

(Ⅱ-7)

座標式工程表を用いた 概略工程計画システムの開発研究

A Study on Development of a Summary Scheduling System by Time-Space Diagram Modele

立命館大学 春名 攻*

立命館大学大学院 ○原田 満**

By Mamoru HARUNA, Mitsuru HARADA

建設工事の計画では、概略的な全体計画から詳細部を明確にしていくブレイクダウンの流れにより計画化される過程が存在している。工事計画の中核的存在である工程計画においても、この過程にしたがった検討がなされており、概略工程計画が全体工程を左右する重要な計画として位置づけられ、詳細工程計画のフレームとして計画化の検討が行われている。

本研究においては、全体的な時間と資源の配分を目的とする概略工程計画に焦点を当て、工程計画作業の処理プロセスをシステム論的な観点から整理を行い、概略工程の効果的な策定方法に関するシステム論的な研究を行った。なお、本論文は、時間と施工位置の2軸の座標空間上に工程を表現する座標式工程表を用いた工程計画システムの開発を中心にして、方法論的検討成果を取りまとめたものである。

【キーワード】 座標式工程表、概略工程計画、システム開発

1. はじめに

近年、内需拡大による建設投資の増加には目を見張るものがあり、各地で大型建設プロジェクトが予定されている。しかし、建設工事そのものが年々多様化・複雑化することに加えて、慢性的な労働力不足や人件費をはじめとする資源の価格変動と量的確補など、建設工事を取りまく施工環境・条件が従来と比較して厳しさを増すばかりであり、工事施工の計画・管理をはじめとする工事マネジメントの側面では、なかなか効果的な目標達成がなされていないのが現状である。

そこで、本研究においては、このような状況のもとで、時代の要請に応じ建設工事の計画・管理をより合理的に進めていくためには、従来以上に事前の検討を総合的にかつ体系的に行う必要があると考え、

工程計画・管理システムを中核とする、トータルな工事マネジメントシステムの開発を目指すこととした。具体的には、全体的な時間と資源の配分を行い、その後の詳細な検討作業のフレームとなる概略工程計画に着目して、工程計画作業の効果的な策定方法と支援情報システムの研究・開発を行った。

2. 現場マネジメント業務の概念的整理

建設業における会社組織は、本社・支社・工事現場といった階層的な構造をもっている。しかし、建設工事の持つ現地生産や個性といった特性から、各現場に多くの権限と責任が与えられているのが現状である。従って、工事施工の合理化という問題に対しては、まず、現場を中心にして捉えるほうが実際的であると考え。

一般に、この現場マネジメント業務全体は、工程、原価、品質、安全の4大管理と、機械、資材、設備、外注、労務の管理5要素などの複数の基本的な業務群から成立している。工事を計画するにあたっては、これら複数の管理対象それぞれについて検討を加え

* 正 員 工博 理工学部土木工学科教授

** 学生員 理工学研究科土木工学専攻

(075-465-1111 EX3701)

ていく必要があるが、合理化を実現するためには、基本的業務1つ1つを互いに独立した形で管理するのではなく、核となる1つの基本業務を捉えて、他の業務を従属的に管理していくといった方法をとることのほうが有効である。

そこで、本研究においては、この観点から現場マネジメント業務を整理した結果、全ての計画・管理業務を同一次元で取り扱うことはできないが、とりわけ工程はどの管理対象に対しても直接あるいは間接的な関係を持っており、これを中核として全体をコントロールすることが可能であると考えた。そして、図-1に示すような形で工事マネジメントシステム体系を整理し、これを絶えず念頭において検討を進めることとした。

3. 工程計画のシステム化への考え方

(1) 工程計画と工事構造の階層性

建設工事の計画では、概略的な全体計画から詳細

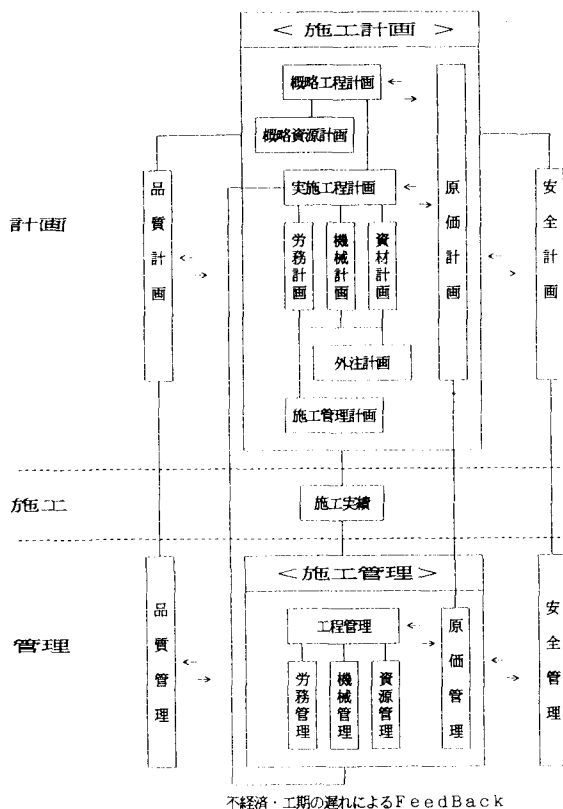


図-1 現場マネジメント業務の整理

部を明確にしていくブレイクダウンの流れにより計画化される過程が存在しているが、工程計画においても例外ではなく、この過程にしたがって検討がなされている。つまり、全体的な時間と資源の配分を行うことを目的とした概略工程計画が、全体工程を左右する重要な計画として位置づけられており、その後、このフレームのもとに日々の作業計画等の詳細工程が計画される。概略工程と詳細工程との連動性を確保しておく必要があり、事前検討段階においては、概略工程計画の持つべき役割は非常に大きいものとする。

また、建設工事は単品生産されるだけでなく、もとより工事種類、工事・工法、作業等のような階層的な構造特性を有していることから、その構造は、非常に個別的で複雑なものとなっている。工程の計画にあたっては、まず、この対象となる工事の構造を明確化することが不可欠である。

そこで、本研究においては、工事計画さらには工程計画の策定をシステム論的に整理していくためには、工事主類別に整理した全社共通の基本的なフレーム構造を持つことが必要であると考え、WBS (Work Breakdown Structure) によって工事項目を構造的に捉えることとした。その結果、図-2に示すような7つのレベルからなる工事項目階層図を採用することとした。この工事項目階層と、それらのレベルに応じた計画情報・データを整備することによって、より効率的に計画作業を進めることが可能であると同時に、その後の管理や施工実績に関する情報の収集・更新等も容易であると考えられる。

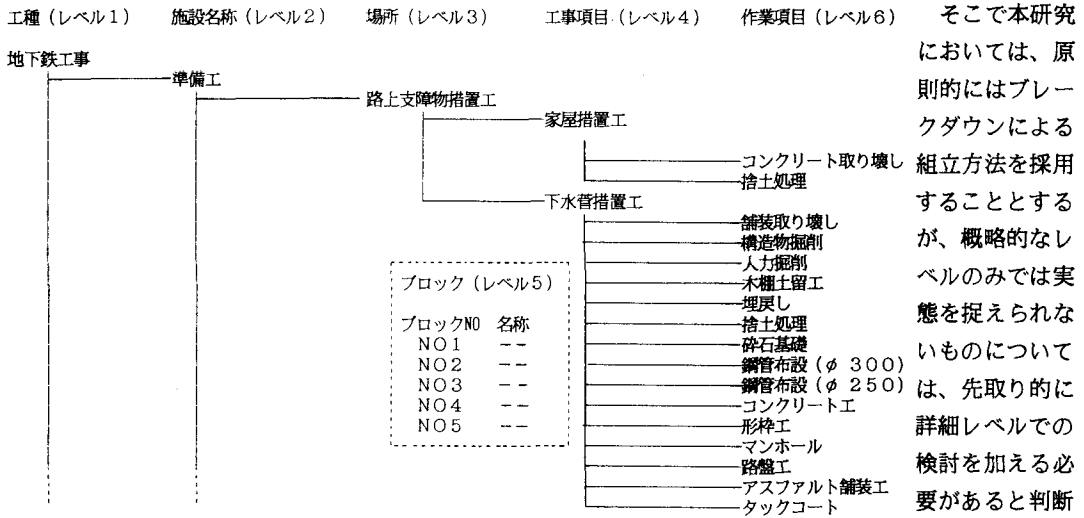
(2) 2つの流れによる工程計画方法

前述のように概略工程を計画するにあたっては、概略的検討でありながらも詳細工程のフレームとしての機能を満足するような検討が必要であり、計画データの取扱いや精度には十分な注意を払わなければならない。概略工程は、おもにレベル4（工事・工法）を工程要素として組み立てられた全体工程であるが、その組立方法には現在、積み上げ方式のボトムアップと割付方式のブレイクダウンの2つの考え方がある。

ブレイクダウンによる工程計画方法は、標準データや計画情報が整備されており、過去のノウハ

ウが利用できる場合には、非常に有効な方法であると考えられる。しかしその反面、取り扱う情報が不備である場合には、多くの不確定要素を残したまま上位レベルの計画を行うこととなり、非常に粗い検討結果を生む危険性もはらんでいる。

一方、ボトムアップによる工程計画方法は、工事の最小構成単位から順に検討・集約していく方法であり、詳細な検討が可能である。しかし、工事の全体的な規模の把握には多大な労力を要し、全体工程の評価・検討には不向きである。



レベル名称

レベル	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6	レベル7
名称	土木工事項目分類	施設名称	場所	工事・工法	ブロック	作業項目	作業項目内訳

図-2 工事項目階層図 (1 部分)

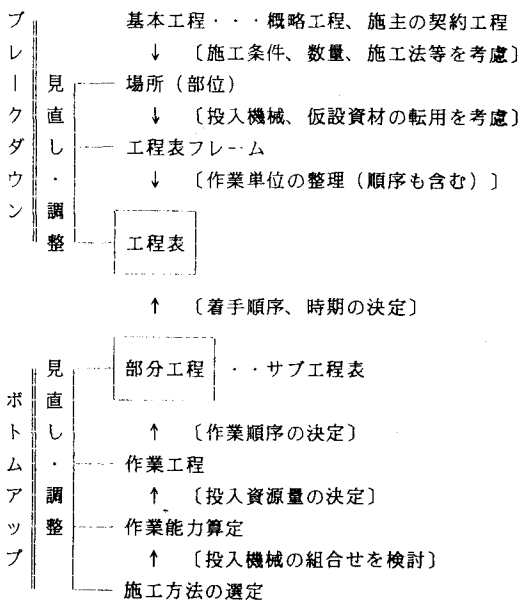


図-3 工程計画業務における2つのアプローチ

る部分と、個性・多様性を考慮して具体的に掘り下げて検討を加えなければならない部分とに分けて、システム化を行った。すなわち、図-3に示すような形でブレークダウンの流れとボトムアップの流れの双方を混成させた方法を用いることとした。前者は、特に過去の工事経験が多く、標準的な考え方や方法が用いられると判断される工種や、その計画内容が工事施工の結果に余り影響をおよぼさないと考えられる工種を対象としており、工種単位で施工能力等の検討を行なうことにした。一方後者は、過去にあまり工事経験が無い場合や工事全体に影響を与えられとされる工種、さらには構築工事のように作業パターンがリフト構造であったり複雑な作業形態を持つ工種を対象とすることとした。そして、作業レベルの検討結果を工種レベルに集約し、概略工程の工程要素とすることとした。

以上のような2つのアプローチを併用することにより、ブレークダウンで問題となっていたデータ精

度の低さを克服することができるとともに、概略工程と詳細工程との連動性を確保することが可能であると考えた。

(3) 現場経験則の活用

工程計画システムの開発目的は、複雑な工事計画業務をできる限り簡素化し、計画作業の処理速度を上昇することで、より多くの検討作業を盛り込んだ合理的な計画案の策定を実現するものである。このため、作業の自動化をはかった多くのシステム開発が試みられているが工事の計画にあたっては意志決定に技術者の経験や勘が必要とされることが多く、完全な実用化には至っていない。従来豊かな経験知識を駆使して処理されてきた人的判断の作業を完全に自動化することは難しく、理論的な検討成果と実際の工事との間にはずれが生じている。特に実際の工事でよく使用されるブロック分割機能には、人為的判断を要する作業が多く存在しており、最も自動化しにくい機能であると考えられる。最近、エキスパートシステム、ファジー理論等によっても研究されてきているが、まだまだ人為的判断を定量的に表現することは難しく、知識獲得が十分であるとは言えない状況である。

このような現状を認識した結果、意志決定機能については、無理にコンピューターに最適解を探索させるよりも、技術者にゆだねてその現場経験則を用いた方が柔軟性や起動性に富むこととなり、結果的

には効率的であると判断した。

そこで、本研究においては、業務過程を「人為的な判断にかかわる業務的機能群」と、「情報操作機能を中心に捉えるほうが妥当であると考えられる業務的機能群」の2つに分けてシステム化をはかる必要があると考え、その中でも計画者の意志決定をサポートするシステムの開発を中核においたシステム化の研究を行なうこととした。すなわち、施工パターンの想定等は計画者の判断により行い、その後のシミュレーションと、検討結果である工程表の提示とを、コンピューターモデルによって迅速に処理することとした。

また、計画者の入力にしたがって瞬時に工程表を出力することで、計画者のイメージを直接工程表にデザインすることが可能になり、計画検討作業をより効果的に進められるものと考え、試行錯誤的な検討とシミュレーションを繰り返し、作成された複数の計画案を総合的に評価して最適解を見いだしていくというような、ヒューリスティックな計画法を採用することにした。

4. プロトタイプモデルの開発

(1) 施工計画システムの全体構成

前章までの検討成果にもとづき、本研究では、過去の施工実績をもとに共通データとして整備した標準データベースを中心にして、施工計画システムの全体構成を図-4に示すような形に設計した。そして、直接的な工程計画の処理プロセスを、プロトタイプ的にコンピューターシステムとして開発した。なお、工程計画システムの開発にあたっては、工程の1つの評価にもつながる原価計画のシステム化についても同時に行なう必要があるが、ここでは現行業務の形態から、比較的本システムとは独立させ、サブシステムとして設計(デザイン)し次段階の開発対象とした。

(2) 座標式工程モデルの概略

4. (3)において現場経験則を活用してヒューリスティックな計画方法を採用することを述べたが、そのためには、計画者の判断材料となる工程表は視覚的に捉え易く、工程表上で多くの検討が可能であることが望まし

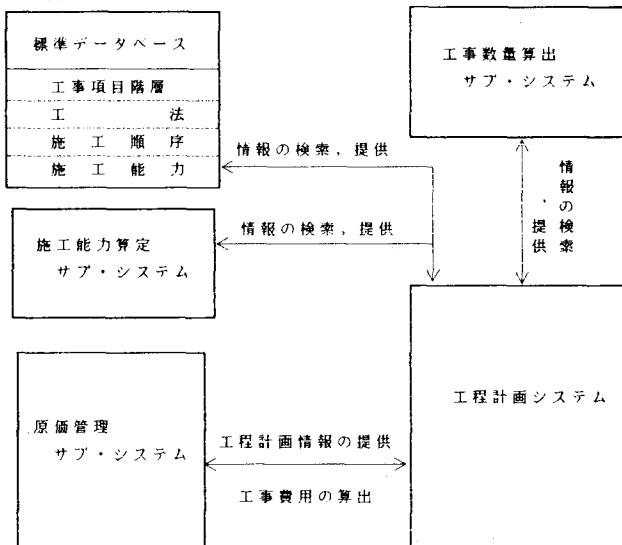


図-4 施工計画システムの全体構成

い。

現在使用されている工程計画モデルとしては、バーチャート式モデル、ネットワーク式モデル、座標式モデルがあげられる。この中で、とりわけ座標式工程表は、その適用が今のところ道路や鉄道の様な線形構造物に限定されるが、施工位置と時間の2軸を用いた座標空間上に工程をベクトル表示することから、所要日数や施工順序関係に加えて、施工空間の表現も可能である。さらに、工程はベクトルあるいは箱によって示され、施工能力もベクトルの傾きとして示される。工事現場に対応したブロック分割の検討を行なう場合には、時間的な検討に加え、ブロックの大きさや工事数量の配分などとの関連のもとで施工空間についても検討を加える必要がある。

そこで、本研究においては、適用範囲が線形構造物にのみ限定されるが、前述のように工事の全体構造を把握することと、時間軸・制約された資源のもとで、工程をどの様に配置していくかを検討することが概略工程計画での主要な機能であることを考慮して、概略工程の検討には座標式工程モデルが最も適しているものと判断した。そして、概略工程の工程構成単位（工種、施工ブロック）を1つの塊（ブロック）として捉えて、それら個別に対する能力等

の検討と、座標式工程表上でのブロック順序の設定を行うことにより工程表をデザインすることとした。

また、本研究では、計画者によっては従来のバーチャート式工程表やネットワーク式工程表を好む場合があることを考慮して、これらの工程表の等価変換を行うことにより、ネットワーク工程表の出力機能も付加した。

a) 座標式工程表での工程表現方法

本研究においては、座標式工程表上に表現する工程を図-5のような形に定義した。すなわち、（施工開始位置、施工開始時刻）と（施工終了位置、施工終了時刻）の2座標により工程を表現するものである。そして、作業が繰り返して作業で施工場所が日々変化する様な場合には、工程を先の2座標によってベクトルで表示することとし、施工場所が限定された中で作業が繰り返して続けられ、施工位置が限定できない様な場合には工程を箱で表示することとした。

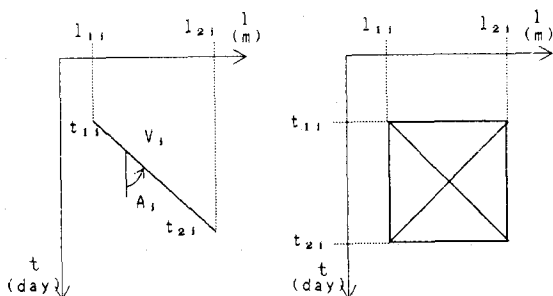
また、施工能力は個別工種の施工進度を表すパラメータであるが、その単位は各工種によって異なっている。そこで、工事全体の中での施工進度を表す同一パラメータとして、施工速度（ A_i = 工程表上の傾き）を算定することとした。この施工速度は、

正負により施工方向を示しており、スケジュール算定の重要なファクターとなっている。

b) 技術的順序関係と管理的技術関係への対応

概略工程では、工種、ブロックの異なる2つの階層を工程要素として捉えている。これらは各階層レベルによって独自の順序関係を持っていることから、1度に同時の順序関係を設定することは管理体系的にも好ましくなく、1つの工程にまとめるための順序関係が必要である。

工種順序関係は、主に技術的順序関係として捉えられ、時間的な縦の関係を持つことが多く、以下に示す2つの種類が挙げられる。1つは、後続工種と先行工種の施工空間が等しかったり、1部でも重なる場合に、後続工種（ブロック）の施工空間にある先行工種（ブロック）が工事を完了すれば、後続の工種（ブロック）が施工を開始できる場合であり、もう1つは、施工空間の重なりや場所を問わず、先行工種の全ブロックの工事が終了しなければ施工を開始できない場合である。



- V_i : 作業工種
- l_i : 工種 i の施工位置
- $\{l_i \mid l_{1i} \leq l_i \leq l_{2i}\}$ $L_i = l_{2i} - l_{1i}$
- l_{1i} : 工種 i の施工開始位置
- l_{2i} : 工種 i の施工終了位置
- A_i : 工種 i の施工速度
- t_{1i} : 工種 i の施工開始時刻
- $t_i(l)$: 工種 i の任意の位置での施工時刻
- $t_i(l) = t_{1i} + (l_{2i} - l_{1i}) / A_i$
- t_{2i} : 工種 i の施工終了時刻
- $t_i(l) = t_{1i} + (l_{2i} - l_{1i}) / A_i$
- $t_{1i} + L_i / A_i$

図-5 座標式工程表での工程表現

一方、ブロックの順序関係は、施工空間上の縦と横の関係を持っており、工事の施工状況によって異なる、管理的技術関係である。

本研究では、工事項目の階層性を考慮して、現行業務にそった形で施工順序の設定を行うこととした。

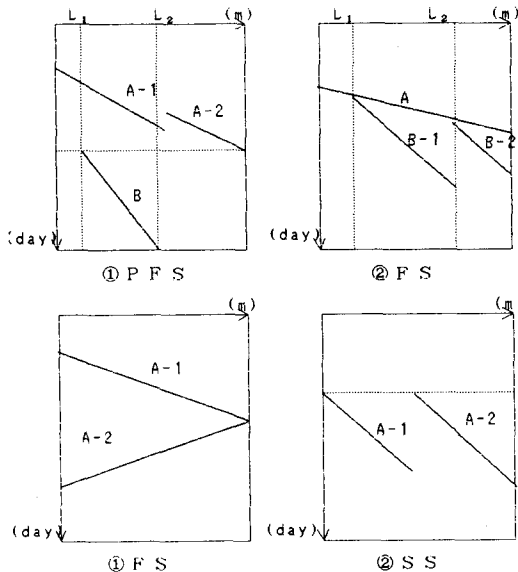


図-6 順序関係概念図

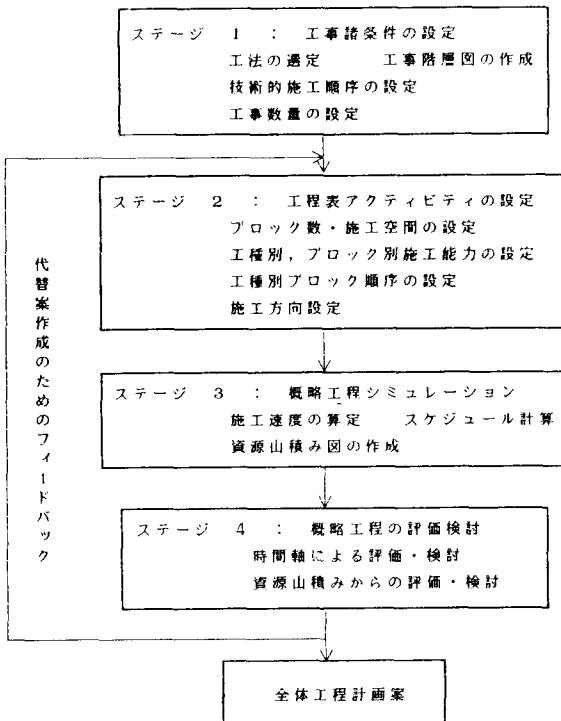


図-7 プロトタイプモデルの全体構成

すなわち、工種の順序関係には、前述の2種類を区別して取り扱うこととして、FS (Finish Start)、PFS (Perfect Finish Start) の順序関係を与えることとした。そして、ブロックの順序関係には、ネットワークと同じFS (Finish Start)、SS (Start Start) を採用することとした。これらの関係概念は、図-6に示してある。

(3) プロトタイプモデルの全体構成

本研究においては、前節で示した座標式工程モデルを用いて計画する概略工程の処理プロセスを図-7に示すような4つのステージにデザインし、施工能力や順序、さらにはブロック分割を操作して代替案方式で概略工程の計画を行なうこととした。以下、それぞれのステージについて述べていくこととする。

a) ステージ1 : 工事諸条件の設定

ステージ1では、対象工事全体に関わる条件と、おもに概略工程の基本アクティビティである工種についての条件を設定する。

まず、工法の選定を行なうことにより、標準D、Bから標準工事階層図と標準施工能力データを得る。次いで、工事構造を確認しながら必要階層項目の抽出(不必要部分の削除)と不確定部分の追加を行って、工程計画及び工事計画の核となる当該工事独自の階層図を編集する。そして、明確化した工事構造の下で、各階層項目に対応した技術的順序関係等の標準データ・情報を標準データベースを用いて設定することとした。さらに、設計図書等を入力情報として工事数量算出サブシステムにより算出した工事数量についても工事項目階層図に対応させた形で設定することとした。

b) ステージ2 : 工程表アクティビティの設定

ここでは、まず各工種項目に基づく内容検討方法には、ブレイクダウン的アプローチでよいかボトムアップ的アプローチが必要かを判断して工程要素を確定する。ブレイクダウン的アプローチだけで十分な場合には、標準データを参照した検討が中心となり計画者判断により計画情報を設定して行くこととした。一方、ボトムアップ的アプローチが必要とされる場合には、工程要素を作業項目に置き換えるとともに作業内容を具体化して、各工種単位でサブ工程シミュレーションを行うこととした。そして、こ

れらを工種レベルにまで集約することを原則とするが、前述のように工事全体に影響を及ぼすことが想定される場合には、そのまま概略工程の工程要素として持ち上げることにした。

また、工事現場独自のブロック分割もこのステージにおいて検討することとしている。具体的には、制約工期や先の検討において設定された工種施工能力をもとにして、計画者の現場経験則をもって必要施工空間を確保しながらブロック数を設定する。工事数量としては、工種単位の工事数量を基準に再度算定したものと、座標式工程表で表現するための情報として施工開始位置と終了位置についても同時に

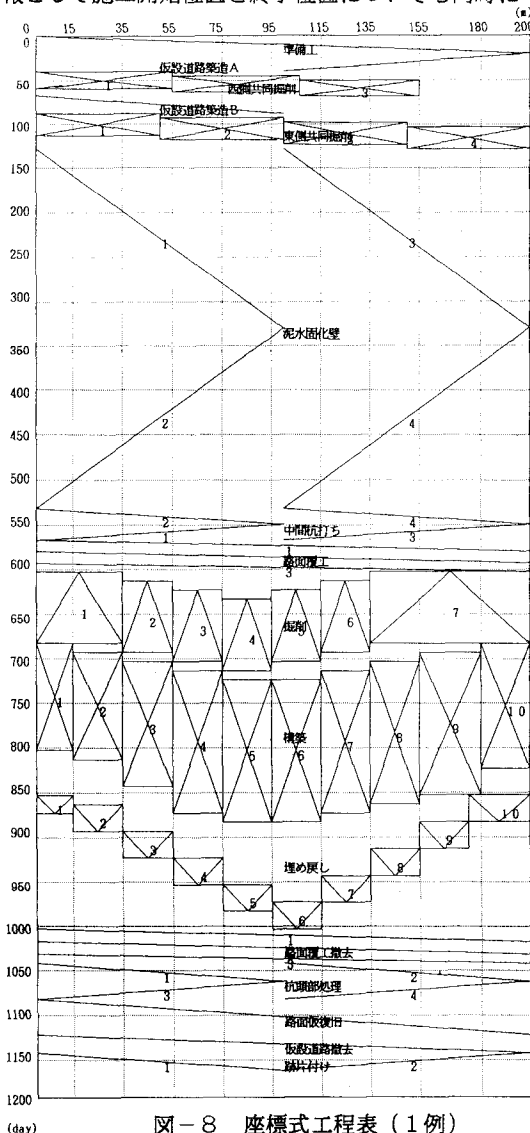


図-8 座標式工程表 (1例)

設定しておくこととした。そして、工事・工法レベルの施工能力とブロック工事数量をもとにして、各ブロックでの施工能力を設定することにした。同一階層レベル内での管理技術的なブロック順序関係は、資源の転用や施工方針を考慮した現場経験則に基づいて設定を行ない、同時に、施工方向についても設定することとした。

c) ステージ3 : 概略工程シミュレーション

ここでは、ステージ1で捉えた対象工事をステージ2で明確化した略工程アクティビティについてスケジュール計算を行う。そしてこれら入力情報にしたがって、座標式工程表(図-8)と資源山積み図(図-9)をコンピューター処理によって迅速に計画者に提示することとしている。

d) ステージ4 : 評価・検討

ここでは、ステージ3でシミュレーションした概略工程について、制約工期にかかわる時間的な側面と投入予定資源を捉えた資源山積みについて評価・検討を行なう。また、本研究においては代替案作成のための評価と変更のプロセスを以下に示すようなブロック分割数と施工能力、ブロック施工順序、ブロック施工空間3つのステップにより段階的な計画案の改善を行うこととしている。

① 本研究では、事前検討段階での当初計画案の作成に視点をおいており、思いきった計画案の変更が可能である。ブロック分割パターンをいくつか想定することで、おのずと各ブロックの施工空間が定まることになり、施工能力の限界が生じてくる。大型機械の投入や投入資源の増量を検討する場合には、ブロックの数(施工空間)が大きなウェイトを占め

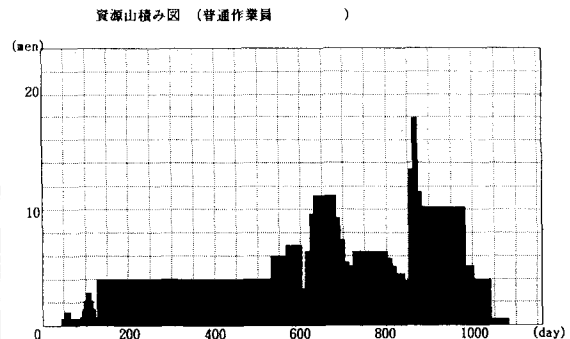


図-9 資源山積み図 (1例)

ているものと考えられ、早期に検討を加えておくべき要件である。このような観点からステップ1では、第1計画案を標準工程として捉え、工期とブロック分割のバランスについての検討を行ない、最適なブロック数を確定することとした。操作的には、標準工程が制約工期を大きく上回る場合には、短縮の対象となる工種をいくつか想定して、工区分割数を増加、あるいは施工速度を上昇させる。また、過剰ブロック分割の有無、過剰施工速度による投入資源の無駄についても検討を行ない、変更操作を行なう場合には対象となる工種を選定して、工区分割の減少あるいは施工速度の低下を想定する。

② ステップ2では、ステップ1で確定したブロック数と与件に含め、資源の山崩しと施工ブロックの概略的な順序の決定を目的として、ブロック順序の変更操作を行なうこととした。ブロック順序等の管理順序については、マニュアルがなく経験則に基づいた計画者の判断に委ねられているが、全体工期や投入資源に影響する重要なファクターでもある。そこで、計画者の想定パターンをシミュレートすることにより確認を行い、評価することとした。このステップ2までの検討により、おおよそのフレームをつくりだすものとしている。

③ ステップ3では、これまでのステップ1、2の検討結果と与件にして、施工ブロックの施工空間や施工能力の微小変更を行なうことに概略工程計画案としてまとめることとした。

何れのステップにおいても計画データの変更を行なう場合には、ステージ2にフィードバックしてアクティビティの設定を変更して、シミュレートすることになっている。そして、各ステップで作成した数パターンの代替案について比較検討を行ない、さらに検討の余地があると判断した場合には、その計画案を次のステップの与件情報として検討を加えることにした。最終的には、全ステップをつうじて最も実行可能性の高い計画案を概略工程計画案として採用することとした。

5. おわりに

本研究では、明かに線形構造である地下鉄工事をモデルケース工事として取り上げて、前章で述べたプロセスにそって実際工事レベルへの適用を行った。

実際の適用プロセス等の詳細については、紙面の関係上講演当日に述べることにするが、計画データの設定の煩わしさを標準データベースにより軽減すると共に、実際に工事で検討される施工ブロックの分割や投入資源の問題を技術者判断によって容易に設定することを可能にした。そして、シミュレーション結果である座標式工程表(図-8)や資源山積み図(図-9)を瞬時に出力することで、計画案の視覚的把握や評価が可能になるだけでなく、その後の変更操作の判断材料となり、計画者判断を十分にサポートすることができるものと確信を得た。

本研究の今後の課題としては、次に示す内容が挙げられる。

(1) 本研究で開発したプロトタイプモデルは、その適用範囲を線形構造物に限定したものであるが、今後は土地造成工事などの平面的・立体的に施工される工事に対しても適用可能な汎用性のあるシステム開発が必要であると考えている。そのためにはまず、同一モデルによって処理することが最適であるのか、あるいは工事項目に応じてモデルを適用した方がよいのかを検討する必要がある。

(2) 本研究では、工期と資源の2つの視点から工程を評価したが、さらに工事費用の観点からも評価を加える必要があると考えている。しかし、現在の概略工程計画段階での工事費用は、工程要素と見積りの対象となる項目が異なるといった理由等から、工程計画に左右されない単位工事数量当りの歩掛かりによって見積りが行われている。工程計画案の評価指標として加えていくためには、現在の見積りの業務を整理して、工程計画と連動性のある工事費用見積りシステム体系を確立する必要があると考えている。

〔参考文献〕

- 1) 春名 攻; 建設工事における施工管理に関するシステム論的研究、学位論文(京都大学工学博士)、1971年7月
- 2) 春名 攻; 施工シミュレーションモデルの開発と工事計画作成への適用に関する研究、文部省科学研究報告、1988年3月
- 3) 春名 攻; 建設業の現場マネジメント業務のシステム化に関する研究、第14回土木情報シンポジウム、1989年10月