

電算機による工程管理 (NET-WORK手法を中心として)

清水建設(株)

○比奈地 信雄

齊藤毅

小峰 祥男・重元 智史

1 はじめに

最近の土木工事は大型化、複雑化、技術の多様化が進み、その管理も多元化してきている。工事の計画時に於ても工事の最適計画を作り上げる事は時間やMan Power の点からも困難になってきている。まして工事途中の変化に対して最適な再計画をたてるという事は至難の技と考えてよい。今後土木工事の多元的管理を考えると従来の手作業による管理方法では管理しきれなくなる場合が出てくると思われる。そこで工事を構成している資源等をデータ化し、電算機で処理して管理に必要な資料を判断しやすい型で速みやかに提供するシステムを開発することにした。システムは工事全般にわたるもので、基本システムとしては工事を組立てている単位作業に分割し、さらにその単位作業を構成している資源の質、量、単価まで処理する資源入力システム（元積作成システム）と単位作業の時間的要素を取扱う工程管理システムの二つから成立っている。ここでは後者の工程管理システムについて発表する。

2 工程管理システム

システムのフローは図-1に示した通りである。

工事の計画，管理の手法として現在発表されているものはPERTを基本にした管理手法が大部分である。我々も工程管理システムを開発するにあたりPERT手法を採用することにした。PERT手法は建設工事管理に適していると考えられ，日本に導入されて以来急速に普及した。しかしPERT機能を有効に利用するにはデータの蓄積を必要とし，又ネットワーク図そのものの作図が面倒な事もあって工事初期に一度描くだけでその後は活用されていないのが現状である。そこで図面作成の面倒くささを自動作図することにより省力化し，PERTの持つ機能を有効に利用するために工事構成資源との結びつきを考えることにした。

○ネットワーク図の作成

ネットワーク図をどの程度まで自動化出来るか、大きな問題であった。定形的な工事であるならば基本的な部分の作業間の関連は自づと定まり工事パターンとして入力が可能ではないかという考えから種

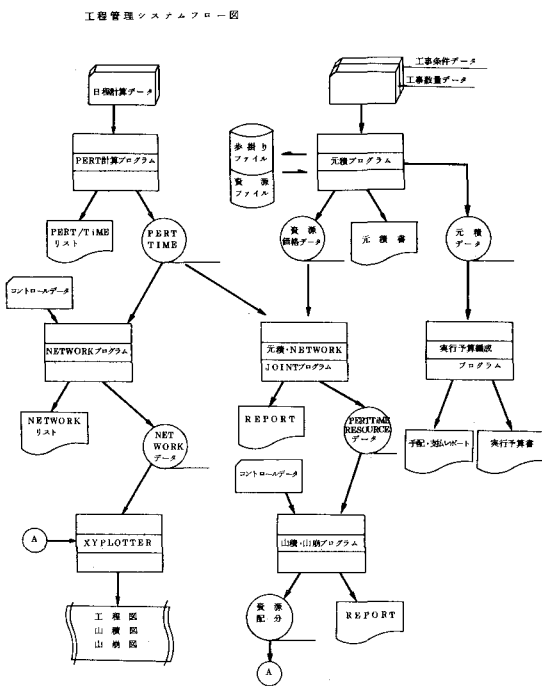


図-1 システムフロー図

々の工種について工事パターンを分析してみた。しかし同じ工種で一見同様に見える工事でも作業の順序が逆であったり、資材転用の為順次作業になっていたりしており同一パターンで処理することは不可能であるとの結論を得た。もし工事間の関連まで自動的に決定したい場合は施工計画そのものをシステム化する必要がある。すなわち工事条件と工事数量を入力することにより適正工法と工期及び価格を算出できるシステムを開発する必要がある。しかし現在単独工種（例えば重機土工、ケーソン工法、基礎杭、トンネル）等については一部開発されているがそれらを総合的にまとめることは今後かなりの時間が必要のようである。

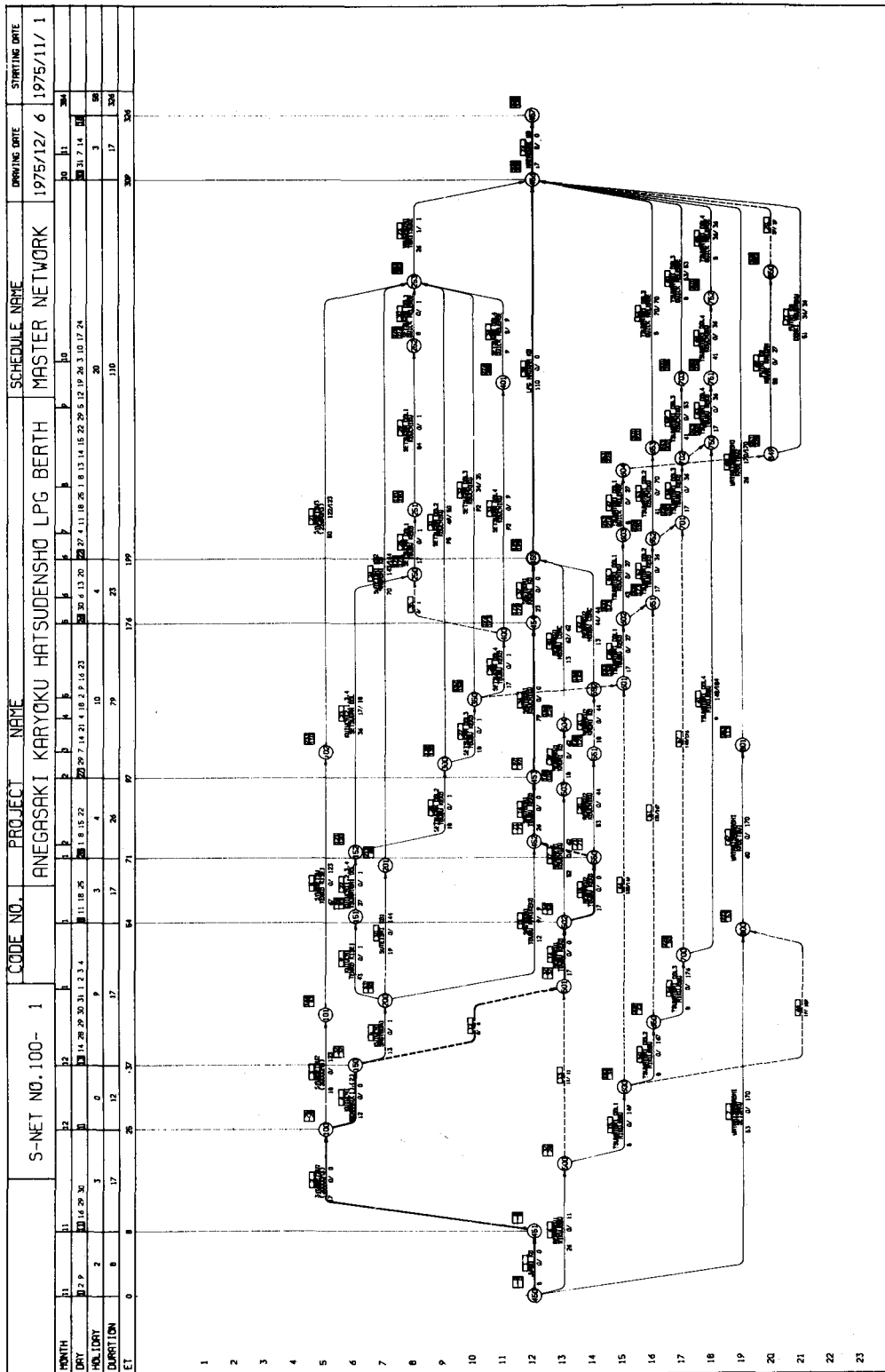


図-2 マスターネットワーク

次に各作業間の関連を指定し、時間計算から工程図まで一貫して行なう事を試み一応完成させたが作図順序をある基準（フロートの小さい順等）によって決めなければならないので出来上った図はフロート中心の図となり、作業場所との関連が明確に表現できなく、管理しにくいものになってしまった。そこで工程図上に Line を想定し、その Line に場所的意味付を行ない各作業をどの Line 上を書くかを指定し、場所との関連をつけることにした。さらに着工日、休日等を指定することによって暦日との関連もつけられ、一般に使用しているネットワーク図と同じものを作成することが出来る。（図-2参照） 入力各 Activity が一枚のカードになっているので工事途中に於ける追加工事や変更は該当するカードのみを変更すれば良く、修正工程表を作成することが非常に容易になった。又工事の進捗状態をチェックする Follow Up もチェック時点で Activity を切断しノードを設け、それ以前を完成工事として作業日数を着工日より当日までの日数を入力することにより簡単に行なえる。

○資源計画

a 資源の山積

ネットワークの各 Activity に資源を与えることによって簡単に山積図が作成される。しかし各 Activity に資源を振当てることは大変な作業である。この問題を解決するために資源入力システム（元積作成システム）より資源データを送り受け、単位作業とネットワークの Activity と結びつけることにした。資源入力システムによって工事原価を算出すると同時にそれに使われる資源の集計も行なっている。この集計された資源を利用するのであるが見積用に分割した単位工事と工程表に表わされている Activity は一般に一対一で対応しない。すなわち工程表に於ける 1 Activity は資源入力システムの数個の単位工事が組合されている場合もあるし、逆に 1 単位工事が数個の Activity に分割される場合もある。いずれにしてもどの単位工事と Activity が対応するかを明確にすれば両者の結合は可能になる。このシステムでは単位工事コードに対応する Activity No を入力することによって両者を結びつけている。山積したい資源は資源コード No で指定するのであるが、単独の 1 資源だけではなく、例えば労務全体とか各サイズを合計した鉄筋量等でも山積は可能である。又数種類（最大 9 種類）の資源について同時に処理することができるようにしてある。これは今後各資源を配分し最適化をはかる場合これくらいの種類の資源を考慮すれば十分であろうと判断して決定した。

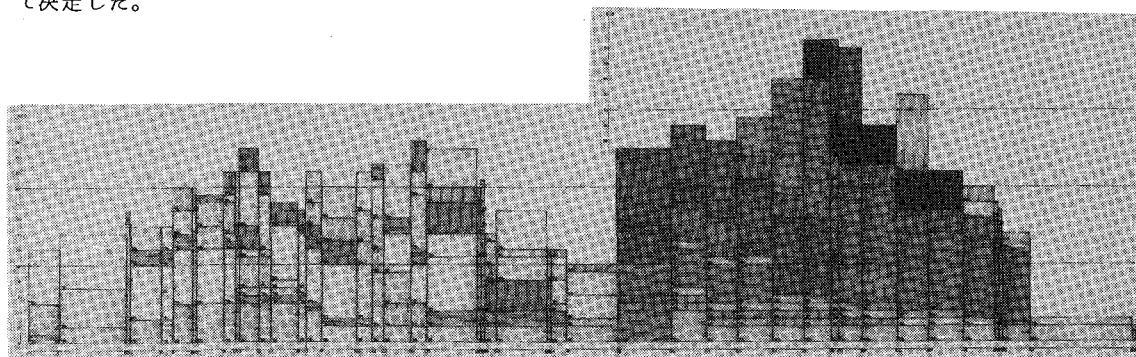


図-3 山 積 図 （最早時刻ETで山積したもの）

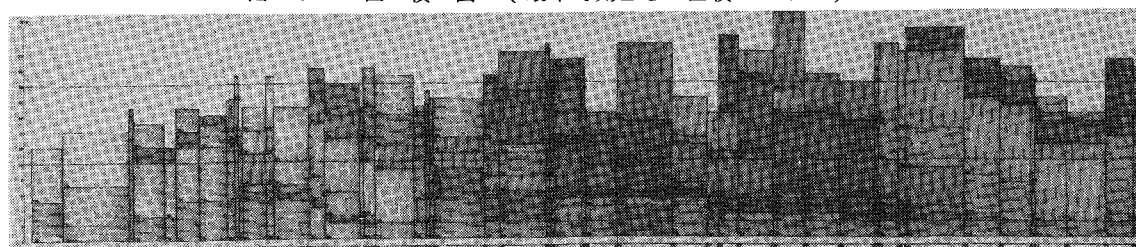


図-4 山 崩 図 （工期を固定し山崩したもの）

山積する場合各 Activity のどの時期で山積するかが問題である。資源の配分を考慮して最初からなるべく凹凸のないように積上げる事も可能であるがこれは山崩理論の一部導入することになり、後に山崩についての問題点を述べる所で触れるがあまり好ましいことではない。ここでは E T (Earliest Node Time) と L T (Latest Node Time) について山積を行なう事にしている。(図-3 参照) 表現方法としてラインプリンターで図表化する方法も用意してあるが図面として表わした方がより使いやすいという事で通常はドラフターを用いて 4 色画に仕上げている。

b 資源の山崩し

山崩しには工期を固定する場合と資源の最大値を規制する場合の二種類ある。工期を固定した場合は山積された資源をフロート範囲内で Activity を移動して平滑化をはかるのであるが平滑さの評価基準をどう定めたらよいかむずかしい問題であった。このシステムでは各時刻に実際に使用する資源の二乗和を用いている。すなわち「和が一定 (R) の正数 $r_1, r_2, r_3, \dots, r_k$ の二乗和 S

$S = r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + \dots + r_k^2$ は $r_1 = r_2 = r_3 = \dots = r_k = R/k$ のとき最小値 $S^* = R^2/k$ をとる」ことを利用している。優先順位基準 (① E C T 最早完了時刻 ② T F トータルフロート ③ 作業日数) に従って sorting された Activity Table から Activity を 1 つ取出し、Float の範囲内で 1 日ずつ遅らせながら二乗和の変化を調べその中で最小の値をとることにしている。又各 Activity は連続して施工するものとし、中間に休止日は入れないものとした。資源がある一定量以上供給出来ない場合はその最大値を入力し、それを越えるような時は作業を順次後へずらし、工期を延期することになっている。又資源の規制もいくつかのブロックに分け、それぞれの区間で指定出来るようになっている。山崩しに関して工期を固定した場合と資源量を固定した場合の二つのプログラムが開発されているが、ある資源だけを単独に山崩しを行なっても意味のない場合が多い。1 つの Activity を構成している資源をセットに考え、その関連も考慮しつつ山崩しすることが必要の様に思われる。山崩しは結果そのものを施工計画の一部として組入れられている。最近の建設プロジェクトは施工条件等が非常に複雑になり、一元的に物事が判断出来なくなっており、山崩条件を簡単に決めることができない。理論的には色々の処理プログラムが開発されているがそれらを用いて実際の工事の施工方針を決定することはまだ無理があるように思う。したがって山積同様に計画された方針をチェックし、それをどの程度まで変化するかという目安を得るための手段として用いるのが現在では最良の使い方と思われる。

3 まとめ

工事に於ける工程管理は単に時間的管理だけではなく、工事全体の管理の指標として利用されている。それは工程計画をたてる場合、単位作業毎にプロジェクト全体の関連に於て最適と思われる資源の配分を行ない組立られているため、その配分等に矛盾がない限り時間的管理を行なうだけで他の管理要素もほぼ満足させる結果となる。したがって工程管理として時間的要素のみを取扱うシステムを開発しても実際の管理を行うことが出来ないと考える。特に今後は 1 プロジェクトだけではなく複数のプロジェクトを総合して最適化をはからねばならないことを考えると工事を構成する資源まであつかいするトータルシステムが必要と考える。

[参考文献]

- 刀根 薫 P E R T 講座 (I ~ V) 東洋経済新報社
- 坂本 実 プロジェクト・ネットワーク上の資源配分問題 I E Vol.13 No.3
- Mark, M. Klein: Scheduling Project Networks
Communications of the A C M Vol.10 No 4 4. 1967
- Lawrence J. Watters and Philip M. Wolfe:
Multiproject Scheduling With Limited Resources
Management Science Vol.16 No 1 Sep. 1969