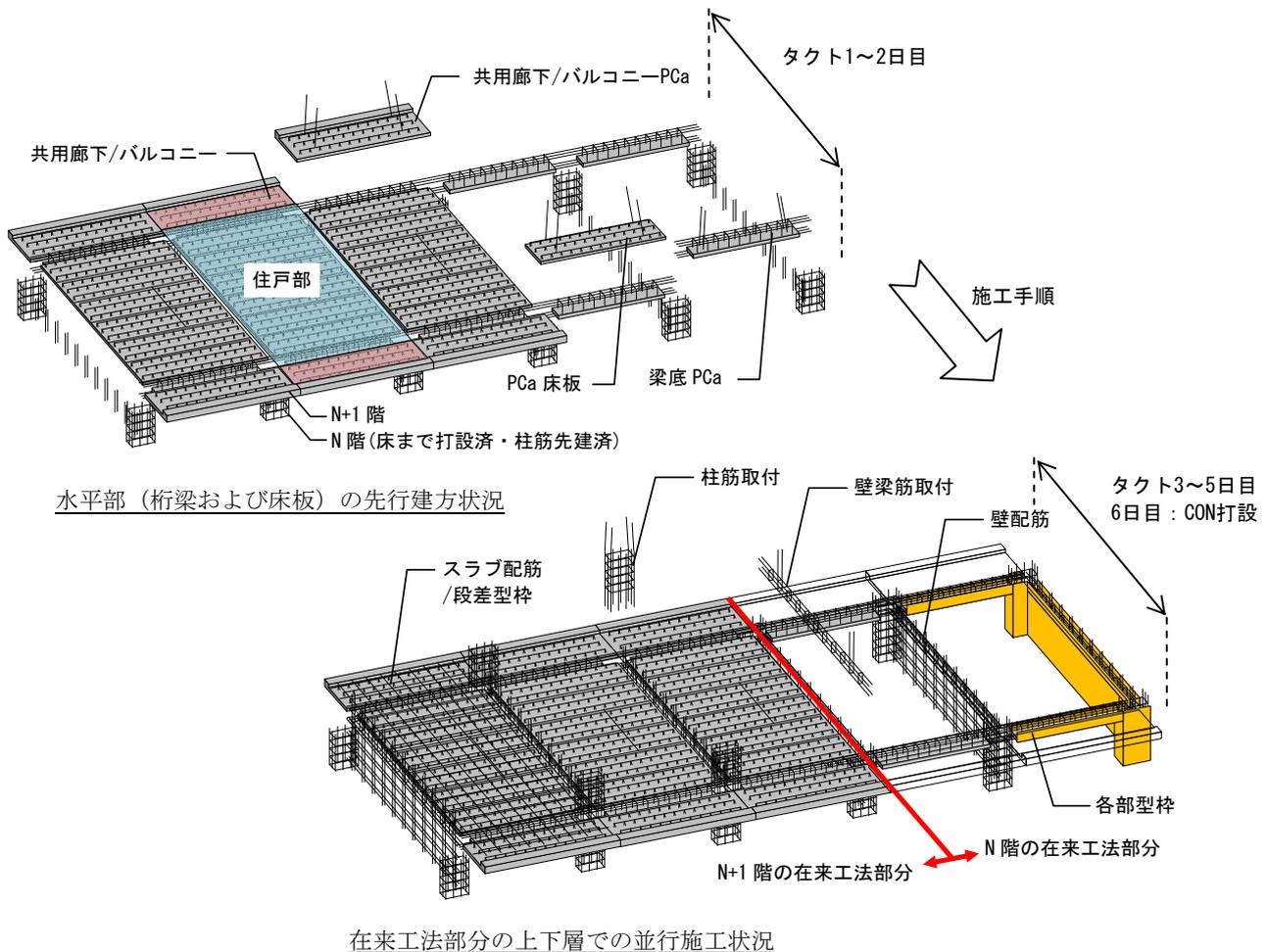


Fig. 1 新工法の部材構成と施工法
Component composition and construction technique of new building methods

工法があるが、共通して鉛直部（柱・壁）から水平部（梁・床）の順に施工する。

一方、Table 1に示すように新工法は、従来の施工法で順に施工していた鉛直部と水平部の一部を並行して施工することで短工期化する。次節で詳述するが、この方法で施工するために、梁と床板の底部をPCa化する。梁の底部（以下、梁底）のみをPCa化する理由の一つは、PCa

化率の低減によるコスト増加の抑制である。また、スラブ厚を残してPCa化する一般的なハーフPCa梁に比べ、軽量であるため揚重機の大型化の必要が無い。なお、PCa工場における製造方法は、ハーフPCa梁と同様である。

この方法により、従来の施工法におけるPCa工法と同等の工期短縮を図ることができる。また、低PCa化率で短工期化による仮設経費差額が得られるため、在来工法



Photo 1 施工実験の実施状況
Situation of experiment



Photo 2 梁底PCaの建方
Attachment of a PCa-beam



Photo 3 PCa床板の建方
Attachment of a PCa-slab



Photo 4 柱筋の取付
Attachment of reinforced bars of column



Photo 5 梁側型枠の取付
Attachment of a mold of beam



Photo 6 柱型枠の取付
Attachment of a mold of column

との差額コストが生じづらい。そのため、中高層RC造建物でも採用しやすい。また、PCa化による省力化も図れるため、労務不足の解決にも寄与する工法である。

2.2 部材構成と施工方法

Fig. 1に新工法の部材構成と施工方法を示す。ここでは、中高層RC造建物の例として、桁行方向がラーメン構造、梁間方向が連層耐震壁付ラーメン構造の板状集合住宅の場合を示す。

まず、PCa化した建物の水平部を構成する梁底 (Fig. 1では、桁梁のみ、以下、梁底PCa) および床板 (以下、PCa床板) を先行して建方する。その後、下層 (N階・主に鉛直部) と上層 (N+1階・主に水平部) の在来工法部分を並行作業とすることで工程を大幅に短縮する。在来工法部分のうち、柱筋および壁梁 (戸境梁) 筋は、先組鉄筋を採用して鉄筋工の山崩しとともに短工期化する。梁主筋は、仕口位置で樹脂グラウト継手により、柱筋は、モルタル充填式継手により接続する。コンクリート工事は、在来工法で全部材を一体打設する場合と同様に施工する。部材ごとに設計基準強度の異なる場合は、在来工法と同様にラス型枠等により打ち分ける。省力化については、在来工法が、鉄筋工と型枠工の2職種に労務が集中するのに対し、新工法では、鷹 (PCa) 工、型枠工、鉄筋工の3職種で作業を分担するため、型枠工・鉄筋工の労務負担を大幅に軽減できる。

一方、新工法は、鉛直部から水平部の順に施工する在来工法に比べ、次のような施工性 (作業のしやすさや施工精度) の懸念が生じた。①水平部のPCa部材の先行建

方時に鉛直部 (型枠材やPCa部材) が無いため取付や位置調整が難化する。②在来工法部分の並行施工時に水平部が先行して建方されており、施工性が阻害される。

そこで、新工法の施工性を検証するために適用工事の桁行方向の2スパンを模擬した試験体を用いた施工実験を実施した。

2.3 施工実験

2.3.1 PCa工事の施工性

Photo 1に施工実験の実施状況を、Photo 2に梁底PCaの取付状況を示す。梁底PCaの面外方向および軸方向の位置調整は、斜めサポートにより行い、JASS10¹⁾に規定された取付精度 $\pm 5\text{mm}$ 以内を確保できた。また、斜めサポートにより堅固に固定されており、梁底PCa連結時の衝撃による位置調整済みの部材の取付精度に与える影響は見られず、通常のハーフPCa梁と同様の手順で施工できることを確認した。

Photo 3にPCa床板の取付状況を示す。PCa床板は、一般的なハーフPCa梁や梁型枠が先行する場合は、位置調整済みのPCa梁もしくは梁型枠が取付作業時の定規となるため、比較的容易にかかり代を確保できる。一方、梁底PCaの場合は、定規となる部分が存在しないため取付作業の難度が高い。そこで、位置調整済みの梁底PCaを定規として敷き込むために基準となる専用治具を考案して、従来の施工法と同様に施工できるようにした。また、作業時の振動や衝撃荷重に配慮してPCa床板と梁底PCaを連結する固定治具を取り付けた。

2.3.2 鉄筋・型枠工事の施工性

Photo 4に柱筋の取付状況を示す。柱筋の位置調整と固定には、X、Y方向に

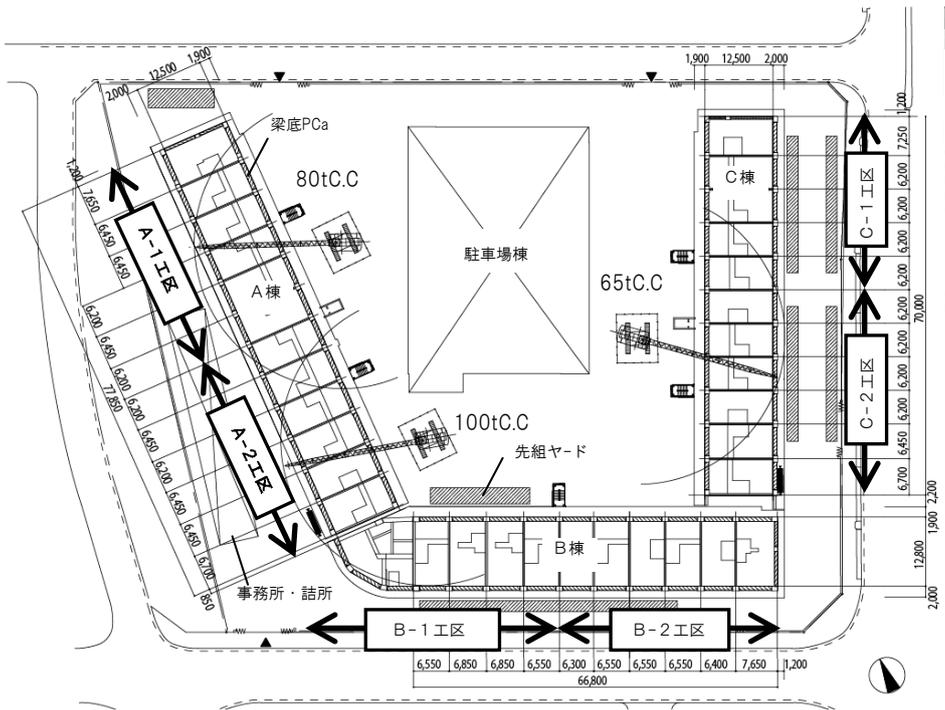


Fig. 2 平面図および仮設計画図
Plan view and temporary plan view

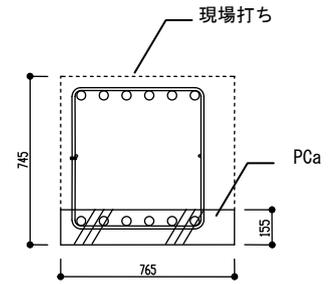


Fig. 3 標準的な梁断面
Standard beam section

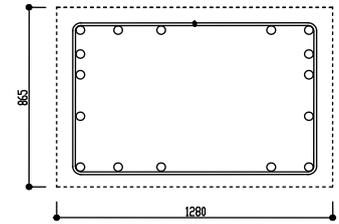


Fig. 4 標準的な柱断面
Standard column section

各2本ずつ斜めサポートを使用した。また、柱筋継手のモルタル硬化までの間に柱主筋に生じる振動や衝撃荷重に配慮し、梁主筋上の仕口フープを介して柱主筋と梁主筋とを番線結束して固定した。

Photo 5, 6に梁側型枠および柱型枠の取付状況を示す。これらの取付作業は、PCa部材の取り付け後に行うため、PCa部材の取付精度を考慮して型枠の加工を行う必要があった。また、PCa部材の支保工に囲まれた状況での作業となるが、型枠と支保工との離隔距離を確保して支保工の配置計画を行うことで問題なく施工できた。

3. 工事適用

3.1 建物概要

Fig. 2に適用工事の平面図および仮設計画図を示す。適用工事は、10層の板状集合住宅である。住棟は、A～C棟の計3棟構成である。各住棟は、バルコニーが北面以外に面するようにコの字型に配置されており、立体駐車場はこれらの住棟の北側中央に配置されている。各住棟の1フロア当たりの住戸数は、11～12戸であるが、A・C棟では、6階から1住戸ずつセットバックする。

Fig. 3, 4に標準的な梁および柱断面を示す。本物件の架構形式は、桁行方向（間口方向）がラーメン構造で標準的なスパンが6.5m、梁間方向（戸境方向）が耐震壁付ラーメン構造で標準的なスパンが12.5mである。また、階高は、2.96mである。桁行方向の梁（以下、桁梁）は、低い階高で天井高さを確保するために扁平な断面を有している。柱は、ラーメン構造である桁行方向の幅が大き

く、梁と同様に扁平な断面を有している。なお、PCa床板は、一般的なハーフPCaボイドスラブである。

3.2 施工計画

Fig. 2に斜線で示した梁（桁梁および妻梁の一部）を梁底PCaとした。また、住戸部床板、共用廊下、バルコニーをPCa床板とした。これらのPCa部材を、先行で建方した。その他の梁（壁梁を含む）および柱は、先組鉄筋で施工した。

1工区の住戸数は、各工事の適正作業量を勘案して住棟を2分割した5～6戸とした。基準階タクト工程は6日として、工区間のずれを1日で施工した。工区数（6工区）とタクト工程（6日）の同期を取ることで、揚重機を効率良く運用できることや、労務の山崩しが容易になるなどの効果を狙った。なお、揚重機は、65t, 80t, 100tクローラークレーンが各1台である。また、梁底PCaは、RC手摺付きのバルコニーPCaと同程度の重量であり、スラブ下までをPCa化する一般的なPCa梁に比べ約70%の軽量化を図った。梁底PCaは、RC手摺付きのバルコニーPCaと同程度の重量であり、梁底PCaを採用したことによる揚重機のサイズアップは不要であった。

3.3 実施状況

3.3.1 PCa工事 PCa工事は、鷹工で実施した。なお、鷹工は、PCa工事に関する作業（梁筋接続、樹脂グラウト注入）に加え、主要なクレーン作業（仮設揚重・資材揚重・先組鉄筋取付等）を一元的に実施することでクレーンを効率的に運用した。Photo 7～9に梁底PCaおよび



Photo 7 梁底PCaの建方
Attachment of a PCa-beam



Photo 8 PCa床板の建方
Attachment of a PCa-slab



Photo 9 PCa部材の先行建方状況
Situation of Attached PCa members



Photo 10 梁側型枠の取付
Attachment of a mold of beam



Photo 11 壁型枠の取付
Attachment of a mold of wall



Photo 12 壁梁筋の取付
Attachment of reinforced bars of beam

PCa床板の建方状況を示す。施工実験で検証した施工手順で実施したことで各部材とも精度良く取り付けられた。

3.3.2 型枠工事 Photo 10, 11に梁側型枠および壁型枠の施工状況を示す。PCa部材が取付された状況下でも、在来工法に対して大幅な作業効率の低下は見られなかった。なお、段差型枠は鋼製型枠を使用して、専門工事業者（雑鍛冶工）で実施した。また、存置期間の短い鉛直部の型枠が主であり、水平部を在来工法とする場合に比べ脱型・清掃に早期に取り掛かれた。

3.3.3 鉄筋工事 Photo 12に壁梁筋の取付状況を示す。柱筋および壁梁筋の取付作業は、PCa部材の取付後に鳶工により実施した。なお、壁梁筋は、揚重効率に配慮して、提灯吊りにより1回の揚重で3台を取付けた。また、壁および床の配筋作業は、在来工法で施工した。

3.3.4 コンクリート工事 適用工事では、全部材が同一の設計基準強度であったため、在来工法で一体打設する場合と同様に施工できた。また、PCa部分の打設数量が少ない分、早期に打設が終了するため土間押さえ等の後作業に早期に取り掛かることができた。

4. 工事実績

4.1 タクト工程の比較

Fig. 5に新工法と在来工法（全ての部材を在来工法で施工）の基準階タクト工程を示す。なお、在来工法の工事実績は、新工法の採用工事と同時期に施工された同規模の板状集合住宅工事における値である。

在来工法は、下層（N階・主に鉛直部）から上層（N+1

工法	工程	タクト日数											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
新工法	鳶	PCa部材 先組鉄筋											
	型枠	壁	梁	柱									
	鉄筋	壁	床										
	その他	継手 注入	段差 型枠	検査 修正	CON 打設								
在来工法	型枠	壁・柱			梁・床						段差型枠		
	鉄筋	壁・柱				梁				床			
	その他											検査 修正	CON 打設

Fig. 5 基準階タクト工程の比較
Comparison of a work schedule

階・主に水平部）に向けて施工する。一方、新工法は、梁底PCaおよびPCa床板を先行建方し、上下層の在来工法部分を並行作業したため、在来工法の12日タクトに対し、約50%の短工期化となる6日タクトで実施できた。その結果、適用工事の躯体工期としては、約2ヶ月の短縮を図ることができた。

4.2 生産性の比較

新工法および在来工法の棟・階単位の職種別人工数および施工量を収集した。なお、基準墨出し、外部足場の建方、コンクリート打設、片付け・清掃等の両工法で共通となる作業は割愛して集計した。次節以降では、両工法ともに棟・階単位で得られた工事実績の平均値および

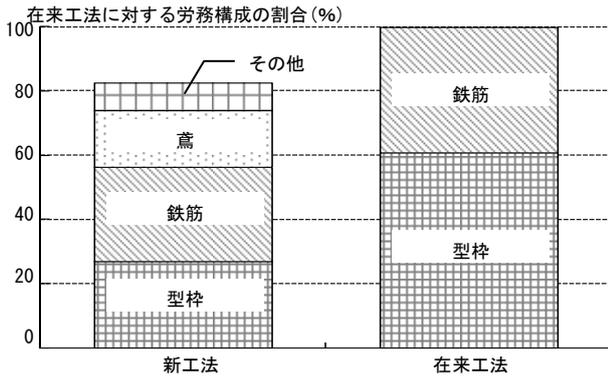


Fig. 6 労務構成の比較
Comparison of a composition of employees

生産性を比較した。生産性の指標として単位人工数当たりの施工量を用いた。

4.2.1 新工法と在来工法の労務構成 Fig. 6に新工法および在来工法の労務構成の比較を示す。新工法のうち、「その他」は、雑鍛冶工（鋼製段差型枠）・墨出し工（鳶工相番）・注入工（柱継手のモルタル注入）である。新工法は、型枠工、鉄筋工、鳶工の3職種を中心とした多職種による分業体制であり、労務不足が顕著な型枠工および鉄筋工の労務負担を軽減できた。また、PCa工法の採用により、型枠および鉄筋の現場での施工量が大幅に減少し、型枠工および鉄筋工の省力化効果が得られた。総人工数で比較した場合、新工法は、在来工法に比べ約20%の省力化効果を得た。

4.2.2 型枠工事 Fig. 7（左図）に新工法と在来工法の人工数の比較を示す。同図では、在来工法を100%とした。新工法は、PCa化された水平部（床および桁梁の底型枠）の型枠の建込み作業が軽減され、在来工法に比べて約50%の省力化となった。

Fig. 7（右図）に新工法と在来工法における作業員1人当たりの生産性の比較を示す。生産性は、施工量に型枠面積を用いて算定し、在来工法を100%とした。新工法と在来工法との生産性はほぼ同等であり、PCa部材の先行建方が型枠工事の生産性に与える影響は小さいと考えられる。

Fig. 9に新工法の部材別人工数の割合を示す。床および桁梁の底型枠がPCa化されたことで、壁梁および壁型枠の占める割合が相対的に増加し、約半数の人工数（在来工法では、約30%）が掛かった。

4.2.3 鉄筋工事 Fig. 8（左図）に新工法と在来工法の人工数の比較を示す。同図では、在来工法を100%とした。新工法は、桁梁のPCa化により、在来工法に対して約26%の省力化効果を得た。

Fig. 8（右図）に新工法と在来工法における作業員1人当たりの生産性の比較を示す。生産性は、施工量に鉄筋重量を用いて算定し、在来工法を100%とした。新工法との生産性は、在来工法に対して約17%低下したが、これは重量のある桁梁がPCa化されたことが要因である。

Fig. 9に新工法の部材別人工数の割合を示す。床配筋に

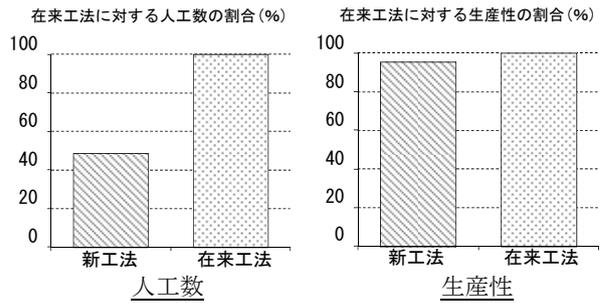


Fig. 7 人工数および生産性の比較 (型枠)
Comparison of An artificial number and productivity

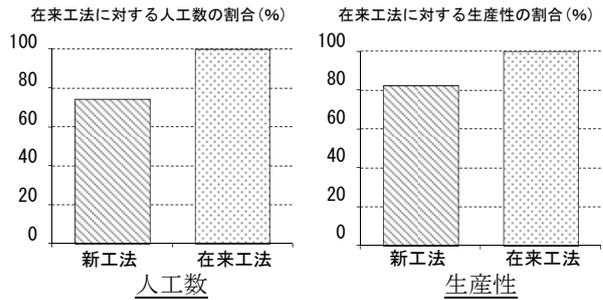


Fig. 8 人工数および生産性の比較 (鉄筋)
Comparison of An artificial number and productivity

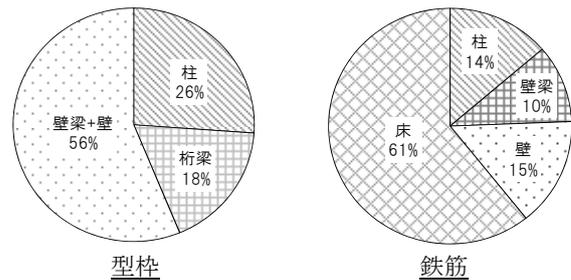


Fig. 9 新工法の部材別人工数の内訳
Items of an artificial number

要する人工数は、半数を超えているが、在来工法でも約50%とほぼ同等の割合であった。

5. おわりに

中高層RC造建物における短工期化や労務不足時の工期遵守の要望が高まり、短工期化・省力化施工技術の開発が求められている。そこで、PCa化率を抑制しつつ、短工期化・省力化が可能な新工法を開発し、10層の板状集合住宅に適用した。その結果、以下の知見を得た。

- 1) タクト工程を在来工法に対して約50%短工期化し、適用工事では、躯体工期を約2ヶ月短縮した
- 2) 総人工数は、在来工法に対して約20%省力化した
- 3) 型枠工および鉄筋工は、在来工法に対して、それぞれ約50%、26%省力化した

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説JASS10プレキャスト鉄筋コンクリート工事，(2013)