

PCa工法と在来工法の経済的視点からの評価に関する研究

Economic Assessments of the Precast Concrete Construction Method and Traditional Method

正 村 芳 久

要 約

プレキャストコンクリート工法（PCa 工法）は、在来工法よりも採用割合はかなり低いですが、既に RC 躯体工事用の工法として定着している。しかし、この PCa 工法と在来工法の経済面での比較については、まだ調査・分析すべき点が残されている。本論文の目的は、PCa 工法と在来工法の労務歩掛かり、コストの両面からの比較による基本的な経済事象の実態把握および工法選定時に用いられる労務コスト関連の評価方法の多様化である。調査・分析結果では柱、梁、床の部位毎について、PCa 工法の全生産過程での労務歩掛かりは在来工法と同等であることを明らかにした。労務コスト関連の評価方法の検討結果では、躯体サイクル工程での労務平準化を表す指標として推定就業率を提案し、現場で PCa 部材を製作すると推定就業率が向上することを示した。

目 次

- I. はじめに
- II. 労務歩掛かりの比較
- III. コストの定性比較
- IV. 労務平準化
- V. おわりに

I. はじめに

日本では欧州などと異なって、RC 躯体の製作に関してはプレキャストコンクリート工法（PCa 工法と称す）よりも、躯体位置で型枠設置、鉄筋組立およびコンクリート打設を行う在来工法を採用する率が高い。我が国の建築生産環境では、レディミクストコンクリート工場の配置密度が高く、かつ型枠大工の供給が十分なため RC 躯体製作では在来工法をベースにした検討がなされることが多い。従来から、PCa 工法と在来工法とのコスト比較に関心が寄せられており、例えば山下雅己ほか¹⁾は PCa 工法による 8 現場および在来工法による 8 現場の計 16 現場のコスト分析を行い、PCa 工法の方がコスト面で有利であるとの結果を示している。しかし、労務コスト等の実態把握が十分にはなされていない。

本論文の目的は、PCa 工法と在来工法の労務歩掛かり、コストの両面からの比較検証による基本的な経済事象の実態把握および工法選定時に用いられる労務コスト関連の評価方法の多様化である。そのために、1) PCa 工法と在来工法の労務歩掛かりの比較、2) PCa 工法と在来工法のコストの定性比較、3) 労務平準化の考え方を拡張した指標の提案および 4) 上記 1), 2), 3) に基づく PCa 工法の労務コスト面での特徴、について述べる。

II. 労務歩掛かりの比較

1. 方 法

(1) データの取得方法

PCa 工法の労務歩掛かりは調査データから求める。在来工法の労務歩掛かりは他文献^{2), 3)}からの引用値を用いる。以下では PCa 部材を PCa 工場で作成する場合を工場 PCa と称す。また、PCa 部材を現場敷地内で製作する場合をサイト PCa と称す。

調査は二つの現場で実施した。調査現場の概要を Table 1 に示す。M 現場、K 現場ともに RC 造超高層住宅であり、PCa 部材を多く取り入れている。M 現場の構造上の特徴は、中央部に在来工法によるコア壁をもっていることである。K 現場の施工上の特徴は、最短の躯体施工サイクル 3 日間（タワークレーンのクライミング期間を除く）を実現したことである。

Table 1 に示す二つの調査現場では、1 層分（1 サイクル分）の実測データを取得した。なお、M 現場の調査データは、18 階および 21 階の 6 日サイクルデータ（98.9.4～10、98.10.2～8）の平均値である。K 現場の調査データは、32 階の 3 日サイクルデータ（98.8.26～28）の値である。調査データとしては、現場の専門工事業者が作成した日報データ、ゼネコン社員がとくに本調査のためにまとめた工数データおよび観測員（著者）による作業測定データを併せて検討し、不整合のデータがある場合は、総合的な観点から最も確と思われるデータを選定した。

PCa 工法は柱パネルゾーンあるいは梁の中間接合部分に在来工法を用いる。在来工法を用いないケースとしてはプレストレストコンクリート・プレキャスト工法（PCPCa 工法）等があるが、採用例が少ない。ハーフ PCa 床板を使用した場合では、PCa 化部分の体積率（PCa 化率と称す）が 50% を下回るケースもある。調査現場の PCa 工法は、どれもその一部に在来工法で製作した部分をもつ。

(2) 労務歩掛かりの算定方法

PCa 工法と在来工法の労務コスト関連の指標として、労務歩掛かりを用いる。RC 躯体の生産全体として、PCa 工法と在来工法の労務歩掛かりを比較するために部材製作や建方作業を含めた労務歩掛かりを求める。

キーワード：プレキャストコンクリート工法，
在来工法，労務歩掛かり，労務平準化，コスト

Table 1 調査現場の概要
(Outline of Examined Sites)

	M 現場	K 現場
延べ床面積	40,006 m ²	27,173 m ²
階 数	地下1階, 地上33階	地下1階, 地上37階
用 途	共同住宅	共同住宅
構工法	ラーメン構造+コア壁 柱: サイト PCa 梁: 在来工法、鉄筋先組 床: サイトハーフ PCa バルコニー: 工場 PCa	ラーメン構造 柱: 工場 PCa 梁: 工場 PCa 床: サイトハーフ PCa バルコニー: 工場 PCa
工 期	1997.4~1999.10	1996.12~1999.7

労務歩掛かりは RC 躯体 1 m³ を歩掛かりの基準とし、柱、梁、床の部位毎に算定する。これは PCa 工法が部位毎に用いられるためである。算定方法としては、躯体 1 m³ 毎の各作業の人日をもとめ、それらを集計する方法を用いる。今回の実測データによる柱、梁、床の部位毎の PCa 工法の労務歩掛かりの算定では、部材製作、建方および在来工法による PCa 部材一体化作業のそれぞれの工数を合計したものを用いる。

支保工の設置・盛替え、養生網セット、受け構台の盛替え、清掃など、複数の部位あるいは躯体全体に関係する作業については、その工数を部位毎に振り分けることはせず、労務歩掛かりの算定から省略する。

2. 部位毎の労務工数

(1) 柱部材

柱部材の全生産過程での 1 ピースあたりの工数データとして、データが揃っている M 現場の調査データを用いる。1 ピースあたりにする理由は、6 日サイクル期間でのサイトでの柱製造数が 6 型枠で 36 ピースであり、1 階分の柱数 39 ピースと一致しないためである。なお、PCa 柱のパネルゾーンは在来工法による。一部の欠データ（パネルゾーンの鉄筋固め）については、K 現場の 1 箇所あたりの工数調査データを用いる。柱の標準仕様を Table 2 に、また M 現場の柱の 1 ピースあたり工数を Table 3 に示す。なお、M 現場の柱で PCa 化されている部分は 4 階以上であり、4 階から 33 階の階高さは 3.1 m である。（なお、2 階は階数表示の関係で存在しない。）次に柱のすべてに在来工法を適用した場合の M 現場、柱 1 本あたりの工数を計算する。工数算定では、柱 1 本あたりの型枠面積、鉄筋量、コンクリート体積のそれぞれに文献からの労務歩掛かりを乗じる方法を用いる。在来工法による M 現場の柱 1 本あたりの工数を Table 4 に示す。Table 4 の中の施工数量として、型枠面積とコンクリート体積は、階高 3.1m、柱断面 1,000×1,000 から、鉄筋量は M 現場の柱 1 本あたりの鉄筋量から求めた。なお、Table 4 の上限工は上限工数（人日）、下限工は下限工数（人日）の意味である。

(2) 梁部材

調査データとしては、K 現場のデータを使用する。ただし、梁部材製作は PCa 工場で行ったがその調査データがないため、その労務データとして M 現場のサイト PCa による柱部材製作の体積あたり労務歩掛かりをもとに、梁部材製作の工数を推定する。なお、次々

Table 2 柱の標準仕様
(Standard Specification of Post)

柱ピース数/階	39 ピース
標準断面	1,000×1,000
PCa 部分体積/ピース	2.23m ³
在来部分体積/ピース	0.87m ³
鉄筋量/ピース(16~21F)	741kg, 20×D41, @100

Table 3 M 現場、柱の 1 ピースあたり工数（人日）測定結果
(M Site, Examined Labor Days per Piece of Post)

作業分類	作業名称（職種）	工数	(K 現場)
サイト PCa 部材製作	鉄筋組立（鉄筋工）	0.333	工場 PCa ; 未調査
	型枠他一式（土工）	1.000	
	専属クレーンオペレータ	0.167	
	小計	1.50	
建方および柱 間の接続	建方（嵩、ハレ除）	0.154	0.213 ^{注1)} 未調査
	間詰モルタル（左）	0.094	
	グラウト注入（左）	0.205	
	小計	0.453	
在来（パネルゾ ーン）	鉄筋固め（鉄筋工）	同右 ^{注2)}	0.024
	型枠建込み（大工）	0.108	0.109
	型枠解体（大工）	0.051	同左 ^{注2)}
	コンクリート打設（土他）	0.097 ^{注3)}	0.136 ^{注3)}
	小計	0.256	0.269
		合計	2.209
			—

注 1) サポート用床板アンカー取付け 0.014 人日/ピースを含む。

注 2) 未調査のため、他現場の実測値で代替する。

注 3) 梁、床と同時打設のため、データの分離ができないので打設体積当たりの工数を計算し、それにパネルゾーン部分の体積を乗じて求めた。なお、梁、床に共通の段取り・後片付け作業を含む。

Table 4 在来工法による M 現場、柱 1 本あたりの工数（人日）
(M Site, by Traditional Method, Labor Days per Piece of Post)

種別	施工数量	労務歩掛かり	上限工	下限工
型枠	12.4 m ²	7~12 m ² /人日 ^{注1)}	1.771	1.033
鉄筋	741kg	420~880 kg/人日 ^{注1)}	1.764	0.842
打設	3.1 m ³	7~14 m ³ /人日 ^{注2)}	0.443	0.221
		計	3.978	2.096

注 1) 文献²⁾の柱用の労務歩掛かりより

注 2) 文献³⁾より

Table 5 K 現場（32 階）、梁の 1 階分あたりの施工量
(K Site(32 Floor), Work Volume of Girder per Floor)

PCa 部分体積/階	64.4 m ³
在来部分体積/階	35.4m ³
鉄筋量/階	25,600kg
梁の総延長/階	196.9m
(梁の主要断面)	(600×800)

節で述べるように、工場での製作状況はほぼサイトと同様である。

Table 6 K現場、梁の1階分あたりの工数（人日）測定結果
(K Site, Examined Labor Days of Girder per Floor)

作業分類	作業名称（職種）	工数
PCa部材製作	（工場PCaで未調査のためM現場の柱サイトPCaの歩掛かり 0.6726人日/m ³ から換算する）	43.3
ユニット化	部材の荷おろし（鉄筋工）	4.0
	部材の大組（鉄筋工） ^{注1)}	14.0
	小計	18.0
建方および 梁鉄筋の接 続	建込み（嵩、大工） ^{注2)}	13.0
	吊りフック切断（かじ工）	1.5
	鉄筋機械継手の接続（鉄筋工）	8.0
	機械継手へのグラウト（土工）	3.0
	小計	25.5
在来 ^{注3)}	型枠の盛替え（大工） ^{注4)}	21.7
	コンクリート打設（土工他） ^{注5)}	5.3
	小計	27.0
合計		113.8

注1) サイトでのPCa部材の大組は、梁71ピースを32ピースへとするための梁主筋の機械継手の接続作業および在来工法部分の帯鉄筋の組立作業からなる。なお、ほかに階段まわりの梁が5ピースあるので、1階あたりの搬入ピース数は76ピースとなる。

注2) 建方ピース数は37ピース

注3) 部材の地組時に鉄筋組立がなされているので、在来中の作業に鉄筋組立は入っていない。

注4) 型枠の盛替えは、システム型枠52台および在来型枠7箇所の解体、ケレン、下階からのリフトによる運搬および組立の一式。

注5) コンクリート打設は、床のポンプ打設と梁・パネルゾーンのバケット打設を同時に行っており、工数の分離ができないため、梁部分の工数は全打設量166m³のうち、梁打設分のみを按分比例してもとめた。なお、打設当日の工数は目視による実測の人時データを人日に変換した。準備作業として、定置式ポンプ・バケットの整備、梁・スラブ・バルコニーの隙間養生、天端レベル出し等を、また後片付け作業として下階の水洗い清掃等を含む。

梁工数は1階分あたりで計算する。K現場の梁の1階分あたりの施工量をTable 5に、また梁の1階分あたりの工数をTable 6に示す。

次に梁のすべてに在来工法を適用した場合のK現場、1階分あたりの工数を計算する。工数算定では、梁1階分あたりの型枠面積、鉄筋量、コンクリート体積のそれぞれに文献よりの労務歩掛かりを乗じる方法を用いる。在来工法によるK現場、梁1階分あたりの工数をTable 7に示す。

(3) 床部材

MおよびK現場のハーフPCa床版のうち、サイトで製作したハーフPCf床版部分の調査データを用いる。M、K現場のハーフPCf床版の1階分あたりの施工量をTable 8に、また1階分あたりの工数をTable 9に示す。なお、M現場ではハーフPCa床版としてハーフPCf床版と工場PCaのFR版を、K現場ではハーフPCf床版と工場PCaの廊下用版を使用している。

Table 7 在来工法によるK現場、梁1階分あたりの工数（人日）
(K Site, by Traditional Method, Labor Days of Girder per Floor)

種別	施工数量	労務歩掛かり	上限工	下限工
型枠	394 m ²	6~11 m ² /人日 ^{注1)}	65.67	35.82
鉄筋	25,600 kg	360~880 kg/人日 ^{注1)}	71.11	29.09
打設	99.8 m ³	7~14 m ³ /人日 ^{注2)}	14.26	7.13
計			151.0	72.04

注1) 文献²⁾の大梁用の労務歩掛かりより 注2) 文献³⁾より

Table 8 ハーフPCf床版の1階分あたりの施工量はか
(Work Volume of Half PCf Slab per Floor)

項目	M現場	K現場
PCf床板ピース数	12 ピース	21 ピース
PCf床板面積	326 m ²	554 m ²
1階分の全床面積	1,207 m ²	715 m ²
PCf床板厚さ	80 mm	100 mm
床の標準厚さ	220 mm	200 mm

Table 9 ハーフPCf床版についての1階分あたりの工数（人日）
(Examined Labor Days of Half PCf Slab per Floor)

作業分類	作業名称（職種）	M現場工数	K現場工数
サ イ ト PCa 部材製作	段差ラス型枠（かじ）	24（土工）	3
	トラス筋他（鉄筋工）		11
	型枠・コン打設（土）		18
	小計	24	32
建方	建込み（嵩ほか）	1.53 ^{注1)}	5.67 ^{注2)}
	小計	1.53	5.67
在来	上端筋配筋（鉄筋工）	8.5	13.0
	コンクリート打設（土工他）	5.11 ^{注3)}	8.68 ^{注3)}
	支保工盛替え（嵩）	6.75 ^{注4)}	6.25 ^{注5)}
	小計	19.86	27.93
合計		45.39	65.60

注1) 同時に建方をしたFR版とのピース数に比例して工数を配分（PCf床版：12、FR版：53）。

注2) 同時に建方をしたバルコニー等とのピース数に比例して工数を配分（PCf床版：21、鉄骨階段：2、バルコニー・廊下：27）。

注3) 梁、パネルゾーン部分と同時打設のため、データの分離ができないのでM現場、K現場それぞれに打設体積当たりの工数を計算し、それにPCf床版上のコンクリート打設部分の体積を乗じて求めた。なお、この値には梁、パネルゾーンと共通の段取り作業および後片付け作業を含む。

注4) PCf床版および梁用の支保工の盛替工数の1/2とする。

注5) PCf床版、廊下用版、バルコニー支保工の盛替工数の1/2。

在来工法は、社内資料から住宅用途の仮想建物に関する床部分の型枠、鉄筋、コンクリート量を抽出し、別途に計算する。その理由はMおよびK現場ともに床部位に関連するPCa部材だけ見てもハーフPCf床版以外にPCa製バルコニー（M、K現場）、PCa製廊下（K現場）、FR版・PCボーダー（M現場）があり、ハーフPCf床

Table 10 仮想建物の概要
(Outline of Imaginary Building)

構造形式	基準階面積	階数	延床面積
RC ラーメン構造	1,232 m ²	25 階	30,811 m ²

Table 11 在来工法による仮想建物、床 1 階あたりの工数（人日）
(Labor Days per Floor by Traditional Method)

種別	施工数量	労務歩掛かり	上限工	下限工
型枠	918 m ²	11~20 m ² /人日 ^{注1)}	83.6	45.9
鉄筋	23,650kg	380~880 kg/人日 ^{注1)}	62.2	26.9
打設	172m ³	7~14 m ³ /人日 ^{注2)}	24.6	12.3
計			170.4	85.1

注1) 文献²⁾の床用の労務歩掛かり、ただし鉄筋組立はダブル配筋のものを選定した。

注2) 文献³⁾より

版部分のみでは床 1 階分の施工量にならないためである。

仮想建物の概要を Table 10 に、その建物の 1 階あたりの在来工法による工数を Table 11 に示す。

3. 部位毎の労務歩掛かりの比較

PCa 工法と在来工法の部位別の労務歩掛かりを Table 12 に示す。なお、PCa 工法の m³あたり労務歩掛かりは RC 造超高層住宅の調査工数をまとめた Table 3,6,9 から、また在来工法の m³あたり労務歩掛かりは文献よりの鉄筋、型枠、コンクリートの労務歩掛かりをもとに工数換算した Table 4,7,11 から求めた。

Table 12 から、PCa 工法の柱、梁、床の労務歩掛かりは在来工法の労務歩掛かり範囲のはほぼ上半分の範囲内におさまることがわかる。PCa 工法の梁では在来工法の労務歩掛かり範囲の中位置にあり、柱と床では在来工法の労務歩掛かりの最大参照値の方に位置する。柱と床の労務歩掛かりが在来工法の労務歩掛かりの最大参照値に近い理由としては、PCa 工法の調査データは作業習熟度が十分に向上したと思われる 18 階、21 階および 32 階でデータであることが考えられる。K 現場での梁の労務歩掛かりが在来工法の労務歩掛かり範囲の中位置にある理由として、対象建物の平面形状が変形八角形(角度が全て異なる)であり、梁鉄筋の納まりについての施工難度が高いことが挙げられる。

Table 3,6,9 から求めた各部位の全体工数に対する作業分類毎の調査工数比を Table 13 に示す。

Table 13 から、全体工数に対しての建方・接続の工数比は梁・柱については 20~22%、床については 3~8%であり、また部材の地組を含めての部材製作の工数比は 1/2 から 2/3 の範囲である。

躯体全体に関わる作業には養生、足場組立、補修、躯体墨出し、アンカーセットなどが含まれる。K 現場の場合では、1 階あたり養生・足場掛け払い(嵩) 24 人日、躯体墨出し 1 人日(墨出し工)およびメッシュ貼り・アンカーセット(かじ工) 3.5 人日の計 28.5 人日であり、同じく K 現場の梁部位の 1 階あたり合計工数 113.8 人日(Table 6 参照)の 25%に相当する。別に K 現場では躯体補修用に 1 階あたり 10 人(左官)を一括契約している。これらの工数の各部位への加算は行っていない。

Table 12 PCa 工法と在来工法の部位別労務歩掛かり
(Element's Labor Productivities of PCa and Traditional Methods)

工 法	柱	梁	床
PCa 工法 : M 現場 データ	PCa 化率 72% 0.713 人日/m ³ 1.40m ³ /人日	—	PCa 化率 36% 0.633 人日/m ³ 1.58m ³ /人日
PCa 工法 : K 現場 データ	—	PCa 化率 65% 1.14 人日/m ³ 0.877m ³ /人日	PCa 化率 50% 0.592 人日/m ³ 1.69m ³ /人日
在来工法 : 最大参照値	0.676 人日/m ³ 1.48m ³ /人日	0.722 人日/m ³ 1.39m ³ /人日	0.494 人日/m ³ 2.02m ³ /人日
在来工法 : 最小参照値	1.28 人日/m ³ 0.779m ³ /人日	1.51 人日/m ³ 0.661m ³ /人日	0.991 人日/m ³ 1.01m ³ /人日

Table 13 作業分類毎の調査工数比

(Ratios of Examined Labor Days per Work Classification)

作業分類	柱工数比 : M 現場	梁工数比 : K 現場	床工数比 : M 現場	床工数比 : K 現場
部材製作	67.9%	38.1%	52.9%	48.8%
部材の地組	—	15.8%	—	—
建方・接続	20.5%	22.4%	3.4%	8.6%
在来	11.6%	23.7%	43.7%	42.6%

M 現場では、在来工法によるセンターコア壁の工事等への支援作業も含まれているため、M 現場の躯体全体に関わる労務関連の調査データは省略する。なお、M 現場でのタワークレーンのクライミング(嵩) 1 回あたり工数は 7.5 人日である。

4. PCa 製造工場の労務歩掛かり

K 現場で用いた工場製作の PCa 部材に関しては工場での労務歩掛かりデータの取得を行っていないが、柱 RC 梁鉄骨用の PCa 柱部材については 3 社、4 工場にて労務調査を実施している。しかし、調査対象柱は柱内に梁鉄骨との接合金物を埋め込んでおり、そうでない場合と製作条件が異なるため、M 現場のサイト PCa による柱部材との比較は行わない。PCa 製造工場の調査方法は、ヒアリング、工場側資料の収集および実地調査による。PCa 柱の仕様と歩掛かり比較結果を Table 14 に示す。なお、単価および労務歩掛かりは、単価比および労務歩掛かり比に変換して表示する。単価比は円/m³の比、また労務歩掛かり比は人日/m³の比であり、それぞれもとも低い値の工場を 1.00 としている。

Table 14 から明らかなように 1) 体積当たり単価費は労務歩掛かり比に比例していない、2) 多能工の生産効率への効果は不明、3) 製作数量、鉄筋径、型枠形式等の影響についても不明、との結果が得られた。なお、4 工場は実績の豊富な中規模以上の PCa 製造工場であり、どの工場もコンクリート製造、運搬は機械化されているが、鉄筋組立、型枠清掃・組立、型枠解体・脱型、コンクリート打設、コテ仕上げ、検査・補修などの作業は手作業であり、サイト PCa と同様である。1 日、1 型枠で 1 ピースの製作を基本としている点

Table 14 PCa柱の仕様と歩掛かり比較結果
(Labor Productivities and Specifications of PCa Post)

項 目	A工場	B工場	C工場	D工場
単価比	1.17	1.09	—	1.00
労務歩掛比	1.25	1.13	1.00	1.13
職種、人数	製造 4 鉄筋工 3	製造 16 鉄筋工 10	多能工 10	製造 3 鉄筋工 2
製作数量	168 体	797 体	134 体	140 体
平均体積	3.4 m ³	4.0 m ³	2.7 m ³	2.0 m ³
断面	820 × 820	900 × 900	800 × 800	700 × 700
スランブ	10cm	10cm	10cm	10cm
主鉄筋	D32 /16p	D41/20p	D32/12p	D29/12p
フープ筋	129 枚	135 枚	153 枚	57-67 枚
コテ仕上数	4 回	3 回	4 回	2~3 回
型枠数	2 型枠	6 型枠	3 型枠	3 型枠
鋼製型枠の形式	ベッド側 枠型一体	ベッド側 枠型一体	ベッド側 枠型一体	ベッド側 枠型分離
主鉄筋加工	切断済み	生材	切断済み	切断済み
調査時期	1998.4	1998.9	1998.8	1999.5

もサイト PCa と同等である。

5. 考 察

文献からの在来工法の労務歩掛かりデータは、その上限値と下限値で表現されており、その差は概ね、2 倍前後もある。このデータは、条件として、通常的环境条件、適正な人数配置、平均的な熟練度を有する作業員、クレーンやコンクリートポンプ等の通常用いられる施工機械の使用、を前提としている。それにもかかわらず、労務歩掛かりがこのような広がりをもつ理由として 1) 設計により作業の難易度が異なる、2) 段取りの巧拙によって作業能率が異なる、ことが知られている。ここで、1) の“設計により作業の難易度が異なる”では、例えば型枠作業では、開口部や曲面部には割増した労務歩掛かりを用いるなどにより、実際の工数見積りでは対処している。しかし、2) の“段取りの巧拙によって作業能率が異なる”では、急な設計変更の有無、元請の管理能力および職長の管理能力の複合要因により生じるため、事前予測は困難である。したがって、設計条件をよく検討することにより、労務歩掛かりの予測精度は向上するものの、必ずしも、実施結果がそうなるとは限らない。労務歩掛かりの変動要因を Table 15 に示す。

Table 15 の中の物理要因は、要因とその結果の関係を解析し定量化できるものである。それに対し無形要因は、要因とその結果の関係を解析することが困難である。物理要因および無形要因が労務歩掛かりに及ぼす影響度合いは、それぞれのケースにより異なる。Table 14 の PCa 柱の仕様と労務歩掛かり比較結果では、物理要因である PCa 柱の仕様と労務歩掛かり比の相関関係が見られなかったが、その理由の一つは無形要因を考慮していないことによるものと思われる。

PCa 工法と在来工法の労務歩掛かり比較では、各部位ともに PCa 工法は在来工法の上位半分の歩掛かり範囲内にある。したがって、

Table 15 労務歩掛かりの変動要因
(Varying Causes of Labor Productivities)

分 類	要 因
物理要因	設計条件、特殊条件（時間制限、補助機械の有無等）
無形要因	急な設計変更の有無、元請管理能力、職長管理能力

PCa 工法の労務歩掛かり調査対象現場が管理の行き届いた超高層住宅の現場であり、かつ作業習熟がなされた高層階での労務歩掛かりであることを考慮すると、PCa 工法の労務歩掛かりは在来工法と同等かまたは同等に近いと判断できる。結論としては、RC 躯体の建設に関する労務歩掛かりは、多数の物理要因および無形要因の影響を受けるが、在来工法に代えて PCa 工法を採用しても、それは生産過程全体の労務歩掛かりへの決定的な影響要因にはならない。

III. コストの定性比較

1. コスト構成の概要

ここでは、前章の結果を受けて、PCa 工法および在来工法に関するコスト比較のためのコスト構成を探索する。

Fig.1 に、工場 PCa、サイト PCa および在来工法の場合に分けたコスト構成の概要を示す。

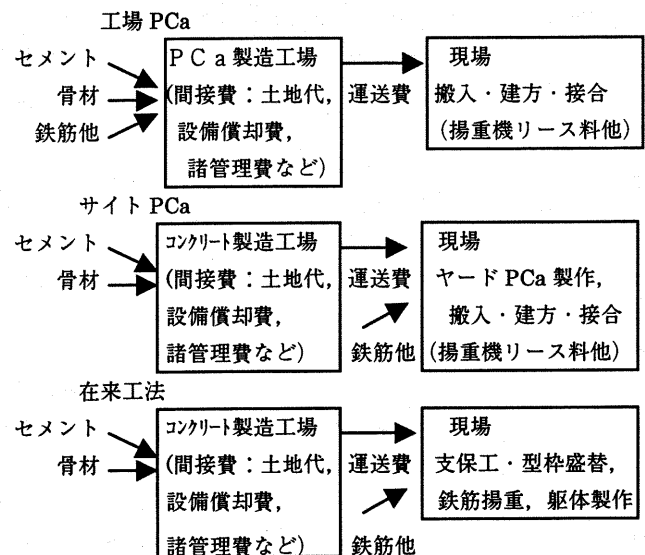


Fig.1 工法毎のコスト構成の概要
(Outline of Cost Constitution per Construction Method)

2. コスト分析

(1) コスト分類

Fig.1 を参考として、コストを材料費、労務費、仮設機材費、運搬費、工場間接費および現場経費に分類する。それぞれ分類したコスト項目の内容を Table 16 に示す。以下では、コスト項目毎に工法によるコスト比較の検討を行う。

(2) 材料費

材料費は鉄筋コンクリートそのものに関しては工法によらず同等である。ただし、PCa 工法ではグラウト材料が必要になる。また、鉄筋継手の単価は PCa 工法の方が高く、そのコストは無視できな

Table 16 コスト項目の内容
(Content of Cost Items)

コスト項目	内 容
材料費	セメント、骨材、鉄筋、継手、グラウト材、型枠
労務費	工場、現場での直接、間接労務費（管理費を除く）
仮設機材費	揚重機・構台・支保工等のリース料、機材損料
運搬費	工場から現場までの材料、部材の運搬費
工場間接費	借地費、租税、設備償却費、諸管理費、利益
現場経費	専門業者・ゼネコンの現場管理費、割掛費、利益

い。消耗材料である型枠については、PCa 工法用の方が在来工法よりも転用回数が一般に多いが、転用回数が多ければ、鋼製型枠の方が型枠補修などの関係で有利になる。型枠費については、PCa 工法では工場内既存型枠、メタルフォーム利用あるいは転用回数 100 回以上の配慮が必要である。

（3）労務費

前章の結果から、全生産過程での労務工数としては、PCa 工法で生じる建方・継手作業工数は、在来工法で多く生じる型枠・支保工の盛替工数とはほぼ相殺される。したがって、労務工数に比例する労務費についても PCa 工法と在来工法は同等である。

（4）仮設機材費

仮設機材費については、PCa 工法では PCa 部材の運搬、建方用に大型のクレーン、構台等を必要とするため、通常、PCa 工法は在来工法よりもコストが増す。ただし、PCa 工法は躯体工事の工期短縮が容易なため、仮設機材のリース期間の減少を考慮すると、PCa 工法での仮設機材費増分は少な目になる。

（5）運搬費

主要な運搬費は、鉄筋コンクリート材料の運搬費および工場 PCa では PCa 部材の工場から現場までの運搬費、サイト PCa と在来工法ではレディミクストコンクリート製造工場から現場までの運搬費である。PCa 製造工場はレディミクストコンクリート製造工場よりも少なく、かつ需要地から離れて立地しているため、運送距離は長くなり、その結果、一般的に PCa 部材の方がレディミクストコンクリートよりも運搬費が高い。

（6）工場間接費

工場間接費については、工場用地・建物に関連する費用や設備償却費が工場毎に様々であり、また利益率も契約毎に変わるため、ばらつきが大きい。RC 工事に係る主な工場はレディミクストコンクリート製造工場、鉄筋加工工場および PCa 製造工場である。Table 14 に示す例では、最も労務歩掛り比がよい PCa 製造工場が、材料支給（コンクリート材料を除く）にもかかわらず、最も高い部材単価比となっている。これは工場間接費が工場により異なるためである。

（7）現場経費

現場経費は、概ね労務費に比例する。工場 PCa 採用の場合は、現場経費の一部が工場間接費に移行する。したがって、工場 PCa では、その現場経費に工場間接費への移行分を付加したものが在来工法およびサイト PCa の現場経費と同等になる。

（8）コストの定性比較

Table 17 工法によるコストの定性比較
(Qualitative Comparison of Cost for Construction Methods)

コスト項目	定性比較結果		
	工場 PCa	サイト PCa	在来工法
材料費	継手材が必要	継手材が必要	(基準)
労務費	建方・継手作業	建方・継手作業	型枠等の盛替
仮設機材費	高め	高め	(基準)
運搬費	高め	(基準)	(基準)
工場間接費	少し高め	(基準)	(基準)
現場経費	少し低め	(基準)	(基準)

上記の結果を、工法によるコストの定性比較として Table 17 にまとめる。Table 17 から工場 PCa は仮設機材費、材料費および運搬費が在来工法よりも一般に余計にかかる、またサイト PCa 工法では仮設機材費および材料費が在来工法よりも一般に高くなる。ただし、現場でのコストの大半は、調達コストで決まるので、そのときの調達コストによっては、PCa 工法の方が低コストになる場合もある。

Ⅳ. 労務平準化

1. 労務平準化に関する指標の開発

（1）新しい指標の導入

工程計画作成においては、必ず労務平準化の検討がなされる。これは労務の山崩しとも呼ばれているが、各職種の作業日ごとの作業人数のばらつきをできるだけ少なくするための検討である。現状では、元請けとその下請け間の契約金額のほとんどは請負契約であり、常雇契約はそのごく小部分にすぎない。したがって、本来、元請け側としては、直接的には労務平準化は関係しないはずである。しかし、実際問題としては、労務平準化の程度は下請け側である専門工事業者の労務管理に大きな影響を及ぼす。専門工事業者は工事金額の見積りの際に、対象工事の通常レベルの労務平準化を前提としており、元請側もその期待に添うべく、工程計画作成では関係する専門工事業者の意見を取入れ、労務平準化を図っている。

現場作業員の給料体系は一部を除いて、日給あるいは日給月給制で現場に出勤した日数をベースとしている。したがって、工程の都合で現場に出る必要がなく、かつ他現場への手伝いもない日は、その分の給料は出ないことになる。ただし、週に 1、2 日の割合で現場に出勤すればよい場合では、他の現場を掛けもちできる。逆に 1 日だけ仕事は空く日があっても、その日だけ他の現場から応援要請される可能性は少ない。要するに連続して空いている日がある方が、とびとびに空いている日があるよりも、仕事量を確保し易く、収入が増える可能性が高くなる。これらを考慮して、サイクル工程を対象として休日を除いた全日に現場出勤できる場合を分母とし、出勤日数足す出勤しない日に連続日数による重付けをかけた日数を分子としたものを推定就業率と称し、労務平準化をはかる新しい指標とする。なお、この推定就業率は、従来の労務平準化の考え方を拡張することにより、得られたものである。

（2）推定就業率の算定方法

職種毎の推定就業率の算定方法を次に記述する。

推定就業率（職種毎）＝（1 サイクルの延べ人日＋他現場への

$$\text{延べ出勤推定人日} / (1 \text{ サイクル日数} \times \text{最大出勤人数}) \quad \dots (1)$$

他現場への延べ出勤推定人日の求め方は以下の通りである。

- ①縦軸に人数、横軸にサイクル日をとって、1サイクル分の労務山積み図を作成する。Fig.2 に1サイクル分の労務山積み一例題1ー、Fig.3 に同一例題2ーを示す。
- ②連続して作業のない日数（連続空き日数、Fig.2, 3を参照）毎にその発生回数を求める。労務山積み図での縦軸の1人目から横へ見ていって、連続空き日数毎にその発生回数を記録する。1人目が終了すれば順次に最大人数まで同様に行く。
- ③他現場への延べ出勤推定人日（A）を次式で計算する。

$$A = \sum i \cdot K_i \cdot n_i \quad \dots (2)$$

ここで、 i は連続空き日数、 K_i は連続空き日数が i のときの重み係数、 n_i は連続空き日数が i の発生回数である。 Σ は i が1からサイクル日数-1までの総和を意味する。

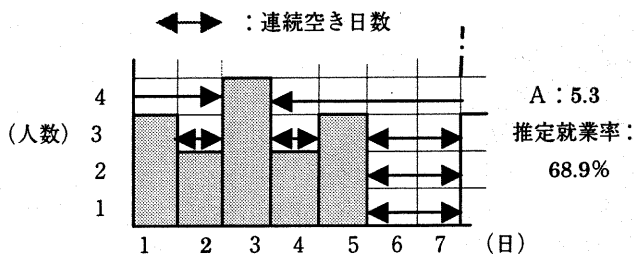


Fig.2 1サイクル分の労務山積み一例題1ー

(eg.1 Number of Persons versus Work Days per Cycle)

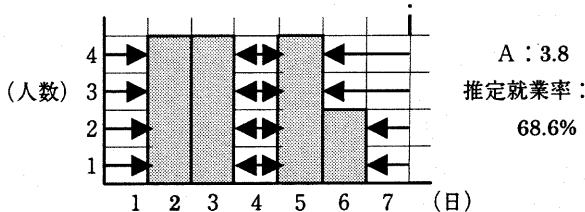


Fig.3 1サイクル分の労務山積み一例題2ー

(eg.2 Number of Persons versus Work Days per Cycle)

(3) 重み係数について

他現場への延べ出勤推定人日を計算するための重み係数は、労務山積み図での連続空き日数が多くなるほど大きくなる係数で、ここでは下限値、上限値、上限値をとる時の連続空き日数および形状関数の四つのパラメータで決めることとする。下限値は連続空き日数が1日のときの値で、例えば0.25のような値である。上限値は重み係数の最大値で、例えば0.75のような値である。なお、下限値および上限値は、下記の条件式を満たす必要がある。

下限値、上限値の条件式； $1 \geq \text{上限値} \geq \text{下限値} \geq 0$

Fig.4 の形状関数の模式図に示すように、形状関数は重み係数の下限値と上限値間の重み係数値を算出するために、連続空き日数を独立変数（ x ）、重み係数値を従属変数（ y ）とする。本報文では、形状関数を次式で示す形とする。

形状関数； $kx^\alpha + b$ （ただし $k \geq 0, \alpha \geq 0, b \geq 0$ ）

ここで、 k は勾配をあらわす定数、 b は x が1のときの y 切片を

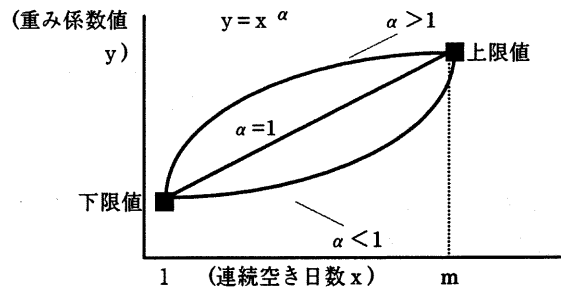


Fig.4 形状関数の模式図

(Diagram of Shape Function)

Table 18 重み係数表

(Table of Weight Coefficient)

空き連続日数	1日	2日	3日	4日	5日
重み係数	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45

6日	7日	8日	9日	10日	11日以上
0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75

(下限値: 0.25, 上限値: 0.75, $n: 11, k: 0.05, \alpha: 1, b: 0.2$)

あらわす定数で、下限値、上限値および上限値をとる時の連続空き日数から求める。この形状関数では、 α が1より大きいとき形状関数は上側に膨らみ、1より小さいときは下側に膨らむ。実測データが揃えば、下限値、上限値、上限値をとる時の連続空き日数（Fig.3の m ）および形状関数をそれに合せればよい。なお、本報文では連続空き日数を1日毎としているが、場合によっては半日毎としても差し支えない。

下限値を0.25、上限値0.75、上限値をとる時の連続空き日数を11日(n)、形状関数の α を1と仮定すると、重み係数はTable 18に示す値となる。

(4) 推定就業率の算定例

(a) 試算例

先に示したFig.2, Fig.3の例題1, 例題2およびTable 18を用いて推定就業率の試算を行う。

例題1では連続空き日数が1（重み係数0.25）、2（重み係数0.30）、6（重み係数0.50）のものがそれぞれ2、3、1回あるので、他現場への延べ出勤推定日数は（2）式から $1 \times 0.25 \times 2 + 2 \times 0.30 \times 3 + 6 \times 0.50 \times 1$ の5.3人日となる。したがって、推定就業率は（1）式から $(14 + 5.3) / (4 \times 7)$ の68.9%となる。

例題2では連続空き日数が1（重み係数0.25）、2（重み係数0.30）、3（重み係数0.35）のものがそれぞれ4、2、2回あるので、他現場への延べ出勤推定日数は（2）式から $1 \times 0.25 \times 4 + 2 \times 0.30 \times 2 + 3 \times 0.50 \times 2$ の3.8人日となる。したがって、推定就業率は（1）式から $(14 + 5.2) / (4 \times 7)$ の68.6%となる。

例題1, 2ともに7日間サイクルで14人日の作業量で、労務山積みのボタンが全く異なるものであるが、ここで仮定した重み係数を用いた場合、推定就業率はほぼ等しい結果になる。

(b) サイトPCaの効果

この効果を簡単に示せる例として、PCa床版の製作を工場PCa

からサイト PCa に変更する例を想定する。推定就業率の計算条件として、PCa 床版の製作では土工は 4 人が 6 日サイクルで 6 日間とも従事するものとする。また、PCa 床版の製作とは別に 1 日目から 5 日目まで土工 2 人で 6 日目のみコンクリート打設の関連で土工 10 人を要するとする。この場合の労務山積みを見 Fig.5 に示す。

Fig.5 の山積み、(1) 式、(2) 式および Table 18 から、PCa 床版を工場で製作した場合の推定就業率は 63%、現場で製作した場合の推定就業率は 74% となる。この例はサイト PCa と直接の躯体工事で作業者の交流がない例であるが、交流がある場合では、工程の組方の自由度が増し、さらに推定就業率が向上する可能性がある。サイト PCa は、推定就業率を向上させる有効な手段であり、高い推定就業率はその職種の業者との価格交渉で元請側に有利な条件を引き出す可能性が高くなると考えられる。

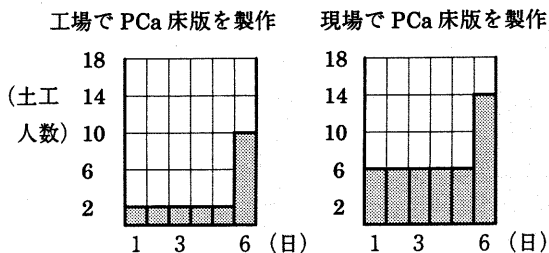


Fig.5 サイト PCa の効果検証用の労務山積み
(Diagram for Verification of Site PCa Effect)

(c) サイクル工程短縮の影響

工程短縮の影響を示す例として、4 日サイクルで 1 日目と 2 日目に 6 人ずつで行う作業が 3 日サイクルになったときに、もとの労務山積みおよび労務平準化になる場合とならない場合の労務山積みを見 Fig. 6 に示す。

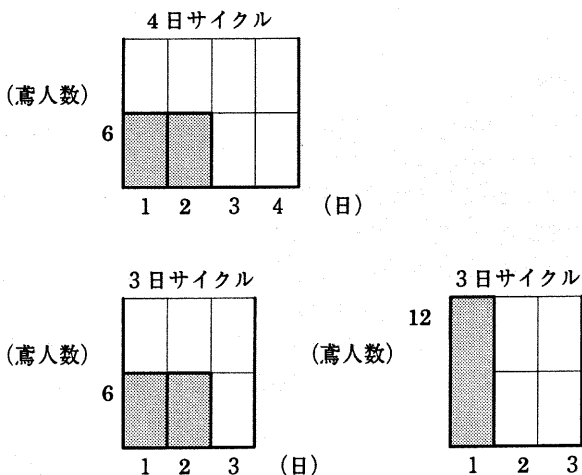


Fig.6 工程短縮の影響検証用の労務山積み
(Diagram for Verification of Schedule Shortening Effect)

Fig.6 から、4 日サイクルの 6 人の労務利得率は 65%、3 日サイクルの推定就業率は 75% および 53% となる。サイクル工程の短縮は、推定就業率を向上させる場合もある、減少させる場合もある。

2. 大局からの労務平準化

工場 PCa ではその部材ストック能力により、躯体建方前に、かなりの割合の部材生産を行っている。これは、生産過程全体から見ると、典型的な労務平準化になっている。大規模な RC 躯体工事あるいはそれと同時期の周辺の RC 躯体工事では、とくに型枠大工を中心にして、工事最盛期の職人確保が重要問題になる。労務の需給関係によっては、一時的な職人不足や職人の質低下がもたらされる。これへの有力な対策が工場 PCa の採用である。工場 PCa は大規模工事の労務平準化の有力な手段であり、職人不足による品質低下、工期延長をなくし、最終的には実行予算超過の防止に役立つ。

3. 労務平準化とコストの関係

PCa 工法と在来工法のコスト比較では、一般に PCa 工法の方が仮設機材費で高くなる。このコスト比較では労務費は同等としているが、サイト PCa による現場の労務平準化あるいは工場 PCa による建設地域・時期に関係する大局的な労務平準化により労務単価を在来工法よりも引き下げられよう。したがって、仮設機材費の削減工夫および労務単価の下げ幅によっては、机上計算において PCa 工法のコストが在来工法と同等あるいはそれ以下になる可能性がある。

V. おわりに

本研究の結果を以下にまとめる。

- PCa 工法を用いた RC 造超高層住宅の二つの現場での労務歩掛かりと文献からの在来工法による労務歩掛かりを、柱、梁、床の部位毎に比較し、PCa 工法の全生産過程での労務歩掛かりは在来工法と同等であると見せるとの結果を得た。
- 躯体サイクル工程での労務平準化を表す指標として推定就業率を定義した。この推定就業率により、工法選定の際、工法毎に労務平準化の度合いを定量的に表現することができる。また、サイト PCa が推定就業率向上の有力方法であることを示した。
- 工場 PCa 採用の利点として、工場 PCa は大規模工事の労務平準化の有力手段であるとの視点を示した。
- PCa 工法と在来工法の全生産過程を通してのコストの定性分析を行い、PCa 工法が在来工法よりも余計にコストがかかる要素を明らかにした。
- PCa 工法の労務平準化効果による労務単価引き下げにより、在来工法よりも低コストになる可能性を示唆した。

今後の研究課題として、労務平準化を表す評価指標としての労務利得率が、仕上げ・設備などの他工事に適用できるかどうかの検討が残されている。

本報文のデータ収集に際し、M 現場の奥津氏、K 現場の隈井氏ほか社内関係部署の皆様にご多大の協力をいただきましたことに感謝致します。

参考文献

- 山下雅己、樋口正一郎；工業化工法採用物件と在来工法採用物件のコスト比較分析，建築学会第 6 回建築生産と管理技術パネルディスカッション報文集，(1995.2)。
- 彰国社；第 13 回工程計画をどうやって立てるか歩掛りを基に考える，施工，(1996.9)。
- 彰国社；施工計画ガイドブック 工事編Ⅱ，施工別冊，(1984.11)，pp.111 Ⅱ.4.6 表。