RC 造高層集合住宅における部位別 PC 化率と施工性
に関する研究RESEARCH ON THE ELEMENTAL RATIO OF PRECAST CONCRETE
COMPONENTS AND ITS CONSTRUCTIBILITY IN THE REINFORCED
CONCRETE HIGH-RISE HOUSING

茶谷正洋*, 八木幸二**, 姜 敬仁***, 樋口幸紀****

Masahiro CHATANI, Koji YAGI, Kyungin KANG and Yukinori HIGUCHI

In industrialization of reinforced concrete construction, precast concrete components has contributed to up-grade constructibility among other methods like pre-assembly of steel reinforcement and systematization of forms. This paper deals with the typical floor of reinforced concrete high-rise housing in 9 precast components such as internal, external, and corner columns; internal, external, and auxiliary beams; floor slab; balcony; and external wall. It considered the influence of the use of industrialised building components in the ratio of steel bars, forms, and concrete used, and the aspect of constructibility. It clarifies the advanced use of non-structural components more than structural members and the reduction of form works over reduction in concrete works.

Keywords : reinforced concrete high-rise housing, elemental ratio of precast concrete components, ratio of pre-assembly of steel reinforcement, ratio of up-grading constructibility, grading of constructibility

RC 高層集合住宅, PC 化率, 鉄筋先組率, 施工性の向上に対する寄与度, 施工の難易関係

1. 序

大都市の再開発が進行するとともに高層建築⁽¹⁾が急激に増加している昨今、図-1に示すように集合住宅においても高層化が進んでいる。その構造は、オフィスな

図-1 高層集合住宅評価取得件数の推移

どとの複合建築においてはS造も多いが振動や遮音性の問題から、住宅専用の場合にはRC造とSRC造が多い。中でもRC造では、高層化される過程で工業化工法の開発・採用が近年いっそう進展し、労働者不足への対応と工期の短縮が図られている。

本研究は、今後も増加すると考えられるRC造高層集合住宅を対象に、各部位における工業化の度合いを算定するとともに、工業化による施工性向上の評価を行い、近年の高層集合住宅における工業化工法の現状を分析し、施工性の一端を明らかにすることを目的とする。

2. 調査対象と研究の方法

昭和59年から平成元年の間に日本建築センターの高層建築構造評価を受けたRC造集合住宅22事例のうち、関東圏を主とする10事例について、施工法の資料、

* 東京工業大学工学部建築学科 教授・工博

** 東京工業大学工学部建築学科 助教授・工博

*** 東京工業大学 大学院生・工修

**** 三菱地所第一設計部・工修

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng. Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng. Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Graduate Student of Tokyo Institute of Technology M. Eng.

Mitsubishi Estate Co. Ltd. The First Architectural Dep., M. Eng.

施工図、構造図を1次資料とするとともに、現場責任者へのヒアリング調査を行った。

表—1 に示すようにすべての事例で、様々な部位（柱、梁、小梁、床、バルコニー、外壁）にプレキャスト・コンクリート（以下PC）部材を用いるとともに、鉄筋の先組^{注2)}を行っている事例が多い。そのために搬入されたPC部材を一時的に保管するストックヤードや鉄筋の組立・保管場所を現場敷地内に必要とするが、高層集合住宅の場合には建ぺい率と容積率の法的規制が空地を生み、ストックヤードの確保を容易にしている。

平面型は、規模が大きくなると中央部が空いた□形や隅を欠いた形がみられるもののほぼ正方形で、5m～6mグリッドに柱が規則的に配置され、階高も住居部分については2.8m～2.9mとほぼ一定であり、基準階における部位の1単位はほぼ同じである。その施工は、一般に一層を数工区に分割するサイクル工程で行われ、繰り返し作業による工程の円滑化を図っている。1サイクルは、鉄筋組立、鉄筋継手、PC材設置、型枠・支保工組立、コンクリート打設、および型枠解体という作業である。

本研究では、以上のように基礎条件がほぼ共通する基準階の部位を、内部柱、外周柱、隅柱、内部梁、外周梁、小梁、床、バルコニー、外壁の9種に、施工作業を、鉄筋作業、型枠作業、コンクリート作業の3種に大別して分析を進める。なお、PC部材を使うことにより型枠作業が無くなることから、型枠作業の中にPC部材の取付け作業を含めている。

まず、施工計画書、施工図、構造図より工業化の指標となるPC化率と鉄筋先組率の算出を行い、9部位別の工業化傾向を論じ、次に、3作業においてこれらの工業化が施工性向上にどの程度寄与したか調べるためのヒアリングを行い、寄与度を求めた。さらに、施工の難易関係が工業化によってどのように変化したかを調べるために、各部位の施工性を相対的に位置づけし、柱、梁、小梁、床、バルコニー、外壁の主要6部位について検討す

る。

3. PC化率と鉄筋先組率による部位別工業化の検討

RC集合住宅の工業化では、完成された部品やコンクリートの型枠としてPC部材が注目され、部位ごとに形状や施工法の異なるものが開発されている。現場、サイト、工場で行われている工業化を量的にとらえるためにPC部材を構成する鉄筋量(ℓ)、型枠量(m²)、コンクリート量(m³)に着目し、それぞれのPC化率を基準階における9部位ごとに求めた。

$$\text{鉄筋 PC 化率} = \frac{\text{PC に打ち込まれている鉄筋量}}{\text{全鉄筋量}} \times 100$$

$$\text{型枠 PC 化率} = \frac{\text{PC 型枠面積}}{\text{全型枠面積}} \times 100$$

$$\text{体積 PC 化率} = \frac{\text{PC 体積}}{\text{全コンクリート体積}} \times 100$$

また、鉄筋作業に関して工業化の一手法である鉄筋の先組に着目し、鉄筋先組率を下記のように求めた。

$$\text{鉄筋先組率} = \frac{\text{先組鉄筋量}}{\text{全鉄筋量}} \times 100$$

事例ごとに部位別に算出したPC化率および鉄筋先組率を表—2 に示す。

内部柱をPC部材としているのは2事例で、共にジョイント部分以外を残した1層分とし、事例7は柱梁一体のPC、事例10は柱だけの全PCで主筋を現場で通すオールシース柱である。事例5、7の外周柱および事例4、5、7の隅柱では足場がなくても作業できるように、薄肉PC版と呼ばれるⅡ形断面の半PC版を用いるため、鉄筋作業とコンクリート作業のPC化は少なくとも型枠のPC化率は高い。事例10では外周柱、隅柱も

表—2 PC化率および鉄筋先組率

鉄筋PC化率(%)	型枠PC化率(%)	
鉄筋先組率(%)	体積PC化率(%)	— : 該当部位なし

表—1 調査建物の概要

事例 番号	最高部 高さ (m)	階数	基準階 床面積 (㎡)	評定年月日	工場製作		サイト製作	
					P C 部 位		先組部位	
1	78.25	25	860.77	1984.12.17	バ 壁		柱 梁	
2	67.80	21	1137.14	1985.10.24	床 バ 壁		梁 小	
3	97.65	30	805.05	1985.12.23	バ 壁		柱 梁	
4	93.85	30	800.70	1986.4.21	柱 梁 小 バ 壁		床	
5	81.00	25	729.93	1986.2.24	柱 梁 床 バ 壁		柱	
6	103.10	33	827.44	1988.2.15	小 床 バ 壁		柱 梁	
7	118.80	37	956.40	1988.1.18	床 バ 壁		柱 梁 小	
8	79.90	25	1191.40	1988.4.11	柱 梁 小 バ 壁		床	
9	66.65	21	865.71	1988.9.5	小 床 バ 壁		柱 梁	
10	95.30	30	911.58	1989.3.27	柱 梁 床 バ 壁			

(但し、小：小梁、バ：バルコニー、壁：外壁)

No	内部柱	外周柱	隅柱	内部梁	外周梁	小梁	床	バルコニー	外壁
1	0/87	0/87	0/87	0/98	0/98	0/100	0/100	0/100	0/100
2	0/85	0/85	0/85	67/68	67/68	68/75	70/35	100/100	100/100
3	0/89	0/89	0/89	0/93	0/93	0/100	0/30	33/35	100/100
4	0/87	0/87	0/87	60/21	6/8	6/8	64/30	100/35	100/47
5	0/93	0/93	0/72	62/93	100/100	0/70	70/100	100/38	100/100
6	0/83	0/83	0/83	0/97	0/97	0/64	100/70	100/30	100/56
7	88/72	65/72	88/72	97/58	83/58	97/100	96/37	100/100	100/100
8	0/88	0/88	0/7	3/96	64/8	64/71	100/79	100/45	100/66
9	0/93	0/93	0/93	0/82	0/82	0/75	79/40	100/100	100/100
10	63/0	87/72	63/0	79/64	59/64	96/0	70/34	100/100	100/100

内部柱とはほぼ同じ全 PC 柱である。PC 化をしていない他の事例ではシステム型枠^{注3)}を使用し鉄筋の先組を行っている。以上、柱は柱梁一体 PC、全 PC、半 PC と、先組+システム型枠に分類できる。

ラーメンを構成する主要梁では事例 7 の柱梁一体型と事例 5 の全 PC 外周梁以外は半 PC で、鉄筋は下端主筋とスターラップ筋のみを打ち込んであり、コンクリートは床厚分を打ち残した形状である。したがって形枠の PC 化率が高く、コンクリートと鉄筋の PC 化は現場施工の部分がかかなりある（内部梁の事例 2, 5, 10, 外部梁の事例 2, 10）。PC 化をしていない事例ではシステム型枠を用いて鉄筋を先組している。以上、梁の工法は柱梁一体型、全 PC、半 PC と、先組+システム型枠に分類できる。

小梁は内部梁、外周梁と同じように、鉄筋は下端主筋とスターラップ筋を打ち込んであり、コンクリートは床厚分を残した形状をしている。小梁の場合主梁に載せるだけであり型枠作業を省略できる。

床はシステム型枠による鉄筋先組現場打ち（事例 1, 3）を除いてすべて薄肉の半 PC 版（事例 9 のみコッターありで他は無いタイプ）であり、型枠作業は完全に PC 化されている。すなわち、床はコッター有りの半 PC、コッター無しの半 PC と、先組+システム型枠に分類できる。

バルコニーは全 PC（事例 1, 2, 7, 9, 10）、半 PC（事例 4, 5, 6, 8）、鼻先 PC（事例 3）の 3 種類に分類でき、半 PC はフラット部分を薄肉 PC 版、鼻先 PC は先端部を PC にしている。

外壁に関しては一部で ALC 版を用いている（事例 3, 6）が他は全 PC 版で、足場を無くし安全作業を確保するとともに仕上がり精度をよくしている。

以上のうち主要 PC 部材の形状と PC 化率の特徴を図-2 のようにまとめることができる。

また、部位ごとに 10 事例の PC 化率の平均値を見ると、図-3 に示すように外壁、バルコニー、小梁などの非構造体ほど PC 部材を用いる傾向が大きく、内部柱、内部梁などの主構造体にはあまり用いられていない傾向がある。また、各部位に共通して型枠 PC 化率が鉄筋 PC 化率および体積 PC 化率より高い値を示し、これは、型枠作業の量的軽減を意味する。

PC 化率とともに、鉄筋作業に関しては先組率を求め、両者の占める割合を部位ごとにみると、図-4 に示すように鉄筋の PC 化率が低い部位ほど先組率が高くなり、両者は相互補完の関係にある。PC 化率と先組率を合わせて考えると、鉄筋のプレハブ化率は全部位で高い割合を示している。すなわち鉄筋作業においては、PC 化と先組化の組み合わせによって施工の合理化を図っていると考えられる。

図-2 PC 形状と PC 化率

図-3 部位別平均 PC 化率

図-4 部位別平均鉄筋プレハブ化率

4. 施工性の向上に対する工業化の寄与度

高層集合住宅計画においては、PC 部材の採用や鉄筋先組などを含む工法計画、施工計画において、設計の初期段階から施工側の意見が反映されることが多い。その際、比較の基準となるのは経験済みの工法における施工性であり、RC 造の場合には、合板型枠、鉄筋現場組立の在来工法が共通の認識としてある。PC 化、鉄筋先組化による工業化工法が現場での施工性の向上にどの程度の効果を発揮しているか調べるために、在来工法と比較するという視点に立って面接ヒアリングを行った。

現場関係者が感じている施工性の難易度を引き出した

図—5 各部位の平均寄与度

めに、現場作業の全体を把握するとともに細部まで熟知していると考えられる現場責任者^(註4) 16名を対象とし、エキスパート・ジャッジメントを得た。指標は、在来工法に対して工業化が施工性向上に貢献したと感ずる度合いとし、在来工法と同じを0とする-4から+4までの尺度で、部位（内部柱、外周柱、隅柱、内部梁、外周梁、小梁、床、バルコニー、外壁）ごと、3作業（鉄筋、型枠、コンクリート）についての評価を得た。

これを工業化の寄与度とし、図—5に各部位の平均寄与度を示す。全部位において鉄筋作業と型枠作業の寄与度が高く、コンクリート作業の寄与度は低い。その差を各部位についてみると、柱と梁において大きい。小梁、バルコニー、外壁では小さく、とくに外壁ではほとんど差がないといえる。また床では各作業の寄与度の違いがはっきりしており、コンクリート作業、鉄筋作業、型枠作業の順に高くなっている。

次に、作業別に部位間の違いをみる。鉄筋作業に関しては小梁、バルコニー、外壁がやや高く床はやや低い値となっている。型枠作業も鉄筋作業とほぼ同じ傾向を示すが、床の寄与度が高い点が異なる。また、内部柱や内部梁に比べて外周柱、隅柱、外周梁の寄与度がわずかに高いのは、PC化によって外周面での外足場を不要にした結果である。コンクリート作業では部位間に顕著な差があり、柱の寄与度が特に低い。また、寄与度が高いのは外壁、バルコニー、小梁の順で、梁、床はほぼ同じ値である。

これらの結果をまとめると、鉄筋作業と型枠作業については各部位とも寄与度が高く、コンクリート作業では寄与度の向上がみられるものの他作業ほど顕著でないから、各部位ともに型枠作業および鉄筋組立作業に工業化の重点を置き、コンクリート作業はそれらに付随するものであると考えられる。

5. 寄与度とPC化率との関係

工業化の物理量としての指標であるPC化率と心理的評価である寄与度がどのような関係にあるかを図—6に示す。

図—6 寄与度と平均PC化率の関係

コンクリート作業についてみると、各部位における工業化の寄与度がPC化率とほぼ比例関係にあることから、コンクリート作業の工業化はPC化が主であると言える。

型枠作業については、PC化率の低い部位でも寄与度が比較的高く、PC化のみに依存せず施工性の向上を図っていることを示している。

鉄筋作業についても、床を除けば型枠作業と同様の傾向を示しており、PC化以外の工業化も図られていると考えられる。これは図—4に示したようにPC化率の低い部位では先組が行われているので、PC化と先組化を合わせたプレファブ化が施工性の向上に寄与しているものと考えられる。そして、PC化率の高い部位の方が寄与度も徐々に高くなっていることから、先組よりもPC化の方が施工性に対する評価が高いと考えられる。PC化がよく行われている床の寄与度が他の部位に比べて低いのは、在来工法における床の鉄筋作業がもともと容易であったからと考えられる。

次に図—7(1)から図—7(4)によって、主要部位におけるPC部材の形状と工法、作業別のPC化率、施工性への寄与度を検討する。

内部柱において、柱梁一体PCは図—7(1)に示すように鉄筋、型枠、コンクリートの3作業とも高い寄与度を得ている。これはサイトで行うPC作業において足場の良さが作業性の向上に貢献しているからと考えられる。半PCと先組+システム型枠ではコンクリート作業の寄与度は低い鉄筋作業、型枠作業については高く、PC部材の型枠の利用と鉄筋のプレファブ化(PC化+先組化)の効果と言える。

内部梁において、柱梁一体PCと半PCは図—7(2)に示すように3作業とも高い寄与度であるが、鉄筋作業とコンクリート作業がやや低い。これは上端主筋組立作業とジョイント部における型枠作業があるためである。先組+システム型枠では鉄筋作業および型枠作業の寄与度は高いがコンクリート作業は在来と変わらない。在来工法の場合梁の鉄筋作業は難しい部位であり、PC化や先組化による作業の簡略化と足場の省略が施工性の評価

図-7(1) 各部位における寄与度とPC化率の関係(内部柱)

図-7(2) 各部位における寄与度とPC化率の関係(内部梁)

図-7(3) 各部位における寄与度とPC化率の関係(床)

図-7(4) 各部位における寄与度とPC化率の関係(バルコニー)

に貢献していると考えられる。

床およびバルコニーにおいては、図-7(3)、図-7(4)に示すように、いずれの工法においても型枠作業の寄与度が高いのは、PC化することによって型枠および支保工組立作業が省略できるからである。

6. 施工の難易関係からみたPC化率と寄与度

施工の難易について各部位間の相対的な関係を検討するために寄与度の時と同じ16名の現場責任者に対し、一対比較法により部位相互に難易の比較評価を求めた。

部位は柱、梁、小梁、床、バルコニー、外壁の主要6部位とし、1. 実施された工業化工法の場合、2. それを在来工法で施工したと仮定した場合、の2とおりについて、それぞれの3作業において部位相互の総当たり一対比較で難易の評価を得、その結果を中心を難、外側を易とするスターグラフ(図-8)に示す。これは在来工法および工業化工法のそれぞれ独立した範疇での相対比較であり、全体の傾向として在来工法では3作業の難易にばらつきがみられ、工業化工法においてはバランスがとれている。すなわち、工業化工法を導入することによって3作業がバランスよく合理化されていることを示している。

部位別にみると、柱の場合は在来で比較的易しかったものが工業化で相対的に難しい部位となっているのは、工業化のし難い、もしくは遅れている部位であることを示し、梁のコンクリート打設作業でも似た傾向がある。床については、在来では各作業ともあまり変わらない評価を受けているが、工業化工法では型枠作業が特に易しく、型枠作業軽減のために工業化が図られていることを示している。外壁の鉄筋作業は曲げが少なくもともと容易な部分であるが、型枠組立作業は開口部において複雑で、さらに現場でのコンクリート作業は開口部周りの充填が困難であるため、品質管理のし易いPC化が進んでいると考えられる。

図-8 部位別作業間の相関図

図-9では横軸に工業化工法の部位別難易関係、縦軸にPC化率（鉄筋組立作業に限り先組率も示す）と寄与度を示し各作業について検討する。

鉄筋作業（図-9(1)）については、作業の易しい部位でPC化率も寄与度も高くなり先組率は低くなるが、逆に作業の難しい部位では先組率が高くなる傾向が見られる。一方、PC化率、寄与度の低い柱の方が梁より作業の易しい部位となっているのは、在来工法での梁の作業が非常に難しいことに起因していると考えられる。一般的には、積極的にPC化している部位で作業が易し

図-9(1) 施工難易関係からみたPC化率と寄与度(鉄筋作業)

図-9(2) 施工難易関係からみたPC化率と寄与度(型枠作業)

図-9(3) 施工難易関係からみたPC化率と寄与度(コンクリート作業)

いことから、先組よりもPC化の方が作業性により貢献していると考えられる。

型枠作業（図-9(2)）については、作業の難易関係より梁・柱とバルコニー・小梁・外壁・床の2グループに分けられ、前者はPC化率の低い部位、後者は高い部位である。梁・柱の場合PC化率が低くてもシステム型枠を使用することにより作業量の軽減をおこない工業化による寄与度を高めている。バルコニー、小梁、外壁、床はPC化を進めることによって施工性をよくし寄与度が高くなっている。すなわち、両グループとも工業化の寄与度は高いが、構造的な部位としての柱と梁の施工性は相対的に難しい。柱と床のPC化率および寄与度が低いにもかかわらず共に難易関係が逆転しているのは、在来工法においても易しい作業であったことがその理由であると考えられる。

コンクリート作業（図-9(3)）については、外壁のPC化率が100%と特に高く、次に小梁、バルコニー、床の順で、梁、柱のPC化率は低い。コンクリート作業においてはPC部材を用いることが工業化そのものであり、この順位はPC化率にはほぼ一致している。柱、梁に関してはPC部材の使用頻度が低く、コンクリート作業の工業化という点では遅れていると言える。

以上の工業化の各作業を通じて、床については、その難易関係にかかわらずその寄与度が相対的に低いことが床の特異性といえる。これは在来工法でも比較的易しい作業であったにもかかわらず、遮音性を加味した薄肉PC板という工業化工法を用いることによって、他部位の工業化の発展を促す役割（足場、仮設を兼ねる）を担っているものと考えられる。

7. 結論

以上、RC造高層集合住宅における工業化の指標として部位別PC化率と鉄筋先組率を算定し、工業化が施工性の向上に与えた寄与度と施工の難易関係を検討した結果、以下の点が明らかになった。

- 1) PC部材を用いた各部位に共通しているのは、型枠PC化率が鉄筋PC化率および体積PC化率に比べ高い値を示している点であり、PC部材を用いた工法が型枠の工業化に大きく貢献していることが分かる。工業化による施工性の向上に与える寄与度においても型枠作業がどの部位においても高く、PC化が型枠作業の量的削減と質的軽減をもたらしていると言える。
- 2) PC部材を用いた部位では鉄筋作業も型枠作業と似た傾向を示しているが、鉄筋作業の寄与度が型枠作業の寄与度より低い。これはPC部材が型枠作業の削減に貢献しても、一部の鉄筋の現場作業は残るため、PC部材使用時の鉄筋作業の軽減をすべきか否か、さらに考慮する必要があると思われる。

3) PC 部材を用いていない部位は、型枠についてはシステム型枠化が、鉄筋については先組化が行われ、PC 化を補完する形での工業化によって施工性の向上を図っている。

4) コンクリート作業の寄与度は体積 PC 化率とほぼ比例関係にあることがわかる。一方、PC 化は型枠作業に対する工業化が中心であるため、PC 部材を多く用いることは、コンクリート作業自体の軽減よりも、型枠作業の省略に多く寄与している。それは、労働者不足、とりわけ型枠工の不足を補完しようとする方向と合致するものである。

5) 各部位における施工の難易関係とその部位の PC 化率と鉄筋先組率を含めた総合的な工業化の傾向からみると、在来工法の施工の難しい構造的部位よりも工業化の行いやすい非構造的部位を優先的に工業化し、施工性の向上に対する効果を得ようという傾向にある。

注

- 1) 本論で扱う高層建築とは高さ 60 m を越える建物、すなわち建設大臣の認定が要する建物を称する。
- 2) 先組には工場で行う工場プレファブと、現場で行う地組の 2 種がある。
- 3) システム型枠には柱のパネル型枠、梁床一体の大型型枠と呼ばれるものを含む。
- 4) 現場責任者は、構造躯体を担当した工事係長クラスで 1 事例 1～3 名。

参考文献

- 1) 日本建築センター：ビルディングレター，増刊号，1990 年 10 月
- 2) 日本建築学会編：プレキャスト鉄筋コンクリート構造の設計と施工，日本建築学会，pp. 59～158，1986. 10
- 3) 松本信二ほか：建築施工の作業計画法に関する研究，日本建築学会計画系論文報告集，第 380 号，pp. 112～118，1987 年 10 月
- 4) 神吉則夫ほか：プレハブ化工法を用いた RC 造超高層集合住宅の施工—西戸山タワーガーデン—，施工，彰国社，pp. 41～53，1988 年 6 月
- 5) 田村直久ほか：高層 RC 造における型枠工事の生産性分析，第 5 回建築生産と管理技術シンポジウム，日本建築学会建築経済委員会，pp. 159～162，1989 年 7 月
- 6) 岩下 智ほか：超高層集合住宅における生産管理に関する研究（その 4）—工数低減とサイクル工程の変更—，第 5 回建築生産と管理技術シンポジウム，日本建築学会建築経済委員会，pp. 163～168，1989 年 7 月
- 7) 高田博尾ほか：大型ハーフ PC 板の生産計画に関する研究—大型ハーフ PC 合成板工法に関する研究—，日本建築学会構造系論文報告集，第 402 号，pp. 1～9，1989 年 8 月
- 8) 古阪秀三ほか：サイト工場における PCa 板の生産—設計施工競技による団地建設に関する研究（3）—日本建築学会大会学術講演梗概集，8051，pp. 1921～1922，1978 年 9 月
- 9) 田中良久：心理学研究法，第 16 巻，尺度構成，東京大学出版会，pp. 89～114，1973 年

(1992 年 7 月 28 日原稿受理，1992 年 12 月 3 日採用決定)