

建築生産情報の確定過程に関する研究

STUDY ON WORKING DRAWINGS AND SHOP DRAWINGS SCHEDULING

勝山典一¹, 古阪秀三², 藤澤克樹³, 金多 隆⁴

Norikazu KATSUYAMA, Shuzo FURUSAKA, Katsuki FUJISAWA, Takashi KANETA

The objectives that this paper has aimed at are as follows:

- 1) To develop a system which can quantitatively indicate the influence on the project cost by focusing on the finish time of working drawings and shop drawings.
- 2) To propose the method of optimizing the schedule of making working drawings and shop drawings under consideration of various constrained conditions.

Using this system, the owner of the project can get theoretical background for the adjustment of the conflict between the design team and the construction team from the point of the optimization of the project cost in the schedule of making working drawings and shop drawings. As local search is one of the most effective heuristic algorithms for optimization problem, it is applied to the optimization of the schedule of making working drawings and shop drawings.

Keywords : working drawings, shop drawings, scheduling, project cost, local search, optimization

1. 序論

1.1 研究の背景と目的

建築プロジェクトには、発注者、設計者、施工者などの複数の主体が関係する。その中で、生産に関する情報は、各種の図面とそれに付随する仕様書、計算書などによって伝達される。建築生産情報が確定される時には、設計内容の詳細な検討が行われている。

本研究は、それらの実態、特にプロジェクトごとに行われてきた経験的な工夫を把握した上で、建築生産情報の確定工程を作成すること、建築生産情報確定工程の最適化方法を提案すること、実プロジェクトへ適用し有効性を確認すること、を目的とする。

1.2 関連する既往研究と本研究の範囲・方法

建築生産情報に関する既往研究として、峰政らによる一連の先行研究^{6)~10)}があげられる。峰政らは、建築生産情報の共有と整合の仕組み、情報の確定過程を明らかにした上で、生産情報確定工程を構築、最適化する手法を提案している。しかし、生産情報確定工程の範囲を施工図、製作図の作成と検討・承認に限定しており、より川上側、川下側の業務領域を含んだ展開、ならびに最適化手法に関しては改善の余地がある。

以下では、まず、先行研究に基づいて、建築生産情報の確定過程の特徴をまとめ、次に本研究でいう建築生産情報確定工程の領域と

その確定工程に組み込むべきルールを明らかにする。その後、近傍探索法を使った建築生産情報確定工程の最適化方法について述べ、最後に実プロジェクトに適用した結果の考察を行い、ここで提案した最適化方法の有効性を確認する。

1.3 本研究の特徴

本研究の特徴を以下に示す。このうち、(1)~(3)は先行研究^{6)~10)}を発展的に継承したものであり、(4)(5)は本研究で新たに提案する知見である。

(1) 発注者から見た設計者と生産者の利害相反の明確化

設計者と生産者（生産者とは図1にいう施工者、部品製造者を包含する意味で用いる）の利害は、次のように相反するものとした。設計者の傾向...十分に設計内容の検討を行いたいため、建築生産情報確定を遅らせる方向に働く。

生産者の傾向...生産過程における不測の事態に備えたいこと、施工前のリードタイムを長くしてコスト低減を図ること等のため、建築生産情報確定を早める方向に働く。

これに対し、発注者は設計者の主張を受容し、生産者の主張を排除する傾向にある。発注者の希望を直接的に反映させるのは設計者であるとして、設計者の主張は理解される一方、生産者の主張は発注者から理解されにくい。しかし、建築生産情報の早期確定によっ

¹ 大林組 工修

² 京都大学大学院建築学専攻 助教授・工博

³ 京都大学大学院建築学専攻 助手・博（理）

⁴ 京都大学国際融合創造センター 助教授・博（工）

Obayashi Corporation, M. Eng.

Associate Prof., Dept. of Architecture and Architectural Systems, Kyoto University, Dr. Eng.

Instructor, Dept. of Architecture and Architectural Systems, Kyoto University, Dr. Sc.

Associate Prof., International Innovation Center, Kyoto University, Dr. Eng.

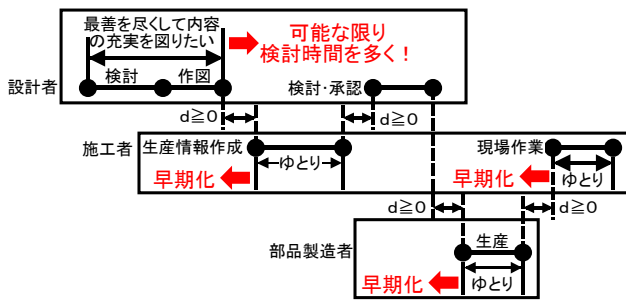


図1 設計者と施工者・部品製造者のトレードオフ

て様々な利益が生じることがわかれば、設計内容の検討に時間をかけるのがよいか、一定の範囲で早期化して利益を享受した方がよいか、判断することができる。

本研究は、こうした状況で発注者の判断材料となる情報を提供することができるシステムを提案することを特徴としている。

(2) 建築生産情報確定における「先行・後続関係」および「同時並行検討関係」の明確化

設計内容は、設計段階ですべて確定され、生産者はそれに基づいて建築生産情報を作成し、生産にあたるのが原則である。しかし、実際には、設計者ができる限り検討期間を確保する傾向があり、個別の建築生産情報ごとに、生産活動に間に合うように設計内容が確定されていく。まず生産工期にしたがって確定の最終期限が定まるが、その条件を満たす範囲で、以下に述べる、建築生産情報相互の「先行・後続関係」「同時並行検討関係」に基づき、建築生産情報が順次確定される。

関連する情報を同時並行的に検討することにより、設計者にとっては設計全体の総合的な関連性を検討することが容易になり、生産者の作業所長にとっては、各部分の整合性を確認するのに好都合となる。その結果、建築生産情報は、先行・後続関係を考慮した上で、関連情報ごとに同時並行の形で検討、確定される。

本研究では、建築生産情報の確定工程の仕組みを作成するために、それぞれの建築生産情報相互の前後関係、すなわち確定の「先行・後続関係」および、建築生産情報が関連する情報ごとに群を形成し、その群ごとに確定していく「同時並行検討関係」の原則を採用する。

(3) 建築生産情報の遅延防止策の明確化と早期確定による利益の明確化

建築生産情報の確定遅延は、後工程である工場や現場での生産工程を乱す。それに対して、経験豊かな作業所長は、万全の予防策を講じるとともに、戦略的に前倒し確定することにより、工事費の抑制、工期の短縮や安定化に努めてきた。

本研究では、確定遅延防止のために採られてきた方策を明らかにするとともに、計画的に建築生産情報確定を早期化し、工事費の抑制、工期の短縮や安定化につなげてきた早期化による利益を事例により算定し、その傾向を明らかにした。

(4) フロートを活用した確定の遅延防止および早期化

建築生産情報確定の遅延が生じるおそれがある場合、経験的に、それぞれの工程に含まれるフロートによって調整してきた。確定を早期化する場合にもフロートを縮めるなどの方法で対処してきた。

本研究では、個々の作業に含まれるフロートの性格を、ExplicitフロートとImplicitフロート(3.3参照)に区別し、建築生産情報確定工程の遅延防止と計画的早期化のために、建築生産情報相互の先

行・後続の関係を保ちながら、工程を短縮した解を求めることのできる方法を提案している。また、本研究にて作成した建築生産情報確定工程上で、工期の延伸を伴わない範囲で Network フロート(3.4.1参照)を定義し、工程早期化による作業集中の回避、投入労務の平準化を考慮している。

(5) 近傍探索法(4.1参照)を用いた生産情報確定工程の最適化方法の提案

建築生産情報確定過程の明確化、および確定の遅延防止や早期化による利害得失の明確化により、当該プロジェクトに最適な建築生産情報確定工程を合理的に求めることが可能となる。

本研究では、フロートの活用、特定作業に関する KeyDate(3.5.3参照)の操作によって、当該プロジェクトにとって最適の建築生産情報確定工程を設定する方法として、近傍探索法を採用する。実プロジェクトに基づき工程の最適化を行い、初期工程の結果と比較し、その有効性を確認する。

2. 建築生産情報の確定過程

先行研究⁶⁾⁻¹⁰⁾に基づき、建築生産情報の確定過程の特徴をまとめると、以下のとおりである。

- (1)建築生産情報の確定時期を定める要素
 - 生産工程上、確定しなければならない期限
 - 設計者や発注者による意思決定に必要な工期
- (2)建築生産情報の確定順序
 - 先行・後続関係によって規定されるもの
 - 同時並行検討関係によって規定されるもの
- (3)建築生産情報の早期確定に期待されるメリット
 - 工事費抑制
 - 建築生産情報確定工程そのものの作成費用抑制、
 - 工期安定化
- (4)個別の建築生産情報確定の遅延回避策
 - 建築生産情報確定工程の作成と各主体の合意形成
 - 余裕工期の活用

3. 建築生産情報確定工程の構築

3.1 建築生産情報確定工程の領域

本研究では、建築生産情報確定工程の領域を、図2に示すとおり「実施設計開始以後」から「施工図の検討・承認」までに拡張する。以下にその理由を示す。

- (1) 企画、基本設計段階での設計者の主な行為は2つある。1つは「発注者との打ち合わせ」「資料検討」であり、試行錯誤を経て発注者の希望を具現化するための作業である。この作業は、設計労務の追加投入によって早期化を図ることが困難で、かつ、作業量の標準化が難しく、「工数」の概念で捉えにくい。2つは、「立案 - 打ち合わせ - 変更」の繰り返しによる設計内容の確定であり、プロジェクトによって大きな差異が存在し、「工程」という概念で捉えにくい。
- (2) 実施設計段階における設計者の主な行為は、「設計内容の詳細化」「実施設計図書作成」であり、基本設計での検討が十分ならば、大きな変更を伴うことが少ない。したがって、作業量を定量化して捉えやすく、また、労務投入量の増加で早期化を図ることが可能である。

(3) 施工図作成段階における主な行為は2つある。1つは、生産者による「施工図、製作図作成」と「整合チェック」であり、2つは、発注者と設計者による「施工図、製作図の検討・承認」である。これらは大幅な設計変更を伴わなければ、作業量を定量化しやすく、また、労務投入量の増加によって早期化を図ることが可能である。

以上の理由から、本研究での「建築生産情報確定工程の作成」ならびに「建築生産情報確定工程の最適化」を行う上で考慮すべき作業領域を、「実施設計開始以後」から「施工図、製作図の検討、承認」までとし、上述の確定工程作成とその最適化を行う。

3.2 各段階における作業内容

本研究における、建築生産情報の流れのモデルと、設計者、主施工者（一般的にはゼネコン）、専門技術別生産者（一般的にはサブコン）、部品・部材製造者（一般的にはメーカー）の各主体の関わり方を図2に示す。図2における用語は以下の意味である。

実施設計段階（「検討」 - 「作図」）

「検討」...「検討 - 作図・修正」の繰り返しでの検討作業の総称

「作図」...「検討 - 作図・修正」の繰り返しでの作図作業の総称

施工図作成段階（「作図」 - 「検討・承認」）

「作図」...主施工者や専門技術別生産者、部品・部材製造者による施工図・製作図作成から主施工者の整合チェックまでを含む

「検討・承認」...検討開始以後の設計者による詳細な検討を含む

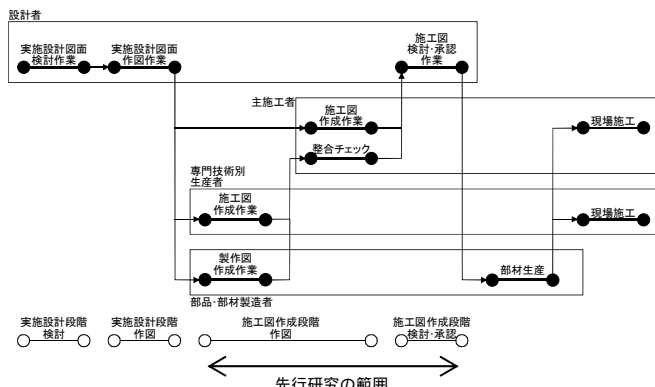


図2 建築生産情報の流れのモデル

3.3 個別の建築生産情報確定工程のルール

建築生産情報確定工程に見込まれる余裕工期を、作業工程に含まれるフロートとして、費用増加を伴わないで短縮可能な Explicit フロートと、短縮にあたって、作業人工の追加投入などのために費用の増加を伴う Implicit フロートに分けて考える。

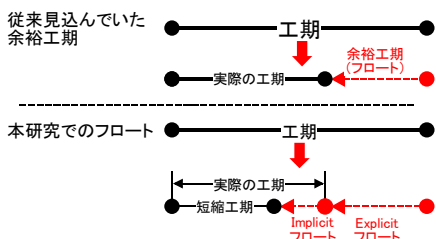


図3 フロートの概念図

3.4 複数の建築生産情報の相互関係に基づく確定工程のルール

建築生産情報の確定順序について、いくつかのルールを設定する。ここで扱う建築生産情報は表1のとおりである。

表1 本研究で対象とする建築生産情報

実施設計段階	意匠系設計図書	平面図 断面図 展開図	立面図 仕上表 部分詳細図	配置図 矩計図 天井伏図	屋根伏図 平面詳細図 建具リスト
	構造系設計図書	構造計算書 軸組図 構構系	伏図 部分詳細図 系統図	柱・梁・スラブリスト	機器リスト
	電気系設計図書	計算書 平面詳細図	系統図	機器リスト	平面図
	電気系設計図書	計算書	系統図	機器リスト	平面図
施工図作成段階	平面詳細図 天井伏図	仮設計画面 設備施工平面図	鉄骨製作図 設備機器配置図	躯体図 部分詳細図	建具製作図 設備機器部品図
	タイル・石工事施工図 造作建具製作図	UB(ユニットバス)製作図	PC・CN製作図	建具製作図	設備機器部品図

3.4.1 建築生産情報の相互関係に基づく確定工程のルール

実施設計段階

a. 先行・後続関係の場合の制約条件

後続図面の作図は、先行図面の作図完了後に着手する。すなわち図4のdはd0を満足する。

b. 同時並行検討の場合の制約条件

同時並行検討関係にある場合は、検討期間が重なる必要がある。

すなわち図4の斜線部が存在する。

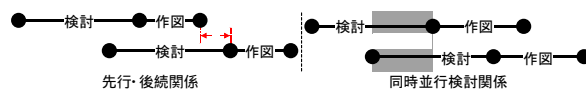


図4 実施設計段階の相互関係のルール

施工図作成段階

a. 先行・後続関係の場合の制約条件

後続図面の検討・承認は、先行図面の検討・承認後に着手する。すなわち図5のdはd0を満足する。

b. 同時並行検討関係の場合の制約条件

同時並行検討関係にある場合は、検討期間が重なる必要がある。

すなわち図5の斜線部が存在する。

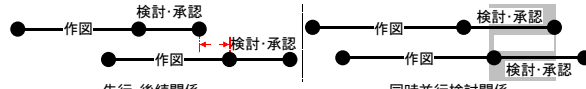


図5 施工図作成段階の相互関係のルール

Network フロート

工程ネットワーク上で、クリティカルパス(CP)上にない作業に含まれるトータルフロート(TF)の範囲内で、作業開始遅れ時間を Network フロートとして与え、作業開始時間を変化させる。

3.4.2 建築生産情報の相互関係の特定

建築生産情報の相互関係を、経験豊富な実務者へのヒアリングをもとに各図面について取りまとめたものを図6に示す。

3.5 確定早期化のルール

建築生産情報を早期に確定することは、工程の遅延防止に加えて、工事費の抑制、工期短縮などの戦略的目的のために行われる。その程度は、早期確定により期待される利益と制約条件のバランスで決まる。ここではそのモデル化のための条件を以下にまとめる。

3.5.1 各作業の工数と使用可能なフロート

建築生産情報早期確定のための、設計者や生産者による図面作成、主施工者による整合チェック、および設計者による検討・承認作業の早期集中への対応を制約条件とするために、各作業の作業量と、前出の Explicit フロート、Implicit フロートを設定する。

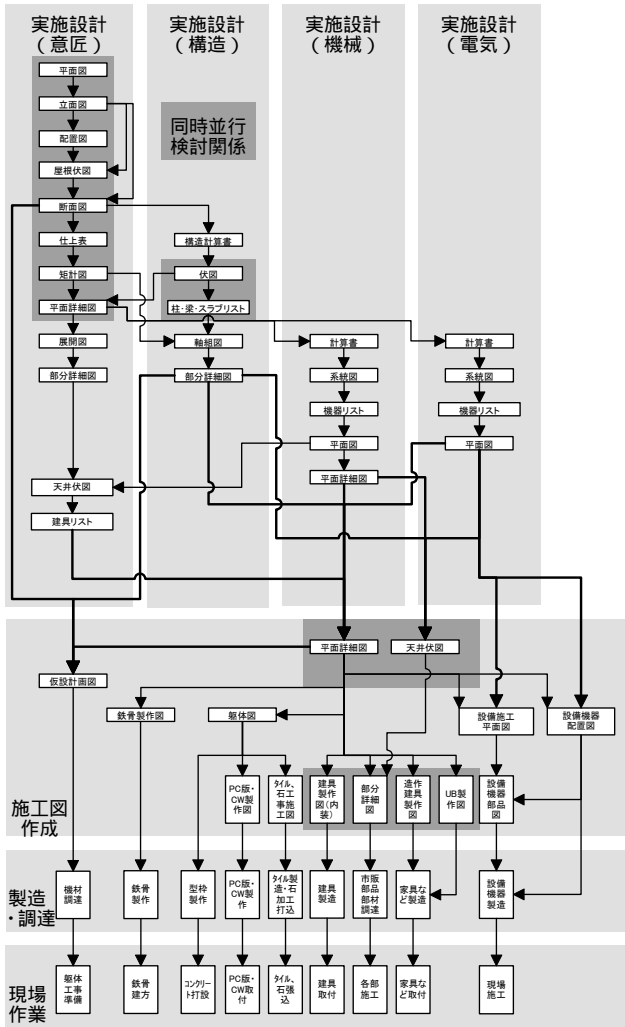


図6 建築生産情報の相互関係

3.5.2 作業集中回避の制約条件

個別作業の工期短縮による作業集中に関しては工程中のフロートで対応する。

複数作業が同時期に重複する場合の作業集中に関しては作業担当者の工程能力が重複の程度を制約することとする。

3.5.3 KeyDate の設定による工程の早期化

全体工程の早期化を指向することに加えて、特定の作業に守るべき確定期日を KeyDate (キーデート) として設定し、部分工程の早期化を行う。

3.5.4 早期確定による費用の抑制

実務担当者に行ったヒアリング (1999年11月実施) をもとに、早期確定によって費用抑制が可能な生産工程の特定と、費用抑制が可能となるリードタイム (準備期間)、費用抑制の全体工事に対する割合を表2のとおり設定する。

4. 建築生産情報確定工程の最適化方法

本研究における最適化のフローを図7に示す。

4.1 近傍探索法の概要

本研究では、最適化手法として、近傍探索法を用いる。近傍探索法は、組合せ最適化問題などで頻りに用いられる近似解法であって、探索範囲を近傍という概念を用いて効率よく局所的に限定する。解

表2 費用抑制が可能な生産工程に関する情報

製造・調達過程	早期発注を もたらず図面名称	リードタイム	全体工事費に 対する割合
鉄骨製作	鉄骨製作図	30日	0.28%
型枠製作	躯体図	30日	0.15%
PC版・CW製作	PC・CW製作図	30日	0.40%
タイル製造・石加工打込	タイル・石工事施工図	30日	0.20%
建具製造	建具製作図	60日	0.60%
UB (ユニットバス) 製作	UB製作図	60日	0.15%
家具等製造	造作建具製作図	30日	0.80%
設備機器製造	設備機器部品図	40日	0.48%

の近傍の中から、現在までの最良解などと比較して、より優れた解があれば、そちらを選択することを繰り返して行う反復解法である。近傍探索法ではタブー探索法や遺伝的アルゴリズム¹²⁾が用いられることも多いが、これらの手法では近傍構造が複雑になり、パラメータ設定等に時間を費やされる傾向がある。そのため最近では複雑で大規模な問題においては、近傍探索法のうち単純で性能の良い局所探索法 (local search)¹³⁾が用いられている。

4.2 建築生産情報確定工程のデータ構造

最適化に際し、前章で構築した建築生産情報確定工程はアローダイアグラムで表現される。各作業 (アクティビティ) および作業間の関係を示すダミーアクティビティは作業 (i,j) の形で表す。各作業のデータは、各項目の添字が開始ノード、終了ノードを意味する。各作業 (i,j) には、以下の8項目の情報が含まれる。なお図7にいう作業系列は表3に示すとおりで、意匠、構造、生産等の各作業担当者の作業群を表している。

$M_{i,j}$ [man·day]: 工数, $N_{i,j}$ [man]: 作業担当人数

$EF_{i,j}$ [man·day]: 使用可能 Explicit フロート数

$IF_{i,j}$ [man·day]: 使用可能 Implicit フロート数

$FF_{i,j}$ [man·day]: 初期使用可能フロート数

$SG_{i,j}$ [number]: 同時並行検討グループ番号

$LT_{i,j}$ [day]: リードタイム, $EC_{i,j}$ [%]: 早期化コスト

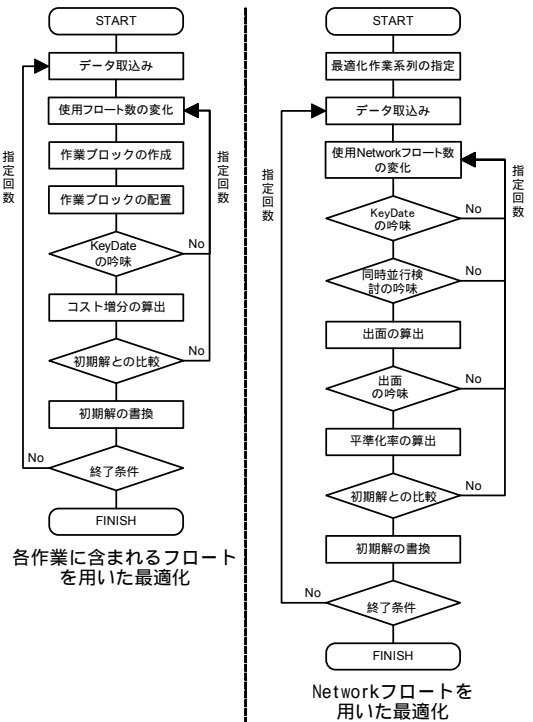


図7 建築生産情報確定工程の最適化フロー

表3 作業系列番号と作業担当者の対応

作業系列番号	作業担当者
1	設計者の意匠系担当者
2	設計者の構造系担当者
3	設計者の機械設備系担当者
4	設計者の電気設備系担当者
5	生産担当者
6	設計者の設計監理担当者

4.3 各作業に含まれるフロートをを用いた最適化

各作業に含まれるフロートをを用いた最適化では、近傍探索として各作業のフロート使用数を変化させて工程ネットワークを構築し、KeyDateの制約条件を守っているかを判定した上で、Implicitフロート使用によるコスト増分(C)を算出する。これと現在までの最良解との比較検討を行う。そして、そのCの最小化を図る。

C 最小化 ... (4-1)

データの取込み

使用フロート数の変化

使用フロート数を変化させる作業をランダムに選択し、使用可能Explicitフロート数と使用可能Implicitフロート数の合計の範囲内で、使用フロート数を発生させる。

作業ブロックの作成

各作業のデータから、フロートをを用いての早期化を行い、縦軸を作業担当人数、横軸を作業日数とする、作業ブロックを作成する。その作業は、以下の手順で行われる。

(1) 作業日数の算出と標準作業ブロックの作成

工数 $M_{i,j}$ と作業担当人数 $N_{i,j}$ から、式(4-2)により作業日数 $D_{i,j}$ を算出する。

$$D_{i,j} = M_{i,j} / N_{i,j} \quad (\text{切上げ}) \quad \dots\dots(4-2)$$

$D_{i,j}[\text{day}]$: 作業日数

縦軸を作業担当人数 $N_{i,j}$ 、横軸を作業日数 $D_{i,j}$ として、作業ブロックを作成する。この作業ブロックを標準作業ブロックと定義する。

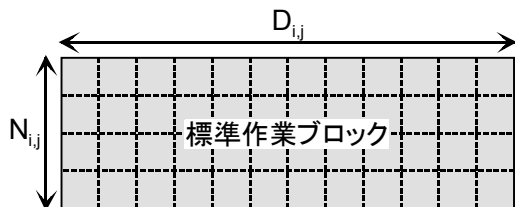


図8 標準作業ブロック

(2) 初期使用可能フロート数による作業日数の短縮

初期使用可能フロート数 $FF_{i,j}$ から、式(4-3)を用いてフロート使用によって短縮されるフロート短縮日数 $FD_{i,j}$ を求め、短縮された日数分を標準作業ブロックから取り去る。

$$FD_{i,j} = FF_{i,j} / N_{i,j} \quad (\text{切捨て})$$

$$RD_{i,j} = D_{i,j} - FD_{i,j}$$

$$RF_{i,j} = N_{i,j} \times FD_{i,j} \quad \dots\dots(4-3)$$

$FD_{i,j}[\text{day}]$: フロート短縮日数

$RD_{i,j}[\text{day}]$: 実作業日数

$RF_{i,j}[\text{manday}]$: 実使用フロート数

初期使用可能フロート数 $FF_{i,j}$ から、短縮可能な日数をフロート短縮日数 $FD_{i,j}$ 、短縮された作用日数を実作業日数 $RD_{i,j}$ 、実際に作業日数短縮に用いられるフロート数を実使用フロート数 $RF_{i,j}$ とする。

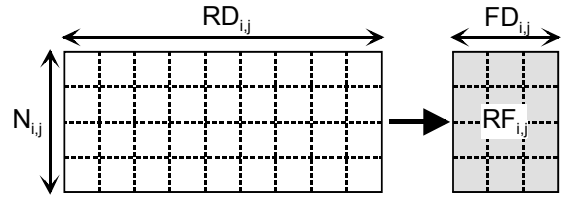


図9 実使用フロート数による作業日数の短縮

(3) フロートの性質の特定と作業ブロックの完成

前項の実使用フロート数から、式(4-4)を用いて Explicit フロートとして処理できるものと Implicit フロートとして労務の上積みを行うものに区分する。

$$\begin{cases} EF'_{i,j} = RF_{i,j} & (RF_{i,j} \leq EF_{i,j}) \\ IF'_{i,j} = 0 & \end{cases}$$

$$\begin{cases} EF'_{i,j} = EF_{i,j} & \\ IF'_{i,j} = RF_{i,j} - EF_{i,j} & (RF_{i,j} > EF_{i,j}) \end{cases} \quad \dots\dots(4-4)$$

$EF'_{i,j}[\text{man} \cdot \text{day}]$: 実使用Explicitフロート数

$IF'_{i,j}[\text{man} \cdot \text{day}]$: 実使用Implicitフロート数

本研究においては、実使用フロート数 $RF_{i,j}$ が使用可能 Explicit フロート数 $EF_{i,j}$ を超えた場合、超過分は Implicit フロートとして、労務の上積みを行うものとする。

次に、式(4-5)を用いて実使用 Implicit フロート数の上積みを行う。

$$RD2_{i,j} = IF'_{i,j} / 1$$

$$RD1_{i,j} = RD_{i,j} - RD2_{i,j}$$

$$RN_{i,j} = N_{i,j} + 1 \quad \dots\dots(4-5)$$

$RD1_{i,j}[\text{day}]$: 初期作業日数

$RD2_{i,j}[\text{day}]$: 最終追加投入日数

$RN_{i,j}[\text{man}]$: 最終担当人数

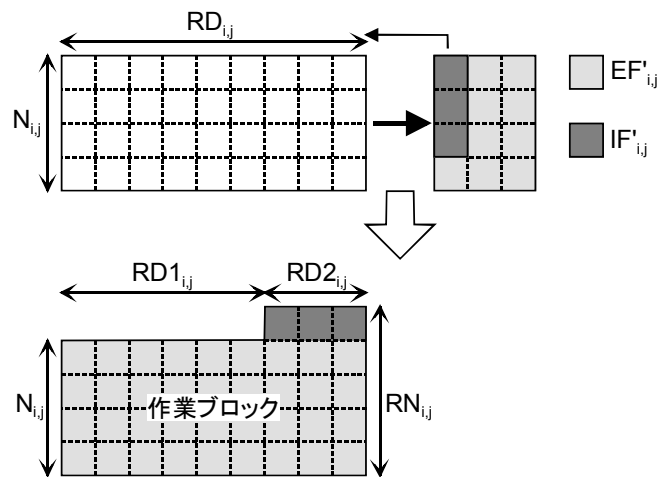


図10 作業ブロック

Implicit フロートの使用分は、作業の終盤部分で1日あたり1人工の労務を追加投入するとして考え、これにより、初期作業日数 RD_{1ij} と最終追加投入日数 RD_{2ij} 、作業担当人数 N_{ij} と最終担当人数 RN_{ij} からなる作業ブロックが作成される。

作業ブロックの配置

PERT(Program Evaluation and Review Technique)手法を用いて最早開始日を算出し、各作業(i,j)の最早開始日を作業開始日 ST_{ij} とする工程ネットワークを作成する。

KeyDate の吟味

KeyDate を指定した作業に関して、作業終了日が KD_{ij} を守っているか、式(4-6)で確認する。

$$ST_{ij} + RD_{ij} \leq KD_{ij} \quad \dots(4-6)$$

Implicit フロート使用によるコスト増分の算出

式(4-7)で工事費の増分(C)を算出する。

$$C = IF \times RI \quad \dots(4-7)$$

$C[\%]$: 工事費増加割合

$RI[\%/(man \cdot day)]$: Implicit フロート1人工使用による工事費増加割合

最良解との比較

式(4-8)を用いて、C と最良解のコスト増分 C_i を比較する。

$$C < C_i \quad \dots(4-8)$$

最良解の書換

終了条件の判断

以上のフローによって、各作業に含まれるフロートを利用した最適化を行う。次いで、Network フロートを用いた最適化を行う。

4.4 Network フロートを用いた建築生産情報確定工程の最適化

Network フロート数を変化させ、各制約条件を守っているかを判断した上で平準化率を算出、最良解との比較検討を行う。

最適化作業系列の指定

データ取込み

使用 Network フロート数の変化

a. Network フロートの発生

指定された作業系列に属するダミーアクティビティの中から、Network フロートを変化させる作業を抽出する。そして、トータルフロートの範囲内で Network フロートを発生させる。

b. 作業ブロックの再配置

Network フロートを発生させることによって、その後続作業の開始日が遅れることから、PERT 手法を用いて最早開始日とトータルフロートの再計算を行い、その結果求められる各作業の最早開始日を実作業開始日 RST_{ij} とする。

KeyDate の吟味

同時並行検討関係の吟味

各作業の同時並行検討グループ番号 WG_{ij} が等しいものに関して、同時並行検討グループ内の任意の2つの作業に関して、式(4-9)による判別を、すべての組み合わせに関して行う。

2つの作業(l,j),(k,l)に関して

$$RST_{ij} - RST_{kl} < RST_{ij} + RD_{ij}$$

または

$$\dots(4-9)$$

$$RST_{ij} - RST_{kl} < RST_{ij} + RD_{ij}$$

出面の算出

出面の吟味

各作業系列の出面上限 U_g を守っているか、式(4-10)で吟味する。

全作業期間に関して

$$u(g,t) \leq U_g \quad \dots(4-10)$$

$u(g,t)$: 作業系列番号 g の時間 t における人数を示す関数

平準化率の算出

指定された作業系列に関して、式(4-11)~(4-14)を用いて、平準化率 LR_g を算出する。

$$LR_g = \frac{g}{g \times T_g} \times 100 \quad \dots(4-11)$$

$$g = \int u(g,t) dt \quad \dots(4-12)$$

$$g = \max(u(g,t)) \quad \dots(4-13)$$

$$T_g = T_2 - T_1 \quad \dots(4-14)$$

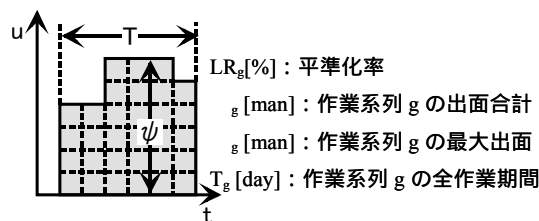


図 1 1 平準化率

最良解との比較

指定された作業系列において、式(4-15)を用いて、平準化率 LR_g と最良解の平準化率 LRI_g を比較する。

$$LR_g > LRI_g \quad \dots(4-15)$$

最良解の書換

終了条件の判断

本研究においては、建築生産情報確定工程の構築後、まず 4.3 の「各作業に含まれるフロートを用いた最適化」を行う。そして、4.3 の最適解で求められた最適解に関して、Network フロートを変化させ、作業集中の回避、投入労務の平準化を行う。

5. 実プロジェクトへの適用と検証

本章では、これまで述べてきた建築生産情報確定工程の最適化方法を、実プロジェクトに適用し、最適化の結果を検証する。

5.1 対象プロジェクト

適用対象プロジェクトの概要を表 4 に示す。

表 4 対象プロジェクトの概要

用途	中高層集合住宅		
		延床面積	17,000m ²
規模・構造	A棟	地上11階	SRC造
	B棟	地上13階	SRC造
	C棟	地上14階	SRC造
	D棟	地上10階	RC造

5.2 最適化を適用する工程の作成

5.2.1 初期工程

初期工程は3種類のフロート (Explicit, Implicit, Network) を全く使わず、各作業の最早開始日を実作業開始日とする工程 (全作業完了日 334 日) である。図 1 2 にその結果を示す。表 5 はその時の各作業系列の最大出面および平準化率である。

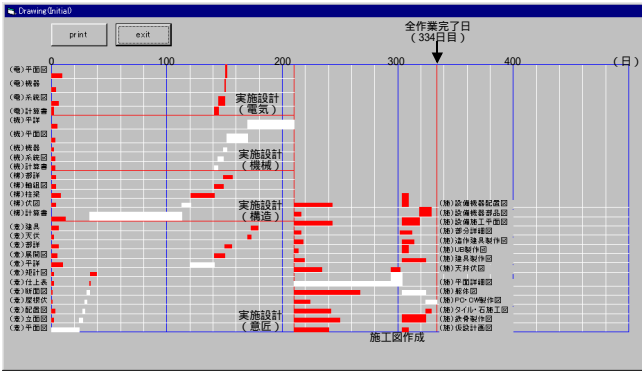


図 1 2 初期工程表

表 5 初期工程での最大出面と平準化率

作業系列番号	最大出面(人)	平準化率(%)
1	12	5.72
2	5	30.06
3	5	13.62
4	5	6.18
5	14	32.31
6	14	41.61

5.2.2 改良初期工程

初期工程に関して、出面上限 U_g を設定せずに、Network フロートを用いて労務の平準化に関する最適化を行った。これを改良初期工程と呼び、その結果を図 1 3 および表 6 に示す。

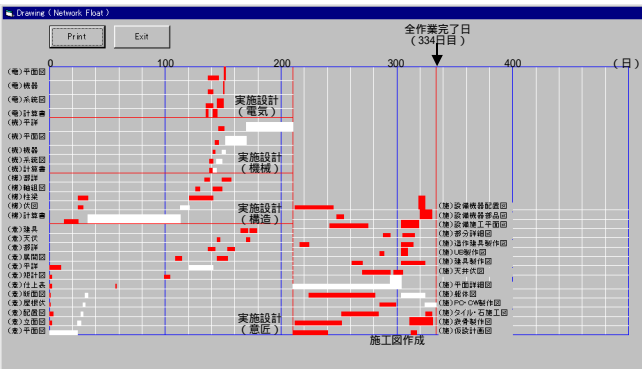


図 1 3 改良初期工程表

表 6 改良初期工程での最大出面と平準化率

作業系列番号	最大出面(人)	平準化率(%)
1	8	8.59
2	2	81.38
3	2	92.86
4	3	92.16
5	5	80.85
6	9	64.72

表 5 に比べ表 6 では相当程度、労務の平準化が図られていることがわかる。表 6 で平準化率の低い作業系列 1, 6 について以下に考察する。作業系列 1 は、8 種類の作業が同時並行検討関係にあるため、最大出面の下限が 8 人となっているが、CP 上の作業が多いため作業開始時間の自由度が少なく、平準化が困難である。作業系列 6 は、

工程の終盤部分のため、作業開始時間の自由度が少なく、平準化が低い状態にとどまっている。

5.3 KeyDate を指定した最適化

ここでは表 4 に示すプロジェクトにおいて、3 種類のフロート全てを使い、特定の作業の完了日を拘束した場合の最適化を試みた。特定の作業をタイル・石工事施工図の検討・承認完了日とする。

タイル・石工事施工図の検討・承認完了の KeyDate を、表 2 に示す工事費抑制効果が発生する 30 日のリードタイムを確保した場合の最適化を行った。なお、工事費における設計費、施工図作成費の割合と工数をもとに、Implicit フロート 1 人当たりのコスト増分の比率 (RI) を工事費の 0.003% / 人工とする。

(1) 各作業に含まれるフロートを用いた最適化の結果

最適化の結果 図 1 4 に示すように全作業完了日が 309 日となり、図 1 2 の初期工程 (全作業完了日 334 日) と比べて 25 日の早期化が達成されている。

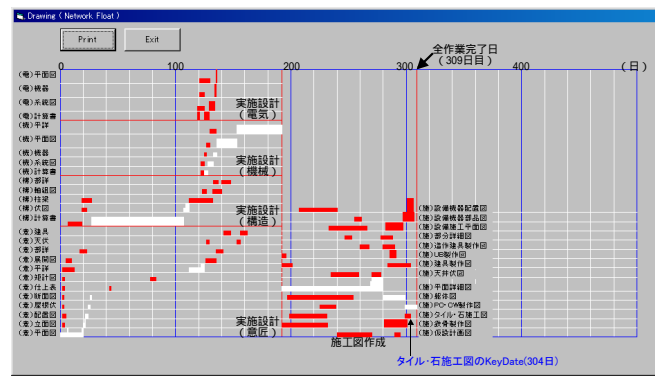


図 1 4 KeyDate を設定した場合の最適化結果

表 7 使用フロート数

段階	作業系列	工程	作業	作業担当人数(人)	使用可能フロート数	実使用 Explicit フロート数 (人工)	実使用 Implicit フロート数 (人工)
実施設計	意匠系	平面図	検討	1	0	0	1
		平面図	作図	1	2	2	1
		立面図	作図	1	0	0	1
	構造系	断面図	作図	1	1	1	0
		平面詳細図	作図	1	4	4	3
		伏図	作図	1	0	0	3
施工図作成	機械系	平面図	作図	1	2	2	0
		平面詳細図	作図	2	2	2	0
	生産	平面詳細図	作図	1	5	5	1
設計監理	躯体図	検討・承認	1	1	1	0	
合計					17	10	

以下に算出された結果から読みとることができる特徴を述べる。フロートの使用 (表 7) は全てクリティカルパス上の作業である。CP 上の全作業に関して、全ての Explicit フロートを使用した上で Implicit フロートを使用している。作業担当人数が 1 人の作業から Implicit フロートを順次使用している。すなわち Implicit フロートの使用は効率的であった。

(2) Network フロートを用いた最適化の結果

Network フロートを用いて、労務の平準化を行った。その結果を表 8 に示す。ここで出面上限は表 6 に示された改良初期工程の結果に 1 人を加えたものとした。表 6 と比べ、平準化率はさほど向上していない。これは KeyDate の制約が厳しいためである。

表 8 最大出面と平準化率

作業系列番号	出面上限(人)	最大出面(人)	平準化率(%)
1	9	8	8.95
2	3	2	83.10
3	3	2	99.29
4	4	3	92.16
5	6	6	80.18
6	10	10	59.49

(3) 早期確定による工事費抑制効果

Implicit フロート使用による工事費増分は $10 \times 0.003\% = 0.03\%$ であり、最適化適用による工事費抑制は 0.20% である。つまり全体で 0.17% の工事費抑制効果が生じたことになる。

5.4 KeyDate を設定しない最適化

前節では特定の作業の完了日を拘束したが、その拘束がない場合、さらに工期短縮、工事費抑制が図られると目される。そこで、それらの拘束が全くない場合の最適化を試みた。前節と同様、工事費抑制効果は表 2 に示すデータを使用した。

(1) 各作業に含まれるフロートを用いた最適化の結果

最適化の結果、全作業完了日が 280 日となり、図 1 2 の初期工程（全作業完了日 334 日）と比べ、54 日の早期化が達成された。算出された結果から読みとることができる特徴は以下のとおりである。

CP 上の全作業に関して、全てのフロートを使用している。

工事費抑制効果のある作業完了日に影響を与える作業では、全てのフロートを使用している。

(2) Network フロートを用いた最適化の結果

Network フロートを用いて平準化を行った結果を表 9 に示す。

表 9 最大出面と平準化率

作業系列番号	出面上限(人)	最大出面(人)	平準化率(%)
1	9	8	10.14
2	3	3	64.48
3	3	3	68.14
4	4	3	92.16
5	6	6	74.41
6	10	10	63.33

改良初期工程（表 6）に比べて、平準化率は改善されていない。これは表 9 で最大出面が出面上限に達していることからわかるように、工事費抑制効果を得るために作業が集中した結果である。

(3) 早期確定による工事費抑制効果

Implicit フロート使用による工事費増分は $50 \times 0.003\% = 0.15\%$ であり、最適化適用による工事費抑制は 1.78% である。つまり全体で 1.63% の工事費抑制効果が生じたことになる。

5.5 検証結果のまとめ

検証結果を以下に列記する。

本システムを活用することによって、建築生産情報を早期に確定することによる工期短縮、工事費抑制効果が定量的に把握できる。設計者と生産者の合意によって、KeyDate を設定した場合、それらを設定しない場合に比べ、得られる効果は小さくなる。

生産情報の早期確定を達成するためには、一方で労務の平準化は犠牲になる可能性がある。

6. 結論

本研究では、建築生産情報の確定過程を明らかにし、これを最適化することを目的として、以下のことを行った。

実務者への調査結果をもとに建築生産情報確定工程を構築した。各作業に含まれるフロートおよび相互関係に基づくフロートを用いた建築生産情報確定工程の最適化方法を提案した。

建築生産情報確定工程について、発注者の判断材料となる情報を提供することができるシステムを提案した。

システムを実プロジェクトに適用して、その有効性を示した。

今後の課題には、建築生産情報の早期確定による工事費抑制効果のさらに詳細なデータの収集、建築生産情報の早期確定によって得られる効果と労務平準化とのトレードオフを解消する方法の検討、などがある。

参考文献

- 加藤, 北, 他: 統合建築システム「LORAN-T」の開発・実用化, 日本建築学会第 13 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 1990.12
- 石井, 森本, 上村: 建築生産情報総合システム(SISC-T)の開発と展開, 日本建築学会第 19 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 1996.12
- 八坂, 塚越, 坂野, 若杉, 谷村: 構造設計情報の生産計画業務への多角的活用の試み 躯体生産情報システムの開発, 日本建築学会第 12 回建築生産と管理技術シンポジウム論文集, 1997.7
- 木本, 古阪, 遠藤, 蘇, 岩下: 建築の生産設計に関する基礎的研究, 日本建築学会第 8 回建築生産と管理技術シンポジウム論文集, 1992.7
- 金多, 古阪, 長岡, 木本, 岡本: 建築生産プロセスの構造化分析, 日本建築学会計画系論文集, 第 489 号, pp.187-194, 1996.11
- 峰政, 伊藤, 古阪: 建築プロジェクトにおける生産情報の確定過程, 日本建築学会計画系論文集, 第 502 号, pp.187-194, 1997.12
- 峰政, 服部, 坂本, 古阪: 建築プロジェクトにおける生産情報の共有と整合のしくみ, 日本建築学会計画系論文集, 第 504 号, pp.179-186, 1998.2
- 峰政, 伊藤, 古阪: 建築生産情報の計画的確定手法の開発と GA の適用可能性, 日本建築学会計画系論文集, 第 512 号, pp.229-236, 1998.10
- 峰政, 伊藤, 古阪: 生産情報確定工程最適化問題への GA の適用, 日本建築学会計画系論文集, 第 525 号, pp.249-256, 1999.11
- 峰政: 建築プロジェクトにおける生産情報確定計画の作成支援方法に関する研究, 京都大学学位論文, 1999.9
- 勝山: 建築生産情報の確定過程に関する研究, 京都大学修士論文, 2000.2
- 田村, 水野, 手塚, 松井, 久保: 離散構造とアルゴリズム, 近代科学社
- 柳浦睦憲, 茨木俊秀: 組合せ最適化 - メタ戦略を中心として -, 朝倉書店, 2001