

工事管理におけるコンピュータの利用に関する研究（その2）

—シミュレーション手法による工程計画—

三 根 直 人
(技術研究所)

§ 1. はじめに

建築工事は一件毎に設計内容・敷地等の条件が異なるため、その都度綿密な工事計画を行なう必要がある。しかし、種々の不確定要因が存在するために工程が複雑化し、経験や勘のみに頼って綿密な計画を行なうことは難しい。

工事計画の基本となるのは工程計画であり、手順・日程をはじめ、工法・工所用資源の配分などについて検討を行なう。工程計画に関しては従来から各種の研究が行なわれているが、対象が複雑なためまだ多くの問題が残されている。このように複雑な事象に対してはシミュレーションを利用することが多く、工程計画においても有効と思われる。

本研究は、工事管理におけるコンピュータ利用の体系化を意図して行なっているものであり、前報でコンピュータグラフィックスを利用した工事計画方法について報告した¹⁾。本報では、計画の有効な手段と考えられるシミュレーション手法に基づいた工程計画の方法について述べる。

§ 2. 研究の目的

2.1 本研究に関する既往の研究

シミュレーション手法を利用した計画に関し、江口はネットワークによる手順検討への応用を試みている²⁾。また、繰り返し性のある作業の計画に対して Halpin は CYCLON³⁾ を、金岩は SIMCO⁴⁾ による資源配分の方法を提案している。嘉納は、GRAPSS による作業の最適化を試みている⁵⁾。Paulson は、小型コンピュータを用いた工所用機械の稼働状態の分析方法について研究を行なっている⁶⁾。

上に述べたごとく、すでに様々な研究が行なわれており、多くの成果が得られている。しかし、まだ工程計画

の実用的な手法は確立しておらず、実際の工事を対象にシミュレーション手法を適用して工程計画の最適化を試みた例は少ない。

2.2 本研究の目的と項目

建築工事のうちで、鉄筋コンクリート工事は複数の工種が複雑に絡み合う。また、工事に従事する作業者についても職種が多く、さらに各職相互の間で常に手待ちが発生しがちで、作業能率が低下しやすい。さらに、工法・作業手順・作業者数等、能率に影響する要因が多いため、その管理が難しいという問題がある。

ところで、鉄筋コンクリート工事の能率を高めるには階別工程^{注1)}を対象とした作業の具体的な検討が特に重要である。計画においては、能率に影響する要因を種々変化させて工事の結果を予測するが、定量的な評価を行なうことが難しく、計画が不十分なものになりがちである。

一般に、複雑な事象を解明するにはシミュレーションを利用することが多く、建築工事においても有効な手段になると考えられるが、作業に関する詳細な資料の不足や手法自体の適用性がまだ不明であるため、工程計画の手段としてはほとんど利用されていない。

本研究では、工程計画の最適化を図る一つの手段として工程シミュレーション手法を鉄筋コンクリート工事の工程計画に導入し、その適用性を明らかにすることを目的としている。そのために、以下に示す4項目について研究を行なった。

- (1) 工程の実態調査
- (2) 工程のモデル化
- (3) 工程シミュレーションの実施
- (4) シミュレーション結果に基づく工程計画の最適化

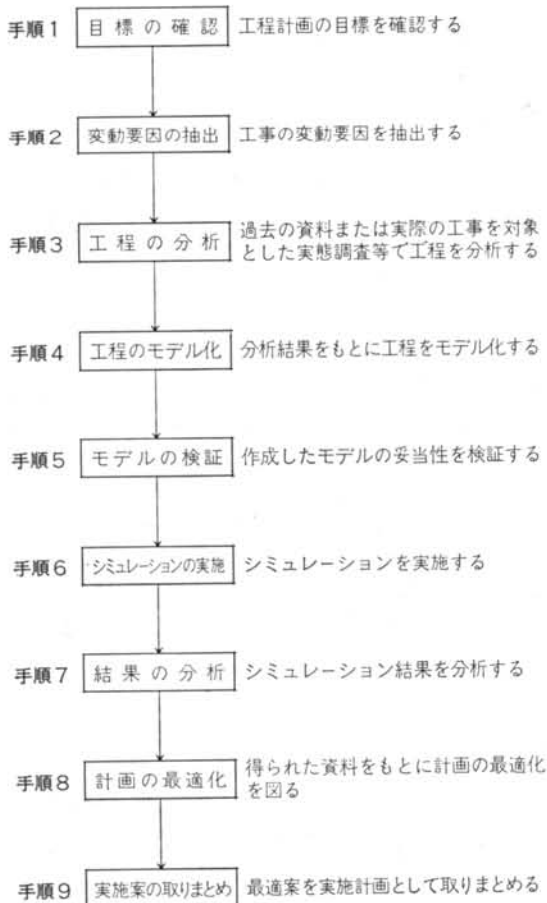
注1) 階別工程：本報では、躯体工事において直下階のコンクリート打設後に行なわれる墨出しから、コンクリート打設までの1階分の施工を完了するに必要な一連の工程をいう

§ 3. 工程シミュレーション手法の進め方

シミュレーション手法は、対象とする工程についての詳細なデータに基づき作成したモデルを用いて擬似的に工事を実施するため、工程の最適化に必要な各種の代替案を作り出すのに適した手法である。

計画では現実の工程を忠実に再現し、かつ実情に即した代替案を作り出さなければならない。このため、工程計画に適用するためには、工程や歩掛等の基礎的なデータの収集からシミュレーション結果に基づく最適化までを、体系化された手順に従って実施することが必要で、図一1は工程計画におけるシミュレーション適用の手順を示したものである。以下に、同図に示した手順の概要を述べる。

まず、実績資料や実態調査などによって基礎資料を収集し、工事の結果に影響を及ぼすと思われる要因を明らかにしたうえで、工程をモデル化する。



図一1 工程シミュレーションの実施手順

工程のモデル化が終えたら、工法・歩掛・作業者の編成などの各種の条件を変化させ、コンピュータを利用して試行を繰り返して工程上の隘路等を探る。また、変動要因と作業能率との関係などについて分析を行ない、工事計画に必要な資料を得る。このようにして求めた分析結果に基づいて、工程計画の実施案を取りまとめる。

§ 4. 鉄筋コンクリート工事の工程計画への適用

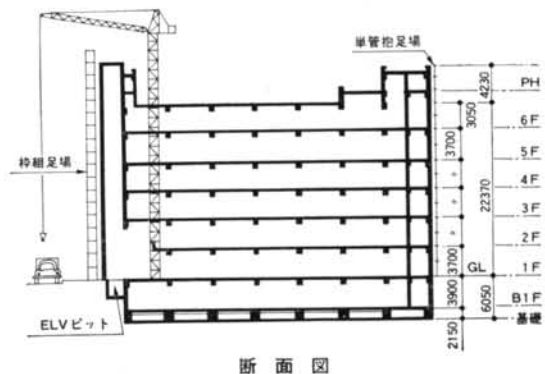
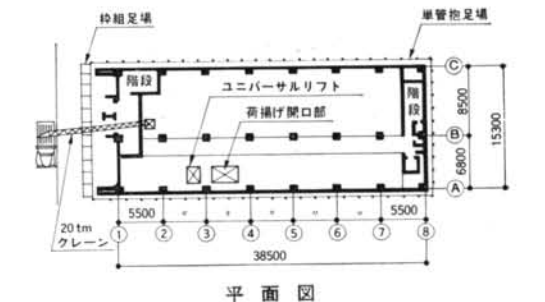
4.1 工程の実態調査

4.1.1 調査の対象

鉄筋コンクリート工事における作業の実態を明らかにして、工程シミュレーションの基礎資料を得るために、1984年10月～1985年9月（工期12か月）に施工された事

項目	内容
階数	地下1階，地上6階
建築面積	614 m ²
延床面積	4,332 m ²
軒高	25.78 m
基準階面積	614 m ²
基準階階高	3.70 m

表一 A工事の概要



図一2 A工事の平面図および断面図

事務所建築の躯体工事を対象に、階別工程の分析を行なった。表一に調査の対象とした工事の概要を示す。また、図一に建物の平面図および断面図を示す。

本工事は典型的な中規模事務所ビルの工事であり、型枠に12mm合板を用いた在来工法を採用しており、材料の加工は現場内にて行なった。また、鉄筋は場外で加工した材料を現場で組み立てて圧接する工法であった。基準階の工事数量は、型枠：2,322㎡、鉄筋：41.66t、コンクリート：246㎡であった。

4.1.2 調査の方法

1) 工程分析

工程分析は単位工程、要素工程について行なった。単位工程については、工程表に記録された実績工程を基に分析した。また、要素工程については工事担当者に対する聞き取り調査のうえ、不明な場合には作業場所に赴き工程分析の手法を用いて実地調査を行なった。

2) 工数の測定

歩掛データを取得するため、工程別の工数について測定を

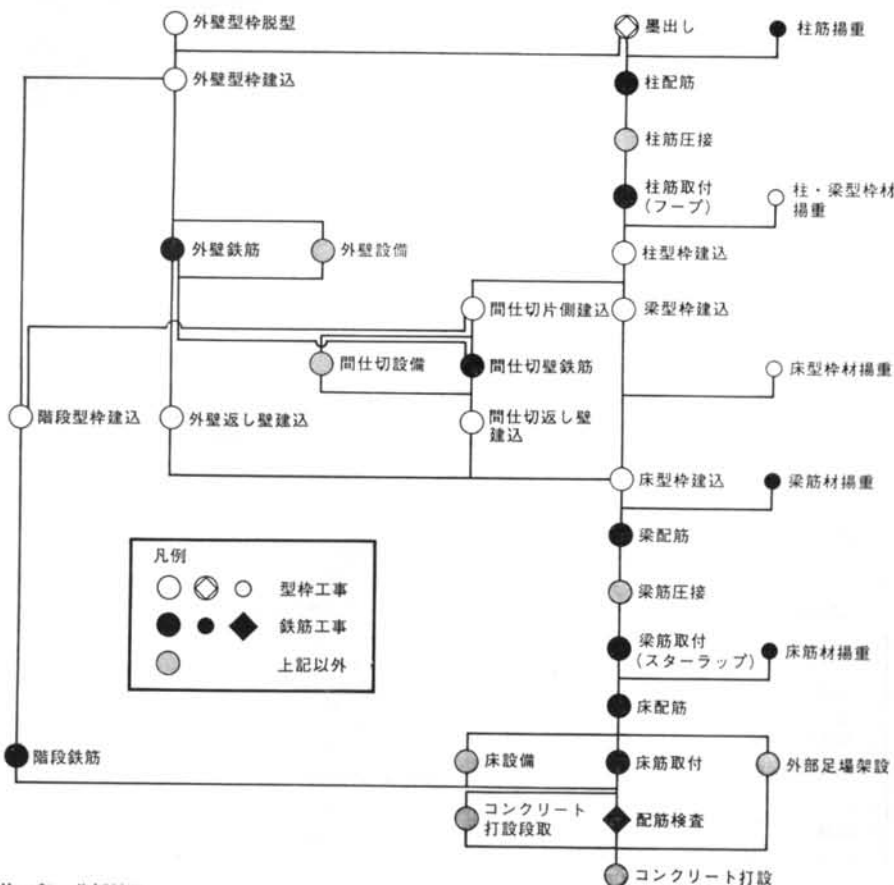
行なった。測定はワークサンプリング法を採用し、観測間隔は5分とした。観測者1~2人で始業時から終業時までの終日現場内を巡回し、作業に従事した全作業者の稼働状況を観測した。調査は、鉄筋コンクリート工事の主要な工種である型枠と鉄筋工事を対象とした。作業が安定した状態のもとでのデータを得るために、現場での作業が3回以上繰り返した後の3~6階の施工時において実施した。

4.1.3 調査の結果

1) 工程分析の結果

階別工程における単位工程の分析結果を、図一に示す。なお、工程図は JIS Z 8206(工程図記号)に基づいて表わした。

図示のごとく、全体の基幹となる工程は墨出し、柱配筋、柱・梁・床型枠建込、梁・床鉄筋などの14工程である。これらの工程に、外壁・間仕切壁・階段などの型枠・鉄筋工事の諸工程が関連をもっている。また、これらの型枠・鉄筋工事に電気の配管・給排水衛生・空調用の



図一 3 単位工程の分析結果

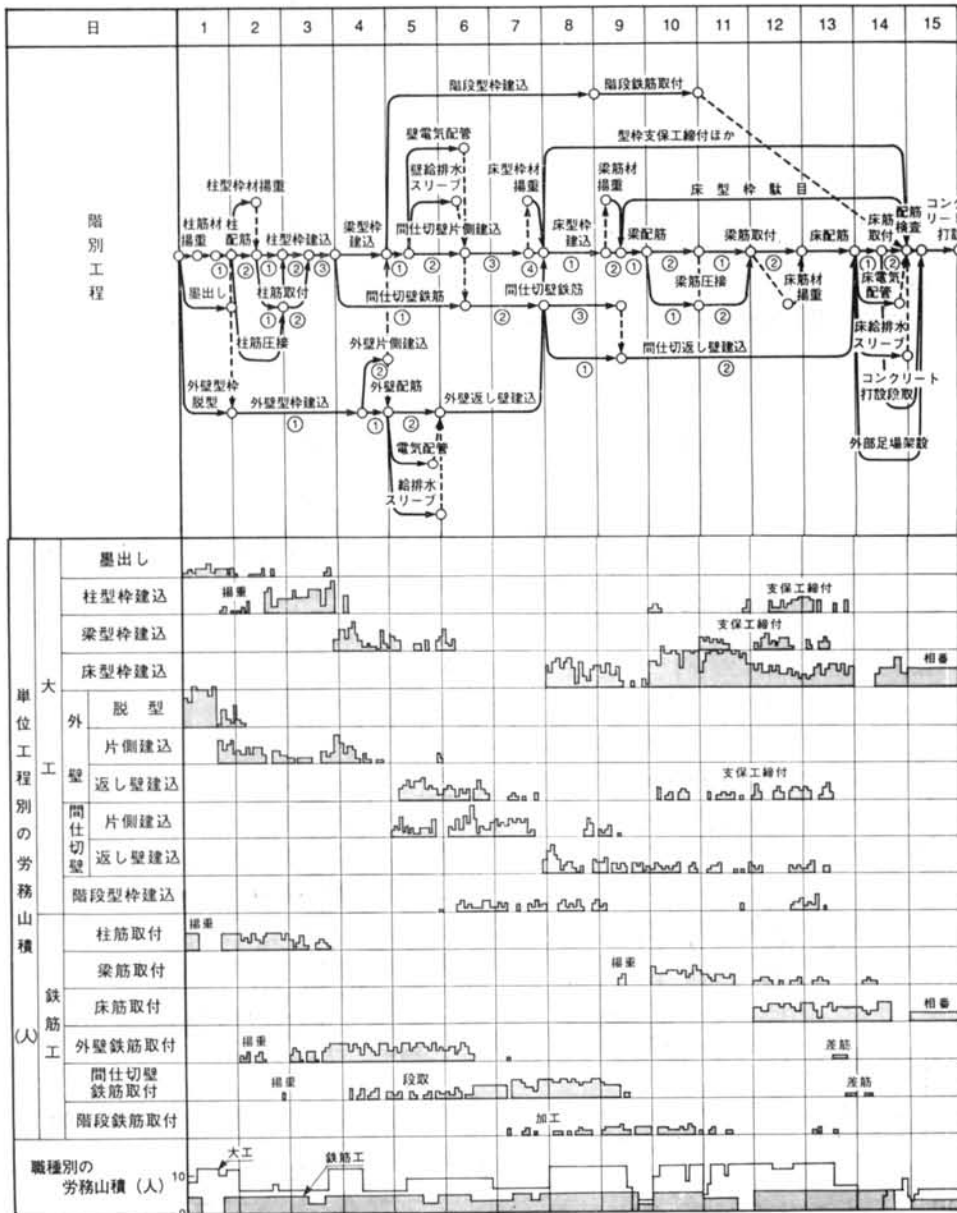
スリーブ入れなどの設備工事の諸作業が密接に関連している。

さらに、同図によって各工種の工程は互いに錯綜しており、作業に従事する大工・鉄筋工・電気工・配管工などの各職種が干渉し合うことが分かる。また、外壁・間仕切壁・梁など複数の工程が平行して行なわれるために、作業の進捗が複雑に影響し合うものと考えられる。

型枠・鉄筋・その他の工種に分けて工程数を集計した

工程	分類		型枠工事	鉄筋工事	型枠・鉄筋以外の工種	合計
	○	◇				
加工	○	加工	8	11	6	25
	◇	検査しながら作業	2	0	0	2
運搬	○	揚重(揚重機)	2	3	0	5
検査	◇	質の検査	0	1	0	1
合計			12	15	6	33

表一 各工種の工程数の集計結果



図一 4 階別工程と労務山積

項 目		歩 掛
型 枠	墨 出 し	0.07 人時/㎡
	柱 型 枠 建 込	0.79 人時/㎡
	梁 型 枠 建 込	0.77 人時/㎡
	床 型 枠 建 込	0.36 人時/㎡
	外壁型枠建込	0.64 人時/㎡
	間仕切型枠建込	0.53 人時/㎡
階段型枠建込	0.92 人時/㎡	
鉄 筋	柱 筋 取 付	9.83 人時/t
	梁 筋 取 付	10.86 人時/t
	床 筋 取 付	16.30 人時/t
	壁 筋 取 付	15.67 人時/t
	階段鉄筋取付	23.00 人時/t
筋	柱 筋 圧 接	0.18 人時/箇所
	梁 筋 圧 接	0.16 人時/箇所

表—3 単位工程別の歩掛の値

結果を表—2 に示す。

同表に示すとおり、型枠・鉄筋工事の工程数の合計はそれぞれ12, 15であり、鉄筋工事が若干多い。また、加工の工程数は型枠工事：10, 鉄筋工事：11で、ほぼ等しい。型枠・鉄筋工事の工程数の合計は27で、これは全体の工程数の82%を占めており、この2つの工種が階別工程の主要な工種であるといえる。

型枠・鉄筋以外の工程は6であり、そのほとんどを占める設備工事は外壁・間仕切壁などの型枠工事、梁・床などの鉄筋工事との相番作業となっている。このように設備工事は他工種の工程との係わりが深い。

2) 工程別の労務山積

工程分析および工数の測定データを基に大工・鉄筋工の労務山積を求め、階別工程と対応させて図—4 に示した。同図は、工程と労務山積を対応させやすいように、単位工程の分析結果をネットワークで表わした。

職種別の労務山積についてみれば、大工が0~12人、鉄筋工は0~5人の間で変動している。1日目、3~4日目、8~13日目に大工の労務山積に大きな山があり、鉄筋工の山積は工程全般にわたってほぼ均等である。

労務山積を工程別にみた場合、大工の10~13日目の床型枠建込に労務が集中していることが特徴的である。い

ずれの工程においても、作業人数が小刻みに変動している。この原因は、状況に応じて作業者が一時的に他の作業に回るためと考えられ、同一職種においても工程間の関係が複雑なことを示している。

3) 工数の測定結果

工数は、要素工程毎に人数とワークサンプリングの観測間隔(5分)を乗じて集計した。集計結果に基づいて、各要素工程について1階当たりの工数を求めるとともに、単位工程レベルで集計して工数を求めた。単位工程の工数を求める時点で単位を人時に換算した。なお、歩掛は式(1)を用いて工程別に求めた。

$$M_i = \frac{\sum_{j=1}^n (W_{ij} \times T_{ij})}{Q_i} \quad \dots\dots(1)$$

ここに、

M_i : 歩掛 (人時/㎡, 人時/t, 人時/㎡)

W_{ij} : 作業者数 (人)

T_{ij} : 作業時間 (時間)

Q_i : 工事数量 (型枠: ㎡, 鉄筋: t, コンクリート: ㎡)

i : 単位工程の番号

j : 工程の生起した順序

各工程の歩掛の値を求めて表—3 に示した。

型枠工事において、墨出しの工事数量は他の工程と異なり、施工床面積が基準となる。この墨出しを除く型枠の建込工程の歩掛は工程ごとに異なり、0.36~0.92人時/㎡の範囲にあり、階段型枠建込が0.92人時/㎡で最も大きく、床型枠建込が0.36人時/㎡で最も小さい。

鉄筋工事においては、鉄筋取付の歩掛は9.83~20.00人時/tの範囲であり、階段鉄筋取付が20.00人時/tで最も大きく、柱鉄筋取付が9.83人時/tで最も小さい。また、圧接作業については柱・梁の部位により値が若干異なるが、それぞれ0.18人時/箇所、0.16人時/箇所ではほぼ等しい。

4.2 工程のモデル化

4.2.1 モデルを構成する要素

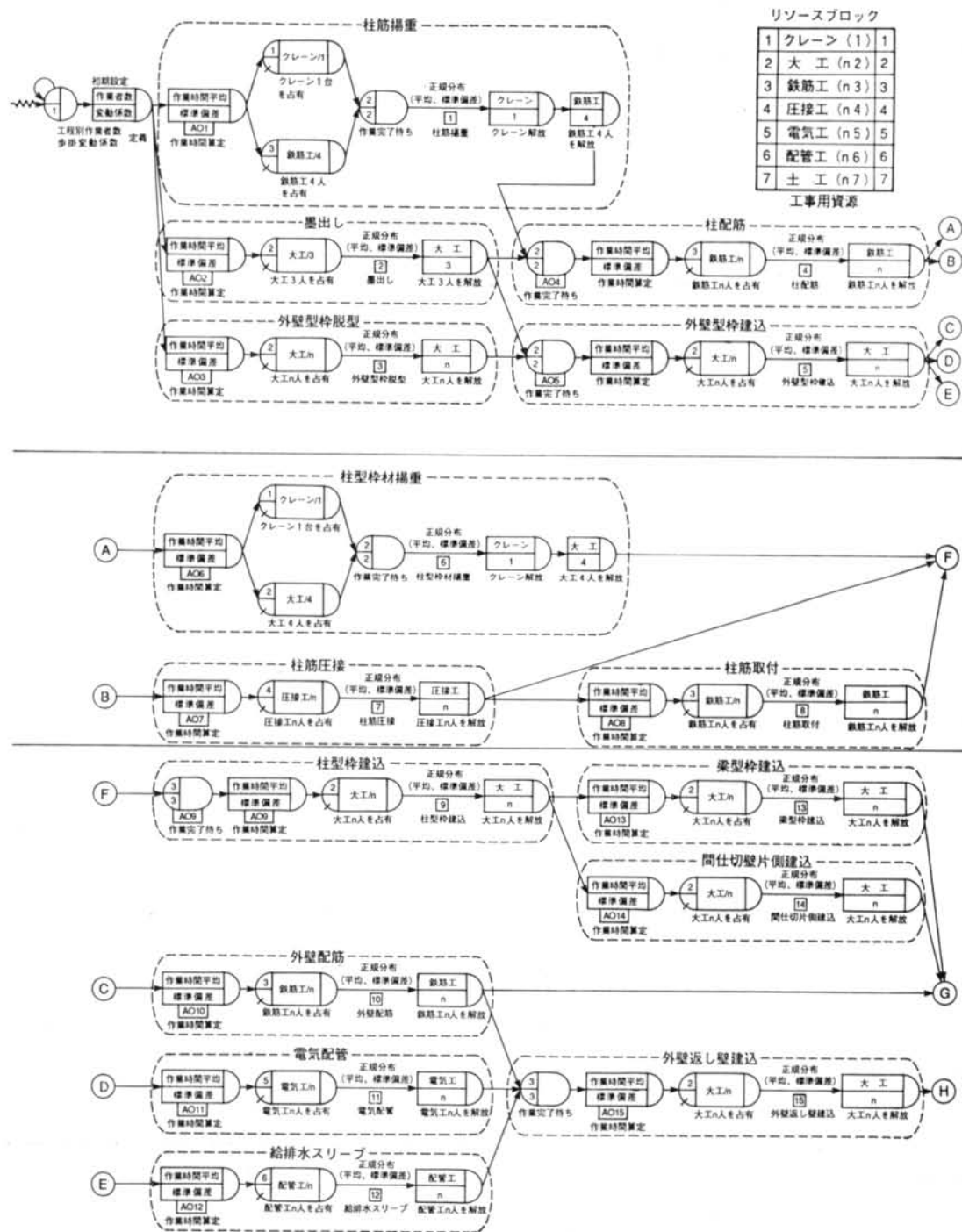
工程の調査結果に基づいて、躯体工事に従事する作業

工 種	職 種	単 位 工 程
型 枠	大 工	墨出し、型枠揚重、柱型枠建込、梁型枠建込、外壁型枠脱型、外壁返し壁建込、外壁片側建込、間仕切片側建込、間仕切返し壁建込、階段型枠建込、床型枠建込、床型枠駄目、型枠支保工締付、他
鉄 筋	鉄筋工	鉄筋材揚重、柱配筋、柱筋取付、梁配筋、梁筋取付、外壁鉄筋、間仕切壁鉄筋、階段鉄筋、床筋取付
	圧接工	柱筋圧接、梁筋圧接
設 備	電気工 配管工	電気配管 給排水スリーブ、空調用配管スリーブ・インサート
コンクリート	土 工	コンクリート打設取付、コンクリート打設

表—4 モデル化の対象とした職種と単位工程

者の作業に着目して工程モデルを検討した。型枠は大工、鉄筋は鉄筋工と圧接工，設備は電気工と配管工，コンク

リートは土工がそれぞれ担当している。本シミュレーションでは解体工が行なう脱型作業は除いた。職種別に単



図一五 SLAM IIによる鉄筋コンクリート工事のシミュレーションモデル (部分)

位工程をまとめて表-4に示す。

4.2.2 シミュレーションモデルの体成

単位工程相互の関係を基にして、SLAMⅡ⁷⁾を用いてシミュレーションモデルを作成した。表-4に示す各種職種を工事用資源として、モデルの構成要素とした。工事用資源は、同表に示した職種の他に各工程で使う材料の揚重用クレーンを加えた。SLAMⅡを用いたモデルは、階別工程をそのまま順序関係のロジックで表わして作成することができる。図-5に、鉄筋コンクリート工事のシミュレーションモデルの一部を示す。

モデルに含まれる工程相互の関係をネットワークで表わし、各工程毎に必要な作業員数を設定して、工程の開始と同時に職種別に必要な数の作業員が作業に従事し、終了と同時に不稼働状態となるモデルとした。

4.3 シミュレーションの実施

4.3.1 工程に影響を及ぼす要因

工事の結果は稼働率・所要日数・工数などの指標を用いて評価され、これらは選択する工法・作業員の技能など様々な要因の影響を受ける。このように、作業の能率に影響を及ぼすと思われる要因は少なくないが、本報では工事に顕著な影響を及ぼすと思われる(1)歩掛とその変動、(2)作業員数の2項目を取り上げた。

実態調査の結果に基づいて(1)、(2)の各項目を計画の条件とした。まず、歩掛の変動が能率に与える影響を把握した後に、作業員数と工事結果との関係について稼働率^{注2)}、階別所要日数^{注3)}、総工数^{注4)}の面から分析を行なって鉄筋コンクリート工事の工程の特性を明らかにした。

4.3.2 歩掛とその変動

鉄筋コンクリート工事における主要な工種である型枠・鉄筋工事の歩掛については、工数の測定結果に基づい

項目	変動係数
墨出し	43
柱型枠建込	30
梁型枠建込	31
床型枠建込	42
外壁型枠建込	31
間仕切型枠建込	25
階段型枠建込	42

表-5 型枠工事の歩掛の変動係数(%)

項目	シミュレーション結果	A工事の実績	シミュレーション/実績
階別所要日数	15.4日	15.0日	1.03
総工数	2312人時	2358人時	0.98

表-6 シミュレーション結果とA工事の実績値の比較

て値を設定した。仮設・設備・コンクリート工事については測定したデータがなかったため、標準工事歩掛要覧⁹⁾を基に推定した。また、歩掛の変動については、過去の調査実績に基づいて求めた表-5に示す変動係数を用いた⁹⁾。

同表に示すごとく、歩掛の変動係数は工程毎に異なっており、その範囲は25~43%である。そこで、変動が不明な工程については型枠工事と同程度であると仮定し、25~43%の中央値に近く切りの良い35%を歩掛の変動係数とした。

4.3.3 シミュレーションモデルの妥当性の検討

作成したモデルの妥当性を検討するために、設定した条件のもとでシミュレーションを行なって、以下に示す項目についてA工事の実績と比較した。

- (1)工程別の労務山積
- (2)階別所要日数
- (3)総工数

主要職種である大工および鉄筋工の2職種を対象として、工程別の労務山積についてシミュレーションの結果と実績とを比較して図-6に示す。工程別にみた労務山積は、材料揚重・支保工取付などの細かな部分を除いた主要な部分ではシミュレーション結果と実績とはほぼ一致している。また、職種別の労務山積についても若干の違いが認められるが、ほぼ一致していると考えてよい。

階別所要日数について、シミュレーション結果と実績とを比較して表-6に示す。

また、総工数についても同表に示した。なお、工数の測定は大工・鉄筋工のみを対象に行なったため、シミュレーションの結果については他の職種の工数を除いて、大工・鉄筋工について集計した。

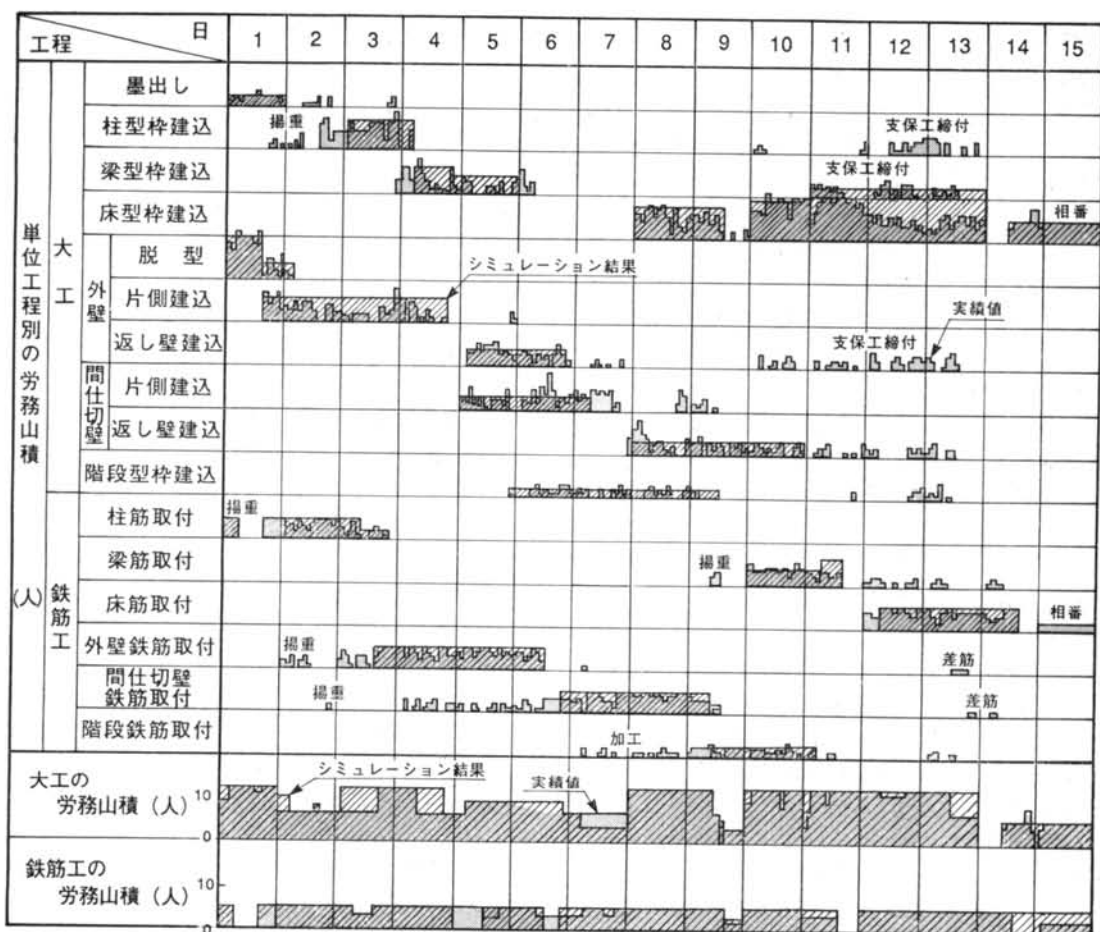
シミュレーション結果とA工事の実績値とを比較すると、階別所要日数ではそれぞれ15.4日、15.0日であり、両者の差は0.4日である。また、総工数は実績値が2358人時であるのに対して2312人時であり、両者の差は46人時であった。同表のごとく、実績に対するシミュレーション結果の比を求めると階別所要日数・総工数とも±3%以内であり、両者はほぼ一致していると考えてよい。

以上の結果から考えて、作成したモデルは実際の工程を正確に表わしているといえる。

注2) 稼働率：本報では、総工数(手配した作業員人数×階別所要時間[時間])に対して作業員が各単位工程に従事した工数の和の百分率をいう

注3) 階別所要日数：本報では、階別工程の施工を完了するのに必要な正味日数をいう

注4) 総工数：本報では、階別工程を施工するために作業に従事した職種の工数の総和(人時)をいう



図一六 労務山積のシミュレーション結果と実績値の比較

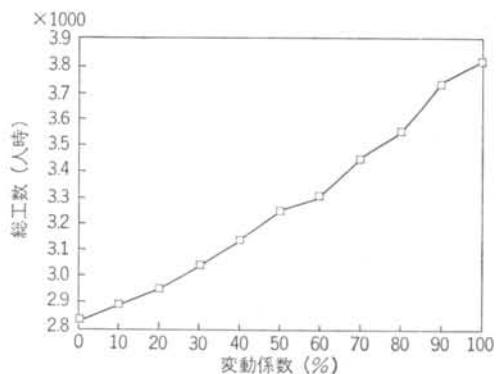
4.4 工程計画におけるシミュレーション結果の適用

4.4.1 工程の特性の分析

1) 歩掛の変動の影響

一般に、鉄筋コンクリート工事では階段など標準化の遅れている部分の作業の変動は大きく、工程を乱す原因となっている。従来から、歩掛の変動が能率に及ぼす影響について指摘されている¹⁰⁾。しかし、それらの影響について、定量的な分析は十分にされていない。本報では、鉄筋コンクリート工事における各工程の変動係数がすべて等しいと仮定し、工事に与える影響を調べた。変動係数と総工数の関係を図一七に示す。

同図に示すごとく、変動係数が大きくなるに従って総工数が増加する。変動係数が35%であるモデルの総工数3090人時に比較して、変動がない場合(変動係数0%)には総工数が2820人時であり、8.7%減少している。一方、変動係数が100%では総工数の値は3825人であり、



図一七 歩掛の変動係数と総工数の関係

23.8%増加する。

この結果から考えて、歩掛の変動が総工数に影響を及ぼし、その変動が大きいと能率が低下することが明らかである。これは、能率を上げるためには作業の安定化を図り、歩掛の変動を小さく抑えることが重要なことを示している。

作業を安定させるには作業者の習熟効果を促進することが効果的な方策であり、このためには作業の標準化が必要である。鉄筋コンクリート工事における標準化の課題としては、主要な項目として以下の2点についての改善が必要と考えられる。

(1)変動の大きい床型枠(変動係数42%)・階段型枠(同42%)の各建込作業については、工法を改善して単純化を図る。

(2)同様に、墨出し(同43%)については図面の表記法を標準化し、作業範囲を明確化する。

2) 作業者の実働率

大工および鉄筋工について、作業者数を種々変化させてシミュレーションを行なった。結果を、鉄筋工の人数と全作業者の実働率の関係で表わして図-8に示す。なお、すべての工程の歩掛の変動係数は35%とした(以後の分析においても同様とする)。

同図に示すごとく、実働率は鉄筋工の人数が増えるに従って高くなる。鉄筋工の人数が等しい場合には、大工の人数が多いほど実働率は高い。同様に、同一人数の鉄筋工について大工の実働率の変化をみると、例えば鉄筋工が5人の場合、大工の人数が8人から10人に変わる時点で実働率が45%から56%に急激に高くなり、この増加の割合はその後徐々に減少する。

シミュレーションを行なった範囲では、全作業者の実働率は人数が増えるほど高くなるが、実働率の増加の割合は徐々に減少している。

3) 階別所要日数

鉄筋工および大工の人数を変化させた場合の、階別所要日数の変化を図-9に示す。同図に示すごとく、鉄筋工の人数の増加に伴って階別所要日数が短縮される傾向を示し、これは大工の人数が多いほど顕著である。例えば、鉄筋工が5人の場合、大工の人数が10人以上の場合に比較して、8人では16.2日から19.9日へと急激に長くなっている。また、大工が12人の場合、鉄筋工の人数が4人から3人に減る時点で16.8日から19.8日へと急激に変わり、大工の場合と同様の傾向が認められる。

これは、作業者数がある限度以下になると、階別所要日数が急激に増すことを示している。このことから、適正な工期を維持するためには最小限必要な作業者数が存在することが分かる。この例では、大工については8~9人程度が最小限必要な人数であると考えられる。

また、作業者数が増加するのに伴って、階別所要日数が短縮される割合が徐々に減少する。このことは、工期を短縮するために、むやみに多人数の作業者を投入しても、ある限度を超えると効果がないことを示している。

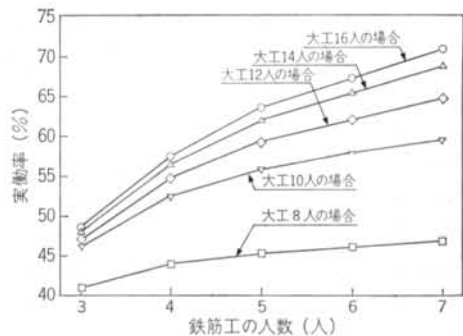


図-8 作業者数と実働率の関係

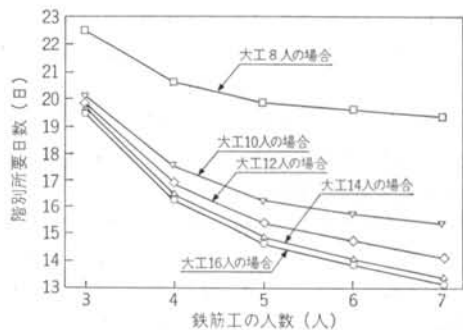


図-9 作業者数と階別所要日数の関係

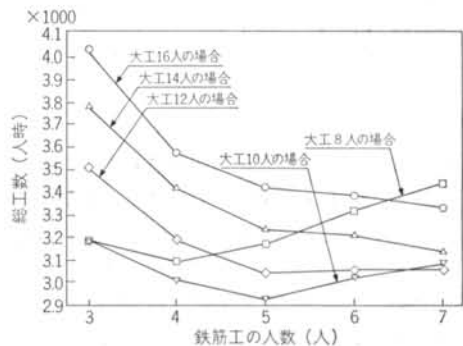


図-10 作業者数と総工数の関係

4.4.2 工程計画における作業者数の最適化

1) 総工数の最小化

工程計画における最適化の評価項目は工事によって異なり様々であるが、作業者数を検討するうえでは実働率・階別所要日数・総工数などが評価指標となる。通常、工事数量等の条件が同一の場合、作業の結果は工数で評価されることが多い。そこで、大工・鉄筋工を対象に作業者数と総工数との関係について分析を行なった。

鉄筋工の人数と総工数の関係を図-10に示す。同図に示すごとく、大工が14人以上の場合には、鉄筋工の人数が3人から7人に増加するに伴って総工数が減少しており、この傾向は大工の人数が少ないほど顕著である。

一方、大工が12人以下の場合、鉄筋工の人数と総工数の関係は下に凸の曲線となり、鉄筋工の人数に最小値がある。これは、総工数が最小になる最適な作業者数の組み合わせが存在することを物語っている。

大工8人の場合には、鉄筋工4人の総工数3090人時が最小値であり、大工10人の場合には鉄筋工5人の総工数2920人時が最小値である。このように、大工の人数が少ない場合には鉄筋工の人数が少ない方に最小値が存在し、大工の人数が多くなるに従って最小値が鉄筋工の人数の多い方に移動する傾向が認められる。

大工が8、10人の場合は、大工が10人を越える場合に比較して鉄筋工の人数と総工数の関係が異なり、特異である。すなわち、鉄筋工4～5人でいったん低下した総工数が、鉄筋工の人数が増えるに従って再び増加し、鉄筋工7人のときに最も総工数が多くなっている。これは、各職種の作業者数が極端に不均衡になると総工数が増加することを示している。

作業者数と総工数との関係を利用することによって、作業者数の最適化を図ることが可能である。このときの制約条件として、図-9に示した作業者数と階別所要日数の関係を利用することができる。例えば、階別所要日数18日以下、大工の人数12人以下で総工数が最小となる鉄筋工の人数は、図-9および図-10を基にして求められる。この場合の最適な鉄筋工の人数は5人であり、このときの総工数は2920人時である。

2) 労務費の最小化

労務費算定の対象は、大工・鉄筋工・圧接工・設備工（電気工・配管工）・土工とし、大工の労務単価を1.00としたときの各職種の相対的な労務単価（本報では、労務単価指数という）を表-7のごとく求めた^{注5)}。シミュレーション結果をもとに、同表に示した指数を用いて階別工程の労務費に相当する指数（本報では、コスト指数という）を求めた結果を図-11に示す。

所要日数に制約がない場合は、大工10人・鉄筋工5人の場合の労務費が2380で最小であり、これが最適な作業者数である。このときの階別所要日数を図-9によって求めると、16.3日である。

通常、所要日数は制約条件として与えられる。例えば15.0日が与えられた場合は、まず図-9を用いて階別所要日数15.0日以下の場合を選択し、次に図-11を用いて最適な作業者数の組み合わせを選択する。

この例では、所要日数15.0日以下の条件を満足するのは図-9より、大工12人・鉄筋工6人以上、大工14人・

注5) A社における1990年4月現在の取極単価の労務費相当分を基に算定した

職 種	労務単価指数
大 工	1.00
鉄 筋 工	0.76
圧 接 工	1.45
電 気 工	0.80
配 管 工	1.09
土 工	0.60

表-7 各職種の労務単価指数

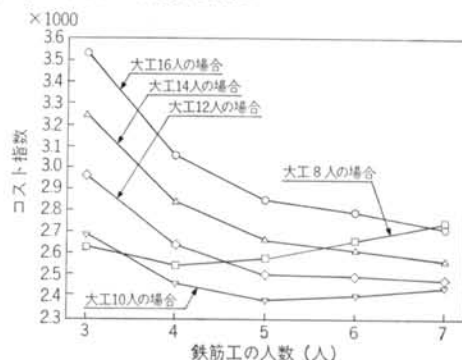


図-11 作業者数とコスト指数の関係

鉄筋工5人以上、大工16人・鉄筋工5人以上の8つの場合である。このうちで、コスト指数が最小となるものを図-11を用いて求めれば、大工12人・鉄筋工7人の場合であり、このときのコスト指数は2490となる。

§ 5. おわりに

本報では、シミュレーション手法の工程計画への適用性を明らかにするために、鉄筋コンクリート工事を対象に行なった実態調査の結果に基づき工程を SLAM II によってモデル化し、シミュレーションを行なった。

この結果、必要なデータが十分に得られる場合には、作成したモデルは現実の工程を正しく表現できることが分かった。また、各種の要因を変化させ、種々の条件下における工程の進捗状況を明らかにすることによって、工程計画における実働率・所要日数・工数をもとに、作業者数の最適化を図ることが可能なことを確認した。

本報で述べたシミュレーション手法とコンピュータグラフィックス等を組み合わせることによって、効果的な計画方法として確立してゆくことが今後の課題である。

謝辞 本研究を進めるに当たっては終始、早稲田大学教授田村恭博士、同嘉納成男博士のご指導を賜った。また同大学院博士課程李興遠氏には、SLAM II によるモデル化およびシミュレーションのご協力を頂いた。末筆ながら、ここに改めて感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 三根直人, 小林公博, 山崎雄介: “工事管理におけるコンピュータの利用に関する研究 (その1) コンピュータグラフィックスを利用した工事計画方法” 清水建設研究報告 第50号 (1989年10月) pp. 71~80
- 2) 江口禎, 板谷俊郎: “アクティビティ間の先行従属関係群を変化させる工程シミュレーション (その1)” 日本建築学会関東支部研究報告集 (1980年7月) pp. 409~412
- 3) D. W. Halpin: “CYCLONE-Method for Modeling Job Site Processes” Journal of Construction Division, ASCE, Vol. 103, No. 3 (1977) pp. 489~499
- 4) 金岩哲夫: “建設工事のためのシミュレーションモデル (SIMCO) の開発 (繰り返し性のある工事の資源配分の手法)” 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1981年10月) pp. 479~480
- 5) 嘉納成男: “作業工程計画手法の開発—建築工事の工程計画手法に関する研究” 日本建築学会計画系論文報告集 No. 363 (1986年5月) pp. 94~103
- 6) B. C. Paulson et al.: “Construction Operations Simulation by Microcomputer” Journal of Construction Engineering & Management, ASCE, Vol. 113, No. 2 (1987) pp. 302~314
- 7) 森戸晋, 相沢りえ子: “SLAM II によるシステム・シミュレーション入門” 構造計画研究所 (1986年10月)
- 8) 工事歩掛研究会編: “標準工事歩掛便覧 (4版)” 経済調査会 (1987年6月) p. 1095
- 9) 田村恭, 三根直人: “建築工事における型枠建込み作業の実態の調査分析” 早稲田大学理工学研究報告 No. 129 (1990年9月) pp. 34~57
- 10) 室英治: “建築工事の労務工数とその標準化に関する研究” 京都大学学位論文 (1988年6月) pp. 249~280

