

建築プロジェクトにおける工事編成最適化問題

01507014 京都大学 古阪秀三 FURUSAKA Shuzo

1. はじめに

本稿は、『オペレーションズ・リサーチ』誌2001年7月号に掲載された拙稿「建築生産における最適化問題を考える」の一部であることをまず断っておく。本稿をもとに、発表当日により具体的な問題の解説と最適化方法について述べる。

2. 工事編成問題とは

ここにいう工事編成とは、「建物を施工するために、一定の制約条件下で、多目的なものとして各種資源を組み合わせる」と定義する。端的には現場施工チームの編成のことである。工事編成は、ゼネコンの現場所長が担当し、次の手順で行われる。すなわち、①ゼネコンの現場組織の編成、②サブコン編成の与条件の把握、③サブコンの担当業務範囲と発注単位および発注先サブコンの決定、である。工事編成の全てを現場所長が自由に決められるわけではない。建築主や設計事務所からのサブコン指定、サブコンとの長期的取引関係、コスト、品質、工期等の厳しさなどを考慮しなければならない。さらに、発注先サブコンを決定するためには、当該サブコンに出す工事の範囲を決めること（型枠工事と鉄筋工事をまとめて出すのか、別々に出すのか等）と具体的にどのサブコンに発注するかを決めることが必要である。

すなわち、工事編成最適化問題とは、これらのことを勘案しながら、コスト、品質、工期等の点で最も有利なサブコン編成を行うことである。

3. 現状の工事編成方法

工事編成の際に考慮すべきことが多岐にわたることから、ゼネコンの現場所長は、自らの経験と直感に基づいた主観的判断で工事編成を行っている。その判断基準は豊富な経験に基づいた達観である。現場所長はプロジェクトの規模にもよるが、通常は、現場経験が十数年以上ないと任命されないため、その判断に相当程度の信頼性はあるが、個人差があることは否めない。また、現実の工事編成をみると、過去に担当したプロジェクト、たとえば過去5つのプロジェクトの工事編成では、とび工事、型枠工事、鉄筋工事などにおいては、ほぼ同じサブコンに同じ工事範囲で工事を発注している。技術変化がさほどなく、また、建設産業

を取り巻く環境が安定的なときにはこのようなやり方が妥当といえるが、現在の状況では必ずしも問題なしとしない。

4. 現状の工事編成方法の問題点

近年、発注方式の多様化とサブコンの業務範囲の拡大が急速に進んでいる。発注方式の多様化では、施工一式請負での発注、設計施工一貫での発注のほか、①施工の分離発注、②Project Management/Construction Management方式での発注などが出現している。一方で、サブコンの業務範囲の拡大では、ある業種（例えば型枠工事）を専らやっていたサブコンが、他の業種の工事（例えば鉄筋工事）をも受注する方向に業務の範囲を拡大する指向が見られる。このような業務の展開方法を水平展開という。また、サブコンが労務以外に材料調達、品質管理、工程管理などをも含めて受注する方向に業務の範囲を拡大する指向が見られる。このような業務の展開方法を垂直展開という。

このように、発注方式の多様化とサブコンの水平展開、垂直展開が進む中で、工事編成の複雑性・多様性は増す。こうした状況のもとで、伝統的な、経験に基づいた工事編成方法だけに依存するには限界がある。

5. 工事編成最適化問題の解法

既に述べたとおり、工事編成最適化問題は、最適な発注単位の決定と発注先サブコンの決定という2つの問題に分けられる。これら2つの問題を扱うことができるように、工事編成最適化問題を縮約したものが工事編成マトリクスである。工事編成マトリクスを図1に示す。横軸は工種を、縦軸は業務を表す。工事編成最適化問題は、このマトリクスの各セルの担当サブコンを決定することと考えることができる。図1において、同じ模様セル群は、それらの業務を1社のサブコンが担当することを意味する。全てのセルをいずれかのサブコンに割り付けることによって、もしくは

	工種1	工種2	工種3	工種4
業務1	■	■	■	■
業務2	■	■	■	■
業務3	■	■	■	■
業務4	■	■	■	■
業務5	■	■	■	■

図1 工事編成マトリクス

ネコン自らが担当することによってプロジェクトの遂行が可能となる。

この研究で使用した躯体工事の工事編成マトリクスを図2に示す。ここで、工種は①土工、②とび（仮設足場）、③とび（鉄骨建方）、④コンクリート、⑤型枠、⑥鉄筋、⑦鉄骨などサブコンが工事を請ける最小単位で分けている。また、業務は、各工種の仕事をする場合の内訳で、①仮設・資機材、②労務、③材料、④副資材、⑤施工図、⑥工程管理、⑦品質管理に分けている。表中の「-」は、当該セルが指す業務が存在しないことを意味する。

	土工	とび		コンクリート	型枠	鉄筋	鉄骨
		仮設足場	鉄骨建方				
仮設・資機材							
労務							
材料			-				
副資材			-				
施工図			-				
工程管理			-				
品質管理							

図2 本研究における工事編成マトリクス(躯体工事)

工事編成問題の数理モデルへの変換は、以下の方針に従って行った。

- ①定量的に扱うことが可能なプロジェクト全体の間接費と管理の手間を目的関数とする。
- ②品質など定量化の難しい工事編成決定要因やプロジェクトと条件、および建築主、設計者からのサブコン指定を制約条件とする。

こうして、工事編成最適化問題は、②に示す各種制約条件のもとで、プロジェクト全体の間接費と管理の手間を最小化するようなゼネコンの担当業務範囲と発注単位を決定する組み合わせ最適化問題として、定式化できる。

ここで解くべき組合せ最適化問題は2つある。1つは、7つの工種を何社のサブコンにどのように分けて発注するかという組合せ最適化問題、2つは工事編成マトリクスの49個のセルのゼネコン・サブコン間での担当組合せ最適化問題。この2つの組合せ最適化問題を解くために、以下の3つのシステム環境を用意した。

- ①0-1整数計画問題を解くための数理計画ソルバー
- ②定式化を行い、数理計画ソルバーを起動して0-1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)
- ③各種データファイル

本システムでは、①の組合せ最適化問題にはプログラムによって組合せを全て列挙することで対応し、②

の組合せ最適化問題をソルバーに計算させている。つまり、プログラムによって数式を繰り返し作成して、ソルバーで0-1整数計画問題を解き、結果の集計を行っている。(詳細は発表当日)

6. まとめと今後の課題

以上の考え方に基づいて構築した工事編成最適化支援システムを実プロジェクトに適用し、最適化結果と実際に採用された編成との比較、およびケーススタディを通じて、モデルおよびシステムの有効性を確認した。今後取り組むべき課題は以下のとおりである。

- ①躯体工事だけでなく、仕上工事、設備工事など工事全体を扱うことができるように、モデルおよびシステムを拡張する。
- ②ゼネコンによる一式請負方式だけでなく、PM/CM方式、分離発注方式など他の発注方式へも適用できるように、モデルおよびシステムを拡張する。
- ③関係の深い複数の業務を1つのサブコンが担当した場合の、コストと管理手間への影響を評価できるように、モデルを改良する。
- ④多様な発注方式における工事編成の実態を継続して把握し、各種データや工事編成の事例および定石とされる知識を収集する。

謝辞

この研究は、筆者らの研究室で『サブパッケージ問題』として10年以上にわたって行われているもので、本稿は筆者の責任において最近の研究の一部を取りまとめたものであり、文献3)の抜粋である。この間の共同研究者である橋本貴史、和田祐考、則武讓二、藤澤克樹、金多隆の各氏に感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) S. Furusaka : Sub-package Problems of Building Construction, HABITAT INTL, vol. 14, No. 2/3, pp. 245-253, 1990
- 2) 古阪、橋本、金多：日本の建築生産システムの特性に関する研究(1) 専門工事業者の企業行動と協力会に対する意識、第15回建築生産シンポジウム論文集、pp. 125~132、1999. 7
- 3) 古阪：建築生産における最適化問題を考える、オペレーションズ・リサーチ vol. 46, no. 7, pp. 335-342、2001. 7
- 4) 和田、古阪、藤澤、金多：建築プロジェクトにおける工事編成最適化問題に関する研究-工事編成支援システムの提案-、第16回建築生産シンポジウム論文集、pp. 235-242、2000. 7
- 5) 則武、古阪、藤澤、金多：建築工事編成最適化システムの構築、日本建築学会計画系論文集、No. 550, pp. 235-242, 2001. 12