

建設工事における総括工程計画モデルの開発研究

A mathematical programming model of logic diagram
for construction planning

吉川和広 **

○春名 攻 ***

はじめに

大規模な建設工事を確実にかつ効率的に施工していくためには、工事着手前に施工状況に関する十分な分析的検討や計画的検討を行ない、工事目標を円滑に確実に達成しようとする工事施工計画を策定しておくことが必要である。工事施工の計画化の検討過程をシステム工学的方法によって分析してみると、まず、①工事全体をみとおしたかたちで工事施工のフレーム的計画をたてる「基本工事計画」の段階、②基本工事計画に定められた枠組の中で総括的に全体工事の概略計画をたてる「全体工事計画」の段階、ついで、③建設工事の実体的な対象となる構造物建設の作業工程の内容を、月間あるいは季間の範囲内でより具体的に詳細に検討して計画をたてる「詳細工事計画」の段階や、④工事現場での主要な役割りを果たす「週間作業計画」や⑤「日作業計画」の段階等々、各種の役割を担う階層的な計画レベルが存在している。本稿では、このような工事施工計画の階層性を考慮した場合に工事施工計画の内容の決定やそのための検討に重要な役割りや位置を占める全体工事計画のレベルに着目し、そこでの中核的役割りを果たす「総括工程計画」の策定方法に関する理論的研究として、座標式工程表を用いた工程計画モデル（最適化モデル）の開発に関する研究について論じることとする。

1. 工事計画の階層性と総括工程計画の位置づけ

大規模で複雑な建設工事の計画を総合的な観点から合理的に策定するためには、工事計画内容の階層性やその構造的な特徴を十分に考慮する必要がある。図-1に示したように、工事計画の階層構造は

- ①基本工事計画レベル ②全体工事計画レベル
- ③詳細工事計画レベル ④週間作業計画レベル
- ⑤日作業計画レベル

という工事計画レベルと作業計画レベルとに分類さ

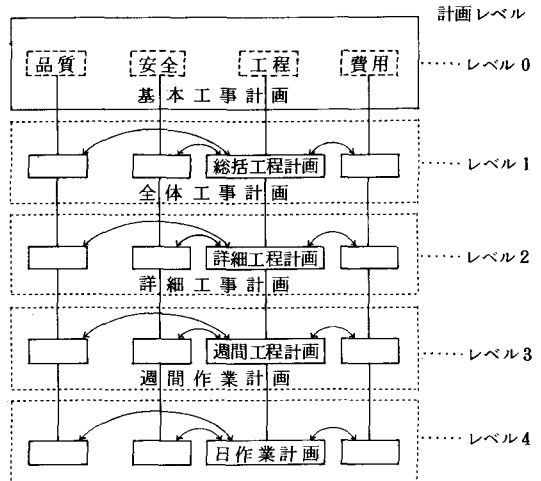


図-1 工事計画の階層構造

れ、それぞれのレベルでの検討内容や方法、計画の内容等が異なる。すなわち、①および②の計画は工事実施決定前の計画として検討・策定されるが、③は主として工事着手前に検討策定される。また④、⑤は工事中の計画として作成されるものである。このように各工事計画や作業計画のレベルでは、対象とする計画期間や構造物の範囲に明確な違いを有し、かつ、より上位のレベルの計画は下位のレベルの計画の内容を包含するという階層構造を有しているのである。

さて、全体工事計画のレベルでは、上位の基本工事計画レベルにおいてフレーム的に決められたプロジェクト実施に必要な機械や資材、人員をはじめとする工事用資源の質や量的規模及び工程（基本工程）の計画を中心とする安全・品質・原価（費用）等に関する計画フレームにもとづき、工事全体を対象とする概略計画を策定するという機能が要求される。

すなわち、全体工事計画を策定するにあたって工事プロジェクトに対して上位の計画レベルより与件的に提示される目標としての工期や施工法、工事費

* キーワード：工事計画、プロジェクトプランニング、数理計画

** Kazuhiko YOSHIKAWA, 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学科

*** Mamoru HARUNA, 正会員 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科

用や目標品質・安全規定などの諸要件を満たすように、設計図書に示されている構造物を建設する工事過程の概略に関する計画的検討を行なって総括的に工程計画を構成していくのである。ついで全体工事に対して総括工程計画を効果的に実現するための資源（機械・資材・人員・資金等）の調達や運用の計画、品質・安全・原価（費用）等の計画を策定して全体工事計画としてとりまとめることとなる。

以上に述べたように、全体工事計画のレベルでの「総括工程計画」は計画化のための検討の中核的役割りをなす重要な位置を占めているが、従来はこのレベルでの有効なモデルや手法が開発されておらず、せっきくのシステム工学的な考察の成果も十分に生かし切ることができなかった。本研究ではこのような点を考慮して、総括工程を表現する主要なモデルとして座標式工程モデルを導入し全体工事計画システムの開発研究を進めたのであるが、本稿ではその第1段階として実施した総括工程計画モデルに

関する理論的な検討の成果について述べることにする。

2 座標式工程モデルと他の工程モデルの関係

座標式工程モデルを用いた総括工程計画モデルの開発に関して述べるにあたって、ここでは新しく導入してくる座標式工程モデルと他の工程モデルとの関係の考え方について考察を加えておくこととする。さて、工程表とは工事を構成する部分工事や構造物ブロックに分解し、これらの施工順序や施工速度を工程計画にもとづいて視覚的にわかりやすい形に図化したものである。これらはそれぞれの機能的役割りに応じて工程計画の内容や作業の流れの明確化および工程の進ちょく度の管理などに用いられる。図-2には、通常用いられる3つの形式の工程モデルすなわち、

- ① バーチャート工程表
- ② 座標式工程表
- ③ ネットワーク工程表

の関係を小規模な工事を想定しつつ概念的かつ説明的に示している。

バーチャート工程表は図よりも明らかなように、工種ごとの実施計画を表現するために使い始められたが、作業工程のレベルやタイムスケールのとり方によって様々な使い方が可能である。作業工程の進め方、つまり工程計画の内容が決まれば工程表も書きやすいので広く用いられている。しかし、複雑な施工順序や施工速度などの表現や検討を行なうことが不可能なことから、その使用範囲が限定される場合が多い。その機能としては、工事プロジェクト全体ならびに、プロジェクトを構成する部分工事への工事期間の割りつけや、工事規模を決定する

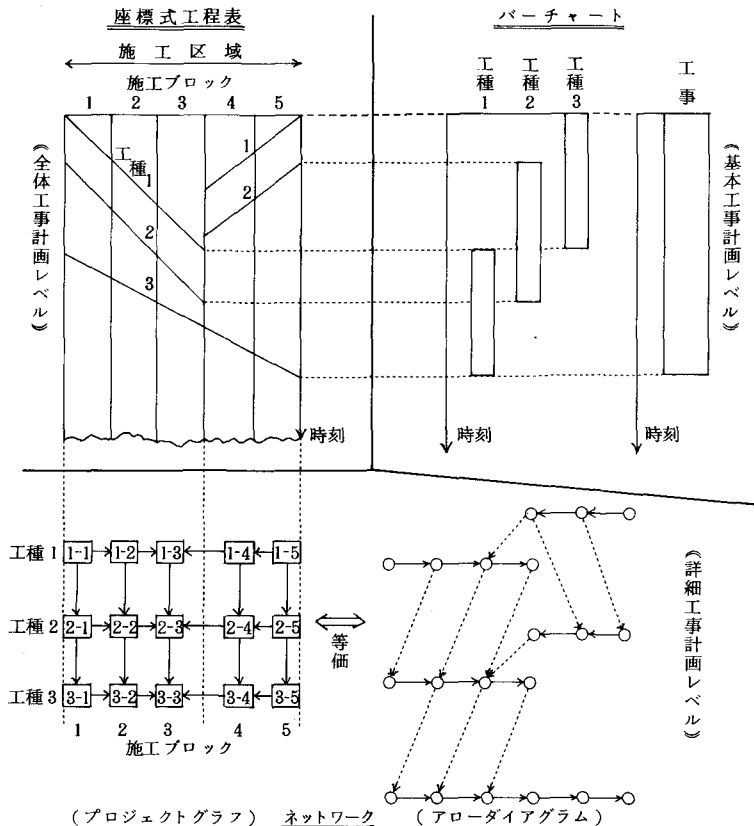


図-2 工程モデルの形式とそれらの関係概念

プロジェクトのフレームを計画する役割りを考えることができよう。つぎに座標工程表は、施工位置と時刻という2軸を用いて構成される座標空間上に、部分工事や工種の進ちょく状況の軌跡を示したものである。従って、線形構造物（道路、トンネル等）の工程を表わすのには便利であるが、平面的な広がりを持つ構造物（造成工事など）の場合には面的広がりをもつ施工ブロックの設定とそれらの間の施工順序の決定が必要となったり、あるいは3次元の座標式工程表というより複雑なモデルが必要となる。これらの場合も同様な考え方のアプローチが可能であるが今後の検討に待つところが大きい課題である。このため本研究では対象工事を線形の構造物に対する工事施工に限定することとした。そしてこのような線形構造物の工事施工の工程計画を示す座標式工程表では、施工速度が軌跡の傾き（勾配）に比例して表わされ、作業工程間の施工間隔は各軌跡間の間隔として表わされる。このような利点を用いて、工種や構造物部位についての施工速度や施工順序の検討、作業工程への投入資源の割当ての検討等々、全体工事計画レベルでの総括工程の計画的な検討や計画の表現に適用するモデルとして座標式工程表を採用することとした。最後に、ネットワーク形式の工程表はPERT系の手法が導入されて以来の大変ポピュラーな工程表であるが、数々の欠点もあげられている。一般に、ネットワーク工程表は、まず工事を構成する作業レベルに分割しそれらの施工順序を明らかにした上で、工程計画を中心として投入資源や費用に関する分析や計画化に役立てられている。作業工程を全体の流れの中で把握することができ、作業のスケジュールや資源の運用計画の検討にも用いることができるが、一方では、ネットワーク手法の理論にもとづく計算は大変煩雑であり、計画の変更を検討する作業も工程計画の結果の表示も非常に手間どるという欠点を持っている。また、工程計画の内容を決定する作業特性の設定内容にもこの段階では不確実性が大きく、信頼性の大きいネットワーク工程表とはなりにくいのが現状である。

3. 総括工程計画問題の構造化

先述したように総括工程計画における課題は、基

本工事計画レベルで与えられた工事対象を表わす設計図書、工期、工費等の与件や制約的条件およびフレームとして決定された工法・工種・投入機械の種類等の前提条件を満足するように、施工区域の分割（工区分割）や投入施工グループの数量の決定や各工種作業間の施工の実行可能性（作業順序に関する保証）を確保しつつ施工速度を決定するように、座標式工程表を設計することである。また計画の望ましさの程度を測る尺度としては、工事費用や工事期間、さらには施工中の安全性の程度等々をすることが最も一般的である。

以上のような要件を一挙に同一レベルで充足するような計画モデルを定式化して、総括工程計画問題を分析することは、数学モデルの構成や最適あるいは満足解を求める解法・アルゴリズムの開発によって不可能に近い課題と考えられる。そこで、本研究ではこのような総括工程計画問題を合理的に解決していくために、図-3のように問題構造をデザインした。ここでは、工区分割や投入施工グループ数のような基本的な計画変数は、過去の経験や工事プロジェクトの実施というより上位のレベルからの総合的な判断にもとづいて検討されるべきものとして、計画モデルの中ではパラメータとして取扱うこととした。そして図中にも示したように分析の過程で感度分析的なパラメトリック分析を加えて、パラメータ値や内容の合理性を検討することとした。また、このようなパラメータの取扱いをベースにして工程計画問題を表-1および表-2に示すような主問題と従問題の2種類に分割して定形化するとともに、

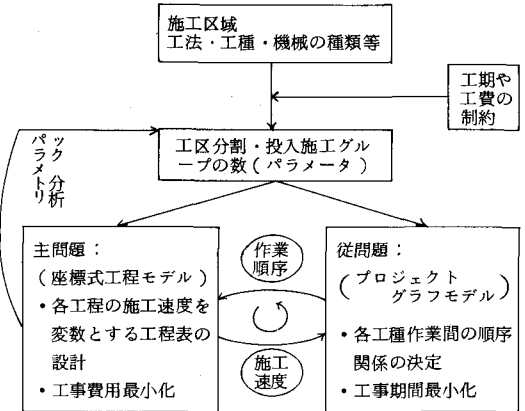


図-3 問題の構造化

図-3にも示したように両者の相互関係を補完的な関係として設定している。つまり、座標式工程モデルを用い、施工速度を計画変数として工事費用の最小化をめざす主問題においては、表-1中にも示したようにまず従問題を先行的に解くことによって求められる工種作業間の管理的順序関係を用いて、施工速度の決定を行なうことをめざしている。一方、プロジェクトグラフモデルを用い、主問題の解としての施工速度の与件の下で工種作業間の管理的順序関係を工事期間が最小になるように決定することをめざしているのが表-2に示した従問題の内容である。

表-1 主問題の内容

制約条件(1)	工期
与 件	工種作業間の技術的順序関係
評価の方法	工事費用(直接費用+間接費用)の最小化
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(作業工程を示す線分の傾き)
制約条件(2)	施工速度の変更可能な範囲、 工種作業間の管理的順序関係、 施工の間隔(安全性の確保、施工性の確保)

表-2 従問題の内容

与 件 (1)	工種作業間の技術的順序関係
評価の方法	工事期間の最小化
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、ブロック間の順序関係 (管理的順序関係)
与 件 (2)	施工速度、施工の間隔

そして、この両者の間の情報のやりとりを受けて主問題・従問題を繰り返しかえし解いて行くことになるが、最適解あるいは高度に満足できる解が求められたと判定されたときこの繰り返しかえしをやめることとなる。この判定は、主問題を解いてこの結果を従問題に送ったときの管理的順序関係が、その次の従問題の最適解である管理的順序関係と一致しているかどうかを調べることによって行なう。

4. 総括工程計画モデルの定式化

さて、以上に示した総括工程計画問題の構造化に従ってモデルの定式化を行なっていくこととする。

定式化にあたっては、まず施工ブロックと各ブロックにおける基本工程の考え方を示すとともに、ブロック k における工程 i 、すなわち $v_i^{(k)}$ を図-4のように定義しておくこととする。施工区域全体を施工数量と投入する施工グループの能力(機械と作業人員の能力)などを考えあわせていくつかの工区に分割するとともに、工事のやりやすさや作業のまとめやすさから図-4にも示したようにいくつかの施工ブロックに分割する。つぎに、各施工ブロックでは

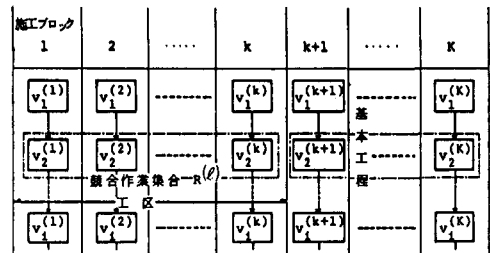


図-4 施工ブロックとブロック k における工程 i ($v_i^{(k)}$)

構造物の建設をすすめるための基本工程が決められているが、そのうちの1つの工程を $v_i^{(k)}$ であらわし、これによって施工ブロック k の i 番目の作業工程であることを表わすこととする。また、各施工ブロックでの基本工程に示されている作業実施の順序関係は施工技術上の与件であると考えことができ、これを技術的順序関係 P^T と表わす。さらに1つの工区内の作業工程の中には投入された施工グループの運用・転用を行なうことによって実施されるものがある。これらの作業の集合を、競合作業集合 $R^{(\ell)}$ と呼ぶが、全体の工程計画が決定されればこれらの競合作業間のすべての順序関係も、各種施工グループの運用・転用計画と対応した形で決定される。いまこのような順序関係を、上述の技術的順序関係(与件) P^T と対応する形で管理的順序関係 P^R と表わす。この P^R 中の作業順序は、競合作業ごとに $R^{(\ell)}$ に含まれる作業へ施工グループを割付けていく順序として求められ、全体工程における作業間の順序関係 P もこれら P^T と P^R を重ねあわせたものとして求められる。

以上の内容を取りまとめて示したのが、表-3の

表-3 計画モデルにおける変数・定数の定義内容

施工ブロック k ($k=1, \dots, K$)での工程 $v_1^{(k)}$
$v_1^{(k)}$ の集合 V $\begin{cases} V_1 : \text{実作業の工程} \\ V_2 : \text{時間間隔のためのダミー工程} \end{cases}$
作業の順序関係 P $\begin{cases} P^T : \text{技術的順序関係} \\ P^R : \text{管理的順序関係} \end{cases}$ $P_{v_1^{(k)}, v_j^{(k)}}(\in P) = 1 : v_1^{(k)} \text{は } v_j^{(k)} \text{の先行作業}$
競合作業集合 $R^{(\ell)}$ ($\ell=1, \dots, L$) $n_\ell : R^{(\ell)}$ に含まれる作業の個数 $r_\ell : \text{投入する施工グループ数}$
作業 $v_1^{(k)}$ ($\in V_1$) の施工数量 $q_1^{(k)}$ 施工速度 $a_1^{(k)}$ ($A_{11}^{(k)} \leq a_1^{(k)} \leq A_{21}^{(k)}$)
作業 $v_1^{(k)}$ の施工所要時間 $d_1^{(k)} = \begin{cases} q_1^{(k)} / a_1^{(k)}, & v_1^{(k)} \in V_1 \\ d_1^{*(k)} (= \text{const.}), & v_1^{(k)} \in V_2 \end{cases}$
作業 $v_1^{(k)}$ の開始時刻 $t_1^{(k)}$
工事期間 t_e
工事費用 $C = C^D + C^I + C^C$ $\begin{cases} C^D : \text{直接費用} (= \sum_{k1} c_1^{D(k)} = \sum_{k1} (\alpha_1^{(k)} a_1^{(k)} + \beta_1^{(k)}), \\ \quad \alpha_1^{(k)}, \beta_1^{(k)} = \text{const.}) \\ C^I : \text{間接費用} (= \gamma t_e + \delta, \gamma, \delta = \text{const.}) \\ C^C : \text{一定費用} \end{cases}$

表-4 従問題のためのモデルの定式化の内容

目的関数	$t_e = \lambda(P^R) + \min.$
制約条件(1) 順序づけ (施工グループ の割付け順序)	$\sum_{jk} P_{v_1^{(k)}, v_j^{(k)}}^{R(\ell)} \leq 1, P_{v_1^{(k)}, v_j^{(k)}}^{R(\ell)} \in P^{R(\ell)}$ $\sum_{ik} P_{v_1^{(k)}, v_j^{(k)}}^{R(\ell)} \leq 1, P_{v_1^{(k)}, v_j^{(k)}}^{R(\ell)} \in P^{R(\ell)}$ $\text{Loop}(P) = 0$ (ループ非構成のための条件) $\sum_{v_1^{(k)} \in R^{(\ell)}} \sum_{v_j^{(k)} \in R^{(\ell)}} P_{v_1^{(k)}, v_j^{(k)}}^{R(\ell)} = n_\ell - r_\ell$ $P_{v_1^{(k)}, v_j^{(k)}}^{R(\ell)} \in P^{R(\ell)}$
制約条件(2) スケジュール計算	$t_1^{(k)} \geq 0, v_1^{(k)} \in V$ $-t_1^{(k)} - d_1^{(k)} + t_j^{(k)} \geq 0, P_{v_1^{(k)}, v_j^{(k)}} = 1$ $-t_1^{(k)} - d_1^{(k)} - t_e \geq 0, v_1^{(k)} \in V$ $d_1^{(k)} = \text{const.}$

上半分の部分であるが、これらを用いて表-4に従問題を解くための最適化モデルの定式化として示した。ここでは、 n_ℓ 個の施工グループを集合 $R^{(\ell)}$ に含まれる競合作業群へ、工事期間が最小となるように割付ける順序を決定する問題として定式化している。

そして、この問題は一種の順序づけ問題となっており一般の非線形最適化問題の解法では解くことができず、我々は組み合わせ問題の解法としてのブランチ&バウンド法によって解法・アルゴリズムを開発している。

つぎに、本研究のメインテーマである座標式工程モデルを用いた主問題のためのモデルの定式化を述べることにする。いま、 V_1 に含まれる実作業工程における施工数量为 $q_i^{(k)}$ 、施工速度を $a_i^{(k)}$ とおく。この $a_i^{(k)}$ は工程表における相対的な傾きを表わしているが、これにはつぎのような条件よりその下限値・上限値が設けられるのが一般的である。その条件とは

- ① 施工法の性格上から、施工速度を上下させられる限界が存在する。
- ② 施工者が投入可能な建設機械や施設の能力の範囲に限界がある。
- ③ 施工ブロック内での施工空間の広さやそこで機械投入の密度などに限界がある。

等々である。これらを総合的に勘案すると自ずと $a_i^{(k)}$ の下限値 $A_{1i}^{(k)}$ や上限値 $A_{2i}^{(k)}$ が決ってくる。また、表-3にも示したように、作業工程 $v_i^{(k)}$ の所要時間は実作業工程($\in V_1$)では $q_i^{(k)} / a_i^{(k)}$ として求められるが、 V_2 に含まれるダミー工程では $d_i^{*(k)}$ と一定値をとる。また、作業の開始時刻の間の関係式は一般には $-t_i^{(k)} - d_i^{(k)} + t_j^{(k)} \geq 0$ のように先行・後続作業間で規定される。

つぎに、目的関数を構成する費用の考え方と定義について説明を加える。ここでの費用は、工事費用 C が、

- ① 作業工程における施工速度を(工事施工全体で安全性や品質水準を損うことのないように)上昇させることによって増加する費用として直接費用 C^D を考える。
- ② 工事期間の長さに比例して増減する費用として間接費用 C^I を考える。
- ③ 施工速度や工事期間の内容によって変わることのない材料費等の費用として一定費用 C^C を考える。

という3種類の費用によって構成されるものとして、そして、概略の工程を決める総括工程計画を検討するレベルでは、過去の経験からみても上記の

うち C^D 、 C^I には図-5に示すような線形性を仮定するものとしては検討精度での支障はないと判断した。

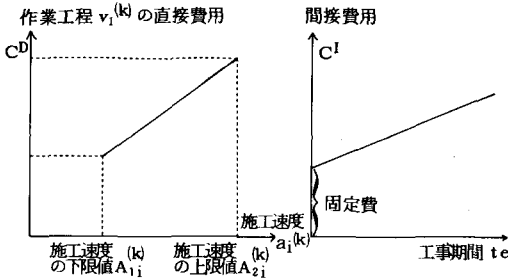


図-5 直接費用、間接費用に関する線形性の仮定

さてモデルにおける目的関数と制約条件の系をとりまとめて示したものが、表-5である。このモデルでの変数が $a_i^{(k)}$ および $t_i^{(k)}$ であるので、この問題が「目的関数が線形で、制約条件が非線形の非線形の数理計画問題 (NLP)」となっていることは明らかである。ただ、スケジュールに関する制約条件式

$$-t_i^{(k)} - \frac{q_i^{(k)}}{a_i^{(k)}} + t_j^{(k)} \geq 0, \quad -t_i^{(k)} - \frac{q_i^{(k)}}{a_i^{(k)}} + t_e \geq 0$$

を

$$\begin{aligned} -a_i^{(k)} t_i^{(k)} - q_i^{(k)} + a_i^{(k)} t_j^{(k)} &\geq 0 \\ -a_i^{(k)} t_i^{(k)} - q_i^{(k)} + a_i^{(k)} t_e &\geq 0 \end{aligned}$$

と書きなおすことによって容易に理解できるように、これらの制約条件式によって構成される領域は凸集合をなすことが理論的に保証しうるので、何らかの方法で最適解を求めればそれが大域的な最適解を求

表-5 主問題のためのモデルの定式化の内容

目的関数	$C = \sum_{k \in I} \alpha_i^{(k)} a_i^{(k)} + \gamma t_e + \tau + \min.$
制約条件 (1)	$A_{11}^{(k)} \leq a_i^{(k)} \leq A_{21}^{(k)}, v_i^{(k)} \in V_1$
制約条件 (2) スケジュール策定 における制約条件 その他	$t_i^{(k)} \geq 0, v_i^{(k)} \in V$ $-t_i^{(k)} - d_i^{(k)} + t_j^{(k)} \geq 0, p_{v_i^{(k)}} v_j^{(k)} = 1$ $-t_i^{(k)} - d_i^{(k)} + t_e \geq 0, v_i^{(k)} \in V_1$ $d_i^{(k)} = \begin{cases} q_i^{(k)} / a_i^{(k)}, & v_i^{(k)} \in V_1 \\ d_i^{*(k)}, & v_i^{(k)} \in V_2 \end{cases}$ $P : \text{const.}$

めることができる。しかし、一般の非線形最適化問題の解法であるグラディエント法をはじめとする解法を適用することは、求解の計算の内容が大変煩雑になるとともにもう一つの問題がある。それは、座標式工程モデルを導入し、全体工事計画レベルでの総括工程の計画化の検討のためのモデルの開発という本来の目的が、最適解を機械的に求めるというだけで、せっかくの最適計画の探索の方法・プロセスを明らかにしないことは大変おしいことなのである。ここではこのような点を勘案して、工程表と直結した形で解の改善を積み上げていき、最適解に到達するというCPMの解法で用いられているフローアルゴリズムと同様な性格をもつ解法を開発した。

5. 解法の開発と地下鉄工事への適用事例

(1) 主問題と従問題の解法

a) 主問題の解法

ここではまず実行可能なスケジュール案が座標式工程モデルとして求められているものとする。座標式工程表として求められれば、プロジェクトグラフを容易に描くことができる。そして工程計画の内容を改善するにはこのプロジェクトグラフ上に求められているクリティカルな作業からだけで構成されるネットワークをとりだした後、そのネットワーク上のCut集合を求めることによって解の改善を行なおうとするものである。このクリティカルパスを対象とする解の改善問題は、プライマルデュアルアルゴリズムやフローアルゴリズムでの「制限問題」にあたるもので、この問題を各改善ステップで解くことを繰り返して最適解を求めようとするものである。

さて、クリティカルパス上のいずれの作業でも、その作業の所要時間の変更(施工速度の変更)は、全体工事期間の延長や短縮につながり、工事費用の増減と直接結びついている。いま V_1 に含まれる作業工程 $v_i^{(k)}$ が、クリティカルパス上の作業で図-6の(a)のような状態であるとする、この作業工程の施工速度を1単位の上昇は直接費用の増分 $(\partial C^D / \partial a_i^{(k)}) = \alpha_i^{(k)}$ として求められる。また、間接費用も減少するがその減少分は $\partial C^I / \partial a_i^{(k)} = -\gamma \cdot q_i^{(k)} / (a_i^{(k)})^2$ として求められる。すなわち、クリティカルパスが変化しない限り、

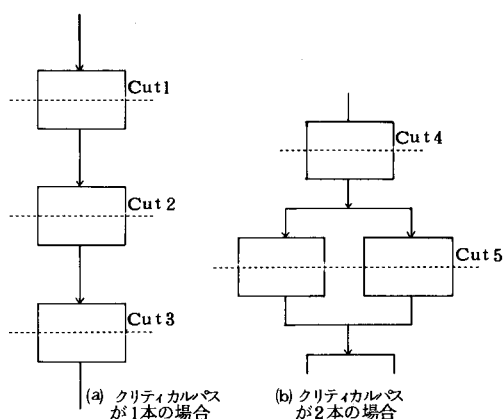


図-6 クリティカルパスとCut

$\frac{\partial C}{\partial a_i^{(k)}} = \frac{\partial C_i^{D(k)}}{\partial a_i^{(k)}} + \frac{\partial C_i^I}{\partial a_i^{(k)}}$ の値が正であれば、施工速度を減少させることによって費用を減少させることができるし、負であれば施工速度を上昇させることによって費用を減少させられる。従って、施工速度の増減によってスケジュールに表われてきているクリティカルパスの変化が、スケジュールに関する制約条件を満たさないような状態になることを注意深くさせることによって、目的とする工事費用の減少を順次行っていくことができることがわかるのでつぎのような方法をアルゴリズムとして適用することができる。つまり、まず $|\frac{\partial C}{\partial a_i^{(k)}}|$ をクリティカルパスからなるネットワークのすべてのCutに対して計算し、この中の大きいものから順に $\partial C / \partial a_i^{(k)} = 0$ となるように $a_i^{(k)}$ を変化させていくことにより、最適な $a_i^{(k)}$ を求めることができるのである。以上では図-6の(a)のような場合を想定して解法のアルゴリズムを述べたが、(b)あるいはそれ以上複雑になった場合でも、クリティカルパスからなるネットワーク上でのCut集合さえ求めれば、そのCutに含まれる作業全体での、直接費用の増分の和と間接費用の減少分の均衡状態を調べて同様な判断をすれば良いことが容易に理解される。

b) 従問題の解法

表-4に示した従問題に対しては、0-1変数をとる組み合わせ問題の解法としてのブランチ&バウンドを用いて制約条件を満たすような作業順序の付加を行ない下界値LBを計算し、無駄な組み合わせの列

挙を可能な限りさけるという最適解法を筆者等がすでに開発して事例研究とともに発表もしているののでここでは説明を省略する。

(2) 地下鉄工事への適用事例

以上述べてきた総括工程計画モデルにおける2種類の最適化モデルの解法や、図-3に示した構造での工程計画化の考え方の実証レベルでの検討のために、大阪南部の地下鉄工事に本モデルを適用した。解法については、例題に対して詳細に検討を行なってその実際性を確認した。

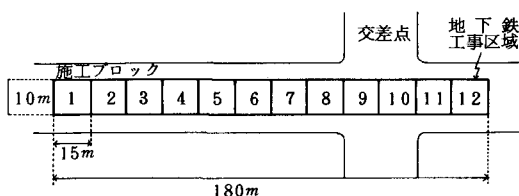


図-7 地下鉄工事区域とブロック分割

表-6 工事における工種構成と投入機材

工 種	投入機材	工 種	投入機材
A PC土留杭打	アースオーガ	F 下層掘削	ブルドーザ
B PC土留杭打R	アースオーガ	G 底床構築型	砕
C 鋼中間杭打	アースオーガ	H 中床構築型	砕
D 路面覆工	クレーン	I 上床構築型	砕
E 上層掘削	ブルドーザ	J 覆工撤去	クレーン

この工事の規模と施工ブロック分割の状況と、工種構成や投入機材の内容を図-7、表-6に示した。また総括工程計画作成の検討ではE, F, G, H, Iの工種のみ施工グループの転用が検討された。さて、図-8には初期の工程計画案として求めた座標式工程表を示したが、これをスタート点として、改善した総括工程計画案を、カラーグラフィックシステムを用いた対話型の検討・計画化のシステムで求めたところ、図-9のような改善案が求められた。これらによって、工事費用や工事期間とも大幅に改善された計画案が求められることが明らかとなった。

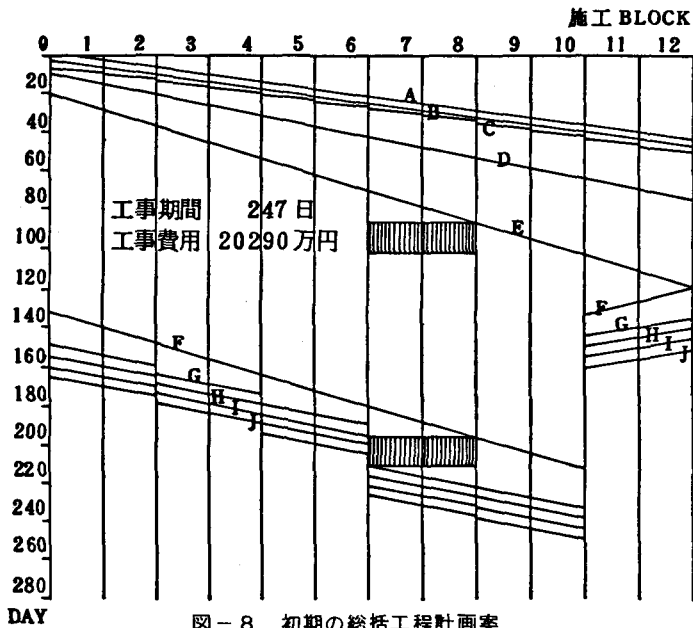


図-8 初期の総括工程計画案

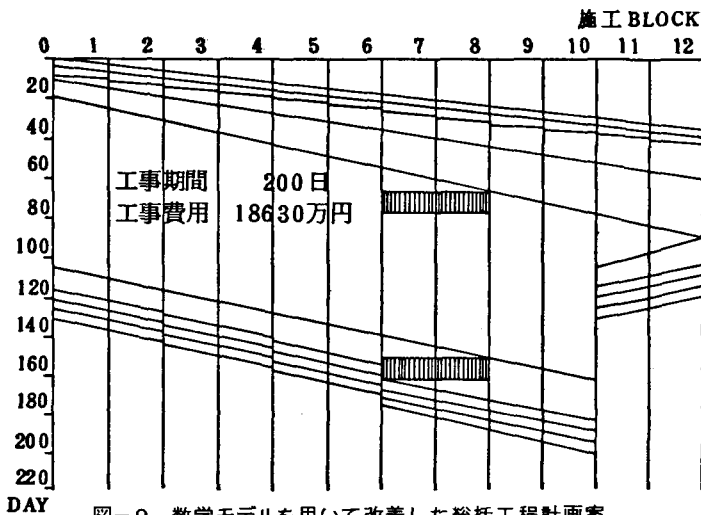


図-9 数学モデルを用いて改善した総括工程計画案

おわりに

PERT系の手法や各種のOR手法やシステム工学的手法が導入されるようになってから30年近くたち、各種の工事でこれらの方法の適用がなされてきたにもかかわらず工事計画のための体系的な方法の開発はまだまだという状態である。筆者等はこのような観点から基礎的な理論や手法・モデルの開発をすすめてきた。本研究もこのような理論的研究、システム開発研究の一つとして実施しているものである。

最後に本研究を進めるにあたり京都大学大学院学生の武政功君、学部学生荒井君および鴻池組技術研究所折田利昭氏から各種協力を得たので、ここで感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 吉川和広：土木計画とOR、丸善、1969.
- 2) 今野浩、山下浩：非線形計画法、日科技連、1978.
- 3) 春名攻：建設工事における施工管理に関するシステム論的研究、学位論文、1971.