

京都大学工学部 正会員 吉川 和広

京都大学大学院 学生員 春名 攻

京都大学大学院 学生員 ○笹嶋 博

1. 施工計画における工程の位置づけ 土木工事の施工工程には、つぎのような管理特性を認めることができる。①単位作業②作業所要時間③基本工程(技術的な施工順序)④資源の運用。①は単位作業の規模を決定することであって、単位作業に含まれる施工量、機械、人員、資材などの投入資源量、経済性や作業遂行の確実性などによって決定できる。②は各単位作業の所要時間を推定することである。このように①②が決定できると、作業時間や所要資源量と特性値とする単位作業を、単位作業間の順序関係べしれがって組み立てると工程ネットワークが作成できる。単位作業間の順序関係は、③の基本工程と④の資源の運用による順序関係から成り立っている。施工工程は施工計画遂行上の実体的な手段であるから、工程を軸として種々の管理特性をとりえることができる。工程が作成されると、工事全体に対する質的・量的・時間的な特性は決定されてしまう。上述の①～④の施工特性のうち①～③は設計施工法が与えられると特殊な場合以外はほぼ一意的に決定できるものである。しかし、④の管理特性は管理運用方法によって様々に変化するものである。したがって、目的がかなった施工計画を作成するには、種々の工程の試案を作成し、各試案に対して施工特性の評価を行ない、最終的に一つの施工計画を選択することが望ましい。本研究においては、土木工事の施工工程を通して施工計画をとりえるとともに、計画作成のプロセスに関する考察を行なった。

2. 工程と順序関係 前述のように単位作業を順序関係に従って組み立てていく。このときの技術的な順序関係を X_0 、同一の機械の運用、同職種の人員の配置、同種の資材の転用など同一の作業グループ間の管理的な順序関係を $X_1, X_2, \dots, X_M$ と表わすと、プロジェクトを表わす工程ネットワーク X は、 $X = X_0 + \sum_{g=1}^M X_g$ と表わせる。プロジェクトの完了時刻は、単位作業の時間特性値が決定されているから、単位作業間の順序関係によって決まってくる。また、技術的な順序関係は一定であるから、完了時刻は次式で示すように管理的な順序関係のみの関数となる。

$$(1) \lambda = \lambda(X) = \lambda(X_0, X_1, X_2, \dots, X_M) = \lambda(X_1, X_2, \dots, X_M)$$

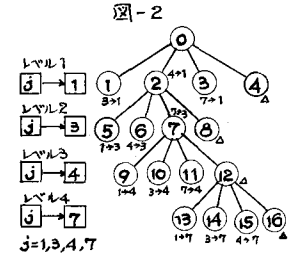
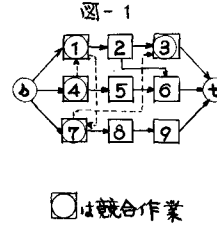
投入資源量が一定のときには、完了時刻最小となる管理的な順序関係が最適である。しかしながら、順序関係に従って組み立てられた工程ネットワークが実行可能であるためには、次式の制約条件式を満足しなければならない。

$$(2) (a) \sum_j X_{ij}^g \leq 1, \sum_j X_{ij}^g \leq 1 \quad (b) L(X) = 0, L(X_1, X_2, \dots, X_M) = 0 \quad (c) \sum_g \sum_j X_{ij}^g = n_g - r_g \quad \text{for all } g$$

ここに、 $X_g = (X_{ij}^g)$ 、 n_g は作業グループ g の競合作業数、 r_g は作業グループ g の投入量である。ただし (b) はサイクル非構成条件式である。したがって、(2) の制約条件のもとで、(1) の目的関数を最小とする管理的な順序関係の最適化問題となる。この問題はブランチ&バウンド法によって解くことができる。

3. 最小工期を与える工程の求め方 ブランチ&バウンド法による順序づけの手順を図を用いて簡単に説明する。図-1のネットワークにおける競合作業は1, 3, 4, 7である。図-2のブランチ図において、各レベルで1つの競合作業を後続作業として固定し、各ノードに順序関係を対応させて、始点ノードから最終レベルのノードまでのノードの結合状態で管理的な順序関係が決定できる。まず、始点ノード

ドからブランチさせてノードを作成する。作成されたノードに順序関係を示し、始点ノードからそのノードまでの順序関係をネットワークに付加して完了時刻を求め、このときの完了時刻を $\lambda(i)$ と示す。つきに $\lambda^{(k)} = \min\{\lambda(i)\}$ のノードからブランチさせたノードを作成する。同様の操作を最終レベルに



至るまでくり返す。下界値としては、最終レベルにあるノードにおける完了時刻をとりこれをLBとする。LBが一度求まっていると、小さいレベルにおいて $\lambda(i) \geq LB$ を満すノードからはブランチさせる必要がない。これは、このノードまでのレベルで求まっている部分的順序関係を含む管理的順序関係を求めたとしても、最終レベルで現在求まっているLBより大きな完了時刻をもつものしか求まらないからである。 $\lambda(i) < LB$ なるノードからブランチさせ、最終レベルで現在求まっているLBより小さな完了時刻をもつノードが現れたならば、この完了時刻を下界値として同様の操作をくり返す。最終的に、 $\lambda(i) < LB$ なるノードが存在しなくなれば、このときのLBを与えるノードまでの結合状態によって、工期最小の順序関係が求まる。解法の詳細は紙面の関係上省略するが、システマティックな計算方法はすべて求められている。

4. 施工計画作成プロセス 以上のような管理的な順序関係の決定要素としては、費用の面から、機械の運用、耐久性のある資材の転用をどのが適当であろう。それによって、機械とオペレーターよりなる作業グループの運用、型枠支保工材などの転用等に対して管理的順序関係を考えることによって、最適完了時刻 λ_{opt} を求め、つきに、何らかの基準によって $\delta\lambda$ を与えて、次式を満足するような完了時刻 λ を与えるネットワークを試案(alternatives)として採用する。

$$(3) \quad T1 = \lambda_{opt} \leq \lambda \leq \lambda_{opt} + \delta\lambda = T2$$

あるいは、外部的にT2を与えてT2より小さな完了時刻をもつものをすべて試案として採用してもよい。いずれの方法も上述のブランチ&バウンド法において下界値をT2に固定できれば、最終レベルまで到達したノードのうち(3)式を満すノードにおいて試案を作成することができる。つきに、これらの試案が実行可能であるかを関連諸計画から評価することによって、最終的に実施計画を1つ決定すれば、合目的な施工計画を作成することができると思われる。ここで、他の評価項目として量的把握の出来るものを列挙すればつぎのものをあげることができる。(A)職種別要員による検討(B)架設資材の使用状況と準備可能性による検討(C)各種使用材料量による検討(D)月々の工種別出来高図による検討(E)月々の支払費用による検討。(A)では、各作業に必要な職種別の人員を教えあげ各試案に対して山積図を作成して、手持ち要員で実行可能でかつ一定期間平滑な試案を採用する。(B)では各作業に必要な架設資材を資材別に教えあげ、各試案に対して山積図を作成して、準備可能でかつ一定期間平滑な試案を採用する。(C)では各作業に必要な材料量を材料別に教えあげ、累加図を作成することによって材料調達量と発注期間を与えたときに使用材料が不足しない試案を採用する。(D)では工種別に出来高図を作成することによって、各工種に実費工程の生じない試案を採用する。(E)では各支払関係項目を列挙して月々の支払費用が平滑でかつ収支かほう試案を作成する等々である。このプロセスを新幹線工事モデルに対して適用すれば、詳細は講演時に述べることとする。