

パソコンを用いた現場マネジメント* システムの実験的開発について

—工程マネジメントシステムを中心として—

Explorative Development of a Personal Computer-based Management System
for On-site Construction Planning and Scheduling

吉川和広**

春名 攻***

○池田将明****

By Kazuhiro YOSHIKAWA, Mamoru HARUNA, Masaaki IKEDA

This paper epitomizes one of authors recent efforts to develop a personal computer-based management system for on-site construction and job management. In this paper pro and cons of existing and current methods for on-site job management are investigated and our strategies for structuring a practical management system are presented. So as to improve drawbacks of PERT, CPM, insufficiency and inaptitude indealing with precedence relations, resources analysis and cost control, a new concept, a "BF-relation (a finish before start relation)", is introduced to develop the new system model which enables us to deal with the following relations: a given job must start within its lead-lag quantity after its predecessor. An explorative products are also presented which have been developed using our new model under our research strategies.

1. はじめに

一般的に建設会社における組織図は、本社・支店・現場と言う階層的なトリー構造で描かれる。しかし実際に施工を担当する現場事務所は、企業により多少の違いはあるが、本質的には独立採算的立場から運営されるという共通点があると考えられる。つまり、資金的・技術的及び人力的なサポートは本支店が行なうが、工事施工という面では現場に大きな権限と責任が与えられている。そこで、この現場事務所を工事施工機能に着目して外部との関連でとらえると、図-1のような現場事務所中心の組織図で表す方がより実際的といえる。

また、最近のOA機器の発達は、これまでコンピュータなどとは無縁であった現場事務所にまで、合理化の武器として押し寄せてきている。

一般的に、建設工事に関わる組織体制のシステム化は、図-1に示した全体組織に対して同時平行的に実施することが理想的である。しかし、全体を対象とするシステム化は非現実的であるので、ここではシステム化を最も必要としている現場事務所における工事マネジメント(On-site Management)に焦点をあてて開発研究を行うこととした。また、ここでは現場業務と組織の実態を機能論的に整理し直し、OA機器の利用を前提として業務組織を再編成していくという方法をとることとした。

筆者らはこのような考えから、現場事務所における工事マネジメントのトータルシステム化に関して、システム設計の方法論とシステム構築に関する実証的研究を行っている。

ここでいう工事マネジメントとは、工事計画から

* キーワーズ：工事マネジメント、工程計画、情報システム

** 正会員 京都大学教授 工学部土木工学科

*** 正会員 京都大学助教授 工学部土木工学科

**** 正会員 京都大学研究員 (フジタ工業㈱)

(〒 606京都市左京区古田本町)

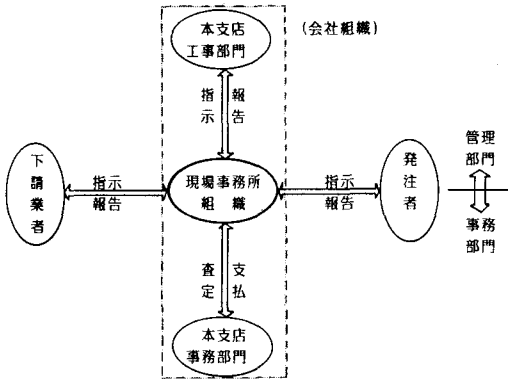


Fig. 1 施工機能を中心とした工事組織図

工事管理までを含む概念であり、その機能構成を概念的に図化すると図-2のようになる。

本論文では、この工事マネジメントの中核となる工程計画と工程管理（進捗管理・フォローアップ）に注目して、これらを包含した工程マネジメントシステムの考え方と、パーソナルコンピュータ(P.C.)によるシステム開発の試みに関して発表したいと考える。

2. 工程計画管理手法の問題点

これまで実際に土木工事の工程計画・管理に使用されてきた手法には様々なものが存在するが、これらを工程の表現形式に着目して分類すると、①バーチャート②ネットワーク手法③座標式工程表の3つとなる。

これらの手法の中で、工事現場における工事マネジメントシステムの中核となり、原価・労務・資材及び技術の各マネジメントシステムをリンクすることができるのは、PERT手法を中心とするNetwork 手法であるといわれている。

しかし、このPERT手法も現在では海外工事における発注者提出用や工程計画作成の考え方に残っている程度で、それ以上の使われ方はされていないのが現状のようである。

ここでは上述のような現状のPERT手法を現場レベルでの工事マネジメントシステムにおける中核的ツールへ改良していくことを目的として、その問題点を整理し、解決策や対応策を検討してみた。

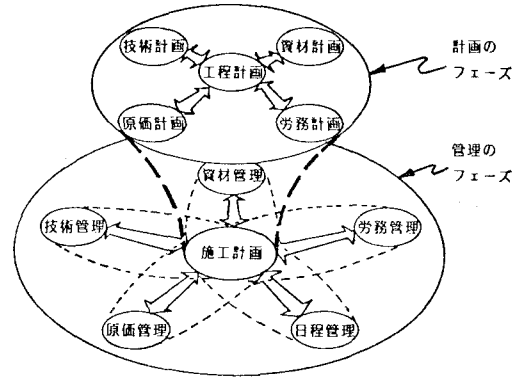


Fig. 2 工事マネジメント構成の概念図

(1) PERT手法自身の問題点

a) 工程ネットワークの記述に関する問題

PERT手法における作業間の順序関係は、先行作業の終了にひき続いて後続作業が実行されるといった一通りの順序関係しか存在しない。そこで、四通りの順序関係を持つプレシデンスネットワーク手法(PN手法)が提案されているが、実際の作業関係との対応の検討がまだ不十分であると考えられるので、本研究では新しい作業順序関係モデルを提案している。

b) 計画代替案の実行可能性の問題

技術的制約条件と工期制約条件を満足するように作成された計画代替案について、投入資源の配分や工事原価の実行可能性より合理的に評価できる手法となっていない。

c) 工程計画レベルの問題

建設工事では不確定要因が多く存在しているため、一般的に概略工程計画から詳細工程計画へ工程の進捗とともにブレイクダウンする割付け方式¹⁾をとる場合が多いが、PERT手法では作業を組合せてネットワークを作成する積上方式¹⁾が一般的であったため、工事完了時点までの作業とその流れの構造を詳細に記述すべきだと考えられてきた。しかし、今後は割付け方式による利用法も検討する必要がある。

d) 対象とする工事種類の問題

大規模土工事や埋立工事などの個々の作業に分解できない工事や、トンネルやシールド工事などのサイクリックな工事にも利用しようとしていたが、

これらネットワーク手法では記述しにくい工事の計画は、座標式工程表など他の手法の利用を検討したほうが良いと考えられる。

(2) PERT手法利用上の問題点

a) コンピュータ利用の問題

本来コンピュータ利用を前提とした手法であるが、その体制が整っていないために現場において手軽に利用できなかった。しかし、最近では現場事務所においてもP.C.が普及し、この問題は解消されてきている。

b) データの作成及び変更の問題

データの作成及び変更に手間がかかるため、代替案の検討や実績値による再検討（フォローアップ）に時間がかかりすぎる。この原因は、所要時間の算定法と作業順序関係の変更法にある。所要時間の算定にはいろいろな要因（晴雨確率・休日・歩掛りetc.）を考慮するが、これらの要因が変化した場合には、それに関わる全ての所要時間を計算し直さなければならない。またこれまでのように作業をノードで表わすモデルでは、作業順序関係の変更に対応しにくい。しかし、これもプログラムの作り方及びその中のデータ構造の工夫などにより解消できると考えられる。

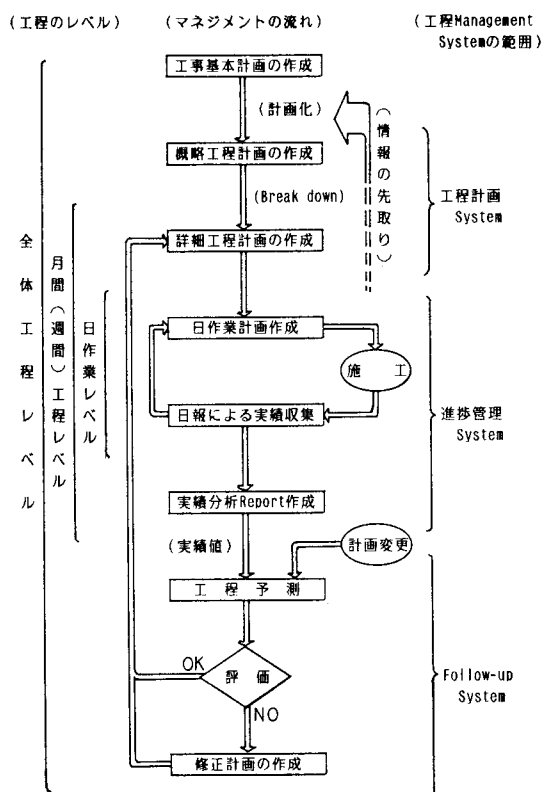


Fig.3 工程マネジメントの流れとシステム構成

3. 工程マネジメントシステムの考え方

土木工事の工程計画・管理をシステム化する上で検討しておかなければならない機能的要件を整理して、以下に説明する。

(1) 工程計画の階層性との対応

土木工事における工程計画は、一般に図-3のように全工程レベルから月間（週間）工程レベル、日作業レベルというように階層性が存在するため、計画立案にあたっては、下位レベルからの情報を先取りしながら上位レベルから計画化を行っている。つまり、概略工程から徐々に（約1～半年先を）詳細工程へ分解していく過程を踏んでいる。そこで、この工程計画システムにおいても、この計画立案の段階的流れを反映して、ネットワークのアクティビティをさらに細分化されたネットワークにブレイクダウンできる機能を備える必要がある。

(2) 原価計画・管理との対応

建設工事においては、工程を考えない原価計画・

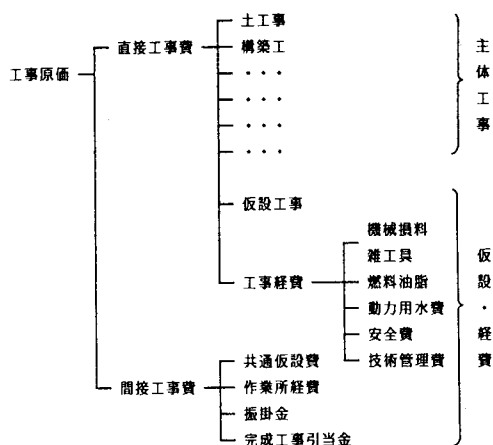


Fig.4 建設工事の原価構成

管理は存在しないし、原価に裏付けされない工程計画・管理は現実的とはいえないというように、両者は密接な関係にある。

そこで、工程マネジメントシステムでは原価計画

・管理との対応を明確にしておくことが必要となる。これにより、工程計画案の実行可能性を原価面から評価できるし、また工程予測による最終原価の予測が可能となる。

一般に建設工事は、図-4のような原価構成をしている。この中で現状のPERT/COST に対応できるのは明確に各工種に分類できる主体工事部分であり、他の仮設・経費については、別途システム化を検討する必要がある。

(3) 工程計画の実行可能性

建設工事の制約条件には、技術的制約（作業順序・安全・品質etc.）や工期制約・資源制約・原価制約などが存在する。工程計画段階では、この中の技術的制約についてまず実行可能性の検討を行い、次に工期制約・資源制約及び原価制約における実行可能性の検討を行う。この場合問題となるのは、後者の3条件がお互いにトレードオフの関係になっていることである。実際の建設工事においては、その工事の特異性によって、この3条件のどれを優先的に考えるのか様々な場合が考えられるが、一般的な工事では、図-5のように工期制約と資源制約を満足した代替案の中で原価が最小な案を最適案とすると考えてよいのではないかと考える。またこの場合、工期と資源の制約には、条件が厳しいか緩いのかの2つの場合が考えられるので、4タイプの工事における工事費用最小化の方法を検討しておく必要がある。ここで資源制約条件が厳しいという場合は、海外工事や山間部におけるダム工事などの資源調達に柔軟にできない工事が考えられる。

また図-5でいう山崩法とは、資源制約条件を考えて資源配分を決める方法で、山均法とは工期を制約条件と考えて必要資源数量の変動を少なくする方法である。

(4) 資源投入の最適化

計画案の実行可能性を検討する場合、資源の配分をどのように実施するのかが重要な課題であり、また最適化の難しい問題でもある。そこで、資源投入の最適化を検討する場合の内容を整理すると次のようになる。

a) 単位作業における最適化

鉄筋組立やコンクリート打設などの単位作業については、建設現場において経験的に最も効率のよ

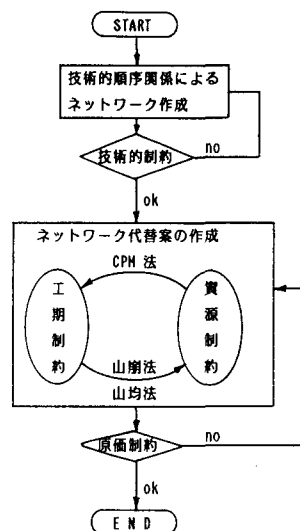


Fig.5 工程計画最適化の概念フロー

い投入資源数量を決めているように、最適数量が存在すると思われるが、この点についてこれまであまり詳細には検討されてきていない。しかし最近では、図-6のような投入資源と作業速度モデルを使った単位作業における最適性の研究もされている²⁾。そこで、このモデルより所要時間と所要コストの関係について新たに考察し図化すると図-7(b)のようになり、図-7(a)のCPM手法によるモデルとの違いが明瞭に分る。つまり、CPM手法モデルでは表わされていない最適所要時間が、このモデルでは明確に表わされている。

b) 全体工程における最適化

次に全体工程における資源投入の最適化を考えると、次のような4つの考え方がある。

- ①必要資源数量の変動を最小化する。
- ②遊休資源数量を最小化する。
- ③全体投入資源数量を最小化する。
- ④日最大必要資源数量を最小化する。

この中で、③は②により、④は①により、また②は①によりほぼ達成できると考えられるので、必要資源数量の変動の最小化を中心に検討することが、資源数量が絶対的制約条件でない場合は重要である。

(5) データの作成と変更

一般に建設工事計画においては、工事条件が複雑であるために様々な条件下での計画のシミュレート

が必要になる。また、工事中の設計変更の頻度も多いので、計画データのインプットが容易であることは大変重要である。

そこで、作業スケジュールや所要日数が自動的に算定できるなど、変更に対応できるシステムが必要となる。

(6) 実績データのフィードバック

土木工事は、その特殊性から不確定要因が多いため、その計画もあくまである前提条件を仮定したものとなる。しかし、この不確定要因は工事が進むに従って徐々に明確になるので、この実績Data（歩掛り・重機稼働率etc.）を容易にフィードバックできるようなシステムであることが求められる。

このことにより、実績データによる予測精度が向し、実績データの次工事へのフィードバックも可能となる。

(7) 確率要因の取り扱い

降雨確率などの確率的要因は、変動する確率的なデータとして別途指定できると、所要時間の自動計算を行ううえで便利である。

4. 工程マネジメントシステムの構成

本研究で実験的に開発している工程マネジメントシステムは、図-3に示したように工事のレベルに応じて次の3つのシステムから構成されている。

(1) 工程計画システム

これは施工開始前や計画変更時に施工計画の中核となる工程計画を作成するシステムである。このシステムの特徴は、データの入力から代替案の検討に至る工程計画の立案作業を、P.C.を用いてインタラクティブに行うところにある。

これまで、このような工程計画をネットワークの最適化問題として解こうとする手法が多く提案されてきたが、いまだ実用化レベルにまで達していないと考えられる。

そこで、このシステムではネットワーク手法の欠点を補うものとして、図-8で示すようにマンマシンのインタラクティブプランニングシステムを提案するものである。

(2) 進捗管理システム

このシステムは、工程計画と日常の作業管理を結

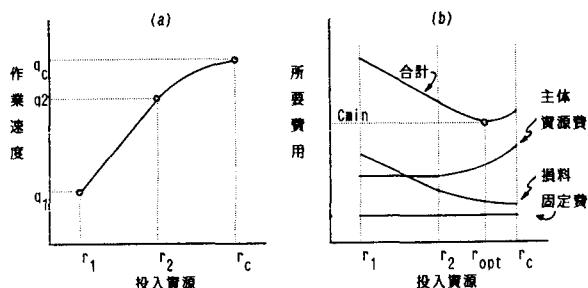


Fig.6 最適投入資源を示すモデル²⁾

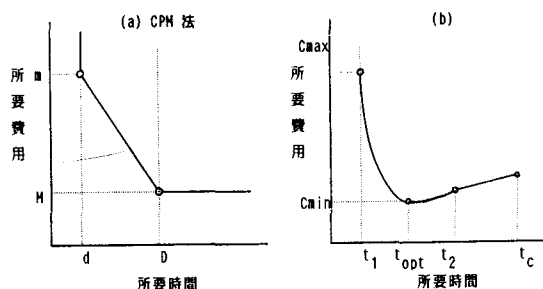


Fig.7 単位作業における費用と所要時間

びつけるものであり、以下のような3つの機能を持つ。

a) 工程計画にもとづく作業計画割付け機能

1ヶ月～1週間単位で、工程計画上の作業を実際の作業予定として作業予定表に割付ける。この時技術者は、作業開始日、作業の中断、資源の配分などにある程度の自由度を持って、作業計画を割付けできる必要がある。

b) 工事日報より作業の進捗状況を蓄積する機能

工事日報データより、各作業の開始から終了までの進捗状況や投入資源量などの実績データを蓄積する。

c) 作業実施状況の分析機能

工事日報より得られた実施データ（作業時間・延人工・作業条件・自然環境etc.）を分析して、計画と対比した分析レポートを作成する。

(3) フォローアップシステム

このシステムは、1～3ヶ月に1度の定期的なフォローアップと設計変更などによる計画変更時に用いられる。この段階で問題となる点は、実施データの利用と利用手続きの簡素化である。

まず、当該工事の実施データと過去の工事実績よ

り分析された統計データとをどのように整合よく利用するのが問題となる。また、これまでの実施データを効率よくフォローアップに取り入れて、いかに簡単にこの段階を処理できるのかも、工程マネジメントシステム全体の利用を左右する重要なキーポイントである。

5. 工程計画システムの概要

現在、工程マネジメントシステム開発の第一段階として工程計画システムの開発を行っているので、ここではこのシステムの概要を図-8のシステムフロー図に従って説明したい。

(1) データのインプット

対話型によるデータの入力・変更が容易に行えるように、以下のように工程ネットワークデータを3分割してインプットする。また、工程計画の階層性に対応できるように、図-9のようにSub-networkを1作業として計算できる階層的データ構造をとっている。

a) 作業データ

データ内容は、作業No、作業名称、作業略称、作業日数、作業Code、資源Code、原価Codeなど。

b) 技術的順序関係データ

データ内容は、先行作業No、後続作業No、順序関係Code、タイムラグなど。

c) 管理的順序関係データ

仮設材や建設機械及び技能員などの諸資源を効率よく転用するためのデータ。資源Code、先行作業No、後続作業No、など。

(2) 所要時間の計算

このシステムでは、日程計算にはいる前に各作業の所要時間を定められた条件のもとで自動的に算出する機能を備えている。これは、計画変更やフォローアップなどの際、所要時間計算の前提条件をマニュアルもしくはそれまでの実施データなどから自動的に変更することにより、作業の所要時間の再計算という手間を少なくする効果がある。

作業の所要時間の決定方法には、確定日でインプットする一般的な方法の他に、次の2方法をとっている。

a) 作業歩掛りで計算する方法

作業歩掛りと投入資源数量により自動的に所要

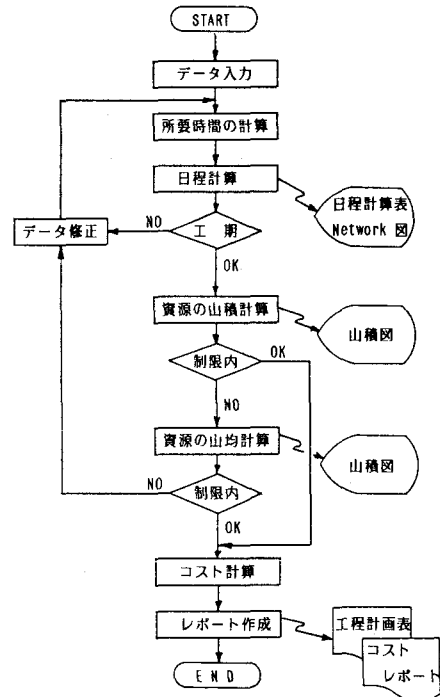


Fig. 8 工程計画システムのフロー

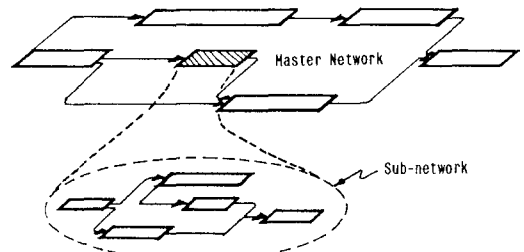


Fig. 9 階層構造を持つネットワーク

時間を計算する方法で、歩掛り実績が分析されている主要工種に用いる。これまでこのような方法を用いる場合は、標準歩掛りと同じように1工種につき標準的な一定の歩掛りを与えて計算するのが一般的であるが、ここでは数量化理論を用いて質的な作業条件までも考慮した歩掛り推定式³⁾により算定した歩掛りを用いる。

$$\text{所要時間} = \frac{\text{作業量} \times \text{歩掛り}}{\text{投入資源数量}} \quad \text{式-1}$$

b) 作業スピードにより指定する方法

都市部での工事などで、作業員の供給状態があまり制約にならない工事においては、経済的な作業

スピードにより工程を計画する場合があります、この算定法を用いる

所要時間 = $\frac{\text{作業量}}{\text{作業スピード}}$ 式-2

(3) 工程ネットワークモデル

PERT手法の問題点の中でもふれたが、現在PERT手法があまりよく利用されていない原因の一つに、作業間の順序関係ならびに工程ネットワークの記述に関する自由度が小さいことがある。

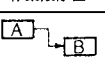
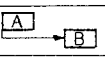
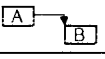
そこでこのシステムでは、表-1のような3通りの作業順序関係を持ったネットワークモデルを採用することにより、現実の工事工程を無理なく表現できるように考慮した。

この中で、SS(Start to Start)関係及びFF(Finish to Finish)関係は、PN手法と同様に作業間の順序関係を先行作業との関連でとらえる考え方であるが、BF(finish Before sta

rt) 関係は、後続作業から先行作業への時間的制約条件を現わすのに用いられる。たとえば鉄筋を加工し組立る時、作業現場での置場の広さに制約があると、鉄筋加工は鉄筋組立に時間的に近接して作業されなければならない、またコンクリートをポンプで打設する時、ポンプの配管は打設作業の直前に実施されるのが普通である。これらのような場合にBF関係を用いる。

このモデルのアルゴリズムは、図-10 のような繰り返し法で計算される。この考え方は次のようになっている。まづBF関係をFS=0の関係に置換えてプレシデンス法と同様に計算し、BF関係の部分で関連作

Table-1 3通りの作業順序関係

作業順序図	表示法	作業順序及び遅れ時間の定義
	FS=n	作業Bは、作業Aの終了後n日以上経過しないと開始する事が出来ない。
	SS=n	作業Bは、作業Aの開始後n日以上経過しないと開始する事が出来ない。
	BF=n	作業Aは、作業Bの開始前n日以内に終了しなければならない。

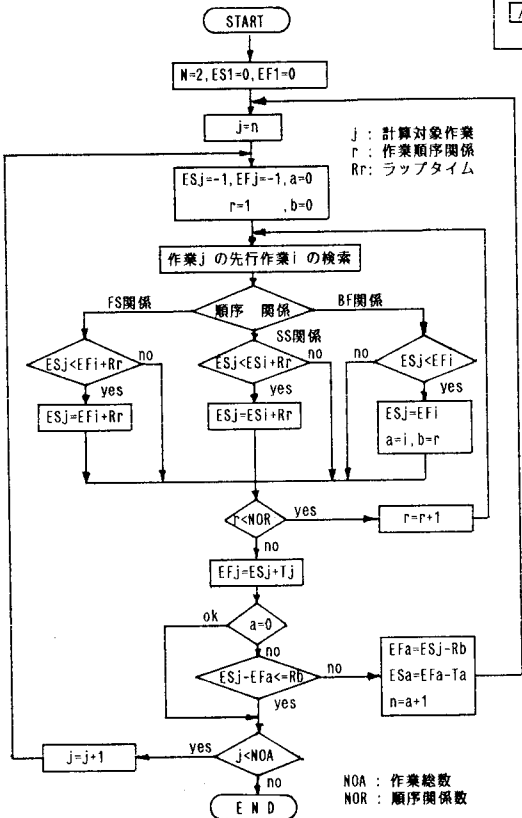


Fig. 10 日程計算のアルゴリズム (前進計算)

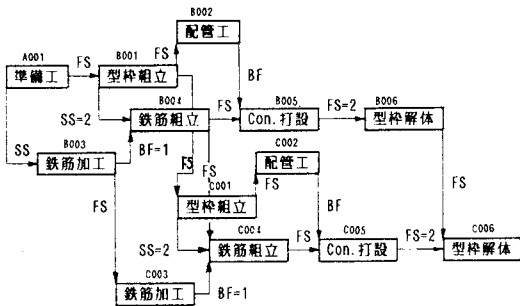


Fig. 11 ネットワーク例

Table.2 日程計算結果

No.	作業名称	日数	ES	EF	LS	LF	TF
A001	準備工	4	0	4	0	4	0
B001	型枠組立	4	4	8	4	8	0
B002	Concrete配管	2	9	11	11	13	2
B003	鉄筋加工	2	3	5	4	6	1
B004	鉄筋組立	5	6	11	6	11	0
B005	Concrete打設	1	11	12	13	14	2
B006	型枠解体	3	14	17	16	19	2
C001	型枠組立	4	8	12	9	13	1
C002	Concrete配管	2	14	16	14	16	0
C003	鉄筋加工	2	8	10	9	11	1
C004	鉄筋組立	5	11	16	11	16	0
C005	Concrete打設	1	16	17	16	17	0
C006	型枠解体	3	19	22	19	22	0

業との時間的制約条件が満たされていない場合は、その作業の計算時間を制約条件を満たすように修正し、その次の作業の時間計算にまで戻って計算を繰返す。

このモデルの簡単な例を図-11に、またその計算結果を表-2に示す。

(4) 資源制約条件への対応

主要資源の制約条件に対しては、資源転用データの指定によってほぼ満足されと考えられるが、より計画の実行性を高めるために、このシステムは図-8で示した①余裕時間による山均法と②計画立案者との対話による計画データ変更により、資源制約条件へ対応することとしている。

また、図-12のように標準投入量・上限投入量・下限投入量を各々 r_{opt} 、 r_c 、 r_1 に対応して指定し、これを図-13の考え方で資源制約に自動的に対応させる方法も開発中である。

(5) 原価管理との対応

前述したように、このシステムでは主体工事部分の費用を取り扱う。

6. 支援情報システム機器構成

現在システム開発を行っている情報システム機器構成を図-14に示す。

これは、現在最も普及しているホビー用マイコンとオフコンの中間に位置する機種で、ユーティリティープログラムなどの整備がオフコンより劣るが、計測からワープロまで多様なニーズの存在する現場事務所では、有効に対応できる機種であると考えられる。ただし、現時点の機器構成で大規模な工事の場合にも応答性のよいシステムを構築できるという保証はないが、本システムが実用段階にはいる時点では、同程度の価格のシステム構成で、応答性のよいシステムとなるものと確信される。

7. おわりに

現在は、まだ工程計画システムの実験プログラム作成の段階であり、今後実際の現場事務所での業務を対象とした運用実験により、本システムの各検討項目を検証していきたいと考えている。

また、工事日報と連動した進捗管理システムとフォローアップシステムについても、早急にシステム化を進めたいと考えている。

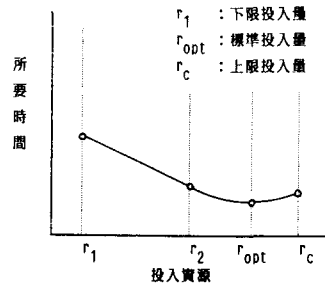


Fig. 12 投入資源モデル

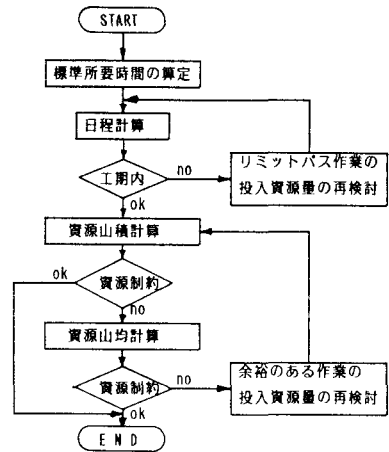


Fig. 13 自動計算による資源平滑化フロー

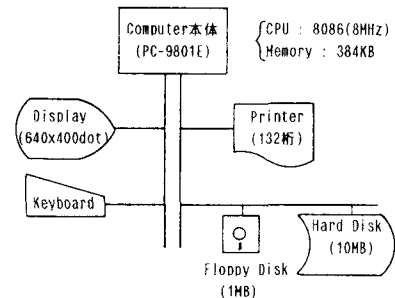


Fig. 14 情報システム機器構成

参考文献

- 1) 「ネットワーク手法を有効に活用するために」：『第2回土木工事のマネジメント問題に関する研究討論会 講演・資料』1984. 11
- 2) 宇津橋昭八郎「工程管理の最適性に関する考察(1)(2)」：土木技術39巻 3号(S59. 3) 39巻 5号(S59. 5)
- 3) 「統計的手法による歩掛りデータ利用の研究」：1)と同じ