



—学位論文—

鉄筋コンクリート造集合住宅の工業化生産論

1993年12月

呉 東 航

—学位論文—

鉄筋コンクリート造集合住宅の工業化生産論

1993年12月

呉 東 航

目 次

| | |
|-------------------------|----|
| 第1章 序論 | 1 |
| 第1節 R C系建築の工業化過程と傾向 | 2 |
| 1. 工業化の歴史 | 2 |
| 2. 工業化の傾向 | 6 |
| 第2節 工業化への認識 | 12 |
| 1. R C造住宅の工業化生産 | 12 |
| 2. 工業化の将来性と課題 | 13 |
| 3. 概念の整理 | 15 |
| 第3節 研究要約 | 18 |
| 1. 研究目的と対象 | 18 |
| 2. 研究方法 | 19 |
| 3. 論文構成 | 20 |
| 第4節 関連研究 | 22 |
| 第2章 P C a住宅とその設計・生産システム | 23 |
| 第1節 P C a住宅 | 24 |
| 1. P C a住宅 | 24 |
| 2. 工法概要 | 25 |
| 3. 生産状況 | 28 |
| 第2節 システム工法としての変遷 | 31 |
| 第3節 P C a住宅の作り手 | 34 |
| 第4節 設計・生産プロセス | 36 |
| 1. 調査概要 | 36 |
| 2. 設計・生産プロセス | 38 |
| 第5節 住宅の多様化への対応策 | 40 |
| 第6節 まとめ | 43 |
| 第3章 P C a住宅の設計 | 45 |
| 第1節 設計方法 | 46 |
| 1. 構法基準 | 46 |
| 2. 設計方法の分類 | 48 |
| 3. C A D技術の運用 | 52 |
| 第2節 設計業務の展開 | 54 |
| 1. 規格設計と自由設計の運用 | 54 |
| 2. 設計業務の展開 | 56 |
| 3. P C a住宅「商品」の整備 | 58 |

| | | |
|-----|-------------------|-----|
| 第3節 | P C a 住宅「商品」の表選 | 60 |
| 1. | 時系列から見た「商品」の分布 | 60 |
| 2. | 住戸プランの特性と変化 | 64 |
| 第4節 | 規格型とF P 型における建設事例 | 67 |
| 第5節 | まとめ | 71 |
| 第4章 | 部材論 | 73 |
| 第1節 | 概要 | 74 |
| 1. | 部材論の課題と分析方法 | 74 |
| 2. | 研究事例 | 75 |
| 3. | 記号の定義 | 85 |
| 第2節 | P C a 板部材の分割と枚数 | 86 |
| 1. | P C a 板部材の分割 | 86 |
| 2. | P C a 板の枚数 | 87 |
| 3. | 統計分析結果 | 88 |
| 第3節 | P C a 板の板種の把握 | 90 |
| 1. | 板種の区分 | 90 |
| 2. | 板種の把握方法 | 91 |
| 3. | 統計分析結果 | 92 |
| 第4節 | 枚数と板種の分布 | 95 |
| 1. | 分布把握の必要性 | 95 |
| 2. | 分布のモデル化方法 | 95 |
| 3. | 分布特性の考察 | 106 |
| 4. | 分布半径の計算 | 108 |
| 第5節 | まとめ | 113 |
| 第5章 | P C a 板の工場生産 | 115 |
| 第1節 | P C a 板の工場生産概要 | 116 |
| 1. | 生産方式 | 116 |
| 2. | 生産工程と要素 | 117 |
| 3. | 生産特性 | 119 |
| 第2節 | 工場調査 | 121 |
| 1. | 調査対象概要 | 121 |
| 2. | 生産の展開 | 122 |
| 3. | 生産タイプの分類 | 125 |
| 第3節 | 生産計画 | 126 |
| 1. | 生産単位 | 126 |
| 2. | 生産計画 | 127 |
| 第4節 | まとめ | 130 |

| | | |
|---------|----------------|-----|
| 第6章 | 型枠セット工事の生産性 | 131 |
| 第1節 | 型枠セット工事と生産性評価 | 132 |
| 1. | 型枠セット工事 | 132 |
| 2. | 型枠セット工事の生産性評価 | 133 |
| 第2節 | 型枠の構成と物的生産性 | 135 |
| 第3節 | 型枠のセットと転用 | 137 |
| 1. | 型枠のセットと運用方式 | 137 |
| 2. | 型枠の転用の計画方法 | 144 |
| 第3節 | 工数分析 | 146 |
| 1. | 調査概要と分析要約 | 146 |
| 2. | 工事別型枠数と工数の集計 | 146 |
| 3. | セットの頻度と工数の分布 | 152 |
| 4. | 枚数、型枠数、ベッド数の分布 | 156 |
| 第5節 | まとめ | 159 |
| 第7章 | 型枠セット工事生産性モデル | 161 |
| 第1節 | モデル化の意義と方法 | 162 |
| 1. | モデル化の意義 | 162 |
| 2. | モデル化方法 | 162 |
| 第2節 | 型枠セット工事生産性モデル | 165 |
| 1. | モデルの導き | 165 |
| 2. | 生産性変化への考察 | 166 |
| 第3節 | 適用性の考察 | 169 |
| 第4節 | まとめ | 171 |
| 第8章 | 結論 | 173 |
| 1. | 研究成果の総括 | 174 |
| 2. | システム構築へ向かって | 177 |
| 3. | 今後の課題 | 179 |
| 関連文献 | | 181 |
| 引用・参考文献 | | 183 |
| 謝辞 | | 185 |

第1章 序論

第1節 RC系建築の工業化過程と傾向

1. 工業化の歴史
2. 工業化の傾向

第2節 工業化への認識

1. RC造住宅の工業化生産
2. 工業化の将来性と課題
3. 概念の整理

第3節 研究要約

1. 研究目的と対象
2. 研究方法
3. 論文構成

第4節 関連研究

第1節 RC系建築の工業化過程と傾向

1. 工業化の歴史

RC系^{*)}建築の工業化生産は新しい課題ではない。

石、セメント、鉄筋、木材などの素材を建築現場に搬入し、そこで加工したり、成形したりして、建築物が塵埃、騒音と汚水が混じる中にゆっくりと昇っていくことは、もはや記憶中の風景になってきている。少なくとも現在の日本では、RC系の建築工事に、石、木材などの素材の代わりに、レデーミクスコンクリートやPCa^{**}部材などの工業化生産された製品あるいは半製品が使われ、施工効率、建築工期、環境への影響なども著しく改善されている。これは、長期にわたる建築生産の工業化への努力による役割が大きいかと思えよう。

建築生産の工業化の必要性については、建築生産の特殊性と工業化生産の特性から考察する必要がある。

まず、建築生産の特殊性については、以下のようにいわれている。

(参考文獻 2-29 P9)

- ① 建築物は個性が強く多様である。受注生産の場合が多い。
- ② 土地に固着性が強く、生産場所が常に移動する。需要時期も断続的である。
- ③ 生産環境については、天気、地形、道路条件などの外的環境の影響を受けやすい。
- ④ 生産対象が大きく、かつ地上から順に生産するために、生産時間が長期間にわたる。
- ⑤ 生産方式は、他の企業が生産した資材を2次加工したり、組立したりする方式である。
- ⑥ 資材や労働力などの生産資源の必要量が大きい。

同時に、他の産業に比べて労働生産性が低いことや、労働力の不足及び労働者の高齢化などの現状と問題点も指摘されている。こういう特殊性と問題点をもつ建築生産に対して、近代の工業化生産技術を適用し、生産環境の改善及び生産性の向上を図って努力されつつあるのが現状である。

次に工業化生産に関連する概念を取り上げると、以下のものがあげられる。

工業(industry)——原料や粗製品を加工して有用なものとする産業。

産業(industry)——生産を営む仕事、すなわち自然物に人力を加えて、その使用価値を創造し、また、これを増大するため、その形態を変更し、もしくはこれを移転する経済的行為。農業・牧畜業・林業・水産業・鉱業・工業・商業及び貿易など。

^{*)} RC系とは、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造などの主体構造がコンクリートを主要材料とする建築物を主として、その他の構造のコンクリートを主要材料とする部分も含めるものとする。

^{**} PCaとは、プレキャストコンクリートを指すものとする。一般に、PCと呼ばれる場合も多いが、プレストレストコンクリートを区別するために、aを入れたわけである。従って、従来のPC部材、PC工法なども、本論ではすべてPCa部材、PCa工法という表現になる。

産業革命(industrial revolution)——産業の技術的基礎が一変し、小さな手作業的な作業場に代わって、機械設備による大工場が成立し、これとともに社会構造が根本的に変化する。産業革命を経て初めて近代資本主義経済が確立。1780年代のイギリスに始まり、1830年代以降、欧州諸国に波及した。

——「広辞苑 第3版」(岩波書店)

従って、工業化生産については、産業革命から生まれた機械設備による工場生産の方式と理解すべきである。この建築生産への適用について、最も著名な定義としては国連ヨーロッパ経済委員会によるものがある。

- 1、生産の連続性(Continuity)
- 2、生産物の標準化(Standardization)
- 3、生産プロセスの建設階の統合(Integration)
- 4、工事の高度の組織化(Organization)
- 5、手労働の可能な限りの機械への代置(mechanization)
- 6、生産活動と一体となった組織的研究と実験(Research & Development)

これによると、建築生産の工業化は工場生産に限られていない。但し、これらを実現するためには、工場生産が最も有効な手段であると考えられる。従って、本研究においては、在来の建築生産か、工業化生産かを判断する際、工場生産を1つの要素として扱う。

ここで、RC系建築生産の工業化過程について、数十年分の「建築技術」や「建築の技術 施工」などの雑誌及び他の文獻から、工法の名称、概要、開発時期などを調査した。図1-1-1では、開発時期に主要な工法を並べ、さらに工法の適用対象を建築物(躯体)の全体、部位、材料の半製品あるいは施工用道具などのように分類し、これらをプロットした。

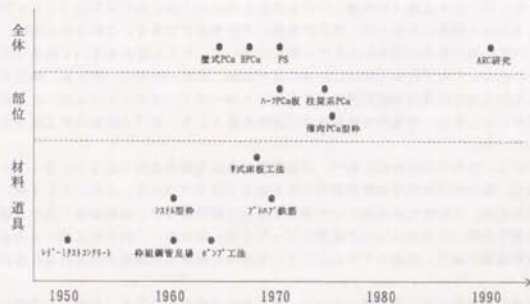


図1-1-1 工業化の分類

建築生産における工業化は、まず建築施工用の材料・道具の生産から始まったといえる。例えば、もともとそれぞれの現場で生産されるコンクリートをまとめて工場で生産し、現場に供給するなどが、これにあたる。さらに、その運輸過程にコンクリートポンプなどを用いて、効率と品質保証を向上することも図っている。現場施工の大きな部分を占めている型枠工事、鉄筋工事、足場工事などにおいても、系列化した製品あるいは半製品として工場で生産されるものがある。これらを用いた現場では、ある程度の省力化や品質向上などが実現できる。また、材料・道具のレベルには、工業化生産の標準化あるいは系列化の要求の実現が比較的容易であるので、工場での生産効率の向上を図りやすい。さらに、生産技術としては、ほとんどの建築物にも適用できるような製品あるいは半製品が作られており、普及性とオープン性を持っているといえる。従って、これらの多くは、今の建築生産の一般技術として定着してきている。但し、現場に多くの組立作業やコンクリート打設などが残されているので、建築物の最終形態における工業化の完成度はまだ低いといえる。ここでは、RC系建築におけるこれらの技術を「非P C a系」工業化生産技術という。

現場での作業をできるだけ低減し、建築物の全体あるいは部位に対して完成度の高い製品を工場で生産することは、工業化生産の効果を上昇する目標である。RC系建築においては、建築物の全体あるいは部位をP C a部材に分割して工場で生産すること、いわゆる「P C a系」工業化生産技術が開発され、今まで広く採用されている。その基本思想は、建築物を部品化し、工場での生産と現場での組立によって、在来の現場打設工法を一統した建築の工業化生産システムを狙うことにある。具体的に言えば、工期の短縮、コストダウン、労働環境の改善などを実現できるようにするため、現場での生産活動を合理化することである。現在では、労務費の高騰、環境の重視などの背景の下で、ますます注目されている工業化生産技術であるといえる。

「P C a系」工業化生産技術が最初に実用化された例としては、昭和30年代に建設省や日本住宅公団（現：住宅・都市整備公団）などの公的機関の主導によって開発した壁式P C a工法（P C工法といわれる場合もある）がある。その後、公的機関や民間建設業者などによって、H P C a工法（H型鋼とP C a部材を用いた工法）やP S工法（P C a部材とプレストレスト構造による工法）などが相次いで開発されてきた。これらの工法は、建築物のすべての部位あるいはかなり多くの部位に対して、P C a部材を用いて構築するものである。また、それぞれの工法は、独自の適用対象、設計・生産の一括技術、標準ディテール、生産方式及び専門生産業者などをもち、クローズドシステムとなっている。例えば、壁式P C a工法は、中層集合住宅を主な適用対象として、専門生産業者が工場を有して生産している。

しかしながら、住宅不足の時代と比べ、社会需要は量より質を重視するようになってきている。また、散在的で多様な民間需要の比率が大きくなりつつある。これに対して壁式P C a工法などは、工業化生産技術として成熟するほど標準化などの制約が多くなり、適用対象の拡張や多様化への対応などが困難になってくる。結局は、これらの工法による生産量は一時期急激に減り、生産システムとしての対応性と柔軟性の課題が残されることになった。

一方、熟練工不足などの労働事情によって、非住宅の分野においても、在来工法の中に工業化生産技術を次々に取り入れる傾向がある。特に、最近の超高層建築などの建設規模

が比較的大きい工事で、施工運行上の固有の制約条件及び建築業者の保有技術や施設などを考慮しながら部位別にP C a化するような、工業化生産技術と在来工法との有機的組み合わせによる、いわゆる複合化工法が目立っている。壁式P C a工法などに比べるとこのような複合化工法には、P C a部材の採用が一括技術でない部位あるいは部分的な工法になり、選択の自由度及び多様化への対応性が高まっている。この場合、最も代表的なのは、ハーフP C a板の生産と応用である。これらの建築物全体におけるP C a化率あるいは工場生産率は、壁式P C a工法などより低い場合が多いが、P C a部材と現場打設部分との接合が単純で、製品自身がクローズドでありながら、技術そのものは誰でも使えるようなオープン性を持っている。しかし、実行上では、施工者の経験及び判断基準の選定などによって、適用部位や生産方式などがかなり異なる場合が多い。また、規模の小さい工事には、品種あたり生産量の少ないP C a部材の生産コストが割高になりやすいため、適用しにくい。従って、工法として評価されにくく、適用対象も限られている。つまり、建築生産の一般技術とはいえない。

何れにしろ、これらの工業化生産技術は、それぞれの適用対象における長所をもち、将来においても、建築技術の1つの選択肢として採用され続けると考えられる。但し、多様化する社会需要への対応は共通の課題であり、技術としての柔軟な対応性を向上することが不可欠であるといえる。

2. 工業化の傾向

工業化の課題はまだ歴史として語られるほどの過去にはなっていない。

道具・材料に対する工業化生産の成果が一般化された一方で、P C a 部材を用いる工法の問題点及びこれからのあり方については、R C 系建築の工業化に関する論議に最も重要な話題になっている。ここでは、建設者主権により、平成3年度に実施された「中高層ハウジング提案募集」の入選案を用いて、P C a 部材を用いる工法への認識及び採用傾向を分析する。

「中高層ハウジング提案募集」は建設者により、深刻化する技能労働者の不足とこれに伴う建設コストの上昇や工期遅延に対処するとともに、高度化・多様化する消費者のニーズ及び新たな時代の要請に対応できる中高層住宅の生産供給システムの総合的な開発を行うことを目的として、実施されたものである（参考文献1-21）。

入選案は大手・中堅の建設会社、中高層住宅の販売に実績のある企業、プレハブ住宅メーカー、地方の建設会社などの全部で21の会社あるいはグループによるものがある。ここではそれらの会社あるいはグループ名を省略し、提案1～提案21の形で表すことにする。また、例として取り上げている図表はすべて提案内容から引用したものである。（参考文献1-21、2-19）

分析1

各提案の構造部位におけるP C a 部材の採用については、表1-1-1のようにまとめると、3つのタイプに分けることができる。

タイプ1：提案2、提案6、提案8などから、接合方法などの改良や開発に伴い、すべての構造部位にフルP C a 部材を採用し、物的工業化生産程度を高める傾向が見られる。但し、これらの提案は工業化工法と強調しながらも、前述した壁式P C a 工法やP S 工法などのような住宅空間あるいは部材の標準化について言及しておらず、あくまでプロジェクトごとの展開と思われる。図1-1-2はこのタイプに属する提案6の例である。

タイプ2：各部位にハーフP C a 部材を中心として展開する工法である。できるだけ多くの部位をP C a 化、あるいは部位ごとのP C a 化率を高めるなどの傾向が見られるが、現在の複合工法と同じく、まず部位別の工法選択自由度を強調している。図1-1-3に提案10の例を示している。

タイプ3：主体構造がR C 系か、鉄骨系かを問わず、床やバルコニーなどのある一部にハーフP C a 部材あるいはフルP C a 部材を使い、足場や型枠などを省略化するケースである。この場合、P C a 部材は建築の1部品として使われ、必ずしも全体工法あるいは部位工法としてシステム化されたものではないと考えられる。提案16のバルコニーへのハーフP C a 板の使用を例として図1-1-4にとりあげている。

表1-1-1 構造部位からみたP C a 部材の採用

| | 階数 | 構造・骨組形式 | 柱 | 梁 | スラブ | 壁 | バルコニー | その他 |
|------|----|-------------|------------------|------------------|-------------------|---------------|----------|----------|
| 提案1 | 16 | SC造ラーメン | 鋼管コソ | SRC | ハーフP C a | ハーフP C a | P C a | P C a 階段 |
| | | RC造壁付ラーメン | 薄肉P C a | 薄肉P C a | | | | |
| 提案2 | 15 | RC造ラーメン | P C a | P C a | P C a | | P C a | P C a |
| | | RC造壁式ラーメン | | | 逆ハーフP C a | P C a | | |
| 提案3 | 7 | SC造ラーメン | 鋼管コソ | 鋼管コソ | トラス鉄筋 テーパープレート | 軽量FSC 板 | P C a | |
| 提案4 | 18 | SC造ラーメン | 鋼管コソ | 鋼管コソ | テーパープレート | | | |
| 提案5 | 16 | RC造壁付ラーメン | 小型P C a ユニット | 小型P C a ユニット | レイトラス テーパープレート | 外壁ハーフ | | 先組階段 |
| 提案6 | 5 | RC造ラーメン | P C a | P C a 逆梁 | P C a | P C a | P C a | P C a 階段 |
| 提案7 | 18 | 7レベルRC造ラーメン | P C a | P C a | ハーフP C a | ハーフ | ハーフP C a | |
| 提案8 | 15 | RC造ラーメン | P C a | P C a | テーパープレート | P C a | | |
| 提案9 | 8 | SCx-ハーフレベル | 鋼管コソ | SRC | 中型P C a 逆梁 | ハーフ | | |
| 提案10 | 15 | SC造ラーメン | 鋼管コソ | ハーフP C a | ハーフP C a | P C a | P C a | P C a |
| | | RC造ラーメン | P C a | | | | | |
| 提案11 | 13 | RC造ラーメン | 薄肉P C a | 薄肉P C a | ハーフP C a | P C a | ハーフP C a | P C a 階段 |
| 提案12 | 15 | | | | | | | |
| 提案13 | 15 | SRC造ラーメン | 鉄骨・鉄筋・型枠 ユニット | 鉄骨・鉄筋・型枠 ユニット | 鉄筋・型枠 ユニット | 鉄筋・型枠 ユニット | | |
| 提案14 | 7 | RC壁式構造 | | | ハーフP C a | P C a | ハーフP C a | |
| 提案15 | 4 | RC造ラーメン | P C a | ハーフP C a | ハーフP C a | | | P C a |
| 提案16 | 5 | S造 | | | 穴あきP C a 板 | 軽量P C a | ハーフP C a | |
| 提案17 | 6 | S造 | | | | 外壁P C a | | |
| 提案18 | 7 | S造 | 鋼管コソ | | テーパープレート | | ハーフP C a | |
| 提案19 | 5 | S造 | | | PSC板 | 軽量PSC | | |
| 提案20 | 3 | S造 | | | ALC | | | |
| 提案21 | 15 | S造 | | | | | | |

* フルP C a
 ハーフP C a

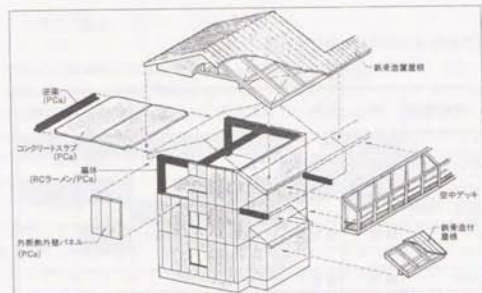


図1-1-2 提案6から

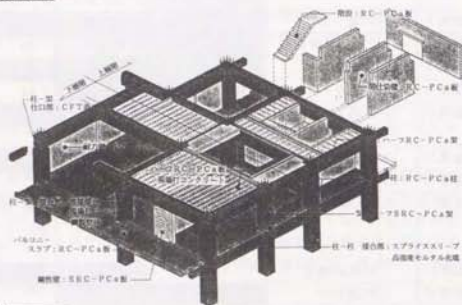


図1-1-3 提案10から

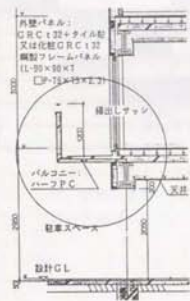


図1-1-4 提案16から

分析2

全く新しい、あるいは今まで使用例をあまり見ないPCa部材の断面形式と接合形式も提案されている。

その1：逆梁、逆リブ付きスラブなどの断面をもつフルPCa部材の使用が提案されている。これらのフルPCa部材の接合については、図1-1-5のような機械的なドライジョイント方式が提案6と提案8にみられた。

その2：図1-1-6のようなスリーブ及びカブラー継手により接合するプレートRC構造のPCa部材が提案7に見られた。

その3：図1-1-7のような小型のプレキャスト型枠ユニットを採用する工法の開発により、PCa部材の小量化、オープン化の可能性が示されている。

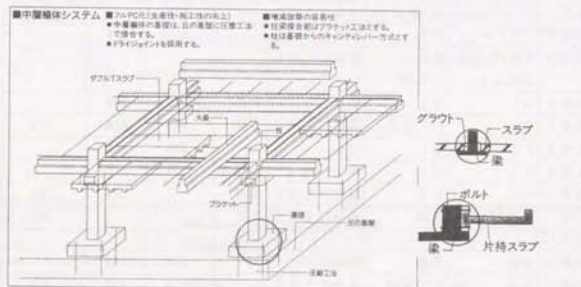


図1-1-5 提案6、提案8から

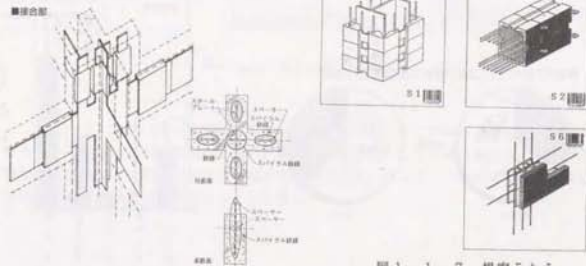


図1-1-6 提案9から

図1-1-7 提案5から

分析3

現場工事の変化の傾向及び予想効果(表1-1-2)について、RC系の提案では、在来現場での型枠工事を極力避け、図1-1-8と図1-1-9にも示すように、省力化、特に型枠大工を減らすことを第一の目標としている。これにはPCa部材の採用が効果的である。

表1-1-2 提案内容からみた現場工事の変化及び予想効果

| | 型枠工事 | 鉄筋工事 | コンクリート工事 | 9/19% | 工期短縮 | 省力化 | アバウト化率 |
|------|-------------|-------------|----------|-------|------|-----|--------|
| 提案1 | 薄肉PCa型枠 | あり | 現場打ち有り | 7日 | | | |
| 提案2 | なし | なし | なし | | 30% | 33% | 83% |
| 提案3 | テーパーレート | トラス鉄筋 | 現場打ち有り | | 50% | | |
| 提案4 | テーパーレート | あり | 現場打ち有り | | 40% | 60% | |
| 提案5 | 小型PCa型枠ユニット | 先組 レイトラス | 現場打ち有り | | | | |
| 提案6 | なし | なし | なし | 5日 | 38% | 20% | |
| 提案7 | なし | スラブ鉄筋 | 現場打ち有り | 5日 | 33% | 30% | 48% |
| 提案8 | なし | なし | なし | | 27% | 30% | |
| 提案9 | なし | なし | 鋼管コンクリート | 6~8日 | 33% | | |
| 提案10 | なし | あり | 現場打ち有り | 5日 | | 50% | 75% |
| 提案11 | 薄肉PCa型枠 | 先組 | 現場打ち有り | 7日 | | | 46% |
| 提案12 | | | | | | | |
| 提案13 | 先組 | 先組 | 現場打ち | | 40% | 40% | |
| 提案14 | なし | スラブ鉄筋 | 現場打ち有り | | 50% | 48% | 64% |
| 提案15 | なし | あり | 現場打ち有り | 9日 | 47% | 29% | 80% |

*工事の「あり」と「なし」は提案内容から判断し、組合部などを省略したものである。

●在来工法と、I.C.工法の橋体工事の施工労力比較

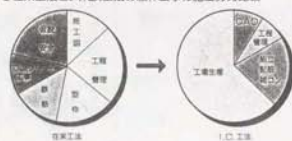


図1-1-8 提案14から

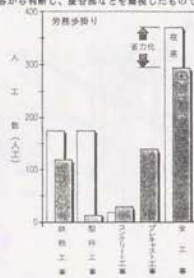


図1-1-9 提案11から

分析4

PCa工法の優位性の追求について、提案2と提案6の例をとりあげている(図1-1-10、図1-1-11)。工期、労働力ばかりでなく、資源、環境、人間性などの面からも注目しなければならない。

PC工法の優位性

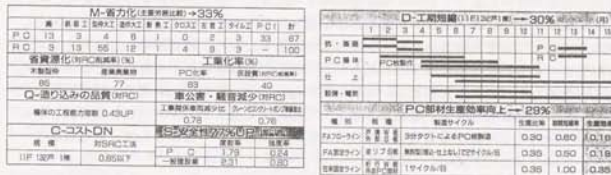


図1-1-10 提案2から

施工・工事計画——「核を生かす、きめ細かなFriendly施工」



図1-1-11 提案6から

このように、未来の住宅建設の生産供給システムに対するこの提案競技にも、PCa部材を用いる工法はこれから建築生産の工業化の主な方向として認識されており、部材形式及び運用方法などに関して多彩な提案が見られている。従って、PCa部材の生産及びその応用に関する研究は必要であるといえる。

第2節 工業化への認識

1. RC造住宅の工業化生産

RC系建築生産の工業化については、前節に建築物の全体、部分及び材料・道具などからさまざまな工法や特性を考察した。また、PCa部材を用いる工法を中心として、「中高層ハウジング提案募集」に現れたこれからの採用傾向に対して分析した。以下に、RC造集合住宅の分野に絞ってPCa部材を採用する工法についての考察を行っていく。

RC造集合住宅には、規模が2階建ての低層から数十階にのぼる超高層のものがあり、構造形式としても壁式構造やラーメン構造などがある。また、建築技術も公的な主導により開発されたものか民間に開発されたものかの違い、建設業者による違いなどがある。しかし、技術としての基本思想あるいは相似性からみると、それぞれの規模や構造形式などに対応して、工業化工法を、建築物全体をPCa化する壁式PCa工法と、部分的にPCa部材を採用するいわゆる複合工法の2つに分類できる。一般論として、両者は図1-2-1のような区別がある。

図1-2-1

RC住宅の工業化工法の比較



まず、構造形式(1)については、5階建て以下の中低層に壁式構造がよく採用されている。その特徴としては住宅空間の分割に必要な壁が同時に構造体とすることができ、経済的なメリットがあることがあげられる。このような建築物は一般的に規模(2)が比較的小さいので、型枠などの設備費用を償却するために、多数の工事をまとめて繰り返し生産(3)を行うことが必要になる。部材形式(4)としてはほとんど壁板や床板などのよ

うな面部材になる。これに比べて、十数階建て以上になる高層あるいは超高層の建築物には、計画上一の住棟に複数のタイプの住戸が分割できるような自由な空間構成の要求があり、構造に剛性の要求もあるので、構造形式がほとんどラーメン構造となる。また、規模が比較的大きいので、工事内の多くの繰り返し回数により、設備費用の償却が可能である。部材の形式は、床板などの面部材のほか、柱、梁のような線部材も有り得る。

次に、中低層住宅の工業化生産においては、多数の工事をまとめる必要があるので、専門的な組織形式(5)が不可欠である。これを住宅生産業者と呼ぶが、その多くは自社固定工場(6)をもち、工業化工法(7)の一括技術(8)をベースとして、常に住宅を中心として生産を行っている。これと違って大規模工事の担当は、総合建設業者による場合が多い。このような業者においては、工業化生産技術と保有しているその他の技術との組み合わせが重要となり、PCa部材の運用方式もかなり多様である。つまり、PCa化する部位やPCa部材の生産方式などを適正に選択する必要がある。図に示している現場仮設工場による生産は比較的多くみられる生産方式であり、そのほかに市販部材の使用なども少なくはない。

さらに、問題点(9)からみると、壁式PCa工法のような一括技術においては、いかに技術の制限を解決し、より多くの建築対象に適用することがある。また、部分的に工業化生産技術を取り込む複合工法においては、その効果を高めなければならないのである。

このように、2つの工法は、小規模と大規模の適用対象、住宅生産業者と総合建設業者の作り手、全体と部分の適用範囲などの違いによって、それぞれ別のシステムになっている。両者の接点について、5階建て以下の中層と数十階までのぼる超高層との間の、よくみられる十階建て前後の高層建築の領域に見つこうとしがちである。確かにここには、壁式構造とラーメン構造を結合した壁式ラーメン構造のような中間的な要素が存在するが、実際には、作り手が住宅メーカーか総合建設業者かによって、壁式PCa工法からの拡張あるいは複合工法の適用になる。つまり、この領域は、上述の両システムの接点にはなっていない上に、独立のシステムも見られない。これは本研究の対象にはなっていないが、工業化工法の実行上における社会的あるいは組織的な要素の存在に対する基本的な認識として、予め考察しておいた。

2. 工業化の将来性と課題

PCa部材を用いる工法は、大量需要、労働力不足などの背景の下で、建築物を部品化し工場生産することによって、近代的な工業技術を利用して建築業の生産環境及び生産性の低い生産方式を改善し、労働力の節減、工期の短縮、コストダウンなどを果たすることを目的としている。但し、社会背景と需要の変遷に対して、これらの工法は新しい局面に直面しつつある。

①建築業は、例外なく、常に社会全体の科学と技術進歩に相応して生産技術を改良したり、革新したりしなければならない。長期にわたる産業革命に成功した経験と技術を積極的に取り込み、建築生産の工業化へのさまざまな努力は見られるが、課題はまだ数多く残っている。また、現代情報社会において、いかにコンピュータ技術を利用し、

在来技術の改善あるいは新しい建設技術と管理技術を開発することなどは、ますます急迫してきている。これにおいては、現状への再認識及び新しい技術を適用するための環境作りが重要である。

- ②環境への重視は社会的な共通の要求になっている。建築生産の工業化としては、環境保護、資源節減に役立たなければならない。まず、現場の建築生産における環境配慮の有効手段とすること。さらに、工業化生産の過程における資源の節減、環境の保護は重視されなければならない。
- ③労働事情において、当面人手の不足、特に技能工の不足、労働者の高齢化問題は長く存続すると見られる。また、まだ現場作業を中心とする現在の建築生産に対して、労働環境の改善は不可欠である。これにおいては、P C a 部材を用いる工業化工法を採用することが効果的である。
- ④建築需要の変遷からみると、住宅不足の時代の大量需要の変わりに、社会全体の豊かさに伴って、建築の形状、性能などの多様化の進展は激しくなっている。多様化は、建築だけではなく、他の製造業も直面しつつある問題である。そこですでにFMS (Flexible Manufacturing System) を構築したり応用したりする例も数多くみられている。建築生産の工業化において、特に壁式P C a 工法のようなもともと大量供給・生産システムとした工法は、これからの多様化する需要に対応できるようなあり方とやり方を探求しなければならない。このため、新技術の開発のほか、既成知識と技術の把握は重要である。
- ⑤社会的あるいは経済的な非工学の要素からみると、まず、多数のシステムの競争あるいは多角的展開が行われることは、現代の経済社会の基本思想である。壁式P C a 工法などにおいては、建築生産の中で工業化の可能性と有効性を示す主役としての意味が無視できない。また、経済的あるいは組織的に、建築生産の工業化技術をベースとした事業体や高価な設備を持つ生産工場などには、連続的な運営をする必要がある。

このように、さまざまな面からみても、P C a 部材を用いるような建築生産の工業化へ、努力し続ける必要がある。また、社会背景の要請と時代の要求に対応できるように、研究や技術開発などが不可欠である。本研究は、以上のRC造集合住宅建設における工業化工法の分類及び工業化工法としての将来性に対する認識に立脚し、在来システムへの解剖及び新しいシステムの構築方法を探求するものである。

3. 概念の整理

建築生産の工業化に関連する概念について、参考のためにさまざまなところからの定義や注解などを表1-2-2にまとめている。これらを踏まえて、本研究における理解や使い分けを予め整理しておく。

まず、工業化生産の方法については、4つのレベルに分けて理解することができる。

部品化 — 建築物を分離生産可能な単位に分割することという第1レベルの概念として扱う。分割したらどのような生産を行うかについて、このレベル上では問わないが、工業化生産による場合、部品の単位は工業化生産が可能かつ有効な単位と一致しなければならない。また、本研究において、分析対象は主に躯体とするため、「部品」の代わりに、「部材」という言い方を用いる。

プレハブ化 — 部品あるいは部材を建築物の該当する部位から別の場所に移し、予め作っておくことのみを意味するという第2レベルの概念として扱う。

工業化生産 — プレハブ化の「別の場所」は、生産設備、労働力、生産方式などを有する工場であること、すなわち工場化生産と同義の第3レベルの概念として扱う。

量産化 — 工業化生産を前提として、生産性向上のために採用される生産方式の一つである。見込み生産や少品種大量生産とほぼ同義で、第4レベルの概念として扱う。また、これに相対する受注生産、多品種少量生産なども同じレベルの概念とする。

本研究は、部品化、プレハブ化、工業化生産などが成立し、かつ実行されている特定の工業化工法の実現などに対する評価を中心として、ソフト技術的な第4レベルに位置づける課題である。

次に、工業化に限らず、建築物の性能と性能の実現について、構法と工法という概念がよく使われている。本研究における使い分けは、表1-2-1の定義による。即ち、主に設計における場合には「構法」、製造・施工における場合には「工法」とする。設計か施工かを特定しにくい、あるいは両者の関連を強調する場合には、「構工法」を用いる。

表1-2-1 構法と工法 (参考文献1-30 P68)

| | 構法 | 工法 |
|-----------|---------|-------------|
| 目的 | 要求性能の実現 | 構法の実現 |
| 制約条件 | 生産条件 | 生産条件 |
| 要素 | 建築材料、部品 | 作業(人間、機械) |
| 要素に付随する属性 | 性能、コスト | コスト、工数、生産設備 |
| 要素間の相互関係 | 接合部、構成 | 作業の前後関係 |
| 関連分野 | 設計 | 製造、施工 |

表1-2-2 建築生産の工業化の関連概念

| | | |
|----------|---|---|
| プレハブ | a | 工業化の特殊局面と見なされる。このおかげで、必要不可欠と考えられる建築の職能を变形させることが達成できたのである。工業的な作業分析が十分に深く行われたとしたら、プレファブリケーションが目指すものは、建築の施工に必要な全製作物を、唯一の構成材のなかに統合一体化することになろう。(註:註1/1970) |
| | b | プレハブとは、「前もって工場で作られた」という意味であるから、このカテゴリーに属する建築の範囲は非常に広いことになる。工場生産住宅はもちろんのこと、南極観測隊の建物、トレーラーハウスやテント、在来の石綿スレート葺く鉄骨工場建築などもこの中に入る。(J.777・2742 ¹ -1965) |
| | c | 現場組立てと、それ以前に組立てられる部分との相対関係で、プレハブ化された部分の比重が大きいものが、とくにプレハブと呼ばれている。 プレハブという呼び名の生まれたところには、在来工法とは区別する意味があり、正確には在来工法よりプレハブ化された建築という意味である。(松木一浩) |
| | d | 今市場で、プレハブ住宅と呼ばれているものにも、共通した特徴はある。それは定義が示されていること、そしてできあがった見本が現実存在すること。その2つが現在、市販のプレハブ建築と称されるものを定義できる根拠である。そしてこの2つは、何でもないことのようにも、過去の建築界では、なかなか実現しなかったことであった。(松木一浩1967) |
| | e | これまで現場で加工・成形していた建築またはその一部分を、現場以前の場(主として工場)で部品として製作し、現場ではその組立て・接合と若干の仕上げだけで済ませられるようにすること。pre-(あらかじめ)fabrication(つくりごと)であり、工場生産化とほとんど同義。 目的は、現場労務量の削減を通じて、コストダウン、工期短縮、品質の安定化を図ることにある。通常、工場に移された仕事は、現場よりも安定的な管理状態下に集約されて、その相当部分の機械力代替が意図されたが、そのためには、有効需要と結合した計画的な量産化が条件として必要である。(江口禎1978) |
| 建築生産の工業化 | a | 近代的経済概念と作業に対する細密、かつ方法的な準備にうらうちされた技術進歩に適合する建築工事の最適施工条件を求めること。 条件)・全工程を通じて、発達した機械力を用いること。 ・現場の科学的組織化、必要な機能すべての合理的な組織化。 原則)・技能労働者を大量に消費する非生産的支出(足場、型枠)をきりつめること。 ・材料の製造ならびに取り付け時におけるこれらの技能労働者の使用を節約すること。 ・必要なものとして残る労働者の全体的生産性の向上を図ること、これは労働者の専門化を招く結果を生む。 ・材料の追加消費の原因となる重量化を制限すること。(註:註1/1970) |
| | b | 建築生産の工業化の内容は、大量生産を可能とする量産化と、機能品質を一層向上させるための良質化との二大分野があり、その量産化については、量産技術、量産労務組織、量産建築産業構造の3項目を、良質化についてはデザイン品質の選択と生産品質の保証の2項目を考察すべきである。(J.777・2742 ¹ -1965) |

| | | |
|-----|--|---|
| c | 1、生産の連続性(Continuity) 2、生産物の標準化(Standardization) 3、生産プロセスの諸段階の統合(Integration) 4、工事の高度の組織化(Organization) 5、手労働の可能な限りの機械への代替(mechanization) 6、生産活動と一体となった組織的な研究と実験(Research & Development) (ECE=国連ヨーロッパ経済委員会) | |
| | d | 建築生産において、工業的に進んだ技術の開発と適用を促進するとともに、技術の合理性が有効に発揮されるよう、建築関係者社会の仕組みを改革・整備すること。目指すところは、次の3つの側面を示しうるような1つの動的状態である。 第1に、発注者やユーザーにとって、建築がこれまでよりも人しやすくなる状態。これは工事価格の低減や工期短縮のほかに、現場を事前に把握しやすいくこと、品質が保証されていることなど、ユーザーの不安感の除去を含む。第2に、建築生産者側にとって、不安定な労働環境や前近代的組織構造を脱し、高度な生産性が企業利潤の改善と結びついた形で実現する状態。第3に、もっと広い社会的観点からみて、建築生産が適正または主導的な波及効果を生みつつ、国土・資源・都市・国民生活とバランスした良質な国富(建設ストック)を蓄積しつつある状態である。(江口禎1978) |
| | a | 生産から販売さらに個人の購買、これを可能とする社会的環境などを含めての一貫したシステムである。このシステムをプロモートする原動力となるのは、マスプロダクションの基本が下式にあることによって生ずる。 $\text{マスプロダクション} = \frac{\text{生産力}}{\text{人間(投下労働力)}} \text{の大きいこと。}$ これに類似して、まったく異なるシステムが薄利多売である。すなわち、 $\text{薄利多売} = \frac{\text{生産量}}{\text{投下資本}}$ の大きいこと。(後藤一雄1977) |
| 部品化 | b | 生産性の向上やコストダウンを担いとして、少品種の生産物を計画的に大量生産すること。mass-production, 計画的な少品種大量生産。したがって、品種数当たりの生産量が大きく、単位機関当たりの生産量(例えば、年産戸数、月産パネル枚数、1日当たりコンクリート打設量など)が大きく、かつ、生産性向上に結びつくような仕組の事前計画にのっとった生産供給がなされる場合でないこと、本来の意味の量産とはいえず「見掛け上の量産」に終わってしまう、量産化の目的や効果(量産効果)は達成されないことになる。(江口禎1978) |
| | a | 現場で加工や成形の必要がないように工場製作された建築構成単位を部品(建築構成用部品、building component)という。部品化とは、部品の選択と組み合わせによって建築の一部または全体を構成できるようにすること。部品化は、プレファブ化や量産化とともに建築生産工業化の主要な手段の1つである。プレファブ化された部分は部品になるので、最も素朴な意味では、プレファブ化と部品化は同一の技術変化現象を指す。(江口禎1978) |

第3節 研究要約

1. 研究目的と対象

本研究の目的は、まずRC造集合住宅における工業化生産の現状把握を行うことである。次に、既成の工業化生産システムを評価することにある。さらに、社会背景と需要の変遷に対応するためのシステムの改良あるいは再構築に関する方向性と方法論を探求する。具体的な手順は以下ようになる。

- ①社会背景の変遷とRC造住宅の工業化生産の現状を考察し、問題を指摘する。
- ②問題の解決のために、既成の生産システムを解剖し、生産要素及び生産方法を明らかにする。
- ③評価項目と単位を抽出し、調査によって、生産の現状を定量的に把握する。
- ④生産性などに関するシミュレーション手法を開発する。
- ⑤システムの最適化及びこれからのあり方について、議論を行う。

このために行った研究活動は、前述の壁式PCa工法を対象とした。その理由は、以下のようになる。

- ①公的機関の主導によって開発された壁式PCa工法は、中高層RC造集合住宅の工業化生産の主役として、長い間に広く採用され、延べ数十万戸の実績を残している。そして、常に数十の業者あるいは工場により生産を行っているので、さまざまなPCa部材を用いる工法の中で最も普及している代表的なものと見える。
- ②もともと大量供給・生産システムとしての壁式PCa工法には、画一的な姿が人にイメージされたように、生産上の要求と制約が多い。また、一括技術になっているので、複合化工法のような部位ごとの工法選択の自由度はほとんどない。建築における高い工業化生産率を得た一方で、多様化する社会需要への対応策を見出すことは急迫であり、システムの再整備が必要である。
- ③壁式PCa工法の場合、技術の開発に伴って生産組織なども整備され、建築生産の工業化に良い環境を提供してきた。こういう完成度の高いシステムに対して、欠点を改善しながら、再び建築生産の革新の先頭に立てるように望まれている。

従って、壁式PCa工法をRC造集合住宅における代表的な工業化工法と見なし、これに対する研究は、他の複合化工法のようなさまざまな工業化工法にも意味が大きいと考えられる。

研究範囲については、一般にいわれる建築生産の企画から完成までのプロセスの中で、最も工業化生産の特性を現す物的な直接の設計と生産段階に絞る。また、工業化生産の場合の生産段階は、部材の工場生産と現場の組立に分けられている。現場の組立については、在来工法に比べて、基本的な作業などで量のほかに質的な区別がほとんどないため、研究対象外にした。従って、研究範囲は、壁式PCa工法を用いた集合住宅建設の中の設計段階から工場生産段階までとする。

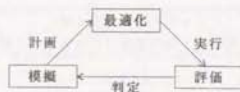
研究活動は、研究者及び実務者が参加した「PCa住宅研究会」にて行った。3年にわたった研究会の活動は、PCa住宅に関する計画や生産技術の変遷などの、範囲広くさまざまな成果を得た。本論文は筆者が担当した分野の成果をまとめたものである。

2. 研究方法

本研究では壁式PCa工法に対する分析にシステム方法論を用いている。

まず、壁式PCa工法には、「多くの要素から構成する」、「要素相互間に機能がある」、「全体として目的を持つ」、「時間的に手順がある」というシステムの基本条件（参考文献1-13 P9）を揃え、システムとして見なすことができる。

次に、システム方法論は、以下のように、模擬、最適化、評価の3本柱から構成する（参考文献1-13 P25）。



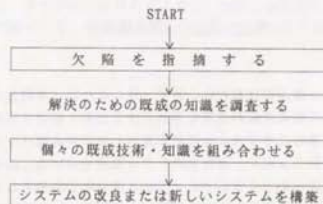
模倣(simulation)——現実のシステムのモデルによって、思想実験あるいは未来の効果を予言する方法である。以下に一般の言い方を用いて、シミュレーションと呼ぶ。

最適化(optimization)——目的に合致するように最もいい形に上げるための計画をずる。

評価(evaluation)——実際の問題に即して、目的における効果を検証し、さらにはそれに付随して起こる二次効果、三次効果に対して検討する。

対象の壁式PCa工法が現行のシステムであるので、研究は、まず評価から始まり、工法の生産上の要素を明らかにする上で、効果の検証を行う。特に、シミュレーションの基礎として、要素間の関係及び評価単位を洗い出すことが重要である。次にシミュレーション手法を開発するために、現実のシステムをモデル化する。シミュレーション手法の開発と実行によって、システムの改良などに関する方向性と方法論を提示する。最適化については、実務との関連が多いので、本研究ではシミュレーションの結果を実際の適用に関する議論の形で行う。

また、システム方法論を用いた研究の手順は、以下のようになる。



3. 論文構成

論文は8章から構成されている。各章の構成は図1-3-1に示すとおりである。



図1-3-1 論文構成

第1章は序論である。論文のはじめに、まず、RC系における建築生産の工業化の方法と発展過程を述べる。工業化生産の主要な手法とするP C a部材の生産と採用の現状と傾向について、建設省主催により平成3年度に実施された「中高層ハウジング提案募集」の入選案に対して分析を行う。次に、本研究のP C a部材を用いる工法に対する基本認識として、RC造住宅の建設における壁式P C a工法と複合化工法のそれぞれの基本思想及び特性を考察する。さらに、これらの工法の将来性と課題について考察する。これに踏ま

て、本研究の目的と研究対象などの研究要約を明示する。

第2章はP C a住宅に関する概論である。壁式P C a工法によって作られるP C a住宅は、昭和30年代に工法が開発されて以来長い間に多くの業者が生産され、延べ数十万戸の実績を残している。また、システムとしての壁式P C a工法は、社会背景の変化に伴ってさまざまな改良や拡張などが行われているが、現在においては、主に住宅生産の多様化傾向への対応策を見出すことが急迫の課題になっている。これについて、複数のP C a住宅メーカーに対してヒアリング調査を行い、設計と生産の問題点の抽出を行う。

第3章は各論の第1部設計論である。まず、構法基準の制定、設計方法の分類、CAD技術の運用などの設計方法に対して考察を行う。設計業務の展開については、主に規格設計と自由設計の運用方法によって、調査した業者の現状を両者の分離方式、連続方式、単一方式のように分類する。さらに、P C a住宅の、工業化工法の採用によって生まれた特有の「商品」に対して、実績事例を用いて特性と変遷を考察する。

第4章は部材論である。P C a住宅の生産においては、プロジェクトあるいは住棟を単位とした設計段階から、P C a板を製造する工場生産段階への移行に、部材分割は不可欠である。部材分割の方法と制約要素及び、板種の生成要因などを明確化した上で、住棟と枚数、住棟と板種、枚数と板種の関係を定量的に分析する。これによって、工場生産の生産性分析における生産量と品種の把握を可能にする。

第5章から第7章は工場生産論である。第5章では、P C a板の工場生産工程と要素を考察し、住宅の多様化への鍵を握っている型枠に関連する工事を工場生産の生産性分析の対象として抽出している。そのほか、工場調査に基づいて、生産計画の制定方法及び生産単位の把握について述べる。

第6章では、型枠セット工場の生産性について、型枠資材の物的生産性及び型枠セットの労働生産性から分析する必要性を述べる。労働費の高騰などの背景において、特に型枠セットの労働生産性は、型枠の転用と効率に最も重要な要素になっている。これを定量的に把握できるように、型枠セットの分類及び転用方法を明らかにした上で、実施工事に対する調査によって、型枠セット工数の分析を行う。

第7章には、第6章の工数分析を踏まえて、型枠セット工場の生産性の変化に対するモデル化を行う。まず、モデル化の前提と方法を考察した上で、モデル式の導きを行う。また、モデル式に基づいて、生産性の変化の傾向に対して考察する。さらに、モデルの適用性について、少品種多量生産、多品種多量生産、多品種少量生産における考察を行う。

第8章の結論では、まず研究の成果をまとめる。次に、これからP C a住宅生産のシステム構築について議論を行う。最後に、今後の課題について述べる。

第4節 関連研究

本研究の対象とした壁式P C a工法に関しては、開発時期の構造や生産などの実験研究のほかに、実用化されてからの生産性向上、部品展開、多品種少量生産に関する研究がみられている。これらとの関係を考察しながら、本研究の位置づけを明確化しておく。

まず、生産性向上に関しては、社団法人プレハブ建築協会に「プレハブ建築の生産性向上に関する研究」（昭和41年）（参考文献1-29）の報告書がまとめられた。その中には、壁式P C a工法を含めたプレハブ建築に関して、法規、発注方式、技能工、生産設備、工法、性能などの面から生産性の影響要素が考察され、生産性向上の条件や方向などが提示されてきた。但し、住宅の大量需要の背景で、プレハブ工法でどのように多様な建築が作られることについての課題が見られず、量産体制の下でのハード的な生産性向上が注目されていた。

壁式P C a部材の工場生産の生産性の把握については、「壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造建築における部材の生産労務量に関する研究」（若山滋 昭和49年）（参考文献2-23）があった。その中では、P C a板生産の固定平打方式や移動平打方式、標準公共住宅用部材や特殊形状部材などに関して、それぞれの労務量の調査と分析が行われた。さらに、生産工程における労務量の構成及び推定方法が明示された。しかし、その成果を住宅が多様化した現状への適用には、生産品種の変化に合わせて考察しなければならないと考えられる。

次に、部材の展開については、「プレハブ建築の構造計画と設計」（高坂清一 昭和51年）（参考文献1-10）の中で、平面計画と部材分割に関する議論（第2章）が見られた。それは部材分割の方法、住戸面積と部材数の関係、部材分割と住戸平面のシリーズ化などに関するものであった。そのほかに、本研究と深く関連している「P C部材を用いた工業化住宅に関する研究」（萩原正美、原口尚美 平成4年）（関連文献9）では、規格型集合住宅と自由設計による集合住宅の部材の種類に関して分析を行っている。本研究はその成果に基づいて、さらに住戸、部材数量、部材品種の3者の関係について、定量的に分析を行う。

また、多品種少量生産について、「混流連続生産によるP C部材工場の工程計画 - P C部材を用いる住宅生産システムの経営工学的調査研究その3」（権野関 平成5年）では、仕様の異なる多様なP C a板を連続して製造する混流連続生産ラインに対する工程計画の在り方を明らかにし、P C a板の設計内容と製造順序の関係について検討を加えた。本研究は同じく多品種少量生産に関して検討を行うが、主に多様なP C a板に対する型枠の運用方法に注目している。

第2章 P C a住宅とその設計・生産システム

第1節 P C a住宅

1. P C a住宅
2. 工法概要
3. 生産状況

第2節 システム工法としての変遷

第3節 P C a住宅の作り手

第4節 設計・生産プロセス

1. 調査概要
2. 設計・生産プロセス

第5節 住宅の多様化への対応策

第6節 まとめ

第1節 PCa住宅

1. PCa住宅

PCa住宅は、PCa部材を用いる工法によって建設される住宅で、本研究においては、特に大型パネル壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造の中高層住宅を指す。これは住宅としては、必ずしも住棟や住戸空間の特殊性を持っているわけではなく、建設方法が在来現場打設工法と異なる工業化生産の特性を持っているので、研究対象としてとりあげているのである。また、柱梁型のPCa部材あるいはその他のハーフPCa部材を用いたPCa工法と区別して、「壁式PCa工法」という用語を使っている。

PCa住宅と言えば、すぐにも大きな団地に全く同じスタイルの住宅が数多く並んでいるイメージが浮かんでくるかもしれないが、民間需要の増加で、町の中で壁式PCa工法で建設されたさまざまな姿で現れている住宅も沢山見られるようになってきた。正に、このような散在して多様な需要へより効率よく対応できるように、実用化してすでに30年経過した壁式PCa工法の設計・生産システムに対する研究を行っているわけである。



(企業のパンフレットによる)

2. 工法概要

壁式PCa工法は、図2-1-1のように、躯体を壁板、床板、屋根板などの部材に分割し、工場あるいは現場敷地内の仮設工場での生産及び現場での組立によって、建築物を構築する工法である。昭和30年代に、建設省建築研究所及び日本住宅公団（現：住宅・都市整備公団）の主導によって開発され、現在まで広く採用されている。

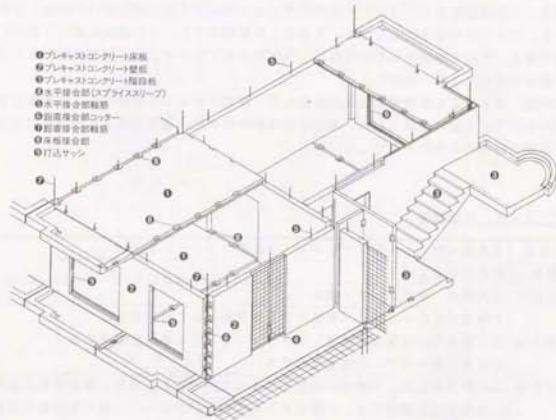


図2-1-1 構造形式と部材分割

工法の概要は、表2-1-1にまとめてある。

まず、工法の適用対象はもともと5階建て以下の壁式構造の集合住宅を中心にしていたが、「日本建築センター」の評定を受けた5階建て以上の壁式構造の集合住宅への適用例も少なくない。また、6階から11階までの集合住宅に採用される壁式ラーメンの構造形式に対しても、相似的な部材分割や生産方式を採用することが見られる。よって、これらは工法的には同一なものと思なすことができる。本研究は、設計論（第3章）では両方を対象とするが、部材論（第4章）及び工場生産論（第5章～第7章）では主に5階建て以下の壁式構造PCa住宅を分析対象とする。但し、具体的には壁式ラーメン構造の場合の特殊性を考慮しなければならないが、分析方法としては、拡張して適用できると考えられ

る。

次に、壁式 P C a 工法の定義からもわかるように、工法の基本は部材の分割、部材の生産、現場の組立にある。工法の特徴と関連規程については、表に示したとおりである。

また、部材の接合形式については、中層壁式構造の例を挙げている。水平接合は、鉄筋同士の溶接によるウェットジョイント方式と、鋼板同士の溶接によるドライジョイント方式と、スプライススリーブジョイント方式の3つがあるが、現在、前2種の変はほとんど見られなくなってきた。また、鉛直接合も、1本目地の方のみ採用されている。

最後に、関連技術としては、アメリカのティルトアップ工法（開発は1910前後）を挙げている。アメリカでは主として倉庫、工場などの外壁やフレームの構築に用いられていた工法である。その日本版としての出現は、万年式マスブレンク工法（開発は1954年）である（参考文献1-31 P546）。

その後、さまざまな技術開発の成果を加えて、壁式 P C a 工法は昭和37年前後に実用化された。ここでは代表例として、最初の実用例のほかに、適用規模あるいは階数の増大などの変化にあたるものを取り上げている。

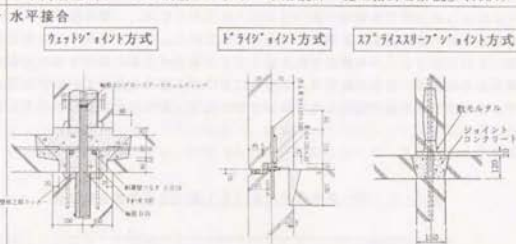
表2-1-1 工法概要

| | |
|------|--|
| 工法名 | 中高層大型パネル壁式プレキャスト鉄筋コンクリート工法 |
| 略称 | 壁式 P C a 工法 |
| 構造形式 | 壁式構造、壁式ラーメン構造 |
| 基本方法 | ①構造体をルームサイズ単位で P C a 部材として分割する。 ②工場あるいは現場に設置したプラントで P C a 部材を生産する。 ③現場で組み立て、部材を接合する。 |
| 工法特徴 | ①開発当時には、中層の共同住宅向きの工法である。現在、建築学会の設計規程及び仕様書では、5階までとしているが、8~11階くらいまでは例がある。 ② P C a 部材が大きく設計されるために、構造上あるいは防水処理上欠陥となりやすい接合部（継ぎ目）が少ない。 ③あらかじめ窓、出入口のサッシやドアのわく、設備用のパイプなどを取り付けておくことができる。 ④躯体を構成するほとんどの部材が工場で作製されるため、建築工事の工業化率が高くなり、建設費の安定、品質の向上、および熟練労働者の節減、工期の短縮などにつながる。（参考文献1-31 P546） |
| 関連規程 | 日本建築学会 「壁式鉄筋コンクリート造設計規程」(1955) 「壁式鉄筋コンクリート造5階建共同住宅設計要項」(1965) 「壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造設計規程」(1965) 「JASS.10.1 壁式プレキャスト鉄筋コンクリート工事」(1965) 「JASS.10.2 壁式プレキャスト鉄筋コンクリート部材の製造規程」(1965) |

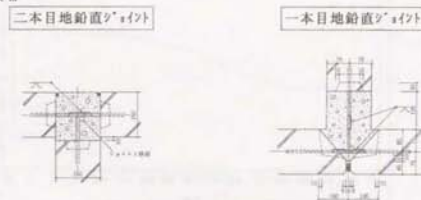
日本建築センター

- 「壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造設計指針」(1971)
- 「高層壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造内規(案)」(1974)
- 「壁式鉄筋コンクリート造設計・施工指針」(1984)
- 「中高層壁式ラーメン鉄筋コンクリート造設計・施工指針と解説」(1987)

部材接合



鉛直接合



関連技術 ティルトアップ工法 (TILT-UP工法) アメリカ 1910前後
万年式マスブレンク工法 (MASPRECC工法) 日本 1954年

部材生産 第5章を参照

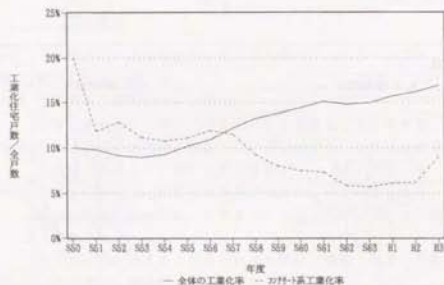
代表例 昭和37年 日本住宅公団特別分譲住宅 (4階 2棟 56戸)
—— 最初の壁式 P C a 工法による実用住宅
昭和40年 千葉県千草台団地 —— 初の大規模建設
昭和41年 味の素(株)川崎工場第2小倉寮 (5階 3棟 85戸)
—— 初の5階建て P C a 住宅
昭和47年 パイロットハウス (7階) 試行建設 —— 高層への挑戦
.....
(参考文献1-25)

3. 生産状況

住宅生産の工業化傾向と、その中のコンクリート系の割合、壁式P C a 工法によるものの比率などについては、プレハブ建築協会の統計資料「プレハブ住宅販売戸数実績調査及び生産能力調査報告書」(昭和40年度～平成3年度)を用いて考察した。

まず、新築住宅(販売戸数)における工業化住宅(販売戸数)の割合の推移は、図2-1-2のように上昇する傾向が続いてきた。昭和50年に、工業化住宅は、新築住宅の約1割だったが、最近では1.5割以上を占めてきている。しかし、逆にコンクリート系(R C造、S R C造など)の全販売戸数におけるコンクリート系工業化住宅の比率は低下する傾向が見られる。つまり、鉄骨系、木造系における工業化生産がますます発達している一方で、コンクリート系住宅は、逆に現場打設の在来工法への依存度が再び大きくなっていくといえる。

図2-1-2 新築住宅における工業化住宅の割合の推移



次に、コンクリート系住宅の工業化生産については、中型パネル壁式P C a 工法が一時2階建て以下の低層集合住宅(テラスハウス)に盛んに適用されたが、現在この工法の姿はほとんど見られない。その原因の1つは、木造、鉄骨造の工業化生産技術が低層分野へ積極的に参入したことがあげられる。そのほかとしては、大型パネル壁式P C a 工法の開発によって、コンクリート系の工業化生産の中心が低層から中高層へ変化したことがあげられる。図2-2-3からみると、中高層集合住宅の工業化生産においては、コンクリート系が9割前後を占め、この分野の主役となっている。最近の低層分野における僅かしかない生産に対しても、中型パネル工法の代わりに中高層に適用する大型パネル工法を用いていることが、P C a 住宅メーカーの「商品」パンフレットにみうけられた。

また、戸数から見ても、図2-1-4のように、中高層集合住宅の生産量は圧倒的の多い

のである。この中で、さらに適用工法別に見ると、壁式P C a 工法、H P C a 工法、P S 工法のそれぞれの生産量は、図2-1-5のようになっている。全体の生産量の変化が激しいが、壁式P C a 工法による生産量は、の中で終始一番大きな割合を占めていることは変わっていない。

コンクリート系集合住宅の工業化生産戸数の変遷については、工法開発の直後(昭和44年から昭和50)に住宅の大量需要や需要者と生産者の熟慮などで、工業化が一時ブームになっていたが、その時の生産は、ほとんど標準設計による量産であった。但し、その後生産量は急激に減ってきている。これについては、まず住宅の需要量が減っていることが考えられる。また、発注が性能発注になることによって、生産者としては設計・生産の一括技術を持たなければならなくなってくる。これによって、単純に工場生産のみを事業とした業者が、この分野からの撤退した。しかし、この十数年間は生産量が安定してきており、コンクリート系集合住宅の工業化生産は、建築業の1分野として定着していると考えられる。従って、この分野の現状、問題点及び改良方向などについて究明する必要がある。

図2-1-3 工業化住宅におけるコンクリート系の割合の推移

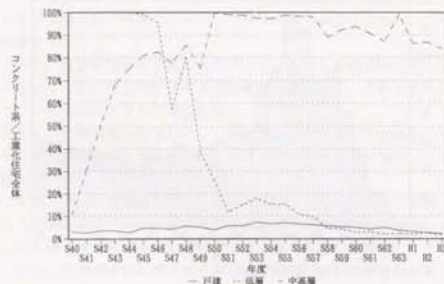


図2-1-4 コンクリート系工業化住宅の階層別建設戸数の推移

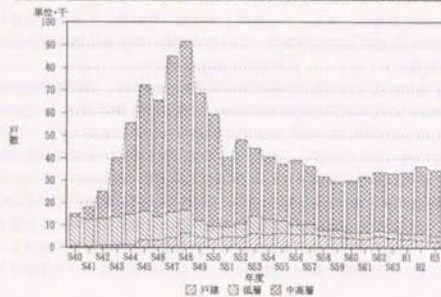
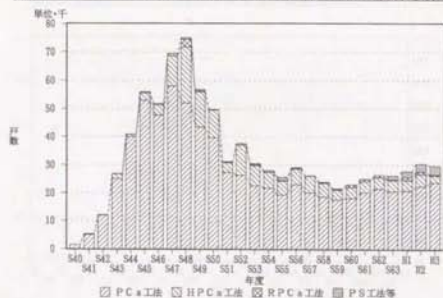


図2-1-5 コンクリート系工業化中高層住宅の工法別建設戸数の推移



第2節 システム工法としての変遷

数多くの実績を残している壁式P C a工法について、一体「どんな社会背景の下に」、「どのような目標を設定し」、「どんな現象が起こったか」、「いかに変化してきたか」などを、図2-2-1のようにまとめた。

建築生産の工業化の目標が、工期の短縮、コストダウン、生産環境の改善などにあることは一般にいわれているが、具体的に対象と手段を明確にした目標のことを、しばしば「目的」と表現することがある(参考文献1-13)。ここでは、R C造住宅躯体工事にP C a化技術を取り込む段階において具体化した「目的」の推移を主軸として、壁式P C a工法の実現過程を分析する。

長い間に、建築生産の生産性の低さ、生産環境の悪さ、近代工業社会との不調和などを痛感し、製造業などの生産技術を建築業に適用して建築生産の工業化を実現するという夢を、多くの建築業者は持っている。これらは主観的な原動力といえるが、開発・施行などの具体的な実践行為に至らない段階では、「0次目的」として表すことにする。

壁式P C a工法の実現における「1次目的」は、工業化生産に適合する構工法システムの確立である。戦後住宅の不足を解決するための公的大量需要及び住宅の集合化・中層化傾向などの社会背景の下で、昭和30年代に大量供給システムの有力技術として期待されたこの工法の実現は始まった。工業化に適合する構工法システムの確立には、まず可能性と有効性を検証する構造実験や施工実験などのハード技術の開発が必要である。当時の著名な実験と試作を列挙すると、

- ①昭和32年、建設省建築研究所による3m×4mの2階建実物大施工・振動実験
- ②昭和32年、日本住宅公団による東京都練馬区鷹の宮に、大型P C a板の試作第一号として、テラスハウス2戸2棟を建設
- ③昭和35年、建設省建築研究所による4階建2/3模型3層分の加力実験
- ④昭和36年、大成建設技術研究所による日本初の4階建実大建物による静的加力実験と振動実験

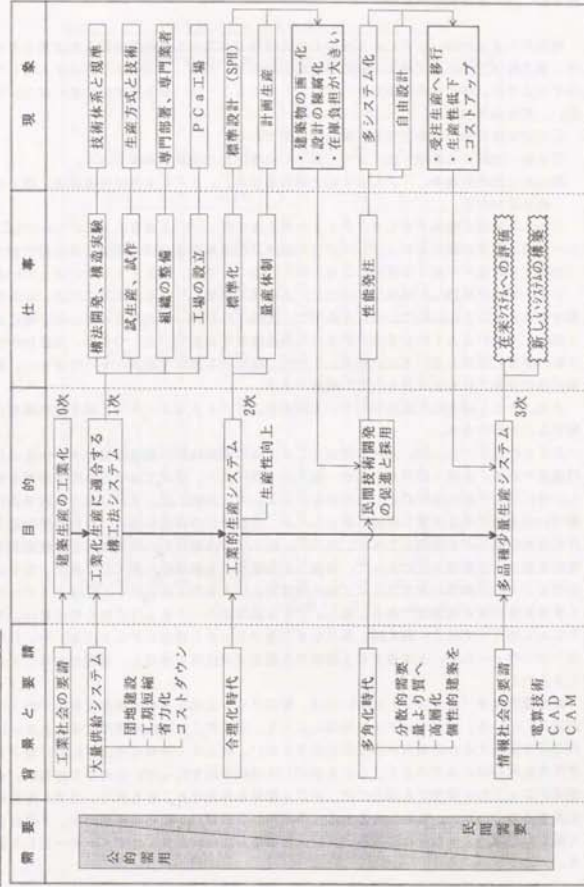
⑤昭和42年、建設省建築研究所による5階建P C a造の実大耐力試験などがある(参考文献1-25)。また、実用化に不可欠な需要や組織などのソフト面においては、日本住宅公団の積極的な壁式P C a工法の採用、民間P C a工場の建設、この技術をベースとしたP C a住宅メーカーの組織形成などが、この時期の後半のことであった。

「2次目的」は、生産性向上を目指して工業的な生産方式を取り込むことであった。量産住宅ともいわれるように、その時のP C a住宅の生産方式は、標準化と量産化が特徴である。標準化の成果としての標準設計S P H (Standard Public Housing) は、昭和46年正式に発表された。ほとんどのP C a工場は、この標準設計に基づく大量生産を行い、延べ約12万戸を建設した。しかし、標準化や量産化は、高い生産性を得た一方で、建築物の画一化、設計の陳腐化などが指摘され、多角化時代に移行したニーズに対応できなくなってきた。昭和51年に、日本住宅公団が性能発注の採用を仕掛けて、S P Hは幕を閉じた。その時から壁式P C a工法は、少品種多量生産時代から多品種少量生産時代に入ってきた。

従って、多品種少量生産システムの確立は、「3次目的」になってくる。多様化は、国の経済の豊かさや社会の成熟化による時代の要請で、単に建築だけではなく、他の製造業も直面しつつある問題である。一方、情報化社会といわれるコンピュータ技術の発達は、多品種少量生産にCAD (Computer Aided Design) 技術、CAM (Computer Aided Manufacturing) 技術、FMS (Flexible Manufacturing System) 技術などを提供してきた。これらは製造業での応用例が多くみられている。

このように従来の設計・生産システムを改めて分析評価しながら、CAD、CAMなどの技術の応用環境を作りだし、新しいシステムの構築に向かう研究と開発は、現在のP C a 住宅生産の重要な課題となっている。

図2-2-1 準式P C a 工法の変遷



第3節 PCa住宅の作り手

壁式PCa工法は、HPCa工法やPS工法などに比べて生産業者数も生産量も多く、RC系工業化工法の中で最も一般的な技術といえる。但し、クローズドシステムとして存在するように、特に中小建築業者にだれでも使えるような一般建築生産技術にはなっていない。理由は3つある。

- ①工場生産設備への膨大な先行投資が必要である。
- ②企画・設計から製造・施工まで一貫とした専門的な技術が必要である。
- ③公的な発注の場合、「PCa工法工事適格業者」、「PCa部材製造適格工場」の認定制度がある。

これらの技術と資格を有して、PCa住宅生産を行っている業者の分布については、プレハブ建築協会の統計資料「プレハブ住宅販売戸数実績調査及び生産能力調査報告書」（昭和60年度～平成2年度）による上位十社のシェアを、表2-3-1に示している。

まず、資格を取得した業者がすべてPCa住宅を生産していると仮定すれば、その業者数は百前後あるといわれている。その中で、上位十社がシェアの60%を占め、特に連続1位になっているA1社が全体の約20%の生産量を占めている。つまり、生産がかなり少数の業者に集中しているといえる。これは、住宅の工業化生産メーカーのほかに、建設業の他の分野ではあまり見られない現象である。

また、PCa住宅の生産を行っている業者を、PCa住宅メーカーと総合建設業者に分類することができる。

PCa住宅メーカーは、前述の壁式PCa工法の開発時期の組織整備に伴い生まれた専門業者である。企画・設計から製造・施工の一括技術と、固定工場などの生産設備を保有し、常にPCa住宅を中心として生産を行っている。初期には、SPHなどの標準設計に基づいた公的住宅を主要な供給対象としたが、性能発注の採用に伴い、自社標準設計及び自由設計体制などを整備してきた。さらに、同工法の高層住宅への適用などの技術開発と受注生産体制の整備などによって、多様な民間需要へも積極的に参入してきた。日本住宅公団などの公的機関が壁式PCa工法の開発者といえるならば、PCa住宅メーカーは最も重要な実行者と発展者である。但し、PCa技術をベースとしたこれらの会社は、壁式PCa工法だけでなく、例えば、RPCa工法（ラーメン構造のPCa工法）や、PCaカーテンウォールや、土木用PCa部材の生産などの技術も保有し、兼業とすることが多く見られる。

総合建設業者（ゼネコン）においては、壁式PCa工法を多数の保有技術の中の1つ選択肢としている。プロジェクトの性格によって、壁式PCa工法を採用するかあるいは他の工法で建設するかを選択自由度がかなり大きい。従って、全体の売上げにおけるPCa住宅の比率がほとんど小さく、しかも必ずしも連続生産を行っているわけではない。また、壁式PCa工法を採用する場合には、PCa部材を外注することも多く、必ずしも自社で生産するのではない。但し、もともと大手ゼネコンのPCa住宅生産部門が、子会社として独立して専門メーカーになる例が多い。この場合には、PCa住宅メーカーとして捉える。

表2-3-1 中高層PCa住宅生産上位十社のシェア

| | S60年度 | S61年度 | S62年度 | S63年度 | H1年度 | H2年度 | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 上位 | A1社 | A1 | A1 | A1 | A1 | A1 | |
| | 1位社 | 20.0% | 18.2% | 18.5% | 21.3% | 19.8% | 20.5% |
| | A2 | B3 | A7 | B2 | A7 | B7 | |
| | 2位社 | 6.9% | 5.8% | 6.7% | 8.6% | 6.5% | 8.3% |
| | B1 | A3 | A5 | A7 | B2 | A7 | |
| 5位 | 3位社 | 6.0% | 5.6% | 5.2% | 7.9% | 6.2% | 8.2% |
| | B2 | B2 | B1 | B5 | A2 | A2 | |
| | 4位社 | 5.2% | 5.3% | 5.0% | 4.8% | 4.9% | 5.5% |
| | A3 | A5 | A9 | B3 | B7 | B1 | |
| | 5位社 | 4.4% | 4.9% | 4.8% | 4.4% | 4.9% | 4.9% |
| 5社計 | 42.5% | 39.8% | 40.2% | 47.1% | 42.3% | 47.4% | |
| 6位 | A4 | A2 | A6 | B4 | A6 | A6 | |
| | 6位社 | 3.8% | 4.6% | 4.2% | 3.9% | 3.8% | 3.8% |
| | A5 | A7 | B3 | A2 | B5 | B4 | |
| | 7位社 | 3.6% | 4.6% | 3.9% | 3.1% | 3.4% | 3.4% |
| | B3 | B5 | A10 | B7 | B1 | B5 | |
| 8位 | 8位社 | 3.4% | 4.4% | 3.9% | 3.0% | 3.2% | 3.0% |
| | A6 | A8 | B2 | A6 | B3 | B2 | |
| | 9位社 | 3.4% | 3.9% | 3.1% | 3.0% | 3.2% | 2.4% |
| | B4 | B1 | B6 | B8 | B4 | A10 | |
| | 10位社 | 3.3% | 3.5% | 3.0% | 2.8% | 2.9% | 2.3% |
| 5社計 | 17.5% | 21.2% | 18.1% | 15.8% | 16.4% | 14.8% | |
| 上位10計 | 60.0% | 60.9% | 58.3% | 62.9% | 58.7% | 62.2% | |

A: PCa住宅メーカー B: ゼネコン

第4節 設計・生産プロセス

1. 調査概要

P C a住宅生産の工法特性、発展過程などを明らかにした上で、本研究の目的における設計・生産プロセスの各段階に対する評価と考察を展開するために、P C a住宅メーカーを中心とした5つの調査対象を選定した。これらの対象となった会社の特性及び研究内容における位置付けは、表2-4-1に示されている。

A社からD社は、表2-3-1の上位十社に（常にあるいは一時）入っているP C a住宅メーカーである。これらの会社はすべて複数の自社工場を保有し、売上げの半数以上が住宅のP C a関連工事一式請負に占められている。保有技術については、W P C a（5階建以下の壁式）、P L C（5階建から11階建まで壁式ラーメン）、C C H（P C a部材+鋼構造）、8 P C a、11 P C a（8階建てあるいは11階建ての高層壁式）、H P C a（H型鋼とP C a部材を用いる構造）、P S（P C a部材+プレストレストと構造）などの住宅における工法がある。そのほか、カーテンウォール技術なども見られるが、いずれも住宅の生産が中心となっている。

E社はゼネコンであり、会社全体においてはP C a関連工事のシェアが非常に小さくなっている。しかし、P C a住宅業者として見ると、生産対象が単一かつ生産戸数が少ないので、ここでは中小規模生産者の代表として捉える。

生産戸数の分布から見ると、10階前後の高層建築も保有技術の適用対象になっているが、C社のほかは、中層集合住宅を中心として生産している。これは、公的住宅において中層の方が多いほかに、民間の賃貸用中層住宅の需要も大きいと考えられる。

調査は、まず、各会社の本社に対するヒアリング調査を行い、P C a住宅の設計・生産プロセス及び業務進行方法などをまとめる。次に、3社の4工場を選定し、それぞれの生産工程を見学した上で、特に型枠に関連する工事を中心として調査した。また、事例分析では、A社の事例を対象として行った。

表2-4-1 調査対象となった各社の概要

| 会社分類 | 業務内容と割合 (1990年度実績による) | 設立年数 | 従業員数 | 主な保有技術 | 住宅生産戸数 (中層P C aの戸数) | 保有工場数 | 調査方法 | 調査対象 |
|--|---|-------|------|---|------------------------|-------|--------------|----------------|
| A社P C a住宅/1 | P C a関連工事一式 87.9% P C a製品 3.1% 他の建設工事 8.5% その他 0.5% | 1963年 | 1200 | W P C a(3-5F) P L C(6-11F) H P C a(6-14F) C C H(都市高層集合住宅) | 7000 (5000) | 6 | 共同研究 事例分析 | 本社 工場 事例 |
| B社P C a住宅/1 | P C a関連工事一式 72.0% P C a製品 0.0% 他の建設工事 28.0% その他 0.0% | 1966年 | 400 | W P C a(3-5F) 8 P C a 11 P C a P S(P C a部材+プレストレスト構造) P C C W(3-7F/1-6) | 3000 (2000) | 3 | 工場/工場調査 | 本社 工場 |
| C社P C a住宅/1 | P C a関連工事一式 91.0% P C a製品 4.0% 他の建設工事 5.0% その他 0.0% | 1948年 | 200 | W P C a(3-5F) 8 P C a | 1000 (300) | 2 | 工場/工場調査 | 本社 |
| D社P C a住宅/1-1 P C a関連工事一式 P S部材・構造 | P C a関連工事一式 49.0% P C a製品 3.0% 他の建設工事 48.0% その他 0.0% | 1971年 | 350 | W P C a(3-5F) 14 W P C a P S(P C a部材+プレストレスト構造) | 500 (400) | 5 | 工場/工場調査 | 本社 |
| E社ゼネコン | P C a関連工事一式 0.6% P C a製品 0.0% 他の建設工事 94.3% その他 5.1% | 1951年 | 2500 | W P C a(3-5F) その他建築・土木全般 | (300) | 1 | 工場/工場調査 | 本社 工場 |

*従業員人数と生産戸数は最近5年間の平均による約数である。

2. 設計・生産プロセス

個々の建築生産活動において、図2-4-1のように業務段階を区分することは、一般的である。P C a住宅の生産活動も基本的に例外ではないが、工業化生産システムとして幾つの特徴が現れている。

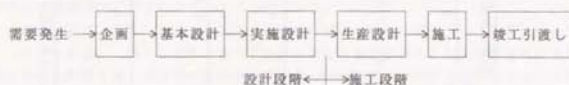


図2-4-1 建築生産プロセスの主な段階 (参考文献1-7)

- ① 一般的な建築生産は、設計・施工分離方式と設計・施工一貫方式の2ケースがある。P C a住宅の場合、工業化生産技術が設計から施工までの一括で成立しているので、設計・生産は、同一業者によって一貫として行った方が多い。特に昭和51年以後、日本住宅公団が標準設計の使用の代わりに、性能仕様書に合わせた民間で開発されたものを買い取る「性能発注」を採用することによって、各メーカーは自社の商品体系及び設計体制を整備し、工業化生産の遂行上有利な設計・生産一貫方式を固めてきた。
- ② P C a住宅工事の生産設計は、在来工法の施工図の代わりにP C a板の板図を作成する。P C a板の数量と品種は、工場生産の効率などに重要な影響要素であり、生産設計だけでなく、企画から実施設計の段階にも常に部材の分割と製造の合理化を考慮しなければならない。従って、在来工法の場合より、P C a住宅の企画・実施設計は生産設計と密着していることが明かである。従来施工段階に属する生産設計は、P C a住宅メーカーの場合、設計部門あるいは設計と生産の中間的な製造関係部門で行うことが多い。
- ③ P C a住宅の施工は、P C a板の工場製造段階と現場施工段階に分けている。その間の接続として、P C a板の運輸工程が介在する。壁式P C a工法が在来工法のすべて現場で加工・成形する躯体を部材に分割して工場生産するので、P C a板の工場生産段階は、工業化生産といわれる最も重要な要素である。P C a板の搬入と組立て躯体を構築する現場施工段階は、在来工法より省力化や工期短縮になるが、作業量の低減のほか、基本の作業方法と内容は必ずしも大きな区別がない。従って、本研究における工業化生産論では、施工段階において、工場生産のみ分析対象とする。
- こういう特性を持っているP C a住宅の設計・生産の業務部門の編成について、調査対象となった5社の状況を図2-4-2に示している。

提案企画から実施設計までが設計部門より行われることは、各社とも一致しているが、生産設計からの部門編成はかなり異なっている。P C a住宅メーカーの場合、板図を作成する生産設計は同じ設計部門によるか(C社、D社)、本社にある製造管理部門によるか

(A社、B社)の2ケースがある。また、P C a板種類と大きく関連する型枠の製造と転用計画を主とした生産計画も、同部門にて行われることも見られる(B社、C社、D社)。いずれにしても、川上の段階で、P C a板の種類及び型枠転用などの生産性をコントロールすることが目的である。総合建設業者のE社は、P C a住宅生産の業務比重が小さく、専門の製造管理部門が見られず、生産関係の業務がすべて工場にて行われるようになっている。また、現場施工は在来工法と同じように、プロジェクトごとに組織を編成する。

各部門間の情報伝達は、公式にはすべて図面によるが、C A D・C A M技術の応用によって、補助的にオンライン状態の情報伝達方式が普及する最中である。各社とも設計、製造、外注などに用いられるソフトのシステムを統一したり、データを共用したり努力している。

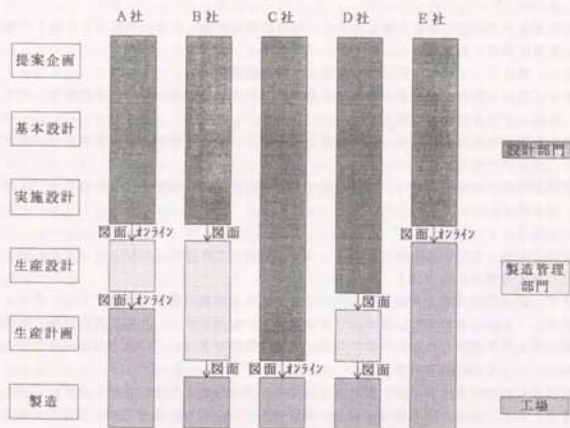


図2-4-2 各社の業務フローにおける担当部門の比較

第5節 住宅の多様化への対応策

社会的な質の重視、美の追求で、住宅はますます多様化を要求される傾向が明かである。壁式P C a 工法にとっては、「システム工法としての変遷」でも述べたように、工業化生産の標準化要求などによる制約を克服し、機械化・情報化技術を導入しながら、多様化による要求に柔軟な対応性をもつ新しい設計・生産システムを作らなければならない。

具体的に、建築特有の土地との密着性などを考慮した住宅の多様化の要因については、以下のように考えられる。

- ①住宅不足時代の量の需要から豊かな時代の質の重視へ移行し、入居者の個性に適合する多様化や、居住期間の生活状況の変化による多様化などがある。
 - ②建築は単に物としての要求だけではなく、文化としての多様化の要求を無視してはできない。
 - ③建築条件の制約による多様化がある。特に用地の制限、高さの制限などは最も重要な影響要素といわれている。
- 逆に、壁式P C a 工法の特性から多様化への制約要素は
- ①壁式構造の躯体によるプランとの関係が深いので、構造要素と住区間要素とがあまりにも密着している。
 - ②生産効率を向上するため、大型パネルを採用し、板種を増やさずに柔軟な対応性を向上するのが容易でない。
 - ③鋼製型枠の新規製造あるいは新規セットになるので、板種が増えるとコストアップになりやすい。

などがある。

では、実務上では、生産的にどのような方法を用いて多様化に対応しているかについて、5社に対する調査結果を表2-5-1にまとめた。

まず、具体的な定義と業務進行方法については次章の設計論にて検討するが、P C a 住宅の設計・生産においては、標準住戸プランを用いた規格型と、比較的自由に住戸空間が構成できるF P 型を主とした分類がある。5社の実情からも、このような方式を区分して運用していることが見られる。

生産量の多いA社とB社は、設計から生産まで規格型とF P 型に分けられて、同時に進行する。A社の場合、両系統は平行し、設計方法や生産の型枠運用方式も共通しておらず、それぞれ独立のシステムになっている。複数のシステムで、多様化と標準化を適正にすることが有効といえるが、標準住戸プランから僅か一歩出ても、設計・生産方法及び効率も大きく変わり、連続性と柔軟性を欠くと言える。B社の場合は、規格型を中心とし、やむを得ずF P 型になっても、できるだけ規格型に基づいて、プランの修正と型枠のセット換えで済むようにしている。従って、標準住戸プランを基準とした変化の程度による型枠セット換え費用などを考慮すれば、生産効率の変化は連続になる。但し、規格型を中心とした場合、標準住戸プランの数が比較的多くなりやすい。これに伴って、保有型枠の量も増やさなければならない。

生産量の比較的少ない他の3社では、規格型の整備なども行ったが、F P 型が中心になっている。設計では、標準住戸プランに限らず、プロジェクトごとに個別設計を行う。壁

式P C a 工法としての制約範囲内で設計の自由度が十分に発揮されるが、生産型枠は転用が困難となり、プロジェクトごとに新規セットあるいは新規製造が必要である。生産性が低下することが避けられないので、一部の物件に対して、標準設計に基づいて型枠を連動するという規格化の動きも見られる。

次に、C A D、C A M技術の積極的な導入と使用について見ていく。A社とB社の規格型の設計には、C A Dシステムで、情報の伝達と自動設計を実現している。F P 型の場合でもC A Dの使用率が大きい。特にA社では、設計C A D情報が、型枠自動出しのC A Mシステムに連動している。他の3社でも、図面作成のほか、構造設計データを用いて板図の自動作成システムの開発と応用が行われている。但し、システムとデータ形式の統一は、各社とも残っている問題である。

また、階高の固定や平面構成上のモジュール化などは、工業化生産の標準化手段といわれる。しかし、多様化へ対応性を高めるために、これらを緩める傾向がみられている。例えば、C社では平面モジュールを考慮しないほかに、階高も3種類の選択ができる。D社では、P C a 部材を単純化するために屋根板をフラット板として生産し、水勾配を現場で施工するような工法の実行上の多様性が現れている。

さらに、標準化について、中層に留まる比較的単純な賃貸住宅に規格型、形状及び要求性能の多様な分譲住宅にF P 型という設計・生産の展開方法は、各社とも同じである。規格型は、予め標準住戸プランシリーズを制定し、物件ごとに対して、標準プランと許容変更範囲に基づいて設計する。この場合、原則として型枠も対応して標準化しなければならないが、生産量の少ない業者には、標準化が生産まで至っていない方が多い。逆に、生産量の多いB社では、規格型のほかに、もっと固めた少数の固定タイプの計画生産も行っている。F P 型は、標準住戸プランの制約がなく、物件ごとに自由に設計できる。但し、型枠の転用あるいは生産効率の見積もりなどのために、過去の実績のデータを整備することが重要である。

このように、P C a 住宅について、在来工法と区別した工業化生産の特性は、主に設計と工場生産の両段階から見出すことができる。特に、住宅の多様化傾向に対しては、規格型とF P 型の運用、型枠の転用方法などが、生産システムの柔軟性と生産効率への重要な影響要因である。但し、建築物を単位とした設計と、P C a 板を生産対象とした工場生産の間に、建築物と部材展開の単位変換関係がある。本研究では、これを部材論として捉え、従って、設計論、部材論、工場生産論を本研究の工業化生産論の各論として、次章から展開していく。

表2-5-1 住宅の多様化への対応策

| | 設計の対応策 | 設計方法 | 生産の対応策 | 生産効率の考慮 | 既存問題と改良目標 |
|----|--|---|---|--|--|
| A社 | <ul style="list-style-type: none"> 規格型で賃貸物件へ対応する。 F P型で分譲及びワンルームなどの多様な物件へ対応する。 自社の工法基準及び規格型とF P型の「商品」管理システムを整備する。 | <ul style="list-style-type: none"> 規格型はCAD化を中心として自動設計を進める。 F P型は規格型とそれぞれ独立した設計システムになっている。 階高とモジュールを守る。 | <ul style="list-style-type: none"> 規格型は規格型の工事間転用を中心とする。 F P型は工種ごと型枠を新規セットする。 生産ラインのFA化、鉄筋、型枠加工の機械化と自動化を進める。 | <ul style="list-style-type: none"> 規格型にはある規模に基づき標準価格を設定する。 F P型には主にタイプ数と過去の実績データに基づき単価を設定する。 | <ul style="list-style-type: none"> 規格型とF P型と共通できるように、新しい設計・生産システムを開発する。 |
| B社 | <ul style="list-style-type: none"> 多タイプ規格型の設計システムを中心とする。 F P型にはできるだけ規格タイプに基づき変更で対応。 常に新「商品」開発を行うが、古いタイプも同時運用する。 | <ul style="list-style-type: none"> CADシステムで規格型の図面を転用する。 階高とモジュールを守る。 | <ul style="list-style-type: none"> 規格型はほとんどセットされた状態で工事間転用を行う。 規格型とF P型の受注生産のほか、固定型の計画生産も行う。 | <ul style="list-style-type: none"> 規格型にはある規模に基づき標準価格を設定する。 F P型には、規格型かR P型の型枠セット換え費用を考慮する。 | <ul style="list-style-type: none"> 設計CADと生産CAMとの間の情報共有を実現する。 数部門で、部材設計と詳細生産計画（材料、型枠）を行う。 規格型の運用と型枠の選動方法を確立する。 |
| C社 | <ul style="list-style-type: none"> ほとんど個別設計で対応するが、規格型の整備がある。 自動図面作成システムを開発する。 分譲住宅にはR P Cによる。 | <ul style="list-style-type: none"> モジュールをほとんど考慮しない。 階高を3種類に定める。 工法設計会社制度を設ける。 | <ul style="list-style-type: none"> 工事ごとすべての型枠を新規セットする。 WP C ラインとR P C ラインを分ける。 | | |
| D社 | <ul style="list-style-type: none"> 分譲にはすべて個別設計で対応するが、両面ではほとんど規格型による。 実績の整備を行う。 | <ul style="list-style-type: none"> 階高とモジュールを守る。 内装などはすべてフリーになっている。 | <ul style="list-style-type: none"> 工事ごとすべての型枠を新規セットする。 屋根板をフラット板として作り、水配りは現場工事による。 工事ごとすべての型枠を新規セットする。 汎用型枠とシステム型枠の使用により、一層柔軟な対応ができる。 | <ul style="list-style-type: none"> 型枠工事の積算により考慮する。 | <ul style="list-style-type: none"> 設計のCAD化と生産の機械化を促進する。 |
| E社 | <ul style="list-style-type: none"> 数少ない規格型タイプのほかに個別設計で対応する。 | <ul style="list-style-type: none"> 階高、地下、サッシなどは共通部材とする。 共通設計と生産設計の間にデータを共有する。 | | | <ul style="list-style-type: none"> 生産設計に、実施設計のデータを有効利用し、CAD化率を向上する。 |

第6節 まとめ

本章はP C a住宅の概論として、その建設工法の壁式P C a工法の概要と由来を考察した。さらに、生産組織の編成や住宅の多様化における問題点などの調査結果をまとめた。

第1節で、まず本研究において、「P C a住宅」を、中高層大型パネル壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造住宅と定義した。また他のP C a工法と区別して、建設工法を「壁式P C a工法」と表現する。次に、「壁式P C a工法」の概要や歴史や関連技術などをまとめた。また、建築生産の工業化における位置づけ、生産量とシェアの変遷などについては、プレハブ建築協会の統計資料を用いて考察した。

第2節では、システム方法論を運用し、壁式P C a工法の変遷過程に対して、目的の変遷を主軸とした考察を行った。社会背景と需要の変遷に伴い、壁式P C a工法は、工業化生産に適合する構法システム確立の「1次目的」から、実用化された時期の生産性向上などの「2次目的」に転移し、今の社会的な多様化の要求に対応する多品種少量生産システムの確立を将来的に目指す「3次目的」として現れてきた。多品種少量生産システムの確立には、従来のシステムを改めて分析評価しながら、CAD、CAMなどの応用環境を作りだし、新しいシステムの構築に向かう研究と開発が不可欠である。

第3節では、P C a住宅の作り手について考察した。P C a住宅の生産には、特殊な技術と資格が必要なので、その生産技術が一般的な建築技術になっておらず、生産量もかなり特定の生産者に集中していることを明らかにした。生産者としては、P C a住宅メーカー及び総合建設業者があり、それぞれのP C a生産技術の運用における特性に対して考察を行った。

第4節では、調査対象となった5社の現状に基づき、P C a住宅の設計・生産システム及び組織編成を考察した。他の建築工事に比べて、P C a住宅の場合は、設計・施工一貫方式の多いこと、生産設計が施工図の替わりに図面作成すること、施工段階が工場製造段階と現場施工段階に分けられることなどの特徴がある。生産設計以降の部門編成がかなり異なるが、企画設計から実施設計までのいわゆる設計段階と生産設計との間は、在来現場打設工法の場合よりかなり密着している。これはP C a部材の分割と製造の合理化の重要性によるものだと考えられる。また、各部門間の情報伝達は、公式的には図面となっているが、オンライン状態での電算情報の伝達が普及しつつある。

第5節では、住宅の多様化成因及び壁式P C a工法の制約を考察した上で、5社の実務上の対応策と方法についての調査結果をまとめた。対応策としては、規格型とF P型の設計・生産方法の分類、CADなどのコンピュータ技術の運用、設計・生産システムの改良、対象別の標準化手法の確立などがある。P C a住宅における工業化生産特性について、設計と工場生産の両段階から見出すことができ、特に規格型とF P型の運用、型枠の転用方法などが重要であると述べた。

これらのP C a住宅の生産概要に対する考察を踏まえて、設計から工場生産への部材展開を考慮し、設計論、部材論、工場生産論を本研究の工業化生産論の各論として分析を展開する。

第3章 P C a住宅の設計

第1節 設計方法

1. 構法基準
2. 設計方法の分類
3. C A D技術の運用

第2節 設計業務の展開

1. 規格設計と自由設計の運用
2. 設計業務の展開
3. P C a住宅「商品」の整備

第3節 P C a住宅「商品」の姿運

1. 時系列から見た「商品」の分布
2. 住戸プランの特性と変化

第4節 規格型とF P型における建設事例

第5節 まとめ

余 白

第1節 設計方法

P C a住宅の設計が、普通の建築設計と異なる点は、工業化生産の要求と制約を守らなければならないことである。

工業化生産の要求と制約を守るためには、次の点に留意する必要がある。

- ① 在来工法の設計に比べて、はじめから工場製造、運搬、組立などの生産条件によって部材計画をたてること。許容範囲だけではなく、生産効率の考慮も不可欠である。
- ② 部材間の接合と施工法、計画、構造、設備相互間の納まりなどを、すべて設計段階で明確化しなければならないこと。

また、P C a住宅の設計・生産が一貫方式とする場合が多いと前章で述べた。本節では、以上の特性を持つP C a住宅の設計方法に関して構法基準の制定、設計方法の分類、C A D技術の運用などの面から考察する。

1. 構法基準

構法基準は、工業化生産の要求と制約をまとめた設計の規準あるいは仕様となるものである。公的には、日本住宅公団（現：住宅・都市整備公団）のP C a住宅標準仕様書などが広く使用されているが、それぞれの業者が自社の生産方式と特性を考慮して構法基準を制定することも見られる。

構法基準は、一般的に次の各項から構成される。

- ① 適用範囲の指定。
- ② 躯体の寸法構成。
- ③ P C a板の板割、板長、板厚などの制約
- ④ 部分詳細
- ⑤ ジョイントの配置基準と詳細

同じ壁式P C a工法でも、階数が異なると、壁板厚などの躯体要素及び準拠する基準や指針などが異なるので、構法基準としては個々に対応しなければならない。従って、適用範囲は構造形式と工法のほか、特に適用階数によって区分される。例えば、中層（3～5階建て）に適用する構法基準と高層（6階建て以上）に適用する構法基準は、共通部分もあるが、それぞれになる場合が多い。

躯体の寸法構成には、平面構成のモジュール化と階高の決定が最も重要である。モジュールは、構成材（P C a部材）のサイズを決めるための寸法の体系で、工業化の基礎といわれている（参考文献1～27）。壁式P C a工法においては、特に型枠の互換性、転用性などに大きな意味を持っている。中低層（5階建て以下）の場合、S P H標準設計はモジュール150mmを採用し、今まで延用してきた。150mmは、一般住宅平面計画に用いられている「間」というモジュール900mmの約数であり、構造壁厚に等しいものでもある。こういう意味では、高層の場合は階数によって壁厚が50mmずつ変化するので、モジュールは50mmを採用したものが多く、また必要に応じて、補助モジュールで対応することもありうる（図3-1-1）。但し、型枠資材の改良などによってP C a板サイ

ズの連続変化に対応できるようになっているので、モジュールを考慮しない生産者も見られている（第2章第5節）。

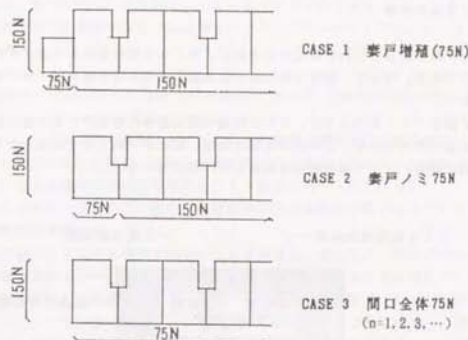


図3-1-1 モジュールと補助モジュールによる平面計画

高価かつ複雑なP C a階段用型枠及び壁板用型枠を有効に転用するために、P C a住宅の階高を固定することが一般的である。特に、標準設計のシリーズでは住戸プランが幾つかあるが、すべて同じ階高になっている。標準設計によらない場合、いわゆる自由設計においては、型枠のシステム化あるいは複数の型枠を整備すれば、いくつかの選択が可能であるが、予め構法基準として指定する必要がある。

P C a板の板割、板長、板厚等については、予め工場生産条件、運輸条件、現場建方条件を明確化し、制約を定量化する。例えば板長の制限、板重量の制限、板厚の決め方などがある。

部分詳細では、特に工法による重要な部分の詳細及び施工法を決める。例えばはねだし部分、屋根の勾配の取り方、板の接合部の防水詳細などがあり、電気・設備関係の納まりなども含まれている。

P C a板のジョイントは、構造解析上の合理性だけでなく、組立及び接合作業における品質保証の容易さなどを考えなければならない。そのため、ジョイントの種類ごとに詳細と施工法、配置の個数と間隔を基準としてまとめておき、設計をルール化する。

構法基準は、最も基本的な制約と許容範囲であり、原則として、どの建設対象に対してこの範囲を超えてはいけない。否とすれば、他の工法によるべきである。しかし、製造

方法の改良や生産設備の進歩などによって、壁式PCa工法は適用範囲を広げ、制限を緩めつつある。構法基準も常に生産技術の進歩に追いつけて更新しなければならない。また、設計方法としても用いられる基準であるので、具体化と定量化することは不可欠である。

2. 設計方法の分類

工業化生産の要求と制約を満足するために、PCa住宅の設計と生産が密着していることが明かである。従って、設計方法の区分は生産の進行方法と離れず一体に考慮しなければならない。

まず、図3-1-3のように、PCa住宅の構法基準が壁式PCa工法の設計・生産の限界であると考えられる。この限界を越えれば、仮に同一の工法で対応したとしても、新しい技術の開発によって適用範囲を拡張しなければならない。



図3-1-2 PCa住宅の設計・生産範囲の区分

次に、適用範囲の中でも設備、特に型枠資材の保有状況による対応能力の区別がある。保有している型枠の転用あるいは型枠資材を新しく組み合わせることによって対応できる範囲は、通常生産範囲という。逆に必要な型枠を保有しておらず、しかも資材も新しく作らなければならない対象範囲については、生産が不可能ではないが、コストアップになりやすいと考えられる。この範囲の設計・生産を、ニュープランという意味で「NP型」という。

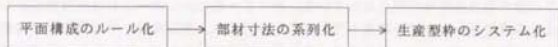
また、通常生産範囲の中で、工業化生産の標準化などの要求を満足するように一部を規格化することがある。これを規格化範囲という。その基本思想は

$$\text{標準平面シリーズ} = \text{部材の標準化} + \text{組み合わせルール}$$

のようである。住戸平面のシリーズ化の目的は部材生産の合理性にある。つまり、一定種類のPCa板でできるだけ多くの住戸プランを作ることの必要性が生じてくる。実務上で

は、標準平面の1シリーズに対応して1式の型枠を整備する。これで、型枠が成形した状態で数多くの工事に繰り返し使用でき、セットするための手間が低減できる。この範囲の中で、さらに受注生産か、計画生産かの違いによって「規格型」と「固定型」に分類されている。固定型は、規格化された平面シリーズの中の最も需要の見込みが大きくかつ変動の可能性が小さい住戸プランを見込み生産する。この場合、受注の時期を問わずに生産を連続に行うので、受注生産の工事転換時に発生する手間を省略できる。

通常生産範囲の中で規格化されていない部分をフリープランの「FP型」という。その基本思想は



にある。これによって、標準平面シリーズによらず比較的自由に住戸平面を設計する場合には、保有した型枠の資材を新しく組み合わせることで対応できるようになる。FP型は生産性を保ちながら住宅の多様化に対応する手法として一般的に用いられている。

では、以上のようにPCa住宅の設計・生産範囲の区分を明らかにした上で、それぞれの設計方法の特性を考察する。

規格型、固定型のような予め標準平面シリーズを制定し、それによって個々の住宅を設計する方法を規格設計という。いうまでもなく、規格設計において最も重要なのは標準平面シリーズの制定である。標準平面シリーズは一般的にPCa住宅メーカーの「商品」として現れている。ここでいう「商品」は、標準平面そのものが売り物ではなく、建築物を販売するための、明確化された諸要素をまとめたものと理解すべきである。

規格化されたPCa住宅の「商品」は、次のように構成される。

- ①カタログが作られている。
- ②住戸プランがシリーズ化される。
- ③階高、スタイル、仕様が統一化される。
- ④価格が明確である。
- ⑤変更可能範囲が提示される。
- ⑥標準設計図・標準仕様書及び生産環境が整備される。

もともと建築生産の工業化のメリットの1つは、見本ができることといわれている。PCa住宅は規模が比較的大きいので、戸建の工業化住宅のように展示用モデルハウスが建てられるわけではないが、この場合、建物のスタイル、間取り、仕上げ仕様などを明示したカタログを整備することが重要である。これによって、需要者としては、企画の早い段階で、選択の幅、選択の基準ともに明確になる。

「商品」の住戸プランは、住戸面積、間取り、桁行梁間寸法、アクセス方式などによってシリーズ化され、階高、内外装などの仕様が標準化されている。従って、ある住棟規模に基づく標準価格の設定も可能である。図3-1-3には標準プランシリーズの例を示している。

これらは、標準設計あるいは標準プランともいわれるが、生産業者社内規格として現れるものとして、かつ公的なSPHなどの標準設計と区別するために、規格設計というわけである。一般的に、「商品」はすべて固定ではなく、間口、奥行の寸法などの基本的な約

束を崩さない限り、例えば間取りの変更、開口の変更などが可能である。また、勾配屋根か陸屋根か、P C a 階段か鉄骨階段か、その他の設備・仕上げの仕様を予めオプション化し、建設対象が具体化した設計段階で、変更あるいは選択できる。但し、B社のように、数少ないタイプに絞ってすべての仕様を固定し、需要が発生前にも計画生産することも見られる。このような方法は、固定型という。

先ほど住戸プランシリーズ化の目的が部材生産の合理性にあると述べた。図3-1-3から見ると、同じ型枠で作れるように、バルコニーの形状と寸法、階段形状などが統一され、他の部材にも型枠の簡単な移動などで対応できるように設計されている。

S P H標準設計の使用が廃止されて以来、各P C a住宅メーカーは自社販売商品として、数多くの標準平面シリーズを開発して生産を行ってきた。商品化は一時低層住宅や高層住宅なども対象としていたが、現状では、中層賃貸住宅に絞られている。但し、前章の調査結果からもわかるように、規格化手法の運用は設計に留まることもある。この場合、例えば生産と連動しなくても、住宅生産の商品整備上の意味が否定できない。

自由設計は、F P型とN P型における設計方法を指す。個別設計とも呼ばれるように、規格型などの標準平面や仕様などの制限がなく、個々のプロジェクトに対して比較的自由な住戸空間が設計できる。但し、自由設計といっても在来工法の設計と異なり、工業化生産のための構法基準及び工場生産の生産効率を考慮しなければならないのである。このため、特にF P型には、重要な生産設備となる型枠あるいは型枠資材が転用できるように、上述したような平面構成のルール化、部材寸法の系列化、生産型枠のシステム化を講じる。また、型枠の保有状態を把握する必要がある。

平面構成のルール化には、モジュールの運用や壁の合理配置などが重要である。さらに、部材分割において、部材の平面寸法や厚さなどの系列化、ジョイントなどのディテールの統一によって工区内標準化を行う。生産上では、型枠のシステム化と有効な転用によって、生産効率を向上することが可能である。

さらに、型枠あるいは型枠資材の保有状態を把握するために、過去の実績をまとめることが有効である。調査した会社から見ると、実績のデータを管理するシステムの整備を、社内商品体系の構成とすることが一般的である。

このような自由設計の応用は、複雑な形状の敷地に建てる住宅や、規格化されていない高層住宅や、性能要求の多様な分譲住宅などを対象としている。

以上の考察に基づいて、P C a住宅の設計・生産範囲について固定型、規格型、F P型、N P型に分類してきた。それぞれの建築の諸要素におけるあり方を表3-1-1にまとめた。表中の<?>はN P型のプロジェクトごとによる項目であり、必ずしも標準か、自由かのように表現できないものである。

本研究においては、以上の分類を1つの前提とする。設計論だけでなく、工場生産論での分析や生産性へのシミュレーションなどにおいても、これに基づいて行うのである。特に、規格型とF P型は主要な対象となっている。

表3-1-1 建築諸要素におけるP C a住宅設計方法のまとめ

| | スタイル | 住空間 | 躯体寸法 | 階高 | 開口 | 設備・仕上 | 詳細 | 型枠 | 商品整備 |
|------|------|-------|-------|-----|----|---------|----|------|--------|
| 固定型 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 標準 | 固定 | 商品メーカー |
| 規格型 | 固定 | シリーズ化 | 固定 | 固定 | 可変 | オプション選択 | 標準 | 外周固定 | 空間メーカー |
| F P型 | 自由 | 自由 | シリーズ化 | 系列化 | 自由 | 自由 | 標準 | 新規型枠 | 事例メーカー |
| N P型 | 自由 | 自由 | ? | ? | 自由 | 自由 | ? | 新規製造 | 無し |

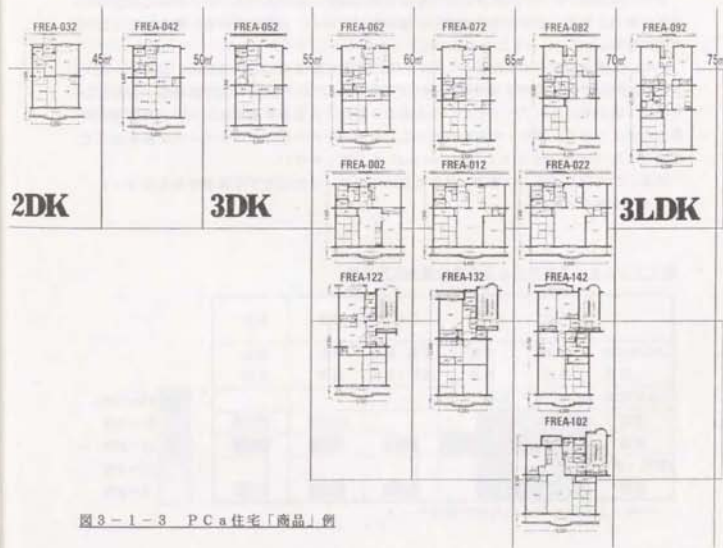


図3-1-3 P C a住宅「商品」例

3. CAD技術の運用

CAD (Computer Aided Design) 技術の運用は建築業全般に関心度の高い課題である。その実用化によって、設計情報の統合化、設計業務の省力化と質の向上などのメリットがあるといわれている。建築設計に実際に応用されているCADシステムは、以下の種類がある。

- ① 建築設計全般の中での、意匠、構造、設備などの各分野における設計支援システム。
- ② 構造解析、斜線制限、日影規制などシミュレーションシステム。
- ③ いわゆる、建築製図のためのCADシステム。

しかし、さまざまな電算技術、情報技術の応用に関する研究と開発が活発に行われているが、建築設計・施工においては、建築の多様性と3次元的な構成、業務の分離と重層構造などによって、設計の各分野における一貫したCADシステムの利用及び、CADとCAM (Computer Aided Manufacturing) との連動の例がまだ少ない。

CAD技術の運用について、工業化生産システムとしての壁式P C a工法においては特別な意味を持っている。

まず、規格化、システム化されたP C a住宅の設計におけるCADシステムの運用は、情報の管理と転用に有効な手段であり、補助だけでなく、自動化設計を一層進めることも可能である。

次に、工業化工法の一貫技術として、設計と生産が密着性しているので、CADシステムとCAMシステム間の情報伝達あるいは連動によって、現場施工より機械化・自動化しやすい工場生産に設計データを用いた生産の自動化と多品種少量生産システムの実現は可能である。つまり、設計・生産を統合化し、建築のモデル化とデータベースを基本とした、建築C A E (Computer Aided Engineering) を目指しやすい。

では、CADシステムの実際の使用状況について、5社に対する調査結果を図3-1-4のようにまとめた。

図3-1-4 各社のCAD技術の運用状況比較



→: よく行うCAD情報の転用ケース

まず、採用しているCADシステムから見ると、A、C、E3社は自社のシステム開発を行っている。生産量が一番多いA社では、P C a住宅専用の意匠から板図作成の生産設計までを一貫としたシステムが開発され、かなり高い使用率が示されている。また、規格型用とF P型用システムは、それぞれ独立になっている。規格型には、外構などの特殊部位を除いた主体の設計に関して、相当程度の自動化を実現している。F P型に適用するCADシステムには、図形データと数字データを併用し、このデータを用いて工場での型枠自動墨出しを実現した。

C社は汎用の建築製図CADを使用するほかに、P C a住宅の構造設計及び構造設計データを用いた板図作成の生産設計の自社用システムを開発した。ゼネコンであるE社が開発したのは、建築設計の汎用システムであるが、P C a住宅の設計におけるCAD利用には、他社と同様に構造設計と生産設計を中心としている。

また、それぞれの分野における使用を見ると、各社とも構造設計への使用率が一番高く、次に生産設計への応用に注目している。規格型とF P型と両系統に区分している場合は、規格型のCAD使用率が明らかにF P型のそれを上回っている。

さらに、CAD情報の共用については、構造設計と生産設計との間で最も重要かつ有効と見られている。この方法としては、構造設計の板割付及び配筋などのデータを用いて、標準詳細によって板図を作成し、その上で電気・設備関係を追加する。

このように、P C a住宅の設計におけるCAD技術の運用には各社とも積極的であるが、情報の統合及び生産との連動は、一般の建築設計と同じく、円滑に行われているところがまだ少ない。特に、現状では設計部門と生産部門、本社と外社のそれぞれが異なるシステムを採用していることが多い。

第2節 設計業務の展開

1. 規格設計と自由設計の運用

P C a住宅の設計方法は大きく規格設計と自由設計に分類できると前述した。また、規格設計が設計・生産範囲の区分の固定型と規格型を対象とし、自由設計がF P型とN P型を対象とする。N P型の設計は、特殊なプロジェクトに対してさまざまな検討あるいは技術開発を加える必要があり、個別的な設計業務として捉える。従って、通常の設計業務は固定型、規格型、F P型を対象としたものであると考えられる。これらの運用については、生産まで連動するかどうかを問わず、調査した5つの会社の単に設計業務の現状を表3-2-1にまとめた。これをみると、運用方式を分離方式、連続方式、単一方式に分類することが可能である。

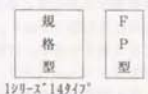



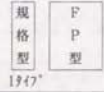
分離方式では、規格型やF P型がそれぞれ独立したシステムとなる。その代表例としてはA社とE社がある。特にA社の場合は、規格型とF P型における設計方法、担当者、技術力、C A Dシステムなども異なる。これに対応して生産上でも生産工場、生産ライン、型枠の運用方式などが規格型かF P型かによって区分されている。E社は規格型の標準住戸平面タイプが少ないが、それに対して一式の標準仕様や設計図などを整備し、自由設計と明確に区別している。但し、規格化は設計の段階にとどまり、生産との連動までには至っていない。

連続方式は基本的に規格型やF P型を区分するが、標準タイプの部分的な変更あるいは拡張で連続して使用できるようにする。この方式を採用しているB社は、規格型を中心とした展開となっており、P C a住宅においては比較的多い3シリーズ29タイプの使用や新旧標準タイプの同時使用などによって、需要者に広い選択幅を与えている。また、特に一般性のある2タイプを固定型として計画生産し、特殊な要求の多いプロジェクトに対しては規格型に基づく変化に対応する。これによって、対応性と生産性のバランスがとりやすく、設計方法としても連続性を持っている。但し、この場合には一般的に標準平面タイプが比較的多くなりやすく、またそれに基づく変更及び許容範囲を明確にするために、有効な管理技術を講じる。

単一方式は、設計・生産が固定型、規格型、F P型のどれか1つのみとする方式である。但し、調査した対象からみると、C社とD社の2社ともF P型のみとなり、固定型あるいは規格型のみ単一方式が見られない。これについては、単に規格設計では多様化する需要への対応が困難だと考えられる。D社がF P型の単一方式になっているほかに、C社は数少ないタイプを規格型の標準設計と指定しているが、標準設計資料の整備と実際の運用には至っておらず、実際にF P型のみを運用している。この方式は、R P C a工法を中心とするC社とP S技術を持つD社のような多角経営会社に用いられる場合が多い。

従って、専門的あるいは生産量の多いメーカーであるほど、分離方式と連続方式になる場合は多い。P C a住宅生産が専門でなかったり、生産量の少ないメーカーでは、F P型のみ単一方式を採用している。調査対象には入っていないが、特に公的住宅を主要生産対象とする中小メーカーは、固定型あるいは規格型のみ単一方式になっているところも有り得る。

表3-2-1 規格型やF P型などの運用

| | 規格化過程 | 規格型やF P型などの運用 |
|----|--|---|
| A社 | ・規格型とF P型の「商品」開発と管理システムを確立し、常に開発と更新を行っている。 |  |
| B社 | ・分譲用や賃貸用、公的や民間に対してそれぞれの規格「商品」を開発した。 ・新旧タイプを同時に運用している。 |  |
| C社 | ・S P H後自社標準タイプが開発されたが、それに対応した生産環境の整備は行われていないようである。 |  |
| D社 | ・過去の実績に基づく設計プラン集をまとめている。 |  |
| E社 | ・標準化は図面レベルまでに留まり、生産との連動までには至っていない。 |  |

2. 設計業務の展開

設計業務の展開については、規格型とF P型を分離したA社の現状(表3-2-2)を例として分析する。

まず、設計業務の進捗を見れば、規格型は設計業務と設計対象とも開始段階から明確になり、設計が単方向に進む場合が多い。逆に、F P型の方は仮定・提案的なことが多く、設計が繰り返して行う場合が多い。時間からみても、規格型はF P型より設計工期を短縮することが可能である。

次に、一般的に施工段階を行う生産設計は、P C a住宅の場合には設計業務の一つとして行われている。つまり、建築物の性能を設計するいわゆる一般の設計段階と生産設計段階が連続となり、設計段階での生産効率の考慮及び情報の転用などを図りやすい。この場合、所要時間から見ると、全設計業務の30%~35%が生産設計に占められている。

また、技術力の分配を見ると、規格型には、大型コンピュータと一貫ソフトで自動設計を導入し、設計者の技術力の要求が比較的低下している。逆にF P型は技術者中心の設計となっている。C A Dも応用されているが、規格型の設計に異なるシステムとデータ形式になっている。

表3-2-2 A社のP C a住宅設計業務のプロセス

| | 規格型 | F P型 |
|-------|--|-----------------------------------|
| 適用対象 | 賃貸住宅、個人需要者、小規模 | 分譲住宅、ワンルーム、大規模 |
| 建物特性 | 間取りが狭い。価格がやすい | 間取りが多様。価格が高い |
| 適用地域 | 郊外 | 都市から郊外も |
| 生産比率 | 全生産量の約8割 | 全生産量の約2割 |
| 担当部門 | 営業部門、設計部門 | 営業部門、設計部門 |
| 業務内容 | 敷地内配置、規模(面積、戸数)、法的チェック、金融収支計画、概算 | 配置、専有面積を含むボリューム設定の目安を付け、工事費を想定する |
| 提出書類 | 配置図、収支計画表、大概算見積書 | 規格型に同じ |
| 所要時間 | 3~4日 | |
| その他 | 賃貸で進めると、F P型になることはほとんどない タイプはプランごとにする | 梁間、桁寸法は同じであれば同じタイプとする |
| 担当部門 | 設計部門(規格型専門部署がある) | 設計部門 |
| 業務内容 | 役所調整、土地測量、プランニング 平立面提案、公庫融資 | 配置、プランニング、概算見積 設計条件変更による再設計が多い |
| 構法要約 | | 階高、モジュール、壁量を検討 |
| 生産要約 | | 既往実績、型枠の保有状態 |
| 提出書類 | 平立面図(本体は全てC A Dによる) | 配置図、スケッチプラン、概算見積書 |
| 設計見積書 | | |
| 所要時間 | 図面だけでは3~4日 | 繰り返す設計の方が多い |

| | | |
|----------|--|--|
| 業務性格 | 0次設計の再確認 実施設計に近い | 0次設計と繰り返して行うことが多い |
| 担当部門 | 同基本設計 | 同基本設計、構造設計課 |
| 業務内容 | タイプ別標準データを入力し、9割の図面はC A Dにより作成される。特殊な部分は手書きになる。 | 平面詳細図(手書き)、構造設計 |
| 構法要約 | 階段などのC A D化しにくい部分は標準化されている | 構造設計には自社のルールに従って板割付を行う。 |
| 生産要約 | | 構造設計者は生産に関する知識が必要である在庫型枠、既往実績がほとんど考慮されないが、同じプロジェクトの中にタイプ数を意識する。 |
| 提出書類 | 実施設計図、積算見積書(明細) | 実施設計図、積算見積書(明細) |
| 所要時間 | | |
| 業務性格 | | 意匠設計には普通と大別がない |
| 担当部門 | 製造部門 | 製造部門 |
| 業務内容 | 2次設計の標準データと構造設計データに従って、C A Dは9割の板図(周辺と開口)が自動作成できる。それの上に電気設備関係を入力する。 | ①構造設計に基づいて型枠の転用のための板符号を付ける。②型枠計画用板図を提出する。③開口、電気、設備、配筋関係を入力する。④板図提出生産状況にあわせた対応を行い、プランに影響のない限り変更ができる |
| 生産要約 | 生産の液により、工程調整がある。 | |
| 所要時間 | 2~2.5ヶ月 全設計量の30~35%を占める | 3~3.5ヶ月 全設計量の30~35%を占める |
| 設計者 | 3年以上の経験が必要 | 5年以上の経験が必要 |
| 計算機 | 大型コンピュータ | パソコン |
| ソフトウェア形式 | 意匠から板図まで連動の専用ソフトウェア形式 | 汎用C A D、構造と板図のみ連動図形データ+数値データ(C A M化しやすい) |
| データ管理 | メモリ 対話部品登録方式 | フロッピーディスク データ(座標、部品登録)を入力 自動作図方式 |
| オペレータ | 建築の知識を必要としない | 設計者の3割に建築の知識が必要(1年教育) |
| C A D化率 | 意匠(90%)、構造計算(95%)、構造図面(90%)、電気設備(90%)、板図(80%) ディテールは標準図による 記号化、リストなどができる | 意匠(50%) 構造計算(95%)、構造図面(90%)、電気設備(20%)、板図(80%) ディテールは標準図による 連動しない |
| 積算C A D | | |

3. P C a住宅「商品」の整備

営業の展開や生産性向上などを目的として、標準設計あるいは実績を「商品」という形にまとめたことは、P C a住宅の設計・生産の大きな特徴である。但し、これらの「商品」は永久不変ではなく、時代の進歩、社会要求の変遷などに対応して、「商品」体系自身が常に更新、再生の機能を持たなければならない。「商品」の新旧交替過程における設計・生産システムの柔軟性を実現する行為を、商品整備という。

商品整備の目的は、

- ①「商品」に関する設計・生産情報の整備及び統合化
- ②「商品」内容の陳腐化の防止
- ③「商品」の設計・生産プロセスにおける責任の明確化

などにある。これを実現するために、関連各部門の有機的な組織化による商品整備システムの確立が不可欠である。A社のシステムを例として、図3-2-1にまとめた。

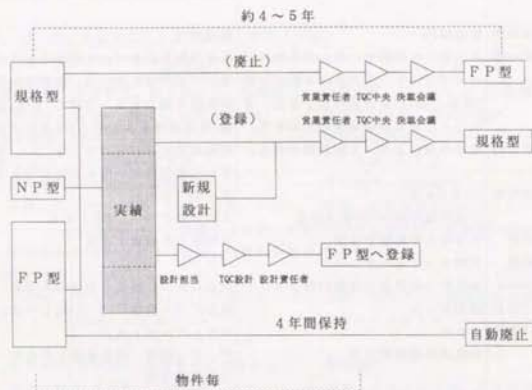


図3-2-1 A社の「商品」整備システム

規格型の登録と廃止は生産・販売状態にもよるが、原則的に生産の連続性及び型枠費用の償却を考慮して4~5年ごとで行う。更新する場合は、営業担当者が市場状況、需要者要求などをまとめた新しい「商品」形態を提案し、TQC(全面品質管理)中央委員会に

よって各部門の協議を行い、決裁会議を通じて実現する。新しく登録された「商品」には設計・生産環境の整備が必要である。廃止された「商品」に対しては、生産経緯と型枠などを保有しているので、F P型に移行することになる。

F P型には、主に設計部門で判断された代表的な実績を登録し、設計情報と型枠を一定期間に保存する。登録は物件ごとに行い、決まった期間を過ぎると、自動的に廃止される。

一般製造業においては、ほとんど計画生産であるため、生産対象の転換には材料、道具、作業者、作業手順などを一斉に換えることができる。P C a住宅の場合は、固定型のほかはすべて受注生産体制になっているので、「商品」の登録から生産条件の整備、生産開始までに、転換が長時間に渡る。

P C a住宅「商品」の整備の手順については、

- ①商品登録
- ②カタログ、設計資料の整備
- ③営業活動の開始と受注量のまとめ
- ④個々の実施設計
- ⑤生産環境の整備
- ⑥生産開始

などがある。「商品」の登録に伴い、カタログ、設計資料の整備が必要になり、この時点では規格上あるいは名義上「商品」として成立するが、生産の実現には必要な需要量をまとめることが重要である。需要量が少なく、専用型枠などの整備まで至らない場合も少なくないといわれている。需要量をまとめてから、個々に対する実施設計を行いながら、専用型枠を製造し、生産開始が可能な状態に入ってくる。この整備の過程は8ヶ月から1年かかるといわれている。

第3節 P C a住宅「商品」の変遷

1. 時系列から見た「商品」の分布

P C a住宅の生産が始まって以来、標準化は常に生産合理化の重要な課題である。公的住宅の標準化の産物SPH標準設計の使用は廃止されたが、P C a住宅生産者は、社内規格設計の開発が今でも依然として活発である。その規格設計は前述のように、P C a住宅「商品」として姿が現れている。

では、P C a住宅「商品」の変遷について、A社の商品開発以来のカタログを集め、発売時期で構成項目などを整理した(表3-3-1)。

「商品」は、5階建て以下の壁式P C a工法によるものを中心とするが、単一でなく、P C aユニット工法の戸建住宅やH P C a工法による高層住宅なども見られる。また、一つの名前付きの「商品」は、同一工法による高層住宅なども見られる。また、複数の工法による多シリーズで構成される場合も多い。例えば、分譲住宅を対象とした「C」と「E」は、低層、中層、高層などをまとめた膨大な商品群になっている。

これらの「商品」を発売時期と用途などで図3-3-1のように表現すると、幾つかの特徴が見られる。

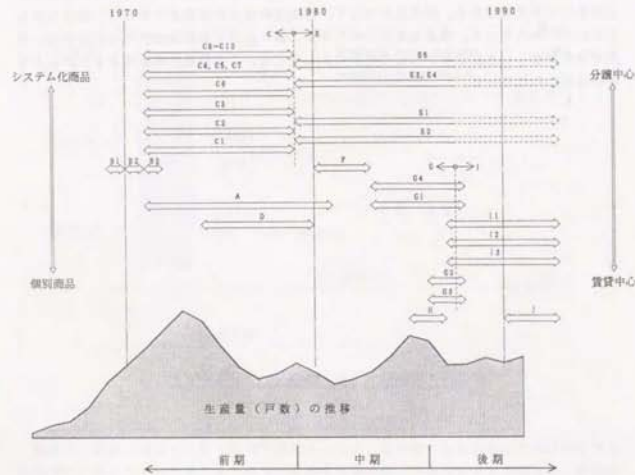


図3-3-1 時系列から見たP C a住宅「商品」の分布

表3-3-1 P C a住宅「商品」一覧

| 商品名 | 販売時期 | 階数 | 構造、工法 | プラン形式 | 住戸数 | 用途 | 発売時期 | 面積 | 特徴 | 開発者 |
|-----|---------|-----|-------|-------------|-----|----|---------|---------|-----------|-------|
| A | 1971.10 | 4-5 | 壁式 | 107-109-111 | 24 | 分譲 | 1971.10 | 2.33 | S P H標準設計 | リオン発行 |
| B | 1971.10 | 2-3 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 48-64 | リオン発行 | リオン発行 |
| C | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 102-118 | リオン発行 | リオン発行 |
| D | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| E | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| F | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| G | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| H | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| I | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| J | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| K | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| L | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| M | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| N | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| O | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| P | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| Q | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| R | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| S | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| T | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| U | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| V | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| W | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| X | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| Y | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |
| Z | 1971.10 | 2 | 壁式 | 111 | 13 | 分譲 | 1971.10 | 118 | リオン発行 | リオン発行 |

まず、時期的に横軸から見ると、前期、中期、後期に分けることができる。

前期はP C a住宅生産の初期段階であり、公的な標準設計の採用と同時に、公的住宅、民間住宅、独身寮、戸建住宅などに対して自社規格「商品」を整備した。特徴としては、種類が多く、かなり広い範囲の商品化を行っていることである。これは一方、商品化の形成段階であるので、対象や市場が明確になされていない状態とも考えられる。この時期の「商品」は、開発されたものよりも、現在のF P型の商品整備のように、代表的な実績に基づき、修正や改良や追加などで作られたものが多く、年度別の「商品」(B1、B2、B3などの名称となっている)が見られるわけである。

前期と中期の区分は、「C商品」から「B商品」への転換時点を捉えている。中期には、主に分譲住宅と賃貸住宅を対象とし、用途区分による「商品」の形成が特徴である。多様な分譲住宅に対して、「商品」は、できるだけ需要者のありうる要求を考慮して予め数多くのタイプを設計しておき、選択範囲を広げる。民間賃貸住宅専用の「商品」は、中期の後半にはじめて登場した。2階建ての低層で、住戸面積の比較小さいタイプを中心としているが、シリーズごとに建築物のスタイルが多様である。この時期の「商品」は、需要者へ、用途によって特定範囲内の多対象の選択を与えるようなシステム構成になっている。

後期は、民間賃貸住宅「商品」変化の先がけの登場から区分した。この時期には、すでに分譲住宅用の商品開発が見られなくなり、「商品」が賃貸住宅に絞られてきた。賃貸住宅「商品」は、社会需要の変化に伴い、中期の低層タイプから3～5階建ての中層用タイプが中心となっている。もう1つの特徴としては、都心、郊外の適用地域指向、ファミリータイプと高級タイプのレベルなどを区分した「商品」構成となっている。つまり、多対象だけでなく、多レベルの選択が可能になっている。一方、分譲住宅に対しては、形式上中期の「商品」を運用し続けるが、実際にはほとんどF P型で対応していることが現状である。この場合、代わりに実績による「商品」の整備がよくみられてきた。

図3-3-2は、3時期の「商品」の特性と変遷のまとめである。

次に、図3-3-1の「商品」の構成と指向を示した縦軸から見ると、数多くのシリーズにより構成された「商品」は分譲住宅中心で、タイプ数の少ない個別商品は賃貸住宅対応になっている。「商品」の構成規模も大から小への傾向が見られている。

また、戸数の生産量の変化と合わせてみると、前期から中期の転換の背景としては、公的需要の急激減少と性能発注の採用があげられる。民間事業の市場開拓が重要になる一方、P C aメーカー自身の設計と商品体制を強めることが急務となり、これによって、量産体制から受注生産体制に移行し、工法の適用も公的住宅の中心から民間住宅へ進出してきた。中期から後期の転換は生産量の山に当たっている。その時点は民間賃貸住宅の需要が急激に増加し、新築住宅戸数における賃貸用住宅戸数の比率が大きくなっている。この社会的要請に対応した「商品」開発に伴い、賃貸住宅を中心としたP C a住宅の新しい展開が始まり(図3-3-3)、現在まで続いている。

最後に明確にしなければならないのは、「商品」の開発と運用が市場の開拓と生産環境の整備に大きな意味を持っているが、「商品」数の変化が必ずしも生産量の変化と一致していない。P C a住宅「商品」の要請は、標準化あるいは規格化の方法を追求する過程だといえる。従ってP C a工法の生産上のメリットを追求する一方で、需要者、用途、地域などの諸条件を配慮した商品化の範囲は、需要のまとまりやすい、一括で対応の容易な賃貸

住宅に絞られたわけである。需要が分散し、要求が多様な分譲住宅などには、設計のルービ化と生産型種のシステム化に基づいたF P型で対応してきた。

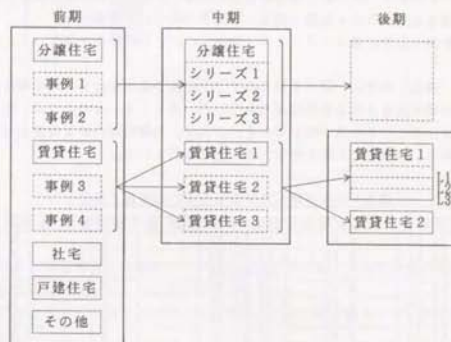
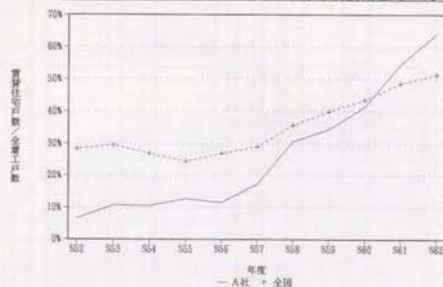


図3-3-2 時期別P C a住宅「商品」の特性と変遷

図3-3-3 全着工住宅戸数における賃貸用住宅の比率



2. 住戸プランの特性と変化

住戸プランは必ずしも工法と関係あるといえないが、住宅の平面特性及び変遷に対する認識の意味もあり、P C a住宅「商品」のプランについて考察した。

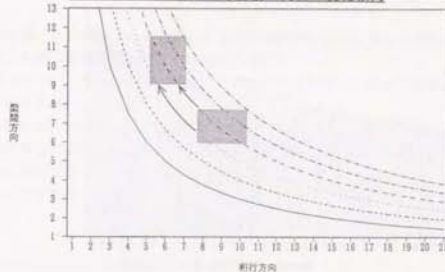
3DKを例として、表3-3-1の「商品」のプランの特性を表3-3-2にまとめてある。

同一の「商品」の中に、同じ3DKのプランが幾つもあるのでこれを着目すると、発売順で住戸面積が大きくなる傾向は見られないが、図3-3-4のように、住戸面積が同じでも間口が小さくなる傾向が明かである。これは、民間の散在的な需要に対して、敷地の有効利用あるいは形状に対応しやすいためといわれている。

表3-3-2 「商品」の中に現した3DKプランの変遷と特性

| 発表順 | 専有面積 | バルコニー面積 | 共用面積 | 合計 | 階段 | 廊下 | 庫 | 面賃貸 | 分譲 | 併行 | 壁間 |
|-----|-------|---------|-------|-------|----|----|---|-----|------|-------|----|
| 1 | 46.89 | 6.91 | 4.53 | 58.32 | 1 | 3 | | 1 | 6.75 | 7.50 | |
| 2 | 56.81 | 8.89 | 4.90 | 70.60 | 1 | 3 | | 1 | 8.10 | 7.50 | |
| 3 | 52.65 | 5.62 | 4.69 | 62.96 | 1 | 3 | | 1 | 8.38 | 6.54 | |
| 4 | 58.41 | 6.67 | 4.69 | 69.77 | 1 | 3 | | 1 | 9.26 | 6.54 | |
| 5 | 59.06 | 5.62 | 4.69 | 69.37 | 1 | 3 | | 1 | 8.38 | 7.42 | |
| 6 | 58.67 | 8.51 | 5.00 | 72.18 | 1 | 3 | | 2 | 8.30 | 7.42 | |
| 7 | 61.16 | 7.65 | 5.00 | 73.81 | 1 | 3 | | 2 | 8.38 | 8.30 | |
| 8 | 54.78 | 6.10 | 7.38 | 68.26 | 2 | 2 | | 2 | 5.55 | 9.87 | |
| 9 | 53.02 | 9.35 | 9.35 | 71.72 | 2 | 2 | | 2 | 6.45 | 8.22 | |
| 10 | 54.78 | 8.05 | 8.05 | 70.87 | 2 | 2 | | 2 | 5.55 | 9.87 | |
| 11 | 63.66 | 9.35 | 9.35 | 82.37 | 2 | 2 | | 2 | 6.45 | 9.87 | |
| 12 | 66.75 | 6.91 | 5.59 | 79.25 | 1 | 3 | | 2 | 6.97 | 9.18 | |
| 13 | 51.32 | 9.47 | 5.00 | 65.79 | 1 | 3 | | 2 | 8.38 | 6.45 | |
| 14 | 58.59 | 8.21 | 6.25 | 73.05 | 1 | 3 | | 2 | 6.90 | 9.30 | |
| 15 | 65.38 | 10.44 | 6.25 | 82.07 | 1 | 3 | | 2 | 8.40 | 9.00 | |
| 16 | 57.64 | 9.49 | 6.24 | 73.37 | 1 | 3 | | 2 | 6.90 | 9.30 | |
| 17 | 60.84 | 6.71 | 14.85 | 82.40 | 2 | 3 | | 2 | 5.60 | 12.00 | |
| 18 | 59.74 | 6.71 | 9.86 | 76.31 | 2 | 2 | | 2 | 5.60 | 11.00 | |
| 19 | 51.61 | 6.00 | 7.60 | 65.21 | 2 | 3 | | 1 | 5.55 | 9.30 | |
| 20 | 58.27 | 6.00 | 7.60 | 71.87 | 2 | 4 | | 1 | 5.55 | 10.50 | |
| 21 | 52.45 | 8.92 | 6.48 | 67.85 | 1 | 3 | | 1 | 5.55 | 10.50 | |
| 22 | 58.13 | 9.51 | 6.40 | 74.04 | 1 | 4 | | 1 | 5.50 | 11.25 | |
| 23 | 43.74 | 2.40 | 6.06 | 52.20 | 2 | 2 | | 2 | 5.40 | 8.10 | |
| 24 | 54.59 | 5.86 | 7.95 | 68.40 | 2 | 3 | | 1 | 5.55 | 9.90 | |
| 25 | 59.58 | 5.86 | 7.95 | 73.39 | 2 | 4 | | 1 | 5.55 | 10.80 | |
| 26 | 53.82 | 8.80 | 6.79 | 69.41 | 1 | 3 | | 1 | 5.55 | 10.80 | |
| 27 | 58.86 | 8.48 | 6.24 | 73.58 | 1 | 3 | | 1 | 5.55 | 11.10 | |
| 28 | 46.34 | 5.92 | 4.61 | 56.87 | 2 | 3 | | 1 | 5.55 | 8.35 | |
| 29 | 50.50 | 5.92 | 4.61 | 61.03 | 2 | 3 | | 1 | 5.55 | 9.10 | |
| 30 | 55.50 | 5.92 | 4.61 | 66.03 | 2 | 3 | | 1 | 5.55 | 10.00 | |
| 31 | 54.46 | 5.82 | 8.08 | 68.36 | 2 | 3 | | 1 | 5.55 | 9.90 | |
| 32 | 59.45 | 5.82 | 8.08 | 73.35 | 2 | 4 | | 1 | 5.55 | 10.80 | |
| 33 | 53.82 | 8.74 | 6.78 | 69.34 | 1 | 3 | | 1 | 5.55 | 10.80 | |
| 34 | 58.86 | 8.41 | 6.24 | 73.51 | 1 | 3 | | 1 | 5.55 | 11.10 | |
| 35 | 51.61 | 5.82 | 7.60 | 65.03 | 2 | 3 | | 1 | 5.55 | 9.30 | |
| 36 | 57.19 | 7.53 | 6.31 | 71.03 | 1 | 3 | | 1 | 6.75 | 9.30 | |
| 37 | 65.56 | 8.43 | 6.31 | 80.30 | 1 | 3 | | 1 | 7.65 | 9.30 | |

図3-3-4 住戸の等面積の間口の変化傾向



用途別では、同じ3DKの間取りでも、分譲住宅用プランが賃貸住宅用のより住戸面積が大きいことは、図3-3-5に見られる。

住棟のアクセス方式による住戸プランの特性については、図3-3-6から図3-3-8まで、

- ①階段室式の居住面積におけるバルコニー面積は、廊下式のより大きい。
- ②階段室式の居住面積における共用面積は、廊下式のより小さい。
- ③廊下式のプランの住戸面積は比較的小さい方が多い。

などが分かった。図3-3-7の特に大きい例は階段室と廊下を併用したアクセス方式である。

図3-3-5 住戸面積と用途

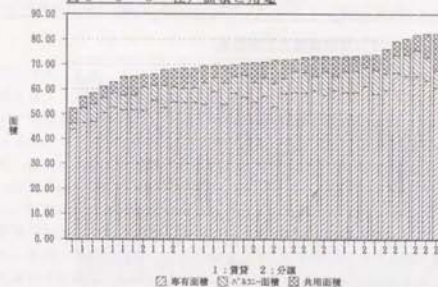


図3-3-6 バルコニー面積と平面形式

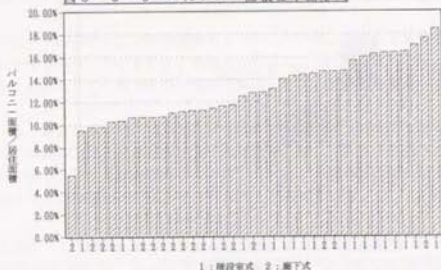


図3-3-7 共用面積と平面形式

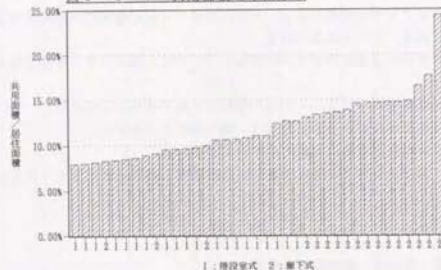
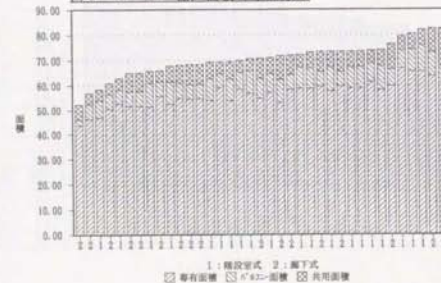


図3-3-8 住戸面積と平面形式



1: 規格形式 2: 廊下式
 □ 専有面積 □ 共有面積 □ 共用面積

第4節 規格型とF P型における建設事例

規格型とF P型を中心としたPCa住宅の設計の方法及び業務の展開などを議論してきたが、実際の建設事例を用いて検証を行う。

表3-4-1には、11の規格型の建設事例を挙げているが、前節に述べた適用対象などの特性が現れている。

- ①建設場所は郊外の方が多い。
- ②需要者はすべて個人である。賃貸用住宅である。
- ③規模が小さい。中層のみ。
- ④タイプ数は少ない。

表3-4-1 規格型の建設事例

| 順 | 所在地 | 事業主 | 敷地面積 | 建築面積 | 延べ面積 | 構造 | 階数 | 戸数 | 棟数 | 主な住戸タイプ | 住戸面積 | タイプ数 |
|----|--------|-----|---------|--------|---------|-----|----|----|----|---------|-------|------|
| 1 | 横浜市金沢区 | 個人 | 998.56 | 411.04 | 1411.74 | PCa | 4 | 20 | 1 | 3LDK | 65.21 | 1 |
| 2 | 横浜市泉区 | 個人 | 1101.44 | 347.10 | 878.15 | PCa | 3 | 15 | 1 | 3DK | 55.40 | 1 |
| 3 | 横浜市金沢区 | 個人 | 991.27 | 306.07 | 781.53 | PCa | 3 | 12 | 1 | 3DK | 60.39 | 1 |
| 4 | 町田市 | 個人 | 1151.28 | 263.66 | 779.08 | PCa | 3 | 12 | 1 | 3DK | 58.86 | 1 |
| 5 | 千葉県柏市 | 個人 | 888.55 | 281.59 | 750.80 | PCa | 3 | 12 | 1 | 3DK | 59.45 | 1 |
| 6 | | 個人 | 1112.00 | 336.38 | 1212.63 | PCa | 4 | 16 | 1 | 3LDK | 67.32 | 1 |
| 7 | | 個人 | 1535.49 | 312.87 | 894.85 | PCa | 3 | 12 | 1 | 3LDK | 67.32 | 1 |
| 8 | 東京都世田谷 | 個人 | 370.90 | 201.67 | 884.00 | PCa | 4 | 11 | 1 | 3DK | 54.46 | 2 |
| 9 | 神奈川県川崎 | 個人 | 1006.13 | 398.72 | 1735.36 | PCa | 4 | 24 | 1 | 3DK | 54.46 | 1 |
| 10 | 千葉県市川市 | 個人 | 534.73 | 215.39 | 696.12 | PCa | 3 | 9 | 1 | 3DK | 59.45 | 1 |
| 11 | 横浜市戸塚区 | 個人 | 1548.02 | 454.84 | 1854.61 | PCa | 4 | 24 | 1 | 3DK | 59.45 | 1 |

表3-4-2には、F P型に属する営業用カタログに記載された約十年間の代表的な43事例を取り上げている。また、その特徴について、図3-4-1にまとめている。

まず、規格型とは異なり、F P型の事例はほとんど民間の不動産会社による分譲マンションである。同じ建物の中いくつかのタイプ（ここでは単に構造体に囲まれた平面形状で判断したものとす）をもつものが一般的であるが、3LDKなど住戸面積の比較的大きいものが中心になっている。

次に、建築規模は規格型の事例より大きい。面積的に大きいほかに、1つのプロジェクトが複数の住棟を含むことが多く、高層住棟の割合も大きい。

また、建設工法は多様で、同一プロジェクトに複数の工法を同時に採用する場合も多い。中層に適用する壁式PCa工法のほかに、高層住棟には同社のPLC工法が多く採用され、SRC、WRC構造の在来現場打設工法と結合する事例も見られている。

さらに、工業化の一括技術で生産するP C a住宅には、設計・施工一貫方式の採用が重要であることを述べてきた。実際に、規格型の場合が生産メーカーの規格プランを使用するので、すべて設計・施工一貫方式と考えられる。F P型の場合には、設計・施工分離方式が多く見られている。ヒアリング調査によると、需要者の設計と施工を分離して発注する要求による場合が多いからといわれる。但しいずれにしても、専門業者が早い段階での設計参与あるいは打ち合わせをすることが不可欠である。

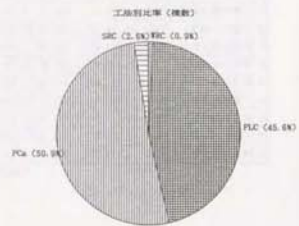
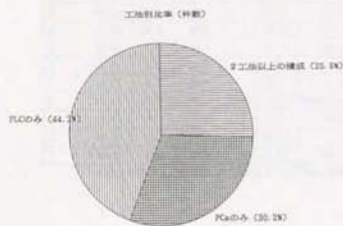
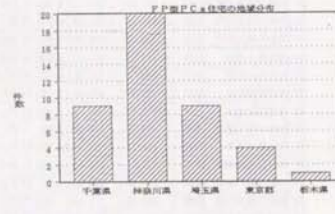
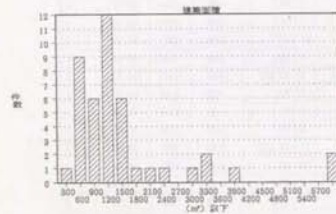
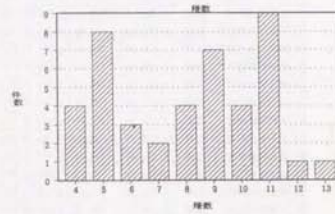
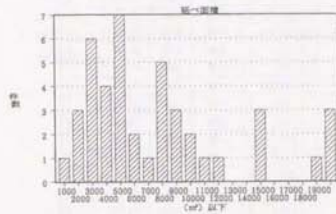
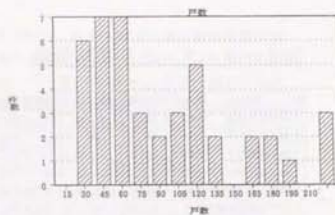
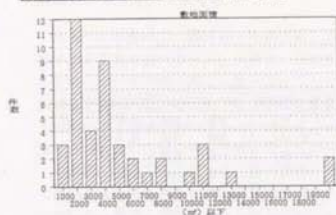
実務的に考えてみると、主に個人需要の建築物においては、規模が比較的小さいので、工事内の繰り返し生産性が見出せなく、高価な型枠の工事内償却が困難である。こういう対象に対しては、プランなどを標準化して複数の工事による繰り返し生産が必要である。また、「商品」として整備されることによって、計画の早い段階に建築対象物が明確になるので、業務の進行にも有利といわれている。規模の大きな分譲住宅などにおいては、工事ごとに型枠の計画と整備を行い、工事内での多くの繰り返し回数による費用の償却が可能である。

表3-4-2 F P型事例集

| 順 | 所在地 | 事業主 | 着地面積 | 建築面積 | 延べ面積 | 構造 | 工法 | 階数 | 棟数 | 設計・施工主 | 住戸面積 | 住戸数 | | |
|----|----------|-----|-----------|----------|-----------|-------------|----|----|-----|--------|------|------|-------|---|
| 1 | 千葉県千葉市 | 民間 | 3,988.09 | 1,422.14 | 7,192.92 | PLC/RC | | 8 | 30 | 2 | 分棟 | 3LDK | 70.69 | 3 |
| 2 | 埼玉県熊谷市 | 民間 | 1,830.71 | 749.71 | 2,971.71 | PCa | | 5 | 49 | 3 | 分棟 | 3LDK | 65.07 | 3 |
| 3 | 埼玉県越前市 | 民間 | 3,949.67 | 951.22 | 5,997.58 | PLC | | 10 | 30 | 1 | 一貫 | 3LDK | 72.72 | 2 |
| 4 | 埼玉県入間郡 | 民間 | 1,027.56 | 549.10 | 2,068.79 | PCa | | 5 | 23 | 1 | 一貫 | 3LDK | 68.70 | 4 |
| 5 | 神奈川県横浜市民 | 民間 | 3,196.57 | 1,018.11 | 4,761.24 | PCa | | 5 | 80 | 2 | 分棟 | 3LDK | 75.15 | 3 |
| 6 | 神奈川県横浜市民 | 民間 | 6,612.59 | 1,525.50 | 11,973.96 | PLC | | 12 | 167 | 2 | 一貫 | 3LDK | 94.08 | 4 |
| 7 | 神奈川県横浜市 | 民間 | 3,692.77 | 476.48 | 3,650.97 | PLC | | 11 | 33 | 2 | 分棟 | 3LDK | 96.02 | 4 |
| 8 | 神奈川県大和市 | 民間 | 3,928.07 | 1,163.06 | 7,484.77 | PLC | | 9 | 117 | 3 | 一貫 | 3LDK | 64.80 | 3 |
| 9 | 東京都小平市 | 民間 | 4,724.54 | 1,268.66 | 9,382.05 | PLC | | 11 | 115 | 2 | 一貫 | 3LDK | 84.21 | 4 |
| 10 | 神奈川県藤原市 | 民間 | 3,850.53 | 1,218.49 | 7,451.23 | PLC/PCa | | 11 | 108 | 4+3 | 一貫 | 3LDK | 72.87 | 4 |
| 11 | 神奈川県横浜市民 | 民間 | 2,129.58 | 649.01 | 4,215.54 | PLC | | 9 | 52 | 1 | 分棟 | 3LDK | 88.65 | 4 |
| 12 | 神奈川県厚木市 | 民間 | 2,595.56 | 1,121.31 | 4,446.99 | PCa | | 5 | 60 | 2 | 分棟 | 3LDK | 87.50 | 1 |
| 13 | 埼玉県深谷市 | 民間 | 3,831.55 | 1,240.43 | 7,713.87 | PLC/PCa | | 10 | 40 | 2+2 | 一貫 | 3LDK | 74.16 | 3 |
| 14 | 埼玉県草津市 | 民間 | 1,274.49 | 519.75 | 2,556.56 | PLC | | 6 | 35 | 1 | 一貫 | 3LDK | 70.34 | 1 |
| 15 | 千葉県野田市 | 民間 | 3,492.90 | 1,092.58 | 6,938.28 | PLC | | 8 | 95 | 2 | 分棟 | 3LDK | 79.26 | 4 |
| 16 | 千葉県船橋市 | 民間 | 10,659.28 | 3,118.05 | 30,707.82 | PCa | | 4 | 125 | 4 | 一貫 | 3LDK | 96.72 | 4 |
| 17 | 東京都葛飾区 | 民間 | 4,254.69 | 1,111.08 | 8,578.70 | PLC | | 11 | 116 | 1 | 一貫 | 3DK | 74.84 | 4 |
| 18 | 栃木県丹内郡 | 民間 | 9,305.05 | 3,720.52 | 38,038.68 | PLC | | 7 | 236 | 2 | 分棟 | 3LDK | 84.51 | 4 |
| 19 | 神奈川県藤原市 | 民間 | 1,979.25 | 671.63 | 4,018.19 | PLC | | 9 | 64 | 2 | 一貫 | 3DK | 57.52 | 4 |
| 20 | 千葉県松戸市 | 民間 | 1,673.31 | 488.53 | 3,314.05 | PLC | | 9 | 45 | 1 | 一貫 | 3LDK | 74.77 | 3 |
| 21 | 神奈川県大和市 | 民間 | 1,301.71 | 340.69 | 2,716.58 | PLC/RC | | 11 | 39 | 1 | 一貫 | 3LDK | 97.13 | 4 |
| 22 | 神奈川県横浜市民 | 民間 | 5,242.89 | 1,120.41 | 8,093.41 | PLC | | 9 | 99 | 1 | 一貫 | 3LDK | 79.78 | 4 |
| 23 | 神奈川県横浜市民 | 民間 | 2,994.00 | 1,123.35 | 4,470.69 | PCa | | 6 | 56 | 1 | 分棟 | 3LDK | 88.15 | 2 |
| 24 | 神奈川県大和市 | 民間 | 3,406.93 | 1,043.12 | 7,478.45 | PLC | | 11 | 109 | 3 | 分棟 | 3DK | 60.99 | 2 |
| 25 | 埼玉県入間郡 | 公約 | 3,267.71 | 1,034.13 | 5,036.40 | PCa | | 5 | 50 | 2 | 分棟 | 4LDK | 90.57 | 1 |
| 26 | 埼玉県蕨市 | 民間 | 4,143.73 | 1,482.34 | 6,177.98 | PCa+PLC | | 9 | 97 | 2+2 | 分棟 | 3LDK | 70.80 | 2 |
| 27 | 東京都葛飾区 | 民間 | 1,269.37 | 478.58 | 2,689.37 | PLC | | 9 | 30 | 1 | 一貫 | 3LDK | 99.10 | 2 |
| 28 | 埼玉県新座市 | 民間 | 5,011.30 | 1,221.16 | 9,981.38 | PLC | | 10 | 127 | 2 | 一貫 | 3LDK | 74.68 | 2 |
| 29 | 神奈川県厚木市 | 民間 | 999.15 | 342.98 | 1,997.11 | PLC | | 8 | 20 | 1 | 分棟 | 3LDK | 82.03 | 1 |
| 30 | 埼玉県大宮市 | 民間 | 7,488.73 | 2,117.34 | 14,933.63 | PLC/PCa | | 11 | 195 | 3+2 | 分棟 | 3LDK | 99.63 | 2 |
| 31 | 神奈川県横浜市民 | 民間 | 1,978.11 | 623.10 | 3,952.71 | PLC | | 10 | 67 | 2 | 分棟 | 3DK | 54.60 | 2 |
| 32 | 神奈川県厚木市 | 民間 | 1,049.67 | 489.94 | 1,971.52 | PCa | | 5 | 30 | 1 | 一貫 | 3LDK | 55.27 | 1 |
| 33 | 神奈川県横浜市民 | 民間 | 257.46 | 141.54 | 498.77 | PCa | | 4 | 27 | 2 | 一貫 | 1DK | 17.01 | 1 |
| 34 | 千葉県倉田市 | 民間 | 10,878.68 | 3,203.05 | 14,400.49 | PCa | | 5 | 178 | 7 | 一貫 | 3LDK | 77.81 | 2 |
| 35 | 千葉県野台野市 | 民間 | 1,991.64 | 895.76 | 4,524.91 | PLC | | 7 | 57 | 1 | 一貫 | 3LDK | 96.06 | 2 |
| 36 | 千葉県千葉市 | 公約 | 20,190.93 | 7,336.54 | 50,336.42 | PCa+SRC | | 10 | 155 | 1+1 | 分棟 | 3LDK | 92.37 | 2 |
| 37 | 神奈川県大和市 | 民間 | 1,983.46 | 924.16 | 2,897.12 | PCa+RC | | 4 | 44 | 1 | 一貫 | 3LDK | 83.25 | 2 |
| 38 | 神奈川県横浜市民 | 公約 | 28,423.90 | 5,885.60 | 20,704.20 | PCa | | 4 | 248 | 14 | 分棟 | 3LDK | 78.15 | 2 |
| 39 | 神奈川県横浜市民 | 民間 | 994.00 | 443.09 | 1,833.76 | PCa | | 6 | 24 | 1 | 分棟 | 3LDK | 71.84 | 1 |
| 40 | 千葉県船橋市 | 民間 | 7,126.65 | 1,849.97 | 14,253.19 | PCa+PLC/SRC | | 11 | 151 | 2+3+2 | 一貫 | 3LDK | 86.64 | 2 |
| 41 | 東京都板橋区 | 民間 | 0,147.01 | 2,907.98 | 20,045.49 | PCa+PLC | | 11 | 271 | 3+4 | 一貫 | 3LDK | 79.25 | 2 |
| 42 | 千葉県野台野市 | 民間 | 2,303.88 | 888.83 | 4,589.42 | PCa | | 8 | 61 | 1 | 分棟 | 3LDK | 71.24 | 2 |
| 43 | 神奈川県大和市 | 民間 | 1,928.87 | 958.86 | 3,812.32 | PCa+RC | | 5 | 58 | 1+1 | 分棟 | 3LDK | 72.81 | 2 |

* 築造方向と通行方向のサインと構造体により判断したものである。

図3-4-1 F P型事例の特性分析



第5節 まとめ

建築生産へ工業化生産技術を適用するためには、標準化が不可欠といわれている。しかし、今の社会的建築需要の傾向は多様化である。こういう対立する両面に直面して、PCa住宅の設計と生産は一体どのような手法を用いて展開するかについて、本章ではまず設計段階に対して考察を行った。

第1節では、PCa住宅の設計方法について、構法基準の制定、設計方法の分類、CAD技術の運用の3つの面から考察した。構法基準は、PCa住宅の設計と生産における要求と制約をまとめたものであり、主に寸法構成、部材分割、接合詳細などで構成されている。公的関係などの共通な基準があるが、各メーカーにまとめられた自社基準も見られる。設計方法については、建築対象の特徴に対応した標準化手法の運用として、規格設計と自由設計に分類できる。さらに、設計・生産の範囲区分に合わせて、さらに固定型、規格型、FP型、NP型に細分し、それぞれの設計方法上の特性を考察した。最後に、PCa住宅設計におけるCAD技術の運用方法及び事例とした5社の使用現状をまとめた。

第2節では、第1節で述べた設計方法を用いた設計業務の展開をまとめた。まず、規格型やFP型などの運用には、分離方式、連続方式、単一方式の区別があることを示し、それぞれの特性及び適用対象について考察を行った。次に、設計業務の展開について、規格型とFP型を分離したA社の現状例として、段階別の業務内容や技術力の分配などをまとめた上で、規格型とFP型との区別を明らかにした。また、規格型とFP型を円滑に運用するための「商品」整備システムについて、目的や手順や成立過程などをまとめた。

第3節では、PCa住宅「商品」の差違について、まず、時系列から「商品」の分布を見た。A社の20年以上の「商品」開発・販売の歴史を前、中、後期に分けた。前期には、「商品」の用途や種類が多く、広い範囲の商品化現象が現れていた。中期の「商品」の特徴は、分譲住宅と賃貸住宅が商品化の対象となり、用途によって特定範囲の多対象の選択が可能になったことである。後期には、「商品」の用途がさらに賃貸用住宅に絞られたが、多対象多レベル選択の可能性が示されてきた。また、「商品」に現れた住戸プランの特性については、3DKプランを例として分析した。

第4節では、前述した規格型とFP型の建設事例を集め、適用対象などを検証した。規模の小さい賃貸住宅に対しては、規格型を適用し、複数の工場の繰り返し生産によって設計と型枠の費用の低減を図る。規模が大きくなれば多様な分譲住宅に対しては、個別設計及び工事ごとの型枠の計画と整備を行い、工区内で多くの繰り返し回数を確認することによって費用を償却する。

以上の考察は設計論という位置づけとしているが、PCa住宅の設計は、一般の建築設計のような独立の分野として捉えることが困難である。工業化手法といわれる一括技術として成立した壁式PCa手法では、設計が生産と密着しているため、建築の用途、敷地条件、美観などの要求を満足しながら、工業化生産が可能でかつ効率良くしなければならぬ。従って、PCa住宅の設計については、工業化手法システムの1要素として理解すべきである。設計論に現れた規格型、FP型なども、設計のみではなく、工場生産の方法においても同じように分類できるので、設計・生産の共通概念として扱っている。

第4章 部材論

第1節 概要

1. 部材論の課題と分析方法
2. 研究事例
3. 記号の定義

第2節 P C a板部材の分割と枚数

1. P C a板部材の分割
2. P C a板の枚数
3. 統計分析結果

第3節 P C a板の板種の把握

1. 板種の区分
2. 板種の把握方法
3. 統計分析結果

第4節 枚数と板種の分布

1. 分布把握の必要性
2. 分布のモデル化方法
3. 分布特性の考察
4. 分布半径の計算

第5節 まとめ

余 白

第1節 概要

1. 部材論の課題と分析方法

壁式構造の住棟を、P C a 部材に分割し、予め工場で生産するという事は、いわゆる壁式P C a工法の基本である。プロジェクトあるいは住棟を単位とする設計段階から、P C a板を1枚ごとに生産する工場生産段階へ移行する際には、部材分割を行わなければならない。従って、部材分割は、設計と生産の接する点であり、単位転換の役割を果たす工業化工法の実行上の重要な一環である。ここでは部材分割に用いられる方法及び、部材の数量と品種に関する分析と研究を部材論としてまとめる。従って、部材論の課題は以下のようになる。

- ①部材分割における制約要素と分割方法の整理。
- ②部材の数量と種類における評価単位の確立及び分布の解析。
- ③生産計画と生産性評価の基礎の確立。

部材の分割においては、

| | | |
|---------|--------|-------|
| 構法上の合理性 | 生産の可能性 | 種類の集約 |
|---------|--------|-------|

などを考慮しなければならない。

構法上の合理性については、工法の原則としての大型パネルを用いることや、構造性能を満足するような接合や、住戸空間を考慮した板割目の配置などが考えられる。

生産の可能性については、工場設備や現場揚重設備などの制限よりも、P C a板を工場から現場へ運搬する際の道路の事情と規制などからの制限が重要といわれている。実務上でのP C a板の最大重量あるいは最大サイズの規定は、ほとんど運輸事情に従っている。

また、いうまでもなく、少ない種類で数多くの製品が生産できる方が、生産性が高い。従って、P C a板の分割を行う際、生産性を向上するためには、種類の集約が重要である。特にP C a板を打ち込み成形する型枠を転用できるように、異なる種類の間にも、相似性を考慮必要がある。このため、種類の判別基準、評価単位と指標などを確立しなければならない。

実務上では、構法上の合理性と生産の可能性への配慮について、予め部材分割の原則あるいは基本方法としてまとめられている。種類の集約は、部材分割の実行者の経験と判断によることが多い。また、具体的な部材分割作業が構造設計段階で行われ、部材の設計が生産設計段階で行われることは一般的である。

部材分割においては、構法や生産などの具体的な要素から制約と要求を考察するほかに、部材の量と種類を把握することが重要である。そのため、評価単位と評価項目について考察しておく。

まず、壁式P C a工法の部材がほとんど面部材であるので、その数量を「枚数」、種類を「板種」という単位で表すことが適当であると考えられる。また、住棟を独立の建築物として理解し、枚数と板種とも住棟ごとに生成するので、3者の間の関係を究明することが重要である。複数の住棟を含むプロジェクトには、住棟ごとで枚数と板種を考察する必

要がある。



このため、本章では統計解析手法を用いて定量的分析を行う。分析には、主体構造の壁板、床板、屋根板（陸屋根のみ）などを対象とし、建築面積、延べ面積、戸数、階数などの建築計画の基本要素を変数として扱っている。

部材の分割方法及び数量、種類における分析は、生産計画と生産性分析の基礎の確立に大きな意味を持っている。生産単位の確立、生産性の予測、生産方式の選択なども、部材の把握と離れられない。これらは、部材論の応用問題として捉え、第5章からの工場生産論にて詳しく検討を行う。

2. 研究事例

本章の部材分析及び第6章以降の工場生産性分析では、A社の13事例を対象として用いる。これらの事例はすべて住棟単位であり、同一のプロジェクトの中に複数住棟を含む場合は、それぞれ単独の事例として扱う。例えば、事例7と事例8は、同一のプロジェクトのA棟とB棟である。事例5は、全く同じ建物を2棟建てているが、1つの事例とする。部材数量、種類、分布及び次章以降の生産性などの分析における各事例の扱いは、表4-1-1-1に示された通りである。

図4-1-1-1から図4-1-1-3に、各事例の代表的な平面図を1枚ずつ示している。これらの建築計画における諸要素と特性をまとめると表4-1-2のようになる。また、P C a住宅としての生産特性を示すP C a板枚数と板種の基本データなどは表4-1-1-3に示されている。

これらの事例は、規模が9戸から40戸に及び、比較的幅広い対象群といえる。但し、すべては用途が住宅用のみの3～5階建ての事例である。

部材及び生産性への定量分析を5階までの中層事例に絞る理由としては、

- ①用途が住宅のみの場合が多く、空間構成が単純であること、
 - ②同一の工法で建造され、かつ部材の厚さが1階から最上階まで同じであること、
- などがあげられる。こういう事例を用いて、部材分割及び生産性の特性を解析することは、単純で明確であると考えられる。部材形式や厚さなどの変化要素を含めて考慮すると、5階建て以上あるいは壁式ラーメン構造の住棟にも、解析の方法を拡張して適用できると考えられる。

また、住棟のアクセス方式の階段室式と廊下式、設計・施工方式の規格型とF P型などの違いを配慮し、それぞれ約半数ずつの事例を選んでいる。

表4-1-1 各事例の扱い

| 事例 | 部材数分析(枚数) | | 品種分析(枚/版数) | | 部材と品種の分布 | | 型枠生産性分析 | |
|------|-----------|----|------------|----|----------|-----|---------|----|
| | 壁板 | 床板 | 置換板 | 壁板 | 床板 | 置換板 | 壁板 | 床板 |
| 事例1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × |
| 事例2 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × |
| 事例3 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × |
| 事例4 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × |
| 事例5 | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | △ | × | × |
| 事例6 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × |
| 事例7 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × |
| 事例8 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × |
| 事例9 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × |
| 事例10 | ○ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | × | × |
| 事例11 | ○ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | × | × |
| 事例12 | ○ | ○ | × | × | × | × | × | × |
| 事例13 | ○ | ○ | ○ | × | × | × | × | × |

*1: △は分析対象になっていないが、分析結果が外された。
*2: 型枠生産性分析は本章以後の内容になる。

表4-1-2 各事例の建築データ

| 事例 | 建築面積 | | 戸数 | 平均専有階数 | 平面 | | 階段室面積 | 階段室数 | 廊下式1 | 分類 | 事業主 | 特徴 |
|------|--------|---------|-----|--------|-------|-------|-------|------|------|------|-----|---------------------------------|
| | (㎡) | (㎡) | | | 面積(㎡) | 階段室面積 | | | | | | |
| | Ac | At | D1 | D | Ad | F | T | T1 | As | P | | |
| 事例1 | 454.84 | 1854.61 | 6 | 24 | 59.94 | 4 | 1 | 1 | 4 | 0.00 | 1 | 規格 個人 |
| 事例2 | 215.39 | 696.12 | 3 | 9 | 59.94 | 3 | 1 | 1 | 4 | 0.00 | 1 | 規格 個人 |
| 事例3 | 336.38 | 1212.63 | 4 | 16 | 67.32 | 4 | 1 | 1 | 4 | 5.58 | 2 | 規格 個人 |
| 事例4 | 389.14 | 1832.05 | 2+2 | 10+2 | 83.28 | 5 | 2 | 2 | 4 | 7.63 | 2 | F P 公団 |
| 事例5 | 453.65 | 2146.25 | 4 | 20 | 99.00 | 5 | 1 | 1 | 4 | 7.63 | 2 | F P 公団 全く同じ建物を2棟建てる。 |
| 事例6 | 398.72 | 1735.36 | 6 | 24 | 54.95 | 4 | 1 | 1 | 3 | 0.00 | 1 | 規格 個人 |
| 事例7 | 585.42 | 2681.28 | 4 | 18+1 | 66.69 | 5 | 2 | 2 | 4 | 0.00 | 1 | F P 民間 2+1H+1H、雁行 |
| 事例8 | | | 3 | 11 | 66.69 | 5 | 1 | 1 | 4 | 0.00 | 1 | F P 民間 2+1H+1H、雁行 |
| 事例9 | 312.87 | 894.85 | 4 | 12 | 67.32 | 3 | 1 | 1 | 4 | 5.58 | 2 | 規格 個人 |
| 事例10 | 201.67 | 884.00 | 3 | 10+2 | 54.95 | 4 | 2 | 1 | 3 | 0.00 | 1 | 規格 個人 2戸分のはオーナー住居である。 |
| 事例11 | 458.32 | 6824.41 | 2+2 | 10+4 | 76.72 | 5 | 3 | 2 | 4 | 7.67 | 2 | F P 民間 雁行、1-2Fは階段室式、4、5Fは階段室(廊下 |
| 事例12 | 300.79 | 770.00 | 4 | 12 | 59.94 | 3 | 1 | 1 | 4 | 0.00 | 1 | 規格 個人 |
| 事例13 | 277.76 | 793.48 | 4 | 12 | 58.80 | 3 | 1 | 1 | 3 | 5.58 | 2 | 規格 個人 |

表4-1-3 各事例の部材データ及び参考変数

| | 板枚数 (Q) | | | 板種数 (S) | | | 枚/板種 (Q/S) | | | 戸数×戸面積 | | 戸数×戸面積 | | 戸数×(戸面積×T/A)数 | | 戸数×(戸面積×T/A)数 | |
|------|---------|-----|----|---------|----|----|------------|-------|-------|---------|-------------|----------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| | 壁 | 床 | 屋根 | 壁 | 床 | 屋根 | 壁 | 床 | 屋根 | (平面)** | | (平面)** | | (平面)** | | (平面)** | |
| | Qw | Qs | Qr | Sw | Ss | Sr | Qw/Sw | Qs/Ss | Qr/Sr | D*Ad | D1*((Ad+As) | D/(Ad+T) | D1/((Ad+As)*T) | D/(Ad+T) | D1/((Ad+As)*T) | D/(Ad+T) | D1/((Ad+As)*T) |
| 事例1 | 204 | 144 | 42 | 21 | 15 | 16 | 9.71 | 9.60 | 2.63 | 1438.56 | 359.64 | 0.4004 | 0.1001 | 0.4004 | 0.1001 | 0.4004 | 0.1001 |
| 事例2 | 81 | 54 | 21 | 21 | 15 | 15 | 3.86 | 3.38 | 1.40 | 539.46 | 179.82 | 0.1502 | 0.0501 | 0.1502 | 0.0501 | 0.1502 | 0.0501 |
| 事例3 | 140 | 96 | 30 | 31 | 21 | 22 | 4.52 | 4.57 | 1.36 | 1077.12 | 291.60 | 0.2377 | 0.0549 | 0.2377 | 0.0549 | 0.2377 | 0.0549 |
| 事例4 | 227 | 159 | 40 | 93 | 48 | 39 | 2.44 | 3.31 | 1.03 | 1665.60 | 363.63 | 0.1201 | 0.0220 | 0.1201 | 0.0220 | 0.1201 | 0.0220 |
| 事例5 | 259 | 219 | 52 | 61 | 38 | 35 | 4.25 | 5.76 | 1.49 | 1980.00 | 426.51 | 0.2020 | 0.0375 | 0.2020 | 0.0375 | 0.2020 | 0.0375 |
| 事例6 | 152 | 120 | 36 | 14 | 13 | 11 | 10.86 | 9.23 | 3.27 | 1318.68 | 329.67 | 0.4368 | 0.1092 | 0.4368 | 0.1092 | 0.4368 | 0.1092 |
| 事例7 | 188 | 146 | 31 | 43 | 35 | 24 | 4.37 | 4.17 | 1.29 | 1267.11 | 266.76 | 0.1425 | 0.0300 | 0.1425 | 0.0300 | 0.1425 | 0.0300 |
| 事例8 | 114 | 82 | 21 | 24 | 23 | 11 | 4.75 | 3.57 | 1.91 | 733.59 | 200.07 | 0.1649 | 0.0450 | 0.1649 | 0.0450 | 0.1649 | 0.0450 |
| 事例9 | 105 | 72 | 30 | 32 | 28 | 22 | 3.28 | 2.57 | 1.36 | 807.84 | 291.60 | 0.1783 | 0.0549 | 0.1783 | 0.0549 | 0.1783 | 0.0549 |
| 事例10 | 84 | 60 | | 28 | 21 | | 3.00 | 2.86 | | 659.34 | 164.84 | 0.1092 | 0.0546 | 0.1092 | 0.0546 | 0.1092 | 0.0546 |
| 事例11 | 170 | 324 | | 107 | 89 | | 4.39 | 3.64 | | 3068.80 | 338.37 | 0.1738 | 0.0236 | 0.1738 | 0.0236 | 0.1738 | 0.0236 |
| 事例12 | 115 | 72 | 28 | | | | | | | 719.28 | 239.76 | 0.2002 | 0.0667 | 0.2002 | 0.0667 | 0.2002 | 0.0667 |
| 事例13 | 96 | 66 | 24 | | | | | | | 705.60 | 257.52 | 0.2041 | 0.0621 | 0.2041 | 0.0621 | 0.2041 | 0.0621 |

** (平面)の参考変数は屋根板の分析用であり、階段室型の場合は階段室面積を加えたものとする。

図4-1-2 事例2の代表平面

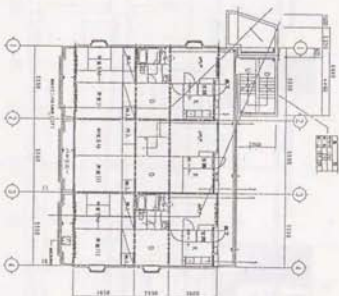


図4-1-1 事例1の代表平面



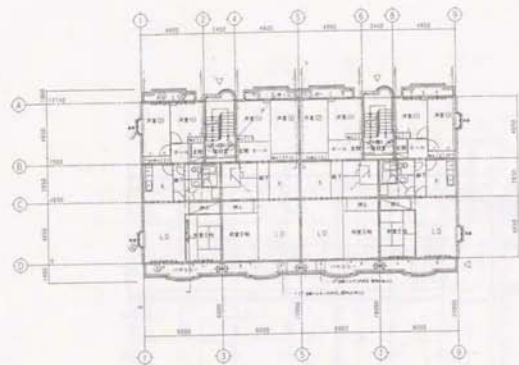


図4-1-3 事例3の代表平面

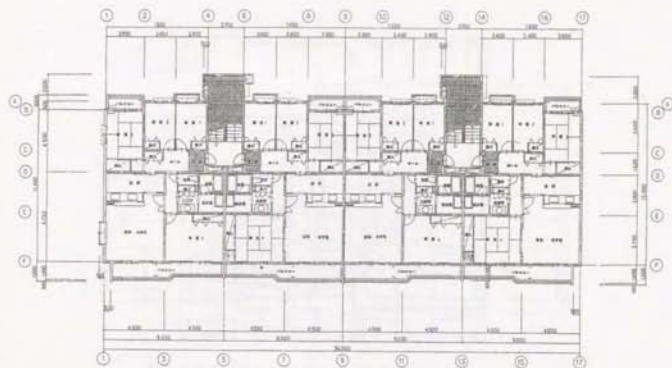


図4-1-5 事例5の代表平面

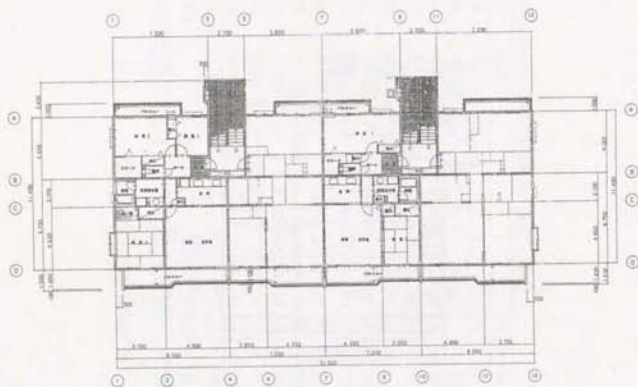


図4-1-4 事例4の代表平面

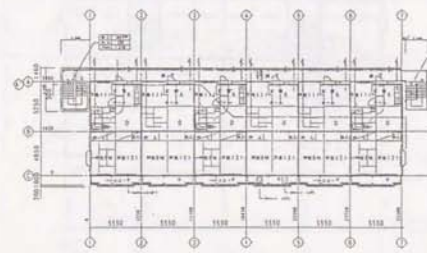


図4-1-6 事例6の代表平面



図4-1-7 事例7(左)と事例8(右)の代表平面

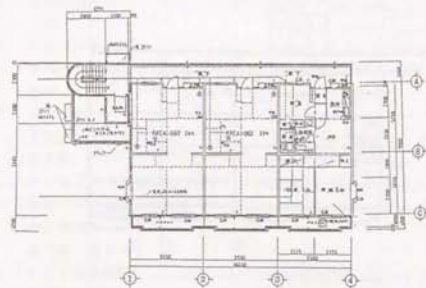


図4-1-9 事例10の代表平面

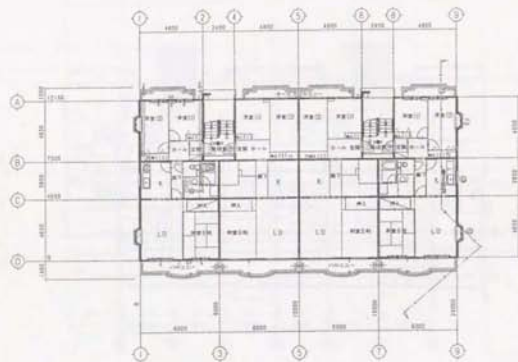


図4-1-8 事例9の代表平面

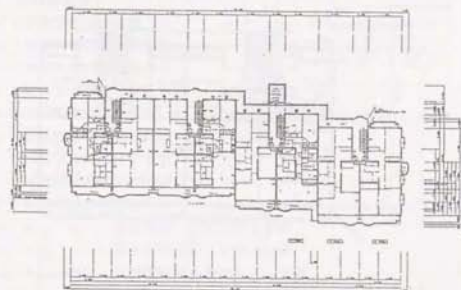


図4-1-10 事例11の代表平面

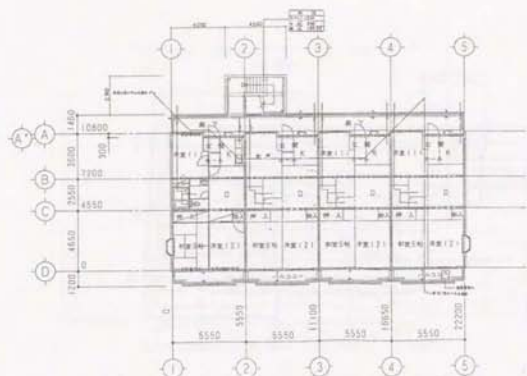


図4-1-1-1 事例12の代表平面

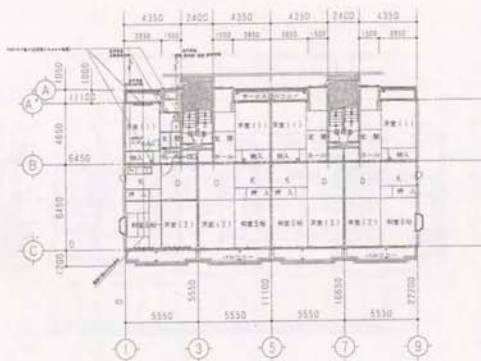


図4-1-1-2 事例13の代表平面

3. 記号の定義

| | |
|---|---|
| A_v : 建築面積 (㎡) | covered area (building area) |
| A_t : 延べ面積 (㎡) | total floor area |
| D : 戸数 | dwelling number |
| D_f : 1階の戸数 | number of dwellings per floor |
| A_o : 平均住戸面積 (専有面積) (㎡) | individually owned space |
| F : 階数 | number of floors |
| T : タイプ数* | number of types |
| T_f : 1階あたりのタイプ数 | number of types per floor |
| P_s : 構面数 | planes of structure |
| A_s : 住戸あたり階段室面積 (㎡) | stair area per dwelling |
| P : 住棟アクセスによる係数 | a coefficient about the access |
| 階段室式 : $P = 2$ | |
| 廊下式 : $P = 1$ | |
| Q : P C a 板枚数 | quantity of precast concrete panel |
| Q_w : 壁板枚数 | |
| Q_b : 床板枚数 | |
| Q_r : 屋根板枚数 | |
| S : P C a 板板種 | sorts of precast concrete panel |
| S_w : 壁板板種 | |
| S_b : 床板板種 | |
| S_r : 屋根板板種 | |
| α_Q : P C a 板枚数分析用係数 | coefficient of panel quantity |
| α_{Qw} : 壁板枚数における係数 | |
| α_{Qb} : 床板枚数における係数 | |
| α_{Qr} : 屋根板枚数における係数 | |
| α_S : P C a 板板種分析用係数 | coefficient of panel sort's |
| α_{Sw} : 壁板板種における係数 | |
| α_{Sb} : 床板板種における係数 | |
| α_{Sr} : 屋根板板種における係数 | |
| α_{ν} : P C a 板板種分布分析用係数 | coefficient of panel sorts distribution |
| $\alpha_{\nu w}$, $\alpha_{\nu b}$, $\alpha_{\nu r}$: 壁板板種分布における係数 | |
| α_{1w} , α_{2w} , α_{3w} : 床板板種分布における係数 | |
| α_{1r} , α_{2r} , α_{3r} : 屋根板板種分布における係数 | |

*ここで扱うタイプは、一般の建築的な間取りではなく、基本的にP C a 板の割付と板種によるが、実際は、住戸の構造体形式とスパン寸法により殆ど判別することができる。

第2節 P C a 板部材の分割と枚数

1. P C a 板部材の分割

部材の分割には、構法上の合理性、生産の可能性、生産性を向上するための種類の集約などの要求を満足しなければならないことを述べたが、具体的に、どこからどのような要求があるかについて、詳細な考察を行う。

①構工法の制約。

サイズを標準化あるいはシステム化したパネルを用いる工法と異なり、壁式P C a工法の定義からも分かるように、製造・運輸などの許容範囲内でできるだけ部材を大型化することは基本的な方向である。これは、接合の容易さと生産性向上のためといわれている。分割の際には、工業化生産のためのモジュラーコーディネーション手法を用いる必要がある。また、構法基準に従って、接合部と各部のディテール処理を標準化あるいはシステム化しなければならない。

②空間スペースへの配慮。

壁式P C a構造の耐力壁で囲まれる部分の面積は、原則として 60 m^2 以下となっているが、開口により壁量の減少及び住戸の空間分割の要求で、現実によく使われるスペースの大きさは $12\sim 24\text{ m}^2$ で、大きなもので 30 m^2 程度になっている。P C a板は、部屋ごと、あるいはスパンごとに分割されることが一般的である。これによって、以下のようなメリットがある。

- P C a 板の配置が明確である。
- 空間ごとの用途変化への対応が容易である。
(例えばサッシ、電気・設備関係の埋め込みなど)
- 部屋のなかに継ぎ目が目立つことはない。
- 防水、遮音、断熱、仕上げなどに有利である。

③構造強度と安全。

建築物の安全性に関わる構造強度は、P C a 部材の分割に最も重要な要素といえる。構造体の剛性、耐力、靱性、誤差による性能の低下などを保証するために、分割する際、特に接合部の合理的な配置に障害がないか、応力伝達が連続になるか、接合部の品質保証が容易であるかなどを確認しなければならない。また、生産・建方の段階においても、P C a 板の収縮、脱型時の強度、建方の安全性などの要求性能があり、構造上の検討が必要である。

④製造上の要求と制約

同じ型枠の繰り返し使用によってP C a 板の製造原価を低減することは、壁式P C a工法のコストダウンの有効な手段といわれている。従って、部材分割はできるだけ少ない種類に納めなければならない。また、P C a 板が大型化するほど生産性が上がるといわれているが、運輸などの他の要素のほかに、クレーン、ベッドなどの製造設備の制限及び脱型の容易さなどが、制約要素となっている。

⑤運輸上の制約

P C a 板サイズにおける運輸上の制約は今まで一層強調されている。これは道路運

輸規制や經由道路の事情などに関連しており、構工法システム内において自力で解決できることではないわけである。実務上、道路運輸規制及び使用トラックなどに基づいて詳細な検討を行い、予めP C a 板の許容サイズを基準として決めておくようになっている。但し、特殊事情においては、部材分割する際に再び検討する必要がある。

⑥建方の制約

P C a 板は、現場建方及び接合部処理が容易かつ品質保証しやすいように分割されなければならない。また、建方に使用する揚重機によるP C a 板の重要制限があるが、本工法の実用化された30年前に比べ、大型機械の普及及び建設費用における機械費用の割合の低減で、揚重機による制限は緩みつつある。但し、揚重機の使用効率を高めるために、部材重量の平均化などを考慮する必要がある。

これらの要求あるいは制約は、それぞれ独立ではなく、互いに重なり合うような有機的な関係になっている。諸要素を可能性、合理性、有効性のいくつかのレベルに分けて総合的に分析し、部材分割のルール化と方法を明確化するために、構法基準としてまとめる必要がある。

2. P C a 板の枚数

枚数をP C a 板の生産量における評価単位として取り扱うことは当然と思われるかも知れないが、一般的な統計資料ではP C a 板の枚数やコンクリートの m^3 数によるデータの方が良くみられている。枚数を採用する妥当性については、以下の面から見出すことができる。

- P C a 板枚数は、前述の部材分割の制約要因を総合的に考慮して得たもので、工法の制約と生産の特徴を反映している。
- P C a 板は目的建築物の構成単位であり、その枚数は主体構造の構成部材数としても考えられる。
- P C a 板は、 m^2 や m^3 単位ではなく1枚ごと生産されるので、枚数は工場生産の単位である。
- P C a 板枚数は、材料数量と最終建築物規模などとは区別して、中間生産物の単位として扱われている。

P C a 板枚数の変化に関する考察において、まず取り上げる変数は目的建築物の規模である。建築設計で規模を表す要素は建築面積、延べ面積などがあるが、外構や階段などを外した主体構造を分析対象とするので、代わりに戸数、平均住戸面積などの要素によって解析すれば、要素間の関係がより明確になり、かつ精度が高いと考えられる。

また、P C a 板は部屋の大きさや配置位置などにより大きさがかなり異なるが、一方、製造と運搬の制約要素及び生産効率による平均化要求などによって、その変動が一定の範囲に抑えられていると考えられ、住棟単位におけるP C a 板1枚あたり面積の平均値は安定的と見なすことができる。

従って、壁板と床板においては、理論的に、

$$\text{枚数} = \frac{\text{延べ面積}}{\text{板1枚あたり面積の平均値}}$$

になるが、延べ面積を（戸数×平均住戸面積）に代えて、板1枚あたり面積の平均値を統計的に解析すれば、実用的には、式4-1のようなになる。

$$Q = \alpha_0 \times D \times A_0 \quad (4-1)$$

屋根板においては、相関する要素が延べ面積の代わりに建築面積となるので、同じく建築面積を、1階目における（戸数×平均住戸面積）に代える。さらに、住棟アクセスが階段室式である場合には、階段室の部分も屋根があるので、その面積を住戸あたり階段室面積（ A_1 ）として考慮すれば、屋根板に適用する式は4-2のようなになる。

$$Q_1 = \alpha_1 \times D_1 \times (A_0 + A_1) \quad (4-2)$$

ここの α は統計解析係数であり、板1枚あたり面積の平均値の逆数を意味する。

3. 統計分析結果

以上の分析に基づき、表4-1-3の事例に対する分析結果は図4-2-1から図4-2-3のようになっている。黒い点は階段室式の事例を示している。

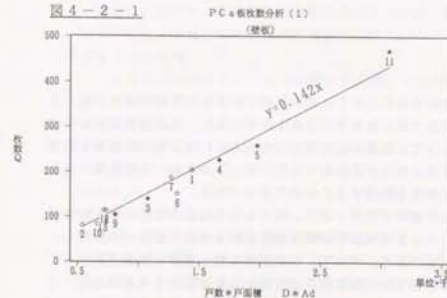
壁板においては、 $\alpha_{00} = 0.142$ 、板1枚あたり面積の平均値が7.05㎡になる。

床板においては、 $\alpha_{01} = 0.103$ 、板1枚あたり面積の平均値が9.73㎡になる。但し、この場合、はねだし部分の面積は含まれていないので、実際にはこの数字より大きい。

屋根板においては、 $\alpha_{01} = 0.111$ 、板1枚あたり面積の平均値が8.97になる。同じく、はねだしの部分の面積を含めれば、この数字より大きいのである。また、データとして用いていない事例10と事例11は、屋根にハーフPCa板工法を使用したからである。

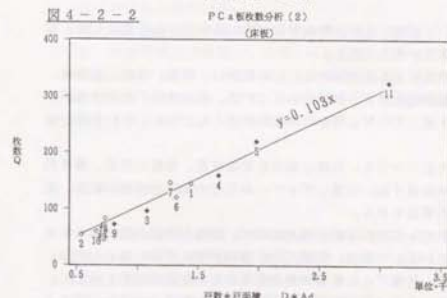
統計解析結果から見ると、3つとも相関係数Rは1に近く、解析係数 α の標準偏差も2~3%になるので、かなりの精度といえる。

図4-2-1



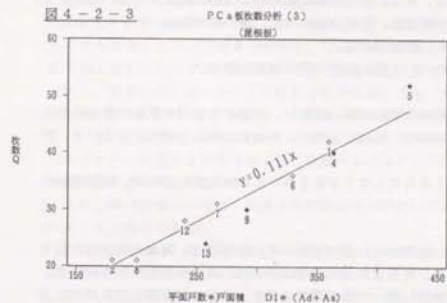
| 屋根板枚数 回帰分析の結果: | |
|-------------------|---------|
| Y 切片 | 0 |
| Y 評価値の標準偏差 | 17.5938 |
| R 2乗 | 0.97248 |
| 標本数 | 13 |
| 自由度 | 12 |
| X 係数 | 0.14185 |
| X 係数の標準偏差 | 0.00347 |

図4-2-2



| 床板枚数 回帰分析の結果: | |
|------------------|---------|
| Y 切片 | 0 |
| Y 評価値の標準偏差 | 11.0202 |
| R 2乗 | 0.97960 |
| 標本数 | 13 |
| 自由度 | 12 |
| X 係数 | 0.10273 |
| X 係数の標準偏差 | 0.00217 |

図4-2-3



| 屋根板枚数 回帰分析の結果: | |
|-------------------|---------|
| Y 切片 | 0 |
| Y 評価値の標準偏差 | 2.54714 |
| R 2乗 | 0.92871 |
| 標本数 | 11 |
| 自由度 | 10 |
| X 係数 | 0.11149 |
| X 係数の標準偏差 | 0.00256 |

第3節 P C a 板の板種の把握

1. 板種の区分

本来工場生産は、標準化などの手法によって、同一品種で数多くの製品が生産できるように望まれている。生産設備の繰り返し使用及び連続生産が可能で、生産効率が高いわけである。逆に、品種の変化によって、設備の対応能力の向上あるいは設備の交換や、円滑な工程計画と労務計画をたてることなどが重要になってくる。このため、生産品種の発生要因を明確にさせ、品種の発生頻度を把握することが不可欠である。

P C a 住宅においては多様化の傾向が明かであり、同じものを沢山作ることはもはや時代遅れである。多様化に対応して、生産体制が計画生産体制から受注生産体制へ移行し、いわゆる多品種少量生産になりつつある。従って、生産効率に最も重要な影響要素としての生産品種の把握は、生産計画の制定や生産性の予測などにも非常に大きな意味を持っている。

P C a 板の品種については、「板種」という評価単位が用いられることを前述した。板種の発生については、以下の要因が考えられる。

- ① 住棟における P C a 板の役割による区別がある。この区別は、壁板、床板、屋根板、手すり板、階段板、踊り場板などのように分けられている。構造特性、仕上げ関係、形状なども異なるので、生産上では特に型枠の共通性がほとんどなく、それぞれ別別して生産する。
- ② 同じ壁板あるいはその他の板の中でも、住棟における配置位置、部屋の用途、構造的な重要度などにおいて、板の形状寸法、材質、ディテールなどの様々な区別がある。屋根板の場合には、水勾配の要因もある。
- ③ 前章にも検討したような P C a 住宅の多様化傾向の中で、住棟と住棟の間に異なる板種になる場合が多くなっている。つまり、住棟ごとに板種が発生すると考えられる。これらの要因を見ると、まず、住棟ごとに板種が発生するので、枚数の分析と同じく、住棟単位で行うのが適当である。また、①の分類は固定的で、かつ範囲が大きいためである。従って、ここで扱う板種という概念は、①の分類の下に、板の形状寸法、ディテールなどの区別で、つまり、②のレベルに位置づける。

このように定義された板種については、以下の区分基準がある。

① 形状品種

壁板の場合は、開口の有無と開口位置、梁付け、出窓付けなどの形状の変化がある。床板の場合は、避難用の開口、はねだし付け、水廻り、立ち上がり付けなどで、形状がかなり多様である。

屋根板の場合は、同じくはねだしなどがあるほかに、水勾配によって、断面形状の変化が多い。

② 寸法品種

P C a 板の平面寸法は、分割方法によって異なる。壁板には、階高が共通化されても板長の変化がある。床板、屋根板の水平部材はさらに、両方向の変化が有り得る。5階建て以下の中低層の場合、同一住棟の中では壁板、床板などの厚さをそれぞれ統

一することが多いが、妻壁板のみ厚くする場合も良くみられる。5階建て以上の高層の場合には、垂直方向の壁厚の変化が有り得る。

③ ディテール品種

P C a 板におけるディテールの違いは、特にジョイントの形式と配置による周辺形状の変化が多い。例えば、一般階と最上階、右と左などの配置位置が異なる P C a 板には、このような変化が多い。

④ 材質品種

中層住宅の場合には、コンクリート強度が変わらないが、鉄筋や先付け外装材の変化が多い。

⑤ 埋め込み関係の品種

電気・設備関係の配線、配管などを予め P C a 板に埋め込むことは一般的で、その種類と位置がさまざまである。また、埋め込み関係は、配線だけとりあげても思ったより難しく、位置決めと固定のための準備作業が、型枠セット工事の作業量の中に大きな割合を占めている。

実務上は、生産設計の段階で、これらの基準に基づいて P C a 板を区分し、識別番号を付ける。生産計画及び積算は、分類された板種によって行う。

本研究において、P C a 板の生産型枠を着眼しているため、型枠とほとんど関係のない④を区分基準から外した。即ち、本章に示している板種の基本データなどは、すべて型枠に関連する区分基準によって得たものである。

2. 板種の把握方法

P C a 板種は住棟の規模や複雑さなどと関連すると考えられる。大型パネル工法によって建設される通常の集合住宅、例えば住戸面積が大きくとともに 100 m²前後、総戸数が多くとも 40 戸前後の住棟においては、

- ① 同一住戸内、共通板種の P C a 板が存在しない、
 - ② 同じタイプの複数の住戸に、同じ板種の P C a 板が繰り返し発生する、
- と考えられる。こういう板種の特性を、ここでは繰り返し特性という。生産においては、繰り返し特性が同じ板種で繰り返し生産できる枚数を意味する。

但し、実際には、同一タイプの複数の住戸においても、すべての P C a 板が必ずしも同じ板種になるのではない。例えば、一般階と最上階の壁板はそれぞれの板種になることが多い。真ん中の住戸と両端の住戸の床板は、接合部形式の違いがあるので、板種が異なる。このほかに、実状による部分的な開口位置あるいはサイズの変化や、避難口の配置などの板種発生の特異性も有りうる。

また、同一住棟の中で、1板種あたり生産枚数の多い方から少ないまで広く分布していることも実状である。

これらを考慮し、繰り返し特性の評価指標を、1板種あたり生産枚数の平均値とし、仮定と実際の偏差については統計解析による。

まず、住棟の範囲内においては、1板種あたり生産枚数の平均値を指標とした繰り返し

特性が、繰り返し回数と正比例し、繰り返し単位と反比例するとなり、つまり下式が成立する。

$$\text{繰り返し特性} = \frac{\text{繰り返し回数}}{\text{繰り返し単位}}$$

繰り返し特性の評価指標は、1板種あたり生産枚数の平均値 ($\Sigma Q / \Sigma S$) となる。

前述の考察から、繰り返し回数は住棟の総戸数になることが明らかである。但し、異なるタイプの住戸がある場合には、平均値として以下ようになる。

$$\text{繰り返し回数} = \frac{\text{戸数 (D)}}{\text{タイプ数 (T)}}$$

ここでは、基本的に異なる住戸間に共通板種が発生しないと考えている。そうでない場合、実状を考慮して、タイプ数を、必ずしも整数でないと設定することが可能である。

また、同一住戸内、共通板種のPCa板が存在しないと仮定しているので、繰り返し単位は、住棟が戸数に分割された単位になる。

$$\text{繰り返し単位} = \frac{\text{延べ面積}}{\text{戸数}} = \frac{\text{戸数} \times \text{平均住戸面積}}{\text{戸数}} = \text{平均住戸面積 (A}_a\text{)}$$

さらに、以上のようなそれぞれの定義の単位統一及び、仮定と実際の偏差を考慮するために、統計解析用係数 α を用いる。従って、壁板と床板における解析式は式4-3となり、屋根板における解析式は式4-4となる。

$$\frac{\Sigma Q}{\Sigma S} = \alpha_w \frac{D}{A_a \times T} \quad (4-3)$$

$$\frac{\Sigma Q}{\Sigma S} = \alpha_r \frac{D_i}{A_a \times T_i} \quad (4-4)$$

3. 統計分析結果

式4-3と式4-4に基づいて、表4-1-3の11事例に対する統計解析結果は、壁板、床板、屋根板別で、図4-2-1から図4-2-3に示されている。解析対象から外された事例について、事例10と事例11の屋根板には、枚数の分析と同じく工法が異なる理由があり、事例12と事例13には、枚数以外のデータを把握していないのである。

解析結果については、まず

壁板 : $\alpha_w = 23.93$

床板 : $\alpha_r = 22.44$

屋根板 : $\alpha_r = 29.55$

のように、係数 α を求めた。また、壁板と床板が0.9以上、屋根板も0.9近い相関係数Rを得たのは、解析が正確であることを証明している。

ここで、実際の建設事例を対象として、方法の有効性と正確性を検証したが、応用上では、標準モデルにより解答を求め、さらに事例を標準モデルと比較するという2段階の方法が、より正確かつ実用的と考えられる。

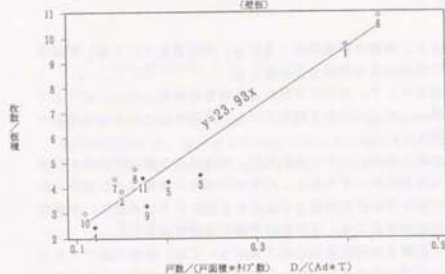
このように、PCa板の繰り返し特性に対する解析及び、板種発生 の偶然性に対する統計解析によって、1板種あたり生産枚数の平均値と、戸数や平均住戸面積などの変数との関係が把握できた。つまり、戸数や平均住戸面積などを決める設計の早い段階で、生産効率の重要な影響要素である板種数が把握でき、生産性の予測の基礎を確立した。

最後に、住戸を階段の左右に配置する階段室式と廊下式については、住棟平面アクセスの特性が異なり、生産上でも2戸ずつ繰り返し生産と1戸ずつ繰り返し生産のそれぞれに対応方法になっているので、板種数の差があると一般に思われている。解析の3つの図面の黒い点(階段室式)と白い点(廊下式)の分布から、1板種あたり生産枚数の平均値においては差が見られていない。しかし、平均値が同じでも、具体的な分布が異なることはありうるので、第4節に、その分布について詳しく検討を行う。

図4-3-1

PCa板板種分析(1)

(屋根)

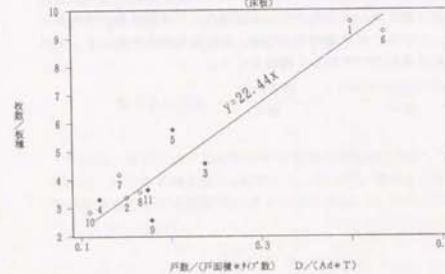


| 屋根板種 回帰分析の結果: | |
|------------------|---------|
| Y 切片 | 0 |
| Y 評価値の標準誤差 | 0.70015 |
| R 2乗 | 0.93280 |
| 標本数 | 11 |
| 自由度 | 10 |
| X 係数 | 23.9255 |
| X 係数の標準誤差 | 0.89882 |

図4-3-2

PCa板板種分析(2)

(床板)

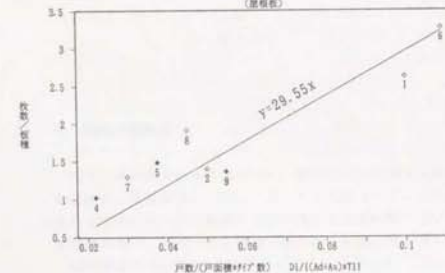


| 床板板種 回帰分析の結果: | |
|------------------|---------|
| Y 切片 | 0 |
| Y 評価値の標準誤差 | 0.80134 |
| R 2乗 | 0.89279 |
| 標本数 | 11 |
| 自由度 | 10 |
| X 係数 | 22.4405 |
| X 係数の標準誤差 | 1.02874 |

図4-3-3

PCa板板種分析(3)

(壁板)



| 壁根板板種 回帰分析の結果: | |
|-------------------|---------|
| Y 切片 | 0 |
| Y 評価値の標準誤差 | 0.35985 |
| R 2乗 | 0.76103 |
| 標本数 | 9 |
| 自由度 | 8 |
| X 係数 | 29.5526 |
| X 係数の標準誤差 | 1.91570 |

第4節 枚数と板種の分布

1. 分布把握の必要性

ここまで、板種の把握に1板種あたり生産枚数の平均値($\Sigma Q_i / \Sigma S_i$)を取り扱ってきた。これは、生産と生産効率の予測などの意味が大きいといえる。しかし、具体的な生産方法の決定、資材の配分、コスト分布の把握などには、平均値だけではなく、それにおける分布も当然問われてくる。

分布把握の意味をまとめると、以下のようにある。

- ① 生産計画においては、ラインの配分、資材の配分、生産工程、労務計画などが、枚数と板種との分布によらなければならない。
- ② 生産量と品種の分布の把握は、少品種大量生産と多品種少量生産との相互補完の根拠である。例えば、工場調査の対象になっているA社のA2工場(第5章第2節表5-2-1)において、FA化された回転ラインと一般的な固定ラインと、それぞれの規模決定あるいは生産量の配分には、生産量と品種の分布が根拠となっている。
- ③ コストの分布の把握、構法計画の合理性評価、作業方法の合理性評価における重要な指標である。

1板種あたり生産枚数の少ない屋根板の分布は比較的単純と思われるので、PCa板の枚数と板種の分布については、壁板と床板のみを対象とする。

2. 分布のモデル化方法

PCa板の枚数と板種の分布については、図4-4-1のような、1板種あたり生産枚数(Q_i/S_i)の多い方から少ない方へに並べ、累積の表現方法がよく見られている。この場合、分布曲線の各部分の傾きは、1板種あたり生産枚数(Q_i/S_i)を意味している。

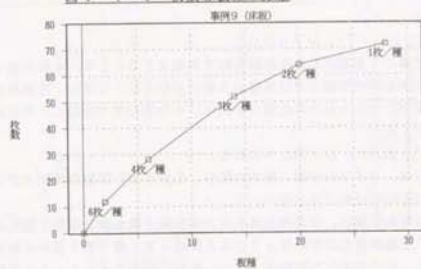
単独の工事に対しては、この方法で枚数と板種の分布が形象的に表現できる。しかし、複数の住棟においては、枚数と板種が住棟規模によって激しく変動する。どのような住棟にも適用できる一般的な分布解析方法を確立するために、モデル化は必要である。

モデル化の方法としては、図4-4-1の累積板種(ΣS_i)の横軸を、パーセンテージの板種の割合($\Sigma S_i / \Sigma S_n$, %)のように単位変換する。同じく、累積枚数(ΣQ_i)の縦軸もパーセンテージの枚数の割合($\Sigma Q_i / \Sigma Q_n$, %)のように変換する。これで、表4-1-1の各事例の分布は、図4-4-3から図4-4-13の実績軌跡になる。

実績軌跡の各部分の傾きを考察すると、以下ようになる。

$$\frac{\frac{\Sigma Q_i}{\Sigma Q_n} - \frac{\Sigma Q_{i-1}}{\Sigma Q_n}}{\frac{\Sigma S_i}{\Sigma S_n} - \frac{\Sigma S_{i-1}}{\Sigma S_n}} = \frac{\Sigma Q_i - \Sigma Q_{i-1}}{\Sigma S_i - \Sigma S_{i-1}}$$

図4-4-1 枚数と板種の分布



$$\frac{\sum Q_i}{\sum S_i} = \alpha = \frac{D}{A_s \times T}$$

は前節に検討されたので、ここでは常数と見なす。

では、傾きの要素は $\frac{\sum Q_i - \sum Q_{i-1}}{\sum S_i - \sum S_{i-1}}$ である。

これは図4-4-1の各部分傾きの意味と同じく、1板種あたり生産枚数の分布を示す変数である。i=1の場合は1板種あたり生産枚数の最大値 {max(Q/S)} で、i=nの場合は1板種あたり生産枚数の最小値 {min(Q/S)} である。

これらの実績軌跡をモデル化するために、まず、1板種あたり生産枚数の最大値 {max(Q/S)} から、1板種あたり生産枚数の最小値 {min(Q/S)} までの変化を連続であると仮定する。例えば、図4-4-1のような最大値が6枚/板種、最小値が1枚/板種であれば、その間に5枚/板種、4枚/板種、3枚/板種、2枚/板種が必ず発生する。従って、軌跡の傾きは、同じピッチで連続変化する。さらに、それぞれの軌跡長が同じと仮定すれば、分布軌跡は正等辺多角形の一部となり、細分化すると、近似的に円弧とすることができる。

このモデル化方法と方程式は、図4-4-2に示されている。円弧の心は(0, 1)と(1, 0)との対角線あるいはその延長線にある。円弧にモデル化された軌跡を近似軌跡という。円弧の半径を分布半径といい、枚数と板種の分布特性を表す評価指標として用いる。

このモデルによって、表4-4-1と表4-4-2に11の事例の実測分布半径を求めた。これに基づいて図4-4-3から図4-4-13に近似軌跡を書いた。

解析モデル

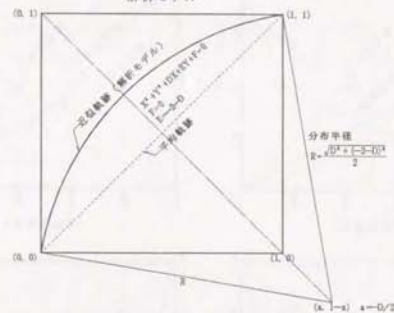


図4-4-2 近似軌跡の解析モデル

このモデルの有効性と正確性を考察すると、以下のことが言える。

- ① 近似軌跡は、全体的に実績軌跡の変化特性と一致しており、有効なモデルと言える。円弧にすることによって、分布半径を用いた分布特性に対する解析が可能かつ便利になる。
- ② 事例1と事例6の壁板のような、分布半径が1以下になる場合には、近似軌跡の両端の一部は、図4-4-2の正方形の有効区間を越え、無効になる。これはモデルの欠点である。応用上には、その部分を直線などによって補正する必要がある。
- ③ 正確性については、特殊点の分布と軌跡の相似性の両面から考察する。

まず、表4-4-1と表4-4-2の中の実績分布軌跡の各特殊点で求めた半径の平均値と標準偏差から見ると、壁板と床板を含む全部の22結果の中に、半径の標準偏差と平均値の比は、最大値が2.4、2%、最小値が1.4%、平均値が1.1、5%となる。特殊点の分布から見ると、床板の偏差は壁板の方より大きい。

次に、図4-4-3から図4-4-13までみると、近似軌跡が実績軌跡と近くなる事例が多くみられているが、かなり離れているところもある。例えば、事例6の壁のような、実績軌跡の傾きの変化が激しい場合、その差は大きくなる。誤差の傾向については、近似軌跡の前半部分が実績軌跡の上に、後半部分が実績軌跡の下にあることがほとんどである。また、軌跡の相似性から見ると、特殊点の分布に対する考察結果と異なり、壁板より床板の分布軌跡が円弧に近いイメージがある。

このように、欠点と誤差の問題が残っているが、有効性と正確性を持つモデル手法と言え、これによって、P C a 板の枚数と板種の分布を解析することが適当と考えられる。

図4-4-3 事例1

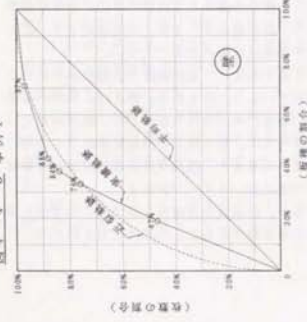


図4-4-4 事例2

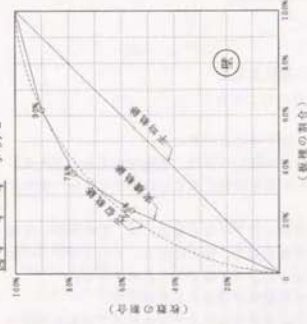


図4-4-5 事例3

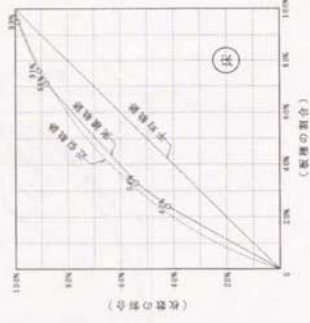
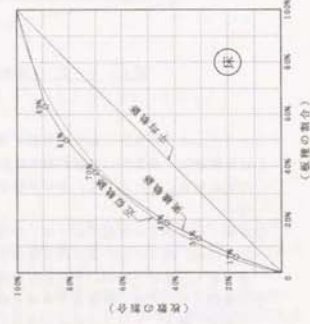
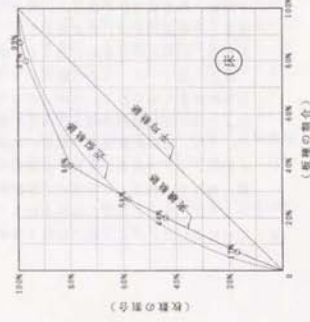
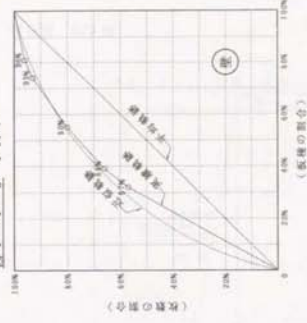


図4-4-6 事例4

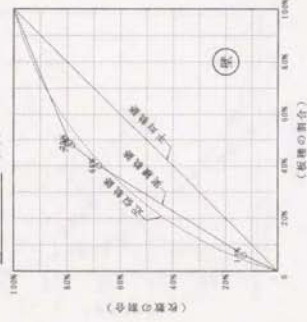


図4-4-7 事例5

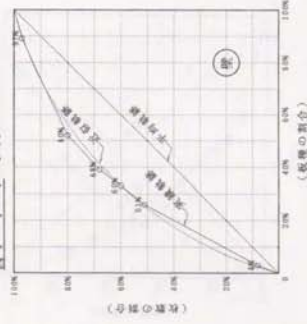
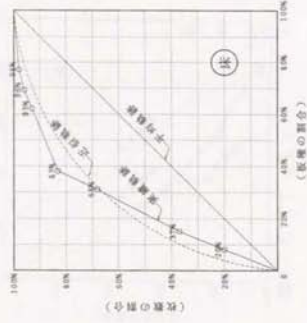
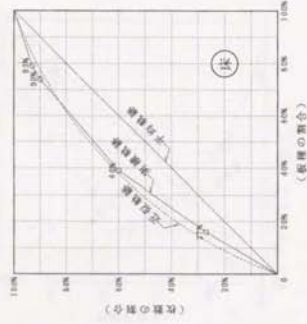
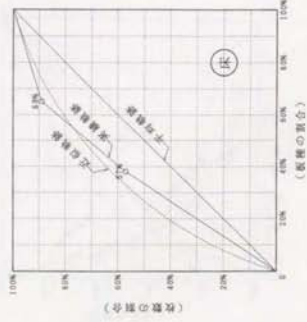
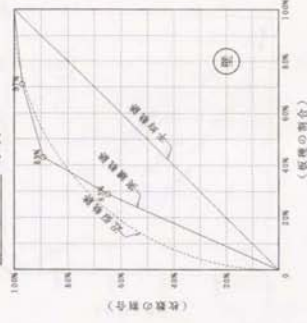


図4-4-8 事例6



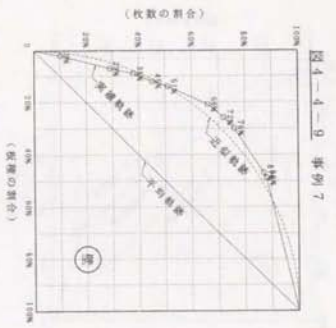


図4-4-9 事例7

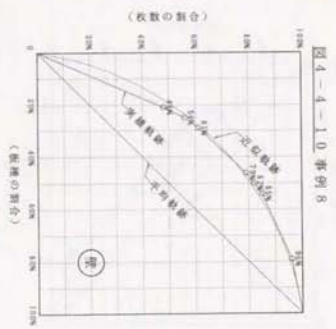


図4-4-10 事例8

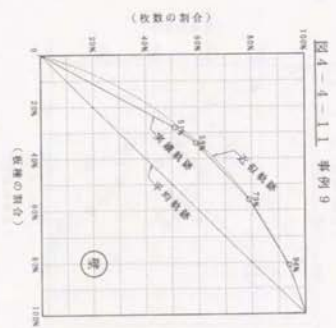


図4-4-11 事例9

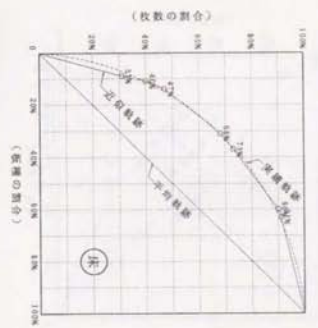


図4-4-12 事例10

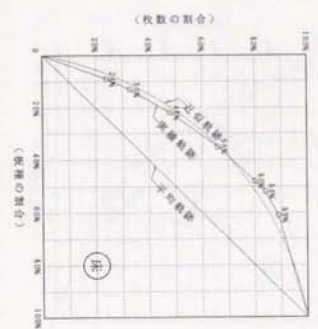


図4-4-13 事例11

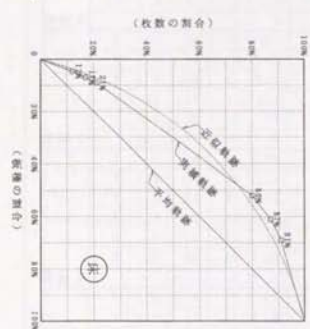
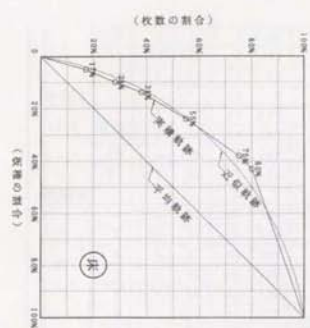
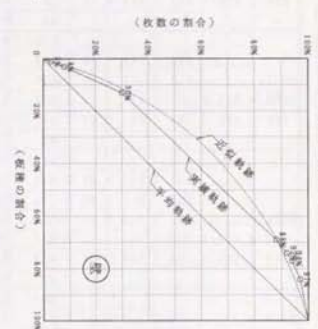
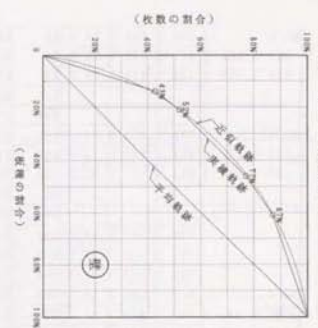
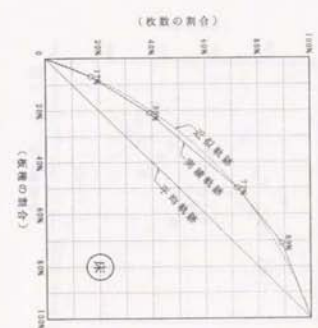


表4-4-1 実績分布半径の計算(壁板)

| | 枚/種 Q/S | 種 S | 枚 Q | 種 ΣSi | ΣQi | $X^2+Y^2+DX+EY+F=0$ | | | | 円心 | | 半径 偏差 |
|-----|------------|--------|--------|----------|------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | | | | | | Y | X | D | -D/2 | R | 偏差 | |
| 事例1 | | | 0 | 0 | 0% | | | | | | | |
| | 24 | 4 | 96 | 4 | 96 | 47% | 19% | -2.43 | 1.219 | 1.239 | 0.984 | 0.991 |
| | 20 | 3 | 60 | 7 | 156 | 76% | 33% | -1.95 | 0.965 | 0.966 | 0.121 | 0.127 |
| | 16 | 1 | 16 | 8 | 172 | 84% | 38% | -1.79 | 0.898 | 0.903 | | 12.8% |
| | 8 | 1 | 8 | 9 | 180 | 88% | 43% | -1.76 | 0.884 | 0.891 | | |
| | 3 | 6 | 18 | 15 | 198 | 97% | 71% | -1.80 | 0.953 | 0.954 | | |
| | 1 | 6 | 6 | 21 | 204 | 100% | 100% | | | | | |
| 事例2 | | | 0 | 0 | 0% | | | | | | | |
| | 9 | 5 | 45 | 5 | 45 | 56% | 24% | -2.34 | 1.174 | 1.187 | 1.088 | 1.093 |
| | 6 | 3 | 18 | 8 | 63 | 78% | 38% | -2.02 | 1.014 | 1.015 | 0.065 | 0.071 |
| | 2 | 5 | 10 | 13 | 73 | 90% | 62% | -2.15 | 1.075 | 1.078 | | 6.5% |
| 1 | 8 | 8 | 21 | 81 | 100% | 100% | | | | | | |
| 事例3 | | | 0 | 0 | 0% | | | | | | | |
| | 8 | 10 | 80 | 10 | 80 | 57% | 32% | -2.86 | 1.431 | 1.494 | 1.288 | 1.322 |
| | 6 | 2 | 12 | 12 | 92 | 66% | 39% | -2.71 | 1.356 | 1.402 | 0.103 | 0.122 |
| | 4 | 5 | 20 | 17 | 112 | 80% | 55% | -2.62 | 1.310 | 1.346 | | 9.3% |
| | 3 | 6 | 18 | 23 | 130 | 93% | 74% | -2.38 | 1.190 | 1.205 | | |
| 1 | 6 | 6 | 31 | 140 | 100% | 100% | | | | | | |
| 事例4 | | | 0 | 0 | 0% | | | | | | | |
| | 5 | 6 | 30 | 6 | 30 | 13% | 6% | -3.58 | 1.793 | 1.961 | 1.375 | 1.434 |
| | 4 | 31 | 124 | 37 | 154 | 88% | 40% | -2.63 | 1.315 | 1.353 | 0.246 | 0.309 |
| | 3 | 8 | 24 | 45 | 178 | 78% | 48% | -2.59 | 1.197 | 1.213 | | 21.6% |
| | 2 | 1 | 2 | 46 | 180 | 79% | 49% | -2.38 | 1.194 | 1.209 | | |
| 1 | 47 | 47 | 93 | 227 | 100% | 100% | | | | | | |
| 事例5 | | | 0 | 0 | 0% | | | | | | | |
| | 10 | 2 | 20 | 2 | 20 | 8% | 3% | -3.31 | 1.658 | 1.784 | 1.358 | 1.408 |
| | 8 | 14 | 112 | 16 | 132 | 51% | 26% | -2.79 | 1.396 | 1.451 | 0.146 | 0.182 |
| | 6 | 4 | 24 | 20 | 156 | 60% | 33% | -2.67 | 1.337 | 1.379 | | 12.9% |
| | 5 | 4 | 20 | 24 | 176 | 68% | 39% | -2.59 | 1.297 | 1.331 | | |
| | 4 | 8 | 32 | 32 | 208 | 80% | 52% | -2.46 | 1.231 | 1.253 | | |
| | 2 | 22 | 44 | 54 | 252 | 97% | 89% | -2.45 | 1.228 | 1.249 | | |
| 1 | 7 | 7 | 61 | 259 | 100% | 100% | | | | | | |
| 事例6 | | | 0 | 0 | 0% | | | | | | | |
| | 24 | 4 | 96 | 4 | 96 | 63% | 29% | -2.26 | 1.181 | 1.199 | 0.979 | 0.985 |
| | 20 | 2 | 40 | 6 | 136 | 89% | 43% | -1.72 | 0.863 | 0.874 | 0.112 | 0.111 |
| | 3 | 4 | 12 | 10 | 148 | 97% | 71% | -1.88 | 0.942 | 0.944 | | 11.4% |
| 1 | 4 | 4 | 14 | 152 | 100% | 100% | | | | | | |
| 事例7 | | | 0 | 0 | 0% | | | | | | | |
| | 19 | 1 | 19 | 1 | 19 | 10% | 2% | -2.45 | 1.229 | 1.251 | 1.010 | 1.014 |
| | 18 | 2 | 36 | 3 | 55 | 29% | 7% | -2.22 | 1.110 | 1.115 | 0.095 | 0.099 |
| 16 | 1 | 16 | 4 | 71 | 38% | 9% | -2.12 | 1.061 | 1.082 | | 9.8% | |

| | 枚/種 Q/S | 種 S | 枚 Q | 種 ΣSi | ΣQi | $X^2+Y^2+DX+EY+F=0$ | | | | 円心 | | 半径 偏差 | |
|------|------------|--------|--------|----------|------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|
| | | | | | | Y | X | D | -D/2 | R | 偏差 | | |
| 事例8 | 13 | 1 | 13 | 5 | 84 | 45% | 12% | -2.05 | 1.029 | 1.029 | | | |
| | 11 | 1 | 11 | 6 | 95 | 51% | 14% | -2.01 | 1.005 | 1.005 | | | |
| | 10 | 3 | 30 | 9 | 125 | 66% | 21% | -1.85 | 0.926 | 0.929 | | | |
| | 5 | 2 | 10 | 11 | 135 | 72% | 26% | -1.84 | 0.924 | 0.927 | | | |
| | 4 | 2 | 8 | 13 | 143 | 76% | 30% | -1.85 | 0.928 | 0.931 | | | |
| | 3 | 7 | 21 | 20 | 164 | 87% | 47% | -1.88 | 0.942 | 0.943 | | | |
| | 2 | 1 | 2 | 21 | 166 | 88% | 49% | -1.89 | 0.947 | 0.948 | | | |
| | 1 | 22 | 22 | 43 | 188 | 100% | 100% | | | | | | |
| | | | | 0 | 0 | 0% | | | | | | | |
| | 事例9 | 11 | 5 | 55 | 5 | 55 | 48% | 21% | -2.51 | 1.256 | 1.282 | 1.158 | 1.170 |
| 9 | | 1 | 9 | 6 | 64 | 56% | 25% | -2.39 | 1.196 | 1.212 | 0.052 | 0.059 | |
| 6 | | 1 | 6 | 7 | 70 | 61% | 29% | -2.37 | 1.188 | 1.202 | | 5.1% | |
| 5 | | 4 | 20 | 11 | 90 | 79% | 46% | -2.25 | 1.125 | 1.132 | | | |
| 4 | | 1 | 4 | 12 | 94 | 82% | 50% | -2.21 | 1.107 | 1.113 | | | |
| 3 | | 1 | 3 | 13 | 97 | 85% | 54% | -2.21 | 1.106 | 1.111 | | | |
| 2 | | 6 | 12 | 19 | 109 | 96% | 79% | -2.25 | 1.128 | 1.136 | | | |
| 1 | | 5 | 5 | 24 | 114 | 100% | 100% | | | | | | |
| 事例10 | | | 0 | 0 | 0% | | | | | | | | |
| | 6 | 9 | 54 | 9 | 54 | 51% | 28% | -2.99 | 1.469 | 1.542 | 1.402 | 1.460 | |
| | 4 | 2 | 8 | 11 | 62 | 59% | 34% | -2.89 | 1.447 | 1.514 | 0.068 | 0.084 | |
| | 3 | 7 | 21 | 18 | 83 | 79% | 56% | -2.80 | 1.402 | 1.459 | | 5.8% | |
| | 2 | 8 | 16 | 26 | 99 | 94% | 81% | -2.58 | 1.290 | 1.323 | | | |
| 1 | 6 | 6 | 32 | 105 | 100% | 100% | | | | | | | |
| 事例11 | | | 0 | 0 | 0% | | | | | | | | |
| | 9 | 4 | 36 | 4 | 36 | 43% | 14% | -2.28 | 1.142 | 1.151 | 1.168 | 1.180 | |
| | 4 | 2 | 8 | 6 | 44 | 52% | 21% | -2.34 | 1.174 | 1.187 | 0.015 | 0.017 | |
| | 3 | 7 | 21 | 13 | 65 | 77% | 45% | -2.36 | 1.184 | 1.198 | | 1.5% | |
| 2 | 4 | 8 | 17 | 73 | 87% | 61% | -2.34 | 1.172 | 1.185 | | | | |
| 1 | 11 | 11 | 28 | 84 | 100% | 100% | | | | | | | |
| 事例12 | | | 0 | 0 | 0% | | | | | | | | |
| | 15 | 1 | 15 | 1 | 15 | 3% | 1% | -2.77 | 1.389 | 1.443 | 1.327 | 1.370 | |
| | 10 | 10 | 100 | 11 | 115 | 24% | 10% | -2.95 | 1.476 | 1.551 | 0.128 | 0.153 | |
| | 9 | 2 | 18 | 13 | 133 | 28% | 12% | -2.91 | 1.458 | 1.529 | | 11.2% | |
| | 5 | 48 | 240 | 81 | 375 | 79% | 57% | -2.82 | 1.414 | 1.474 | | | |
| | 4 | 12 | 48 | 73 | 421 | 90% | 68% | -2.45 | 1.226 | 1.247 | | | |
| | 3 | 4 | 12 | 77 | 433 | 92% | 72% | -2.36 | 1.180 | 1.193 | | | |
| 2 | 7 | 14 | 84 | 447 | 95% | 79% | -2.29 | 1.148 | 1.157 | | | | |
| 1 | 23 | 23 | 107 | 470 | 100% | 100% | | | | | | | |

平均値 9.8%

表4-4-2 実績分布半径の計算(床板)

| 事例 | 吹/種 Q/S | 種 S | 枚 Q | Σ種 ΣS | Σ枚 ΣQ | X ² +Y ² +DX+EY+F=0 Y | P=0 E=-2-D X | D D | D -D/2 | R | 円心 偏差 | 半径 偏差 |
|-------|------------|--------|--------|----------|----------|--|-----------------|--------|-----------|-------|----------|----------|
| | | | | | | | | | | | | |
| 事例1 | 24 | 1 | 24 | 1 | 24 | 17% | 7% | -3.01 | 1.505 | 1.888 | 1.196 | 1.220 |
| | 20 | 2 | 40 | 3 | 64 | 44% | 20% | -2.66 | 1.332 | 1.373 | 0.177 | 0.206 |
| | 19 | 1 | 19 | 4 | 83 | 58% | 27% | -2.41 | 1.209 | 1.227 | | 16.9% |
| | 16 | 2 | 32 | 6 | 115 | 80% | 40% | -2.00 | 1.002 | 1.002 | | |
| | 4 | 6 | 24 | 12 | 139 | 97% | 80% | -2.17 | 1.085 | 1.088 | | |
| | 3 | 1 | 3 | 13 | 142 | 99% | 87% | -2.08 | 1.041 | 1.041 | | |
| | 1 | 2 | 2 | 15 | 144 | 100% | 100% | | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0% | 0% | | | | | |
| 事例2 | 9 | 1 | 9 | 1 | 9 | 17% | 8% | -2.89 | 1.447 | 1.515 | 1.265 | 1.293 |
| | 8 | 1 | 8 | 2 | 17 | 31% | 13% | -2.71 | 1.356 | 1.402 | 0.121 | 0.144 |
| | 6 | 1 | 6 | 3 | 23 | 43% | 19% | -2.66 | 1.332 | 1.373 | | 11.2% |
| | 5 | 3 | 15 | 6 | 38 | 70% | 38% | -2.34 | 1.173 | 1.186 | | |
| | 2 | 2 | 6 | 8 | 44 | 81% | 50% | -2.27 | 1.136 | 1.144 | | |
| | 2 | 2 | 4 | 10 | 48 | 89% | 63% | -2.25 | 1.131 | 1.138 | | |
| | 1 | 6 | 6 | 16 | 54 | 100% | 100% | | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0% | 0% | | | | | |
| 事例3 | 8 | 5 | 40 | 5 | 40 | 42% | 24% | -3.37 | 1.688 | 1.823 | 1.492 | 1.575 |
| | 6 | 2 | 12 | 7 | 52 | 54% | 33% | -3.25 | 1.629 | 1.746 | 0.156 | 0.195 |
| | 4 | 8 | 32 | 15 | 84 | 88% | 71% | -2.95 | 1.475 | 1.549 | | 12.4% |
| | 3 | 1 | 3 | 16 | 87 | 91% | 76% | -2.84 | 1.422 | 1.484 | | |
| | 2 | 4 | 8 | 20 | 95 | 99% | 95% | -2.49 | 1.248 | 1.272 | | |
| | 1 | 1 | 1 | 21 | 96 | 100% | 100% | | | | | |
| 6事例4 | 5 | 18 | 90 | 18 | 90 | 57% | 38% | -3.51 | 1.756 | 1.912 | 1.455 | 1.539 |
| | 4 | 13 | 52 | 31 | 142 | 89% | 65% | -2.31 | 1.155 | 1.166 | 0.300 | 0.373 |
| | 1 | 17 | 17 | 48 | 159 | 100% | 100% | | | | | 24.2% |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0% | 0% | | | | | |
| 45事例5 | 10 | 6 | 60 | 6 | 60 | 27% | 16% | -3.85 | 1.929 | 2.141 | 1.575 | 1.683 |
| | 8 | 9 | 72 | 15 | 132 | 60% | 39% | -3.29 | 1.649 | 1.773 | 0.235 | 0.303 |
| | 6 | 13 | 65 | 28 | 197 | 90% | 74% | -2.74 | 1.373 | 1.423 | | 18.0% |
| | 3 | 2 | 6 | 30 | 203 | 93% | 79% | -2.70 | 1.350 | 1.395 | | |
| | 2 | 8 | 16 | 38 | 219 | 100% | 100% | | | | | |
| 事例6 | 24 | 1 | 24 | 1 | 24 | 20% | 8% | -2.87 | 1.438 | 1.503 | 1.102 | 1.119 |
| | 20 | 1 | 20 | 2 | 44 | 37% | 15% | -2.70 | 1.351 | 1.396 | 0.191 | 0.215 |
| | 19 | 2 | 38 | 4 | 82 | 68% | 31% | -2.14 | 1.071 | 1.073 | | 19.3% |
| | 18 | 1 | 18 | 5 | 100 | 83% | 38% | -1.83 | 0.918 | 0.922 | | |
| | 4 | 3 | 12 | 8 | 112 | 93% | 62% | -1.94 | 0.970 | 0.970 | | |
| | 3 | 1 | 3 | 9 | 115 | 96% | 69% | -1.95 | 0.975 | 0.975 | | |
| | 2 | 1 | 2 | 10 | 117 | 98% | 77% | -1.98 | 0.990 | 0.990 | | |
| | 1 | 3 | 3 | 13 | 120 | 100% | 100% | | | | | |

| 事例 | 吹/種 Q/S | 種 S | 枚 Q | Σ種 ΣS | Σ枚 ΣQ | X ² +Y ² +DX+EY+F=0 Y | P=0 E=-2-D X | D D | D -D/2 | R | 円心 偏差 | 半径 偏差 |
|------|------------|--------|--------|----------|----------|--|-----------------|--------|-----------|-------|----------|----------|
| | | | | | | | | | | | | |
| 事例7 | 15 | 3 | 45 | 3 | 45 | 31% | 9% | -2.31 | 1.155 | 1.165 | 1.087 | 1.091 |
| | 14 | 1 | 14 | 4 | 59 | 40% | 11% | -2.18 | 1.090 | 1.093 | 0.031 | 0.034 |
| | 10 | 1 | 10 | 5 | 69 | 47% | 14% | -2.12 | 1.063 | 1.065 | | 5.2% |
| | 5 | 6 | 30 | 11 | 99 | 68% | 31% | -2.19 | 1.096 | 1.100 | | |
| | 4 | 2 | 8 | 13 | 107 | 73% | 37% | -2.18 | 1.093 | 1.097 | | |
| | 3 | 8 | 24 | 21 | 131 | 90% | 60% | -2.11 | 1.058 | 1.060 | | |
| | 2 | 1 | 2 | 22 | 133 | 91% | 63% | -2.11 | 1.057 | 1.058 | | |
| | 1 | 13 | 13 | 35 | 146 | 100% | 100% | | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0% | 0% | | | | | |
| | 事例8 | 10 | 2 | 20 | 2 | 20 | 24% | 9% | -2.68 | 1.340 | 1.383 | 1.219 |
| 7 | | 1 | 7 | 3 | 27 | 33% | 13% | -2.68 | 1.340 | 1.383 | 0.104 | 0.121 |
| 6 | | 2 | 12 | 5 | 39 | 48% | 22% | -2.62 | 1.312 | 1.349 | | 9.8% |
| 5 | | 3 | 15 | 8 | 54 | 66% | 35% | -2.45 | 1.226 | 1.247 | | |
| 4 | | 3 | 12 | 11 | 66 | 80% | 48% | -2.24 | 1.122 | 1.129 | | |
| 3 | | 1 | 3 | 12 | 69 | 84% | 52% | -2.19 | 1.098 | 1.103 | | |
| 2 | | 2 | 4 | 14 | 73 | 89% | 61% | -2.19 | 1.096 | 1.100 | | |
| 1 | | 9 | 9 | 23 | 82 | 100% | 100% | | | | | |
| 事例9 | 6 | 2 | 12 | 2 | 12 | 17% | 7% | -3.15 | 1.577 | 1.679 | 1.530 | 1.621 |
| | 4 | 4 | 16 | 6 | 28 | 39% | 21% | -3.32 | 1.662 | 1.789 | 0.107 | 0.136 |
| | 3 | 8 | 24 | 14 | 52 | 72% | 50% | -3.02 | 1.513 | 1.598 | | 6.4% |
| | 2 | 6 | 12 | 20 | 64 | 89% | 71% | -2.73 | 1.367 | 1.415 | | |
| | 1 | 8 | 8 | 28 | 72 | 100% | 100% | | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0% | 0% | | | | | |
| 事例10 | 10 | 1 | 10 | 1 | 10 | 17% | 5% | -2.54 | 1.273 | 1.302 | 1.182 | 1.199 |
| | 7 | 1 | 7 | 2 | 17 | 28% | 10% | -2.53 | 1.268 | 1.296 | 0.091 | 0.103 |
| | 6 | 1 | 6 | 3 | 23 | 38% | 14% | -2.49 | 1.246 | 1.270 | | 8.6% |
| | 5 | 2 | 10 | 5 | 33 | 55% | 24% | -2.37 | 1.187 | 1.202 | | |
| | 4 | 3 | 12 | 8 | 45 | 75% | 38% | -2.14 | 1.073 | 1.076 | | |
| | 3 | 1 | 3 | 9 | 48 | 80% | 43% | -2.09 | 1.045 | 1.046 | | |
| | 1 | 12 | 12 | 21 | 60 | 100% | 100% | | | | | |
| 事例11 | 10 | 4 | 40 | 4 | 40 | 12% | 4% | -2.92 | 1.462 | 1.533 | 1.336 | 1.383 |
| | 8 | 2 | 16 | 6 | 56 | 17% | 7% | -2.95 | 1.476 | 1.551 | 0.157 | 0.190 |
| | 6 | 2 | 12 | 8 | 68 | 21% | 9% | -3.06 | 1.531 | 1.621 | | 13.8% |
| | 5 | 38 | 190 | 46 | 258 | 80% | 52% | -2.47 | 1.237 | 1.259 | | |
| | 3 | 8 | 24 | 54 | 282 | 87% | 61% | -2.33 | 1.168 | 1.178 | | |
| | 2 | 7 | 14 | 61 | 296 | 91% | 69% | -2.29 | 1.145 | 1.154 | | |
| 1 | 28 | 28 | 89 | 324 | 100% | 100% | | | | | | |

平均値 13.2%

3. 分布特性の考察

第3節では、住棟平面アクセスの階段室式と廊下式は、1板種あたり生産枚数の平均値 ($\Sigma Q/\Sigma S$) における差が見られないと述べていた。つまり、必ずしもどちらの板種が多いとは言えないということである。但し、分布から見ると、階段室式と廊下式の違いは明かである。

図4-4-1-4 壁板の分布半径

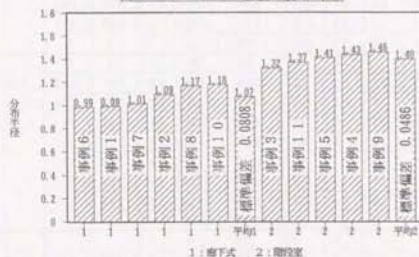
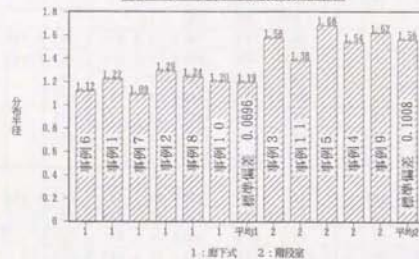


図4-4-1-5 床板の分布半径



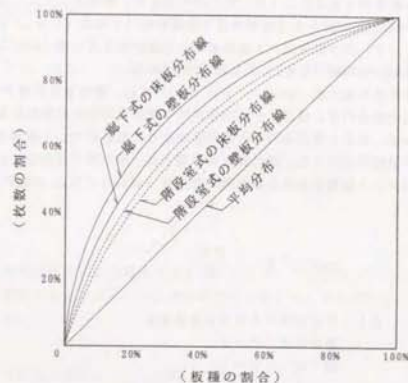
前の表5-4-1と表5-4-2に計算された分布半径を、階段室式と廊下式とに分けてまとめれば、図5-4-1-4と図5-4-1-5のようにになっている。階段室式の分布半径はすべて廊下式の分布半径より大きい。つまり、図5-4-1-6にまとめたように、階

段室式の分布軌跡は平均分布軌跡に近いことである。

簡単に言えば、1板種あたり生産枚数の平均値が同じ5とすれば、階段室式の場合は4と6の平均、廊下式の場合は2と8の平均、と言えるようである。

また、床板の分布半径がすべて壁板の分布半径より大きいことは、図5-4-1と図5-4-2の比較で明らかになっている。これは階段室式と廊下式との比較と同じような分布の違いがわかる。

図4-4-1-6 階段室式と廊下式、壁板と床板における分布特性の比較



では、以上のような分布特性に対する考察がいったいどのような意味を持っているかについては、以下のことが考えられる。

- ①まず、分布半径が大きいくほど、分布軌跡は直線の平均分布に近くなる。つまり、どの板種でもほとんど同じ枚数を生産する。この場合、工場生産は平準化が図りやすい。
- ②逆に、分布半径が小さい場合には、分布軌跡の傾きの変化が急激となる。つまり、1板種あたり生産枚数は、最大値から最小値まで激しく変動する。分布軌跡の円弧の前半部分は少ない板種で割合多くの枚数が生産できることを示す。残り後半部分は、1板種あたり生産枚数が非常に小さくなる。この場合、前半部分を工場で生産し、残り後半部分を現場打設によって補足する方法をとると、有効と考えられる。従って、壁式PCC工法の改良目標の1つとしては、現状の分布特性より、上述の①あるいは②に目指した方が生産性向上に有効と考えられる。

4. 分布半径の計算

P C a 板の枚数と板種との分布におけるモデル化方法や、それによって明らかになる分布上の特性などを述べてきた。さらに、分布を予測できるように、戸数やタイプ数などの住宅設計の基本要素から分布半径を計算する方法を求める。基本的な考えとしては、(0, 0)と(1, 1)の両特殊点に着目し、実績軌跡の傾きを解析する。さらに、それが近似軌跡の両特殊点における傾きと等しいと仮定すれば、それぞれの特殊点近似軌跡の半径が求められる。このように得た半径と実測分布半径との関係について、重回帰分析を行う。

まず、実績軌跡の傾きから見ると、(0, 0)点の傾きは、前述のように1板種あたり生産枚数の最大値(max(Q/S))と1板種あたり生産枚数の平均値($\Sigma Q_i / \Sigma S_i$)の比である。逆に、(1, 1)点の傾きは、1板種あたり生産枚数の最小値(min(Q/S))と1板種あたり生産枚数の平均値($\Sigma Q_i / \Sigma S_i$)の比である。

1板種あたり生産枚数の最大値(max(Q/S))については、階段室式と廊下式を区別して考える。階段室式の場合には、同じタイプの住戸でも階段室の左右の配置位置によって板種が異なる。従って、P C a 板が2戸ごと繰り返すようになるので、1板種あたり生産枚数の最大値が全戸数の半分になる。逆に廊下式の場合には、同じタイプの全ての住戸に共通板種が有りうるので、1板種あたり生産枚数の最大値(max(Q/S))が総戸数と同じである。

$$\max(Q/S) = \frac{\text{戸数}}{P}$$

但し：Pは住棟アクセスによる係数

階段室式：P=2

廊下式：P=1

住棟に幾つかのタイプの住戸を含む場合、タイプ(T₁, T₂, ..., T_n)に対応するそれぞれの戸数を{D(T₁), D(T₂), ..., D(T_n)}とすると、

$$\max(Q/S) = \frac{\max\{D(T_i)\}}{P}$$

ようになる。

この式によって11の事例に対する解析結果は、表4-4-3の中の理論最大Q/Sであり、実測最大Q/Sとほとんど同じになっている。ただ1つかなり異なるのは、事例11である。この事例は、戸数とタイプ数とも11の事例の中で最大であるため、異なるタイプの住戸にも共通部材があると考えられる。

1板種あたり生産枚数の最小値(min(Q/S))については、表4-4-1と表4-4-2から見ると、事例5の床板のほかにすべて1枚であることが明かである。従って、

$$\min(Q/S) = 1$$

のように設定することができる。

それでは、この1板種あたり生産枚数の最大値(max(Q/S))と1板種あたり生産枚数の最小値(min(Q/S))による実績軌跡の傾きは、それぞれ

$$\text{実績軌跡最大傾き： } A = \frac{\max(Q/S)}{\Sigma Q / \Sigma S} = \frac{\max\{D(T_i)\}}{P \times \Sigma Q / \Sigma S}$$

$$\text{実績軌跡最小傾き： } B = \frac{\min(Q/S)}{\Sigma Q / \Sigma S} = \frac{1}{\Sigma Q / \Sigma S}$$

ようになる。さらに、式4-3の($\Sigma Q / \Sigma S$)の結果を代入すれば、式4-5と式4-6のようになる。

$$A = \frac{\max\{D(T_i)\} \times A_4 \times T}{a_4 \times D \times P} \quad (4-5)$$

$$B = \frac{A_4 \times T}{a_4 \times D} \quad (4-6)$$

一方、近似軌跡の円弧の最大傾きと最小傾きは、それぞれ(0, 0)と(1, 1)点における導関数である。これらは上述のAとBと等しいと仮定すれば、式4-7と式4-8が成立する。

$$\text{近似軌跡最大傾き： } y'(x=0) = \frac{C+1}{C-1} = A \quad (4-7)$$

$$\text{近似軌跡最小傾き： } y'(x=1) = \frac{C-1}{C+1} = B \quad (4-8)$$

$$\text{但し： } C = \sqrt{2R^2 - 1}$$

これらの式によって、表4-4-3のような計算で、R₀とR₁が求められた。

R₀とR₁は、(0, 0)点と(1, 1)点において、それぞれの理論式に基づいて求めたものであり、分布半径Rの影響要素と見なされている。その重要度及び、理論と実際の誤差については、統計的方法によって解析する。従って、分布半径Rは、式4-5から式4-8の結果をまとめた式4-9によって計算することができる。

解析を行ってみると、事例5だけが解析結果と実績結果とは大きく離れていることが判明したので、この事例を外して、再び統計解析を行い、表5-4-3の下の結果を得た。

$$R = \alpha_1 R_0 + \alpha_2 R_1 + \alpha_3 = \alpha_1 \sqrt{\frac{C_0+1}{2}} + \alpha_2 \sqrt{\frac{C_1+1}{2}} + \alpha_3 \quad (4-9)$$

$$C_0 = \frac{A+1}{A-1} \quad A = \frac{\max(D(T_i)) \times A_i \times T}{\alpha_i \times D \times P}$$

$$C_1 = \frac{1+B}{1-B} \quad B = \frac{A_i \times T}{\alpha_i \times D}$$

つまり、統計解析係数 α は、

$$\alpha_{1s} = 0.142, \quad \alpha_{2s} = 0.497, \quad \alpha_{3s} = 0.157$$

$$\alpha_{1a} = 0.190, \quad \alpha_{2a} = 0.232, \quad \alpha_{3a} = 0.567$$

のようになっている。相関係数が壁板、床板とも0.9以上になっているので、実用可能な正確性を持つ結果といえる。

この結果によって求めた分布半径Rと実測の分布半径との比較は、図4-4-17と図4-4-18に示され、事例5のほかは、ほとんど一致していることがわかる。

事例5については、壁板、床板とも実測分布半径は解析分布半径より大きくになっている。つまり、実際には1板種あたり生産枚数(Q/S)の変化が緩くなっている。

この事例の特殊性を考察すると、まず、住戸面積は11の事例の中で一番大きい。また、他の事例は、ほとんど開口の小さい長方形住戸プランになっているが、事例5はたまたま開口の大きい正方形に近い住戸プランである。この2つ特性を持つ住戸においては、住戸の中に一般的な横方向だけでなく、縦方向も壁が配置されるので、PCa板の分割方法が比較的に特殊になっている。

事例4についても、2タイプの住戸の中の1タイプが、面積と開口とも大きいという似た特性を持っているので、住棟全体の実測分布半径が解析結果よりやや大きいように、図4-4-17と図4-4-18から見えている。但し、このような住棟の分布特性を究明するためには、もっと多くの事例を用いることが必要である。

このように、住戸面積あるいは開口寸法が一定の範囲を越えた場合、1板種あたり生産枚数の平均値($\Sigma Q/\Sigma S$)のレベルには差が見られないが、枚数と板種の分布(Q/S)の変化は、比較的特殊になることが有り得る。このような事例への分析は残っているが、一般的な住宅建築物に適用する、PCa板枚数と板種の分布に関する解析方法を確立できた。この方法によって、戸数やタイプ数のみ決めた設計の早い段階で、枚数と板種の分布を把握することが可能になり、生産計画の立案及び生産方法の選定に大きな意味を持っている。

表4-4-3 解析分布半径の計算

| 順 | 事例 | 実測最大Q/S MAX(Q/S) | 実測最小Q/S MIN(Q/S) | 壁 | | | | 床 | | | | | | | | | | | |
|----|------|---------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | A | B | C0 | C1 | R | R' | A | B | C0 | C1 | R | R' | | | | |
| 1 | 事例1 | 24 | 24 | 2.503 | 0.104 | 2.379 | 1.833 | 1.792 | 1.123 | 0.971 | 0.991 | 2.671 | 0.111 | 2.197 | 1.250 | 1.132 | 1.156 | 1.220 | |
| 2 | 事例2 | 9 | 9 | 2.505 | 0.176 | 2.379 | 1.771 | 1.792 | 1.438 | 1.128 | 0.993 | 2.671 | 0.297 | 2.197 | 1.844 | 1.707 | 1.483 | 1.238 | 1.293 |
| 3 | 事例3 | 8 | 8 | 1.407 | 0.216 | 5.916 | 1.427 | 4.242 | 2.232 | 3.375 | 1.322 | 1.500 | 0.187 | 5.000 | 1.462 | 5.606 | 2.252 | 1.545 | 1.575 |
| 4 | 事例4 | 5 | 5 | 1.740 | 0.348 | 3.701 | 2.068 | 2.711 | 1.624 | 1.652 | 1.454 | 1.656 | 0.371 | 3.358 | 2.180 | 2.464 | 1.431 | 1.539 | |
| 5 | 事例5 | 10 | 10 | 2.059 | 0.207 | 2.871 | 1.522 | 1.550 | 2.268 | 1.04 | 1.408 | 2.205 | 0.221 | 2.659 | 1.565 | 2.009 | 1.314 | 1.256 | 1.683 |
| 6 | 事例6 | 24 | 24 | 2.295 | 0.096 | 2.543 | 1.212 | 1.592 | 1.111 | 0.886 | 0.985 | 2.448 | 0.102 | 2.381 | 1.277 | 1.119 | 1.176 | 1.119 | |
| 7 | 事例7 | 19 | 15 | 4.401 | 0.293 | 1.568 | 1.830 | 1.327 | 1.475 | 1.061 | 1.014 | 4.652 | 0.313 | 1.541 | 1.910 | 1.339 | 1.535 | 1.170 | 1.091 |
| 8 | 事例8 | 11 | 10 | 1.787 | 0.253 | 2.119 | 1.979 | 1.657 | 1.382 | 1.061 | 1.170 | 2.972 | 0.370 | 2.014 | 1.740 | 1.350 | 1.419 | 1.201 | 1.242 |
| 9 | 事例9 | 6 | 6 | 1.407 | 0.234 | 5.916 | 1.613 | 4.242 | 3.342 | 1.428 | 1.450 | 1.500 | 0.250 | 5.000 | 1.667 | 5.606 | 3.714 | 1.574 | 1.621 |
| 10 | 事例10 | 9 | 10 | 3.827 | 0.383 | 1.707 | 2.740 | 1.399 | 1.735 | 1.220 | 1.160 | 4.081 | 0.408 | 1.643 | 2.379 | 1.384 | 1.823 | 1.252 | 1.199 |
| 11 | 事例11 | 15 | 10 | 1.443 | 0.240 | 6.515 | 1.633 | 3.953 | 1.354 | 1.392 | 1.370 | 1.538 | 0.235 | 4.714 | 1.690 | 4.008 | 1.338 | 1.539 | 1.353 |

枚数の分布半径(事例5を除外)
 回帰分析の結果

| | | |
|---|-----------|-------------|
| Y | 切片 | 0.157 |
| Y | 回帰係数の標準誤差 | 0.092 |
| R | 2乗 | 0.818 |
| X | 標本数 | 10 |
| X | 自由度 | 7 |
| X | 係数 | 0.190 0.232 |
| X | 係数の標準誤差 | 0.033 0.141 |

壁板の分布半径(事例5を除外)
 回帰分析の結果

| | | |
|---|-----------|-------------|
| Y | 切片 | 0.157 |
| Y | 回帰係数の標準誤差 | 0.061 |
| R | 2乗 | 0.911 |
| X | 標本数 | 10 |
| X | 自由度 | 7 |
| X | 係数 | 0.142 0.407 |
| X | 係数の標準誤差 | 0.017 0.106 |

図4-4-17 解析分布半径と実測分布半径の比較1

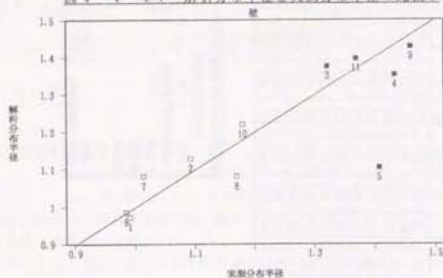
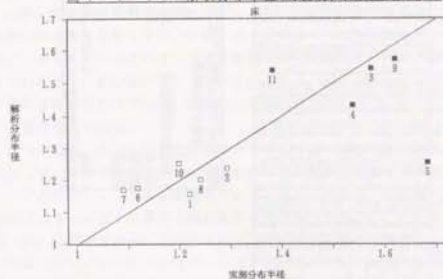


図4-4-18 解析分布半径と実測分布半径の比較2



第5節 まとめ

部材の分割は、建設対象を工場生産対象へ転換するための、壁式PCa工法の実行上で重要な一環である。部材の合理的な分割及び数量、種類の把握は、工場の生産計画の制定や生産性の予測などに大きな意味を持っている。但し、現実では、少なくともPCa板板種の発生要因と分布に対する定量的な把握方法が確立されていないのである。このため、工業化生産論の命題においては、工場生産対象となるPCa部材の数量と種類に対する研究が不可欠になっている。

第1節では、部材分割の問題点を論じながら、部材論の意義と課題を明確にした。まず、PCa板の分割においては、構法上の合理性、生産の可能性、生産性を向上するための種類の集約などが基本的な要求である。また、この原則に基づいて分割したPCa板の枚数と板種について、住棟と枚数、住棟と板種、枚数と板種の3つの関係に対する定量的な分析方法を確立することは重要である。このため、1.3の実際の建設事例を分析対象として取り扱い、その概要と代表的な平面図をまとめた。さらに、予め部材における研究分析用の記号を定義してきた。

第2節は、PCa板の分割における制約要素、分割方法及び、PCa板枚数の把握方法に関するものである。まず、構工法の制約、空間スペースへの配慮、構造強度と安全、製造上の要求と制約、運輸上の制約、建方の制約などの方面から、具体的にPCa板分割における要素を考察した。次に、枚数をPCa板数量に対する評価単位とする適当性を考察した上で、住棟と枚数との関係についての定量的な分析モデルを確立した。さらに、1.3の事例に対する統計解析を行いながら、その正確性と実用性を確認した。

第3節では、板種の発生要因に対する考察と解析モデルの導きを行った。まず、板種という概念を、住棟単位の範囲内において、壁板、床板、屋根板などの大きな種類に分けられ、その中で、それぞれの形状、寸法、ディテール、材質、埋め込み関係などによって区別されるものと位置づけた。次に、板種を把握するために、PCa板の繰り返し特性に対する分析によって、1板種あたり生産枚数の平均値($\Sigma Q / \Sigma S$)の解析モデルを開発した。さらに、実測の基本データを用いて検証を行った。

第4節では、枚数(Q)及び1板種あたり生産枚数の平均値($\Sigma Q / \Sigma S$)を把握した上で、枚数と板種の具体的な分布特性に対する考察と解析を行った。まず、枚数と板種の分布における表現方法をモデル化した。これによって、階段室式と廊下式、壁板と床板などの分布上の違いが明らかになってきた。さらに、分布が予測できるように、分布半径の計算方法を開発してきた。これによって、戸数やタイプ数などを決めた設計の早い段階で、PCa板の枚数と板種の分布の把握が可能になっている。

このように、部材分割の制約要素及び板種の分類基準を確認した上で、住棟と枚数、住棟と板種、枚数と板種などの関係に対して、一連の解析モデルを開発して、有効性と正確性などを確認した。この成果は、次章以降の工場生産性に関する研究の基礎になるほか、実務にも直接利用することが可能であり、生産計画の制定やコストの予測などに役割を果たせるように期待している。

第5章 P C a板の工場生産

余白

第5章 P C a板の工場生産

第5章 P C a板の工場生産

第1節 P C a板の工場生産概要

- 1. 生産方式
- 2. 生産工程と要素
- 3. 生産特性

第2節 工場調査

- 1. 調査対象概要
- 2. 生産の展開
- 3. 生産タイプの分類

第3節 生産計画

- 1. 生産単位
- 2. 生産計画

第4節 まとめ

第5章 P C a板の工場生産

第1節 P C a 板の工場生産概要

壁式 P C a 工法の実用化は、昭和 30 年代の後半であった。初期の P C a 板生産は、ほとんど現場仮設工場あるいは移動工場に行っていたが、その後、P C a 住宅メーカーの出現に伴い、住宅専用の固定工場が数多く建設されてきた（参考文献 1-25：Ⅲ-第 1 章、第 2 章）。現在、柱梁系 P C a 部材を生産する現場仮設工場はよくみられているが、住宅用の壁式 P C a 工法の P C a 板はほとんど固定工場で生産されるようになっていく。

プレハブ建築協会の「プレハブ住宅販売戸数実績調査及び生産能力調査報告書 平成 3 年度」によると、平成 4 年 3 月 31 日現在、プレハブ建築協会の「P C a 部材品質認定書」を取得した中高層コンクリート系 P C a 工場は、日本全国に 46 工場あり、その半分以上の 27 工場が関東地方に分布している。そのほか、まだ数多くの低層コンクリート系工場や協力工場などがあるとされている。

1. 生産方式

P C a 板の生産方式については、図 5-1-1 のような分類がある。



図 5-1-1 P C a 板生産方式の分類（参考文献 1-31 P546）

日本においては、初期に縦打ち方式を広く採用していた。その利点は、

- ①生産ラインが集約できる。
- ②仕上作業が簡単で、仕上も美しい。
- ③脱型強度をそれほど必要としない。

などがある（参考文献 2-25）。しかし、面外の形状の変化に対応しにくい、型枠が複雑、コンクリートの充填性がわるいなどの弱点のため、短期間で姿が消えてしまった。

平打ちの積層方式は、少品種大量生産が求められる土木工用部材などに対して、生産ラインの利用効率の向上などに有効と思われる。しかし、多様な住宅用部材の生産には、異なる種類の部材を重ねて製造することが困難なので、適用しにくいと考えられる。また、製造方式としては、P C a 板の成型精度や仕上がりが悪いという短所がある（参考文献 1

3 P521）。現状では、住宅用 P C a 板生産に採用されている方式は、型枠定置式の平打ち（固定平打ち）と移動式の平打ち（移動平打ち）の 2 種類しかない。その内でも固定平打ちは最も普及されている。両者の特徴については、設備、投資、生産工程などの面から表 5-1-1 のようにまとめた。

また、工場によって、1 日 2 サイクルの回転も可能であるが、現在では、ほとんどの工場は、1 日 1 サイクルの生産で運営を行っている。

表 5-1-1 P C a 板生産方式の比較（参考文献 2-25 など）

| | 固定平打ち | 移動平打ち |
|------|--------------------------|----------------------------|
| 採用状況 | 多い | 少ない |
| 設備 | 簡単 | 大きい、複雑 |
| 事前投資 | 少ない | 大きい |
| 生産工程 | 分散的 ほとんどの作業が同一のラインに集約 | 流れ生産、システム化 補助ラインが必要 |
| 作業者 | 移動が多い。多工種間のコミュニケーションが必要 | 移動しない、習熟しやすい 分業化、専門化が容易 |
| 作業方式 | 手作業が多い | 機械化、自動化しやすい |
| 生産性 | 低い | 高い |
| 柔軟性 | 部材ごとの難易度への対応が容易 | 段取り時間が固定なので、多品種への対応が困難 |

2. 生産工程と要素

P C a 板の工場生産における生産工程は、生産方式を問わず、図 5-1-2 のように、型枠、鉄筋、部品、コンクリートなどの要素で、生産準備、打設、ストックの 3 段階から構成される（参考文献 2-25 など）。

その中で、鉄筋、部品、コンクリートはいずれも最終製品の構成材料である。つまり、「入荷→材料在庫→加工・製造→製品在庫→出荷」のような物流になり、一般的な工業生産の製造工程の特徴を持っている。しかし、型枠は最終製品でも、またはその一部でもないので、生産設備であると同時に在庫である。同じ板種でできるだけ多くの P C a 板を生産することによって型枠の費用が低減できるのは、壁式 P C a 工法の長所として言われ続けている。しかし、現状では、建築の多様化の要求が強く、品種の増加に伴い、型枠が複雑になり、かつ量が膨大化している。型枠を新規製造したりセットしたりする費用やそ

のための管理の手間などは、多品種少量生産には大きな障害になってきている。

つまり、工業化生産の大きなメリットとしては、工場及びほとんど固定している生産設備を用いて繰り返し生産できることによって、生産性を高めることである。建築生産の工業化は、まさにもともと散在的な現場での建築生産に、生産性の高い工業化生産方式を適用することを目的としている。しかし、品種の多いP C a板の工場生産においては、生産設備である型枠を常に変えなければならない。従って、P C a板生産の柔軟性と生産効率においては、何よりも型枠の管理と転用が最も重要である。これに関しては、第6章と第7章に詳細な分析を行う。

また、図5-1-2に示しているライン内生産工程は、固定平打式の1日の作業手順である。まず前日のP C a板の脱型から始まり、1日の製造作業が終わってから、夜にかけてP C a板をライン内で養生する。移動式においては、これらは移動ラインの構成要素となる。つまり、型枠セット、鉄筋セット、コンクリート打設などの作業を分けて、それぞれの場所、機械、作業員を固定し、生産物を移動しながら作業を行う。この場合、すべての作業が、異なる場所で一日中に行われている。

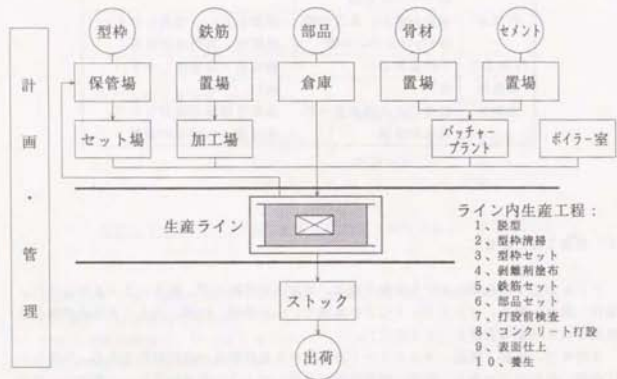


図5-1-2 P C a板の生産工程と要素

3. 生産の特性

P C a板生産の特性については、生産体制、生産対象、生産工程などの視点から考察できる。

まず、量産住宅でも言われるように、P C a板の生産体制は一時量産体制であった。しかし、今はほとんど受注生産体制になっている。量産体制は、P C a板の機類をまとめて、同一の型枠で、計画的繰り返し生産を行う。つまり、この場合の住宅生産は、予め生産されて在庫しているP C a板を用いて構築することになる。この方式は、確かに生産性向上やコストダウンには有効といえるが、画一的な住宅しかできなく、多様化する需要に対する柔軟な対応性を欠いている。住宅生産の量より質の重視の傾向で、量産体制は否定されてきた。現状では、ごく一部の生産業者及び限られた対象のほかは、生産体制はほとんど受注生産へ移行されている。受注生産体制では、プロジェクトごとに生産計画を制定し、型枠を整備することになるので、一定の範囲内で生産の自由度が解放される。つまり、この場合には、P C a板の在庫の代わりに、型枠を準備しておく。生産を行う際、型枠の変更あるいは新規製造などで、プロジェクトごとの具体的な要求に対応できる。但し、特に規模の小さいプロジェクトには、複数のものに型枠を転用しないと、費用の増加が困難となり、生産性の低下、コストアップになりやすいことが事実である。従って、型枠の管理と転用が大きな課題として問われることは前述した。

次に、P C a板という生産対象は、一般的な工業製品に比べ、最も重要な性格が三つある。

① 物的に、面積・重量が大きいこと。

② 中間的なクローズド製品であること。一般的な工業生産対象はほとんど最終製品か、オープン部品である。例えば、車、テレビなどは最終製品で、タイヤ、半導体などはオープン部品である。これらの製品の最大の特徴としては、製品自身で価値を持つことである。しかし、P C a板は最終製品でなく、単にP C a住宅の1構成部品に過ぎない。特に、受注生産の場合、特定の建築物の特定部位のみに、存在価値が全くないといえる。

③ 付加価値が小さいこと。これに関しては、まず中間製品的な性格であることが重要な要因である。また、P C a板の価格評価は、最終製品の価値ではなく、コンクリート、鉄筋などの原材料使用量に、材料使用量あたり加工費用を加える場合が多い。従って、製品ごとの複雑さによる生産効率の差は考慮されにくい。(参考文献1-8)

こういう性格をもつP C a板の生産は、まず機械化・自動化になりにくいことが考えられる。また、物的に大きく、付加価値の小さいクローズド製品の工場生産の妥当性には、疑問がもたれている(参考文献2-8)。

また、生産工程が単純であるが、効率が低く、周期は長い。工場生産といっても、特に固定平打式の場合、作業はほとんど在来工法と区別のない手作業で行う。他の製造業と比べれば、機械化、自動化生産などが大きく進んでいる。また、P C a板の養生に時間がかかるので、生産サイクルが長く、設備の利用率が低いのである。生産ラインから外して、しかも、コンクリートの強度待ち及び工場生産の連続性と現場着工の分散性による差などで、長いストック期間が必要になる。従ってほとんどのP C a工場は、半分以上の面積がストック場になっているのが現状である。

壁式PCa工法あるいはその他PCa部材を用いる工法は、建築躯体生産の工業化を可能にし、作業環境の改善、工期の短縮に意味が大きいといわれている。但し、PCa部材の工業化生産には、まだ多くの問題が残されることは事実である。これからさまざまな努力により、生産設備などのハード面の改善だけでなく、生産体制の整備や管理技術の進歩などのソフト技術の開発と応用も重視しなければならない。

第2節 工場調査

1. 調査対象概要

PCa板の工場生産及び生産性については、調査対象となっている5社の中の3社の4工場に対してヒアリング調査及び生産性分析を行った。表5-2-1にはこれらの工場の概要をまとめてある。

表5-2-1 調査対象となったPCa工場の概要

| | A1工場 | A2工場 | B1工場 | E1工場 |
|-------|-----------------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| 設立 | S38 | S45(82年にFA化) | S41 | S48 |
| 製品種類 | 中、高層住宅PCa部材 (規格型とFP型) | 中層住宅PCa部材 (規格型のみ) | 中、高層住宅PCa部材 (規格型とFP型) | 中層住宅PCa部材 (その他少量) |
| 敷地面積 | 64,176㎡ | 53,572㎡ | 35,102㎡ | 23,415㎡ |
| 従業員 | 230名(180) | | 150名 | 80名(65) |
| 年生産量 | | | 27.6千㎡ | 11.2千㎡ |
| 生産方式 | 固定平打式 | 回転平打式+ 固定平打式 | 固定平打式 | 固定平打式 |
| ライン数 | 6 | 1+1 | 3 | 3 |
| ライン長さ | 961m(長さ) | 1680+262㎡ | 616m | 2585.8㎡ |
| 生産能力 | 120~150枚 150~180㎡ 6.5戸(3DK) | 145+25 | 80枚 100~118㎡ 7戸 | 50~66枚 50~70㎡ 1.7戸 |

* () 内のは連業者人数を示す。

4工場は、すべてPCa住宅の専門工場であり、壁式PCa工法以外のPCa部材の生産をほとんど行っていない。

A1工場は、昭和38年に設立され、日本最初のPCa住宅専門生産工場といわれている。PCa板の生産には一般的な固定平打式を採用している。また、規格型とFP型、中層と高層を全て生産しており、4工場の中で最もPCa住宅生産の特性をもつ代表的なPCa工場といえる。本研究のPCa板生産計画及び型枠セット工事生産性に対する分析には、主にこの工場を対象としている。

A2工場は、A社の中の規格型中層集合住宅の専門工場である。最大の特徴は、回転平打式のFA(Factory Automation)化フローラインシステムで生産を行うことである。FA化フローシステムとは、コンピュータ制御された機械を駆使して、システム的にPCa板を生産していく方式である。PCa工場の中では数少ない機械化・自動化されている例

といわれている。

B 1 工場は、A 1 工場より規模がやや小さいが、生産方式や生産対象がかなり似ている部分がある。但し、計画的に固定型の製品を生産しているのは、ほとんど受注生産体制になった P C a 住宅生産の現状においては、特徴的である。

E 1 工場は、壁式 P C a 工法を用いて中層集合住宅を生産する専門工場である。規模と年生産量も比較的小さく、中小 P C a 工場の代表として取り上げている。この工場では、生産ラインの配置などが比較的单純な形になっているほかに、年間生産量が少ないので、プロジェクト間の型枠を共用するなどの規格化を行っていない。つまり、プロジェクトごとに生産計画を制定し、型枠を整備するようになり、どのようなものに対しても同一の生産方式を採用している。

尚、生産能力は、それぞれの工場のパンフレットによるもので、必ずしも同一規準によるものにはなっていない。

2. 生産の展開

以上の4工場に対してヒアリング調査を行い、それぞれの生産特性を、表5-2-2のよりにまとめてきた。ここで生産特性については、生産対象や生産方式などのほかに、型枠の運用方式の区別を重要な要素としている。

まず、生産対象が中層か、高層かの区別のほかに、特に中層の中には固定型、規格型、F P 型の区分がある。A 2 工場が中層の規格型のみ、E 1 工場が中層の F P 型のみという単純な場合に比べ、A 1 工場と B 1 工場では、中層と高層両方とも生産対象となり、規格型や F P 型などの生産を同時に行っている。B 1 工場はさらに受注生産体制と固定型の計画生産体制を併用している。計画生産においては、固定型の製品を連続生産するので、プロジェクト間における段取りなどが大きく軽減できる。但し、この生産体制は、廉価な住宅を対象としており、全生産量の一部しか適用できない。また、製品のストック期間がほとんど半年前後になるので、非生産的な在庫支出が大きくなっているのは実状であると B 1 工場で行われている。

次に、P C a 板生産の生産効率における最も重要な要素といわれる型枠の運用方式から、各工場の生産特性を分析する。固定型の計画生産では、複数の建築物に対して、板種ごとに多数の P C a 板を連続生産するので、型枠を変更せず固定して繰り返し使用できると考えられる。しかし、受注生産の規格型あるいは F P 型においては、プロジェクトごとに P C a 板の板種がかなり異なる場合がある。仮にプロジェクト間に共通板種があるとしても、受注時期によって生産は必ずしも連続していない。従って、前プロジェクトの型枠を他のプロジェクトに転用する場合には、管理や保管の手間がかかる。また、保管される型枠の量が膨大化しやすく、使用率が低下する可能性が十分考えられる。いわゆる規格型と F P 型の区別は、まさに型枠の運用方式に関わっている。

受注生産体制において、規格型と F P 型を同時に採用している A 1 工場と B 1 工場から、以下のような型枠の運用方式の区分が見られる。

①設計図面に従って、ベッドや外枠や中枠などの資材を型枠として新しくセットする。

これを新規セットといい、特にプロジェクト間の共通板種などを考慮せずに設計された F P 型の工事ごとに行う必要がある。

②標準平面シリーズなどに従って設計された規格型の複数の工事においては、共通板種が予め設計されているので、型枠を工事と工事の間に転用することができる。また、F P 型のプロジェクトの中で、異なる住棟の間の共通あるいは相似の板種に対して、こういう転用も可能と考えられる。これを工事間転用という。

③同一工事の中で、ある板種の P C a 板をすべて生産した型枠を、他の相似性がある板種へ転用することがある。これを工事内転用という。

規格型と F P 型を同時に採用する場合に限らず、以上の分類は規格型のみあるいは F P 型のみという特殊な場合にも適用する。例えば、A 2 工場では工事間転用と工事内転用、E 1 工場では新規セットと工事内転用のように見なすことができる。つまり、これらは一貫性をもつ型枠の運用方式の分類といえる。具体的に各分類の生産性の差などについては、次章の型枠セット工事に詳しく分析する。また、ここで扱っているプロジェクトや住棟や工事などの概念については、第三節の生産単位分析に従う。

以上、主に生産方式の区別及び型枠の運用方式から、調査した4工場の生産展開上の特性を分析した。そのほかに、工場の配置、鉄筋の加工や型枠のセットなどの具体的な作業方法、生産設備などにおいても、各社の違いが見られている。例えば、いわゆる F A 化された A 2 工場における自動化機械を用いた生産のほかに、A 1 工場では型枠自動清掃機と自動出し機を導入するといった例も見られている。但し、特に機械化されておらず、手作業による型枠セットや鉄筋加工を行う在来的方法は、まだまだ多く使われている。

表5-2-2 各工場の生産特性

| A1工場 | A2工場 | B1工場 | E1工場 |
|---|--|--|--|
| ・中層と高層、規格型とF P 型の生産を同時に行う。 | ・中層の規格型のみ生産する。 | ・中層と高層、固定型と規格型とF P 型の生産を同時に行う。 | ・設計上の規格型か、F P 型かを問わずに、全て同じ生産方法による。 |
| ・固定平打式 ・型枠セット場、生産ライン、ストック場などが分散されるので、物流は複雑であり、生産効率が影響される。 | ・回転+固定平打式 ・回転式のF A ラインには、3分間の段取り時間が決められ、3分以上必要な板種が補助の固定ラインに転出される。 | ・固定平打式 ・型枠セット場、生産ライン、ストック場などが分散されるので、物流は複雑であり、生産効率が影響される。 | ・固定平打式 ・生産ラインとストック場の間に、効率の良い天井クレーンで連動する。 |
| ・受注生産 | ・受注生産 | ・固定型は計画生産、その他は受注生産 | ・受注生産 |
| ・工事ごとに型枠計画と整備を行う。工事が終わった時点で、全ての型枠を生産ラインから引き上げ、規格型は保管、F P 型は解体を行う。 | ・工事ごと型枠計画を行う。全ての型枠を成形した状態で保管場で待機する。 | ・固定型の型枠が生産ラインに固定して繰り返し生産を行う。その他はA1工場と同じ。 | ・工事ごとに型枠計画と整備を行う。工事が終わった時点で全ての型枠を解体する。 |
| ・型枠の運用方式は①新規セット、②工事間転用、③工事内転用に分けられている。①と②は型枠セット場で、③は生産ライン上で行う。 | ・新規セットがほとんどなく、工事間転用と工事内転用のように、成形した型枠を転用することが中心となる。両方とも型枠セット場で行う。 | ・固定型における型枠のセット換えなどは、発生頻度と工数とも少ないようである。規格型とF P 型についてはA1工場と同じ。 | ・型枠は工事間転用されておらず、工事ごとに、生産ライン上で新規セットと工事内転用を行う。 |
| ・鉄筋加工は在来の方法で行う。 ・型枠自動清掃機、自動撤だし機などを導入している。 | ・自動鉄筋加工ライン及び、自動型枠清掃・セットラインが設置されている。 | ・鉄筋加工と型枠セットとも在来の方法で行う。 | ・鉄筋加工と型枠セットとも在来の方法で行う。 |

3. 生産タイプの分類

ここまで述べた調査対象に対して、生産方式の区分及び生産量の違いによって、以下の3つの生産タイプに分類することができる。

タイプ1：少品種多量生産。B1工場の固定型とA2工場の規格型の生産はこれに属する。型枠が簡単に繰り返し転用できるので、単に生産効率から見れば理想的なタイプと言える。量産時代には、ほとんどこのタイプの生産になっていた。しかし、民間の散在的で多様な需要が生産対象の中心となった現状では、適用対象は、全体の需要の中にまともめられた標準化しやすい、かつ連続生産の可能な部分にのみ限られている。つまり、P C a 住宅供給・生産事業者にとっては、このタイプの生産だけを行うことは考えにくく、部分的に扱う。

タイプ2：多品種多量生産。A1工場及び固定型のほかのB1工場の生産は、これの例である。受注生産体制及び建築物の種類が多様でありながら、ある程度生産量がまとめられるので、複数の工事に対して共通性あるいは相似性を見出し、型枠を工事間転用することが可能である。さらに、転用の可能性によって、規格型とF P 型のように生産方式を区別し、生産性に対応性のバランスを柔軟に把握できる。

タイプ3：多品種少量生産。E1工場のような中小P C a 工場は、ほとんどこのタイプの生産になっている。特徴としては、少ない生産量に対して型枠の工事間転用の可能性が低いので、全てプロジェクトごとに新規セットを行う。

ここでの多量と少量は、品種あたりの生産量ではなく、工場としての、例えば年間生産戸数のような生産量を表すものである。

また、それぞれの社内の供給・生産規模からみると、工場の構成あるいは分割については、図5-2-1のように考えられる。つまり、生産量の少ない業者はタイプ3、生産量の中間の業者はタイプ2、生産量の多い業者はタイプ2+タイプ1のようになっている。生産量の多い業者の中には、さらに、同じ工場に多タイプ生産か、工場ごとのタイプ区分かの2種類が見られている。

図5-2-1 生産量、生産特性分類、工場の関係

| 分類 生産量 | タイプ1 | タイプ2 | タイプ3 | 例 |
|-----------|---------|---------|---------|----|
| | 少品種多量生産 | 多品種多量生産 | 多品種少量生産 | |
| 大 | 工場 | 工場 | | A社 |
| ↑ | | 工場 | | B社 |
| | | | 工場 | |
| ↓ | | | 工場 | E社 |

第3節 生産計画

1. 生産単位

まず、PCa板は1枚ごとに生産されるので、これを工場の最小生産単位とすることは簡単に理解できる。但し、在来現場打設工法に比べれば、この生産単位に含まれる工業化生産の意義は大きい。

在来現場打設工法の場合、「部位」あるいは「工事」の生産単位における分割方法は良くみられる。例えば、1階の柱、2階のスラブなどは、建築物における「部位」という形的な分割方法であり、鉄筋工事、型枠工事などは、作業対象における「工事」という仕事の分割方法である。(参考文献1-1)

PCa板の「枚」という生産単位は、建築物においては形的な分割であるが、「部位」ではなく、「部品」である。従って、生産における時間、空間の制約がなくなり、工場生産、連続性と平均化、種類の集約などの工業化生産の必要な条件を揃えてきた。但し、PCa板ごとに、鉄筋、コンクリートなどの工事がすべて発生しており、「枚」は「工事」を集約している。在来のように仕事ごとの職種とすると、作業が分散的になり、専門化や習熟などには不利である。つまり、この場合には、在来の職種の組合せではなく、新しいPCa板生産職種を養成することが必要である。または、工場の生産ラインの流れを工夫することによって作業を単純化し、生産性を向上を図る。(参考文献1-1)

次に、生産計画では、生産特性あるいは需要者を示すように、PCa板を「群」としてまとめた生産単位が必要である。

量産体制の場合は、PCa板を、どの建築物でも使えるようなオープン部品として計画的に生産する。「群」は、生産特性をまとめた板種ごとにになり、つまり、板種生産単位である。しかし、PCa板の中間的な性格及び建築物の多様化傾向によって、板種ごとの生産量を把握しにくい。在庫量の増加と無用品の負担は、正に量産体制の終結の1つの重要な原因である。

受注生産体制では、営業、設計、生産などの全プロセスにおいて単位が一致するように、プロジェクト生産単位を取り扱うことが一般的である。調査した4工場は、固定型のほかに、すべてこのようになっている。但し、PCa板の生産特性のまとめを考慮すると、プロジェクトが複数の住棟を含む場合には、部材論で住棟ごとと考察したと同じように、住棟生産単位を導入する必要がある。その理由は、

- ①住棟を独立の建築物と見なすことができる、
- ②住棟はPCa板の枚数と板種の生成母体である、
- ③型枠の転用単位である、

などである。従って、住棟生産単位は、本研究の1つ提案でもあり、特に部材と生産性に対する定量分析の基礎になっている。

これらの生産単位を整理すると、図5-3-1のように表現できる。量産体制と受注生産体制における生産単位の区別は、縦と横の違いと言える。

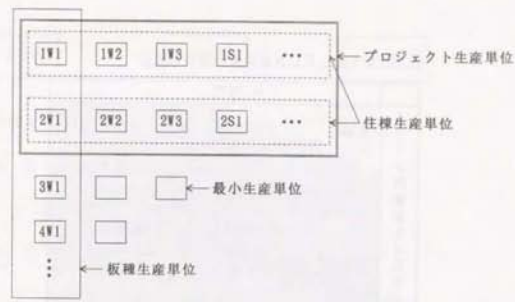


図5-3-1 PCa住宅の生産単位

2. 生産計画

PCa板の工場生産にあたっては、PCa住宅の設計あるいは現場工事の各種情報をまとめ、工場内生産条件を考慮しながらPCa板の生産計画を立てなければならない。生産計画は、通常工程計画、設備計画、資材計画、労務計画などから構成するが、ここでは、PC板生産における特に重要、かつ互いに関係の深い工程計画と型枠計画について議論する。

この2つの計画の制定フローチャートについては、A1工場の手順を例として、図5-3-3に示している。

生産工程計画に関しては、PCa板製造工程表やライン工程表などがある。設計工程と現場施工工程の情報を整理しながら、生産の順位と日程などを決め、さらに型枠の使用状況や生産ラインの占有状況などをまとめる。生産能力が、生産ラインにおける型枠ベットの収容枚数で決まるので、複数の工事を同時に生産する場合の生産工程は、図5-3-2のように独特な山積み状態になっている。

もう一つは型枠の計画である。計画書(表5-3-1)は、転用元、当工事における転用計画、使用後の処置などから構成される。規格型の場合、型枠は他工事あるいは保有の成形した型枠から引き当て、使用後にセットしたままで保存する。FP型の場合は、ほとんど新規セットが必要で、使用後に解体される。この計画に基づいて、さらに型枠セットあるいはセット替えの内容及び時点を計画し、指示書を発行する。

型枠の管理と転用は、PCa板生産に最も重要なノウハウの1つである。その計画の方法や効果の差異などについて、第6章にて詳細な分析を行う。

図5-3-2 PCa板製造山積み工程表

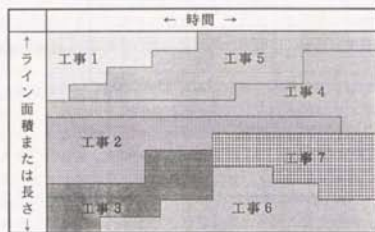


表5-3-1 型枠転用計画書形式

| 転用元 | | 当工事転用計画 | | | | | 使用後の処置 |
|-----|-----|---------|-----------|----------|------|----------|--------|
| 工事名 | 板名 | 呼称 | 仮'+'#i/s' | 仮'+'#NO. | 初回板名 | 工事内転用板名 | 備考 |
| A工事 | W10 | W61 | 3×9m | S1J003 | W10L | W10R:W11 | 保存 |
| | ... | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

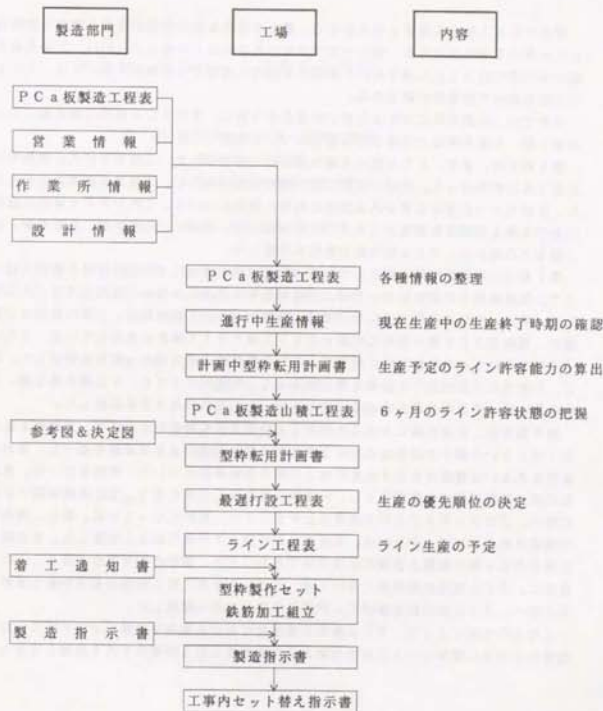


図5-3-3 PCa板工場生産計画

第4節 まとめ

壁式 P C a 工法の生産プロセスの中で、最も工業化生産の特性が現れる重要な段階は、P C a 板の工場生産である。部材分割や設計の標準化などの最大の目的は、工場生産を可能かつ円滑に行うことに過ぎない。建築の多様化へ対応する柔軟性においては、P C a 板の工場生産の生産効率が鍵である。

本章では、生産効率に対する分析と評価を行う前に、予め P C a 板の工場生産における生産工程、生産計画などの基本的な要素について考察してきた。

第1節では、まず、P C a 板の工場生産に広く採用されている固定平打式と移動平打式に対する比較を行った。次に、生産工程と構成要素の中から、単なる生産道具でありながら、多様でかつ在庫の必要がある型枠の転用と管理について、これが P C a 板の生産効率における最も重要な影響要素であることを指摘した。さらに、生産体制、生産対象、生産工程などの面から、P C a 板生産の特性を考察した。

第2節は工場調査結果のまとめである。調査対象となった4工場の特性と概要を述べた上で、生産展開上の特性については、生産対象や生産方式や型枠の運用方式などから分析した。特に、型枠の運用方式については、新規セット、工事間転用、工事内転用などの分類が、規格型と P P 型を同時に生産する A 1 工場と B 1 工場から見られている。さらに、4工場のそれぞれの生産方式に対して、これらの型枠運用方式の一般性を検証した。最後に、生産方式の区別及び生産量の違いによって、生産のタイプを、少品種多量生産、多品種多量生産、多品種少量生産の3つにまとめ、それぞれのあり方を比較した。

第3節では、生産計画における生産単位と計画方法を考察した。まず、当然だと思われる「枚」という最小生産単位の中に含まれる工業化生産の大きな意義を述べた。また、生産特性あるいは需要者を示す生産計画上で扱う生産単位について、考察を行った。量産体制には、板種ごとに生産単位とし、計画的に繰り返し生産を行う。受注生産体制への移行に伴い、プロジェクトごとに生産単位とすることは一般的になっている。但し、複数住棟で構成されるプロジェクトには、生産単位が住棟とすべきであると提案した。その理由は、住棟が P C a 板の数量と板種の生成母体であることと、型枠の転用単位であることにある。最後に、P C a 板生産の計画においては、ラインの生産工程と型枠の転用が最も重要であると述べ、A 1 工場の例を挙げて、計画の手順と方法を説明した。

これらの考察によって、P C a 板の工場生産における基本な要素と方法を明らかにし、本章からの主に型枠セット工事を対象とした生産性分析と評価の土台を構築してきた。

第6章 型枠セット工場の生産性

第1節 型枠セット工事と生産性評価

1. 型枠セット工事
2. 型枠セット工場の生産性評価

第2節 型枠の構成と物的生産性

第3節 型枠のセットと転用

1. 型枠のセットと運用方式
2. 型枠の転用の計画方法

第3節 工数分析

1. 調査概要と分析要約
2. 工事別型枠数と工数の集計
3. セットの頻度と工数の分布
4. 枚数、型枠数、ベッド数の分布

第5節 まとめ

第1節 型枠セット工事と生産性評価

1. 型枠セット工事

型枠セット工事は、工場生産における形状多様なP C a板を打ち込み成形するための、単枠、部品、治具、ベッドなどの組み合わせ工程と方法に関する計画、設計、加工、組立、解体、転用などを指す。型枠工事ともいわれているが、在来工法の現場での型枠工事と区別するために、本研究では型枠セット工事ということにする。型枠セット工事のフローチャートについては、図6-1-1のようにまとめている。

型枠セット工事の計画は、前章に述べたように、生産計画の重要な要素であり、型枠のセット、転用、使用後の処理などを含める。調査した各工場でも、型枠管理と計画は専門の担当者によって行われ、特有のノウハウと経験が必要である。保有しているものを用いて組み合わせてもP C a板の形状に対応できない場合は、型枠資材の新規製造が必要となる。通常型枠資材の設計や製造は、その専門業者あるいは工場によって行う。但し、階高や平面寸法モジュールや接合ディテールなどが標準化されたので、「商品」シリーズを変換する場合を除いて、型枠資材の新規製造が必要になることはそれほど多くはない。つまり、ほとんどの工事に対して、保有型枠資材を用いて組み合わせるか、成形した型枠を部分変更して転用するかで対応できる。この場合、型枠の運用方式については、前述した新規セット、工事前転用、工事中転用がある。ここでいうセットは、型枠の新規セットおよびセット換えを含めている。セット換えは、工事前転用あるいは工事中転用のための、成形した型枠を部分的に変更することを指す。

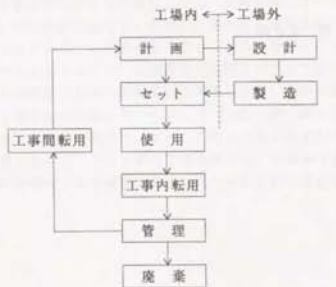


図6-1-1 型枠セット工事のフローチャート

計画生産の場合には、いわゆる少品種多量生産であり、同じ型枠を用いて繰り返して生産

ができる。つまり、型枠の新規製造、新規セット、セット換えともほとんどない、あるいは発生頻度が非常に小さいと考えられる。しかし、住宅の多様化及び受注生産体制への移行に伴い、P C a板の板種が多くなり、かつプロジェクトあるいは工事ごとで生産を行うので、生産性を向上するために、型枠を有効に転用することが重要になってくる。転用は、型枠資材だけでなく、セット工数を低減するために、成形した状態の型枠を部分変更しながら、他の板種、他の工事へ転用する必要がある。その必要性と可能性については、図6-1-2の上段での要素が考えられる。逆に、転用の困難さあるいは不利となる要素については、下段のようなものが考えられる。

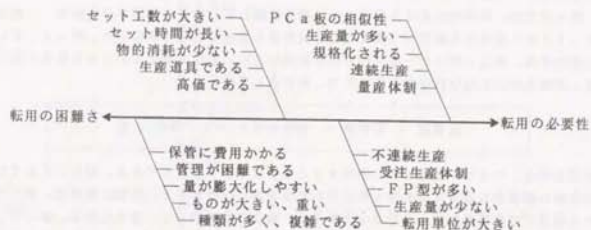


図6-1-2 型枠転用における要因整理

2. 型枠セット工事の生産性評価

型枠セット工事の生産性については、

$$\text{型枠セット工事の生産性} = \text{型枠資材の物的生産性} + \text{型枠セットの労働生産性}$$

のように評価すべきと考えられる。物的生産性は、ベッドや環板などの型枠資材の使用効率を表す指標である。現場打設の木製型枠と異なり、P C a板の生産型枠はほとんど鋼製のものを採用しているので、消耗が少なく長時間使用することが可能である。また、多品種生産においても、寸法変化のためのモジュールの採用や、枠材のシステム化による対応性向上などで、資材として数多くの工事に転用できる。このような資材の使用効率の良さは、今まで従来P C a工法のメリットとして言われてきたことである。しかし、労務費が高騰する背景の下で、資材費用の償却より、型枠のセットあるいはセット換えにかかる労務費の方が現状では大きくなってきた。特に、F P型などの受注生産においては、新規製造でなく、保有の型枠資材に対応できる場合が多い。但し、工事ごとに板種の形状などを

合わせて、新規セットあるいはセット換えを行わなければならない。この場合、型枠セット工事の費用はほとんどセットあるいはセット換えのための人件費になると考えられる。工場に対するヒアリング調査の結果によると、現状では、型枠セット工事の全費用の中で、セットあるいはセット換えの人件費が50%を超えている。つまり、その生産性の評価においては、型枠セットの労働生産性を最も重要な要素と見なすことができる。

型枠資材の物的生産性については、資材の製造費用、使用頻度、償却方法などを考察しなければならない。但し、その使用と更新の周期が極めて長いので、調査は困難である。本研究では、資材の構成及び工場の保有と使用状況のみに対して考察を行う。型枠セットの労働生産性については、代表的な実施事例に対して定量的な評価を行うが、評価の要素と指標を予め考察しておく。

第4章では、本研究における板種という概念に関して、材質、配筋などを排除し、型枠セット工事に関連する形状や寸法などを判別要素とすることを明確にした。従って、P C a板の外周、開口、ディテール、埋め込み関係などのいかなる変化によっても板種が異なり、型枠も対応しなければならないので、原則としては、

$$\text{板種数} = \text{型枠数} = \text{型枠セット(セット換え)回数}$$

が成立する。つまり、板種ごとに型枠セット工事は発生するはずである。但し、それぞれの板種の複雑さによって、セット換えにかかる手間には差がある。非常に簡単な、例えばある部品だけを取り外すようなセット換えは、独立の型枠としない場合もある。従って、実際の型枠計画において、板種数と型枠数とは必ずしも同一ではない。よくみられる例として、一般階と最上階の外壁板は、スラブの掛け方によって板種が異なるのに、同じ型枠にまとめられている。

また、P C a板生産型枠におけるもう1つの変数はベッド数であり、型枠の転用方法と生産ラインの占有においては重要である。一般的には、枠材が同じで、板長や開口などの変化だけの複数の型枠を、同じ鋼製ベッドの上で順番にセット換えしていく。これはいわゆる工区内転用である(以降の図6-3-1に参照)。従って、実務上においては、板種数、型枠数、ベッド数の関係は以下ようになる。

$$\text{(実務上)} \quad \text{板種数} \geq \text{型枠数} \geq \text{ベッド数}$$

型枠セットの労働生産性に対する考察においては、型枠数をセットあるいはセット換への頻度の指標として用いて、型枠あたりのセット工数及び変動範囲を把握する。ここではベッド数を、工区内転用の頻度(工区内転用率)を考察する参考指標として用いる。つまり、工区内転用率は、全型枠数に対して、同一のベッドで転用できる数の割合であり、下の式のように表せる。

$$\text{工区内転用率} = \frac{\text{型枠数} - \text{ベッド数}}{\text{型枠数}}$$

第2節 型枠の構成と物的生産性

型枠資材の物的な構成については、図6-2-1に示されたものがある。資材種類の多さから見ても、型枠の複雑さと多様さが想像できる。これらは、型枠セット工事の内容あるいは範囲ともいえる、いかなる部品の取付あるいは変更にも、型枠のセットあるいはセット換えが発生する。すなわち、型枠計画の内容として現れ、型枠の専門業者により行う。

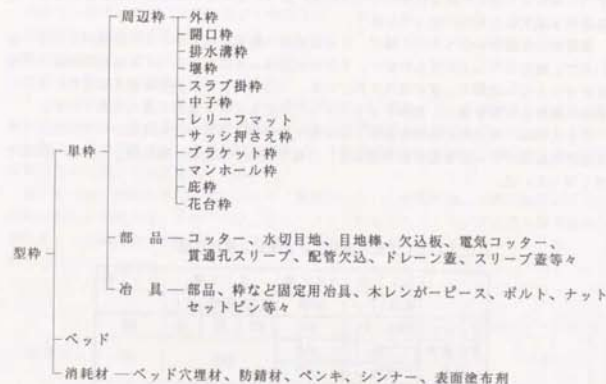


図6-2-1 型枠資材の機能別分類

これらの膨大な資材の内、多くはどの工事も使える共通部品である。例えばベッド、治具、消耗材などである。形状寸法の多い外枠、中枠なども、システム化された場合が多く、異なる工事に対しても再び組み合わせ、いわゆる新規セットあるいはセット換えて対応できる。従って、単に資材だけから見ると、転用の可能性と回数がかなり大きいと考えられる。しかも、鋼製で耐久性がよく、数百回の使用が可能といわれている。但し、型枠セットの労働生産性を向上するために成形した状態で転用する場合、保有形態は資材から板種ごとの型枠となり、資材の必要量が多くなると考えられる。つまり、相当部分の量は成形型枠として保管され、常に資材として転用しないことである。

生産道具としての型枠資材の保有と運用については、鋼製ベッドを対象として各工場の現状を調査し、表6-2-1にまとめた。

固定型と規格型に使われるベッドは、単枠などととも常に成形した状態で繰り返し使

用されている。FP型に用いられるベッドは、よく使われる単品の資材として理解すべきで、必ずしも型枠の転用には関連しないのである。

規格型とFP型の生産を常に行うA1工場とB1工場は、ラインの許容生産枚数の5倍以上のベッドを保有している。その大部分は、過去の規格タイプなどに対応した型枠として、成形した状態で保管されている。実際には、転用機会がほとんどなく、廃棄物と同然である。資材の量が膨大になった原因については、長い生産の歴史の中で数多くの規格タイプを生産してきたこと、それらの型枠を再び使用できるように保管している。実状では、すべて重なる使用不能な状態になっている。また、逆に広い保管場所が必要となり、資産運営上は大きな負担になってしまふ。

規格型の生産のみ行うA2工場は、FA化に伴い整備されてからまだ時間が立っていないので、無用なベッドが見られない。300枚のベッドには、すべて規格型に対応して枠材をセットした状態で、常に運用されている。一方、資材の有効な管理と転用のために、型枠の縦置き保管場と、型枠セットラインに対応した立体倉庫が導入されている。

E1工場は、基本的に型枠を成形した状態での保管と転用が行われないので、ラインの生産許容枚数プラス必要な生産準備あるいは補足枚数で済むが、実状は、これよりかなり多くなっている。

表6-2-1 各工場のベッド保有と運用状態

| | A1工場 | | A2工場 | | B1工場 | | E1工場 |
|------|------|-----|------|----|------|----|------|
| | 規格 | FP | 規格 | 固定 | 規格 | FP | - |
| ライン上 | 40*2 | 40 | 145 | 32 | 32 | 16 | 60 |
| 常に転用 | 30 | 155 | 320 | | 90 | | |
| 保管 | 630 | 0 | | | | | |
| 合計 | 780 | 300 | 400 | | 150 | | |

このように、高価といえながら、型枠資材の運用にはまだ大きな問題が残っている。特に、型枠セットの労働生産性を向上するための成形した状態の転用には、資材の保有量が多くなり、転用の適当範囲の把握及び適時の更新と廃止を行わないと、さらに膨大になりやすい。

日本においては、PCA板の生産をはじめから、鋼製型枠を用い続けている。このような物的に大きく、重く、かつ高価な型枠をいかに管理し、かつ円滑に転用することは、生産性向上の重要な課題である。

第3節 型枠のセットと転用

1. 型枠のセットと運用方式

型枠のセットと分類については、第5章で述べたA1工場の現状をベースとして分析を行う。

型枠のセット作業は、一般的に以下の手順で行う。

- ①必要なベッド、単枠などの部品を揃える。
- ②部品の清掃と修理（穴埋めなど）を行う。
- ③墨出し、固定用穴開けなどをする。
- ④部品をセットする。
- ⑤記号を記入し、待機する。

これらの作業は、すべて手作業による場合が多いが、最近、A1工場とA2工場は自動型枠清掃機械と自動墨出し穴開け機械を導入し、作業効率を大幅に上げたといわれている。自動墨出し穴開け機械は、直接生産設計のデータが利用でき、特に多品種生産への対応に役割を果たせるように望まれている。

第5章では、型枠の運用方式について、新規セット、工事前転用、工室内転用の3つに分類することを述べた。それぞれを、図6-3-1のようにイメージすることができる。型枠セット作業における区別については、以下のように考えられる。

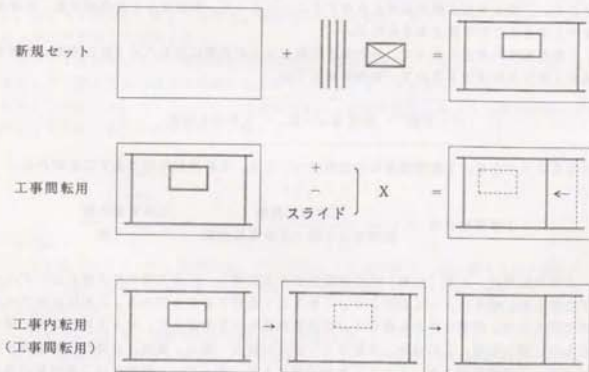


図6-3-1 型枠セットの分類

新規セットは、ベッドで外枠、中枠などの枠材を新しくセットするので、上述の型枠セット作業をすべて行わなければならない。この場合はセット工数が成形した型枠の転用より大きいと考えられる。また、作業が複雑で、時間が長いので、ほとんどの工場は、新規セットは専用の型枠セット場で行う。部材が標準化されていないFP型においては、プロジェクトごとに新規セットを行わなければならない。また、部材を標準化している規格型においては、1回目の型枠セットが新規セットである。NP型においては、型枠資材を新規製造するほかに、新規セットという作業が必要である。しかし、同一の工事の中で、すべての板種が新規セットとなるわけではない。板種ごとの相似性によって、工室内転用の可能な板種をグループに分けて、同一のベッドでセット換えしながら順に生産する。つまり、他の工事から型枠を転用しない場合には、新規セットの数がベッド数と等しい。

工室内転用は、前工事あるいは成形している保有型枠から引き当てる、部分的な変更と修正(図6-3-1のX)を行うことによって他の工事へ転用することである。工室内転用もほとんど型枠セット場で行うが、新規セットよりセット作業を大幅に節減できる。但し、異なるプロジェクトにおいては、生産計画、生産時期が必ずしも連続しない。このような場合については不連続生産と見なす。なぜなら型枠の転用は、生産ラインからの搬入・搬出、管理、在庫などが必要になるので、仮に全く同じ型枠を工室内転用しても、セット工数が発生する。逆に、同一のプロジェクトにおける複数の住棟においては、連続生産と見なす。この場合の転用も工室内転用というが、作業方法と場所などは、後述する工室内転用と同じようになる。工室内転用は、部材の標準化などを行った規格型の工室内、複数の住棟を含むFP型の異なる住棟間に運用されることが多い。複数のFP型プロジェクト間に型枠を工室内転用することは、現状では見受けられない。但し、管理技術の進歩などで、このような工室内転用を応用することによって、新規セットを低減でき、生産性を向上することが可能と考えられる。

工室内転用の運用によって、もともと新規セットが必要になるベッド数の中で、一部が他の工事から転用できるので、型枠計画上では、

$$\text{ベッド数} = \text{新規セット数} + \text{工室内転用数}$$

となるようである。工室内転用の可能性については、工室内転用率で表すことができる。

$$\text{工室内転用率} = \frac{\text{工室内転用数}}{\text{新規セット数} + \text{工室内転用数}} = \frac{\text{工室内転用数}}{\text{ベッド数}}$$

工室内転用は、工事(住棟)内の相似性がある板種を、生産工程の許す限り同じグループにまとめ、順序によって型枠をセット換えて転用することである。これは生産ライン内で行うので、作業条件と生産ラインの有効利用などを考慮して、セット時間の短く簡単なものに限られる。この場合、生産ラインからの搬入・搬出、管理、在庫なども必要がないので、工室内転用より、さらに工数が低減できる。従って、一般的には工室内転用率が高ければ高いほど、生産性は高くなると考えられる。全型枠数における工室内転用の割合は、工室内転用率で表す(第1節2に参照)。

繰り返していうが、ここで扱う工事という概念が、前章に述べた住棟生産単位であることを明確にしなければならない。また、セット工数については、

$$\text{新規セット} > \text{工室内転用} > \text{工室内転用}$$

のような関係が明かである。

但し、具体的な差を定量的に分析するために、A1工場のセット工数基準(表6-3-2)を例として取り上げる。その中で、基本的な考え方としては以下ようになる。

- ① 中枠(IV)を独立の要素として、新規セットか、工室内転用か、工室内転用かの運用方式を問わずにすべて同じ工数とする。
- ② 中枠を除いた外枠などについては、新規セット(I)、工室内転用(II)、工室内転用(III)のそれぞれの運用方式によってセット工数を表記する。
- ③ 壁板(W)と床板・屋根板(S)を区別し、それぞれにセット工数を決める。
- ④ 壁板においては、さらにレリーフ&梁付(1)、スラブ掛り(2)、平枠(3)など枠材の種類によってセット工数を区別する。
- ⑤ 同じく床板・屋根板においても、床&屋根立上り、平枠のセット工数を区分する。
- ⑥ 転用する場合においては、セット換作業の内容によって工数を「大」、「小」と区分する。「大」の場合は、外枠の移動及び電気・設備関係の変更を含める。「小」の場合は、外枠が変わらず、電気・設備関係などの軽微なセット換えであり、記号の最後に(A)を付ける。

例えば、記号の1-W-3は、ある壁板の平枠を使う型枠を新規セットすることを意味し、セット工数が1.5人工となる。開口などもある場合、セット工数は該当する中枠のセット工数を加えたものとする。

セット工数基準の中で、型枠運用方式の違い、枠種の違い、「大」と「小」の違いによるセット工数の差を定量的に考察するために、表6-3-3のように相関マトリクス法を用いて分析する。マトリクスの中の相関係数は、横軸の記号のセット工数が縦軸の記号のセット工数を割った結果である。例えば、

$$\frac{1-W-2}{1-W-1} = \frac{1.75}{2.25} = 0.78$$

である。

こうすることによって、枠種の違いによるセット工数の割合、型枠運用方式の違いによるセット工数の割合、「小」と「大」のセット工数の割合については、表6-3-4のような結果を得た。

この結果について、壁板の場合を例として説明する。

まず、枠種の違いによるセット工数の割合について、平枠とスラブ掛りとの比を例としてみると、平均値は

$$\frac{\text{平枠}}{\text{スラブ掛り}} = \frac{? - W - 3}{? - W - 2} = 0.87$$

になる。<?>は、新規セット(Ⅰ)、工事中転用(Ⅱ)、工区内転用(Ⅲ)のいずれかとする。つまり、平枠を使う場合のセット工数は、スラブ掛りの枠を使用する場合のセット工数の87%になる。

次に、型枠運用方式の違いによるセット工数の割合について、工事中転用と新規セットとの比を例としてみると、平均値は

$$\frac{\text{工事中転用}}{\text{新規セット}} = \frac{Ⅱ - W - ?}{Ⅰ - W - ?} = 0.69$$

になる。<?>は、レリーフ&梁付(1)、スラブ掛り(2)、平枠(3)の何れかとする。つまり、工事中転用のセット工数は、新規セットの69%で済む。

さらに、工事中転用と工区内転用における「大」と「小」の割合について、平均値は、

$$\frac{\text{外枠を除いたセット換え「小」}}{\text{外枠を含めたセット換え「大」}} = \frac{?_1 - W - ?_2 A}{?_1 - W - ?_2} = 0.49$$

になる。<?_1>は、新規セット(Ⅰ)、工事中転用(Ⅱ)、工区内転用(Ⅲ)のいずれかとする。<?_2>は、レリーフ&梁付(1)、スラブ掛り(2)、平枠(3)の何れかとする。この結果によると、外枠を含むセット換えの工数は、電気・設備関係のみのセット換えの工数の倍以上になる。

このような分析によって、1つの型枠については、例えば工事中転用とするか、新規セットとするかのセット工数の差が明らかになってくる。運用方式の選択やセット工数の評価などに、判断要素として用いることができる。

最後に、型枠セット及び運用方式の分類について、これまでの考察に基づき表6-3-1のようにまとめている。

表6-3-1 型枠セットの分類のまとめ

| 分類 | 運用単位 | 作業場所 | 工数と評価 | ポイント | 適用 |
|-------|------------|------|-------|---------|-----------|
| 新規セット | プロジェクトごと | セット場 | Ⅰ+Ⅳ 大 | 詳細指示 | FP型、規格型初回 |
| 工事中転用 | プロジェクト間 | セット場 | Ⅱ+Ⅳ 中 | 型枠の管理 | 規格型 |
| | アウツサイトの住棟間 | ライン内 | Ⅲ+Ⅳ 中 | 住棟の特性把握 | F P型連続生産 |
| 工区内転用 | 工事(住棟)内 | ライン内 | Ⅲ+Ⅳ 小 | 順序が重要 | 相似の板種間 |

表6-3-2 型枠セットの工数基準

| Ⅰ、新規セット(中枠を除く) | | | Ⅱ、工事中転用(中枠を除く) | | | Ⅲ、工区内(工事中)転用(中枠を除く) | | | |
|----------------|--------------|------------|----------------|--------------|---------|---------------------|----------|---------|--------------|
| 項目 | 記号 | 人工 | 項目 | 記号 | 人工 | 項目 | 記号 | 人工 | |
| 壁 | レリーフ&梁付 | Ⅰ-W-1 2.25 | レリーフ&梁付 | Ⅱ-W-1 大 1.65 | レリーフ&梁付 | Ⅲ-W-1 大 1.2 | 壁 | レリーフ&梁付 | Ⅲ-W-1 大 1.2 |
| | スラブ掛り | Ⅰ-W-2 1.75 | レリーフ&梁付 | Ⅱ-W-1 小 0.78 | レリーフ&梁付 | Ⅲ-W-1 小 0.55 | | スラブ掛り | Ⅲ-W-2 大 0.95 |
| 床 | 床&屋根立上り | Ⅰ-S-1 2.0 | スラブ掛り | Ⅱ-W-2 大 1.15 | スラブ掛り | Ⅲ-W-2 大 0.45 | 床 | スラブ掛り | Ⅲ-W-2 小 0.45 |
| | 平枠 | Ⅰ-S-2 1.5 | スラブ掛り | Ⅱ-W-2 小 0.6 | スラブ掛り | Ⅲ-W-2 小 0.45 | | 平枠 | Ⅲ-W-3 大 0.8 |
| P&手摺 | 平枠 | Ⅰ-P-1 1.25 | 平枠 | Ⅱ-W-3 大 1.0 | 平枠 | Ⅲ-W-3 大 0.38 | P&手摺 | 平枠 | Ⅲ-W-3 小 0.38 |
| | 手摺 | Ⅰ-P-2 1.5 | 平枠 | Ⅱ-W-3 小 0.55 | 平枠 | Ⅲ-W-3 小 0.38 | | 床 | Ⅲ-S-1 大 1.2 |
| 廻り場 | 廻り場 | Ⅰ-O-1 1.5 | 床 | Ⅱ-S-1 大 1.4 | 床 | Ⅲ-S-1 大 0.6 | 廻り場 | 床 | Ⅲ-S-1 小 0.6 |
| | IV、その他(中枠など) | | 床 | Ⅱ-S-1 小 0.78 | 床 | Ⅲ-S-1 小 0.6 | | 平枠 | Ⅲ-S-2 大 0.9 |
| 廊下・天井マット | ① | 0.3 | 床 | Ⅱ-S-2 大 1.1 | 平枠 | Ⅲ-S-2 大 0.45 | 廊下・天井マット | 平枠 | Ⅲ-S-2 小 0.45 |
| | ② | 0.45 | 平枠 | Ⅱ-S-2 小 0.6 | 平枠 | Ⅲ-S-2 小 0.45 | | 上:FPc | Ⅲ-P-1 大 0.8 |
| 庇 | ③ | 0.45 | P&手摺 | Ⅱ-P-1 大 1.1 | P&手摺 | Ⅲ-P-1 大 0.45 | 庇 | P&手摺 | Ⅲ-P-1 小 0.45 |
| | ④ | 0.45 | 手摺 | Ⅱ-P-1 小 0.55 | 手摺 | Ⅲ-P-1 小 0.45 | | 廻り場 | Ⅲ-O-1 大 0.8 |
| ブランク | ⑤ | 0.3 | 廻り場 | Ⅱ-O-1 大 1.1 | 廻り場 | Ⅲ-O-1 大 0.8 | ブランク | 廻り場 | Ⅲ-O-1 小 0.5 |
| | ⑥ | 0.3 | 手摺 | Ⅱ-O-1 小 0.68 | 手摺 | Ⅲ-O-1 小 0.5 | | マンホール | Ⅲ-M 0.5 |
| マンホール | ⑦ | 0.3 | 手摺 | Ⅱ-O-1 小 0.68 | 手摺 | Ⅲ-O-1 小 0.5 | マンホール | マンホール | Ⅲ-M 0.5 |
| | ⑧ | 0.55 | アルナ欠き込み | | アルナ欠き込み | | | アルナ欠き込み | Ⅲ-A 0.55 |
| 四角・三角出窓 | ⑨ | 0.65 | 四角・三角出窓 | | 四角・三角出窓 | | 四角・三角出窓 | 四角・三角出窓 | Ⅲ-Q 0.65 |
| | ⑩ | 0.65 | 四角・三角出窓 | | 四角・三角出窓 | | | 四角・三角出窓 | Ⅲ-Q 0.65 |

*項目欄の「小」は、外周枠が変わらず、電気・設備・水レンガなどの軽微なセット換えを示す。

表6-3-3 型枠セット工数の相関

(壁板)

| | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| I-W-1 | I-W-2 | I-W-3 | I-W-1A | I-W-2A | I-W-3A | I-W-1A | I-W-2A | I-W-3A | I-W-1A | I-W-2A | I-W-3A |
| 1.00 | 0.78 | 0.57 | 0.73 | 0.32 | 0.44 | 0.53 | 0.24 | 0.42 | 0.20 | 0.36 | 0.17 |
| I-W-2 | 1.00 | 0.86 | 0.94 | 0.42 | 0.66 | 0.34 | 0.57 | 0.31 | 0.54 | 0.26 | 0.46 |
| I-W-3 | 1.00 | 1.10 | 0.49 | 0.40 | 0.67 | 0.37 | 0.80 | 0.37 | 0.63 | 0.30 | 0.53 |
| II-W-1 | 1.00 | 0.44 | 0.70 | 0.36 | 0.61 | 0.33 | 0.79 | 0.33 | 0.58 | 0.27 | 0.48 |
| II-W-2 | 1.00 | 1.58 | 0.82 | 1.37 | 0.75 | 1.64 | 0.75 | 1.30 | 0.62 | 1.10 | 0.52 |
| II-W-3 | 1.00 | 0.52 | 0.87 | 0.48 | 0.44 | 0.48 | 0.83 | 0.39 | 0.70 | 0.38 | 1.15 |
| II-W-2A | 1.00 | 1.67 | 0.32 | 2.00 | 0.92 | 1.56 | 0.75 | 1.33 | 0.63 | 0.60 | 0.60 |
| II-W-3 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| II-W-3A | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| III-W-1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| III-W-2 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| III-W-3 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| III-W-3A | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2.25 | 1.75 | 1.50 | 1.65 | 0.73 | 1.15 | 1.15 | 0.60 | 1.00 | 0.55 | 1.20 | 0.55 |

(床板、屋根板)

| | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|
| I-S-1 | I-S-2 | I-S-1A | II-S-1 | II-S-2 | II-S-1A | II-S-1 | II-S-2 | II-S-1A | II-S-1 | II-S-2 | II-S-1A |
| 1.00 | 0.75 | 0.70 | 0.33 | 0.55 | 0.30 | 0.60 | 0.30 | 0.45 | 0.23 | 1.00 | 0.45 |
| I-S-2 | 1.00 | 0.93 | 0.52 | 0.73 | 0.40 | 0.80 | 0.40 | 0.60 | 0.30 | 1.50 | 0.30 |
| II-S-1 | 1.00 | 0.56 | 0.56 | 0.79 | 0.43 | 0.86 | 0.43 | 0.64 | 0.32 | 1.40 | 0.32 |
| II-S-1A | 1.00 | 1.00 | 0.41 | 0.77 | 1.54 | 0.77 | 1.15 | 0.58 | 0.78 | 1.00 | 0.41 |
| II-S-2 | 1.00 | 0.55 | 0.55 | 1.09 | 0.55 | 0.82 | 0.41 | 1.10 | 0.60 | 1.00 | 0.41 |
| II-S-2A | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| III-S-1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| III-S-1A | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| III-S-2 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| III-S-2A | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2.00 | 1.50 | 1.40 | 0.78 | 1.10 | 0.60 | 1.20 | 0.60 | 0.90 | 0.45 | 1.00 | 0.45 |

表6-3-4 セット工数の割合

(壁板)

| | | | | | |
|--------------------|---|------|------|------|------|
| 枠種によるセット工数の割合 | *(?=I, II, III) | | | | 平均 |
| (?W-2)/(?W-1) | 0.78 | 0.70 | 0.82 | 0.79 | 0.82 |
| (?W-3)/(?W-1) | 0.67 | 0.61 | 0.75 | 0.67 | 0.69 |
| (?W-3)/(?W-2) | 0.86 | 0.87 | 0.92 | 0.84 | 0.84 |
| 型枠運用方式によるセット工数の割合 | *(?=1, 2, 3) | | | | 平均 |
| (II-W-?)/(I-W-?) | 0.73 | 0.66 | 0.67 | | 0.69 |
| (II-W-?A)/(I-W-?) | 0.32 | 0.34 | 0.37 | | 0.34 |
| (III-W-?)/(I-W-?) | 0.53 | 0.54 | 0.53 | | 0.53 |
| (III-W-?A)/(I-W-?) | 0.24 | 0.26 | 0.25 | | 0.25 |
| (III-W-?)/(II-W-?) | 0.73 | 0.75 | 0.83 | 0.75 | 0.80 |
| 「小」/「大」 | *(?=1, II, III ? ₂ =1, 2, 3) | | | | 平均 |
| (?1-W-?A)/(?1-W-?) | 0.44 | 0.52 | 0.55 | 0.46 | 0.47 |
| 「小」/「大」 | *(?=1, 2, 3) | | | | 平均 |
| (?1-W-?A)/(?1-W-?) | 0.44 | 0.52 | 0.55 | 0.46 | 0.47 |

(床板、屋根板)

| | | | | | |
|----------------------|---|------|------|------|------|
| 枠種によるセット工数の割合 | *(?=I, II, III) | | | | 平均 |
| (?S-2)/(?S-1) | 0.75 | 0.79 | 0.77 | 0.75 | 0.75 |
| 型枠運用方式によるセット工数の割合 | *(?=1, 2, 3) | | | | 平均 |
| (II-S-?)/(I-S-?) | 0.70 | 0.73 | | | 0.72 |
| (II-S-?A)/(I-S-?) | 0.39 | 0.40 | | | 0.40 |
| (III-S-?)/(I-S-?) | 0.60 | 0.60 | | | 0.60 |
| (III-S-?A)/(I-S-?) | 0.30 | 0.30 | | | 0.30 |
| (III-S-?)/(II-S-?) | 0.86 | 0.77 | 0.82 | 0.75 | 0.80 |
| 「小」/「大」 | *(?=I, II, III ? ₂ =1, 2, 3) | | | | 平均 |
| (?1-S-?2A)/(?1-S-?2) | 0.56 | 0.55 | 0.50 | 0.50 | 0.53 |

表6-3-3に対応

2. 型枠の転用の計画方法

型枠転用計画書の形式などについては、第5章の生産計画で議論したが、ここでは、計画の具体的な手順に関して、A1工場に対する調査結果を例として図6-3-2のようにまとめ、考察を行う。

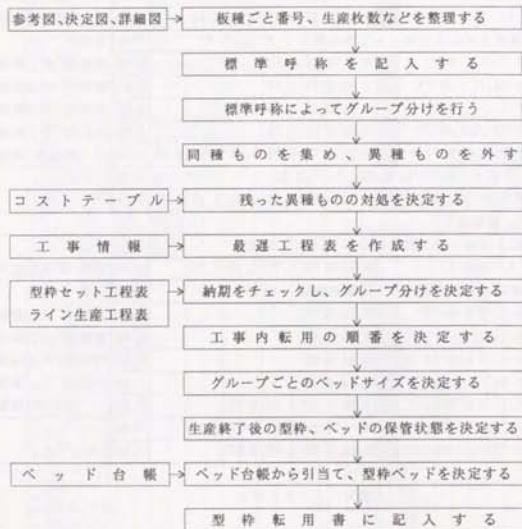


図6-3-2 型枠転用計画手順

ここまで、P C a 板の形状特性などに対して、板種という概念を用いて整理してきた。原則としては、異なる板種に対して、型枠の新規セットあるいはセット換えが必要となる。但し、板種ごとの形状変化の激しさと型枠の対応の難しさが異なり、型枠の転用方法におけるグループ分けが必要である。つまり、相似性のある板種を集め、同一のベッドでセット換えしながら、型枠が工事内転用できることによって、セット工数の低減を図る。

その分類について、A1工場では標準呼称という方法を用いている。標準呼称はP C a

第6章 型枠セット工事の生産性

板の番号でもあるが、配置位置や断面特性などに表れるような方法で決められる。壁板を例としてみると、図6-3-3のように、番号によって外壁と内壁、梁間方向板と桁行方向板が区別できるようになっている。例えば、桁行方向のA通りのP C a板については、W10からW19までの番号を用いる。端部と中央のP C a板は、寸法などが同じでも接合部の形式が違うので、外枠の種類が異なる板種になっている。外枠の種類と寸法が同じで開口の寸法だけが異なる場合は、最後にA、B、Cなどの符号を付けて区別する。このように、W10からW19の板種に対しては、簡単なセット換えで型枠を転用できるので、同一のグループにまとめる。

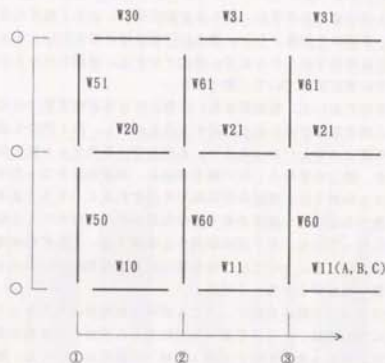


図6-3-3 壁板におけるP C a板番号の付け方

同じく、床板と屋根板においても、片持部分をつける板と付けない板、バルコニー側の板と廊下側の板を区別してまとめることができる。また、この方法は、工事内転用の可能性に対する判別にも有効である。

このように、P C a板の板種の相似性によって分類を行った上で、工期やコストなどの要素を総合的に考慮し、型枠運用方式を決定する。さらに、型枠の転用先、セットあるいはセット換えの内容、使用後の処理などについて詳しく検討し、指示書を発行する。

第4節 工数分析

1. 調査概要と分析要約

セット工数調査と分析の目的は、

- ①具体事例における新規セット、工事間転用、工事内転用の運用状態の考察、
- ②具体事例のPCa板枚数、型枠数、ベッド数の分布の考察、
- ③セット工数及び変動範囲の分析、
- ④セット工数分布の分析、

などにある。

調査と分析は、第4章の部材分析で用いた13事例の中の、A1工場で生産される事例5、事例4、事例3、事例9を対象とした。調査は平成5年3月に行い、4工事ともその時に生産中あるいは生産準備中のものである。原始データは、前節のセット工数基準に基づいて制定された型枠計画に現れている工数である。

型枠セット工数の分析において、板種数あるいは型枠数は重要な変数である。例えば、1型枠あたりセット工数を把握することが不可欠である。但し、第1節でも述べたように、原則的に板種数と型枠数とは等しいのであるが、実務上では型枠セット換えの工数がほとんど発生しない板種を、独立の型枠としない場合がある。調査対象となった4つの工事の中で、規格型の事例3と事例9は、壁板の板種数がそれぞれ31と32(表4-1-3)であった。しかし、異なる板種の一般階と最上階の外壁が同一の型枠にまとめられたので、型枠数は23と24になっている。FP型の実例5と事例4は、それぞれ板種数と型枠数が同じようになっている。これについては、規格型に対応する型枠が、予めシステム化することによって型枠数を低減すると考えられる。

また、1型枠あたりセット工数のほかに、PCa板の生産枚数あたりセット工数の分析も行っている。これについては、あくまで具体事例における生産性の実施結果を示すためである。基本的に、PCa板の枚数と板種(型枠)の関係については、第4章「部材論」の研究成果を適用する。その上で、工場生産論では、板種数あるいは型枠数によって、セット工数の変化を究明することを目的とする。

2. 工事別型枠数と工数の集計

4つの工事の型枠セット工数は、表6-4-1(P.150)に集計されている。

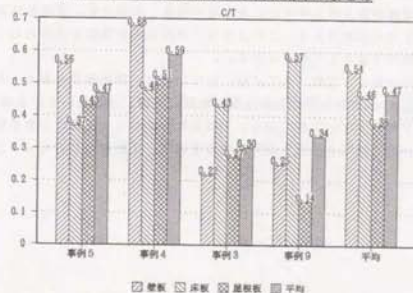
第4章でも述べたように、事例5と事例4はFP型であり、かつ同じプロジェクトに属するので、連続生産を行っている。従って、先に生産される事例5は、型枠が新規セットと工事内転用による。事例5のPCa板を生産してから、型枠をライン内でセット換えを行って事例4へ工事間転用する。但し、転用できない板種に対しては、新規セットで補足しなければならない。従って、事例4では、新規セット、工事間転用、工事内転用が全て発生している。工事間転用による型枠の割合については、工事間転用率(第3節)で表している。また、事例5は全く同じ2住棟を同時生産するが、分析においては、1棟のみと

して扱う。2棟同時生産の場合の生産性については、第7章第3節で特殊状況として検討する。

事例3と事例9は規格型である。この場合の型枠は、他の工事から工事内転用される。生産が完了したら、再び成形した状態で保管され、次の工事へ転用する。従って、この2工事の型枠には、工事間転用と工事内転用によって対応でき、新規セットを行う必要がなかった。この場合、工事間転用率は1.0となっている。

同表でのベッド率は、全型枠数における使用ベッド数(新規セット型枠数+工事間転用型枠数)の割合を示すものである。ベッド率は、小さければ小さいほど、生産ラインの占有面積が少ない。但し、占有時間が長くなり、かつ多くの工事内転用が必要である。工事内転用率は、ベッド率の相対指標として、(1-ベッド率)のようになる。各工事の工事内転用率については、図6-4-1のようにまとめている。FP型の工事においては、セット工数の大きい新規セットの数を低減するために、型枠をできるだけ多くの板種へ転用することが考えられ、工事内転用率が規格型のそれより高いことが明かである。

図6-4-1 各事例の工事内転用率のまとめ



これらのセット工数の平均値及び標準偏差の計算は、表6-4-2(P.151)で行われている。さらに結果を図6-4-2と図6-4-3に図形化した。

まず、表6-4-2の結果をみると、いずれの工事、いずれの運用方式のセット工数の標準偏差も大きいのである。つまり、同一工事の中の複数の型枠に対しては、例えば同じ新規セットを行っても、前述した枠種の違いや開口の有無などによって、セット工数の大きい方と小さい方の差が大きい。但し、工事ごとの平均値を比較すれば、例えば、事例5の壁板の新規セットと事例4の壁板の新規セットは差が小さい。セット工数評価がII+IV(事例4)と、III+IV(事例3、9)の2種類がある工事間転用においても、壁板の場合を例として、

事例4 = 1.17
 事例3 = 1.28
 事例9 = 1.30

のようになり、かなり収束しているといえる。これについて、管理手間などを省略したF P型の連続生産工事間転用は、セット内容が規格型の工事間転用より複雑で、結果として同じ工数になっていると考えられる。

従って、工事ごとを生産単位とすれば、新規セット、工事間転用、工事内転用のセット工数の平均値を、それぞれ定数と見なすことができる。今回の調査結果に限り、この定数は、壁板、床板、屋根板別で、図6-4-2と図6-4-3に示されている。

工事ごとの1型枠あたりセット工数(人工/型枠)の平均値については、図6-4-2に示されるように、工事間転用せず新規セットが必要な事例5は最も大きくなっている。同じFP型としても、型枠が工事間転用できた事例4の場合には、規格型の事例に近い生産性を得ている。従って、規格型とFP型との型枠セット工事の生産性における区別には、工事間転用が鍵である。複数のFP型工事を連続生産すれば、型枠の工事間転用により、規格型と区別のない生産効率を得ることが可能である。但し、不連続生産である場合は、規格型と同じように型枠の管理手間が発生する。かつ、規格化されていない型枠は、転用の効率が小さく、在庫量が膨大化しやすいことも有り得る。そのため、管理手法及び型枠の柔軟な対応性を向上する必要がある。このような工事間転用が現状では行われていないが、生産性向上の有効な方法として考えられる。

PCa板1枚あたりのセット工数(人工/枚)については、実施結果を表6-4-3(P.151)にまとめた。1枚種あたりの生産枚数(枚数/板種)と関連しているので、戸数の多いあるいはタイプ数の少ない工事の場合、1枚あたりのセット工数が小さくなる。また、事例5のように、全く同じ2住棟を同時に生産すれば、1枚あたりのセット工数が半減できる。

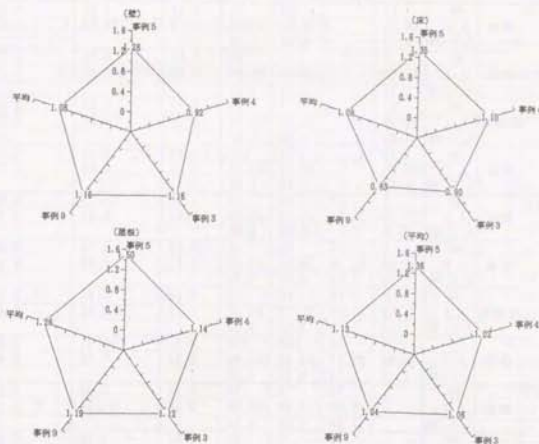


図6-4-2 事例別の1型枠あたりセット工数

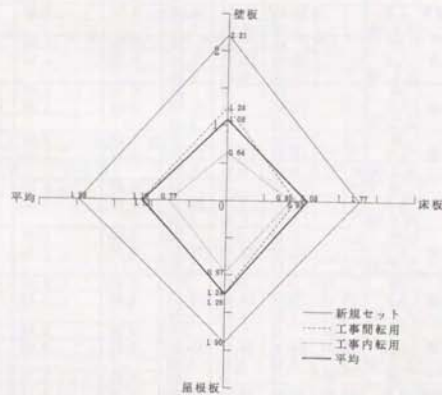


図6-4-3 1型枠あたりセット工数のまとめ

表6-4-1 工事別工数の集計

| 工事名 | 種別 | 新規セット | | 工事間転用 (A) | 工事内転用 (B) | 合計 (T) | バット率 | | 工事内転用率 B/(A+B) | 工事内転用率 C/T |
|-----|-----|-------|--------|--------------|--------------|-----------|------|------|-------------------|---------------|
| | | 回数 | 人工/枠 | | | | A/B | T | | |
| 事例5 | 壁板 | 枠 | 27 | | 34 | 61 | 0.44 | 0.00 | 0.56 | |
| | | 人工 | 58.05 | | 19.76 | 77.81 | 0.75 | 0.00 | 0.25 | |
| | | 人工/枠 | 2.15 | | 0.58 | 1.28 | | | | |
| | 床板 | 枠 | 24 | | 14 | 38 | 0.63 | 0.00 | 0.37 | |
| | | 人工 | 41.00 | | 10.20 | 51.20 | 0.80 | 0.00 | 0.20 | |
| | | 人工/枠 | 1.71 | | 0.73 | 1.35 | | | | |
| | 屋根板 | 枠 | 21 | | 16 | 37 | 0.57 | 0.00 | 0.43 | |
| | | 人工 | 40.30 | | 15.15 | 55.45 | 0.73 | 0.00 | 0.27 | |
| | | 人工/枠 | 1.92 | | 0.95 | 1.50 | | | | |
| | 合計 | 枠 | 72 | | 64 | 136 | 0.53 | 0.00 | 0.47 | |
| | | 人工 | 139.35 | | 45.11 | 184.46 | 0.76 | 0.00 | 0.24 | |
| | | 人工/枠 | 1.94 | | 0.70 | 1.36 | | | | |
| 事例4 | 壁板 | 枠 | 7 | 23 | 63 | 93 | 0.32 | 0.77 | 0.68 | |
| | | 人工 | 17.10 | 26.81 | 41.83 | 85.74 | 0.51 | 0.61 | 0.49 | |
| | | 人工/枠 | 2.44 | 1.17 | 0.66 | 0.92 | | | | |
| | 床板 | 枠 | 6 | 19 | 23 | 48 | 0.52 | 0.76 | 0.48 | |
| | | 人工 | 12.00 | 20.10 | 20.85 | 52.95 | 0.61 | 0.63 | 0.39 | |
| | | 人工/枠 | 2.00 | 1.06 | 0.91 | 1.10 | | | | |
| | 屋根板 | 枠 | 1 | 18 | 20 | 39 | 0.49 | 0.95 | 0.51 | |
| | | 人工 | 1.50 | 21.30 | 21.75 | 44.55 | 0.51 | 0.93 | 0.49 | |
| | | 人工/枠 | 1.50 | 1.18 | 1.09 | 1.14 | | | | |
| | 合計 | 枠 | 14 | 60 | 106 | 180 | 0.41 | 0.81 | 0.59 | |
| | | 人工 | 30.60 | 68.21 | 84.43 | 183.24 | 0.54 | 0.69 | 0.46 | |
| | | 人工/枠 | 2.19 | 1.14 | 0.80 | 1.02 | | | | |
| 事例3 | 壁板 | 枠 | 18 | 5 | 23 | 78 | 1.00 | 0.22 | | |
| | | 人工 | 23.00 | 3.61 | 26.61 | 86 | 1.00 | 0.14 | | |
| | | 人工/枠 | 1.28 | 0.72 | 1.16 | | | | | |
| | 床板 | 枠 | 12 | 9 | 21 | 57 | 1.00 | 0.43 | | |
| | | 人工 | 9.60 | 9.30 | 18.90 | 51 | 1.00 | 0.49 | | |
| | | 人工/枠 | 0.80 | 1.03 | 0.90 | | | | | |
| | 屋根板 | 枠 | 6 | 6 | 22 | 73 | 1.00 | 0.27 | | |
| | | 人工 | 20.80 | 3.90 | 24.70 | 84 | 1.00 | 0.16 | | |
| | | 人工/枠 | 1.30 | 0.65 | 1.12 | | | | | |
| | 合計 | 枠 | 46 | 20 | 66 | 70 | 1.00 | 0.30 | | |
| | | 人工 | 53.40 | 16.81 | 70.21 | 76 | 1.00 | 0.24 | | |
| | | 人工/枠 | 1.16 | 0.84 | 1.06 | | | | | |
| 事例9 | 壁板 | 枠 | 18 | 6 | 24 | 75 | 1.00 | 0.25 | | |
| | | 人工 | 23.45 | 4.44 | 27.89 | 84 | 1.00 | 0.16 | | |
| | | 人工/枠 | 1.30 | 0.74 | 1.16 | | | | | |
| | 床板 | 枠 | 12 | 16 | 28 | 43 | 1.00 | 0.57 | | |
| | | 人工 | 10.24 | 12.90 | 23.14 | 44 | 1.00 | 0.56 | | |
| | | 人工/枠 | 0.85 | 0.81 | 0.83 | | | | | |
| | 屋根板 | 枠 | 19 | 3 | 22 | 86 | 1.00 | 0.14 | | |
| | | 人工 | 23.40 | 2.70 | 26.10 | 90 | 1.00 | 0.10 | | |
| | | 人工/枠 | 1.23 | 0.90 | 1.19 | | | | | |
| | 合計 | 枠 | 49 | 25 | 74 | 66 | 1.00 | 0.34 | | |
| | | 人工 | 57.09 | 20.04 | 77.13 | 74 | 1.00 | 0.26 | | |
| | | 人工/枠 | 1.17 | 0.80 | 1.04 | | | | | |
| 合計 | 壁板 | 枠 | 34 | 59 | 108 | 201 | 0.46 | 0.63 | 0.54 | |
| | | 人工 | 75.15 | 73.26 | 69.64 | 218.05 | 0.68 | 0.49 | 0.32 | |
| | | 人工/枠 | 2.21 | 1.24 | 0.64 | 1.08 | | | | |
| | 床板 | 枠 | 30 | 43 | 82 | 135 | 0.54 | 0.59 | 0.46 | |
| | | 人工 | 53.00 | 39.94 | 53.25 | 146.19 | 0.64 | 0.43 | 0.36 | |
| | | 人工/枠 | 1.77 | 0.93 | 0.86 | 1.08 | | | | |
| | 屋根板 | 枠 | 22 | 53 | 45 | 120 | 0.63 | 0.71 | 0.38 | |
| | | 人工 | 41.80 | 65.50 | 43.50 | 150.80 | 0.71 | 0.61 | 0.29 | |
| | | 人工/枠 | 1.90 | 1.24 | 0.97 | 1.26 | | | | |
| | 合計 | 枠 | 86 | 155 | 215 | 456 | 0.53 | 0.64 | 0.47 | |
| | | 人工 | 169.95 | 178.70 | 166.39 | 515.04 | 0.68 | 0.51 | 0.32 | |
| | | 人工/枠 | 1.98 | 1.15 | 0.77 | 1.13 | | | | |

第6章 型枠セット工事の生産性

表6-4-2 1型枠あたりセット工数(人工/枠)

| 工事名 | 種別 | 新規セット | | 工事間転用 | | 工事内転用 | | 合計 | | | | | |
|-----|-----|-------|----------|-------|----------|-------|----------|------|----------|-------|------|-------|-------|
| | | 回数 | 人工/枠標準偏差 | 回数 | 人工/枠標準偏差 | 回数 | 人工/枠標準偏差 | 回数 | 人工/枠標準偏差 | | | | |
| 事例5 | 壁板 | 27 | 2.15 | 0.607 | | | 34 | 0.58 | 0.279 | 61 | 1.28 | 0.902 | |
| 事例4 | | 7 | 2.44 | 0.449 | 23 | 1.17 | 0.449 | 63 | 0.66 | 0.453 | 93 | 0.92 | 0.662 |
| 事例3 | | | | | 18 | 1.28 | 0.602 | 5 | 0.72 | 0.279 | 23 | 1.16 | 0.594 |
| 事例9 | | | | | 18 | 1.30 | 0.605 | 6 | 0.74 | 0.390 | 24 | 1.16 | 0.610 |
| | 計 | 34 | 2.21 | 0.590 | 59 | 1.24 | 0.552 | 108 | 0.64 | 0.398 | 201 | 1.08 | 0.748 |
| 事例5 | 床板 | 24 | 1.71 | 0.247 | | | 14 | 0.73 | 0.353 | 38 | 1.35 | 0.555 | |
| 事例4 | | 6 | 2.00 | 0.900 | 19 | 1.06 | 0.150 | 23 | 0.91 | 0.314 | 48 | 1.10 | 0.420 |
| 事例3 | | | | | 12 | 0.80 | 0.141 | 9 | 1.03 | 0.397 | 21 | 0.90 | 0.304 |
| 事例9 | | | | | 12 | 0.85 | 0.253 | 16 | 0.81 | 0.270 | 28 | 0.83 | 0.264 |
| | 計 | 30 | 1.77 | 0.249 | 43 | 0.93 | 0.217 | 62 | 0.86 | 0.341 | 135 | 1.08 | 0.465 |
| 事例5 | 屋根板 | 21 | 1.92 | 0.176 | | | 16 | 0.95 | 0.235 | 37 | 1.50 | 0.523 | |
| 事例4 | | 1 | 1.50 | 0.000 | 18 | 1.18 | 0.069 | 20 | 1.09 | 0.195 | 39 | 1.14 | 0.165 |
| 事例3 | | | | | 16 | 1.30 | 0.265 | 6 | 0.65 | 0.206 | 22 | 1.12 | 0.382 |
| 事例9 | | | | | 19 | 1.23 | 0.326 | 3 | 0.90 | 0.424 | 22 | 1.19 | 0.360 |
| | 計 | 22 | 1.90 | 0.193 | 53 | 1.24 | 0.251 | 45 | 0.97 | 0.273 | 120 | 1.26 | 0.413 |
| 合計 | | 86 | 1.98 | 0.455 | 155 | 1.15 | 0.412 | 215 | 0.77 | 0.383 | 456 | 1.13 | 0.601 |

表6-4-3 PCa板1枚あたり型枠セット工数(人工/枚)

| 工事名 | 種別 | 新規セット | | 工事間転用 | | 工事内転用 | | 合計 | | | | | |
|-----|-----|-------|--------|-------|--------|-------|--------|------|--------|------|------|------|------|
| | | 枠数 | 人工/枚備考 | 枠数 | 人工/枚備考 | 枠数 | 人工/枚備考 | 枠数 | 人工/枚備考 | | | | |
| 事例5 | 壁板 | 27 | 0.39 | 0.78 | | | 34 | 0.05 | 0.11 | 61 | 0.15 | 0.30 | |
| 事例4 | | 7 | 2.44 | | 23 | 0.74 | | 63 | 0.23 | | 93 | 0.38 | |
| 事例3 | | | | | 18 | 0.19 | | 5 | 0.18 | | 23 | 0.19 | |
| 事例9 | | | | | 18 | 0.27 | | 6 | 0.25 | | 24 | 0.27 | |
| | 計 | 34 | 0.48 | 1.13 | 59 | 0.30 | | 108 | 0.12 | 0.19 | 201 | 0.22 | 0.32 |
| 事例5 | 床板 | 24 | 0.13 | 0.26 | | | 14 | 0.08 | 0.16 | 38 | 0.12 | 0.23 | |
| 事例4 | | 6 | 0.60 | | 19 | 0.32 | | 23 | 0.27 | | 48 | 0.33 | |
| 事例3 | | | | | 12 | 0.16 | | 9 | 0.27 | | 21 | 0.20 | |
| 事例9 | | | | | 12 | 0.24 | | 16 | 0.43 | | 28 | 0.32 | |
| | 計 | 30 | 0.16 | 0.33 | 43 | 0.24 | | 62 | 0.20 | 0.29 | 135 | 0.19 | 0.28 |
| 事例5 | 屋根板 | 21 | 0.63 | 1.26 | | | 16 | 0.38 | 0.76 | 37 | 0.53 | 1.07 | |
| 事例4 | | 1 | 1.50 | | 18 | 1.12 | | 20 | 1.09 | | 39 | 1.11 | |
| 事例3 | | | | | 16 | 0.95 | | 6 | 0.49 | | 22 | 0.82 | |
| 事例9 | | | | | 19 | 0.87 | | 3 | 0.90 | | 22 | 0.87 | |
| | 計 | 22 | 0.64 | 1.27 | 53 | 0.96 | | 45 | 0.61 | 0.88 | 120 | 0.74 | 1.00 |
| 合計 | | 86 | 0.31 | 0.89 | 155 | 0.37 | | 215 | 0.18 | 0.36 | 456 | 0.26 | 0.49 |

*備考欄には「事例5」が一律のみ考慮した値を示す。

3. セットの頻度と工数の分布

前述のように、事例ごとに、工事全体としてのセット回数とセット工数の集計や分析などを行った。但し、具体的に、新規セットあるいは転用するためのセット交換の頻度及びセット工数の分布を把握しなければならない。さらに、スラブ掛け、平枠などの枠種におけるセットの内容も明らかにする必要がある。従って、表6-3-1の工数基準と作業内容におけるそれぞれの工事の回数と分布を、図6-4-4から図6-4-6のように分析した。

図の中では、横軸が表6-3-1の記号に対応したセット内容を示している。棒の中央の数値は、セットあるいはセット交換の回数である。

壁板のセット工数の分布を見ると、まず、事例5は新規セットのI-W-?(?=1, 2, 3)に集中している。事例4は、事例5と連続生産で生産ライン内で工事間転用を行うので、セット工数の分布がIII-W-?(?=1, 2, 3)に集中している。次に、規格型の事例3と事例9は、セット工数の分布がかなり相似である。規格型の場合、ほとんど1プロジェクトが1住棟(工事)となるので、前後工事の生産と不連続と見なしている。従って、セット工数は、新規セットがなく、工事間転用のII-W-?(?=1, 2, 3)に集中する。また、いずれの工事の壁板においても、開口などに関するセット作業はかなり多いのである。事例4のほかは、生産ライン内での開口枠のセットを避けるために、ほとんど型枠セット場で行われる新規セットあるいは工事間転用の時に開口枠をセットする。つまり、同一のベッドで複数の板種のPC₃板を生産する場合、その順番はまず開口のあるものから始まる。但し、事例4では、事例5から転用する際に、型枠が型枠セット場に戻らないので、やむを得ず生産ライン内で開口枠のセット作業を行わなければならない。最後に、中層の工事では、?-W-1(?=I, II, III)のレリーフ&梁付という作業がほとんど発生しないということが明かである。

床板と屋根板のセット工数分布を見ると、事例別のそれぞれの分布形式は、壁板と同じようになっている。しかし、開口の中枠に関するセット作業は、壁板に比べて少ないのである。

このような分析によって、新規セット(事例5)、連続生産の工事間転用(事例4)、不連続生産の工事間転用(事例3、事例9)などの型枠運用方式を用いた事例のセット回数と工数の分布特性が明らかに現れてきた。特に規格型の工事においては、ほとんど生産の終了時点で型枠を生産ラインから引き上げて保管し、また型枠セット場で工事間転用のためのセット交換を行うようになっている。つまり、どの工事でも不連続生産の工事間転用になるので、セット回数と工数は、事例3と事例9のように相対的な分布になると考えられる。

図6-4-4 型枠セットの内容と工数の分布(壁板)

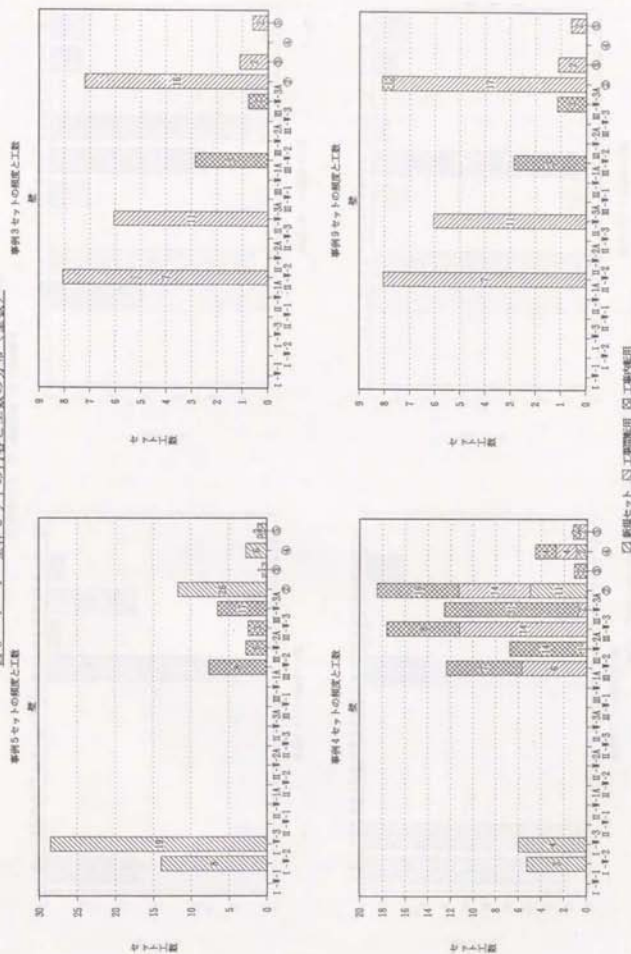
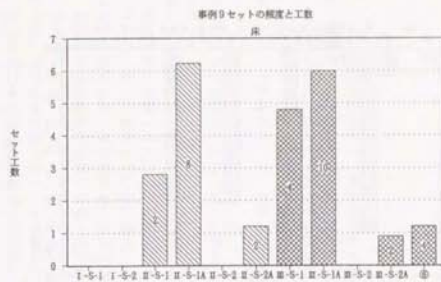
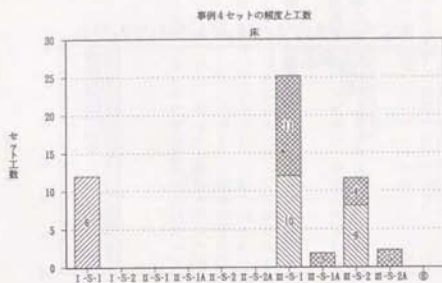
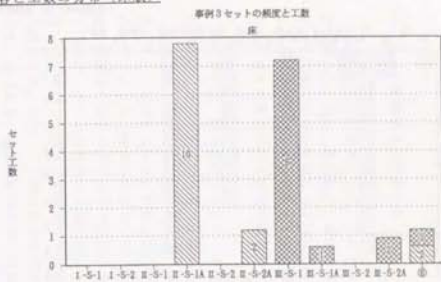
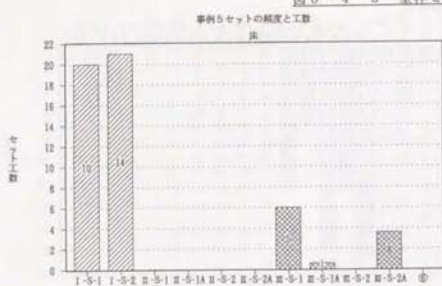
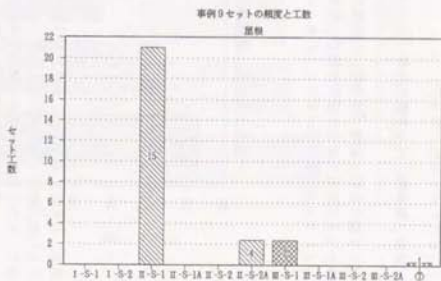
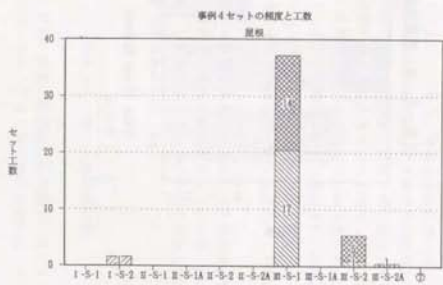
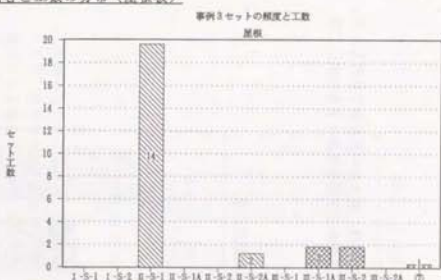
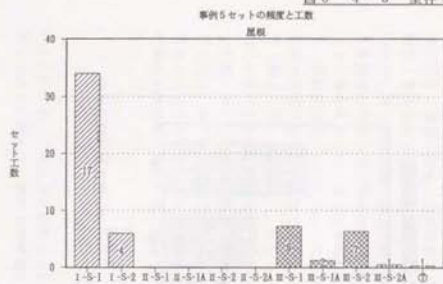


図6-4-5 型枠セットの内容と工数の分布(床版)



□ 新規セット ▨ 工事間転用 ▩ 工事内転用

図6-4-6 型枠セットの内容と工数の分布(屋根板)



□ 新規セット ▨ 工事間転用 ▩ 工事内転用

4. 枚数、型枠数、ベッド数の分布

P C a 板の枚数と板種（型枠数）の関係などについては、第4章の部材論で検討したが、型枠セット工事の生産性の分析対象とした4工事の具体的な分布を明確にするために、図6-4-7から図6-4-9のようにまとめた。

図6-4-7 事例別P C a板枚数の分布

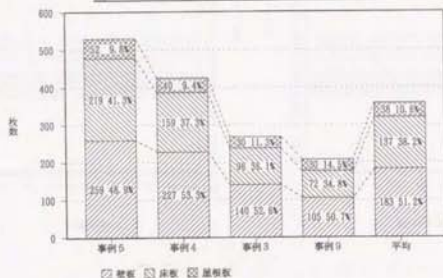


図6-4-8 事例別板種数（型枠数）の分布

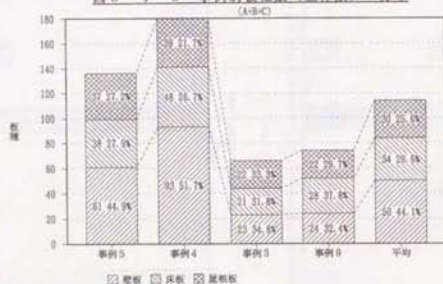
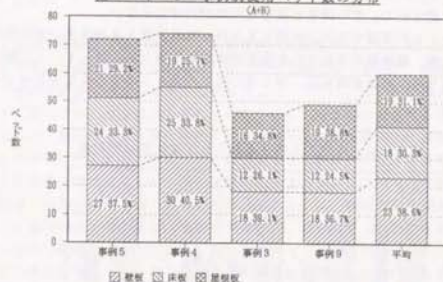


図6-4-9 事例別使用ベッド数の分布



枚数の分布からみると、壁板の枚数は全体の約50%を占めている。残りは、床板が約40%、屋根板が約10%のようにになっている。但し、この結果は、調査事例のような4階建てと5階建ての場合に限られている。屋根板の枚数が階数と無関係なので、3階建てあるいは5階建て以上の場合には、全体に対する割合は変わるはずである。

板種（型枠数）からみると、工事ごとの壁板と床板については、ほとんど枚数の多い方が板種も多いことになっている。しかし、屋根板は、枚数の割合（全体の約10%）が小さいのに、板種の割合（全体の約25%）が大きい。つまり、壁板と床板に比べて、屋根板の1板種あたり生産枚数が少ないのである。原因については、まず屋根板の枚数が少ないので、同じ型枠で繰り返し生産する可能性が小さいのである。また、水勾配などを有する屋根板の断面形状が極めて多様であり、板種が多くなると考えられる。従って、型枠セット工事からみると、壁板と床板に比べて、屋根板1枚あたり型枠セット工数が割合大きく、生産性が低いといえる。これを解決するために、水勾配が現場で施工され、屋根板の型枠が床板のものから転用できるようにする方法が、他の生産業者に対する調査でみられた（表2-5-1、D社）。しかし、この場合は現場の施工量が多くなるので、別途具体的に生産性を比較し検討することが必要である。

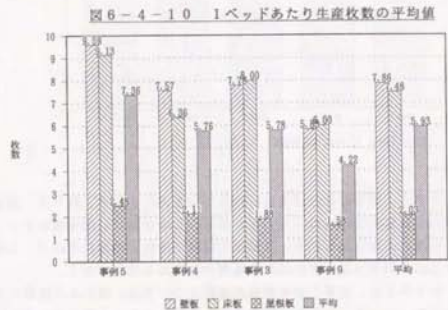
生産工期については、枚数、板種数、使用ベッド数を総合的に考慮して決定する。固定平打式の工場ではほとんど1ベッドが1日1枚のP C a板を生産するようになり、同一のベッドで工区内転用によって複数の板種のP C a板を生産するので、生産の所要日数は各種の生産枚数の和になる。従って、その平均値からみれば、

$$\text{平均生産所要日数} = \frac{\text{総枚数}(\Sigma Q)}{\text{ベッド数}} = \frac{\text{総枚数}(\Sigma Q)}{\text{新規セット数} + \text{工事間転用数}}$$

のようになる。このように分析した結果を、壁板、床板、屋根板ごとで図6-4-10に示している。例えば、事例5の壁板と床板については、1日1サイクルとすれば、平均生

産所要日数は10日になる。但し、実際では、板種が転換する際に、型枠の工区内転用のセット換えが必要なので、その所要日数を加えなければならない。

また、ベッドごとに考慮すると、生産するPCa板の枚数と板種は多い方が少ない方がある。壁板、床板、屋根板のそれぞれの生産所要日数も異なる。従って、1工事の生産工程あるいは生産ラインの専有時間は、第5章の図5-3-3のようになるわけである。



第4節 まとめ

PCa板の工場生産工程の中で、多品種生産への対応には、型枠セット工事が最も重要な要素である。これは、第5章の論述によって明らかになっている。本章では、まず型枠セット工事の生産性に対する評価方法を確立した。さらに、実状を把握するために、型枠のセット、転用方法、生産効率の変化などについて、調査と分析を行った。

第1節では、型枠セット工事の定義をはじめとして、関連要素との関係、生産性の評価方法、工事のフローなどを明確にした。型枠セット工事は、PCa板製造の型枠に関する計画から使用完了の処置までの一連の生産活動を含める。この中で、最も重要なのは、高価かつ複雑な型枠の転用方法である。転用方法としては、資材のみの転用及び成形した型枠としての転用の2方法がある。本研究では特に、型枠のセット工数を低減できるような、成形した型枠の転用に着眼している。また型枠セット工事の生産性については、型枠資材の物的生産性及び型枠セットの労働生産性の両面から考察しなければならない。但し労働費が高騰している背景の下で、労働生産性に対する評価が最も重要であることを論じた。

第2節では、PCa板の生産型枠の構成及び物的生産性について考察した。ほとんど調製の型枠資材を用いているので、物的には、数多くの工事に繰り返し使用することが可能である。但し、型枠を成形した状態で保管、転用とする場合には、必要量が多くなり、資材としての使用効率が低下することが有り得る。ベッドの保有量を例として調査した結果によると、資材数量の膨大化は、多数の工場で大きな問題となっている。型枠を成形した状態で転用することがセット工数の低減には有効であるが、適用範囲の把握及び適時の更新と廃止を行わないと、資材の有効使用には不利になる。本研究では、型枠セットの労働生産性に対する分析を中心とするが、資材の物的生産性を無視してはならないと論じた。

第3節では、まず、型枠のセット作業内容と手順を整理した。次に、新規セット、工事間転用、工区内転用の型枠運用方式の区別について考察し、運用単位や工数評価などから定義した。また、それぞれの工数評価に関連する要素を抽出し、互いの関係を定量的に整理した。さらに、A1工場のセット工数基準に基づいて、1型枠における新規セット、工事間転用、工区内転用のセット工数の差を分析した。最後に、これらを運用するための型枠の計画方法について、A1工場の例を用いて論じた。

第4節では、型枠セット工事の生産性を把握するために、工数調査と分析を行った。まず、調査概要と分析要約を述べた。次に、4工事の実績に対して、型枠数とセット工数の集計を行い、それぞれの工事における型枠の運用形態、型枠(板種)あたりのセット工数及び変動範囲などを把握した。これによって、工事ごとを生産単位とすれば、新規セット、工事間転用、工区内転用のそれぞれのセット工数の平均値を定数と見なすことができると述べた。そのほかに、運用方式と枠種におけるセット作業の内容や工数の分布などに対しても分析を行った。また、実際の事例におけるPCa板の枚数、板種(型枠)、使用ベッドなどの分布について考察した。

このように、定義から実証までの一連の論述によって、型枠セット工事の要素、分類を明確にし、生産性の要因と変化を定量的に把握できた。これらは、型枠セット工事生産性におけるモデル化及び、シミュレーション手法の開発のための基礎研究になっている。

第7章 型枠セット工事生産性モデル

第1節 モデル化の意義と方法

1. モデル化の意義
2. モデル化方法

第2節 型枠セット工事生産性モデル

1. モデルの導き
2. 生産性変化への考察

第3節 適用性の考察

第4節 まとめ

余白

第1節 モデル化の意義と方法

1. モデル化の意義

PCa板の工場生産における型枠セット工事の重要性などは、一連の考察によって明らかになった。さらに、型枠セット工事の生産性については、第6章の調査と分析で、現状を把握し、評価方法を確立した。但し、システムの改良あるいは再構築における方向性と方法論を探求するという、本研究のもう1つ目的がある。このため、評価を行った上で、シミュレーション手法の開発が不可欠である。

シミュレーションは、型枠セットの労働生産性を対象とする。型枠の運用方式による生産性の変化が予想できるように、定量的なモデル式を開発することが目的である。

モデル式を開発するためには、型枠セット工事をモデル化する必要がある。その意義は、以下のようになる。

- ① 生産方法と生産性を理論として増結できる。
- ② 解析及びシミュレーション技法の基礎となる。
- ③ システムの改良あるいは再構築において、最適化へ向かう出発点である。
- ④ 電算技術の利用を可能にする。
- ⑤ 計画・管理を明確化する。

2. モデル化の方法

型枠セット工事には、型枠計画と管理、転用方法、資材の物的生産性、型枠セットの労働生産性などの要素がある。ここでは、まずシミュレーション対象外の要素について、前提条件として考察しておく。

- ① ハード面では、型枠資材の対応性はますます強まり、物的に数多くの工事に繰り返し使用を可能にすることが不可欠である。このため、例えば一本の定長の枠材の代わりに、モジュール化された複数の短枠で構成するような、型枠資材のシステム化方法がある。一方、川上の企画・設計では、モジュール、標準詳細などを含めた構法標準の制定と運用が、型枠資材の転用に重要である。
- ② 作業面では、セット換え作業方法の改良などによって、成形した型枠の転用を、より簡単に、かつ転用範囲の拡大を可能にしなければならない。例えば、小型軽量自動搬出し機械の開発と使用、外枠のスライド移動、磁石固定などで、複雑な形状変更にも対応することが重要である。また、治具や部品などの取付においても、簡便化する必要がある。これらによって、例えば、外壁板、内壁板、左床板、右床板というレベル（第6章第3節に参照）で板種を分類すれば、規格型かF P型かを問わず、型枠の工事間転用あるいは工区内転用が可能かつ容易になる。
- ③ 型枠が円滑に転用できるように、計画・管理方法などのソフト環境の整備は不可欠である。まず、型枠の分類方法や、型枠を転用するための資材と労働計画や、型枠の管理方法などを整備しなければならない。また、電算技術、情報技術などの運用は、管

理技術の向上に効果的と考えられる。

- ④ 本研究におけるシミュレーションの対象は受注生産体制下での生産性変化とする。
- ⑤ 型枠の工事間転用には、複数の工事の間に相似の板種がなければならない。本研究では、PCa板の板種の相似性について、主に工事ごとに分析し、工事と工事の間における相似性の分析を行っていなかったが、平面寸法構成のモジュール化、部材の標準化（規格型）あるいは系列化（F P型）、接合詳細の標準化などを講じて設計した複数の工事の間に、部材の相似性がかなり強いと考えられる。次に、モデル化の設定を行う。
- ⑥ 建築物としての住棟と、工場生産の対象となるPCa板との枚数、板種及び分布などの関係には、第4章部材論の成果を適用する。実際には、板種≧型枠種という場合があるが、モデル化では、板種＝型枠種と設定する。従って、板種数は型枠セットあるいはセット換えの回数となり、生産性評価の要素になる。
- ⑦ 住棟を型枠セット工事における生産単位（工事）として設定する。従って、型枠計画と転用は、工事ごとに行う。異なるプロジェクトに属する住棟の間においては、仮に全く同じ板種の型枠を転用して、セット換え作業がなくても、型枠の工事間転用による管理・整備が必要なので、型枠セット工事が発生する。
- ⑧ 型枠セットの運用方式について、既述したように、新規セット、工事間転用、工区内転用に分類し、概念化するために図7-1-1のように定義する。

X工事は、型枠を新規セットし、工区内で相似の板種へ順に転用する。工事が完了した時点ですべての型枠を解体し、資材として他の工事に転用する。後継ぎのY工事は、同じく新規セットからであるが、工事が終わっても型枠を解体せず、外枠などの一部を成形した状態でZ工事に転用する。つまり、Y工事もZ工区内には、型枠の工事間転用が発生する。実際上では、X工事がF P型、Y、Z工事が規格型のような型枠の使い分けになっている。

新規セットと工区内転用では、第6章の表6-3-3のような定義を適用し、それなりに理解しやすくしている。工事間転用については、同表にプロジェクト間及びプロジェクト内住棟間の2ケースを示している。工数に関する調査と分析によって、2ケースのそれぞれの工数の差が小さいと見なしたため、生産性分析においては、単純化するために工数を同一とする。

- ④ 第6章の工数分析の結果を踏まえて、3つの分類のそれぞれの平均セット工数を定数として設定する。これら工数と関連評価指標の定義は、表7-1-1に示されている。ここで、 $a > b > c$ が常に成立する。注意すべき点は、実例分析と異なり、ここでの工事間転用率が、前工事に残された型枠数における転用数の割合としているところである。

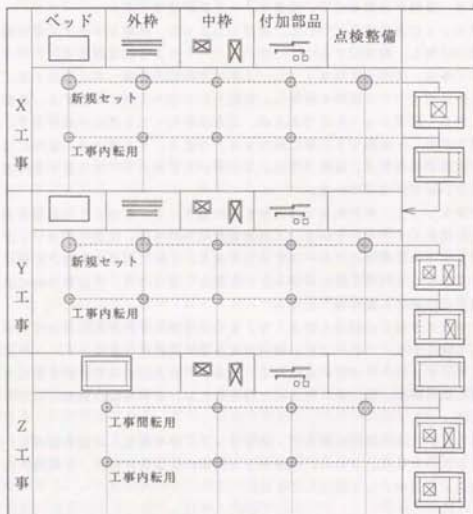
このように、一連の設定によって、型枠セット工事の要素と分類を抽出し、抽象化、概念化することができた。さらに、型枠セット工事の生産性評価に、1板種あたりセット工数の平均値 r を指標として確立してきた。

表7-1-1 セット工数及び関連指標の定義と記号

| | 工数 | 板種数 |
|-----------------|----|--------------------------------------|
| 新規セット | a | A |
| 工事間転用 | b | B |
| 工事内転用 | c | C |
| 1板種あたりセット工数の平均値 | r* | |
| 総板種数(住棟単位) | | T = A + B + C |
| 工事内転用率 | | C / T |
| 工事間転用率 | | $\alpha = B_i / (A_{i-1} + B_{i-1})$ |

*rate of production.

図7-1-1 型枠セットの分類



第2節 型枠セット工事生産性モデル

1. モデルの導き

まず、図7-1-1のX工事、Y工事(実務上にF.P型と規格型1回目)においては、型枠の運用方式が新規セットと工事内転用となる。工事ごとの1板種あたりセット工数の平均値rの計算においては、式7-1が成立する。

$$r = \frac{aA+cC}{T} = \frac{a(T-C)+cC}{T} = a - (a-c) \frac{C}{T} \quad (7-1)$$

次に、Z工事(実務上に規格型の2回目以降)においては、新規セットが工事間転用に変わり、式7-2のようになる。

$$r = b - (b-c) \frac{C}{T} \quad (7-2)$$

さらに、実務上の規格型の繰り返し生産のように、型枠を1回目のみ新規セットし、2回目からn回まですべて工事間転用とすれば、n工事の平均は式7-3のように表せる。

$$r = \left(\frac{a-b}{n} + b \right) - \left(\frac{a-b}{n} + b - c \right) \frac{C}{T} \quad (7-3)$$

もっと一般的に、規格型かF.P型かを問わず、n工事の中で、各工事の一部(B板種)が前工事から工事間転用できると仮定すれば、rは、

$$r = a - (a+b+2c) \frac{\Sigma B}{\Sigma T} - (a-c) \frac{\Sigma C}{\Sigma T}$$

になる。さらに工事間転用率の定義から、n工事を連続考慮すれば、 ΣB は、

$$\begin{aligned} \Sigma B &= \alpha A_1 + \alpha (A_1 + A_2) + \dots + \alpha (A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1}) \\ &= \alpha \sum_{i=1}^{n-1} (i-1) A_i \end{aligned}$$

になる。これを上式に代入すると、式7-4のようにになっている。

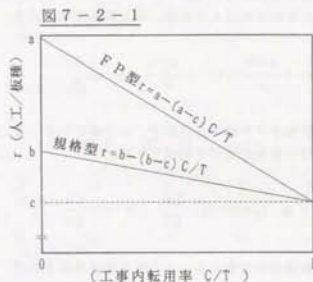
$$r = a - (a+b+2c) \frac{\alpha \sum_{i=1}^{n-1} (i-1) A_i}{\Sigma T} - (a-c) \frac{\Sigma C}{\Sigma T} \quad (7-4)$$

このように、新規セットによるF P型及び、工事間転用による規格型において、型枠セット工事の生産性は、式7-1から式7-3によって推算することができる。さらに、規格型とF P型との中間的存在、例えば、F P型の n 住棟を連続生産し、住棟間に一部の板種が工事間転用による場合については、型枠セット工事の生産性の変化が、式7-4に反映されている。

2. 生産性変化への考察

まず、4つの式に共通の変数として、工事内転用率 (C/T) がある。工事内転用率が大きければ大きいほど、 r は小さくなる。つまり、一般的に、工事内転用率を高めることは、型枠セット工事の生産性向上に有効である。但し、規格型の場合は、型枠を大きく崩さないように、多数の工事に転用することを前提とするので、工事内での転用が比較的少ない。つまり、工事内転用率が小さいのである。

F P型(式7-1)と、1回目を除いた規格型(式7-2)との1板種あたりセット工数の平均値 r を比較すると、図7-2-1のようにになっている。F P型は工事内転用率を高めれば、 r が低減でき、規格型に近づくことが可能である。



次に、式7-4を式7-1と比べれば、一部の板種の型枠が工事間転用による場合の生産性の影響要素は、式の第2項にあることが分かる。第2項では、工事間転用率 (α) と転用工事数 (n) の2つ変数がある。共通の工事内転用率 (C/T) を加えて、式7-4では3つの変数がある。これらの変数を1つずつ固定すると、 r の変化は、図7-2-2から図7-2-4のようにになっている。

図7-2-2は、工事内転用率を0.5と設定した r の変化曲線である。工事間転用率 $\alpha = 0$ の場合は、工事間転用を行わず(F P型)、式7-1と同じようになる。 $\alpha = 1$ の曲線は、1回目以降全て工事間転用による場合(規格型)の r の変化を示し、式7-3の

結果と同じである。その間の曲線は、 α を0から1まで十等分割した r の変化を示したものである。その傾向によると、型枠を工事間転用すれば、工数 r の低減にはかなり効果的であることがわかる。また、転用工事数の増大に伴い、工数が定数に近づく傾向も認められる。

現状では、工事間転用を行わない($\alpha = 0$) F P型と全て工事間転用による($\alpha = 1$) 規格型の、極端な2ケースが採用されている。但し、F P型や規格型に分けず、例えば各工事とも50%の型枠が他の工事からの転用を可能にすれば、現在の規格型に近い生産性が得られることは、このシミュレーションにより明らかになっている。また、現状では、規格型の標準住戸タイプを一度制定したら、数年間延べ数十工事を建設することが一般的である。単に型枠セット工事からみると、例えば5つの工事ごとにタイプを変えても、 r はそれほど変わらない。つまり、同じ生産性を保ちながら、現在より多様な住宅を建設することが可能になることがわかる。

図7-2-2

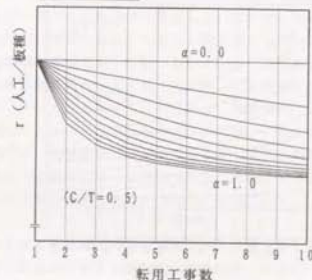


図7-2-3

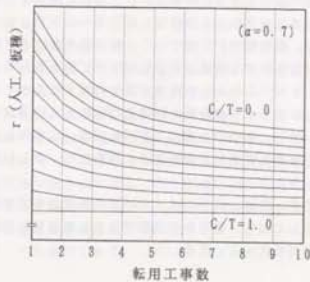
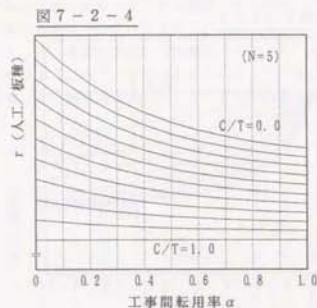


図7-2-3では、工事間転用率を0.7に固定した r の変化曲線を示している。工事内転用率 $C/T=0$ と、 $C/T=1$ のは、上下限界を示す曲線である。それ自身は、必ずしも実際の意味を持っていない。つまり、まず、型枠がすべて工事内転用によることは不可能である。また、どの工事でも相似の板種が存在するはずなので、工事内転用しないことはあまり見られないのである。0から1まで十等分制して得た結果を見ると、 C/T が大きければ大きいほど、転用工事数の増大に伴い、工数低減への効果は鈍くなりつつある。

図7-2-4は、図7-2-3の工事間転用率の代わりに、転用工事数を $n=5$ と固定した結果である。同じく、工事内転用率 C/T は、大きければ大きいほど、工事間転用率の増大に伴い、工数 r の低減への効果が小さくなりつつある。図7-2-3及び図7-2-4の結果によると、工事間転用率が高く、かつ多数の工事に転用する規格型においては、工事内転用の効果が小さいといえ、低い C/T を選んだわけである。



以上の考察により、式7-4は、その他の3式の結果をすべて含め、最も一般性を持つモデルといえる。このモデルによって、規格型かF P型かに限らず、型枠の新規セットと工事間転用を同時に運用するような、中間的な生産方式へのシミュレーションが可能になってきた。これによって、規格型やF P型でなく、部分的に型枠を工事間転用による中間的な方式とするか、生産性を保つ工事数で標準住戸タイプを更新してより多様な住宅が建設できるようにするか、というこれからの改良方向を判断することができる。具体的には応用の問題になるが、この成果は生産計画の制定及び生産方式の選択において大きな意味を持っているといえる。但し、複数の工事の工事間転用率、工事内転用率などを、平均値のみで捉えた式7-4を実際の複雑な対象へ運用する際には、詳しい比較や検討が必要である。

また、式7-1から式7-3は、式7-4においての基礎的な式であるほか、それぞれ具体的な生産方式に対応しており、簡潔かつ明確である。規格型とF P型の生産方式が崩れていない限り、実用的なモデルといえる。

第3節 適用性の考察

以上の一連のモデル式の導きは、主にA1工場の生産方式に基づき、適当な仮定とモデル化を加えて行ったものである。結果の適用性については、第5章第2節でまとめた3タイプの生産方式に対して検証を行う。

タイプ1は少品種多量生産である。事例の1つとするB1工場の固定型の生産については、計画生産体制及び板種になった生産単位とも、モデルの前提設定と食い違いがあり、適用範囲に入っていないのである。実に、計画生産あるいは量産という生産体制が崩れない限り、同じ型枠で数多くの工事のP C a板が生産できるので、セット換えによる型枠の転用が問題にならないといえる。但し、社会需要の多様化傾向の中で、大前提の計画生産体制が否定され、あるいはごく小範囲にしか適用しなくなってきているのが現実である。以上の導きは、まさに計画生産から受注生産への生産体制の移行に対する生産性の変化へのシミュレーションである。

タイプ1のもう1つの事例は、A2工場の規格型の生産である。生産体制、生産単位ともに設定と一致しているが、規格型のみ生産しているので、プロジェクトが異なっても、各工事が連続生産に近い状態である。つまり、前工事から次の工事へ、型枠の保管・整備手間が少なく、工事間転用のセット工数(b)が小さいのである。かなり相似あるいは全く同じ型枠の工事間転用のセット工数(b)は、工事内転用のセット工数(c)よりも小さいと考えられ、 $b < c$ が有り得る。この場合、規格型タイプの各板種に対して、それぞれの型枠を固定して、すべて工事間転用にすれば良いと考えられる。

また、どの工場でも、規格型かF P型かに限らず、事例5のような複数(n)の全く同じ仕様を同時に生産する場合には、工事間転用のためのセット換えが発生しないので、1住棟分の型枠セット工数と同じである。つまり、住棟ごとの r は、1住棟分の r のn分の1になる。

タイプ2は、多品種多量生産である。事例のA1工場、B1工場の規格型とF P型の生産は、前節の導きで基本モデルとして捉えられている。つまり、このタイプは以上のモデル式の最も基本的な適用対象である。但し、実際の運用には、ただ型枠セット工事だけでも、現状のプロジェクト生産単位を住棟生産単位に変えなければならない。幾つかの工事をまとめて型枠計画を行うことによって、工事間転用率の向上には有効とも考えられるが、この場合、住棟生産単位の上で、さらに適当な上位の計画単位あるいは生産単位(例えばn住棟)を設定することが必要である。いずれにしても、P C a板の枚数と板種の生成母体である住棟を型枠の転用単位とする有効性と重要性を強調しなければならない。

また、理論的に、規格型とF P型とを区別せず、すべて式7-4の考え方で型枠を転用することが可能であるが、前工事の型枠を全て保管して転用できる状態を前提としたので、工事数の増大に伴って型枠数の増加が避けられなくなる。この場合、転用可能性の大きい型枠と小さい型枠に分類し、予め転用の範囲と方法を設定することが不可欠である。

タイプ3は、多品種少量生産である。E1工場の例から見ると、工事ごとにすべて新規セットによるF P型とするので、式7-1の適用には疑問がない。また、現状のプロジェクト生産単位を本論提案の住棟生産単位に変換することによって、複数の住棟を含むプロジェクトには式7-4も適用できる。このほか、システム型枠あるいは標準型枠の設定に

よって一部の型枠を工事間転用が可能になる場合、生産性変化へのシミュレーションに式7-4が適用できる。

このように、本章に開発した型枠セット工事生産性変化モデルは、計画生産体制から受注生産体制へ移行した多品種少量生産あるいは多品種多量生産を適用対象として成立したものである。P C a住宅建設の多様化が逆転できない傾向である一方で、型枠資材のシステム化などによって対応性が高まっていくことも事実である。これに対して、専門工の減少、労務費の高騰、労働者の高齢化などの背景の下で、型枠セット工事の労働生産性向上はますます重要な課題になってきている。これに関して、今日開発したモデルに基づく計画・管理手法の応用が、実務上で役立つように期待している。

第4節 まとめ

生産論という命題は、生産要素と現状の分析を踏まえて、理論上の帰結及び、改良方向と予想効果を明示しなければならない。

型枠セット工事に関する生産要素と現状の分析は、第5章、第6章で行ってきたが、本章では、シミュレーション手法として、生産性の変化モデルを開発した。

第1節では、まず、モデル化の必要性を考察した上で、モデル化の前提条件を設定した。前提条件は、①型枠資材を多数の工事に繰り返し使用できる、②転用のためのセット換えが可能かつ簡単になる、③計画・管理技術の進歩、④多品種に対応した受注生産体制にする、⑤工事と工事の間に型枠が転用できる相似の板種がある、などがある。モデル化の設定は、①板種を型枠セット工事生産性への評価要素とする、②生産量と品種が関係する指標を生産単位(工事)とする。③型枠セットを新規セット、工事間転用、工事内転用に分類する、④工事ごとにそれぞれの分類のセット工数の平均値を定数と仮定する、などのようである。さらに、1板種あたりセット工数の平均値(r)を評価項目として設定した。

第1節のモデル化方法に基づき、第2節では r の変化に関するモデル式の導きを行い、4つの式を得た。式7-1は、実務上のF P型の生産に適用できる結果であり、式7-2と式7-3は、実務上の規格型に対応したものである。さらに、規格型かF P型かを問わずに、もっと一般的な、工事間転用を運用した型枠セット工事の生産性を表す式7-4を導いた。これらの式に現れた生産性の変化については、まず、規格型とF P型の生産性比較という意味で式7-1と式7-2の比較を行い、F P型の工事内転用率を高めることが、生産性向上に重要であることを検証した。次に、式7-4の3つの変数一つずつ固定し、生産性の変化傾向を図で表した。これにより一般性をもつ式7-4では、現状の規格型あるいはF P型の生産に限らず、両者の中間的な生産方式へのシミュレーションが可能になり、生産計画の制定及び生産方式の選択などに大きな意味を持っていることを述べた。

第3節では、開発されたモデル式の適用性について、第5章第2節にまとめた3タイプの生産に対して検証を行った。多品種に対応した受注生産体制を前提としたこれらのモデル式は、少品種多量生産のタイプ1には適用しないと述べた。このタイプの生産には、もともと型枠の転用が問題になっていないが、前提とした計画生産体制の適用がごく小さな範囲に限られている。多品種多量生産のタイプ2と、多品種少量生産のタイプ3は、住宅生産の多様化という社会的要求によって、現状でも将来においてもP C a住宅生産の普通の生産方式であるといえる。これに対して、開発したモデルは、型枠セット工事の生産性向上及び、型枠計画・管理技術の進歩に役立つように期待している。但し、実用には、生産単位の変更などが必要となる場合がある。

P C a板の工場生産に対して、まず、第5章で構成要素への考察から、多品種生産の鍵を持つ型枠セット工事を抽出した。また、第6章では、型枠セット工事の進行方法と生産性を、工場調査と工数分析で明らかにした。さらに、本章では、生産性変化モデルを導き、理論の帰結及び生産効率のシミュレーションができた。これで、工場生産に対する生産性分析は、一完結を得た。

第8章 結論

- 1. 研究成果の総括
- 2. システム構築へ向かって
- 3. 今後の課題

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

本研究は、...

余白

1. 研究成果の総括

RC造集合住宅の建設における既成の工業化生産システムを再評価し、社会需要の多様化傾向などに対応したシステムの改良あるいは新しいシステムの構築に関する方向性と方法論を探索する目的をかかげた本研究は、壁式PCa工法を中心として、設計から工場生産にかけての一連の考察と分析を行い、以下のような成果を得た。

(1) RC造集合住宅の建設におけるPCa部材を用いる工業化工法は、壁式PCa工法と、局部的にPCa部材を用いる複合工法の2種類がある。その中でも、壁式PCa工法は広く採用され、数多くの実績が残っている。また、この工法は適用範囲、設計・生産の一括技術、専門生産業者などを持ち、ハード面とソフト面でも整備されたクローズドシステムになっている。但し、社会需要が量から質への重視に変化したことや、住宅建設の多様化傾向に対しては、設計・生産システムが柔軟な対応性を欠如し、現状と将来に向かって改良あるいは再構築が急迫になっている。このような代表的な工業化生産システムに対する研究は、他の工法にも意味が大きいと考えられる。こうした認識にたつて、本研究の位置づけと意義は明らかになってきた。

(2) 壁式PCa工法の歴史に対する考察によって、昭和30年代の開発時期の「工業化生産に適合する構法システム」の確立から、主に生産性を向上するための「工業的生産システム」の形成へ、さらに多様化へ対応できるような「多品種少量生産システム」を構築するような、「目的」の変遷を明らかにした。さらに、この変遷に伴う「仕事」と起こった「現象」を明らかに示してきた。これによって、本研究の目的が壁式PCa工法システムにおいて求められている要件と一致することを得た。壁式PCa工法によって建設するPCa住宅の作り手については、PCa住宅メーカーと総合建設業者がある。前者は、壁式PCa工法という工業化設計・生産技術をベースとした専門業者であり、PCa住宅における最も代表的な生産者だといえる。既成システムを考察するために、PCa住宅メーカーを中心としてヒアリング調査を行い、PCa住宅における設計・生産方法及び問題点を明らかにした。工業化生産システムの多様化への対応性に関する評価は、物的な直接の設計から工場生産までの段階に着目すべくことが分かった。

(3) PCa住宅の設計方法については、構法基準の制定、設計方法の分類、CAD技術の運用から考察した。まず、工業化生産の要求と制限によって制定される構法基準は、設計のよりどころであり、寸法構成や部材分割や接合部配置などの内容から構成されている。公的な標準仕様書などもあるが、各メーカーは、経験と保有技術を考慮しながら自社用構法基準をまとめることが多く見られている。次に、設計方法については、設計・生産範囲の区分にあわせて固定型、規格型、FP型、NP型のように分類できた。この中でまた規格型とFP型は最も普遍に採用されている。設計業務の具体的な展開については、業者ごとの生産供給規模によって、規格型とFP型の分離方式、連続方式、FP型のみの単一方式が調査した対象からみられた。分離方式を採用した会社に対する調査結果によって、規格型とFP型の設計業務における方法、内容、時間、技術力、使用するコンピュータとソフトシステムなどの区別を明らかにした。また、工業化の設計・生産の効果を向上するあるいは合理化するための有効手段として、CAD技術が積極的に導入されている。特に、専用システムの開発などによって、生産設計への運用は活発である。最後に、PCa住宅

の「商品」について、その変遷とあり方を分析した。以上のように、一般的な建築設計と区別したPCa住宅設計の方法と特性を究明した。

(4) PCa住宅の設計から工場生産への移行にあたって、部材分割が必要である。部材分割は、プロジェクトあるいは住棟の設計単位から工場生産の必要な部材単位への転換段階である。生産計画及び生産性予測においては、特に生産量(枚数)と品種(板種)の把握が重要である。本研究では、部材分割における分割方法、制約、品種の発生要因及びその中に現れた住棟と枚数、住棟と板種、枚数と板種の関係などを部材論としてまとめた。まず、部材分割については、構法上の合理性、生産の可能性、生産性を向上するための種類の集約が基本的な要求である。分割を行う際に、構工法の制約、空間スペースへの配慮、構造強度と安全、製造上の要求と制約、運輸上の制約、建方の制約などを考慮する必要があると述べた。これらによって分割された部材の枚数について、住棟との関係は

$$\text{壁板、床板: } Q = \alpha_0 \times D \times A_s \quad (4-1)$$

$$\text{屋根板: } Q_1 = \alpha_0 \times D_1 \times (A_s + A_r) \quad (4-2)$$

のようになる。これらを実例のデータを用いて、式の有効性と正確性を検証した。次に、板種と住棟の関係については、板種の区別要素を明確にした上で、1板種あたり生産枚数の平均値を評価対象として、部材の繰り返し特性から定量的に分析し、以下の式を求めた。

$$\text{壁板、床板: } \frac{\sum Q}{\sum S} = \alpha_s \frac{D}{A_s \times T} \quad (4-3)$$

$$\text{屋根板: } \frac{\sum Q}{\sum S} = \alpha_s \frac{D_1}{A_s \times T_1} \quad (4-4)$$

これらも同じく実例による検証を行った。さらに、PCa板の枚数と板種の分布については、分布のモデル化を行い、壁板と床板、階段室式と廊下式の分布上の区別を明らかにした。分布の把握のために、分布半径の計算方法を確立した。

$$\left[\begin{aligned} R &= \alpha_1 R_0 + \alpha_2 R_1 + \alpha_3 = \alpha_1 \sqrt{\frac{C_0+1}{2}} + \alpha_2 \sqrt{\frac{C_1+1}{2}} + \alpha_3 \quad (4-9) \\ C_0 &= \frac{A+1}{A-1} & A &= \frac{\max\{D(T_i)\} \times A_s \times T}{\alpha_s \times D \times P} \\ C_1 &= \frac{1+B}{1-B} & B &= \frac{A_s \times T}{\alpha_s \times D} \end{aligned} \right.$$

このように、PCa住宅生産における部材分割の方法と特性を明確にした上で、一連の定量分析モデルを開発し、生産量と品種の把握において大いに意義のある結果を得た。

(5) P C a工場に対する調査などによって、P C a板の生産工程と要素を把握できた。生産工程の中で、多様化へ対応する最も重要な要素は、高価、多様、在庫的な型枠の運用である。型枠を円滑に転用するように、適当な生産単位の把握及び型枠計画を中心とした生産計画の制定が重要であると述べた。調査した工場の実況について、少品種多量生産、多品種多量生産、多品種少量生産の3タイプに分けることができ、それぞれの型枠の運用形態を分析した。また、P C a住宅の専門業者としての、生産量から生産タイプの選択と工場の構成の方法についても考察した。

(6) 多品種生産の鍵を持つといわれる型枠セット工事の生産性に対して、現状の把握及び評価方法の確立を行った。型枠セット工事は、P C a板の生産型枠に関する計画から使用完了後の処理までの一連の生産活動を含む。その生産性評価については、型枠資材の転用効率による物的生産性と型枠セットの労働生産性に対して行うべきである。労務費の高騰の背景において、労働生産性はますます重要な要素となり、技能工によって行う型枠セットの作業量を削減する必要がある。つまり、型枠を成形あるいは部分成形した状態で転用することが望ましい。従って、型枠の運用方式としては新規セット、工事間転用、工事内転用の区分がある。それぞれの作業方法と工数基準を究明した上で、工場の実際の生産事例に対して調査を行い、運用方式による工数の違いと分布特性を定量的に把握した。これによって、生産性の変化におけるシミュレーション手法の開発の基礎を構築した。

(7) 型枠セット工事に関して、生産性変化へのシミュレーションモデルを開発した。まず、モデル化の意義については、

- ①生産方法と生産性を理論として帰結できる。
- ②解析及びシミュレーション技法の基礎となる。
- ③システムの改良あるいは再構築において、最適化へ向かう出発点である。
- ④電算技術の利用を可能にする。
- ⑤計画・管理を明確化する。

にあると述べた。モデル化は、型枠資材のハード要素、型枠セットの作業要素、計画・管理のソフト要素、受注生産の生産体制要素、板種の相似性などから前提条件を考察した。さらに、

- ①板種を型枠セット工事への評価要素とする。
- ②仕種を生産単位とする。
- ③型枠の運用方式を新規セット、工事間転用、工事内転用に分類する。
- ④工事ごとにそれぞれの分類の平均工数は定数であること。

のようにモデル化の仮定を行った。これらによって、1板種あたりセット工数の平均値(r)を評価項目として、

$$r = a - (b-c) \frac{C}{T} \quad (7-1)$$

$$r = b - (b-c) \frac{C}{T} \quad (7-2)$$

$$r = \left(\frac{a-b}{n} + b \right) - \left(\frac{a-b}{n} + b - c \right) \frac{C}{T} \quad (7-3)$$

$$r = a - (a+b+2c) \frac{\alpha \sum (i-1) \lambda_i}{\sum T} - (a-c) \frac{\sum C}{\sum T} \quad (7-4)$$

のような式を導いた。さらに、これらの式によって明らかになった型枠セット工事生産性の変化特性について考察した。モデルの適用については、前述した少品種多量生産、多品種多量生産、多品種少量生産の3タイプに対して考察した。

以上、本研究で得た成果をまとめてきた。これらは、RC造集合住宅の工業化生産の特性と現状を明らかにした上で、工業化生産のシステムに対して評価方法を確立し、評価を実行した。さらに、シミュレーション手法の開発などによって、システムの改良あるいは再構築に方向の判別及び具体的な方法論を提供した。つまり、研究で指定した範囲と対象においては、研究の目的がすべて実現できた。但し、本研究の範囲に入っていない要素、例えば現場施工段階や、型枠セット工事以外の鉄筋工事やコンクリート工事なども、システムの評価には重要である。これらの要素に対して同じくシステム方法論を用いて研究することが可能かつ有効と考えられる。

2. システム構築へ向かって

システム方法論の評価と模擬を用いて得た研究成果を以上のように述べた。壁式P C a工法システムの最適化については、システムの構築における研究成果の適用及び位置づけに関する議論という形で図8-1をまとめた。

多様化に対応するために、以下の手法がいわれている(参考文献2-8)。

- ①システムの数そのものによる多様性の実現。
- ②システム内的な柔軟性の実現。
- ③ノンシステムの多様性の実現。

これにおいて、壁式P C a工法の固定型、規格型、F P型、規格型とF P型の連続展開、任意対象に対応するN P型の位置づけ及び構成要素は図に示す通りになっている。

まず、システムの数そのものによる多様性の実現においては、固定型、規格型、F P型などの同時運用によることが考えられる。この場合、設計には商品メニュー、空間メニュー、実績メニューなどの商品整備を講じ、標準化とルール化手法を区別して同時に運用することが重要である。生産設計について、固定型では最初の一回目に部材分割と設計を行った次からほとんど変更しないので、省略できる。同じく工場生産の型枠も固定した状態で多数の工事が繰り返して生産できる。規格型とF P型においては、本研究の部材論の成果によって明らかにしたように、生産設計において枚数と板種を把握する必要があり、型枠がすべて工事間転用か、新規セットかによって使い分ける。

次に、システム内的な柔軟性の実現には、規格型とF P型の連続展開が1つ手法として考えられる。この場合、最も重要な要素としては、型枠の工事間転用と新規セットを同時に円滑に運用することである。このため、設計においては複数の工事の相似性を把握し、部材を系列化しなければならない。

また、以上のような構成要素が明確かつ目的が一致している規格型やF P型などをシ

図8-1 壁式P C a工法システム構築の概要

| システム要素 | 設計書 (需要への対応性) | | 生産設備 (設計から工場生産への転換) | 工場生産 (生産の柔軟性) |
|---------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | 分類 | 設計方法 | | |
| 多システム の多様性 | 固定型・商品メニュー | 構法 ・ 平面構成ルール ・ 組合せルール ・ 部品範囲の把握 法 ・ 集積メニュー ・ 平面構成ルール ・ 部品範囲の把握 基 準 $R = \alpha \sqrt{\frac{C^2+1}{2}} + \alpha_2 \sqrt{\frac{C^2+1}{2}} + \alpha_3$ | 固定型枠 | 計画生産(連続) 「板構生産単位」 |
| | 規格型・空間メニュー ・ 組合せメニュー | | 住棟 ↔ 枚数 $Q = \alpha_4 \times D \times \Lambda_4$ 住棟 ↔ 板構 $\frac{\Sigma Q}{\Sigma S} = \alpha_1 \cdot \Lambda_1 \times T$ 枚数 ↔ 板構 | 工事間転用 新規セット $r = b - (b - c) \cdot \frac{C}{T}$ 新規セット $r = a - (a - c) \cdot \frac{C}{T}$ |
| システム内 的柔軟性 ・ 共通性の把握 | 規格型とF P型の連続展開 | $R = \alpha \sqrt{\frac{C^2+1}{2}} + \alpha_2 \sqrt{\frac{C^2+1}{2}} + \alpha_3$ | 工事間転用+新規セット $r = a - (a + b/2c) \cdot \frac{a \Sigma (1 - 1/\Lambda_i)}{\Sigma T} - (a - c) \cdot \frac{\Sigma C}{\Sigma T}$ | 受注生産(個別) 「プロジェクト 生産単位」 |
| ノン システム | 任意対象 (N P型) | | 部材分類、種類区分 → 新規製造+新規セット フレキシブル型枠 | |

システムと見なす。つまり、これらは、設計や生産設計や工場生産などの要素から構成し、どの要素も建築の要求を満足しながら効率よく生産することを目的としている。では、任意対象に対応するN P型には、同じく設計などの要素があるが、それぞれの間に必ずしも関連しない場合が多い。例えば、設計は建築物の性能などを決定し、部材の数量と種類については必ずしも考慮しておらず、工場生産の効率とも無関係になる。この場合はノンシステムと見なし、生産効率を考慮しないので、単に可能性から考慮して対応範囲がかなり広いと考えられる。具体的には表のような設計先決と生産先決の2ケースが考えられる。設計先決の場合、工場生産はどのような対象にも対応しなければならないので、型枠を新規製造したり新規セットしたりすることがそれなりに必要になる。生産先決の場合には、型枠が十分な柔軟性を持ち、どのような需要にも対応できることが前提である。型枠の対応性の限界があれば、設計段階で予め生産の可能性を考慮しなければならない。

3. 今後の課題

本研究の成果と適用は、一般的な集合住宅の空間構成及び、壁式構造や大型パネルの採用などの壁式P C a工法の基本要素を前提としている。一般的な住宅空間の変化、例えば住戸面積が大変大きくなったり小さくなったりすることや、部屋分割の概念をなくしたりすることなどは考えにくい。構造形式やジョイント形式と配置などの構造的な変化が十分考えられる。また、コンピュータ技術の運用などに伴って工法の実行におけるソフト環境は変化しつつある。従って、研究成果の応用及び今後の展開については、これらの要素を含めて総合的に考慮しなければならない。

具体的には、今後の課題としてはまず研究成果を実用化するために方法の補完が必要である。例えば、事例を分析したりデータを統計解析することによって得た部材利用の成果には、一般的な部材の特性及び数量と種類の関係をまとめた。実用上においては、建築物の標準モデルを用いて成果をより明確にし、個々の建築対象を標準モデルと比較することによって一層正確な結果が得やすくと述べた。このような標準モデルの制定は研究成果を実用化するために必要となってくる。また、型枠の工事間転用に際しても、研究として複数の工事間に同一の工事間転用係数(α)を用いてきたが、実情が考慮できるように異なるα値によるモデル式の補足が必要である。

次に、研究成果を実用化するためのソフト環境の整備が重要である。例えば、研究成果を設計・生産に取り込む際、規準や業務方法や電算システムなどの整備あるいは開発は不可欠である。

また、工業化生産システムの改良あるいは再構築における本研究の成果の応用には、構造形式や型枠資材などのハード的な改良や開発と結合することによってより効果的になると考えられる。例えば、型枠の転用によってセット工数が低減でき、生産性が高くなること明らかになっているが、転用を容易にするあるいは転用の可能性を高めるための型枠資材の改良を行わなければならない。

最後に、壁式P C a工法に限らず、他の工法にも例えばモデル化を行う場合の方法論の適用などで、研究成果が役立つように期待している。

余 白

関連文献：

| 順次 | 題目 | 出所 | 著者 | 日付 |
|----|--|---|--|--------|
| 1 | 「P C a 構工法に関する研究 1」 | 東京大学松村研究室 | | 1992.6 |
| 2 | 「P C a 構工法に関する研究 2」 | 東京大学松村研究室 | | 1993.6 |
| 3 | 「P C a 住宅「商品」の変遷及び多様化への対応手法に関する研究」 | 日本建築学会大会 学術講演梗概集 建築計画 P.847 | 呉 東航 松村秀一 清家 剛 | 1992.9 |
| 4 | 「P C a 住宅の自由度による生産効率の変化モデルに関する研究」 | 日本建築学会大会 学術講演梗概集 建築計画 P.867 | 呉 東航 松村秀一 清家 剛 | 1993.8 |
| 5 | A Nationwide Survey of Current Precast Concrete Production in Japan Part1-The Present Condition of Architectural PC Production and the Technical/Manpower Composition Involved in Fabrication | The Third International Symposium on NOTEWORTHY APPLICATIONS IN CONCRETE PREFABRICATION (Singapore) P.7 | M Ando S Matsumura T Seike M Jo R Santos T Kaneta | 1992.7 |
| 6 | A Nationwide Survey of Current Precast Concrete Production in Japan Part2-The Transition of Technology Involved in the Production of Precast Concrete | The Third International Symposium on NOTEWORTHY APPLICATIONS IN CONCRETE PREFABRICATION (Singapore) P.15 | M Ando S Matsumura T Seike K kang M Jo D Wu | 1992.7 |
| 7 | 「建築用プレキャスト・コンクリート部材製造業の現況に関する研究」 | 第8回「建築生産と管理技術」シンポジウム論文集 P.131 | 金歩 隆 安藤正雄 松村秀一 清家 剛 趙 美蘭 ロバ・ワトス | 1992.7 |
| 8 | 「建築用プレキャスト・コンクリート部材製造業の要素技術の変遷に関する研究」 | 第8回「建築生産と管理技術」シンポジウム論文集 P.137 | 趙 美蘭 松村秀一 安藤正雄 清家 剛 姜 敬仁 呉 東航 | 1992.7 |

| 順次 | 題目 | 出所 | 著者 | 日付 |
|----|----------------------------------|---------------------|--------------|--------|
| 9 | 「PC部材を用いた工業化住宅に関する研究」 | 浅野工学専門学校卒業論文 | 萩原正美 原口尚美 | 1992.1 |
| 10 | 「建築用プレキャスト・コンクリート部材製造業の現況に関する研究」 | 東京大学卒業論文 | 金少 隆 | 1992.2 |
| 11 | 日本におけるプレキャストコンクリートの生産組織の実態に関する研究 | 東京工業大学修士論文 | ロバ・ワトス | 1992.3 |
| 12 | PCa工場の生産組織に関する調査研究 | 日本建築学会大会 学術講演梗概集 | 趙美蘭 松村秀一 | 1992.8 |
| 13 | 建築用プレキャスト・コンクリート製造技術の分析的研究 | 東京工業大学学位論文 | 姜 敬仁 | 1992.9 |
| 14 | 「建築生産の工業化に関する研究」 | 浅野工学専門学校卒業論文 | 八島淳子 | 1993.1 |
| 15 | 「建築部品のオーダーエントリーシステムに関する研究」 | 東京大学卒業論文 | 土屋光基 | 1993.2 |

引用・参考文献:

- [1. 単行本] (順不同)
- 「建築生産のオープンシステム」 内田祥哉著 彰国社 1977
 - 「建築の生産とシステム」 内田祥哉著 住まいの図書館出版局 1993
 - 「建築の事典」 内田祥哉編 朝倉書店 1990
 - 「構法計画ハンドブック」 内田祥哉編 朝倉書店 1980.5
 - 「工業化住宅・考」 松村秀一著 宇雲出版社 1987.4
 - 「構法計画」新建築大系24 上杉 啓、他著 彰国社 1985
 - 「建築生産システム」新建築大系44 古川 修、他著 彰国社 1982
 - 「量産住宅」=問題点と将来= 鈴木 一著 鹿島出版会 1973
 - 「住宅生産の工業化」-量産システムの理論と実際-
お・こ・の・ム、お・い・わ・れ共著 水田喜一郎・松谷著一郎共訳 鹿島出版会 1973
 - 「プレハブ建築の構造計画と設計」=PC板工法の手法=
高坂清一著 鹿島出版会 1976
 - 「住宅の工場生産」 後藤一雄著 理工図書株式会社 1977
 - 「現代社会とハウジング」 巽 和夫編 彰国社 1993
 - 「システムとはなにか」 渡辺茂嗣著 共立出版 1974
 - 「システムとシミュレーション」 石井威望著 共立出版 1974
 - 「システムと最適化」 須賀雅夫・川畑正大著 共立出版 1974
 - 「システムと評価」 三浦宏文著 共立出版 1974
 - 「総合システムのためのIE」 日科技連IE研究会編 日科技連 1966
 - 「生産性とIE」 尾関 守著 日本生産性本部 1975
 - 「すぐわかる統計解析」 石村貞夫著 東京図書株式会社 1993
 - 「すぐわかる多変量解析」 石村貞夫著 東京図書株式会社 1992
 - 「これからの中高層ハウジング」
建設省住宅局住宅生産課監修 丸善株式会社 1992
 - 「新しい都市居住への提案」 建設省住宅局住宅生産課監修 彰国社 1990
 - 「日本住宅開発史」 市浦健造編 株式会社井上書院 1984
 - 「プレハブ建築技術教育指導手引書」 日本建築センター
 - 「プレハブ建築協会二十年史」 プレハブ建築協会 1983.4
 - 「日本住宅公団史」 日本住宅公団 1981.9
 - 「モジュラーコーディネーション考え方と住宅への応用」
日本建築センター編 丸善株式会社 1976
 - 「プレハブ住宅コーディネーター教育テキスト」 プレハブ建築協会 1990
 - 「プレハブ建築の生産性向上に関する研究」 プレハブ建築協会 1966
 - 「工業化住宅の構法計画」 日本建築学会編 彰国社 1984
 - 「建築工法事典」 建築工法事典編集委員会編 産業調査会 1976

〔2. 論文、他〕(順不同)

- | | | | |
|---|---------------|----------------|---------|
| 1. 「構法・工法から構工法へ」 | 安藤正雄 | 建築の技術 施工 | 1992.1 |
| 2. 「工業化構工法・解決すべき問題群」 | 松村秀一 | 建築の技術 施工 | 1992.1 |
| 3. 「生産単位の分割とシステムズビルディング」 | 野城智也 | 建築の技術 施工 | 1992.1 |
| 4. 「新しい建築生産の工法と技術」 | | 建築の技術 施工 | 1987.1 |
| 5. 「プレハブの施工工程の品質管理基準」 | 成澤豊明 | 建築の技術 施工 | 1980.1 |
| 6. 「建築技術事典」 | | 建築の技術 施工 | 1978.1 |
| 7. 「鉄筋コンクリートスラブの施工」 | 松本信二 | 建築の技術 施工 | 1979.4 |
| 8. 「中高層集合住宅工業化の課題」 | 巽 和夫 | 建築の技術 施工 | 1976.8 |
| 9. 「建築のプレキャスト化と生産性向上」 | 高田博尾 | 建築技術 | 1992.5 |
| 10. 「RC造構造物の高層化の動向と課題」 | 井上芳生 | 建築技術 | 1985.11 |
| 11. 「低層階建壁式構造に関する告示と解説」 | 広沢雅也 | 建築技術 | 1983.9 |
| 12. 「特集*プレキャスト化の現状と将来」 | | コンクリート工学 | 1992.11 |
| 13. 「ハウジング・コミュニティ' 88」 | 総括: 松村秀一 | 建築文化 | 1988.5 |
| 14. 「ハウジング・コミュニティ' 89」 | 総括: 松村秀一 | 建築文化 | 1989.5 |
| 15. 「ハウジング・コミュニティ' 90」 | 総括: 松村秀一 | 建築文化 | 1990.5 |
| 16. 「ハウジング・コミュニティ' 91」 | 総括: 松村秀一 | 建築文化 | 1991.5 |
| 17. 「ハウジング・コミュニティ' 92」 | 総括: 松村秀一 | 建築文化 | 1992.5 |
| 18. 「ハウジング・コミュニティ' 93」 | 総括: 松村秀一 | 建築文化 | 1993.5 |
| 19. 「工業化構工法、再び」 | 松村秀一 | 建築年報 | 1991.9 |
| 20. 「建築と工業化—20世紀の3巨人と現在」 | 松村秀一 | 建築思潮1号 | 1992.12 |
| 21. 「混流連続生産によるPC部材工場の工程計画」 | 椎野潤 | 日本建築学会計画系論文報告集 | 1993.7 |
| 22. 「プレキャスト・コンクリート・カーテンウォール部材の製作難度による形状評価」 | 茶谷正洋、他 | 日本建築学会計画系論文報告集 | 1993.1 |
| 23. 「壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造建築における部材の生産労務量に関する研究」 | 若山滋 | 東京大学学位論文 | 1974.12 |
| 24. 「建築評価に関する研究」 | 吉田倬郎 | 東京大学学位論文 | |
| 25. 「戸建住宅構法計画試験」 | 松村秀一 | 東京大学学位論文 | 1984.12 |
| 26. 「建築施工の計画方法に関する研究」 | 松本信二 | 東京大学学位論文 | 1985.12 |
| 27. 「建築施工の労務工数とその標準化に関する研究」 | 室英治 | 京都大学学位論文 | 1988.6 |
| 28. 「鉄筋コンクリート工事における作業管理の適正化に関する研究」 | 三根直人 | 東京大学学位論文 | 1992.3 |
| 29. 「鉄筋コンクリート建築物の工業化による合理化の評価」 | 熊野隆喜 | 東京大学学位論文 | 1992.6 |
| 30. 「中高層住宅の生産高度化」 | 松村秀一 | ケイブ出版 | 1991.10 |
| 31. 「施工現場におけるシステム化の現状と将来」 | 日本建築学会材料施工委員会 | | 1991.9 |
| 32. 「高層RC造の工法とコンクリート施工の現状と課題」 | 日本建築学会材料施工委員会 | | 1987.10 |

謝 辞

日本での長い留学生活において、多くの方々から暖かい励ましとご協力を頂き、この度ようやく博士論文をまとめることができました。ここに、お世話になった方々に、厚く感謝の意を表したいと思います。

まず、私の指導教官の坂本功教授には、東京大学大学院に在学した5年の間、さまざまな方面からご指導を頂きました。約6年前、厚かましく大学をお訪ねした私に対して、先生は貴重な勉学の機会を与えて下さいました。以来、その先生のご期待に背かぬように頑張らなければ、という思いを常に抱き、研究を続けて参りました。

博士課程の研究においては、松村秀一助教授から多くの研究機会と詳細なご指導を頂きました。また、先生は論文の主要教官として、論文の構成からまとめ方に至るまで、細部にわたり多くのご意見を与えて下さいました。

研究室の清家剛助手には、私の研究の進展及び論文のまとめに関して多大なご協力を頂きました。特に、私のつたない日本語の文章を一つひとつ丁寧に直して頂き、大変な手間をおかけしたことに存じます。

また、研究においては、PCA住宅研究会を通じ、千葉大学の安藤正雄先生と、大成プレハブ株式会社の吉田宏氏、矢沢俊夫氏、佐々木正明氏、高原三平氏、原口尚美さんなどの方々のご協力とご助言を頂くことができました。また、調査にあたりましては、その他、多くの会社や工場にもご協力を頂きました。ここに、合わせて御礼を申し上げます。

研究室の大橋好光助手には、さまざまな場を通じ、勉学の機会とご助言を頂きました。また、小見康夫氏、若実蘭さん、佐藤孝一氏をはじめとする研究室の皆さまには、ご支援とご協力を頂き、研究を進める上で大きな励ましとなりました。

さらに、私の身元保証人の田中兵二氏には、長い間、さまざまな事柄において面倒をみて下さり、大変お世話になりました。

最後に、私費留学生という極めて経済的困難な生活を私とともに続けながら、絶えず理解と支持を与えてくれた妻美穂君に心から感謝の気持ちをささげ、また、長女兵昇平(1才)には、生まれてからほとんど世話もできず、遊んでやる時間さえなかったことを詫言いたいと思います。家族の暖かい支えがあってはじめて論文がまとめられたということをお忘れのことなく、これからはその一員としての責任をしっかりと果たして行きたい、思いを新たにしています。

長い学生生活が終わり、これからは社会でのさまざまな新しい局面に当たらなければならないことと存じます。常に、勤勉と誠実を心がけて、頑張りたいと思います。

1993年12月

吳東航

