

5. ネットワーク手法（PERT・CPMによる計画と管理）

5.1 概 要

工事量の増大および工事の大型化、複雑化に伴って、これに対応できる組織の構成、資源（時間、労力、物資、資金）の有効利用および生産性の向上などが要求され、さらに設計、施工技術の進歩により仕事も多岐に分かれ、分業化、専門化が進み、目標の達成には高度な計画、管理が必要となってきた。

従来、一般に使用されてきた横線式工程表や曲線式工程表は図表そのものが簡単なため、作りやすく、見やすいことから使いやすい利点はあるが、複雑で精度の高い計画、管理を行うためには不向きである。各作業相互間の関連性、全体工期に影響を及ぼす作業など、詳細かつ的確には握しなければならないような工事の場合において、大まかな工程の管理しかできない横線式工程表や曲線式工程表では、ある程度の勘や当て推量によって計画され、作業の相互の関連性についても、当事者の考え方に頼ることによって、いちおう要求が満たされていたが、必ずしも十分とはいえない。工種が少なく複雑でない単一工事など使用目的によっては、その効果は発揮できるが、高度な計画、管理を行うには新しい管理手法が要求され、科学的理論性のある管理手法として、ネットワーク手法が開発され、発展してきた。

ネットワーク手法は、大別してつぎのようにわけられる。

(1) PERT (Program Evaluation and Review Technique)

PERTは米軍によって、1958年頃から研究開発が進められたもので、ポラリスミサイル計画で大きな成果を上げ、主として時間を対象とし、その他限られた諸資源の配置計画、および原価計算との結びつけに利用し得るものである。

(2) CPM (Critical Path Method)

ケーリー (James E. Kelley Jr.) (レミントンランド社) とウォーカー (Morgan R. Walker) (デュポン社) を中心とする研究グループによって1957年に開発され、PERTに比べ時間のほかにコスト問題を取扱い、その最適解を求めている所に特色がある。

5.2 作成の基本的考え方

ネットワーク手法の基本的ルールは簡単で、丸と線の結びつきで表現でき、かつ目的に対して弾力的に表示可能なものであるが、作成前提の第一としては、目的を明確にとらえることが重要である。一般的には

- (1) 経済的スピードで工期を守る
- (2) 有効な資機材の配分計画
- (3) 工費（労務費，材料費）の節減
- (4) 経費の節減
- (5) 資機材，人員の合理的運営

ということに主眼をおいているが，さらに最近の工事内容を考えると，種々の複雑な要素がからみ合って多くの問題点を含んでいる。たとえば，道路工事などを見ると，対外折衝上から受ける制約（地下埋設物，用地，交通対策）が多く，この中での最適解は人間思考のみで解決するのは危険でネットワーク表示によって明確化する必要性を痛感するものである。このように土木建築工事などの計画管理は，非常に不確定要素を前提とし，さらに気候その他から受ける影響性も多く，これの対策も目的の一要素と考えなければならない。

第二として，ネットワーク作成において，基本的に考慮に入れなければならないものに，次記のようなものが考えられる。これらは各人が業務を遂行する場合，あるいはマネジメントとして管理する場合の基本的態度にほかならないのである。

ネットワーク作成の基本的な要点

- (1) 目 的（仕事の目的）
- (2) 対 象（何について）
- (3) 範 囲（どこからどこまで）
- (4) 相 手（折 衝）
- (5) 工 法（技術的に最適な工法）
- (6) 工 期（いつからいつまで）
- (7) 費 用（機材費，労務費，経費）

5.3 ネットワークの表示

ネットワークを作成する場合，従来の横線式工程表の考え方を捨て，バーはその作業の関連性，方向，内容を表示しているものとするものである。

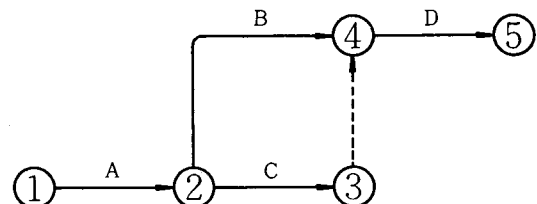


図2.15

図2.15においての表現内容は，まずA

の作業が始まり，この作業が終了するとB，Cの作業を同時に始めることができる。作業Dは，B，Cが完了して始めるということを意味するものである。

ここで重要な約束は，ある結合点（イベント Event）において入ってくるすべての作

業が完了しないと、つぎの作業が開始できないことである。

つぎに③～④の間の矢線は、相互の関係を表示するために使われ、所要時間ゼロの擬似作業であり、これをダミー (Dummy) と呼んでいる。

以上のルールから、プロジェクトを完成する手順を知っているものは丸と線でネットワークを作成することができ、その作業の数がいくら増大しても、先行して行われていなくてはならぬ作業は何か、平行で行ない得る作業は何か、またその後続く作業は何か(図2.16)といった三つの流れに整理され、これにより簡単にネットワーク表示ができる。

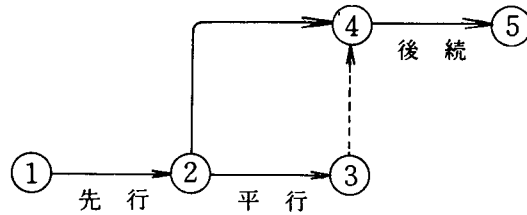


図2.16

5.4 記号と基本ルール

(1) アクティビティ (作業)

- ① アクティビティは矢線 (アロー) で示し、進行を表す。(左から右に向う)→
- ② 矢線の長さは時間には無関係で、形は任意でよい。
- ③ 矢線の尾が作業開始、頭が作業完了を示す。
- ④ アクティビティの所要時間 (デュアレイション) を矢線の下に書き、作業内容を上を書く。

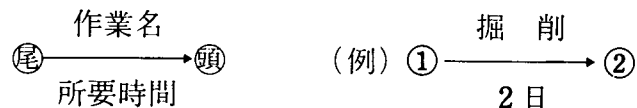


図2.17

(2) イベント (結合点)

- ① イベントは○で示し、○の中に0または正整数を書き込み、これをイベント番号と呼ぶ。
- ② イベント番号は同じ番号が二つ以上あってはならない。
- ③ 一般的には $i < j$ を満足するように付けられる (ただし、電子計算機を使用するさいは同じ番号を二度使用しないという条件を満たせばよい)。



図2.18

(3) ダミー (擬似矢線)

ダミーは破線の矢線で表わし、所要時間 0 の擬似作業で作業相互間の関係を示す。

- (4) 同一イベントから始まり、同一イベントに終る作業は 2 つ以上あってはならない。

アクティビティの表現は、その始点、終点のイベント番号で示す。そのために始点と終点のイベント番号で示されるアクティビティは二つ以上あってはならない。

この場合ダミーを用いる。

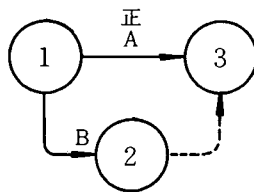
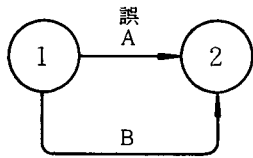


図 2.19

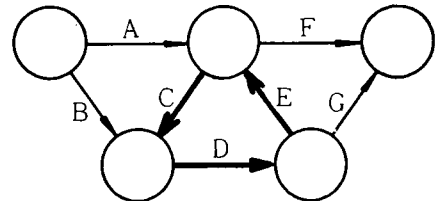


図 2.20

- (5) サイクルを入れない

図 2.20 で、作業 A.B.C.D.E.F.G.の作業のネットワークで C.D.E はサイクルとなる。

「C は E に先行し、E は D に先行し、D は C に先行する」ことになり、作業は進行せず、日程計算が不可能となる。

5.5 基本的な表示方法

- (1) 分割作業の表示

作業 A は作業 C に先行して行なわれる作業としたとき、A の半ばまで作業が終われば作業 B を始めることができる (図 2.21)。

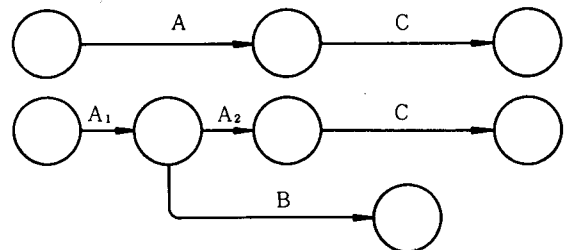


図 2.21

- (2) 集約作業の表示

図 2.22 のようなネットワーク(A)があ

る場合、作業群を(B)の X のように、一つのアローに集約することができる。これをマスターネットワーク (Master network) と呼んでいる。実務的には先にマスターネットワークを組み立て、一つの方針を打ちだし、それから細分化した詳細なネットワークを作成するのが普通である。

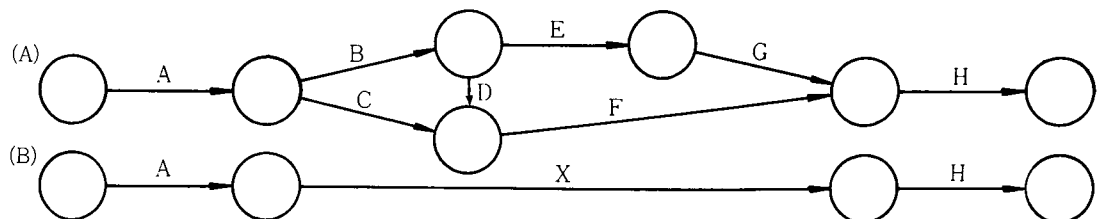


図 2.22

(3) 従属, 独立関係の表示

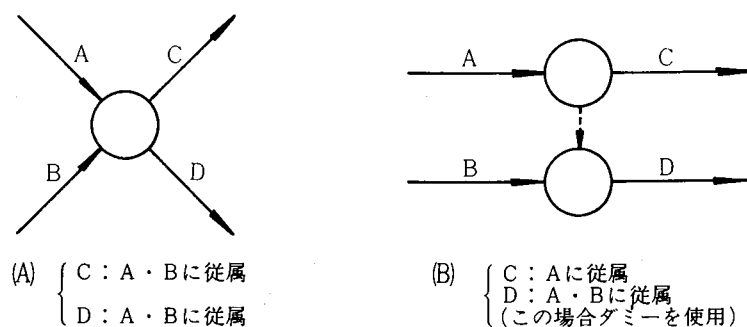


図 2.23

(4) 出発, 最終点表示

スタートイベント, エンドイベントは, 原則として一つにしぼり不必要なダミーを消去するようにすべきである。ただし工種別分類の必要からスタートイベントを二つ以上に行っている場合もある。

図2.24 の(A)を(B)または(C)に表示するが, 実務的には(C)の表示が一般的である。

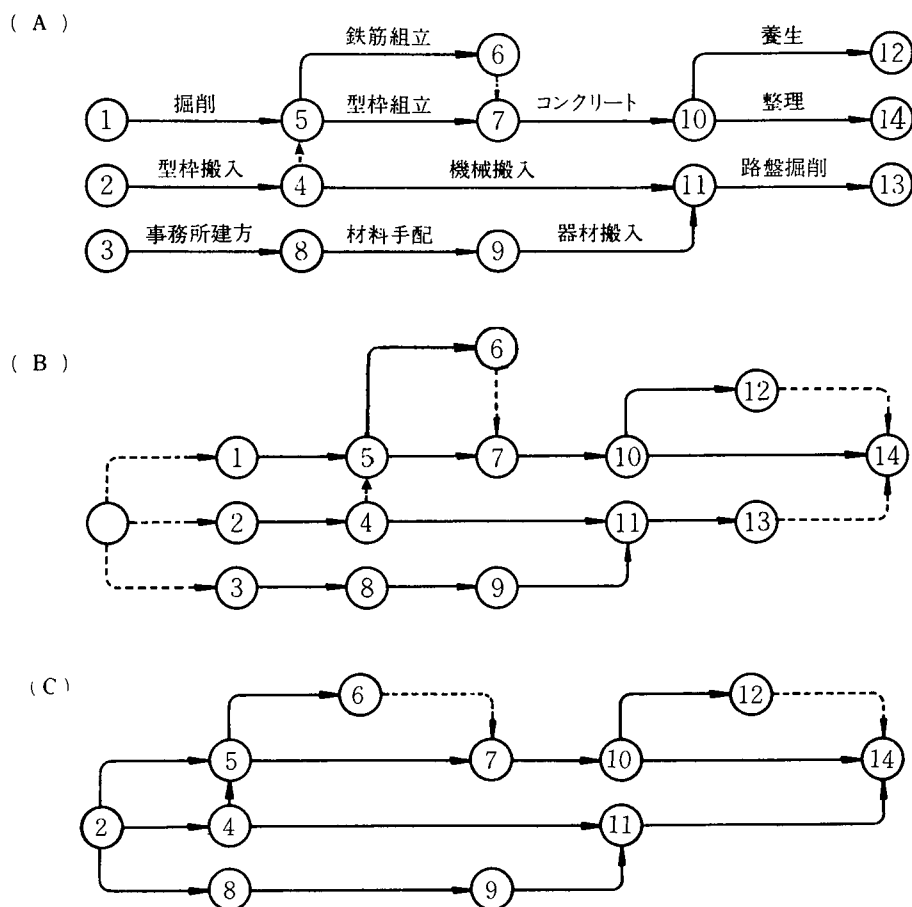


図 2.24

(5) ダミーの使用

- ① 使用 A：二つ以上の作業が同一イベントから始まって、同一イベントで終わる場合、ダミーを使って表示する (図2.25)

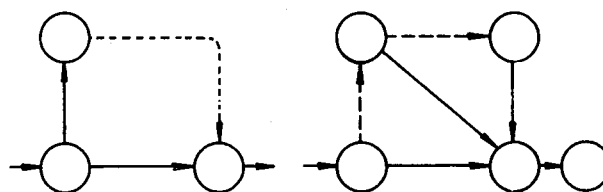


図2.25

- ② 使用 B：A のアクティビティと F のアクティビティの関係を切断 (図2.26)

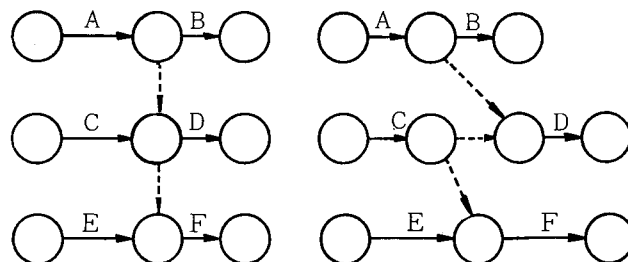


図2.26

- ③ 労務者、仮設材料の移動等によるダミー (図2.27)

(6) 完了日制約条件の表示

図2.28の点線の部分は、大きなネットワークを切ったところを表わしているが、仕事のある部分、またはある特定のアクティビティが定められた期日までに完了しなければならない場合、図2.28のように所定期日までの時間を所要時間とする矢線R₁を導入した表示をする。

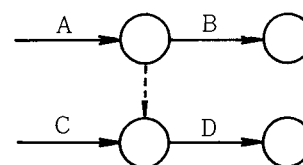


図2.27

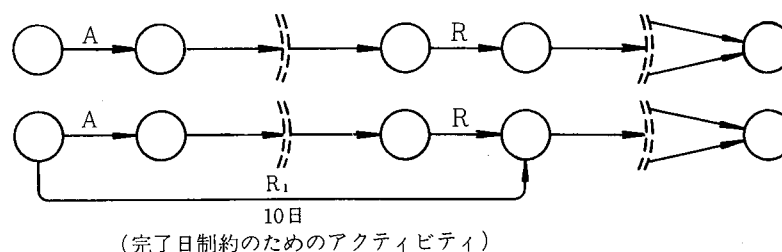


図2.28

(7) 待機時間の表示

図2.29では、作業 A が終わると作業 B, C が同時に開始できる。しかし、B, C をやるには、発注してから10日たたないと調達できないような材料が必要だとすれば、この条件を入れて図2.30が作成される。矢線 B' C' がそれを示している。

ところが、イベント②に同一イベントから矢線が2本きってしまうので、図2.31のようにダミーに相当する矢線 L.T (Lead time 待機時間) を入れる。しかし一般的には、A が終って B, C が開始されることが望ましい場合が多いので、その場合には L.T の矢線に図2.32のように時間が入る。ただし図2.32では C の作業は調達される材料に無関係として、ネットワークを組んでいる。

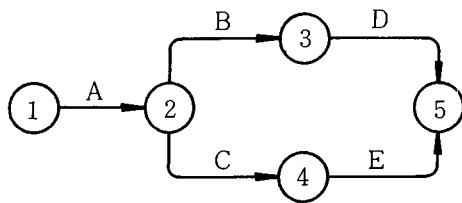


図 2.29

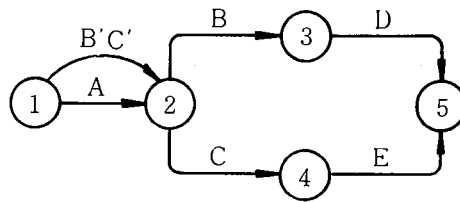


図 2.30

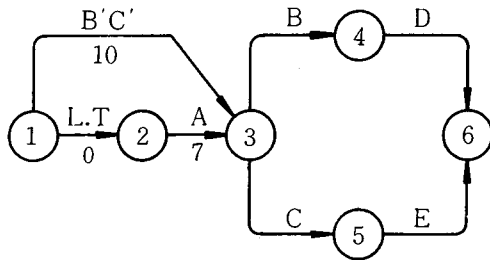


図 2.31

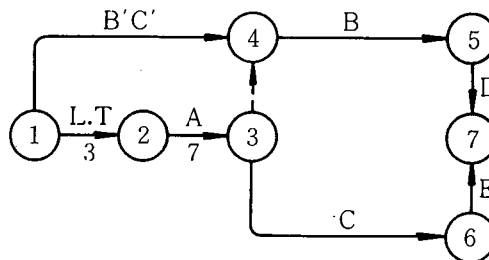


図 2.32

5.6 デュアレクション（所要時間）

デュアレクションとはアクティビティの開始から終了までに要する時間をいい、単位はネットワークの目的すなわち事業管理、現場工程管理などいろいろあるが、管理目的に合った単位により月、週、日、時、分などいずれを採用しても差支えないが、建設工事の場合は一般に日を単位としている。

(1) 時間見積りの方法

時間見積りに必要な要素として下記のようなことが考えられる。

- ① 仕事の種類と量と状態
- ② 作業人員、使用機械の種類、数と能率の初期、終期の低下度
- ③ 稼働率
- ④ 天候、気候の影響
- ⑤ 1日当たりの稼働時間
- ⑥ 材料調達などの状況
- ⑦ 土質、水の状態、工法

これらの諸条件を加味し、おのこののアクティビティごとに、他のアクティビティを切りはなして見積る。また、このときアクティビティの重要度、完成予定工期などは意識しないで、実情に即した経済速度の標準状態の作業日数（もっとも確率の高い日数）で見積る。

(2) 一点見積り

デュアレイションの決め方はいろいろな問題はあるが、建設工事においては、一点見積り（最も確率の高いもの）して考えるのが通常である。

つぎに、見積り決定の基本的考え方は、つぎのようなことが考えられる。

- ① 「その仕事は何日あれば絶対にできる」という考え方ではなく、「もっとも確率の高い」日数で考えることである。
- ② アクティビティの重要度を意識しないこと
- ③ 完成工期（契約工期など）を意識しないこと
- ④ 1日の労働時間は種々議論があるが、実務値的数字を用いること
- ⑤ 天候による影響はデュアレイションの中を含めることを原則とする（地方によりいろいろ差異はあるが、天候係数を考慮する。また、天気図を参考にし、年間予想を立て、係数を変化させる手段もある）

特殊なデュアレイション

- ① 休日及び雨天予備日数

各アクティビティの中に、休日・雨天などによる影響は加味されているが、なお不安の場合は予備日数を取り、ネットワークの末尾につける。

- ② 不確定要因

土質、設計内容などの不確定要因によるもの、また未経験作業による不確定な要因は前述のものと同様末尾につける。全体工期の4～5%以下であることが望ましい。

以上ネットワーク表示の基本ルールおよび時間見積りの基本的なものであるが、このほか時間見積りとして3点見積りの方法もあるが省略する。

5.7 結合点時刻（イベントタイム）

(1) 最早結合点時刻

任意のイベントから出てゆく矢線は、そのイベントに入ってくるアクティビティが全部完了したときでないと開始できないことは前述のごとくである。イベントから矢線の開始可能な時刻を図2.33によって計算すると次のようになる

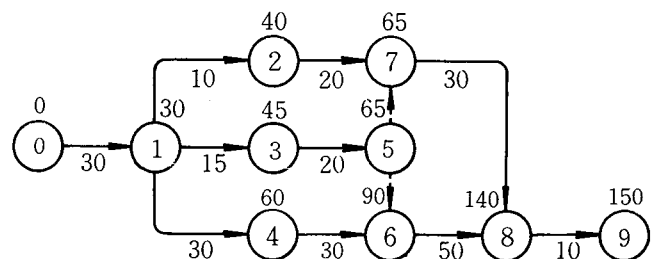


図2.33

①	0	0
①	0 + 30 = 30	30
②	30 + 10 = 40	40

③	$30 + 15 = 45$	.....	45
④	$30 + 30 = 60$	.....	60
⑤	$45 + 20 = 65$	.....	65
⑥	$65 + 0 = 65$ $60 + 30 = 90$	}	90
⑦	$40 + 20 = 60$ $65 + 0 = 65$	}	65
⑧	$90 + 50 = 140$ $65 + 30 = 95$	}	140
⑨	$140 + 10 = 150$	.....	150

この計算は、矢線の尾(i)の属するイベントの最早結合点時刻にそのアクティビティの所要時間を加えて、矢線の頭(j)に属するイベントの最早結合点時刻としたものである。イベント⑥や⑦のように2本きているイベントについては、それらの最大値をとればよい。いいかえれば、最早結合点時刻はネットワークの開始時点から考えて、そのイベントを始点とするアクティビティのどれもがもっとも早く開始できる時点を表わすものをいう。また各イベントに入ってくるアクティビティ群の時間の最大値をとることは、時間的にいちばん長い経路をきめることである。

(2) 最遅結合点時刻

前述の最早結合点時刻とは逆で、矢線の頭(j)の属するイベントの最遅結合点時刻からそのアクティビティの所要時間を引いて、矢線の尾(i)の属するイベントの最遅結合点時刻とすればよいが、イベント⑤のように複数の時は、その最小値をとるものである。いいかえるとネットワークの終了の時点から考えて、そのイベントを終了するアクティビティのすべてがもっともおそく完了してよい時点を表わしているものであり、それまでに完了すれば、それからあとのアクティビティが順調に進むことを前提として、終了の時点の間に合うぎりぎりの時点を表わしているものである（図2.34□内数字）。

⑨	150	.....	150
⑧	$150 - 10 = 140$	.....	140
⑦	$140 - 30 = 110$	.....	110
⑥	$140 - 50 = 90$	.....	90
⑤	110, 90	.....	90
④	$90 - 30 = 60$	.....	60
③	$90 - 20 = 70$	.....	70
②	$110 - 20 = 90$	.....	90

$$\begin{array}{lcl}
 90-10=80 & \} & \\
 \textcircled{1} \quad 70-15=55 & \} & \dots\dots\dots \boxed{30} \\
 60-30=30 & \} & \\
 \textcircled{0} \quad 30-30=0 & \dots\dots\dots & \boxed{0}
 \end{array}$$

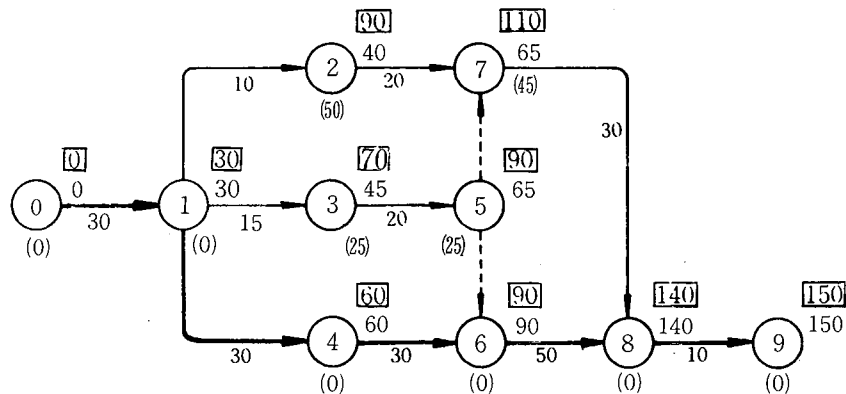


図 2.34

これらの（結合点時刻）は，工程管理上重要な意味をもつものである。

(3) 余 裕

最早結合点時刻と最遅結合点時刻が等しいものと異なったものがあることが図2.34の計算結果からわかる。同一イベントから開始すべき時刻と完了すべき時刻に差のあるものは余裕があり，差のないものは余裕がないわけである。最遅結合点時刻と最早結合点時刻の差を余裕（スラック）という。この余裕のないイベントをクリティカルイベント（Critical event）と呼び，後述するクリティカルパス(Critical path)は必ずそこを通る。

5.8 作 業 時 刻

結合点時刻では各イベントに到達する時刻は求められるが各作業ごとの最早開始時刻，最早完了時刻，最遅開始時刻，最遅完了時刻を知ることはできない。これらの作業時刻について図2.35のネットワークによって説明する。

(1) 最早開始時刻と最早完了時刻

アクティビティの最早開始時刻は，そのアクティビティ (i, j) がもっとも早く開始できる時刻でもあるので，イベント (i) が属する最早開始時刻であることはいうまでもないが，最早完了時刻は，もっとも早く作業を始めた場合，その作業の完了時刻をいうものである。

アクティビティ (i, j) の最早開始時刻 $= t_i^E$

アクティビティ (i, j) の最早完了時刻 $= t_i^E + T_{ij}$

図2.35の中のアクティビティ②→⑦の最早開始は40で、最早完了は60である。

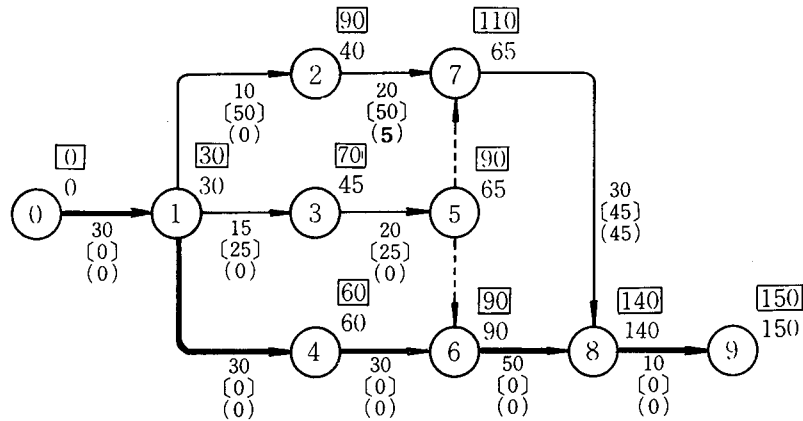


図 2.35

(2) 最遅開始時刻と最遅完了時刻

各アクティビティを完了させるぎりぎりの限界をいっているものであり、仕事を遅くとも始めなければならない最後の時点をも最遅開始時刻といっているものであるから、

アクティビティ (i, j) の最遅開始時刻 $= t_j^L - T_{ij}$

アクティビティ (i, j) の最遅完了時刻 $= t_j^L$

図2.35において、アクティビティ①→③の最遅完了は 70で、最遅開始時刻は70-15=55である。

最早開始時刻 $= t_i^E$	最遅開始時刻 $= t_j^L - T_{ij} = t_i^L$
最早完了時刻 $= t_i^E + T_{ij} = t_j^E$	最遅完了時刻 $= t_j^L$
T_{ij} = アクティビティ (i, j) の所要時間	

以上のことを図示すると

図2.35の②→⑦を例にとると

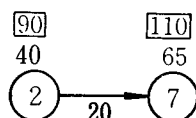


図 2.36

最早開始時刻 $t_i^E = 40$	} となる。
最早完了時刻 $t_j^E = 40 + 20 = 60$	
最遅完了時刻 $t_j^L = 110$	
最遅開始時刻 $t_i^L = 110 - 20 = 90$	

なお、②→⑦の最早完了時刻は60であるが、⑤→⑦の最早完了時刻が65であるから、⑦→⑧の最早開始時刻は65となる。

5.9 余裕時間（フロート）

ネットワークのアクティビティの中には最早完了時刻と最遅完了時刻が等しいもの、異なるものがあり、等しいものは余裕がないが、それらが異なるものは最早開始時刻で始めた場合、最早完了時刻と最遅完了時刻の差だけ遅れても全体工期に影響を及ぼさない。即ち、アクティビティの最遅完了時刻と最早完了時刻の差だけそのアクティビティは余裕時間（フロート）をもっている。これを図で説明すると、図2.37において工期完成に要する時間は11日であることがわかるが、その経路として①②→①→③、②③→①→②→③の二つが考えられる。その二つの経路を比較した場合、所要日数11日を決めている経路②に対して、①の経路は7日間で完了するので11日の経路に対して余裕があるという。

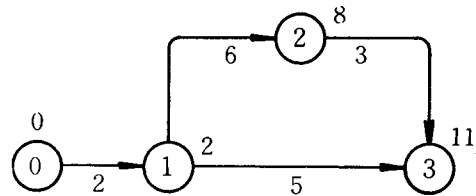


図2.37

余裕時間の種類として、全余裕（トータルフロート）、自由余裕（フリーフロート）、干渉余裕（インターフェアリングフロート）、独立余裕（インディペンデントフロート）の4種があるが、このうち多く使われるものは、トータルフロート、フリーフロートである。

(1) トータルフロート (T.F. 全余裕時間)

任意のアクティビティ (i, j) をとって考えると、先行するアクティビティが一般に最早開始時刻で開始され、かつ予定どおり進んだ場合には、このアクティビティは最早開始時刻 t_i^E で開始できることがわかる。またこのアクティビティは最遅完了時刻 t_j^L までに完了しなければ、所定の工期にプロジェクトの完成にもっていけないこともわかっているから、 $[t_j^L - t_i^E]$ だけの時間がアクティビティ (i, j) で使用可能となる。したがってアクティビティの遂行時間 T_{ij} と $[t_j^L - t_i^E]$ との差は、そのアクティビティに関する一種の余裕時間を示すことになり、これを全余裕時間（トータルフロート） TF_{ij} と呼んでいる。

$$TF_{ij} = (t_j^L - t_i^E) - T_{ij} = t_j^L - (t_i^E + T_{ij})$$

(図2.35において、[]内数字がTF)

計算例として 図2.35 からとると、

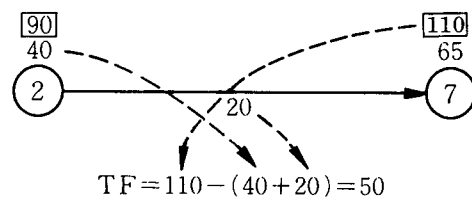


図2.38

トータルフロートの性質

- ① $TF=0$ のアクティビティをクリティカル・アクティビティという。
- ② $TF=0$ ならば、他のフロートも 0 である。
- ③ TF はそのアクティビティのみでなく前後のアクティビティに関係があり、一つの経路上では共有される。
すなわち各アクティビティの TF は、それを加えた分だけその経路に余裕時間があるのではない。

(2) フリーフロート (F.F. 自由余裕時間)

トータルフロートのある先行アクティビティがトータルフロートの一部、もしくは全部を使うと、後続するアクティビティは一般に最早開始時刻で始めることができなくなる。そこで後続するアクティビティの最早開始時刻に影響を及ぼさない範囲内で、アクティビティ (i,j) が使うことのできるフロートを自由余裕 (フリーフロート FF) という (図2.35において () 内数字が FF)。

$$FF_{ij} = (t_j^E - t_i^E) - T_{ij} = t_j^E - (t_i^E + T_{ij})$$

図2.35 から計算例をとると、

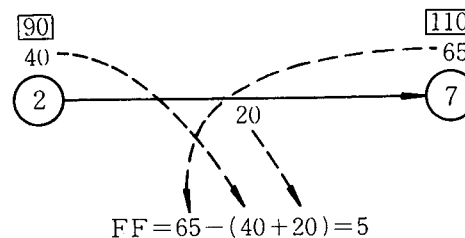


図2.39

フリーフロートの性質

- ① FF は必ず TF より等しいか小さい。
$$FF \leq TF$$
- ② クリティカルイベントを終点とするとアクティビティの FF は TF に等しい。
- ③ フリーフロートはトータルフロートの異なる矢線が一つのイベントに入ってきた場合にあらわれ、トータルフロートの差がフリーフロートとなる。
- ④ フリーフロートはこれを使用して、後続するアクティビティには何らの影響を及ぼすものではなく、後続するアクティビティは、最早開始時刻で開始することができる。

(3) インターフェアリングフロート (I.F. 干渉余裕時間)

前述のように、フリーフロートは後続するアクティビティの最早開始時刻に影響を

与えないものであるが、これに対して全体の工期には影響を与えないが、後続アクティビティの最早開始時刻に影響を与えるフロートをインターフェアリングフロートと呼んでいる。これを図で説明する。

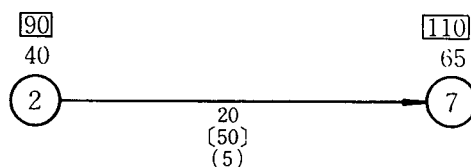


図2.40

この場合、5日間所要日数がのびても、後続のアクティビティの最早開始は $40 + 25 = 65$ で影響はないが、6日以上50日以内にフロートを使用した場合、最早開始時刻に影響を与えるものである。以上のことを式で表すと、

$$\begin{aligned} IF_{ij} &= t_j^L - t_j^E = [t_j^L - (t_i^E + T_{ij})] - [t_j^E - (t_i^E + T_{ij})] \\ &= TF_{ij} - FF_{ij} \end{aligned}$$

これらフロート関係を図解すると、つぎのようになる。すなわち IF, FF が TF と別途にあるわけではなく、TF の一部であることは前述の説明からも理解できる。

図2.34で説明すると、

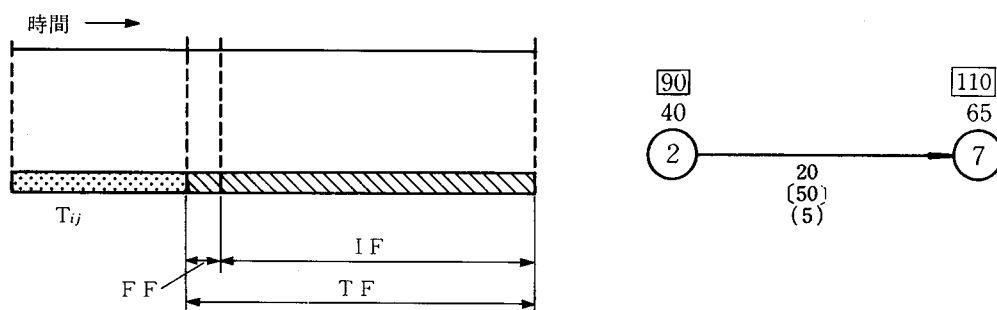


図2.41

$$TF = 110 - (40 + 20) = 50$$

$$FF = 65 - (40 + 20) = 5$$

$$\therefore IF = 50 - 5 = 45 \quad \text{となる。}$$

このことはフロート消化が5日までは後続するアクティビティの最早開始には影響をあたえないが、 $5 < F \leq 50$ の状態となると後続アクティビティ⑦→⑧の最早開始を遅らせることになる。しかし完成工期は150は守れるという状態となることを意味している。

以上フロート関係を説明したが、いい変えと、IFは使わずにとっておけば、後続する他の工程でその分を使用できるフロートで、FFはその作業についてだけしか使えないフロートで、溜め込みがきかないものである。

まとめ

$$TF_{ij} = t_j^L - (t_i^E + T_{ij})$$

トータルフロート

$$FF_{ij} = t_j^E - (t_i^E + T_{ij})$$

フリーフロート

$$IF_{ij} = t_j^L - t_j^E = TF_{ij} - FF_{ij} \quad \text{インターフェアリングフロート}$$

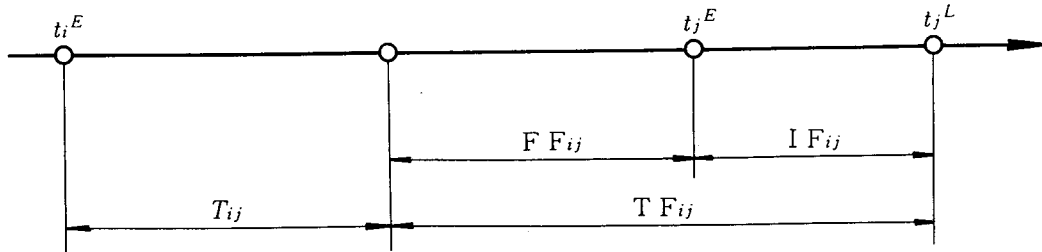


図2.42

5.10 クリティカルパス（最重点管理経路または最長経路）

いままでのような手順からネットワークが作成され、各アクティビティのフロートが計算され、その結果トータルフロートゼロのアクティビティが発見される。これは一連の経路を形成するものである。この経路をクリティカルパスと呼んでいる（図2.34の太線）この経路は工程管理上非常に重要なことでこの経路の発見がネットワークのもつ一大メリットといっても過言ではない。すなわち重点管理の考え方である。

クリティカルパスの性質

- ① クリティカルパス上のアクティビティの各フロート（TF, FF, IF）は0である。
- ② クリティカルパスは開始点から終了点までのすべての経路の中でもっとも時間が長い経路である。いいかえると、この経路によって工程は支配されている。
- ③ 工程短縮の手段は、この経路に着目しなければならない。
- ④ クリティカルパスは、必ずしも1本ではない。
- ⑤ クリティカルパス以外のアクティビティでも、フロートが消化してしまうとクリティカルパスになってしまう。
- ⑥ クリティカルパスでなくともフロートの非常に小さいものは、クリティカルパスと同様に重点管理する必要がある。

5.11 日 程 短 縮

基本ルールに従って完成されたネットワークに時間見積りをして、フロート、クリティカルパスが計算されるわけであるが、これまでの段階は通常完成工期を意識せず、その組織の最適な方法を選び計画されたものであるから、当然**完成工期を越えてしまう場合がある**。この場合、いずれかのアクティビティに短縮の手段を講じて工期を守るよう修正する必要がある。これは実務的に非常に重要なことであり、この状態に合理的に対策を講じられる所がネットワークの特徴といえる。

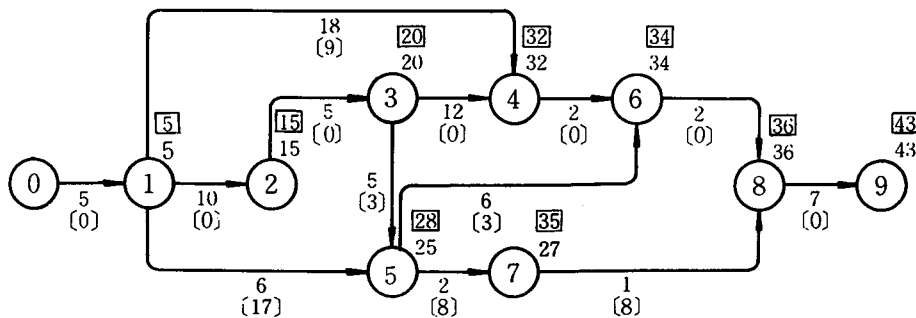


図 2.43

図 2.43 において、最終イベントに 43 日で到着できることが判明したわけであるが、もしここで工期（契約工期など）が 43 日でちょうど間に合う状態とすれば、最遅完了時刻（□内数字）は 43 日でセットされ、フロート、クリティカルパスが計算されるわけである。これはトータルフロートが、すべてゼロもしくはプラスの状態である。しかし、もしここで工期が 36 日として工事を契約しているとすれば、工期オーバーの状態となり、結局 7 日間短縮せざるを得なくなる。この場合、□内にその制約日数を入れてトータルフロートの計算をすると、図 2.44 のようにマイナスの経路が発生する。

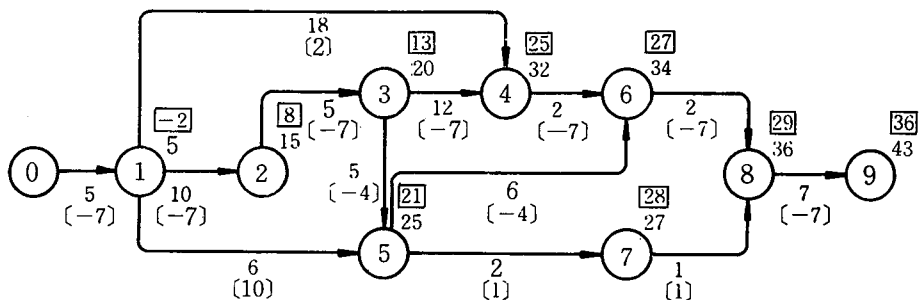


図 2.44

これはエンドイベントで、 $36-43=-7$ だけずれを生じたからにはほかならない。しかしフロートにマイナスを生じたままではネットワークが完成したとはいえないので、なんらかの手段を講じてアクティビティの所要日数を短縮する必要がある。そこで短縮するさいの最初的手段として、マイナスの経路の発生しているアクティビティを取り出して考えてみる (図2.45)。

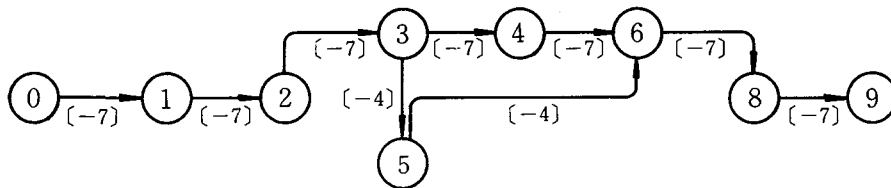


図2.45

この場合、 -7 のトータルフロートは $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 9$ の経路に発生しており、また -4 のフロートは $3 \rightarrow 5 \rightarrow 6$ に発生している。この負を消去するのに、いまアクティビティ $2 \rightarrow 3$ で2日、 $3 \rightarrow 4$ で4日、 $8 \rightarrow 9$ で1日短縮すると図2.46のようになり、依然としてマイナスの消去が終わっていない。これはどのような意味であるかといえば、 -7 の経路に対しては短縮の手段が講じられたものであるが、 $3 \rightarrow 5 \rightarrow 6$ のような -4 の経路に対して考慮が払われていないことになっているものである。すなわち、負の経路の消去は、共通部分 (たとえば $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$, $6 \rightarrow 8 \rightarrow 9$) をまずその対称アクティビティとすればこの経路の短縮は -4 、 -7 の二つの経路に影響を及ぼすので合理的な手段であるといえる。つまり $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$, $6 \rightarrow 8 \rightarrow 9$ でおのおの2日間ずつ短縮すれば -4 になり、残りの -7 のうち -3 は $3 \rightarrow 4 \rightarrow 6$ で短縮するのが効果的であるともいえる。

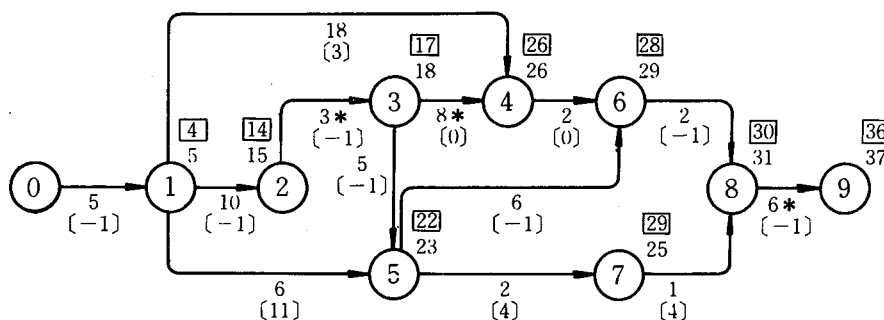


図2.46

つぎに、いままではその短縮するアクティビティを単純に考えてきたが、当然負の経

路上でも、経済性を考慮に入れたもの、資機材の搬入の難易、対外的折衝上とか、いろいろな性質をもっているのが一概にいえませんが、ここでは経済面を考慮に入れた C.P.M 手法で短縮の考え方について述べたい。

図2.47において A,Bとも3日間短縮可能なアクティビティ（クラッシュ

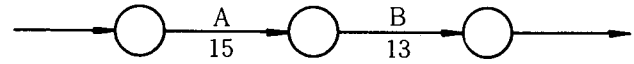


図2.47

ポイント)である場合、4日間短縮したいとき1日短縮するのに必要な費用は、Aは60,000円、Bは40,000円とすればつぎのような表になり、これらのうち一番安い方法をとるのが効果的であろう。(表2.2)

表2.2

アクティビティ	短縮可能日数 (crash)	1日短縮に 要する費用	組 合 せ		
A	3 日	60,000円/日	1 日	2 日	3 日
B	3 日	40,000円/日	3 日	2 日	1 日
4日短縮するに要する費用			◎180,000円	200,000円	220,000円

また組合せのみではなく、負の経路の中にも多くのアクティビティがあるが、その各アクティビティの短縮について、その費用が最小のものから着眼していくのが合理的である。

図2.48において、A点はノーマルデュアレイション(Normal duration)

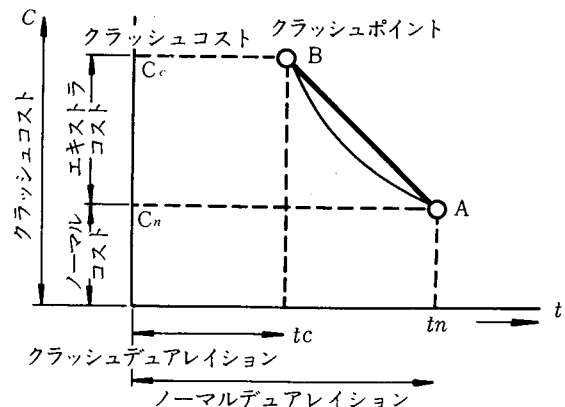


図2.48

とノーマルコストを示し、B点はクラッシュデュアレイション(Crash duration)とクラッシュコストを示す。実際には、A点からB点までの間のデュアレイションとコストの関係は必ずしも直線的に変化しないが、1日当たりいくらかと機械的に処理するためにこれを直線で結び、その勾配を求めれば短縮日数1日当たりには要するエクストラコスト（余分出費）が出る。これがコストスロープ(Cost slope)である。

$$S = \frac{C_c - C_n}{t_n - t_c}$$

S: コストスロープ

このコストスロープの最小値から、短縮の手段を講じていくのが経済面を考慮に入れた場合の一手段である。

以上短縮について手法的な面から述べたが、短縮についてはあらゆる局面を考えて、総合的見地から判断すべきであり、一局面にのみ片寄ると大きな誤りを犯す場合がある。これによりネットワークのクリティカルパスは増加したりするものであり、このような修正が加えられることにより、実際的な管理に移れる最終的なプランが作成されるものである。

5.12 フォローアップ

ネットワークの作成について、初めに矢線図を描き、時間見積りをしクリティカルパス、フロートを計算し、オリジナルプランが描かれ、つぎにもし契約工期など諸制限の範囲をオーバーしている場合は短縮して管理に移れる最終的なプランが完成するわけであるが、現在のわれわれの現場などを含めたあらゆる業務において、計画どおり寸分くわらず進行、完成することは考えられず、またこのような状態であってこそ弾力性のある管理手段を要求されるものである。そもそも管理とは、計画への忠実性であり、また意義は計画の修正であるといわれているが、計画は無から有を生じさせた所にその意義があるもので、内容はいろいろな仮定の条件から成り立っているものである。管理は計画の修正であるから、計画のあらゆる仮定条件の変化を大局的見地からコントロールし、最終的目的について弾力的、合理的に管理することにあるものである。したがって、精度の高い合理的な計画が成立しても、その管理の体系、手段にこれを実行に移し得ないものを含んでいるものであるならば、これは非常に形式的なものとなり、計画性のない形となり、力の弱い運営となろう。このような背景から、その要求に対してすぐれているといわれる手法としてネットワークが考えられてくるものである。ネットワークは手法的にもこの要求に対して十分こたえられるものであり、重点管理の必要性に数値的に導いてくれるものである。それがフォローアップである。

(1) 目的

完成したネットワークは工事進捗に伴い、いろいろ変化するものであり、管理の重点性も変わり、全体工事の総合最適化を考慮に入れた弾力的管理を目的とする。

(2) 内容

- ① 計画との調整
- ② アクティビティ、ダミー、デュアレクションの変動、新アクティビティ発生、整理などによる現状把握とその対策
- ③ クリティカルパス、フロートの変化による弾力的管理運営
- ④ 工事進捗の把握
- ⑤ プロジェクト完成への影響性

- ⑥ 打つべき手段の有効性についての判断資料
- ⑦ スターティングプランの見積値の修正
- ⑧ 設計変更への対処

(3) 手法説明

図2.49のようにクリティカルパス、フロートが計算され、工期23日で完成されることでセットされたスターティングプランで現場が始まり、管理の段階になってきた場合、そのプランを10日目でフォローアップしてみたら、図2.49の×印のアクティビティが表2.3のように変化していた。

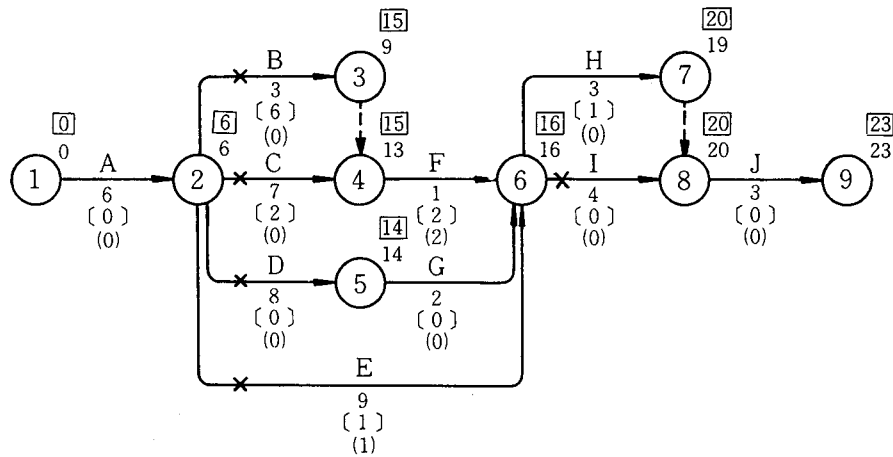


図2.49

そこでこの条件の変化を考慮に入れて、新しいネットワークを作成してみる（ただし、ここで新しいイベントをわかりやすくするために、a, b, c…を使用してみる）。

図2.50でわかるように工期が25日必要となり、23日に対して2日オーバーして

いる状態となる。すなわち、-2のTFが発生していることがわかる。そこでこの負のTFを消去するために、④～⑤のアクティビティDを7日必要なものを5日間に短縮するようにすれば、ネットワークは図2.51のようになり、当初プランに対してももちろんフロートも変わり、クリティカルパスは移動し、また新たなものも発生するが、契約工期23日で完成可能の状態となる。

表2.3

アクティビティ	当初見積日数	残所要日数
B	3	2
C	7	6
D	8	7
E	9	3
I	4	2

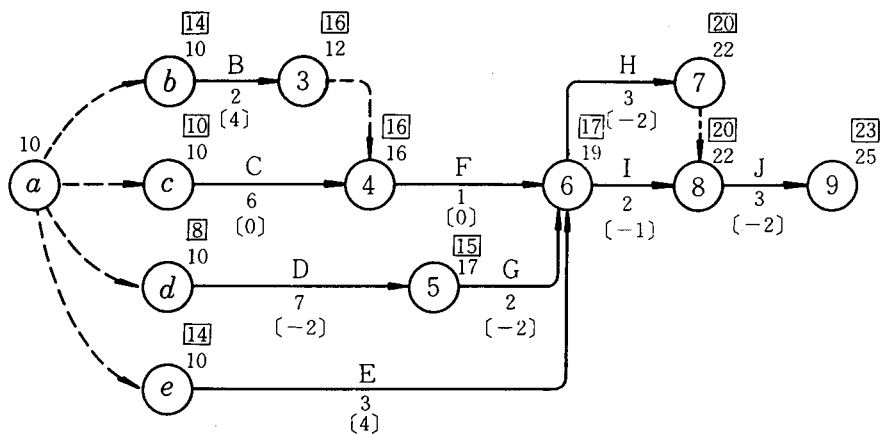


図 2.50

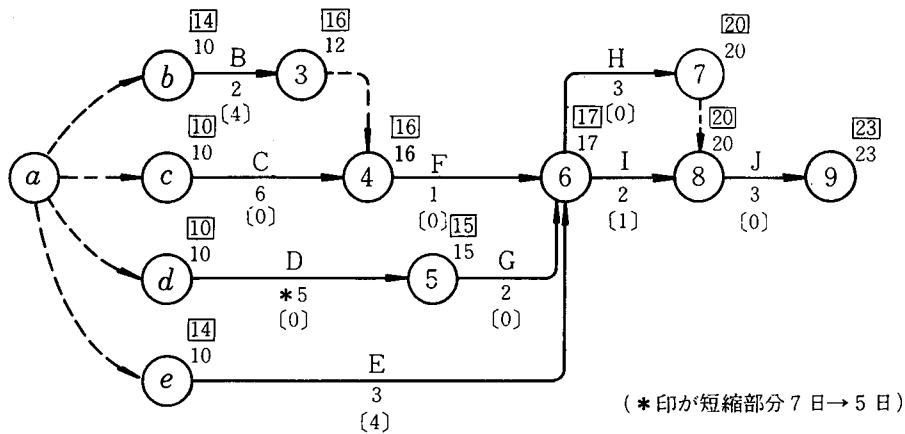


図 2.51

(4) フォローアップの周期

フォローアップの周期については議論のある所であるが、要はそのプロジェクトの内容、管理目的から決定されるものであろう。たとえば、一般の工事においては、工事着工から段取期間においては多くの仮定条件があり、抽象的な形で変化するものであり、フォローアップサイクルも数多くすべきであるが、工事も一定なカーブで上昇するような段階になったら、サイクルも少なくてよいと考えられる。また管理面からは、出来高が月別に必要であれば、1回／月で行なっていくべきであろう。ポラリスミサイルでは2週間に1度フォローアップを行なったといわれている。

(5) フォローアップシステム

前述のように、完成された計画をより強力に推進し、また弾力的、合理的に修正するには、組織体系の確立が急務である。企業内のシステム確立により、事業計画に対する組織の有効性、責任の明確化、個人の参加意識の向上などが可能となり、さらにプロジェクト全体を大局的立場で調整し、その主体性を各人、各組織に認識させることが可能となる。またフォローアップを組織的に確立することは、わが国において弱

点視されるデータの蓄積になり、将来の見積値の精度の向上にも役立つものである。フォローアップレポートは各組織、目的により多種であるが、要は弾力的予算面から、工程管理面から、原価管理面から、各プロジェクト別の採算性から、コストダウン的な考え方から決定されるものである。

5.13 配 員 計 画

いままでのネットワーク手法では、初期に設定した矢線図と作業の所要日数が工期に適切かどうかなどを検討した。しかし実際の工事施工に当っては時間の他に諸資源、即ち人、物、金などの利用が必要である。従ってこの資源についての計画の合理性を検討する必要がでてくる。ネットワークはこの要素の合理的な配分にも十分に答えられるものであるといえる。

いうまでもなく建設工事では建設機械、労務者、資材についての利用計画のじょうずへたが、そのコストに敏感にひびいてくる。配員計画では、日程計画の実行可能性を検討すると共に、工事のコストダウンをはかるべく、資源の最も合理的な使用計画を作成するといふ。

実際のやりかたとしては、作業を進めるために必要な人、物などの資源を各作業について考え、日々の累計を算出するもので、この場合大きなピークを生じたときには（例えば労務者が、ある日に特に多人数必要となるような）ネットワーク上のフロートを使用して、人員、資機材の量を平均化してやるものである。

しかしながらこれがクラッシュ（ある最小限度以上は少なくできないようなことの意）した場合は、全体工期に重大な影響を及ぼす場合もあることになる。しかしこのような考えかたを機械、仮設資材などに応用すれば、それらの有効利用に役立ち、在庫数量をつかんだり、機械の運用、稼働率の向上にも効果をあらわすものである。

なお今までのネットワーク手法の説明においては、時間を中心にしたので手計算でも十分補なえるものであったが、配員計画管理は、実際面においては比較的単純な工事の他は、より効果の期待を高める必要のあるような複合のプロジェクト（仕事）においては、電子計算機の力を借りてやるのが本質といえる。

(1) 山積みの方法

山積み計算は配員計画の基礎となるもので、日程計算できめられた作業日程どおりに工事を進めていくものと仮定した場合の計算である。

山積みのだしかたには、最早時刻の場合と、最遅時刻の場合の2つのケースについて行なうことができる。その手順は次のとおりである。

山積みの手順

- ① 完成されたネットワークのアクティビティに、各職種別の所要人員、機械、資材の量を1日当りで記入する。即ち日程計算を行ない、何月何日にどういう職種の人員が何人必要なのかを表わす
- ② 日程計算の結果を最早時刻（または最遅時刻）に合わせて、暦日目盛（タイムスケール）で表示する
- ③ 各作業の開始、終了の時点に縦線を入れる
- ④ 縦線間の作業で使用する資源について集計する
- ⑤ 山積み図を描く

この手順に従って、図2.52のネットワークを例にして、山積み表を作成してみる。

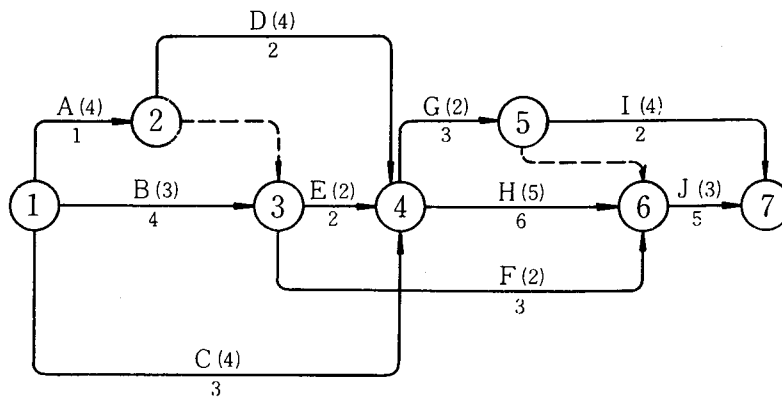


図2.52

ここでは簡単に表わすために労務者数のみにについて考えることにする。即ちパート／マン(PERT／MAN) スケジューリングといわれるものである。

図2.52の矢線上における()内が、その作業に必要な1日当りの労務者数を示すものである。

これを日程計算し最早時刻で暦日目盛(タイムスケール)表示したものが図2.53の(a)で表わされる。そして縦線間の人員数を集計したのが(b)でその山積み図が(c)である。たとえばB作業は4日間で3人、D作業は2日間で4人を描いたので、作業が重なっているときは、そのまま積み重ねる。

同じように最遅時刻の場合が図2.54である。

この両方の山積み図は、日程計算によって作業日程が求まっても、労務者の使用人員数が日によって多い少いがあり凹凸しており、バランスがとれていないから不経済な工程であることを示している。

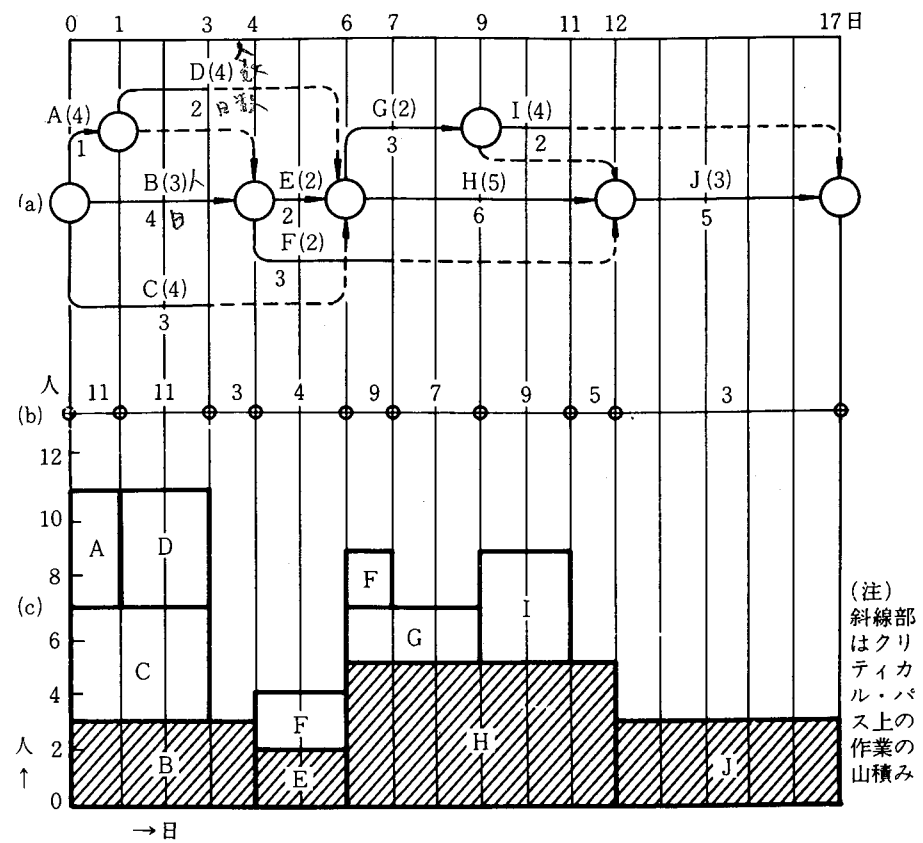


図2.53 最早で作業した場合

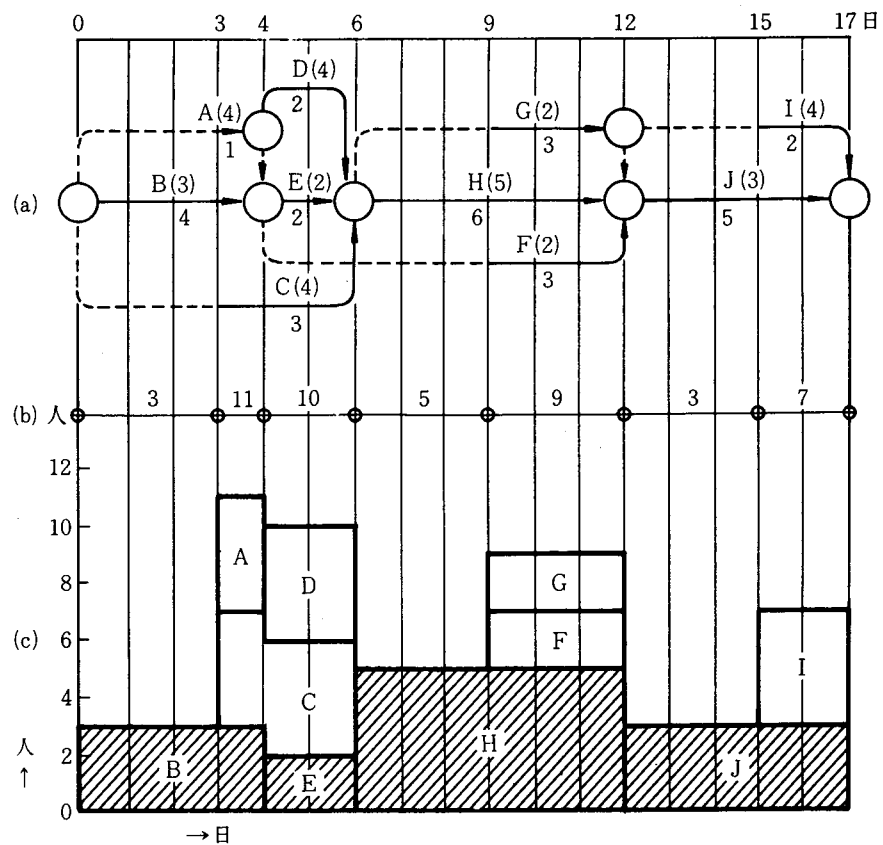


図2.54 最遅で作業した場合

(2) 山崩しの方法

前項のように、山積み計算してみると、たいていの場合凹凸がひどくありきわめて効率の悪い計画であることがわかる。そこでこのでこぼこを崩して平均化させるのが山崩し計算の目的である。山崩し計算は、日程計算でわかっている作業の余裕日数を利用して、いくつかの作業の開始を遅らせることによって、平均化をはかる。即ち最早開始プランと最遅開始プランの間で、可能な範囲内において余裕を動かしてやればよい。ただし作業の順序関係、人員の制限条件は満足してやらなければならない。

山崩しの手順としては次のようになる。

- ① 最早時刻による山積み計算をする
- ② 制限数を越えるところで(この場合は労務者7人)、余裕日数の範囲内で作業の開始を遅らせる。作業の優先度には全余裕日数(TF)をとり、その小さいものほど優先度は大とする。
- ③ 工期全体にわたって②を繰り返す

要するに数量の手持ち制限以内で、作業の余裕日数に合わせて作業を進め、トータルフロートの小さい順に作業を始め、トータルフロートの同じ場合は作業時間の短い方から開始する。そしてクリティカルパスは最優先とし、重点的管理(クリティカル)作業に人員割り当てが不可能な場合は、すでに作業中の仕事でも余裕の

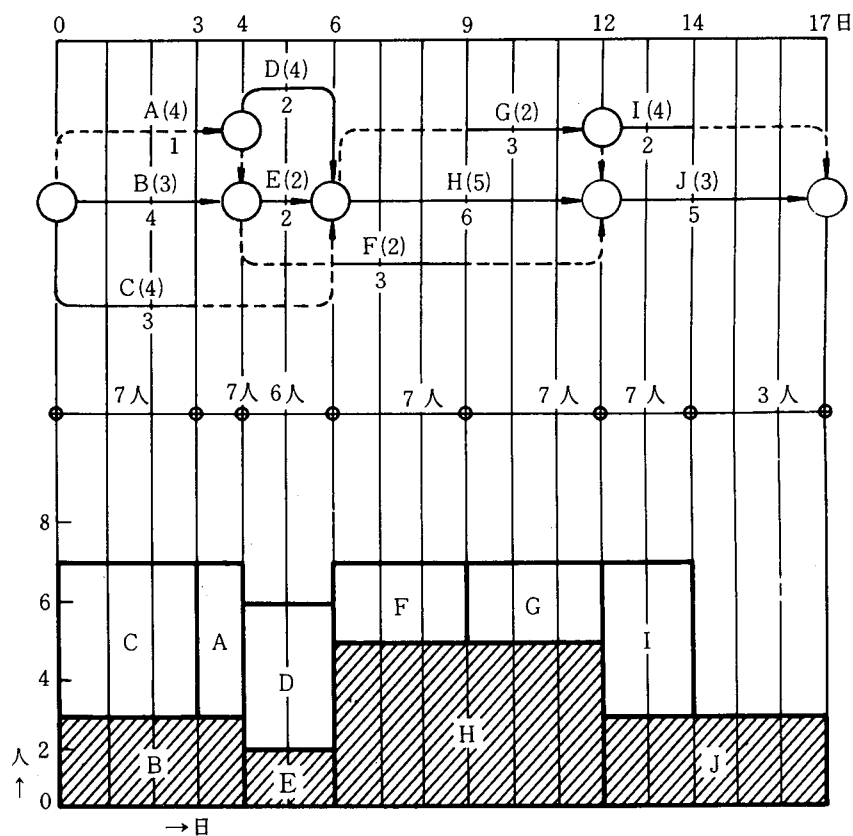


図2.55

ある作業から、このクリティカルな作業に回して作業を中断させる。

このような方法から、前例の山崩し計算は図2.55のようになる。この場合の手持ち労務者数は7人とする。

(3) 転用のダミー

実際面においては主要な資源の計画は、矢線図作成の段階で考慮される場合が多い。これは諸資源の動き場所を矢線図上に表示しておけば、結果的に山積み図は平均化されたものになってくると考えられる。特に重機械、型枠材、支保工材および特殊技能者などについて転用ダミー（擬似矢線）を用いて計画されることが多い。図2.56のように表示した場合のダミーを転用ダミーといい、この場合は鉄筋工がⅠブロック、Ⅱブロック、Ⅲブロックというように、順番に作業を進めていくことを示している。

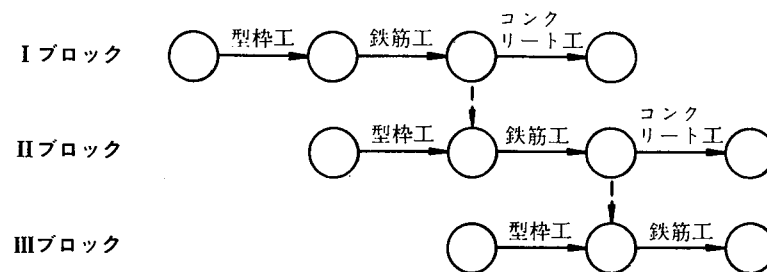


図2.56

しかしすべて矢線図に表わす必要があるので、きわめてめんどうな作業となるが、配員計算としては最も精度はよいといわれ、そのため重要な1～2の資源についてのみこの転用ダミーを用い、そのほかは山崩し計算によって平均化するのが一般的であると考えられる。

5.14 用語の解説

用 語	読 み 方	意 味	対応英語 (参考)
1. 日 程 計 画	にっぺい けいかく	指定期日、手持資源などの制約のもとで計画達成に必要な作業の日程をきめること。	Scheduling スケジューリング
2. 手 順 計 画	てじゅん けいかく	目標達成に必要な作業、作業順序、所要時間および資源などをきめること。	Planning プランニング
3. 進 度 管 理	しんどかんり	計画と実績を比較検討し、必要な処置をとること。	Follow up フォローアップ
4. PERT COST	ぱーとこすと	PERTの時間的要素とともに、費用に関するデータを矢線図に与え、日程費用の両面からプロジェクトの計画管理を行なう手法	PERT/cost パートコスト
5. CPM	しーピーえむ	手順計画を矢線図で表わし、各作業の直接費と時間の関係を直線で近似し、線型計画法を用いて費用最小の日程計画を求める手法	Critical path Method クリティカルパスメソッド
6. 矢 線 図	やせんず	プロジェクトを達成するために必要な作業の相互関係を結合点、矢線、ダミーを用いて図示した手順計画図	Network arrow diagram ネットワークアロー ダイアグラム
7. 作 業	さぎょう	目的達成のための諸活動 矢線図内では矢線で表示され、個々に時間見積りが可能なもの	Activity アクティビティ Job ジョブ
8. ダミー擬似矢線	だみい ぎじやせん	矢線だけでは正確に表現できない作業の相互関係を図示するために、補助的に用いる矢線 一般に点線で表わし、時間費用を要しない。	Dummy ダミー
9. 結 合 点	けつごうてん	矢線図上で矢線またはダミーの両端に付ける記号 一般に○印で表示し、その中に番号を付ける	Node ノード Event イベント
10. 接 合 点	せつごうてん	部門別の矢線図を結びつけるための結合点	Inter face インターフェイス
11. 主 要 管 理 点	しゅよう かんりてん	とくに重要な結合点	Milestone マイルストーン
12. 所 要 時 間	しょうじかん	作業を遂行するのに要する時間	Duration デュアレーション
13. 三 点 見 積 り	さんてん みつもり	所要時間を楽観値、最可能値および悲観値の三点で見積り、その分布を推定して期待値と分散を求める方法	Three time estimates スリータイム エスティメイト
14. 結 合 点 時 刻	けつごうてん じこく	結合点に到達する時刻 最早(さいそう)結合点時刻(Earliest node time)と最遅(さいち)結合点時刻(Latest node time)の両端がある。前者は結合点に到達しうるもっとも早い時刻、後者は工期から逆算して遅くとも到達していなければならない限界の時刻	Node time ノードタイム (Event time)

用語	読み方	意味	対応英語 (参考)
15. 開始時刻	かいしじこく	作業の開始時刻 最早開始時刻と最遅開始時刻の両端がある。前者は作業を始めうるもっとも早い時刻、後者は工期に影響することなく作業の着手を遅らせうる限界の時刻	Start time スタートタイム
16. 完了時刻	かんりょう じこく	作業の完了時刻、最早完了時刻と最遅完了時刻の両端がある。前者は作業が最早開始時刻で着手された場合の完了時刻、後者は最遅開始時刻で始めた場合の完了時刻	Finish time フィニッシュタイム
17. 余裕時間	よゆうじかん	工期に影響することなく、作業を遅らせる時間 余裕時間には最大余裕時間 (Total float) と自由余裕時間 (Free float) があり、前者は作業を最早開始時刻で始め、最遅完了時刻で完了する場合に出てくる余裕時間、後者は作業を最早開始時刻で始め、後続する作業も最早開始時刻で始めても、なお存在する余裕時間 〔備考〕 結合の余裕時間を、とくにスラック (Slack) と呼んで区別する	Float フロート
18. 指定期日	していきじつ	特定作業に対して指示された着手日または完了日	Schedule date スケジュールデイト
19. 経路	けいろ	矢線図の始点と終点を、矢線の方に結ぶ道順	Path パス
20. 経路の長さ	けいろのながさ	経路に含まれる各矢線の所要時間の和	Path length パスレングス
21. クリティカルパス、最長経路	くりていかるば す、さいちようけ いろ	もっとも長い経路 工期はこの長さにより定まり、この経路上の作業は重点管理の対象となる。	Critical path クリティカルパス
22. 資源割付け	しげんわりつけ	必要な人員、資金機械などの使用計画	Resource allocation レソース アローケーション
23. 山くずし	やまくずし	割付けた人員などの不均衡を平滑化する方法	Leveling レベリング
24. 標準時間	ひょうじゅん じかん	普通の状態で行なう時に要する時間	Normal time ノーマルタイム
25. 特急時間	とっきゅう じかん	特急の状態で行うときに要する時間 主として CPM で用いる	Crash time クラッシュタイム
26. 費用増加率	ひょう ぞうかりつ	作業を単位時間短縮するに要する増加費用として CPM で用いる	Cost slope コストスロープ
27. 横線工程表	よこせん こうていひょう	計画と実績の作業進捗を横線棒グラフで示した図表	Barchart バーチャート

6. 工程管理のまとめ

いままで述べてきたことは、工程管理の基本的なことがらである。どんな仕事でもこのようにやらなければ仕事がなにもできないというものではない。しかしこれからの建設工事にはすべからくこのような考え方で行っていくことが望ましいといえる。そこで工程管理の基本的な考え方をまとめてみると、次のようなことが考えられる。

6.1 工程は常に前向きに管理する

- (1) 作業を最早開始で開始できるように留意すること
- (2) 作業の構成要素、即ち必要な質と量の労務者、機械、資材を準備する
- (3) 仮設工（作業開始条件）を完了させる
- (4) フォローアップを常に行ない（適当な周期で）、作業は計画された所要日数以内に完了させる。

6.2 組織内のながれ

それぞれの関係ある管理者、責任者はその責任、権限に属することについては最大限に創意工夫を発揮して、フォローアップを行なわせるとともに報告の義務をもたせる。

6.3 工程管理の要点

- (1) 情報は最大限に活用する
- (2) 管理上の重点を大局的に判断すること
- (3) 作業の手順と相互関係を理解
- (4) 最長経路、余裕を考慮する
- (5) 補助資料をも生かす
 - (イ) 手順計画の諸資料を利用
 - (ロ) 詳細（部分的）ネットワークの活用
 - (ハ) 図・表（グラフなど）の併用
 - (ニ) 計画の変更に際してもその特長を十分に生かすこと
 - (ホ) 変更の全体に対する影響を弾力的に検討すること
 - (ヘ) 意志伝達を明確化すること
 - (ト) バーチャートへの転変（見やすさへの変更）
- (6) 現状分析を常に行ない不合理性を是正すること
- (7) 常に事前管理の態勢を整えること
- (8) 排他的な考えかたを捨て、近代的な知識などを折り込んで総合的な考え方から判断

すること

(9) 問題点对策に対する心構え

- (イ) 前向きに、そして機会を逸しないこと
- (ロ) 問題点のもたらした原因を突明し、次の判断の資料にする
- (ハ) 問題点の工事への影響を考慮に入れ、あわせて最長経路、余裕を再検討する
- (ニ) 打つべき手段の有効性を総合的な面から判断すること
- (ホ) いわゆる 5 W 1 H の考えかたを忘れないこと

(When, Where, Who, What, Why, How)