

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 —

三 根 直 人
(技術研究所)

小 林 公 博
(情報システム部)

山 崎 雄 介
(技術本部)

§ 1. はじめに

建設工事が高度化、複雑化している。その一方で、慢性的な作業者、工事管理者の不足は深刻である。そのため、工事を担当する管理者の負担が増し、管理の合理化が緊急の課題となっている。このような状況のもとで、工事を適切に進めてゆくための管理技術の必要性が高まっている。

筆者らは、建設工事の生産性向上を目指し、工事管理の面から研究を行ってきた。本研究は、一連の研究のうち工事管理へのコンピュータの利用について行なっているもので、本報告では特にコンピュータグラフィックス（以後、CG と呼ぶ）を利用した工事計画の方法について述べる。

まず、工事計画におけるコンピュータ利用の現状を述べ、今後の課題を明らかにする。次に、工事計画におけるコンピュータの利用方法を検討する過程について述べ、最後に土工事の仮設計画を事例として、開発したシステムの概要を紹介する。

§ 2. 研究の目的と範囲

コンピュータの新しい技術は、工事計画の進め方についての新たな可能性を示している。今後は、これらの諸技術を前提とした新しい管理技術を確立してゆく必要がある。本研究は、このような観点からコンピュータを利用した工事計画の方法を確立することを目指し、その一環としてCG利用の可能性を検討しているものである。

コンピュータを利用して工事計画をシステム化するには、計画のどのような項目を対象とすべきか明らかにする必要がある。しかし従来、計画作業を対象としたシステム化については、ほとんど検討されていない。本研究はこの点に着目して、工事計画をシステム化の際の課題の設定過程を明らかにするとともに、計画システムの

事例を提案することを目的としている。以下に、本研究の範囲を示す。

- (1) コンピュータ利用のねらいの明確化
- (2) 工事計画におけるコンピュータ利用方法の検討
- (3) 工事計画におけるCGの機能と適用分野の明確化
- (4) データ構造の検討
- (5) 土工事の仮設計画を事例としたシステム化

§ 3. 工事管理におけるコンピュータの利用

3.1 コンピュータ利用の現状

建設工事の様々な分野でコンピュータが利用され始めた。当初、原価管理や資材管理など定型的な事務処理業務に始まった作業所でのOA化は、その後次第に技術的な業務にまで拡張されるようになった。

技術面での利用においても、当初は技術計算を主体としたものが中心であったが、最近では施工図の作成などより複雑な業務へとその利用範囲を拡大しつつある。

大規模な工事において、中型コンピュータを設置して行なっていた山止工事の計測管理にもマイコンが利用されるようになった。このように、工事の状況を常時監視しながら施工することを情報化施工と呼んでいる¹⁾。

最近では、ICカードやマイクロメモなどの超小型の情報記憶媒体を利用して、労務管理などの分野でもシステム化が図られつつある²⁾。

海外においては、大学が中心となって知識ベースを初めとする人工知能を、建設に応用する研究に取組み始めている³⁾。米国ではすでに、CADのデータをもとにした建設工程の計画を自動的に作成するための基礎的な研究に着手している⁴⁾。我が国においても、工程計画や工法選択などに知識ベースを応用することを意図した研究が何編か発表されている^{5)~7)}。

しかしながら、施工分野においては未だコンピュータを十分に利用している状況とはいえない。本格的な利用

はこれからであり、その可能性についての基礎的な研究が必要である。

3.2 工事計画におけるコンピュータ利用のねらい

今日、CG、人工知能、画像処理などコンピュータの新しい利用技術が実用段階に入りつつある。これらの諸技術は、従来コンピュータでは難しかった視覚的な情報の処理や、人間が行なう複雑な推論、パターン認識などを工事管理に利用することを可能にした。また、通信、センシングなどのエレクトロニクス技術も建設工事に大きな影響を及ぼすと考えられる。これらの新しい技術を工事計画や管理に積極的に利用してゆくことは、建設生産を合理化し、生産性を向上する上で重要な課題である。

工事計画の分野において、コンピュータの新しい技術を利用するねらいをまとめれば、以下のとおりである。

- (1) 計画者の創造性を活かして、個々の工事の条件に適合した最適な計画を作成する。
- (2) 過去に行なわれた実績を参照し、専門家の知識や経験を有効に利用することによって計画作業を円滑に行なうとともに、計画内容の水準を維持する。
- (3) 計画作業の時間を短縮し省力化を図り、数多くの代替案を検討して質の高い計画を作成する。

§ 4. 工事計画におけるコンピュータの利用方法の検討

4.1 CGの利用の現状

従来のコンピュータ技術では視覚的な情報の処理が困難であったために、ほとんどの情報は文字、数字、記号などによって処理されていた。そのため、複雑な工事情報のごく一部しか取り扱うことができず、コンピュータの利用範囲が限定されていた。

現在ではコンピュータ技術が発達し、CGを利用して仮設やコンクリート躯体図などの施工図を作図するソフトウェアが普及し始めている⁸⁾。このように、CGの活用によって、従来は難しかった計画のさまざまな作業をコンピュータで支援することが可能となった。

しかし、一部のものを除いて⁹⁾、これらの多くは単なる作図用のソフトウェアであり、完成した計画のスケッチを消書することが主な目的となっている。まだ計画作業の本質的な部分を支援するものとはなり得ていない。

4.2 検討の方法

前節において、現状では工事計画におけるCGの利用

が、単なる作図程度にとどまっているものが多いことを述べた。したがって、3.2に述べたコンピュータ利用のねらいを十分に満たしているとはいえない状態である。工事計画における効果的な利用方法を検討する必要がある。

本節では、工事計画におけるコンピュータ技術の新しい利用方法を検討した。この段階では分析的な手法は有効でなかったため、設計的な方法であるワークデザインの手法を用いて、工事計画におけるコンピュータ利用の課題を設定することを試みた。以下に、ワークデザインの手順に従って述べる。

4.3 機能展開

「CADによる施工図の作成」という作業を手掛りシステムとして、機能展開を行なった。図-1に機能展開の結果を示す。

同図に示すごとく、手掛りシステムに対する機能をF0として、次第に上位の機能に展開し、F7の「施主の要求に……施工を行なう」の機能まで展開した。設定すべき内容が工事計画ということに限定されているため、展開はF7レベルの機能までとした。

4.4 対象となる機能の設定

機能展開の結果をもとにして、設定すべきシステムの機能レベルを検討した。コンピュータを利用した工事計画を対象としていることから考えれば、F3レベルの機能が適当である。しかし、このレベルではコンピュータ技術の機能が「情報を視覚的に表現する」ことに限定されており、システム案を検討するには若干狭い。そこで、「計画の内容を、視覚的な情報に基づいて検討する」という機能を含めるために、より高次のレベルであるF4レベルの「施工時の作業状況を……正確に伝達する」を検討すべき機能とした。

以上に述べた機能展開の結果をもとにして、システムの大略案を以下のようにまとめた。

「現状で使用可能なキャタリストを使って、施工上の制約を考慮し、施工時の作業状況を視覚化して検討するとともに、その結果を工事計画としてまとめ、工事の関係者に正確に伝達する」

4.5 サブシステムの検討

設定した大略案をシステムの機能として、ホッパー展開を行なった。インプット(I)、機能(F)、アウトプット(O)の関係を明らかにして、システムを構成するコンポーネントを抽出した。図-2に、システムの大略案

についてホッパー展開した結果を示す。

図-2に示したコンポーネントのうち、F₄₋₉機能を有するコンポーネントが、各種の検討を行なった後に計画の内容を総合的に検討するための機能である。したがって、この部分が全体システムのなかで基幹となる機能であると考えられる。このサブシステムにおいて、種々のコンピュータ技術を適切に利用することによって、計画作業を効果的に支援することができる。

4.6 コンピュータの役割

工事計画の項目は多岐にわたるが、技術的な計画においては視覚情報をもとにして、専門的に高度な判断を繰り返しながら作業を行なうものが多い。すなわち、計画者が経験に基づいて頭の中に施工の場面をイメージし、それを種々変化させながら計画をまとめてゆく。状況が複雑になった場合は、イメージを視覚化するためにスケッチ、図面、模型などを利用する。

前節において、工事計画を作成する過程では、各種の計画を行なった後に、それを視覚化して総合的に検討す

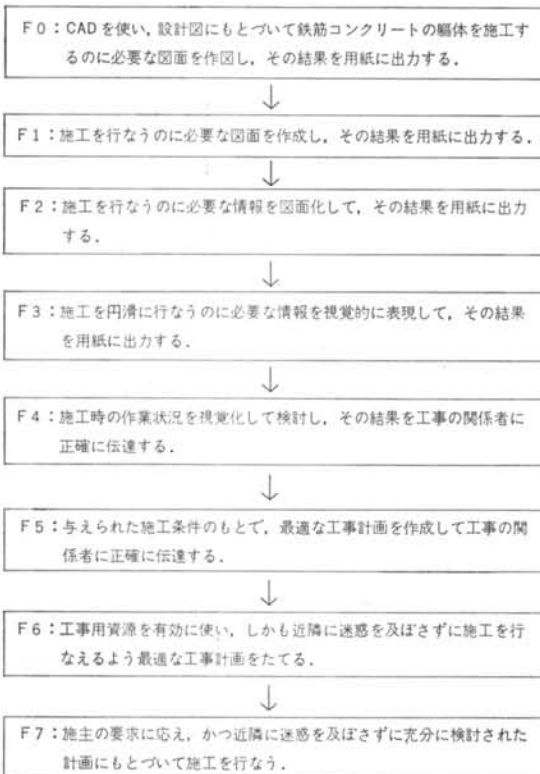


図-1 「CADによる施工図の作成」を手掛りシステムとした機能展開

る機能が重要なことを明らかにした。この段階では、下記の5つの面から計画者を支援することがコンピュータの役割である。

- (1)概略の形状・寸法の視覚的表現
- (2)専門家の知識の参照
- (3)視覚情報による必要情報の参照
- (4)視覚表現による情報の伝達
- (5)概略計画にもとづいた詳細計画の自動作成

§ 5. 工事計画におけるCGの機能と適用分野

5.1 工事計画に係わる要素

CGの機能と適用分野を明らかにするために、工事計画に係わる要素および各要素間の関係を足掛りとして、工事計画の内容を分析した。工事計画の要素として取り上げた項目は、作業、資源、部位、空間、専門工事業者、管理の7種類である。表-1に、各要素の分類およびその内容を示す。

工事計画においては、同表に示した個々の要素、または各々の要素を組合せた項目を対象として計画が行なわれる。例えば、手順・日程計画は作業を対象としたものであり、型枠の工法計画は部位と作業の組合せを対象としたものである。

5.2 CGの機能と適用分野

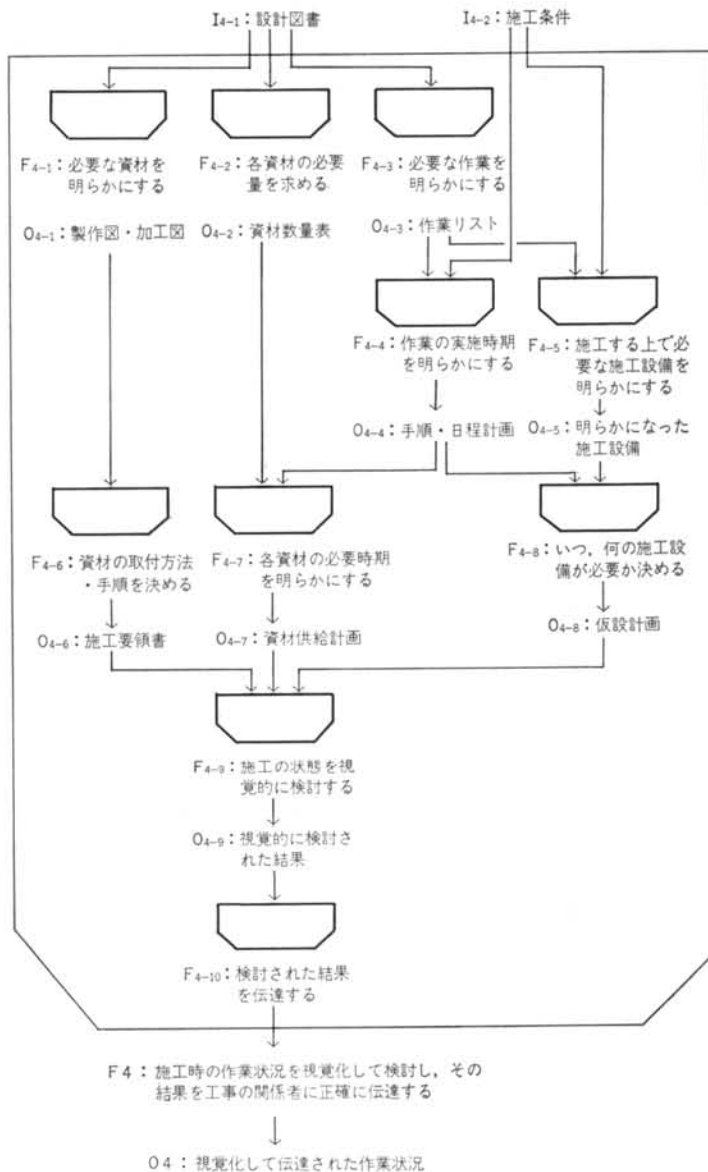
表-1に示した要素のうち、資源、部位は具体的な物体であるため、視覚的な情報に基づいた計画が主体となる。特に、各部位に対する工法の検討、資源の空間的な配分などは工事計画における基幹となる項目である。すなわち、工事計画においては、以下に示す2組の要素間に係わる項目が視覚的に重要な情報である。

- (1)部位—作業
- (2)空間—資源

この内容について整理した結果を表-2に示す。同表に示すごとく、CGを用いた工事計画の機能としては、以下に示す情報を計画者に提供することが最も必要が高いと考えられる。

- (1)施工法を検討する際の作業の過程
- (2)投入される工事用資源(材料、作業員、工事用機械・設備)の配置

以上に述べた事項から考えて、各種の施工法に対する作業の過程について、工事用資源の位置的・量的な関係を視覚的に検討することが、CGの適用分野としては利



図一 2 ホッパー展開の結果

用価値が高い。工事計画の中でも、現場内のレイアウトや施工設備の選択と配置を検討する仮設計画などがこれに該当する。

§ 6. データ構造の検討

6.1 資材と資材間の関係の表現方法

前項において、工事計画で視覚的な情報を最も必要とするのは、仮設計画における資材の取り扱いを対象とす

る部分であることを示した。仮設計画など、多種類の資材の組合せを選択する作業では、資材の組合せを変えながら検討を行なう。コンピュータ上でこれを効率的に行なうには、資材の組合せについて、そのデータ構造をパターン化しておく必要がある。そのために、本節では構造物を構成する資材と資材同士の関係を表現する方法について述べる。

資材をノード、資材間の関係をアローで表わすことによって、構造物を構成する資材間の複雑な関係を表わすことができる。資材同士は、以下に示す3種類の関係で

分 類		内 容
作 業	工 程	工程 作業順序
	方 法	工法 作業方法
	時 間	日程 (開始日・終了日) 作業日数・時間
資 源	材 料	材料名, 規格 数量 コスト
	作 業 者	職種, 技能 人数 コスト
	施 工 設 備	機種, 規格 数量 (台数) コスト
部 位	—	部位名 施工数量
空 間	—	場所 範囲 (作業範囲, 作業空間)
専門工事業者	—	企業名 作業責任者 職長
管 理	—	管理責任者 技術者 事務担当者

表一 1 工事計画に係わる要素
表わす。

- (1)AND (分割関係)
- (2)OR (選択関係)
- (3)EQ (EQUIVALENT) (同等関係)

資材をノード, 資材間の関係をアローで表わした簡単な例を図一 3 に示す。

同図において, 各ノードは構造物を構成する資材を示しており, 各アローは資材同士の関係を表わしている。構造物 A は, 資材 A1 と A2 で構成される。資材 A1 は, 資材 A11 または A12 のいずれかを選択して使用する。資材 A2 を使用する場合は, 同時に A2' を必ず使用する。複雑な構造物の場合には, この関係がより高次な階層構造となる。

資材をこのように関係付けることによって, コンピュータ上で視覚表現する場合のデータ構造をパターン化することが容易になる。

6.2 外部足場を対象とした表現例

外部足場を例として, 外部足場の種類および各種の足場について, 構成資材および各資材の関係を図一 4 に示した。

同図は説明のために簡略化してあるが, 実際には外部足場として選択できる方法は, 鋼製枠組足場, 単管一側

足場など数種類ある。鋼製枠組足場にも何種類かの寸法のもの準備されているが, 例では省略した。例えば, 鋼製枠組足場は建地, 布, 筋交などの主要資材で構成され, 建地の最下部には必ず下部ベースが使用される。

以上の例で示したように, 資材間の関係をノードとアローで表現することによって, 構造物の分割・選択および同等の関係を簡潔に表わすことができる。

§ 7. 事例: 土工事の仮設計画のシステム化

7.1 建築工事における土工事

建築工事のなかでも土工事は, 工期, コストとも工事全体に占める割合が大きい。安全面でも様々な配慮が必要である。

土工事の主体は掘削工程であり, この工程を安全かつ能率良く行なうために, 山止め, 排水, 止水, 乗入構台の設置などの諸工事が行なわれる。これらの工事はいずれも仮設工事であるため, 施工者側の責任範囲で判断・決定できる事項が多く, 計画の自由度が高い。しかしその反面, 計画の内容が拙劣である場合には作業の能率が低下し, 工期やコスト面で大きな損失を招くのみでなく, 時として周辺に影響を及ぼすような大きな事故を起こす可能性がある。

土工事の計画においては技術者の深い経験と専門的な知識が必要となるため, 計画を担当する技術者の能力に依存する要素が多い。掘削, 山止め, 地下躯体などの地下部分の工事のみでなく, 鉄骨, 鉄筋, 型枠, コンクリートなど地上部分の躯体工事までも含めて, あらゆる要素を考慮しながら計画作業を行なう。このことから考えて, 土工事の仮設計画は工事計画のうちで重要な要素であり, 特に乗入構台が計画の要点となる。したがって, 乗入構台を主体とした土工事の計画を綿密に練ることは作業の能率を向上させ, コストを削減するうえで極めて重要である。

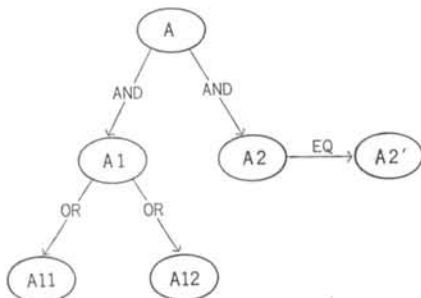
7.2 土工事における仮設計画の分析

乗入構台の計画を中心として, 計画作業の内容を分析した。分析の結果, 乗入構台の計画は山止め, 掘削, 地下躯体などの計画と密接に関連しているばかりでなく, 地上躯体における鉄骨建方作業とも関連していることが分かった。乗入構台の計画は, おおむね下記の内容で構成される。

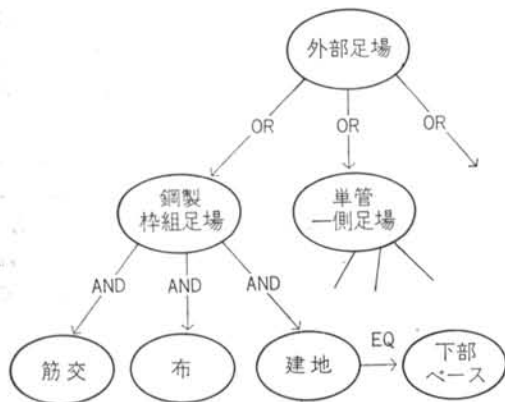
- (1)構台の用途検討 (掘削, 山止め, 地下躯体など他の工事の計画との関係)

項目	説明	例
部 位 作 業	施工法を検討する際の施工過程	<ul style="list-style-type: none"> ●建物形状による施工法別出来高の表現 ●鉄骨建方過程の表示 ●部品の取付けられてゆく過程の表示 ●施工過程で本体にかかる応力の確認
空 間 資 源	投入される工事用資源の配置	<ul style="list-style-type: none"> ●資材と人の動きの表示 ●総合仮設計画 ●地下工事の仮設（水平切梁・乗入構台）の位置表示 ●タワークレーン配置 ●足場計画

表—2 視覚情報が重要な要素とその説明

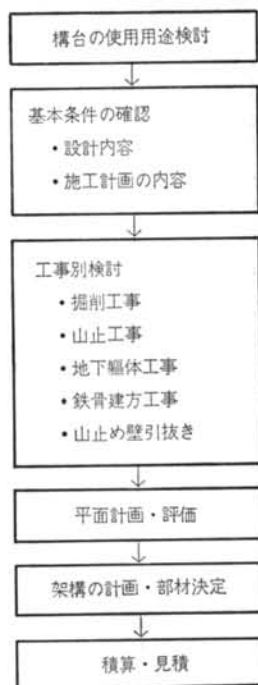


図—3 資材と資材間関係の表現方法



図—4 外部足場の例

- (2) 構台の平面形状の検討および評価
 - (3) 架構法・構造的な検討と部材の決定
 - (4) 計画図の作成
 - (5) 部材の積算および部材表の作成
 - (6) コストの見積
- ①, (2)は乗入構台の概略的な計画であり, (3)~(6)は詳細な計画である。詳細計画は, 概略計画に比較して定型



図—5 乗入構台の計画作業の手順

的な作業が多い。一方、概略計画においては計画例の内容が複雑で、高度な判断を必要とする要素が多い。また、計画の各段階において過去に行なわれた工事の計画や使用する機械の性能などの情報を参照することが多く、常に情報検索を伴っている。計画作業の手順を図—5に示す。

7.3 計画作業のモデル化

前項の分析結果に基づいて、乗入構台を中心とした土工の計画作業をモデル化した。

乗入構台の計画においては、そのすべての段階で視覚的な情報に基づいて計画が行なわれる。また、掘削部分の規模、平面形状などの条件をもとにして、乗入構台の平面形状を決定する段階が最も重要かつ難しい。経験の深い専門家の知識が必要となる部分である。図—6に、乗入構台を中心とした仮設計画における作業のモデルを示す。

7.4 土工における仮設計画のシステム化

7.4.1 仮設計画システムの機能

CGを利用して工事計画をシステム化するためには、単なる作図機能ばかりでなく、描いた図面をもとにした積算・見積や、計画内容の評価などの機能が必要である。さらに、過去に行なわれた工事計画の例や使用する機械

の性能・諸元を表わすグラフ・表など、計画の各過程で必要となる情報をその都度検索したり、専門家の知識を活用しながら試行錯誤を繰り返して計画を練る。これらを考慮して、システム化に当たっては下記の機能を持たせた。

- (1)拡大、縮小、移動、複写などを含む作図機能
- (2)専門家の知識を利用した構台形状の決定
- (3)過去の実績資料の検索および参照
- (4)工事用機械などの必要情報の検索および提示
- (5)作成した図面に基づいた部材の積算・コストの見積と結果の出力

7.4.2 データ構造

前章で提案したノードとアローによって資材と資材間の関係を表わす方法を用いて、乗入構台のデータ構造を設定した。図-7に、乗入構台を構成する資材間の関係を表わすデータ構造を示す。

同図に示すごとく、乗入構台は先ず上部床と下部支柱とに分割して考えることができる。上部床は、さらに上部付属物、床、根太、大引に分割される。下部支柱は、水平ブレース、垂直ブレース、水平繋ぎ、構台支柱とに分割できる。各階層の最下部が実際の資材に対応する。

7.4.3 仮設計画システムの概要

(1)全体の構成

作業モデルおよび前項で明らかにしたシステムの機能をもとにして、仮設計画をシステム化した。システムの全体構成を図-8に示す。本システムは、以下に示す4つのサブシステムで構成されている。

- (i)基本データの入力（計画の与条件となる敷地・建物等のデータ）
- (ii)概略計画（乗入構台の平面的な形状・設置位置などの基本的な計画）
- (iii)詳細計画（乗入構台を構成する架構・部材の配置）
- (iv)結果の出力（計画図の出力および部材の積算とコストの見積）

(2)基本データの入力

乗入構台の計画の与条件となる以下のデータを入力するサブシステムである。

- (i)通り芯
- (ii)道路（消火栓などの公共施設も含む）
- (iii)敷地
- (iv)建物（柱、梁のみを入力）
- (v)山止め（山止壁および切梁を入力）

将来はこれらのデータのうち、(i)~(iv)は CAD

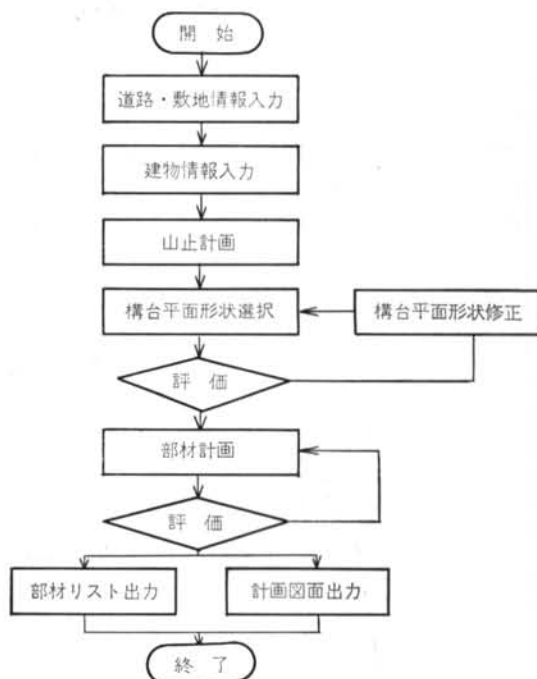


図-6 乗入構台を主体とした仮設計画における作業のモデル化

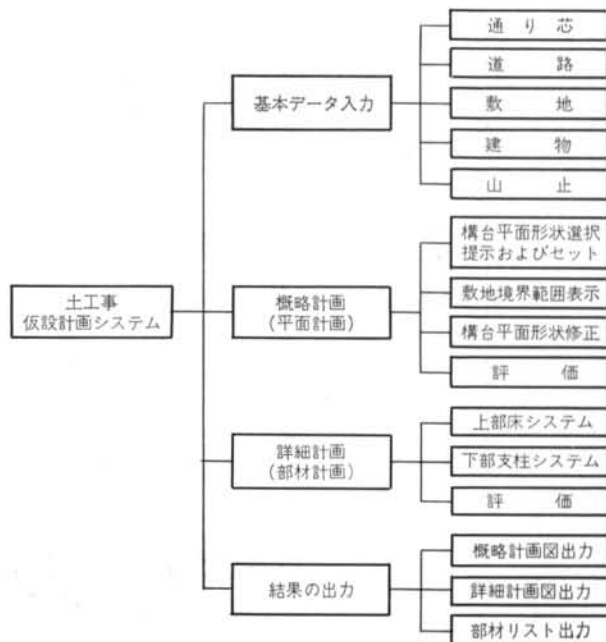


図-8 全体システムの構成

で作成したデータを直接利用することが望ましい。

(3)概略計画

計画作業の本質的な部分を支援するために、特に概略計画を充実させた。すなわち、平面形状・設置位置の決定の際に、専門家の知識を参考にできるよう配慮した。掘削部分の平面形状・規模、および車両の出入口に応じて乗入構台の平面形状の案をシステム側が複数提示し、それを計画者が選択し計画中の図面に配置できるようにした。この作業の画面の例を写真-1に示した。

画面の右端に提示された形状が、専門家の知識をもとにした乗入構台の形状の案である。提示された案の中から計画者が適当と思われる案を選択すると、システムが自動的に掘削部分の図面上に配置する。計画者は、配置された乗入構台に対して修正を施す。

システムは修正案に対して、構台の平面積、掘削部分に占める構台の平面積の割合、概略のコストを提示する。この段階で、使用する工事用機械を画面の上に配置して動かしながら、作業の状況を検討する。このようにし

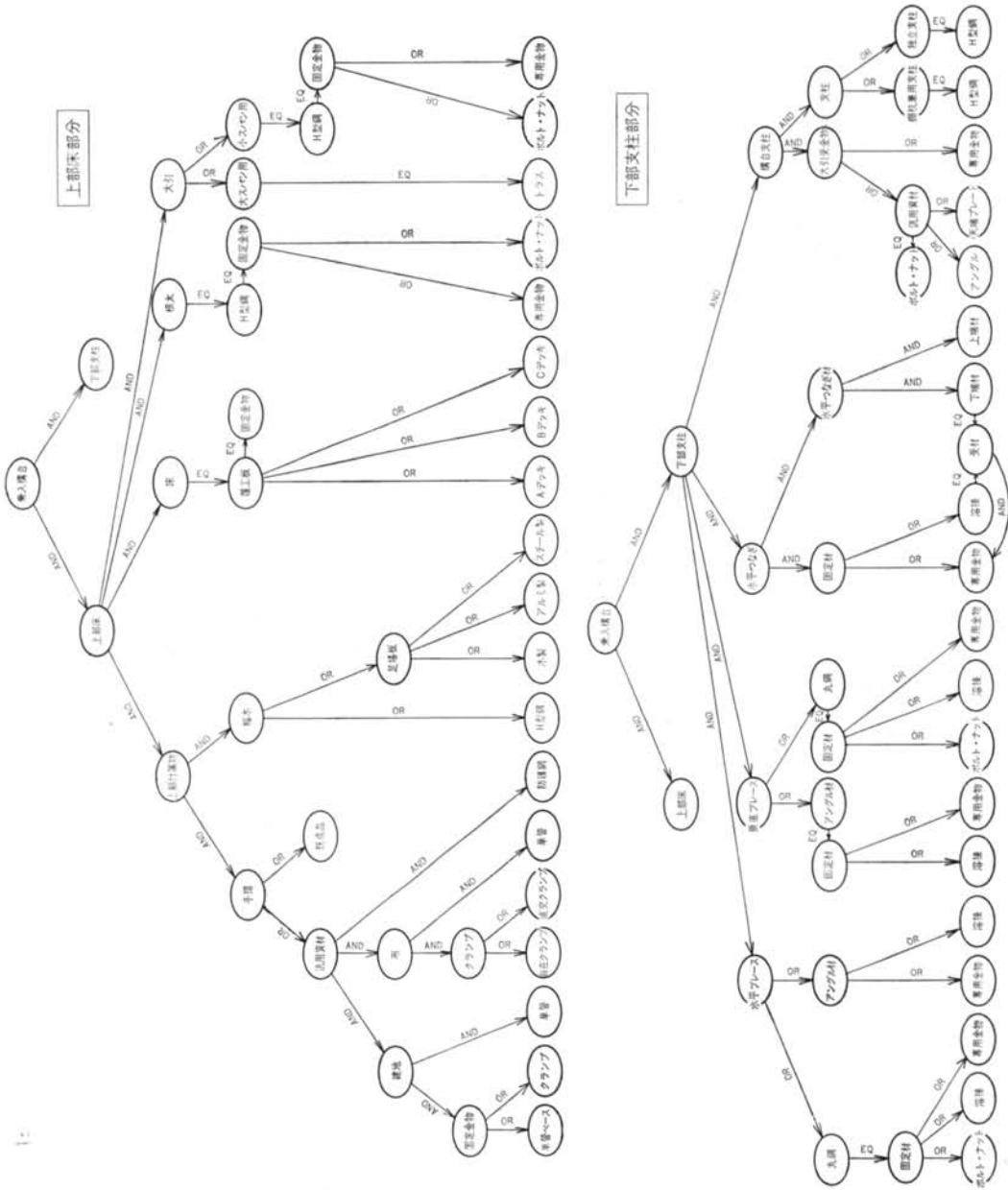


図-7 乗入構台を構成する資材を表わすデータ構造

て、従来、紙の上でスケッチしながら、あるいは頭の中でイメージを描きながら行っていた作業をコンピュータの画面上で行なうことができる。

(4)詳細計画

決定した概略案に対して、乗入構台を構成する部材を決定して配置するサブシステムである。この部分は自動化できる要素が多く、基本的にはシステムが部材を決定し配置する。ただし、特殊な部材を使用する場合は、計画者がメニューの中から部材の種類を選択する。部材を

配置した後の画面の例を写真-2に示す。

(5)結果の出力

作成した計画図をプロッタに出力するとともに、部材の積算およびコスト見積を行なってプリンタに出力するサブシステムである。使用部材を積算し、一覧表にして画面に出力した結果を写真-3に示す。

(6)使用したハードウェア

システムは、主記憶容量 640K バイトの16ビットマイコンで稼動することを意図して開発した。グラフィック

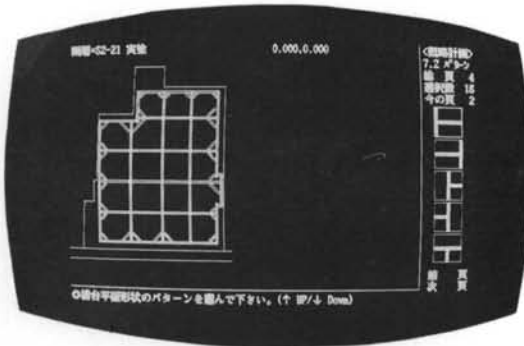


写真-1 乗入構台の平面形状提示案の例

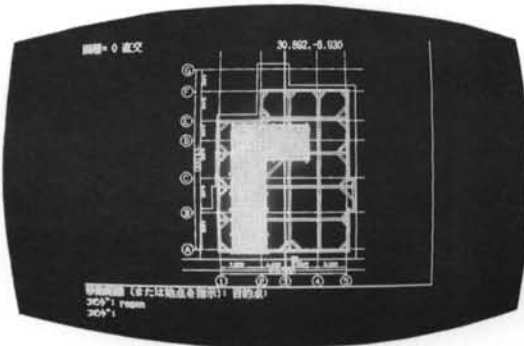


写真-2 部材配置後の画面の例



写真-3 使用部材の積算例

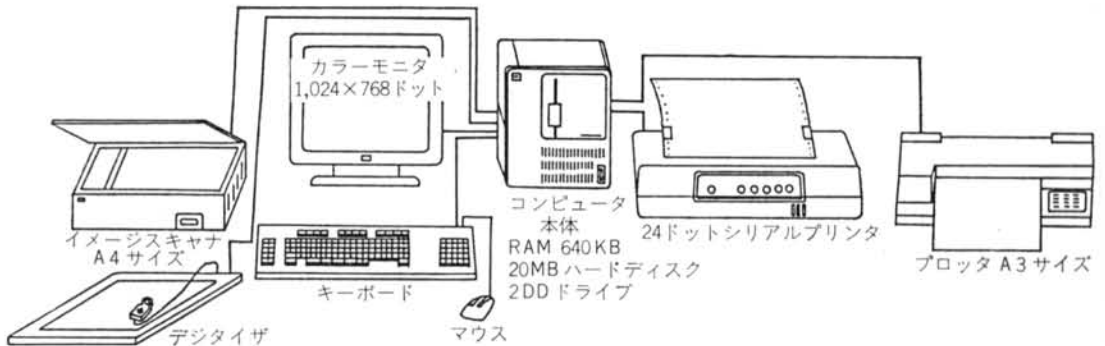


図-9 ハードウェアの構成

機能を重視して CRT には高解像度のものを使用した。
図-9 にハードウェアの構成を示す。

§ 8. おわりに

工事計画におけるコンピュータの利用方法および CG の機能を検討して、適用対象を明らかにした。さらに、視覚表現のためのデータ構造を提案するとともに、土工

事の仮設計画を事例としたシステム化を試み、その概要を紹介した。今後は、知識ベースなど人工知能やシミュレーションなどの技術を積極的に導入するとともに、手順・日程計画、資源配分などの諸計画との統合を図り、総合的な技術として確立して行く計画である。

謝辞 本研究を進めるに当たっては終始、早稲田大学教授嘉納成男博士のご指導を賜った。末筆ながら、ここに改めて感謝の意を表したい。

<参考文献>

- 1) 松元秀信, 他: “情報化施工管理システムの開発と実施 (鉄骨工事管理編)” 第 5 回「建築生産と管理技術」シンポジウム論文集 (1989年 7 月) pp. 223~226
- 2) 例えば, 逸見義男, 他: “バーコードを利用した労務管理システムの開発とその実施例” 施工 No. 253 (1989年 11 月) pp. 97~103
- 3) 例えば, R. E. Levitt & J. C. Kunz: “Using Artificial Intelligence Techniques to Support Project Management” Journal of Artificial Intelligence in Engineering Design, Analysis and Manufacturing, Vol. 1, No. 1 (1987) pp. 3~24
- 4) 例えば, R. D. Logcher: “GHOST: Project Network Generator” Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol. 2, No. 3 (1988) pp. 239~254
- 5) 嘉納成男, 他: “工程計画エキスパートシステムの基本構造” 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1988年 10 月) pp. 709~710
- 6) 江口禎, 他: “Prolog における述語と引数の階層的設定方法 (PERT プログラムにおける検討)” 同上 (1988年 10 月) pp. 913~914
- 7) 山崎雄介, 他: “工法選択エキスパートシステム (その 1) ~ (その 3)” 第 3 回~第 5 回「建築生産と管理技術」シンポジウム論文集 (1987~1989年)
- 8) 松浦範明, 丹羽克彦: “工事計画への CAD の活用 (総合仮設計画及び鉄骨建方計画における施工計画立案を中心として)” 第 3 回「建築生産と管理技術」シンポジウム論文集 (1987年 7 月) pp. 177~180
- 9) 金岩哲夫, 他: “連続地下壁工場の工程シミュレーションの開発” 同上 (1987年 7 月) pp. 85~88
- 10) 三根直人, 嘉納成男: “コンピュータによる工事計画・管理方法に関する研究 (コンピュータグラフィックスを利用した工事計画方法)” 第 2 回「建築生産と管理技術」シンポジウム論文集 (1986年 7 月) pp. 45~48