

座標式工程モデルを活用した
概略工程計画に関する方法論的研究
— 地下鉄工事を事例として —

A Study on Methodology for option a Summary Schedule
by Time-Space Diagram Modele
-Case Study in Subway Construction Planning-

春 名 攻、浅 海 俊 明^{**}、原 田 満^{***}

By Mamoru HARUNA, Toshiaki ASAMI, Mitsuru HARADA

In this paper, we discuss a effective methodology for option a summary schedule which is a core of on-site management system composed by various types of managing business at construction site. First of all, we describe the system structural character of construction work which is established as hierarchy system having seven levels. And we describe the management method to use both of the approches of top-down and botom-up according to the character above stated. Secondly, we propose to design scheduling method as a knowledge-based system adopting effectively experience or feeling of project managers. And we explain our scheduling system which is developed as in prekiminary stage of development as prototype. This system modele is heuristic modele which repeats the cycle following process to obtain improved a plan; "input of planning databeing bade based on the judgment of planner" → "simulation" → "output of time-space diagram".

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、公害規制の強化、さらには工期の短縮化や新技術の導入など、建設工事をとりまく施工環境・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。

この様な状況のもとでこそ、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る。

本研究においては、工事の計画から管理までを含むトータルな工事マネジメントシステムの体系を念頭におくこととして、その中でも工事全体を見渡すことができるとともに、概略的な資源の配分や時間の配分を目的とする概略工程計画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。

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性といった特性から、実際の工事施工においては各現場に多くの権限と責

* 正会員 工博 立命館大学教授 理工学部土木工学科 (〒603 京都市北区等寺院北町56-1)
** 正会員 工修 大成建設(株) 土木技術部技術情報室長 (〒163 東京都新宿区西新宿1-25-1)
*** 学生員 立命館大学大学院 理工学研究科 (〒603 京都市北区等寺院北町56-1)

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を取り上げるにあたっては、まず、現場を中心にして捉えるほうが实际的であると考ええる。

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おり、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ていく必要がある。しかし、工事施工の合理化を実現するためには、個別の検討よりむしろ総合的な観点からの評価が必要であると考ええる。すなわち、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が有効である。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。

そこで、本研究においては、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。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考ええる。さらに、概略工程と詳細工程の連動性についても確保しておく必要がある。

また、一言に工事と言ってもその構造は、個別的であるとともに、非常に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り、工程計画さらには工事計画の策定をシステム論的に整理していくためには、全社共通のフレーム構造を持つことが必要である。さらに、この構造表現もその後の管理がしやすいものでなければならない。

したがって、本研究においては、WBS (Work Breakdown Structure) によって工事項目を構造的に捉えることとし、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が進められるものと考ええる。

(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・

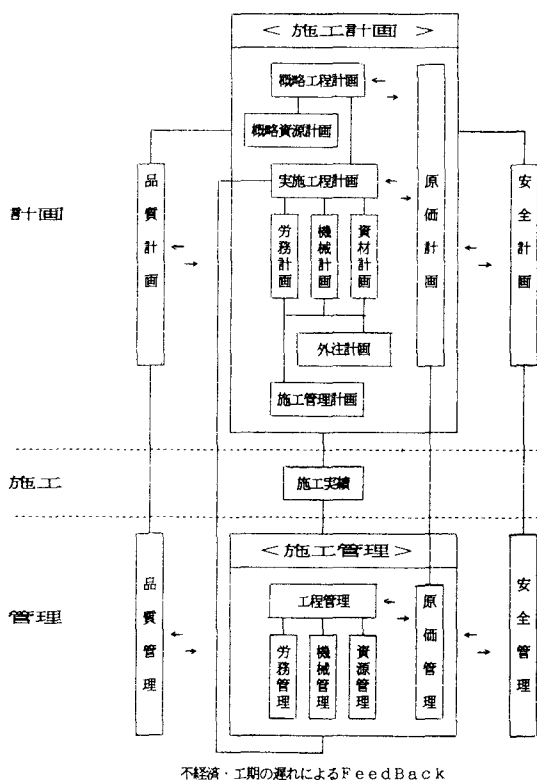


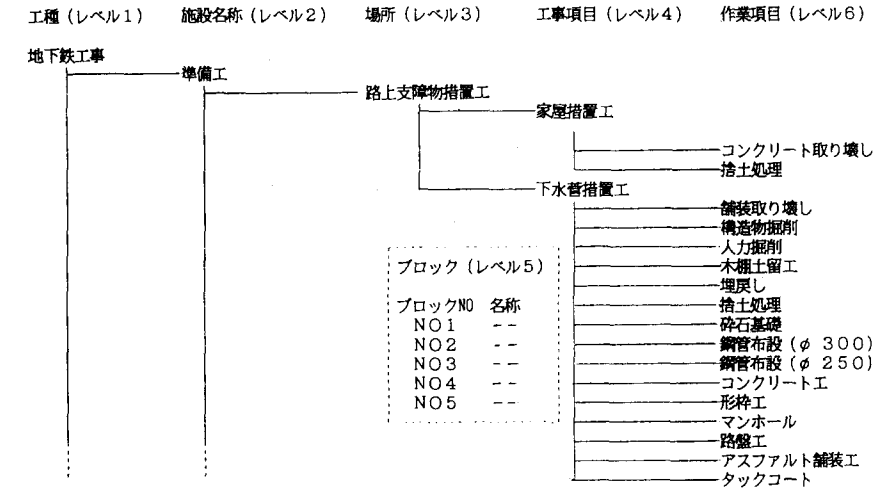
図-1 現場マネジメント業務の整理

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、構造的にも非常に効率的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はもたらんでいる。

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である作業(レベル6)について詳細な検討を加えた後に、検討結果をレベル4に集約して全体工程を検討することから、確実な組立方と



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)

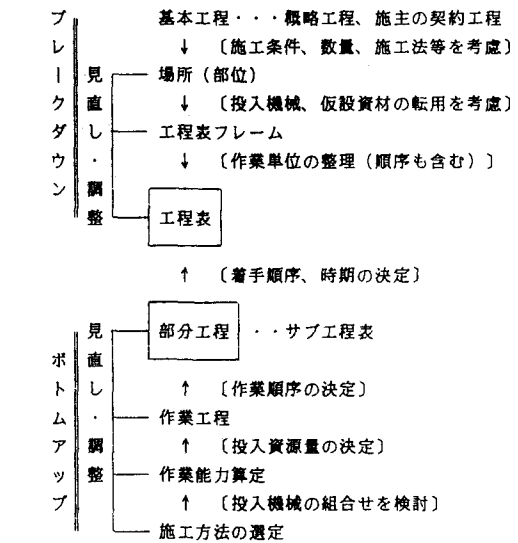


図-3 工程計画業務における2つのアプローチ

言える。しかし、全ての作業について検討を加えることは、レベル6により概略工程を計画することと同等であり、工事全体規模の把握には多大な労力を要するだけでなく、概略工程のように全体レベルからの評価・検討には不向きである。

そこで本研究においては、原則的にはブレイクダウンによる組立方法

を採用することとするが、概略的なレベルのみでは実態を捉えられないものについては、先取的に詳細レベルでの検討を加える必要があると判断した。このため、工程計画業務を過去の経験から標準的に取り扱えると判断される部分と、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に示すような形でのブレイ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、建設工事を各計画策定段階に沿った形で合理的に計画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、AIシステム、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い難い。

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。つまり、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の結果として求められる工程表を、迅速な提示をコンピューターモデル処理することとした。そして、試行錯誤的な検討として計画者による計画案の修正と、その修正にともなう変更状態のシミュレーションを繰り返した後、作成された複数の計画案の中から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

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

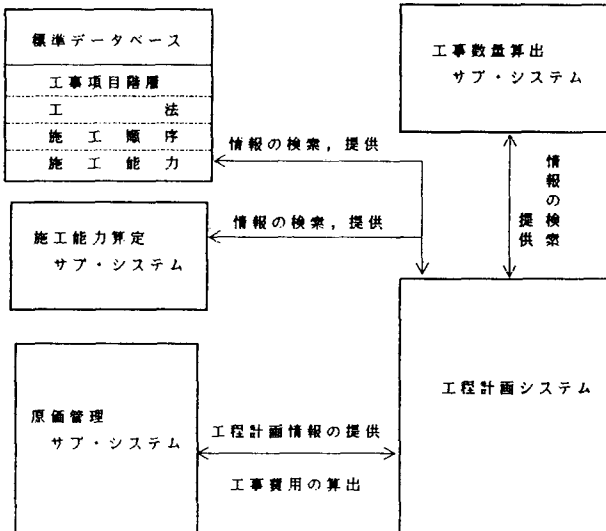


図-4 施工計画システムの全体構成

モデル、座標式モデルがあげられるが、概略工程計画には、時間軸を横軸にとった表の中に工程をバーで表現するバーチャート式工程表が使用される場合が多い。確かに、工程表の表現が単純構造で全体工程をラフスケッチするには最も適していると考えられるが、計画検討作業の結果を全て表現することは不可能である。また、計画レベルを問わず広く使用されているネットワーク式工程表は、バーチャート機能に施工順序の表現を付加したものとも言え、より具体的な工程表現を可能にしている。しかし、順序関係に細かな設定を要することや、計画データの変更による工程表の書換え作業に多大な労力を要するという問題もある。

一方、座標式工程表は、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、施工順序関係はもちろん、施工能力もベクトルの傾きとして表現することが可能である。

前述のように概略工程計画での主要な機能は、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、どの様に工程を配置していくかを検討することである。さらに、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

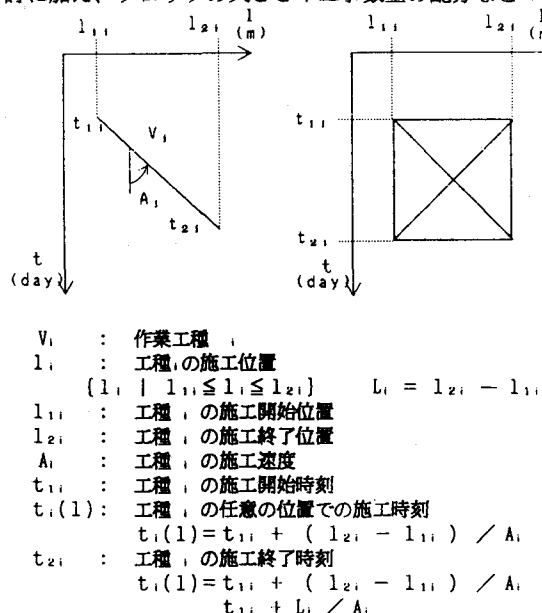


図-5 座標式工程表での工程表現

との関連のもとでの施工空間の検討も必要である。以上の観点から、本研究では、適用範囲が線形構造物にのみ限定されるが、概略工程の検討には座標式工程モデルが適しているものと判断した。

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続けられ、積み上げられていく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、ブロック等、複数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つの工程にまとめるための対応が必要である。

工種の順序関係は、主に時間的な縦の関係により構成されており、技術的順序関係として捉えられる。さらにこの順序関係としては、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。

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。

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

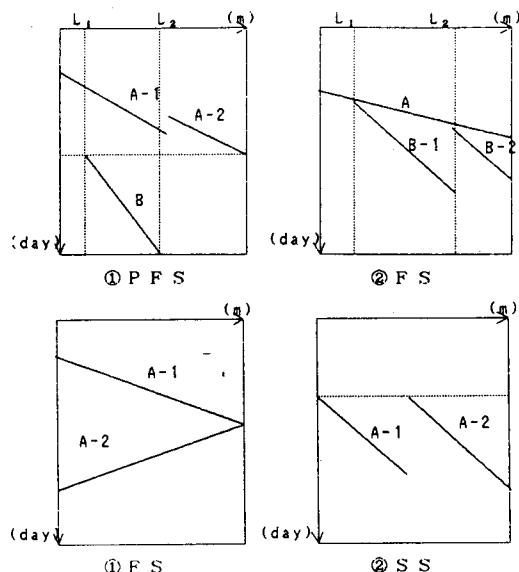


図-6 順序関係概念図

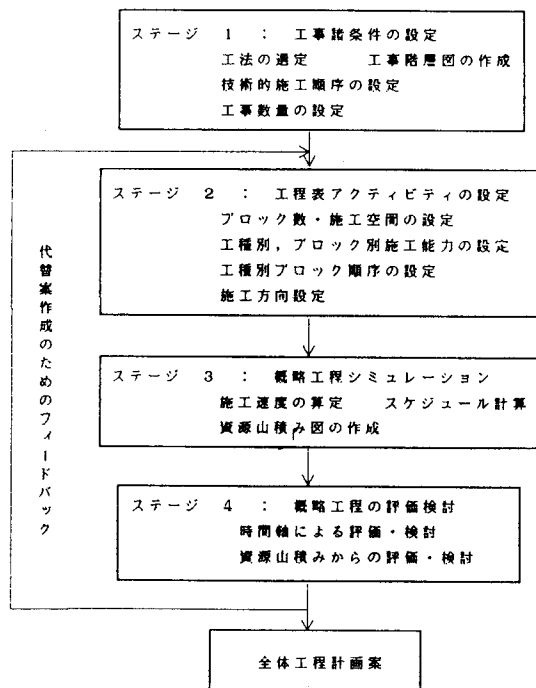


図-7 プロトタイプモデルの全体構成

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にした。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画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になっている。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

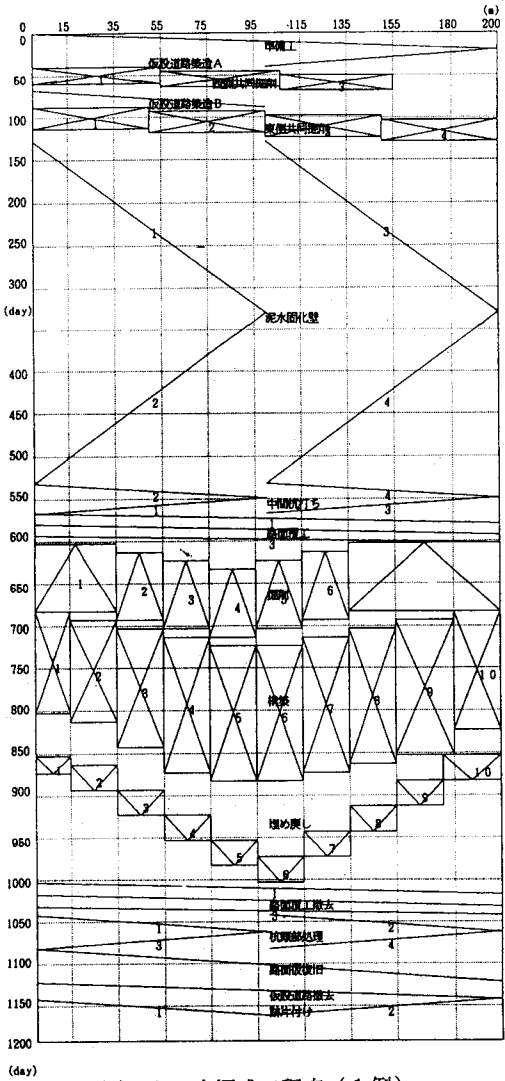


図-8 座標式工程表 (1例)

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、座標式工程表と資源山積み図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

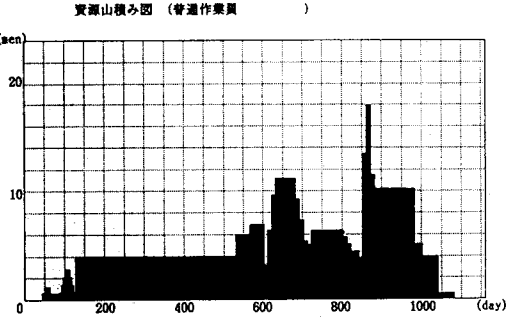


図-9 資源山積み図 (1例)

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。

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ている。

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える。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える。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える。

〔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