

京都大学工学部 正員 吉川和広

京都大学工学部 正員 春名 茂 京都大学大学院 学生員 武政 功

1. 本研究のねらい

建設工事の工程計画は日程に関する計画(スケジューリング)を内容評価の中心として、資機材の運用・転用や人員の配置等各工事資源の投入計画の内容を検討していくという側面を持っている。そのため工程計画で検討すべき変数(計画変数)は、各部分工事の所要時間、部分工事の順序関係をはじめとして工事資源の投入量や転用順序等多種にわたっている。このような工程計画の策定のために、これまでPERT系手法やCPMをはじめとする数多くの手法が提案されてきた。しかしながらこれらの手法はスケジューリングに関するものが主であり、投入資源の転用問題を同時に検討しうる手法は少なかった。

本研究においては、工事計画をその階層構造に着目して整理を行なうとともに、その中でも中心的な位置を占める概略工程計画をとり上げ、このレベルの工程計画を上述のような総合的な検討が行なえるように定量化し、その解法を示すとともに地下鉄工事への適用を試みたものである。

2. 工事計画の階層性について

工事実施の計画化の過程には、工事の進捗状況把握する工程の側面や、施工時の事故防止のための安全の側面、構造物の機能を保証するための品質の側面、さらには経済的な費用の側面が存在する。一方これらの側面についての検討の結果をとおして策定される工事計画は、対象とする工事期間や構造物の範囲、意志決定者のレベル等を異にする多くの計画の集合体であると言える。このような多面性をもつ工事計画を、工事期間という時間のスケールによって整理すると次の4つのレベルに大別できる。

- ①基本工事計画
- ②全体工事計画
- ③月間工事計画
- ④週間工事計画

各々の工事計画のもつ機能を明らかにすると、これらの

工事計画は対象とする工事期間のみならず構造物につ

いても明確な範囲をもち、かつより

上位の計画が下位の計画を包含する

という階層構造を

なしていることが

わかる。ここで工

事計画の中核をな

す工程計画が工事計画のどのレベルに対応するかをあら

わけて示したのが図-1である。

この図に示すように、概略工程計画は全体工事計画のレベルに該当するものであり、基本工事計画によって規定される施工法等の工事のフレームのもとで工事全体を見通しての工区分割や工事資源の運用・転用の検討を行ないつつ合目的的な施工が行なえるよう工事内容を概略的に決定するという機能を持つ。詳細工程計画や週間工程計画、作業計画は、より限られた範囲での工程の検討を行なうものであり従来のPERT系手法等での対応が十分可能であると考えられるので、本研究では工事全体に与える影響の大きい概略工程の計画化のためのモデルの開発をめざすこととした。

3. 概略工程計画モデルの定量化と解法

概略工程計画問題の計画変数としては、

- ①工区分割と各工区への投入施工グループ数
- ②各工程の施工速度
- ③技術的な制約さらは一意的に定められない作業間の順序関係(管理的順序関係)

の3種類をとり上げる。ここで①は離散値をとり、さらに他の計画変数に与える影響も大きいという理由によって、モデルではパラメータとして扱うこととする。

さて、これらの計画変数を用いて工事費用の最小化をはかることとなるが、目的関数である工事費用は、

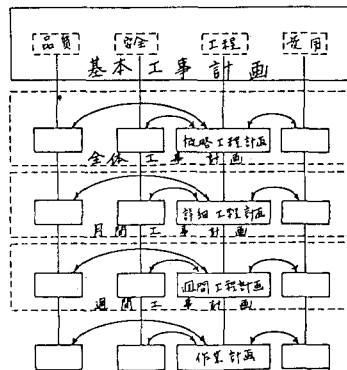


図-1 工事計画の階層構造

- ①直接費用：各工程の所要時間の短縮によって増加する費用でありここでは施工速度との間に線形性を仮定する
- ②間接費用：工事期間の延長によって増加する事務所経費等の費用であり両者の間にも線形関係があるものとする
- ③一定費用：材料費等の計画変数に関係なく一定値をとる費用
- の三者の和として得られるものとする。

ここでときに挙げたタイプの異なる計画変数も一有に変化させ費用の最小化をはかることは実際的ではない。そこで以上のような仮定のもとでは計画変数の一つである施工速度が直接費用、間接費用のいずれにも大きく関係するのに対し、管理的順序関係は工事期間の変動によって間接費用にのみ影響を与えるということを考慮した。

そして概略工程計画モデルを、

- ①施工速度を計画変数とし工事費用の最小化を目指す主問題(表-1)

- ②管理的順序関係を計画変数とし工事期間の短縮を目指す従問題(表-2)

の2つの問題に対応した複合的なシステムモデルとして構成することとした。すなわち、他方の問題の解を互いに制約条件として用いて問題を解くという手順を繰り返して得られる収束値を概略工程計画の解とするものであり、その構成は図-2に示すとおりである。またここでは、作業工程の間の空間的あるいは時間的間隔を施工

表-1 主問題の内容

事件	工期 作業の技術的順序関係
評価	min. (直接費用+間接費用) (費用min.の最適工期をこの時の工程を求める)
パラメータ	工区分割 工区間の施工順序
計画変数	施工速度(作業を示す線分の長さ)
制約条件	施工速度の範囲 作業の管理的順序関係 施工間隔(安全性、施工性など)

表-2 従問題の内容

事件	作業の技術的順序関係
評価	min. 工期 t_e (t_e min. のこの管理的順序関係を求める)
パラメータ	工区分割 工区間の施工順序
計画変数	各競合作業のフロー間の順序関係 (管理的順序関係)
制約条件	施工速度 施工間隔

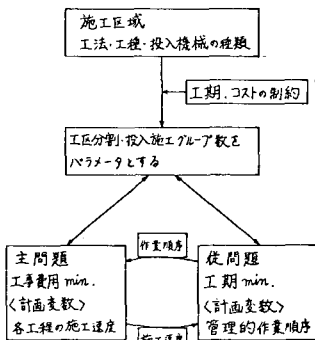


図-2 モデルの構造

間隔として制約条件に用いることにより施工の実態にマッチするというモデルの合理性を高めることとした。

さて、表-2に示した工事費用最小化の主問題は、線形の目的関数と非線形の制約条件をもつ非線形問題として定式化されることになる。この問題に対するアルゴリズムとしては勾配法等の解法が提案されているが、ここでは同一時点において施工中のワリティカルな作業をカットと定義し、各カット上の作業の施工速度を変化させた場合の直接費用と間接費用の増分をワリティカルパスの変動や施工速度の制約に留意しながら均衡させていくという解法を用いた。また表-3の従問題は順序関係を用いた組み合わせ問題であるので、逐次計算法のブランチ&バウンド法を用いることとした。

4. 地下鉄工事への適用

前節において述べたモデルと解法を図-3に示す地下鉄工事の概略工程計画問題に適用した。この工事は10工程からなり、12の施工フローを設定した。なお、

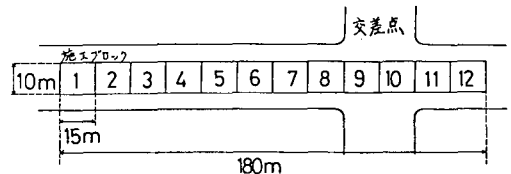


図-3 対象とした地下鉄工事

交差点部においては掘削時の土砂搬出路確保のために隣接する施工フローの作業との間に順序関係が生じることとした。

まず施工速度についての初期実行可能解のもとで従問題を解く。以下、互いの解を制約として主問題と従問題を順次解くことにより図-4の座標式工程表に示すような収束値が得られたのでこれを解(概略工程計画案)とした。適用例等詳細については論議時に示すこととする。

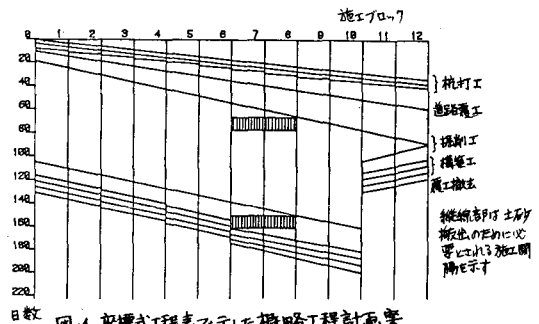


図-4 座標式工程表で示した概略工程計画案