

工期とコストの評価分析可能な集合住宅内装工事モデルの構築

○五十嵐雄貴 市川学 出口弘（東京工業大学）

田澤周平 志手一哉（株式会社竹中工務店）

Model building of collective housing interior work in which valuation analyses of work period and cost are possible

* Y. Igarashi, H. Deguchi and M. Ichikawa (Tokyo Institute of Technology)

S. Tazawa and K. Shide (Takenaka Corporation)

Abstract— In interior work of collective housing construction there are various employment types and work relations, and traditional management method has its limits. From such a background, the method of the process control that can contain complicated constraints and manage per worker is needed. In this study, based on case study in previous research, the model for process control applicable to collective housing interior finishing of various forms was built. And, in the previous work, the combination search method of the worker number using an experimental design was proposed. In this study, the simulation examined the validity of the method.

Key Words: Work period and cost, Experimental design, Interior work

1 はじめに

日本全国で超高層マンション（20階建て以上）の竣工・計画戸数が増加すると見込まれている。特に首都圏では、2015年に14,353戸と、2011年の8,312戸に比べ大幅に増加する見込みである。これは首都圏を中心としたマンション市況の回復により、新たな超高層大規模開発や複合再開発プロジェクト等が増加傾向にあることを背景としている¹⁾。従って、集合住宅の着工数は増加傾向にあり、建物の高層化・大規模化は今後も続くと考えられる。

建設工事は、多数の作業員が動員されており、その雇用形態は様々であるため、工事現場での各種工事の平準化は難しい。こうした状況を改善するために、建設工事の工程計画には様々な工程計画手法が導入されてきた。しかし、建物の高層化に伴い、従来の手法では満足いく工程計画を行なうことが出来なくなりつつある²⁾。従って、集合住宅を施工する建設会社にとって、集合住宅をいかに効率よく建設するかが課題となっている。

集合住宅建設工事では、着工すると建物の骨組みを作る躯体工事から開始し、内装工事を行なった後に完工となる。躯体工事は、作業員の職種に限りがあり、進捗状況が一望できるため、比較的管理がし易い。一方、内装工事は職種や工程数の膨大さ、作業の前後関係の複雑さから多様な工程の進捗が存在し、工程管理が大変困難であると言われている。2008年に行なわれた実現場における調査によると、住戸稼働率が30%未満であることが明らかにされた³⁾。ここでいう住戸稼働率とは、着手可能な住戸の中で、同時刻に作業が行われている住戸の割合を示している。このように、工期短縮への期待が高い反面、内装工事の工程計画には効率化の余地が残されている。この複雑な制約条件を含む内装工事について、小松ら⁴⁾がボトムアップなア

プローチにより仮想の集合住宅内装工事をモデル化出来ることを明らかにした。また鳥飼ら⁵⁾は、小松らの研究を基に実際の事例の集合住宅内装工事をモデル化する手法を提案した。詳細については2章にて説明する。本研究では、これらの研究を継続し、株式会社竹中工務店と共同で、エージェントベースモデリング(以下、ABM)を用いて様々な形態の集合住宅内装工事に適用出来るようにモデルを拡張した。

2 先行研究

集合住宅建設工事では一般的に、フロア単位で工区を分割し工程計画を立てるタクト方式を用いる。ここで、工区とはある時間的まとまりの中で作業を行なう対象となる単位空間をいう。このタクト方式により、各工区内で同一の作業内容を繰り返し行なうことで、労務資源や設備資源の平準化が可能となる。植田ら²⁾はこのような繰り返し型建設工事の特徴に着目し、TOC (Theory of Constraints : 制約の理論)を用いてコストの最小化を目的とした工程計画を作成する手法を提案した。TOCとは、組織内に制約を見つけ、そのみを改善することによって組織の経営改善を計る理論である⁶⁾。また鎌田ら⁷⁾は、GA (Genetic Algorithm : 遺伝的アルゴリズム)を用い、繰り返し型建設工事において、労務平準化を考慮に入れた労務コストの観点で最適な工程計画を作成する手法を提案した。資材や機材の制約条件や、作業個別の制約条件を考慮した最適化シミュレーションを開発し、手法の現実プロジェクトへの適用を可能とした。しかし、上記の手法はいずれも躯体工事の繰り返し型建設工事を対象としており、作業者の意思決定は考慮していない。従って、内装工事における作業者の複雑な雇用形態や作業間関係等による作業員の状態の動的な変化を表すことが出来ない。

また、集合住宅内装工事の工程管理において、作業の順序や作業部屋の選定は現場の作業員の経験と勘に頼って行なわれてきた現状が問題となっている。出口ら⁸⁾はこの問題を、複数の順序づけられたタスクから

なる単位プロジェクトが並列して実行されるようなプロジェクトに対し、タスク処理のために資源を割り当てるためのスケジューリング問題として着目した。そして、従来定式化が不十分で分析の対象とされてこなかった工程管理に対し、数理的に定式化しその割当方式を提案した。さらにある事例において、工事担当者が想定した作業員数でスケジューリングした結果、557日で完了したものを、提案した割当手法によって再検討を行なった。その結果、全作業員の延べ雇用日数を変えることなく、作業分担の変更や優先すべき作業の明確化により、総工期日数を228日にまで短縮できることを示した。

また本研究が継続する小松ら⁴⁾の研究において、集合住宅内装工事を生産資源が加工対象を移動しながら繰り返し作業を行なう、「生産資源寄り付き型」のフローショップスケジューリング問題と定義し、ABMを用いて、生産資源が加工対象に寄り付くルールをモデル化した。集合住宅内装工事モデルの全体像をFig. 1に示す。フローショップスケジューリングとは、一般的には加工対象物が同一の加工順序に従って生産するスケジューリング問題をいう。ABMを用いることによって、従来のフローショップスケジューリング問題では困難であった作業員の裁量や雇用形態を表現した。また、職種ごとの作業人員の変化による影響、作業員の作業効率、住戸稼働率を考慮した内装工事全体の工期を評価出来る手法を提案した。その結果、Fig. 2のように、人数が増大するに従って、総工期日数は削減されるが、線形的に縮むのではなく、削減率は減少することを示した。これは工期を縮めるためには作業員を多く投入する必要があるため賃金コストが増すが、賃金コストを抑えると工期が延びてしまうというトレードオフが存在するためと考えられる。

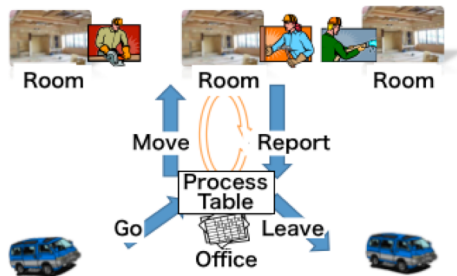


Fig. 1: Outline of model.

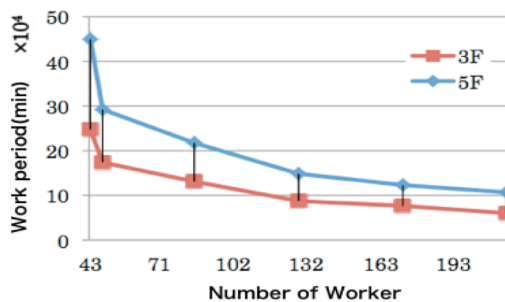


Fig. 2: Effect of increase worker.

このトレードオフは従来から問題にされているが、内装工事の複雑さ故に、これらを分析する手法は存在していない。鳥飼ら⁵⁾は、この小松らが示したトレードオフに着目し、小松らのモデルを基に、実際の事例における実データに基づいたモデルを構築した。そして、複雑な制約条件を含む集合住宅の内装工事をABMで表現することにより、従来手法で出来なかった作業員単位の管理を行えるモデルを提案した。その結果、他の職種の作業状態に影響を与える特定の職種を効率的に増員することで、Fig. 3に示すように工期とコストの二つの指標を、実際の現場での実測人数と比較して双方改善出来るような作業員投入人数の組み合わせのパレート解の存在を明らかにした。また、作業員投入人数組み合わせを効率的に探索する手法として実験計画法を用いた探索手法を提案し、非常に短時間で増員すべき職種を特定できることを明らかにした。しかしこのモデルは、実際に竣工された高層マンションの事例に基づいて構築され、工期とコストの削減を達成するためにモデルの有用性を示したが、他の事例に導入するまでは想定しておらず、他の適用事例についての検証がなされていない。また、実験計画法を用いた探索手法の有用性の検討が十分ではない。

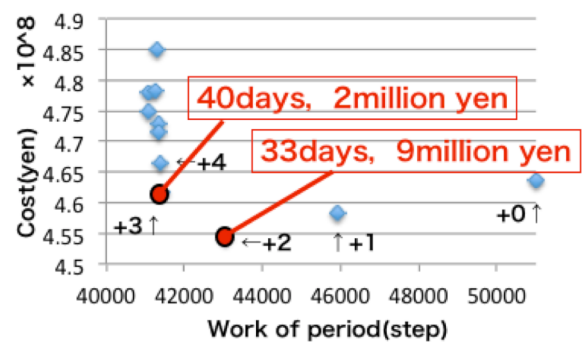


Fig. 3: Effect of increase of floor heating worker.

従って、本研究では鳥飼らの研究において行なった実際の事例を用いたケースステディを基に、特定の集合住宅だけでなく、あらゆる集合住宅内装工事の工程管理を評価分析可能なモデルを構築することを目的とした。具体的には、Table 1に挙げる3つのデータを入力とし、総工期日数と賃金コストを出力することで、内装工事工程管理を評価可能なシステムを構築し、2つの指標から作業員の最適投入人数を分析できるモデルを提案した。最終的には、集合住宅内装工事に投入する作業員の人数を決定する際のゼネコンの意思決定に寄与できるモデルを提案することを目的とした。

Table 1: Input data.

入力データ	内容
建物データ	棟数, 階数, 部屋数, 部屋タイプ等を定義したもの
作業員データ	職種, 職種ごとの人数を定義したもの
作業データ	作業員と作業間の関係, 作業間の先行後続関係を定義したもの

3 モデル

本研究では、集合住宅内装工事の工程管理を評価可能なモデルを構築した。モデル化においては株式会社竹中工務店のヒアリング等を基に、作業間関係や作業員の行動など、集合住宅内装工事に対するモデルの構築を行なった。そして本モデルの妥当性を、実際の事例から得られた結果とモデルから得られた結果を、工期とコストの2つの指標において比較することで示した。なお、モデル構築にあたっては、社会シミュレーション言語：SOARS⁹⁾を利用した。

3.1 モデル定義

モデルは意思決定を行なうエージェントとなる作業員と、その作業員が行動する場となる作業現場から構成される。本節では、モデルを構成する各要素について記す。

3.1.1 作業現場

作業現場とは、集合住宅内の加工対象である各住戸を示している。本研究では住戸に関して、集合住宅全体の中にフロアが存在し、フロアごとに決められた数の住戸が存在する。これらはFig. 4に示すような階層構造を保有する。モデルの中には他に、進捗表という工事の進捗状態や作業員が作業を行いに赴くべき部屋の情報等を保持している作業事務所がある。

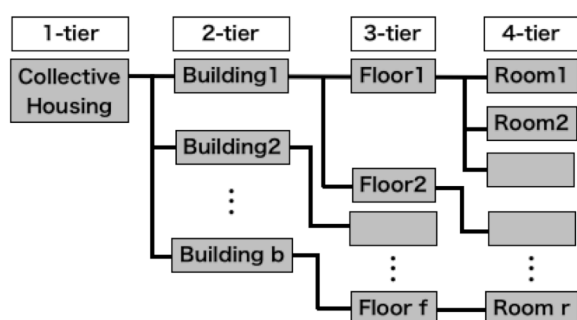


Fig. 4: Hierarchic structure of building.

3.1.2 作業員

作業員とは、作業現場で作業内容を実行する主体であり生産資源と考える。各作業員は職種を割り当てられており、それぞれ可能となる作業内容が異なる。作業員は当日、着手可能な作業があれば、入社時刻になると出社する。そして出社すると現場事務所へ行き進捗表を確認する。前日の残作業があればその部屋へ、無ければ作業可能な部屋へ向かい、作業可能な部屋が無ければ次ステップに再度、可能な作業を探索する。作業現場である部屋へ赴くと、部屋の中で作業している他の作業員がいないこと、取りかかろうとしている作業が完了していないことを確認し、作業に取りかかる。他の作業員がいた場合、既に完了していた作業だった場合は、他に作業可能な部屋があればその部屋へ赴き、

無ければ現場事務所へ戻る。作業終了後は現場事務所へ戻り、進捗表を更新する。作業員はこの行動を退社時刻まで繰り返す。ここで、部屋で作業に取りかかる前に他の作業員が居ないかを確認するのは、内装工事には、原則として一部屋で一度に作業できるのは一人まで、という決まりが有るためである。これらの行動は共同研究企業からのヒアリングに基づいた妥当な行動である。

3.2 評価指標

本研究で内装工事工程管理を評価する指標として、総工期日数、賃金コスト、作業員の稼働率を用いる。以下で、それぞれの指標について説明する。

3.2.1 総工期日数

本研究において用いる総工期日数とは、集合住宅内装工事において、シミュレーション開始日から、全住戸にて全作業が終了した時点までを分単位でカウントし、その合計の時間を計算したものと定義する。建設業は受注産業であるため、建物の受け渡し期限までに工期を収めることは非常に重要なことであるため、本研究の指標に用いる。

3.2.2 賃金コスト

内装工事では様々な職種が存在しており、それぞれの職種毎の一日の単価の相場は決まっている¹⁰⁾。本モデルを用いることによって、建設工事における個々の作業員の作業状況を把握することが可能であるため、この単価に、作業員それぞれが出社した日数を乗ずることによって、現実に基づいた賃金コストを計算する。

3.2.3 作業員の稼働率

作業員の増員が、建設工事の工期を線形的には改善しないことは2章で既に述べた。これに対して漠然と作業員投入人数を変えるのではなく、作業員の稼働率という指標を用いて投入人数を調整することにより、作業員投入効率を上昇させることが可能であると示されている¹¹⁾。この指標は、作業員が拘束されている期間のうち、実際にどれだけ働いているのかを計る指標である。その指標をORとすれば、以下のように表すことが出来る。

ALL_{time} : 全体時間

OFF_{time} : 出社していない状態の時間

D_{time} : 拘束されている状態の時間

RO_{time} : 実際に作業している状態の時間

OR : 実作業率の値

と置くと、

$$D_{time} = ALL_{time} - OFF_{time}$$

$$OR = RO_{time} / D_{time}$$

本研究でも、この指標を用いて特定の職種を選び、当該職種の作業員数の調整を行なうことで、現実の工期およびコストからの改善を目指す。

4 モデル定義データ

鳥飼らのモデルでは、モデル内において職種や西行内容等の情報を定義しており、別な事例に適用することが困難な構造となっていた。従って本モデルでは、入力データにより建物、作業員、作業の情報を入力し、評価指標を出力することによって、様々な形態の集合住宅内装工事をモデル化し、評価分析を行なうことを可能とした。本モデルに入力するデータは主に、「建物データ」「作業員データ」「作業データ」の3種類あり、以下に具体的に記す。

4.1 建物データ

建物データは、階設定シートと住戸設定シートから構成される。3章で述べたように、作業現場には階層構造を用いている。そのため、階設定シートはフロア名に対し、所属する棟と、階数の情報を設定している。住戸設定シートでは、所属する棟、階と、3LDKなどの住戸の形状を設定している。

4.2 作業員データ

作業員データは、職種設定シートの一つである。作業員はそれぞれ職種を設定し、その職種によって、作業内容が設定される。

4.3 作業データ

作業データは、作業設定シート、先行作業設定シート、作業時間設定シートの3つから構成される。作業設定シートでは、各職種に対して、担当作業の作業IDを記している。先行作業設定シートは、各作業IDの前提となる先行作業の作業IDを設定し、作業の前後関係を定義している。作業時間設定シートは、各職種の住戸タイプ毎の作業時間を分単位で設定している。

5 投入人数組み合わせ探索問題

本研究の目的は、内装工事工程管理を評価可能なシステムを構築し、評価指標に基づき作業員の最適投入人数を分析できるモデルを提案することである。本研究は、2章で述べた小松ら、鳥飼らの研究を継続し、2つの研究によるケースステディを基に、様々な形態の集合住宅内装工事に適用可能なモデルの提案を行なった。次に、本モデルを用いて作業員の最適な投入人数の組み合わせを探索する手法を検討した。鳥飼らの研究において、作業員の投入人数探索手法として、実験計画法を用いた手法が提案された。しかし、この手法の有用性は検討されていない。従って、本研究においてその有用性を別な探索手法を用いて比較検討した。まず、5.1節でシミュレーションに用いるパラメータ設定を説明し、5.2節で鳥飼らの研究において提案された、実験計画法を用いた探索手法を説明する。次に5.3節で、比較対象となるマイルストーンにより工程分割を行ない、各区間における局所探索を行なった手法を説明し、5.2節で述べる手法と比較検討を行なった。

5.1 パラメータ設定

本シミュレーションに用いる各パラメータを、共同研究企業からの実事例におけるデータにより設定した。作業員数は共同研究企業が算出した投入人数であり、これをベース値として扱った。作業員、作業現場、作業に関する各パラメータをTable 2に示す。なお、試行回数は5回とし、値はその平均値を用いた。

Table 2: Parameter.

変数名	値
棟数	1
階数	17
住戸数	113
間取り	1LDK, 2LDK, 3LDK
住戸当たり作業数	206
職種数	53
入場時刻	9:00
退場時刻	17:00
作業員数	163 (ベース値)

5.2 実験計画法を用いた探索手法

本研究ではこれらのモデルを用いて、作業員投入人数を現実から変更し、工期とコストというトレードオフの関係にある指標を双方改善する組み合わせの発見を行なえるモデルの構築を目的としているが、シミュレーションによる多次元的指標での最適化問題では、パラメータの組み合わせ問題を解く必要がある。投入する人数の組み合わせについて、職種数 m_{WT} の10段階の探索、つまり $10^{m_{WT}}$ 通りの空間を探索する必要がある。そこで、鳥飼らの研究ではまず、

1) 注目する職種を絞る次の2段階の手法を提案する

1-1) 職種の重要度をスコアリングし15職種に絞る

1-2) 15職種で人数水準を変化させ、実験計画法で最も寄与度（平均値の変化）が大きい職種を特定する次に、

2) 注目した職種について、10段階人数を変えて（他職種は標準人数で）パレート最適集合を見いだすという2段階探索手法を用いた。

5.2.1 重要度の高い職種の選択

シミュレーションを通じた全体の工期、及び作業員全体の稼働率に着目し、これらの評価値に対して作業員の投入人数の変化が、特に大きな影響を与えた職種を選択した。具体的には全職種について、それぞれ1職種ずつ1人増員させた投入人数でシミュレーションし、各評価値における順位付けを行なった。次に、2つの評価値に対する順位からパレート順位を他職種への影響度が高い順位と見なし、上位15職種を選択した。

5.2.2 実験計画法の適用

作業員稼働率を用いて選択した特定の職種を全員一様に増員するという方法で、工期と賃金コストを双方

改善出来る可能性があることは示されているが、この方法では網羅できない投入人数の組み合わせが多数存在する。本研究では 5.2.1 節の方法で特定した職種について、実験計画法の直交表を用いた組み合わせを基に実験を行なった。実験計画法では実験の中で値を意図的に変化させるものを因子と呼び、それらの因子に対して水準値を与えた。本手法では因子が前節で特定した職種にあたり、その数は 15 因子、水準数は「増員しない、3 人増員する」の 2 水準を試すものとした。これらの因子の中から、2 つの因子に関して全ての水準組み合わせを作ってデータを採取する事を二元配置と呼ぶが、因子の数だけ同数の二元配置を行うと実験工数が膨大になる。これを抑制して実験する手法が直交表である。この直交表を基に作業員投入人数の基準値に加えてシミュレーションを行い、工期全体に影響を与えるような職種を特定した。方法として、直交表の組み合わせにおいて各職種についての人数の増員が 0 人の場合と 3 人の場合の評価値をそれぞれ取りそれらの平均を計算した。結果を Fig. 5 に示す。Fig. 5 より、ユニットバス工の他職種への影響度が非常に大きいことが分かった。次節にユニットバス工のみを増員することにより、工期全体を縮めることが可能かの検討を行なった。

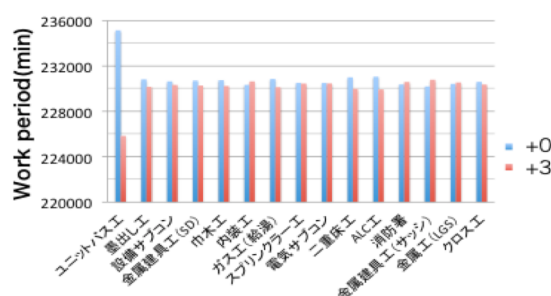


Fig. 5: The contribution of each worker.

5.2.3 ユニットバス工のみを増員した結果

ユニットバス工の人数（ベース値は 3 人）を 0 人から 10 人増員した場合のそれぞれの評価値を Fig. 6 に示す。増員なし、すなわちベース値における結果が一番右上にプロットされている点であり、工期 236374 分（164 日 3 時間 34 分）、コスト 2 億 9961 万円となった。対して、ユニットバス工を 1 人増員させた結果が一番左下にプロットされた点であり、工期 225164 分（156 日 8 時間 44 分）、コスト 2 億 8205 万円となり、ベース値に比べ、およそ工期 8 日、コスト 1700 万円改善可能であることを示した。

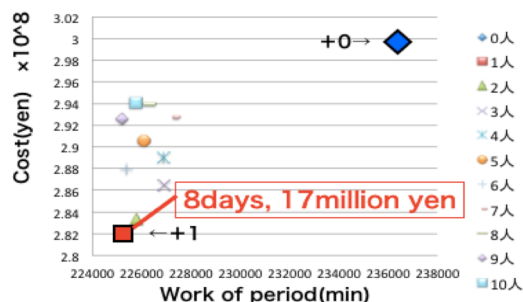


Fig. 6: The increase effect of worker of unit bath.

5.3 局所探索手法

前節において、実験計画法を用いた探索手法によって他職種への影響度の高いユニットバス工を見つけ出し、その職種に絞って 10 段階増員することによって、最適投入人数を割り出した。しかし、解が局所最適解なのか、全体最適解なのか、或は十分全体最適解に近い局所最適解かについての判定の方法が無い。そこで、本研究では、全体の工程において投入人数を調整するアプローチに対し、全体ではなく局所的な調整を行なうことによる改善を図るアプローチを提案した。本節でその手法を説明し、最後に 2 つの手法の比較検討を行なった。

5.3.1 マイルストーン区間分析法

鳥飼らが提案した実験計画法を用いた探索手法は、全工程において各職種の最適投入人数を探索する手法であった。これに対して本研究では、全工程ではなく、局所的な視点から最良な投入人数を探索することを試みた。具体的には、次のような手順で探索を行なった。

- 1) 全工程をマイルストーンにより複数のタームに分割
- 2) 各タームにおいて作業を行なう職種を選択
- 3) 選択した職種に対して、各タームにおける増員効果の寄与度から特定職種に絞る
- 4) 絞った職種に対して多段階の増員を行い、投入人数を決定する

以上の手順を次節から詳しく述べる。

5.3.2 マイルストーンによる工程分割

まず、内装工事が始まってから完工するまでの全工程をマイルストーンによりターム分割した。ここで言うマイルストーンとは、何日までどの作業までが完了していれば良いかを表す目標値となるもので、共同研究を行なっている企業とのヒアリングにより定めた。本研究では、指標となる作業が一階の全部屋において終了することをマイルストーンとし、4 つのマイルストーンを設定し 5 つのタームに分割した。Fig. 7 に全工程を分割した図を示す。

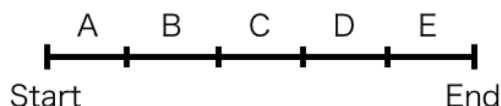


Fig. 7: All the processes are divided.

5.3.3 各タームにおける職種の選択

ターム毎に改善を図るため、各ターム内で作業を行なう職種に着目すれば良い。従って、工程表から各ターム内で作業を行なう職種を選択する。まずは A ターム内で作業を行なう 24 職種に着目した。

5.3.4 増員効果の大きい職種の特定

次に、特定した 24 職種のうち、どの職種が増員効果の大きい職種かを検討した。方法としては、各職種をそれぞれ 1 人増員、2 人増員の 2 段階の増員を行い、工期とコストに対して影響度の大きい職種を選んだ。増員させた結果、Table 3 に示す 8 職種に改善効果が見られ、特に躯体職に増員効果が高いことが分かった。

Table 3: The effect by increase of the personnel.

職種	1 人増員		2 人増員	
	工期 改善値 (分)	コスト 改善値 (円)	工期 改善値 (分)	コスト 改善値 (円)
躯体職	512	198740	1179.4	432580
ボード工	266.2	204060	372.4	61800
土工	687	398040	274.4	-401720
墨出し工	720.6	349320	-619	-1334960
ダクト工	567.2	312540	-708.4	-1567420
給排水衛生工	947	239960	636.6	-293800
耐火間仕切り工	592.6	193700	-107.8	-1179860
断熱工	280.2	65380	15.2	-310660

5.3.5 特定職種の増員による投入人数決定

前節で躯体職の増員効果が A タームにおいては高いことが分かった。従って、A ターム内での工期とコストを改善出来る可能性が高い躯体職の増員幅を変化させて最適投入人数を決定した。躯体職の増員幅を 0 人から 4 人まで変化させた結果を Fig. 8 に示す。この結果から、A タームにおいて躯体職（ベース値：4 人）を 3 人増員することによって最も工期とコスト双方を改善でき、工期は 1774 分（1 日 5 時間 34 分）、コストは 112 万の削減が可能であることを示した。躯体職は全工程において最初の作業である「型枠解体」の作業を担当している。従って最初の作業の投入人数を増員させることによって、その作業を素早く完了することができ、後続作業にも素早く着手できるため、工期が短縮できたと考えられる。また、各タームにおいて探索を行なうことによって、全探索に比べ探索範囲を大幅に軽減しながら、改善を効率的に行なえることを示した。

また実験計画法の結果と比較すると、局所探索によって得られた結果は改善幅が小さく、実験計画法を用いた探索手法は、全工程において増員効果のクリティカルな職種を選ぶのに優れた手法であると言えた。

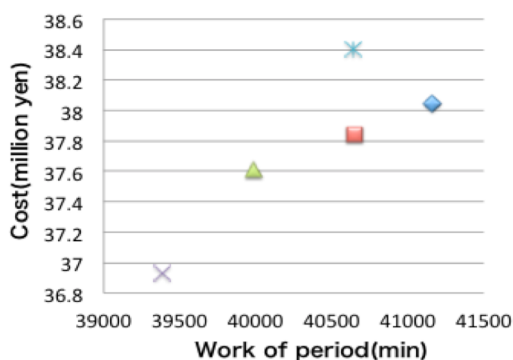


Fig. 8: The increase effect of worker of building frame.

6 おわりに

先行研究のケーススタディを基に、複雑な制約条件を含む集合住宅の内装工事を様々な形態の集合住宅に適用可能なモデルを構築した。また、内装工事における作業員投入人数問題に対して、先行研究で提案された実験計画法を用いた探索手法の有用性の検討を行なった。その結果、各タームにおける局所探索手法によって効率的に改善可能である職種を特定することを示せたが、実験計画法を用いた探索手法で得られた結果には及ばなかった。従って、実験計画法を用いた探索手法は全工程における増員効果の高い職種を特定する上で有用な手法であることを明らかにした。

最後に本研究では、局所探索手法より実験計画法を用いた全体探索手法が優れていることを示したが、他の全体探索手法とは比較していない。実験計画法を用いた探索手法の有用性を示すために、他の全体探索手法と比較することが今後の課題として残されている。また、作業時間のばらつきを考慮していない。しかし、実際には作業員の個々の能力により作業の開始から完了までの時間にはばらつきが生じる。また、現場事務所から作業現場までの移動時間に関して、一階の作業現場と、十階の作業現場までの移動時間には差が生じる。しかし、本モデルにおいては、どの部屋へも 1 ステップ（1 分）で移動する仕様になっている。これらの実際の内装工事との乖離を共同研究企業の意見を基に修正することが課題となる。

参考文献

- 1) 株式会社不動産研究所: 超高層マンション市場動向 (2012)
- 2) 植田, 古阪, 藤沢, 室谷, 金多: 繰り返り型建築工事における TOC を用いた工程計画に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 557 号, 281/288 (2007)
- 3) 志手, 湯浅, 蟹澤, 山本: 集合住宅の内装仕上工事における工程パターンの分析, 日本建築学会技術報告集, 第 15 巻, 第 30 号, 557/562 (2009)
- 4) 小松, 市川, 出口, 志手, 湯浅: シミュレーションによる集合住宅内装工事計画の評価, JAWS2009 (2009)
- 5) 鳥飼, 市川, 出口, 志手, 染谷: ABM を用いた集合住宅内装工事における工期と賃金コストの分析, JAWS2011 (2011)
- 6) 加藤, 竹之内, 村上: TOC 戦略マネジメント, 日本能率協会マネジメントセンター (1999)
- 7) 鎌田, 古阪, 金多, 勝山: 繰り返り型工事における遺伝的アルゴリズムを用いた工程計画手法の考察と実プロジェクトへの適用, 日本建築学会計画系論文集, 第 552 号, 255/262 (1999)
- 8) 出口, 市川, 石塚, 志手, 染谷, 湯浅: 並列プロジェクト・タスク処理への多能工割付けの動的スケジューリング, Journal of the International Association of P2M, Vol.6, No.1, 179/189 (2011)
- 9) <http://www.soars.jp>
- 10) 国土交通省: 平成 24 年度公共工事設計労務単価 (2012)
- 11) 鳥飼, 市川, 出口, 湯浅, 志手, 染谷: 集合住宅内装工事計画における非定型要因のエージェントベースモデリングによる影響分析, JAWS2010 (2010)