

京都大学工学部 正員 春日 政

1. はじめに、従来、施工管理は工程管理、原価管理、品質管理の3つの管理によって構成されると定義され、工期、工事費および構造部材あるいは原材料の品質を対象とする管理が重要であるといわれてきた。しかし、現在のように工事が大規模化するとともに複雑化し、かつ工期や工事費に対する制約が厳しくなってくると、これらの間接的な管理だけでは合目的な施工を行なうことはなくなってくることは明らかである。したがって、工事メカニズムに立脚した実体的な施工管理方法の確立が重要な課題となってくる。本稿においては、このような課題を達成するために従来とは異なった構成をもつ施工計画・管理システムの構成を中心にその内容について論じることとする。

2. 施工管理システム化の課題 工事施工は建設技術と構成する種々の施工技術ならびに管理技術と総合的に駆使することによって遂行される。さらに、工事施工の遂行過程を実体的にあらわしているのは施工における工程である。したがって、施工管理のシステム化における主たる課題としては、

(1) 施工工程における施工技術の実体化のプロセスの確立

(2) 施工工程における管理技術の実体化のプロセスの確立

さらに、これらの実体化された施工工程を中心とする施工計画・管理における

(3) 施工管理における総合化のプロセスの確立

等とらえることができる。ここで、上述の課題における施工技術ならびに管理技術は図-1に示すように建設技術の構成要素である。この図に示されるように、施工技術は施工法、技術管理基準ならびに作業示様と内容をもつ施工示様を表わしており、管理技術とは、主として、工事用に投入される建設機械、資材、作業員ならびに資金等の工事用資源に関する種々の管理基準をあらわしている。

3. 施工計画システムの構成 上述の3つの課題と構成するたより施工計画システムはつぎのようなプロセスによって構成される。

① 施工工程試案の作成プロセス

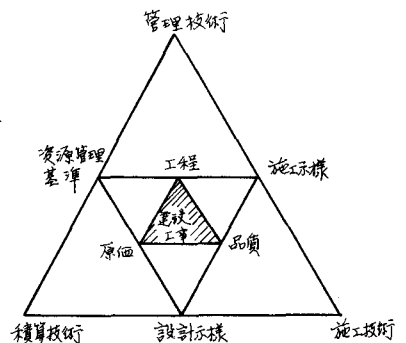
② 施工計画試案の作成プロセス

③ 施工計画試案の総合評価プロセス

(1) 施工工程の試案プロセス 一般に建設工事は数多くの単位作業によって構成されているが、これらの作業間の関係を規定するものが施工工程である。したがって、施工示様ならびに資源管理基準という2つの要素の実体化のプロセスはこれらの単位作業それぞれと規定する作業レベルにおける実体化のプロセスと作業間の関係と規定する工程レベルにおける実体化のプロセスという2つのプロセスによって構成されている。

(1) 作業計画：作業レベルにおいては各単位となる作業をすべて求めることから始める。つぎに、各作業ごとの作業計画として以下

図-1. 建設技術の構成



の5つの作業特性と決定する。

①作業量 ②作業手順 ③所要資源の種類・規格・数量 ④所要費用 ⑤所要時間

ここで、②は施工示様に、③は資源の管理基準に基づいて決定されるが、①ならびに④、⑤は作業効率が最大となるように定められるのが望ましい。

(1) 工程計画：各作業の内容が決定されると、つぎには、工程レベルにおいて各作業間の関係と規定する。各作業は作業の実施順序によって関係づけられるがこの実施順序も施工示様に基づいて決められる技術的順序と、資源の管理基準に基づいて決められる管理的順序がある。すでに各作業の計画が立てられているので、これらの順序を決定することによって作業スケジュールを計算することができるので工程計画の内容はすべて決まってくる。ここで、技術的な順序関係は施工示様からの制約が強くほとんど一意的に定まるが、管理的な順序は資源の運用の方法によって様々に異なったものと得ることが出来る。さらに、工程計画を決めると資源の使用状況も決まる。

(2) 施工計画試案の作成のプロセス 施工計画を作成するためには、工程計画のほかにつぎのような諸計画を作成するためのシステムが必要である。各作業はすでに求められている工程計画ならびに資源の使用状況にもとづいて容易に作成することが出来る。

①作業要員計画 ②機械計画 ③資材計画 ④資金計画 ⑤現場設備計画

また、これらの計画は各計画独自の計画基準にしたがって作成するが、とくに注意すべきは工程計画にもとづく工事施工が合目的に遂行されるように配慮しなければならないことである。

(3) 施工計画試案の総合評価のプロセス 以上の手順によって施工計画の試案が作成されるがこれらの試案に対して、工事施工における種々の制約条件、さらには合目的性や実行可能性に関する評価と様々な側面から行なうことにより最終的に実施計画を選択していかなければならない。試案の評価の対象となる項目は以下のものである。

①工期 ②工事費用 ③作業要員計画 ④仮設資材使用計画 ⑤機械使用計画 ⑥資金計画

工期や工事費用に関しては制約を満たしているかどうかを評価するとともに、工期に関してはより短期に完了する計画を、工事費に関してはより少ない工事費用の計画が望ましい。実施計画の選択にあたっては評価項目ごとに望ましい程度に応じる評定を与え、その総和の大小で試案の合目的性を評価する方法と、各計画試案の中で最も厳しい制約がある評価を要する項目から順次評価を加え、目的にかなわない試案を選択対象から除外していき、最終的に実施計画を選択する方法のいずれかを採用すればよい。

4. 施工管理システムの構成 施工計画が作成されると、各作業は作業計画ならびに工程計画に基づく実施のプロセスに入る。さらに、工事施工が進められ一区切りの施工が終了するごとに計画と実績との比較・検討がなされ、必要に応じて是正処理がとられる。このように管理システムは実施プロセスと統制プロセスの2つのプロセスによって構成されている。これらのプロセスの内容はすでに決定されている管理計画によってその大要が規定されようが、システム化にあたって特に注意すべき事項はつぎのようである。

①作業実施の監督における確認・指示の明確化、②調整行為における判断基準と調整の手順の確立、③実績報告書の形式の整備 } …… 実施プロセス

④計画と実績の差異の発見方法と評価基準の確立、⑤是正処置の選択基準と手順の確立 } …… 統制プロセス

5. 施工計画管理のためのシステムモデル

以上にあっては施工計画管理システムの構成を中心に説明を行ってきたが、つぎに、筆者等の研究グループが事例研究をとおして提案してきたシステムモデルのうちいくつかの例と簡単に示すが、これらについての詳細は講演時に説明を加えることにする。

(1) ネットワーク手法による施工計画管理のシステム

(4) PERT/TIMEを用いた施工計画管理システム；システムの概要を図-2に示した。この図から明らかに、PERT/TIMEにおいては施工工程がネットワークとして求められるとともに、施工工程の試案はただ1通りだけ作成され、各レベルにおいて制約条件を満足させるかどうかということが評価される。もし、これらの条件を充足させないときには新たな試案が作成されることになるが、新しい試案は古い試案に部分的な修正を加えたものである。実施のプロセス、統制のプロセスにおける詳しいことは紙面の関係上省略するが、計画と実績とを比較には図-3に示す形式を用いると有利である。

図-2. PERTによる施工計画管理システム

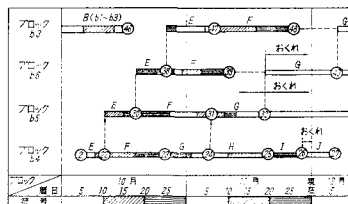
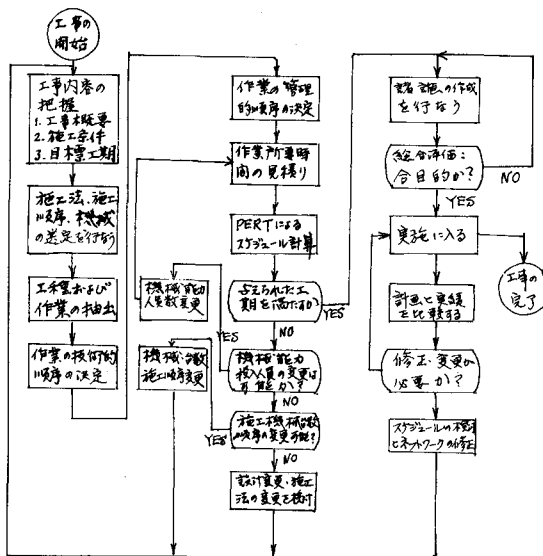
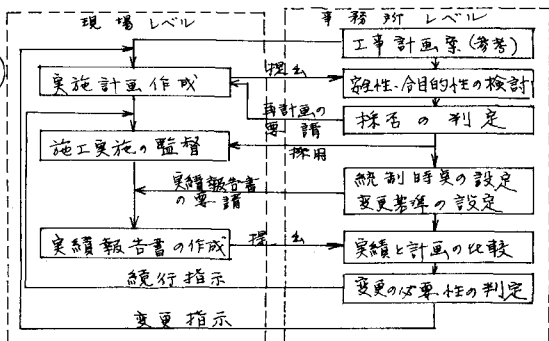


図-4. 総合管理システム

図-3. 計画と実績の比較法



(4) 確率PERTを導入した施工管理システム；土木工事は非常に不確実な施工条件の下で実施されることが多い。したがって、作業実施に際しても計画どおりの所要時間で行なわれることは少なく、計画と実績の間に「ずれ」が生じることが多くなる。したがって、統制プロセスにおいてこのずれの評価の適切な手段を確立することは、土木工事のように、条件として工期という重要な制約が課せられている場合には非常に重要なことであり、ぜひとも解決しなければならない問題であるといえる。我々は、所要時間の不確実性と確率分布として与えられ、確率PERTによって各作業スケジュールの確率分布を求める手法について研究を行ない、一定の成果を得るとともに、これらの成果に基づき、図-4に示すような管理システムを提案した。この中ではつぎのような2つの管理レベルを設定している。つまり、第1の管理レベルとして、日々の工事の実施を直接監督していく現場レベルととりあげた。第2の管理レベルとしては、工事間接的にかつ総合的に管理していく事務所レベルととりあげた。ここで、第1の管理レベルには管理面での実行という機能を与え、第2の管理レベルには判断・命令という機能を与えることによって、工事管理組織全体がすべての機能を持ち、合目的に機能するように設定した。さて、以上のシステムを用いて、計画と実

施のそれの評価とスケジュールの安全性という観点から行なう場合には確率PERTが重要な役割を占めることになる。すなわち、事務所レベルにおいては、工期に対する安全率 α と時間的、経済的な観点から決定し、これに基づいてスケジュールの安全性を評価する。つまり、与えられた工期と T とすると、プロジェクト完了時刻の分布形 $F(t)$ は、 $F(t) = P_r(t \leq T) \geq \alpha$ を満たすように決められなければならない。作成されたプロジェクト(施工計画)が上式を満たす場合にはプロジェクトに基づいて工事を実行することが指示されるが、満たされない場合には、そのプロジェクトは危険性が高いと判断され修正を加えられる。つぎに、統制プロセスにおいて実績の評価を行なう場合には、あらかじめ適当な中間時点を決定しておくことが必要であるが、これらの時点は特定作業の終了時が適当である。また、ネットワークにおいてはこれらの作業終了時点は結合点としてあらわされている。このような統制時期が決まると、以後のスケジュールの修正変更が必要であるかどうかの評価がつぎのようにして行なわれる。つまり、 α_j を非超過確率の上限値とし、これをこえる場合には修正変更を行ない、そうでないときには、そのまま継続しても安全とみなして工事実施の指示を与える。いま、結合点 j の結合点時刻の分布関数と $F_j(t)$ とし、実績の作業終了時刻と t_j^* とするとこれらはつぎのように示される。

$$F_j(t_j^*) \geq \alpha_j \rightarrow \text{継続} \quad F_j(t_j^*) < \alpha_j \rightarrow \text{変更}$$

ここで α_j は、事務所レベルの判断によって上に示した α と同じ値にとってもよいし、異なった値にとってもよいが、できる限り統一したほうがよいと考える。

(2) 工程(計画)試案作成のためのシステム・モデル

ネットワーク手法で用いる工程ネットワークは、最初は大抵1通りだけ求められ、後に修正が加えられることによって作成されるが、前述のとおり、できる限り多くの試案をシステムデックに作りだしていくことが望ましい。したがって、ここでは施工計画システムの重要部分を構成している工程試案作成のためのシステム・モデルについて簡単に述べることにする。まず、作業の順序関係とつぎのような順序マトリックス X_0 および X_k であらわす。

$$X_0 = (x_{ij}^0), \quad x_{ij}^0 = \begin{cases} 1, & \text{作業 } i \text{ が作業 } j \text{ に先行して実施される場合,} \\ 0, & \text{その他の場合.} \end{cases} \quad X_k = (x_{ij}^k), \quad x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & i < j \text{ の場合, } i, j \in J_k, \quad i, j = 1, 2, \dots, N \\ 0, & \text{その他の場合,} \end{cases} \quad k = 1, 2, \dots, r$$

ここで、 x_{ij}^0 は技術的な順序関係を表わし、 x_{ij}^k は資源 k の運用順序とあらわす管理的な順序関係である。このような順序関係は、一般につぎのような条件を満たす。

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^N x_{ij}^k &\leq 1 \\ \sum_{j=1}^N x_{ij}^k &\leq 1 \end{aligned} \right\} \quad (1) \quad L(\{x_{ij}^k\}) = L(\{x_{ij}^k\}) = 0 \quad (2) \quad \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ij}^k = n_k - g_k \quad (3)$$

ここで、(1)式は資源の運用が連続的に行なわれることを表わしており、(2)式は順序関係にサイクルが存在してないことを表わしている。最後の(3)式は、資源投入量と順序関係との関係を表わしている。一か、プロジェクト完了時刻 λ はこれらの順序関係の関数としてあらわされるから、与えられた工期 T より小さな λ を持つ工程の試案は次式を満たすような順序関係 $X_0, X_1, \dots, X_r$ として求められる。

$$\lambda(X_0, X_1, X_2, \dots, X_r) \leq T$$

ここで、施工工程の全順序関係は $X = \sum_{k=0}^r X_k$ としてあらわされる。(加法則はブール則による。)

さて、以上のモデルは筆者等の研究グループが提案したBranch & Bound法による解法を用いて解を求めることができ、工期の制約を満たすすべての工程試案を容易に作成していくことができる。