

# 建築プロジェクトにおける工事編成最適化 - 工事編成支援システムの提案 -

和田 祐考\* 古阪 秀三\*\* 藤澤克樹\*\* 金多 隆\*\*

\* (株)NTT ファシリティーズ \*\* 京都大学大学院工学研究科建築学専攻  
Optimization of Sub-package Problem in Building Construction Project  
-Proposal of Sub-package Support System-

Yuko Wada\* Shuzo Furusaka\*\* Katsuki Fujisawa\*\* Takashi Kaneta\*\*  
\* NTT FACILITIES, INC.

\*\* Dept. of Architecture and Architectural Systems, Kyoto University.

## Abstract

A single construction project is undertaken by a multitude of firms comprised of a prime contractor and many subcontractors. Generally, these organizations are assembled only for the period of the construction project. The success of the project depends largely on whether subcontractor organizations can be properly engaged and managed. The general contractor has the right to define the work scope for each component of the construction project and to assign the subcontractor to carry out each subtask. Therefore, it is very important for the general contractor to develop a good subcontractor team based on the specific characteristics of each project. In this paper, we present a new concept of a sub-package problem by focusing on its management time and cost. Also, we formulate the sub-package problem as a mathematical programming model through which we demonstrate some numerical results.

*Key words:* sub-package, specialist contractor, work scope, management time, cost, optimization, mathematical programming.

## 1. はじめに

建築生産現場の工事編成は、総合工事業者の現場所長が自らの経験と勘に頼った主観的判断に基づいた方法で行ってきた。しかし、その工事編成が優れたものである保証はない。また一方で、専門工事業者の業務範囲は相当程度広くなっており、工事編成上の選択肢の組合せが、多くなってきている。従って、流動化する専門工事業者の業務範囲を考察した現場の工事編成を経験のみに基づいて行うには限界がある。よって、プロジェクトの規模、性格等に応じた最適な工事編成方法が求められているのが現状である。

### 1.1. 研究の目的

本論文では、建築工事編成における管理手間と管理費に焦点をあてて、工事編成の意思決定モデルを構築し、工事編成を最適化する方法を検討する。目的を摘記すると以下のとおりである。

1. 工事編成決定要因を明らかにする。
2. 工事編成モデルを構築し、工事編成支援システムの提案を行う。
3. 現行工事編成（一式請負方式）の制約条件を検討した上で、その最適化を行い、モデルの有効性、妥当性を検証する。

## 1.2. 研究の範囲

工事編成の概略の流れを示すと以下ようになる。

1. 現場事務所長決定
2. 作業所人員規模の決定
3. 工事編成環境の把握（プロジェクトと条件，人的資源，物的資源）
4. 専門工事業決定（各専門工事業者の業務範囲の決定と担当業務の決定，ならびにそのいずれを優先するか等）

本論文の工事編成モデルでは，建築プロジェクトの工事編成における3の一部と4が対象範囲となる。

## 1.3. 論文構成

1章で研究の社会的背景，研究の概要を述べ，2章と3章では工事編成における問題の所在を明らかにして工事編成モデル構築の方向性を検討する。4章では，工事編成モデルを提案し，その具体的内容を記述する。そして5章では，工事編成支援システムの提案とその解法を提示する。6章は本論文の結論である。

## 1.4. 用語の説明

本論文で用いる用語は以下の意味である。

専門工事業者: 建設業許可28業種のうち，土木一式工事，建築一式工事を除いた工事業者を指す。

協力会: 昔からの建設業の慣習である「名義人集団」を指す。名義人とは，下請工事種目について，下請契約を結ぶ相手方として元請が限定した下請人である。元請は彼らに下請契約の独占権を与える見返りに，下請に，元請に対する忠誠と協力を義務づける。現在は名義人の用語自体使用されることはまずないが，各元請の配下に存在している「協力会」がその流れを受けている。

業務の水平展開: 近年，ある業種で許可を受けている専門工事業者が他の業種の工事をも受注する方向に業務の範囲を拡大する指向がみられる。この業務の展開方法を水平展開という。

業務の垂直展開: 近年，専門工事業者が労務以外に材料，施工計画，工事管理などをも受注する方向に業務の範囲を展開する指向がみられる。この業務の展開方法を垂直展開という。

## 2. 建築プロジェクトにおける工事編成の実態

既往研究のレビュー，ヒアリング調査を通して建築プロジェクトの工事編成の実態を明確にする。

### 2.1. 既往研究のレビュー

佐々木 [3] は，建築プロジェクトの工事編成を取り巻く環境の分析が研究の中心で，本研究対象における工事編成環境の記述のベースになっている。橋本 [4] は，専門工事業界の動向分析とその将来的方向性を検討したもので，専門工事業者の仕事の守備範囲の流動化現象を明らかにしている。遠藤 [1] は，施工チームの編成モデルの提案とその振る舞いを分析している。いずれの研究においても工事編成を最適化問題として解いてはいない。そこで本研究は，Furusaka [6] で定義されたサブパッケージの概念をもとに，複数工種における工事編成に焦点を当て，既往研究によって明らかにされた建築工事編成環境の中での工事編成モデルの提案とその最適化問題の検討を行う。

## 2.2. 工事編成環境

建築プロジェクトの工事編成は、先にも述べたように、基本的には(1)現場事務所長決定,(2)作業所人員規模の決定,(3)工事編成環境の把握,(4)専門工事業者決定(サブ編成)の順に決定される。具体的には以下の3つの段階を経て決定を行なう。

1. サブ編成 - サブ決定の方法 商慣習上, サブ編成に2つの方法が存在する。1つは, 業務範囲を先に決め, その後当該部分を担当するサブを決定する方法である。たとえば, 鉄骨工事等がこれに該当する。2つは, 業者を先に決め, その後業務範囲を確定していく方法である。これに該当する工種には, とび・土工事, 型枠工事などがある。
2. 専門工事業者の業務展開 専門工事業者の水平, 垂直両方向の業務展開への指向は, 工事編成問題を定式化するための重要な前提条件となる。
3. サブパッケージ問題 本研究でいうサブパッケージ問題を Fig. 1 を使って説明する。Fig. 1 において, 縦軸は業務の垂直展開を, 横軸は業務の水平展開を表す。縦軸, 横軸によって定義される業務のブロックをセルと呼ぶ。プロジェクトはこれらのセルの担当者がすべて確定することによって実施することができる。この中で, 1つの専門工事業者の業務領域として割り付けられた同じ模様のセル群をサブパッケージという。サブパッケージ問題とは, これらすべてのセルの組み合わせの中から, 専門工事業者ならびに元請が担当する管理手間, 管理費が最小になるようなセルの組み合わせを求める最適化問題である。

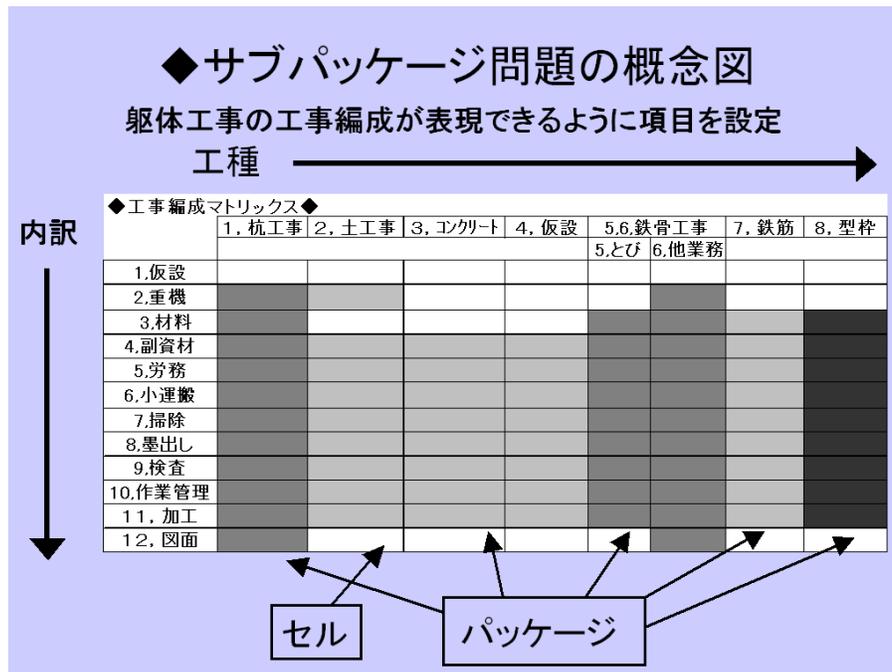


Fig. 1. Sub-package problem.

## 2.3. 工事編成の実態に関するヒアリング調査

本研究の工事編成モデルは 2.1. でレビューした文献や [2] などの公開データに基づいて構築を行なうが, さらに最近のデータを補強して, 実際の工事編成をより忠実にモデリングすることを目的として以下に示すようなヒアリング調査を行なう。

1. 調査の目的:  
 工事編成モデルを構築するためには、次の2点を明らかにしておく必要がある。どのセルが常に元請の担当になっているか、また、専門工事業者の担当になっているか。プロジェクトの与条件によって担当関係に変動のあるセルはどのような要因で最終的に担当主体が決定されているか。上記の2点を明らかにするためにヒアリング調査を行った。
2. ヒアリングの方法:  
 ヒアリング項目は大きく分けて、工事編成の考え方、元下間担当決定要因の2つである。とりわけ、工事編成決定要因として、コスト、品質、工期、管理手間を重視した。事前にヒアリングシートを配布して記入を求めた上でヒアリングを行った。
3. 調査対象:  
 元請の現場所長経験者2名で、現場経験数7～10物件、現場経験年数20年以上である。対象とするプロジェクトの用途は事務所・オフィスビル、集合住宅とした。調査は、平成11年10月13日～平成11年10月18日にかけて実施した。
4. 調査結果:  
 工事編成における所長戦略の反映  
 プロジェクトごとにその与条件が異なるために、所長の戦略や考え方が工事編成に影響を与えている。  
 元下間担当ヒアリング

- (a) 元下間担当:  
 ヒアリング結果の一例を Fig. 2 に示す。網掛けの部分は必ず元請が担当する部分、斜線の部分は下請が担当する部分、空白部分は元下間の調整部分、黒い部分は該当する業務が存在しないことを示している。ヒアリング対象の元請の間（より厳密には、現場所長間）で担当分担が相違するものについては、その項目は調整可能であるものと見なし、これを元下間調整項目としている。

	1, 杭工事	2, 土工事	コンクリート工	4, 仮設工事	5, 6 鉄骨工事	7, 鉄筋工事	8, 型枠工事
					5, とび業務	6, 他業務	
1, 仮設	網掛け	斜線					
2, 重機	斜線	斜線					
3, 材料	斜線						斜線
4, 副資材	斜線						斜線
5, 労務		斜線	斜線	斜線			斜線
6, 小運搬			黒		斜線	斜線	斜線
7, 掃除			斜線		斜線	斜線	斜線
8, 墨出し			黒		斜線	斜線	斜線
9, 検査					斜線	斜線	斜線
10, 作業管理					斜線	斜線	斜線
11, 加工		斜線	斜線	斜線			
12, 図面	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線
※		元下間調整セル		元請担当セル			
	斜線	下請担当セル	斜線	該当する業務なし			

Fig. 2. Example of the sub-package problem.

- (b) 工事編成決定要因:  
 ヒアリング結果によれば、元請は協会傘下の各専門工事業者の工事实績データをデータベース化しており、当該プロジェクトでの取引業者を選定する際、それらに基づいて事前審査している。このため、工事に投入される業者は品質、工期の点では一定水準を確保できる能力を有し、それらの能力に関しては業者間で同等と見なしうる。一方、コスト、管理手間については、業者決定の重要な要素とされ

ており、この2つの要素を考慮して、元下間の業務担当範囲を操作することによって工事編成が行われているといえる。

### 3. 工事編成支援マトリックス

2章で明らかになった建築プロジェクトにおける工事編成の実態に基づき、工事編成マトリックスの構築を行う。

#### 3.1. 工事編成マトリックス

前章で述べたサブパッケージ問題の概念に基づいて、工事編成マトリックスを定義する。工事編成マトリックスとは、縦軸に業務の垂直展開を規定し、横軸に業務の水平展開を規定するマトリックスである。マトリックスの縦軸、横軸によって定義される業務のブロックを前述のとおり、セルと呼ぶ。また、専門工事業者が担当する業務範囲をサブパッケージと呼ぶ (Fig. 2 参照)。

#### 3.2. 工事編成マトリックスの横軸項目の検討

工事編成マトリックスを構築する上で、横軸の設定に考慮すべきことは以下の2点である。

1. 専門工事業者が担当可能な最小単位であること
2. 複数工種間の工事編成を表現できること

本論文では、躯体工事を主とした、杭工事、土工事、仮設工事、コンクリート工事、鉄骨工事のうちとび業務、鉄骨工事のうちその他業務、鉄筋工事、型枠工事の8項目を横軸項目として設定することにする。この横軸項目を、以後『工種』と呼ぶ。

#### 3.3. 工事編成マトリックスの縦軸項目の検討

現場所長ヒアリングならびに各元請で用意されている「標準取り決め要項」を参考に、縦軸項目は仮設、重機、副資材、材料、労務、小運搬、掃除、墨出し、検査、作業管理、加工、図面の12項目とする。また、この縦軸項目を、以後『内訳』と呼ぶ。工事編成問題は、このようにして決定した工種8項目、内訳12項目で作られる計96個のセルを持つ工事編成マトリックスを、元請を含めた複数業者でサブ・パッケージングする問題としてとらえることが可能となる。

### 4. 工事編成モデル

3章で定義した、工事編成マトリックスを使って、管理手間と管理費を評価指標にした工事編成モデルの提案を行う。当工事編成モデルでは管理費を目的関数とし、管理手間を制約条件として評価する。なお、当モデルは、(1)用途・構造、(2)規模を考慮することが可能である。

#### 4.1. 工事編成モデルで用いるパラメータ

工事編成モデルに用いる以下のパラメータの値は、(1)用途・構造、(2)規模により異なることが予想されるため、建築工事原価分析情報 [2,5] ならびにヒアリングに基づいて決定した。

1. 「建築工事原価分析情報」に基づくパラメータ
  - (a) 工種構成比  $\langle Q_{\alpha,j}(x) \text{ (単位: \%)} \rangle$
  - (b) パッケージ工種数別現場経費率  $\langle R_{\alpha,\beta,k} \text{ (単位: \%)} \rangle$
  - (c) パッケージ工種数別元請管理人件費率  $\langle RR_{\alpha,\beta,k} \text{ (単位: \%)} \rangle$

- (d) 元請担当パッケージ現場経費率  $\langle r_{i,j}$  (単位：%)  $\rangle$
- (e) 元請担当パッケージ元請管理人員費率  $\langle rr_{i,j}$  (単位：%)  $\rangle$
- (f) 単位述べ床面積当り下請管理者係数  $\langle O_{\alpha}$  (単位：人月 /  $m^2$ )  $\rangle$
- (g) 工種別単価  $\langle h_{\alpha,j}(x)$  (単位：千円 /  $m^2$ )  $\rangle$

ここで添字  $\alpha$  は建物の用途・構造を,  $i$  は内訳を,  $j$  は工種を,  $k$  は下請の業者番号を,  $\beta$  は 8 工種の中から  $\beta(1 \leq \beta \leq 8)$  工種をパッケージングして担当することを示している (以下同様). なお  $x$  は次章で述べるように入力データの述べ床面積である.

## 2. 「ヒアリング調査」に基づくパラメータ

- (a) 内訳構成比  $\langle P_{i,j}$  (単位：%)  $\rangle$
- (b) 二次型工事編成一次下請管理者管理頻度係数  $\langle s$  (単位：%)  $\rangle$
- (c) 二次型工事編成一次下請管理者人件費  $\langle hh1$  (単位：千円 / (人・月))  $\rangle$
- (d) 二次型工事編成職長管理人員費  $\langle hh2$  (単位：千円 / (人・月))  $\rangle$
- (e) 一次型工事編成職長管理人員費  $\langle hh3$  (単位：千円 / (人・月))  $\rangle$
- (f) 全体管理手間基準値  $\langle S$  (単位：千円)  $\rangle$
- (g) 工種管理手間基準値  $\langle S_j$  (単位：千円)  $\rangle$

## 4.2. 入力データ及び出力データ

工事編成を検討しようとしているプロジェクトに関する工事編成モデルに必要な入力データは, 以下のものである.

1. プロジェクトの純工事費  $\langle L$  (単位：千円)  $\rangle$
2. 期日施工表示  $\langle u_{i,j}$  (単位：0 or 1)  $\rangle$

ここで添字  $l$  は着工日からの経過日数を表している.

3. 延べ床面積  $\langle x$  (単位： $m^2$ )  $\rangle$

当工事編成モデルからの出力データは以下のとおりである.

1. 元請担当マトリックス
2. 下請担当マトリックス
3. 目的関数 ( $C$ ) の値 (コスト)
4. 管理手間 ( $K$ ) の値

## 4.3. 工種構成比 $Q_{\alpha,j}(x)$

工種 8 項目の純工事費に対する構成比率を工種構成比と呼ぶ. 工種構成比は「建築工事原価分析情報 1993 年度版」 [2] を基礎データとしている. 鉄骨工事については, 現場所長ヒアリングによって得たとび業務と他業務の比率を用いてとび業務, 他業務の値を算出. 用途・構造 (5 モード, 変数  $\alpha$ : 集合住宅 < SRC 造 >, 集合住宅 < RC 造 >, 事務所 < SRC 造 >, 事務所 < RC 造 >, 事務所 < S 造 >), 規模 (5 段階, 変数  $x$ :  $1000m^2$  未満  $1000m^2 \sim 2999m^2$ ,  $3000m^2 \sim 4999m^2$ ,  $5000m^2 \sim 9999m^2$ ,  $10000m^2 \sim 29999m^2$ , ただし SRC 造は  $1000m^2 \sim 2999m^2$ ,  $3000m^2 \sim 4999m^2$ ,  $5000m^2 \sim 9999m^2$ ,  $10000m^2 \sim 29999m^2$ ,  $30000m^2$  以上の 5 段階) である. Table 1 は事務所 < SRC 造 > の工種構成比の例である.

Table 1: Ratios of sub-contractors for office building project <SRC>.

●事務所<SRC>:工種構成比		<'93建築工事原価分析情報>(単位:%)				
	計	1,000㎡~ 2,999㎡	3,000㎡~ 4,999㎡	5,000㎡~ 9,999㎡	10,000㎡~ 29,999㎡	30,000㎡以上
	建築純工事費	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1,地業	3.60	3.85	3.62	3.17	3.75	4.94
2,土工	6.10	7.02	6.37	7.19	6.03	3.25
3,コンクリート	3.96	4.12	3.85	4.01	3.93	4.08
4,仮設	11.17	17.14	11.76	10.61	10.50	10.93
5,鉄骨・とび	3.23	2.18	2.80	2.68	3.41	4.80
6,鉄骨・他業務	8.82	13.54	9.29	8.38	8.30	8.63
7,鉄筋	4.51	4.55	4.42	4.72	4.70	3.60
8,型枠	8.11	9.47	8.97	8.82	8.12	4.31
計	49.50	61.87	51.08	49.58	48.74	44.54
件数	167	21	84	23	14	14

#### 4.4. 内訳構成比 $P_{i,j}$

内訳 12 項目の工種内配分比率を内訳構成比と呼ぶ。内訳構成比は、元請業者の現場所長に行ったヒアリングにより得られたデータである。内訳構成比は、用途・構造、規模による違いは生じないものとして扱う (Table 2 参照)。

Table 2: Ratios of jobs determined by hearings.

●内訳構成比	1, 杭工事	2, 土工事	3, コンクリート工事	4, 仮設工事	5, 鉄骨工事		6, 鉄筋工事	7, 型枠工事
					5, とび業務	6, 他業務		
1, 仮設	0.01	0.02	0.01	0.06	0.14	0.04	0.02	0.02
2, 重機	0.23	0.35	0.05	0.07	0.07	0.02	0.12	0.1
3, 材料	0.49	0.4	0.79	0.26		0.38	0.34	0.2
4, 副資材	0.01	0.01	0.01	0.02	0.10	0.03	0.03	0.01
5, 労務	0.09	0.15	0.08	0.42	0.29	0.19	0.24	0.36
6, 小運搬	0.03	0.01		0.05	0.10	0.03	0.05	0.06
7, 掃除	0.01	0.01	0.01	0.06	0.02	0.01	0.01	0.02
8, 墨出し	0.01	0.01		0.01	0.05	0.04	0.01	0.05
9, 検査	0.03	0.01	0.02	0.01	0.05	0.04	0.03	0.02
10, 作業管理	0.02	0.02	0.03	0.02	0.10	0.04	0.04	0.03
11, 加工	0.06				0.05	0.13	0.09	0.05
12, 図面	0.01	0.01		0.02	0.05	0.08	0.02	0.08

#### 4.5. セル工事費

工事編成マトリックスは、前述のとおり、内訳 12 項目 ( $i$ )、工種 8 項目 ( $j$ ) の計 96 個のセルからなる。96 個のセル工事費  $X_{i,j}$  (単位: 千円) は式 (4.1) より算出する。

$$(4.1) \quad X_{i,j} = L \cdot Q_{\alpha,j}(x) \cdot P_{i,j}$$

ここで  $L$  は純工事費 (単位: 千円),  $Q_{\alpha,j}(x)$  は工種構成比 (単位: %),  $P_{i,j}$  は内訳構成比 (単位: %),  $\alpha$  は用途・構造モード ( $\alpha = 1$ : 集合住宅 < SRC 造 >,  $2$ : 集合住宅 < RC 造 >,  $3$ : 事務所・オフィスビル < SRC 造 >,  $4$ : 事務所, オフィスビル < RC 造 >,  $5$ : 事務所・オフィスビル < S 造 >) をそれぞれ表している。

#### 4.6. 工事編成上の制約

工事編成の実態を踏まえて、以下の制約を設ける。

1. 元請は当該工種単位で下請に発注する。すなわち、同じ工種の中を異なる二社には分割して発注しない。
2. 工事編成は一次型工事編成、二次型工事編成から構成される。複数工種をまとめて受注する業者は、二次型工事編成をとる。ここで、一次型ならびに二次型の工事編成とは以下のことを意味する。
  - (a) 一次型工事編成  
管理者は施工チームと一体となって工種内の作業も行い、管理部分が賃金の上乗せ分として支払われる。この一次型工事編成の管理者、後述する二次型工事編成二次下請管理者のことをこのモデルでは職長と呼ぶ。
  - (b) 二次型工事編成  
二次型工事編成とは、複数工種をパッケージするときにとる編成で、一次型工事編成の上に各工種間を統括する管理者を立てる編成である。この管理者は、施工チームと一体となって作業は行わず、複数プロジェクトの管理を兼務することが多く、3日に1回、または、2日に1回という頻度で現場管理に携わりパッケージを統括する。直接自らが労務を担当することはなく、従って工事の統括管理に対してのみ、その報酬が支払われる。この管理者を二次型工事編成一次下請管理者と呼ぶことにする。

各工種の管理者は施工チームと一体となって工種間の作業を行い、管理部分が賃金の上乗せ部分として支払われる。この管理費を二次型工事編成二次下請管理者と呼ぶことにする。また当該工事編成モデルは、元請のパッケージ以外は一次型工事編成か二次型工事編成で構成される。

#### 4.7. 担当変数

ここで、元請担当変数と下請担当変数の二つの変数を定義する。この担当変数の最適な組合せを探索することが最終目的である。

1. 下請担当変数  $\langle t_{k,i,j} \rangle$  下請担当変数とは  $(i, j)$  によって決まるセルを投入下請が担当するか否かを示す変数である (4.2)。ここで  $k$  は投入される下請 (専門工事業者) の通し番号で、実際に投入される業者数を  $v$  とすると  $1 \leq k \leq v \leq 8$  の関係が成り立つ。式 (4.3) は、全ての工種には、必ず投入される下請のいずれかが担当するセルが1個以上存在するという現実の工事編成では必須の条件を意味している。また、式 (4.4) と式 (4.5) は、内訳 5 (労務) に関する制約である。式 (4.4) は、下請がある工種を担当する場合には労務を必ず担当すること、式 (4.5) は、労務は必ずどこかの下請が担当しなければならないことを意味している。

$$(4.2) \quad t_{k,i,j} = \begin{cases} 1 & \text{業者 } k \text{ が工種 } j \text{ の内訳 } i \text{ を担当する} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

$$(4.3) \quad \sum_{k=1}^v \sum_{i=1}^{12} t_{k,i,j} \geq 1, \quad \forall j$$

$$(4.4) \quad t_{k,5,j} \geq t_{k,i,j}, \quad \forall k, \forall i, \forall j$$

$$(4.5) \quad \sum_{k=1}^v \sum_{j=1}^8 t_{k,5,j} = 8$$

2. 元請担当変数  $\langle m_{i,j} \rangle$

$$(4.6) \quad m_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{元請が工種 } j \text{ の内訳 } i \text{ を担当する} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

工事編成マトリックスの 96 個のセルは，元請が  $v$  個の投入下請のどこかに割り振られるので，すべての  $i, j, k$  に対して，式 (4.7) が成り立つ。

$$(4.7) \quad m_{i,j} + \sum_{k=1}^v t_{k,i,j} = 1, \quad \forall i, \forall j$$

担当変数によって決定されたセル工事費を投入業者（元請業者を含む）ごとに合計した値がパッケージ工事費である。元請業者によって編成されたパッケージの工事費を元請パッケージ工事費，下請業者によって編成されたパッケージの工事費を下請パッケージ工事費と呼ぶ。

投入業者  $k$  の下請パッケージ工事費は工事の用途・構造  $\alpha$  と規模  $x$  が与えられたときに以下の式によって表される。

$$(4.8) \quad \text{下請 (投入業者) } k \text{ のパッケージ工事費 : } pc_k = L \sum_{j=1}^8 Q_{\alpha,j}(x) \sum_{i=1}^{12} P_{i,j} \cdot t_{k,i,j}$$

同様に元請パッケージ工事費は以下の式によって表される。

$$(4.9) \quad \text{元請パッケージ工事費 : } PC = L \sum_{j=1}^8 Q_{\alpha,j}(x) \sum_{i=1}^{12} P_{i,j} \cdot m_{i,j}$$

#### 4.8. 現場経費 $\langle M \rangle$ ・元請管理人件費 $\langle M' \rangle$

モデルを構築する上で，現場経費の算出方法を明確にしておく必要がある。本論文では「現場経費 = 現場管理費 + 一般管理費」と定義している。元請が下請パッケージに対してかける現場経費：元請は，下請に工種単位で発注するのでパッケージの最大投入業者数は最大 8 業者，パッケージ工種数は最大 8 工種パッケージとなる。各パッケージにかかる現場経費比率と元請管理人件費比率は，パッケージ内の工種数によりその値を決定する。値は建築原価分析情報 [2] から求めた。

パッケージ工種数現場経費比率  $\langle R_{\alpha,\beta,k} \text{ (単位: \%)} \rangle$

パッケージ工種数元請管理人件費比率  $\langle RR_{\alpha,\beta,k} \text{ (単位: \%)} \rangle$

元請が元請担当パッケージに対してかける現場経費算出において元請の材料支給，労務支給に関わる取り扱い手間が発生する。当工事編成モデルにおいては，本来元請が担当すべき業務以外に材料支給，労務支給が含まれる場合には，基本現場経費比率に 10% の取り扱い経費比率を発生させることにする。元請担当パッケージ現場経費比率  $\langle r_{i,j} \text{ (単位: \%)} \rangle$  を定義する。元請担当パッケージ元請管理人件費比率  $\langle rr_{i,j} \text{ (単位: \%)} \rangle$  も同様に定義する。

$$(4.10) \quad \text{現場経費 } \langle M \rangle = \sum_{k=1}^v R_{\alpha,\beta,k} \cdot pc_k + PC_r$$

$$(4.11) \quad \text{元請管理人件費} < M' > = \sum_{k=1}^v RR_{\alpha,\beta,k} \cdot pc_k + PC_{rr}$$

$$\text{ここで } PC_r = L \sum_{j=1}^8 Q_{\alpha,j}(x) \sum_{i=1}^{12} r_{i,j} \cdot P_{i,j} \cdot m_{i,j}, \text{ また } PC_{rr} = L \sum_{j=1}^8 Q_{\alpha,j}(x) \sum_{i=1}^{12} rr_{i,j} \cdot P_{i,j} \cdot m_{i,j}$$

である。

#### 4.9. 下請管理人件費 < H(単位:千円) >

当工事編成モデルでは、先に述べたように一次型工事編成、または、二次型工事編成のいずれかの編成をとる。下請業務の管理は、職長と二次型工事編成一次管理者によって行われる。投入人数は、その工事管理面積によって決定される。

##### 4.9.1. 二次型工事編成職長管理人件費 $hh2$ 、一次型工事編成職長管理人件費 $hh3$

一次型・二次型工事編成には、施工チームに帯同して工種内の労務にも従事し、管理部分が賃金の上乗せ分として支払われる管理者がつくものとする。この一次型工事編成の管理者、二次型工事編成一次下請管理者のことをこのモデルでは職長と呼ぶ。職長管理人件費は月額 5 から 30 万円程度労務費用に上乗せして支払われているものとする。

##### 4.9.2. 二次型工事編成一次下請管理者人件費 $hh1$

二次型工事編成一次下請管理者は、施工チームには帯同せず複数プロジェクトを掛け持ち、3 日に一回、または 2 日に一回という頻度で現場管理に携わり複数の一次型工事編成を統合する管理者である。直接自らが労務を担当することはなく工事統合管理のみに対してその報酬が支払われる。一ヵ月間の勤務時間に占める当該プロジェクトに従事する時間の比率を頻度係数  $s$  (単位:%) で表す。

##### 4.9.3. 延べ床面積当たり現場員数 $O_\alpha$

建築原価分析情報の延べ床面積当たり現場員数のデータを用いる。本来このデータは、元請管理者の延べ床面積当たり現場員数であるが、元請、下請間の管理者の人数には差がないものとして、下請管理者の人数算出にこれを代用する。本モデルでは  $O_1 = 0.013$ ,  $O_2 = 0.015$ ,  $O_3 = 0.018$ ,  $O_4 = O_5 = 0.019$  とする。

##### 4.9.4. 職長工事管理面積 $A_{k,j}$ 、工種別単価 $h_{\alpha,j}(x)$

担当工種の工事面積がそのまま職長工事管理面積となる。下請業者  $k$  の工種  $j$  における職長工事管理面積を  $A_{k,j}$  と表記する。また、各工種の工事単価を  $h_{\alpha,j}(x)$  とすると  $A_{k,j}$  は、式 (4.12) で与えられる。

$$(4.12) \quad A_{k,j} = L \cdot Q_{\alpha,j}(x) / h_{\alpha,j}(x) \sum_{i=1}^{12} P_{i,j} \cdot t_{k,i,j}$$

また、当モデルでは事務所 < SRC 造 > の場合 ( $\alpha = 3$ ) では Table 3 の  $h_{3,j}(x)$  を使用する

##### 4.9.5. パッケージ工事管理面積

パッケージ工事管理面積は、二次型工事編成の一次下請管理者が管理対象とする工事管理面積である。パッケージした工種全体を管理面積として管理者の投入人数を算定することには問題がある。実際の工事では、稼働中の工事を管理できるだけのマンパワーを投入すれば十分であり、パッケージした工種の最大同時稼働工事面積を工事管理面積にする。

Table 3: The unit construction cost for office building project <SRC>  $h_{3,j}(x)$ .

◆事務所<SRC>工種単価		<'93建築工事原価分析情報>(単位:千円/㎡)					
	計	1,000㎡未満	1,000㎡~	3,000㎡~	5,000㎡~	10,000㎡~	30,000㎡以上
			2,999㎡	4,999㎡	9,999㎡	29,999㎡	
1,杭	9.9	16.7	12.1	9.8	8.9	6.2	11.3
2,土工	15.2	24.4	19.8	18.2	13.3	12.7	7.4
3,コンクリート	9.8	14.3	12.0	10.2	8.7	8.1	9.3
4,仮設	27.7	59.5	36.6	26.8	23.2	20.4	25.0
5,とび業務	38.2	36.0	41.4	32.3	36.6	32.1	52.2
6,他業務	38.2	36.0	41.4	32.3	36.6	32.1	52.2
7,鉄筋	11.2	15.8	13.8	11.9	10.4	9.6	8.2
8,型枠	20.1	32.9	27.9	22.3	18.0	15.7	9.9
件数	167	21	84	23	29	8	2

1. 期日施工表示 <  $u_{l,j}$  >

工事期間を  $1 \leq l \leq q$ , 第  $l$  日目に工種  $j$  が施工されているかどうかを表示する施工期日表示を  $u_{l,j}$  とする. 第  $l$  日目に工種  $j$  の工事を行っている場合  $u_{l,j} = 1$ , 工事を行っていない場合には  $u_{l,j} = 0$  とする (Fig. 3 参照). また Fig. 3 の中の黒い長方形は工事が施工される場合 ( $u_{l,j} = 1$ , 縦軸が項目  $l$ , 横軸が期日  $j$ ) の工事管理面積を示している. 実際は面積の数値データが工程表のデータに含まれているが, Fig. 3 と 4 では長方形の面積が工事管理面積を示しているものとする. また具体的な数値は省くが通常は  $m^2$  の単位を用いる.

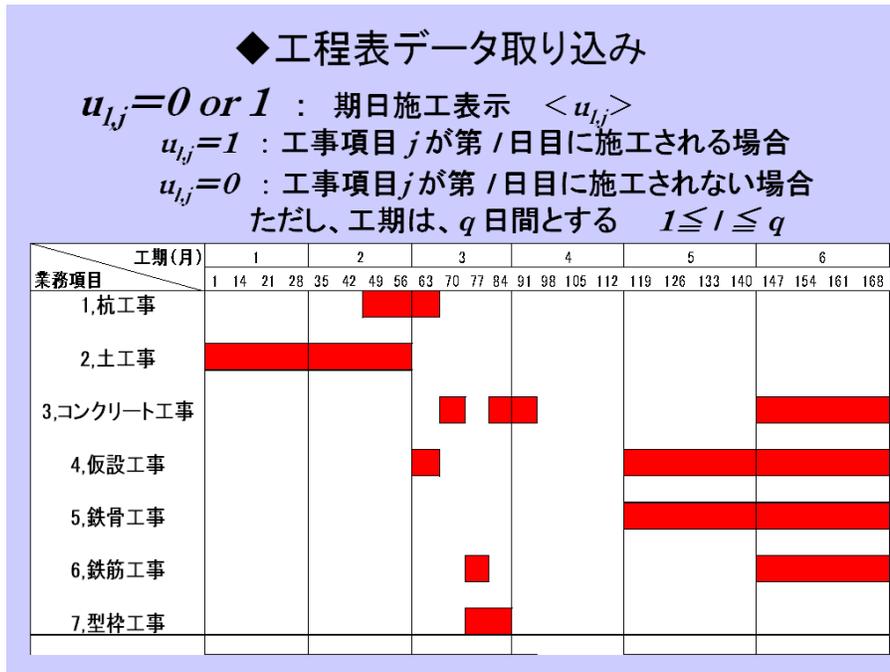


Fig. 3. Construction date of each activity.

2. パッケージ工事管理面積 <  $A_k^{21}$  > 二次型工事編成の一次下請管理者が管理対象とする工事管理面積をパッケージ工事管理面積と呼ぶ. パッケージした工種の内, 最大の同時稼働工事面積を工事管理面積とする. Fig. 4 に示すような工事編成を検討しているプロ



$$(4.14) \quad \text{建築工事コスト} = \text{純工事費 (直接工事費 + 間接工事費)} + \text{現場経費} < M >$$

現場経費 < M > は、元請建設業者が下請業者にその管理費として、その当該工事費に現場経費率を乗じて算出する経費である。純工事費は、労務費、材料費、外注費から構成される直接工事費と仮設経費、動力用水光費、運搬費、機械等経費、地代家賃から構成される間接工事費からなる。

また現場経費は、次のような労務管理費、保険料、事務用品費、通信交通費等からなる。

労務管理費	保険料	退職金	交際費
租税公課	事務用品費	法定福利費	補償費
設計費	出張所等経費配額	福利厚生費	雑費
従業員給料手当	通信交通費	( は現場管理人件費)	

直接工事費の中には、下請業者の当該工事管理者人件費が含まれている。これを当モデルでは、下請管理人件費という。建築工事コストを考える上で、労務費、材料費は投入業者間での差はないものとし、コストの変動部分は、管理費である現場経費と下請管理人件費 < H > の増減によるものとみなして以下のように定義する。目的関数は、式 (4.15) で定義するように、元請の現場経費と専門工事業者（以後、下請という）の管理に要する人件費との和とする。

$$(4.15) \quad \text{目的関数} < C > = \text{現場経費} < M > + \text{下請管理人件費} < H >$$

なお、現場経費内訳のうち、従業員手当、退職金、法定福利費、福利厚生費は元請管理人件費 < M' > と定義する。管理手間は式 (4.16) で定義するように、元請管理人件費から下請管理人件費を減じたものとする。

$$(4.16) \quad \text{管理手間} < K > = \text{元請管理人件費} < M' > - \text{下請管理人件費} < H >$$

また、各工種別に管理手間値を算出したものを工種管理手間 < K<sub>j</sub> > とする。工種元請管理人件費 < M'<sub>j</sub> >、工種下請人件費を < H<sub>j</sub> > とする。工種 j を業者 α が担当していて、業者 α は全部で β 個の工種をパッケージングして担当しているものとする。このとき < M'<sub>j</sub> >、< H<sub>j</sub> > を以下のように定義する。

$$(4.17) \quad < M'_j > = \sum_{k=1}^v RR_{\alpha,\beta,k}/\beta \cdot pc_k^j + PC_{rr}^j$$

ここで  $pc_k^j = L \cdot Q_{\alpha,j}(x) \sum_{i=1}^{12} P_{i,j} \cdot t_{k,i,j}$ 、 $PC_{rr}^j = L \cdot Q_{\alpha,j}(x) \sum_{i=1}^{12} rr_{i,j} \cdot P_{i,j} \cdot m_{i,j}$  である。

$$(4.18) \quad < H_j > = O_{\alpha} \sum_{k=1}^v \left( s \cdot hh1 \cdot A_k^{21}/8 + (hh2 + hh3) \cdot A_{k,j} \right)$$

次に工種管理手間 < K<sub>j</sub> > を以下のように定義する。

$$(4.19) \quad \text{工種管理手間} < K_j > = \text{工種元請管理人件費} < M'_j > - \text{工種下請管理人件費} < H_j >$$

次に工種管理手間基準値 < S<sub>j</sub> > はヒアリングなどで得た過去の各工種の実績データの最大値と最小値から以下のように定義する。

(4.20)

$$\text{工種管理手間基準値 } \langle S_j \rangle = \frac{\text{工種 } j \text{ の実績データの最大値} + \text{工種 } j \text{ の実績データの最小値}}{2}$$

前述の全体管理手間基準値, 工種管理手間基準値を用いて, プロジェクト個別の工事編成所長戦略を不等式制約条件式にしたものが以下の管理手間不等式である.

管理手間を下請業者に移行したい場合の管理手間不等式は,

$$(4.21) \quad \text{管理手間 } \langle K \rangle \leq \text{全体管理手間基準値 } \langle S \rangle$$

$$(4.22) \quad \text{工種管理手間 } \langle K_j \rangle \leq \text{工種管理手間基準値 } \langle S_j \rangle$$

管理手間を元請業者に移行したい場合の管理手間不等式は,

$$(4.23) \quad \text{管理手間 } \langle K \rangle \geq \text{全体管理手間基準値 } \langle S \rangle$$

$$(4.24) \quad \text{工種管理手間 } \langle K_j \rangle \geq \text{工種管理手間基準値 } \langle S_j \rangle$$

のように制約条件を設定する.

よって最後に目的関数と制約条件をまとめると以下ようになる.

目的関数:

$$\begin{aligned} \text{目的関数 } \langle C \rangle &= \text{現場経費 } \langle M \rangle + \text{下請管理人件費 } \langle H \rangle \quad (4.15) \\ &= (4.10) + (4.13) \end{aligned}$$

制約条件:

$$\begin{aligned} \text{管理手間制約:} \quad & \text{管理手間 } \langle K \rangle \leq \text{全体管理手間基準値 } \langle S \rangle \quad (4.21) \\ & (4.16) = (4.11) - (4.13) \leq \text{全体管理手間基準値 } \langle S \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{工種管理手間制約:} \quad & \text{工種管理手間 } \langle K_j \rangle \leq \text{工種管理手間基準値 } \langle S_j \rangle \quad (4.22) \\ & (4.19) = (4.17) - (4.18) \leq \text{工種管理手間基準値 } \langle S_j \rangle \end{aligned}$$

あるいは

$$\begin{aligned} \text{管理手間制約:} \quad & \text{管理手間 } \langle K \rangle \geq \text{全体管理手間基準値 } \langle S \rangle \quad (4.23) \\ & (4.16) = (4.11) - (4.13) \geq \text{全体管理手間基準値 } \langle S \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{工種管理手間制約:} \quad & \text{工種管理手間 } \langle K_j \rangle \geq \text{工種管理手間基準値 } \langle S_j \rangle \quad (4.24) \\ & (4.19) = (4.17) - (4.18) \geq \text{工種管理手間基準値 } \langle S_j \rangle \end{aligned}$$

担当変数制約:

$$(4.2), (4.3), (4.4), (4.5), (4.6), (4.7)$$

## 5. 工事編成支援システム

### 5.1. 工事編成支援システムの概要

工事編成の意思決定支援ツールとして, 工事編成支援システムの提案を行う.

1. 工事編成モデルの性格: 当工事編成モデルは, 元請担当係数, 下請担当係数を使ってサブ・パッケージの最適な組合せを発見するための整数計画問題として定式化できる.
2. 工事編成支援システム: 前章で構築した工事編成モデルと工事編成環境モードからなる工事編成を最適化するシステムを工事編成支援システムと定義する. 工事編成環境モードとは, パッケージパターン制約, 商慣習制約, 管理手間制約によって設定される工事編成環境である. その環境下での工事編成最適化を行う. 各制約の内容は以下のとおりである.

- (a) パッケージパターン制約  
工事編成のパッケージパターンに対して加える禁止制約
- (b) 商慣習制約  
工事編成に先立ちそのパッケージの工種組合せパターンを指定する制約
- (c) 管理手間制約  
プロジェクト固有の工事編成戦略を管理手間という観点から設定する制約

## 5.2. 工事編成支援システムの仕様

1. プログラム仕様 当工事編成支援システムは、整数計画問題を解くための ILOG 社の数理計画ソルバー”CPLEX ver 6.0.1”と CPLEX に対する入力モデルファイルを作成し、CPLEX を起動して整数計画問題を解き、その結果を自動集計するプログラム (C++ 言語で記述) とで構成されている。工事編成支援システムには、二つの組合せ問題が組み込まれている。

- (a) 投入業者  $k$  社の下請による 8 工種組合せ問題
- (b) 工事編成マトリックス 96 個のセルの元下間での担当組合せ問題

パッケージ数、工種の組合せによってパラメータが変化するものが多数存在しているため、パッケージ数、工種の組合せによって、うまく場合分けすることが重要となる。当工事編成問題では (b) の組合せ問題 (整数計画問題) は CPLEX に計算させることにして (a) の部分を場合分けしている。つまり、モデルファイルを自動作成するプログラムによって最大 10510 個の入力ファイルを繰り返し作成する。次に CPLEX によって定式化された 0-1 整数計画問題を解いて結果の集計を行っている。

2. 対象プロジェクトの概要：対象とするプロジェクトは、大規模集合住宅、構造は SRC 造である。詳細事項は Fig. 5 の通りである。4 棟を並行して建設していく工程を取っているため、各工種の繰り返し作業が多くなっている。鉄骨は 2 フLOOR-1 節、約 1ヶ月周期の工程が組まれている。

用途・構造：集合住宅 < SRC, RC 造 > 4 棟  
 A 棟：SRC11F, B 棟：SRC13F, C 棟：SRC14F, D 棟：RC11F  
 延べ床面積：13,380  $m^2$   
 工期：18ヶ月  
 純工事費：1,563,849 千円

Fig. 5. The summary of case study project.

3. 対象プロジェクト工事編成の状況：対象プロジェクトの管理手間値と管理手間基準値を比較したものを Table 4 に示す。最下段は、管理手間基準値に対して、管理手間がどちら側 (元請 or 下請) に偏っているかを示している。

## 5.3. ケーススタディ 1

1. 実験手順

< ケーススタディ 1 >  
 業者優先や業務範囲優先を行わずに工事編成を最適化する

Table 4: Comparison of management load between the standard project and case study project.

● 対象プロジェクト管理手間移行主体									
	1.杭工事	2.土工事	3.コンクリート工事	4.仮設工事	5.鉄骨とび業務	6.鉄骨他業務	7.鉄筋工事	8.型枠工事	全体
管理手間基準値(千円)	-590.3	-21833	-267.99434	-1619.62	-1845.326	-6096.83	-8549.8	-10640.1	-51443.2
管理手間値(千円)	-6104	-29580	-1223.0541	-5651.53	-2971.081	-12420.6	-21517.9	-13087.6	-92556.1
管理手間移行主体	下請	下請	下請	下請	下請	下請	下請	下請	下請

ケーススタディ 1 として, Fig. 5 の大規模集合住宅を取り上げる. 以下の手順で実験を行う.

(a) 実験 I: パッケージパターン制約 / 有, 商習慣制約 / 無, 管理手間制約 / 無

(b) 実験 II: パッケージパターン制約 / 有, 商習慣制約 / 無, 管理手間制約 / 有

## 2. 実験結果

実験 I (Table 5) の最適解の目的関数値: 17,337 (万円), 実験 II (Table 6) の最適解の目的関数値: 19,857 (万円) である. 実験 I の場合では, 分配は 6 社分配でその工種パターンが < 111122 > である. この < 111122 > とは, 6 社分配でそのうちの 4 社が一つの工種を担当して, 残りの 2 社が二つの工種を担当することを表している. また具体的にパッケージの内訳は < 1-2-7-8-34-56 > の工事編成である. 工種パターンを表す数字の意味は, < 1, 杭工事 > < 2, 土工事 > < 7, 鉄筋工事 > < 8, 型枠工事 > < 3, コンクリート工事 - 4, 仮設工事 > < 5, 鉄骨とび業務 - 6, 鉄骨他業務 > からなる 6 パッケージ編成ということである. 以下, 6 社 - < 1-2-7-8-34-56 > と呼ぶ.

Table 5: Numerical result I : cost 173,374 (thousand yen)

● 実験結果 I : < 1 2 7 8 34 56 >									
	元請担当変数								
	1.杭工事	2.土工事	3.コンクリート工事	4.仮設工事	5.鉄骨とび業務	6.鉄骨他業務	7.鉄筋工事	8.型枠工事	
1.仮設	1	1	1	1	1	1	1	0	
2.重機	1	1	1	1	1	0	1	1	
3.材料	1	0	1	1	0	0	1	0	
4.副資材	1	0	1	1	1	1	1	0	
5.労務	0	0	0	0	0	0	0	0	
6.小運搬	1	0	0	0	1	1	1	1	
7.掃除	1	1	1	0	1	0	1	1	
8.墨出し	1	1	0	1	1	1	1	1	
9.検査	1	1	1	1	1	1	1	1	
10.作業管理	1	1	1	1	1	1	1	1	
11.加工	1	0	0	0	1	1	1	1	
12.図面	1	1	0	1	1	1	1	0	
管理手間値	4589.533	-14298	176.158431	2051.67	-1025.82	792.7405	5067.437	-7104.75	
対象プロジェクト	-6104.32	-29580	-1223.0541	-5651.5	-2971.081	-12420.6	-21517.9	-13087.6	
評価値	10693.85	15282	1399.21248	7703.2	1945.261	13213.3	26585.37	5982.901	

## 3. 考察

商慣習制約を入れずに解くと, 実験 I, 実験 II どちらの場合も, 6 社 - < 1-2-7-8-34-56 > が最適解となった. Table 5, Table 6 は, 実験 I, 実験 II の最適解 6 社 - < 1-2-7-8-34-56 > の元請担当を表している. 所長戦略を反映しない実験 I では, 目的関数値 = 17,337(万円), 工事所長戦略 (管理手間移行主体を指定) を反映した実験 II では, 目的関数値 = 19,857(万円) であった. 工事所長戦略を反映した工種管理手間制約をかける

と、約 15 % のコスト増になっている。しかし、対象プロジェクトの管理手間値と実験 I、実験 II による最適解工事編成の管理手間値がどの程度の差を生じているかを評価値として算出すると、実験 II の管理手間値の方が、より対象プロジェクトの値に近いことが分かる。これは、実験 II の方がより対象プロジェクトに近い工事編成になっていることを意味する。表中で網掛けしたものは、実験 I と実験 II の工事編成で担当変数が変化した部分である。前述のように、専門事業者は、業務を水平方向、垂直方向に展開しており、工事編成の選択肢は増加の一途をたどっている。こうした中で、従来のような経験則に頼った工事編成には限界がある。工事編成支援システムに入力するパッケージパターン制約、管理手間制約（最大管理手間、最小管理手間）の精度をより向上させることにより、人的偏り、商慣習的偏りを排除した最適な工事編成を探索することが可能になった。

Table 6: Numerical result II : cost 198,578 (thousand yen)

●実験結果 II : <1 2 7 8 34 56>		元請担当変数							
	1.杭工事	2.土工事	3.コンクリート工事	4.仮設工事	5.鉄骨とび業務	6.鉄骨他業務	7.鉄筋工事	8.型枠工事	
1.仮設	0	1	1	1	1	1	1	0	
2.重機	1	0	1	1	1	0	1	1	
3.材料	1	0	1	0		0	0	0	
4.副資材	0	1	1	1	1	0	1	1	
5.労務	0	0	0	0	0	0	0	0	
6.小運搬	0	1		1	1	0	1	0	
7.掃除	0	1	1	1	1	0	1	0	
8.墨出し	0	1		1	1	0	1	1	
9.検査	1	1	1	1	1	1	1	1	
10.作業管理	0	1	1	1	1	0	1	1	
11.加工	0				1	0	1	1	
12.図面	0	1		1	1	0	1	0	
管理手間値	-757.393	-26768	-640.99832	-2605.39	-2414.083	-6147.29	-10253	-10912	
対象プロジェクト	-6104.32	-29580	-1223.0541	-5651.53	-2971.081	-12420.6	-21518	-13088	
評価値	5346.925	2811.7	582.055732	3046.142	556.99794	6273.269	11265	2175.6	

## 5.4. ケーススタディ 2

実際の工事編成では、とび業者などの特定の工種をまずパッケージ指定してから工事編成問題を解く場合が多い。そこで、とび業者をパッケージ指定する「業者優先型工事編成」を支援する問題を解いてみる。

### (a) 実験手順

< ケーススタディ 2 >

とび業者に割り当てるパッケージパターンは < 345 >、< 45 > のいずれかにするのが工事編成上有利であるかを調べる。

商慣習制約を加え、管理手間制約を加えない以下の工事編成モードで実験を工種組合せパターン指定 < 345 >、< 45 > について実験 III と IV を行う。次に工種管理手間制約に所長戦略（管理手間移行主体を指定）を反映して、もう一度 < 345 > パッケージパターン指定の工事編成最適化問題を解く（実験 V）。

- i. 実験 III : パッケージパターン制約 / 有, 商習慣制約 / < 345 >, 所長戦略を反映しない
- ii. 実験 IV : パッケージパターン制約 / 有, 商習慣制約 / < 45 >, 所長戦略を反映しない
- iii. 実験 V : パッケージパターン制約 / 有, 商習慣制約 / < 345 >, 所長戦略を反映する

(b) 実験結果

Table 7 は実験 III の計算結果である。また紙面の都合上, 実験 IV の計算結果の表は省く。実験 III < 345 > パッケージパターン指定では, 6 社 - < 1-2-6-7-8-345 > が, 目的関数値 = 17,519 (万円) を示し, 実験 IV < 45 > パッケージパターン指定の目的関数値 = 17,746 (万円) よりも有利であることを示している。また Table 8 は実験 V の計算結果で, 目的関数値 = 20,033 (万円) である。

Table 7: Numerical result III : cost 175,198 (thousand yen)

	元請担当変数							
	1.杭工事	2.土工事	3.コンクリート工事	4.仮設工事	5.鉄骨とび業務	6.鉄骨他業務	7.鉄筋工事	8.型枠工事
1,仮設	1	1	0	1	1	1	1	1
2,重機	1	1	1	1	0	1	1	1
3,材料	1	0	1	1		1	1	0
4,副資材	1	0	1	1	1	1	1	0
5,労務	0	0	0	0	0	0	0	0
6,小運搬	1	0		0	1	1	1	1
7,掃除	1	1	0	0	0	1	1	0
8,墨出し	1	1		1	1	1	1	1
9,検査	1	1	1	1	1	1	1	1
10,作業管理	1	1	1	0	0	1	1	1
11,加工	1				0	0	1	1
12,図面	1	1		1	0	0	1	0
管理手間値	4589.533	-14298	830.621572	2448.59	-2190.226	929.542	5067.437	-7104.75
対象プロジェクト	-6104.32	-29580	-1223.05405	-5651.5	-2971.0808	-12420.6	-21517.9	-13087.6
評価値	10693.85	15281.95	2053.675624	8100.12	780.854808	13350.1	26585.37	5982.901

4. 考察

実験 III と V を比較すると目的関数値は実験 V の方が劣っているが, 実験 V の管理手間値の方がより対象プロジェクトの値に近くなっていることがわかる。これは, ケーススタディ1と同様に所長戦略の反映によって管理手間制約を有効に作用していることを示している。ケーススタディ2では, 複数の候補が存在する場合の工事編成選択問題への適用を検証してみた。実プロジェクトの工事編成を進める上では, 業者優先・業務範囲優先などの商習慣だけでなく, 施主の業者指定や設計図書におけるメーカー指定, 新工法にともなう業者指定などが考えられる。そうした条件もこの制約条件で工事編成支援システムに反映可能となる。2通りの工事編成の選定問題であったが, 当工事編成支援システムによって選択したパッケージパターンは, 実際のプロジェクトのパッケージパターンと一致した。このことは, 当工事編成支援システムが複数候補選択問題にも適用可能であることを示している。

今回の数値実験で用いた管理手間制約式は, 実プロジェクトの終了段階でのヒアリングによって得た工事編成から算出を行なった。しかし, 実際の工事においては工事編成は工事開始以前に決定されなくてはならない。そのためにすでに竣工された建設プロジェクトの管理手間値の情報をデータとして蓄積する必要があり, このデータベース化は今後の課題の一つである。

Table 8: Numerical result V : cost 200,331 (thousand yen)

● 実験結果 V : <1 2 6 7 8 345>	元請担当変数							
	1.杭工事	2.土工事	3.コンクリート工事	4.仮設工事	5.鉄骨とび業務	6.鉄骨他業務	7.鉄筋工事	8.型枠工事
1,仮設	0	1	1	1	1	1	1	0
2,重機	1	0	0	1	0	0	1	1
3,材料	1	0	1	0		0	0	0
4,副資材	0	1	1	1	1	1	1	1
5,労務	0	0	0	0	0	0	0	0
6,小運搬	0	1		1	1	1	1	0
7,掃除	0	1	1	1	0	0	1	0
8,墨出し	0	1		0	1	1	1	1
9,検査	1	1	1	1	1	1	1	1
10,作業管理	0	1	1	1	0	1	1	1
11,加工	0				0	1	1	1
12,図面	0	1		1	0	1	1	0
管理手間値	-757.393	-26768.3	-463.806629	-1766.3	-2807.5551	-6096.83	-10252.9	-10912
対象プロジェクト	-6104.32	-29580	-1223.05405	-5651.5	-2971.0808	-12420.6	-21517.9	-13088
評価値	5346.926	2811.667	759.247423	3885.27	163.525656	6323.733	11264.99	2175.6

## 5.5. 今後の課題

今回の実験は、ヒアリング調査、実プロジェクトのデータを用いて行いモデルの妥当性を検証した。しかし、さらに実用的な工事編成意思決定支援ツールとするためには、モデルの精緻化と入力データの精度向上をはかる必要がある。

## 6. 結論

当研究で得られた知見を以下にまとめる。

1. 工事編成の決定要因を明らかにした。
2. 建築工事の管理費と管理手間に着目して工事編成モデルを構築した。
3. 工事編成モデルと工事編成環境モード（1. パッケージパターン制約, 2. 商慣習制約, 3. 管理手間制約）を組み合わせた工事編成支援システムを提案し、工事編成を取り巻く環境の定式化、モデルへの取り込みが可能になった。
4. 入力モデルファイルを作成して、CPLEX を用いて整数計画問題を解き、その結果を自動集計する工事編成モデル最適化プログラムを C++ 言語を用いて作成した。
5. 建築プロジェクトの工程を取り込んだ工事編成の最適化が可能になった。実プロジェクトの工事編成とここで開発した工事編成支援システムでの最適化結果を比較した結果、有効性、妥当性が確認できた。
6. 工事編成支援システムにより工事編成の事前検討が可能になった。

## 参考文献

- [1] 遠藤 和義, 総合工事業者の工事編成決定問題に関する研究, 東京大学学位論文, 1992.
- [2] 建設工業経営研究会, 総研 03 建築原価分析情報, 1993.
- [3] 佐々木 良和, 建築の工事編成に関する研究, 京都大学学位論文, 1988.
- [4] 橋本 貴史, 日本の建築生産システムの特性に関する研究, 京都大学修士論文, 1999.
- [5] 藤田 修照, 建築工事契約, 積算用語ハンドブック, 経済調査会出版部, 1992.

[6] S. Furusaka, "Sub-package Problems of Building Construction", HABITATINTL, 14:2/3(1990), 245-253.

和田祐考 (非会員) 〒 108-0023 東京都港区芝浦 3-4-1

2000年京都大学大学院工学研究科修士課程終了。修士(工学)。同年, (株)NTT ファシリテーズに入社。日本建築学会会員。

古阪秀三 (非会員) 〒 606-8501 京都市左京区吉田本町

1974年京都大学工学部建築学科卒業。工学博士。1976年京都大学工学部建築学科助手。現在, 京都大学大学院工学研究科建築学専攻助教授。建築生産ならびにプロジェクトマネジメントに関する研究に従事。日本オペレーションズリサーチ学会, 日本建築学会会員。

藤澤克樹 (正会員) 〒 606-8501 京都市左京区吉田本町

1998年東京工業大学大学院情報理工学研究科博士課程修了。博士(理学)。同年, 京都大学大学院工学研究科建築学専攻助手。最適化問題に対するアルゴリズムとソフトウェアの研究, 開発に従事。日本応用数理学会, 日本オペレーションズリサーチ学会, 日本建築学会会員。

金多隆 (非会員) 〒 606-8501 京都市左京区吉田本町

1997年京都大学大学院工学研究科博士課程修了。博士(工学)。同年, 京都大学大学院工学研究科建築学専攻助手。現在京都大学国際融合創造センター助教授。建築生産ならびにマネジメントに関する研究に従事。スケジューリング学会, 日本建築学会会員。