

大規模建設工事のための概略工程計画システムの開発研究

京都大学工学部 正 員 吉川和広
 京都大学工学部 正 員 春名 攻
 三井建設(株) 正 員 〇 齊川岳彦

1. 概説

近年、コンピュータを中心とするシステムマシンの発達や低廉化にともない工事マネジメントの技術とその手法は著しく進歩しようとしている。一方では工事プロジェクトの大規模化にともない工事条件の厳しさは増す一方で、このため総合的・体系的な事前検討の方法の開発が重要となってきた。本研究ではこのような観点から、大規模建設プロジェクトでは概略工程計画の検討が工事計画策定の中核的な位置を占めることを示すとともに、その計画化の方法を座標式工程表をツールとしたシステム論的な方法として論じることとした。なお、ここで座標式工程表とは施工位置と時間軸で構成される座標空間上の軌跡によって工事実施過程を表現しようとするものであるが、現在のところその適用範囲は線形構造物に限られている。

2. 工事計画の階層性

工事計画は対象とする工事期間や構造物の範囲さらには意思決定者の権能レベル等によって以下の4つに大別される。

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

なお、これら計画化の過程では、構造物の工事内容を上記4つの計画レベルに求められる要件に適合するように順次ブレークダウンして行くという方法が用いられる。また、このような工事計画の中核をなす工程計画もこの工事計画と同様な階層構造をもっている。また工事施工の内容を実施的に規定する工程計画は工事費用や工期に与える影響も大きいいため、工程計画を検討するにあたっては工事全体を見通すことができるレベルすなわち全体工事計画のレベルでの概略工程計画を中心に扱うべきであると考えた。

3. 座標式工程表を用いた概略工程計画モデル

本研究では基本工事計画にもとづいて明らかにされる与件や制約のもとで、各工種の施工速度と各工種の施工速度の変化や工区分割、さらには作業の中断等々によって所定の工期を満足させかつ低廉な工事費用を得ることができる数理計画モデルの作成を目指した。そこで図-1に示すように計画作成過程を4つのステージに分割して検討を進めていくこととした。また工事費用には直接費用、間接費用、中断費用と一定費用の総和を取上げた。ここで直接費用は各工種の施工速度を大きくすることによって増加する費用である。また間接費用は工事期間の延長によって増加する費用である。中断費用は作業を中断する際に機械等のクールダウン・ウォームアップに要する費用と中断の間資源が拘束される損料の和である。なおここでは、直接費用と施工速度、間接費用と工事期間、中断費用と中断時

Kazuhiro YOSHIKAWA

Mamoru HARUNA

Takehiko SAIKAWA

間・中断回数に周に線形性を仮定した。

さてステージ1ではまず工区分割、作業中断によって工期の短縮がはかれる工種を全工種の中から判別した。このうち、工区分割や作業中断を実行することとした。一般に複数の工区分割と作業中断の組合せパターンが考えられるため、この場合工区分割や作業中断を実行したときにとみなう工期の短縮時間に対する増加費用の割合が最小となるように分割や中断という手段を選択した。このような方法で工期を満たす複数の実行可能計画案を座標式工程として設計することとしたのである。このような代替案の設計方法は逐次探索としてのヒューリスティックなプロセスシステムモデルとして設計している。そしてできる限り目的性が大きくなるような手段を用いており、その目的達成度はかなり大きいと判断している。(表-1)

次にステージ2では、ステージ1で準備された工区分割と作業中断の組合せパターンに対応して求められた検討対象計画案のそれぞれに対して座標式工程表上に概略工程計画案を設計していくこととした。すなわち、ここでは工期制約のもとで施工速度を操作変数として総工事費用が最小となるような計画案を求めるために、非線形の数理計画モデルとして概略工程計画作成問題を定式化し、これを解いて計画案の設計を行なうこととした。そしてこのモデルは与えられた工区分割と作業中断の組合せパターンに対応した当初計画案を総工事費用が最小となるような計画案へと修正させるという役割をもっている。(表-2)

最後のステージ3では、絞り込まれてきた計画代替案に対して主要な資源の使用状況を山積み図上にシミュレートした形で作成した。そして資源量の変動が比較的大きくないものを実行可能であると判断して選択対象とすべきかどうかの判断を行なうこととした。そして座標式工程表上で、作業の錯綜状況に関しての可能な限り様々な検討を行ない選択対象を絞り込むこととした。そして最後に、残されたこれら代替案の中で費用が最小となるような計画案を概略工程計画として選択しとりまとめることとした。(表-3)

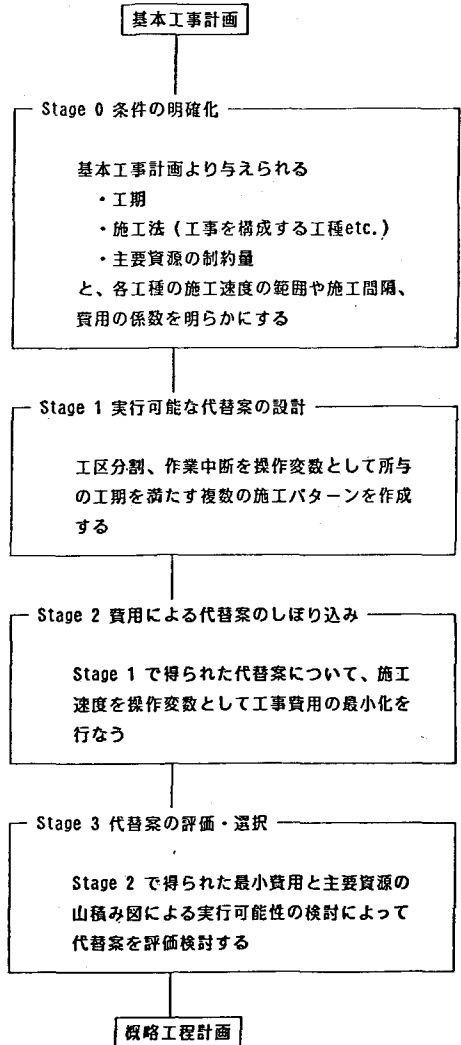


図-1 概略工程計画作成の手順

表-1 Stage 1の内容

評価	$min \left(\frac{\text{増加費用}}{\text{工期短縮時間}} \right)$
操作変数	工区分割 作業中断
制約	工期 主要資源の制約量 各工種の施工数量 工種間の技術的順序関係 施工間隔 (安全性, 施工性など)

4. 事例検討

前節で述べた解法を用いて地下鉄工事の概略工程計画問題に適用して検討を加えた。ここで、地下鉄工事を例題として取り上げたのはつぎのような理由による。すなわち、線路部では施工数量が路線に沿ってほぼ均等に分布しており工事全体がほぼ線形状であるとみなしうる。このため地下鉄工事計画での概略工程計画は容易に座標式工程モデルを作成することが可能である。したがってこの工程モデルを工種作業間の間隔や資機材の転用などに関しても視覚的に確認しつつ検討していくことができる。この点からこのシステムモデルは計画化のための有効なツールとして使用することが可能であると考えている。また、地下鉄工事では工事用資源に関する費用の工事総費用に占める割合が比較的大きく、工事計画とくに工程計画の内容如何が工事の成否を左右する場合が多い。したがって望ましい地下鉄工事計画のために前述した概略工程計画のシステムモデルを適用するのに適していると判断した。ここでは、まずあくまでも工事施工工程に関する概略的な検討を行なうために基本的な施工法である開削工法において最初に行なわれる土留杭打、中間杭打を杭打工種、路面覆工の後続作業である上層掘削、下層掘削を掘削工種、そしてこの後続作業である底床構築、中床構築、上床構築を構築工種としてとりまとめることとした。以上のような工

種の設定を行なったのち、構築工種がコンクリート打設後の養生期間を必要とするので後続工種である覆工撤去との間に30日の時間的施工間隔を取り入れることとした。そしてステージ3で得られた概略工程計画の実行可能性を検討するために主要工種である構築工種を底床構築、中床構築、上床構築に分割した。また底床構築と中床構築、中床構築と上床構築の間に15日の時間的施工間隔を取り入れ、主要資源である鉄筋工について山積み図を作成しその実行可能性を検討することとした。ここでは許される工期を240日とし、各工種の施工速度の範囲および施工数量の値と各作業間の技術的順序関係、さらには片押し作業間の管理的順序関係と所与の時間的施工間隔等々を取り入れてスケジュール計算を行なった。この結果図-2に示した初期解（分割、中断を行わず工期最小とした計画案）が得られ工期360日となった。したがって、まず工期を240日以内に短縮する必要がある。

表-2 Stage 2の内容

評価	$\min$ (直接費用+間接費用+中断費用)
操作変数	施工速度
制約	各代替案の工区分割・作業中断パターン

表-3 Stage 3の内容

評価	実行可能性の検討
制約	主要資源の制約量

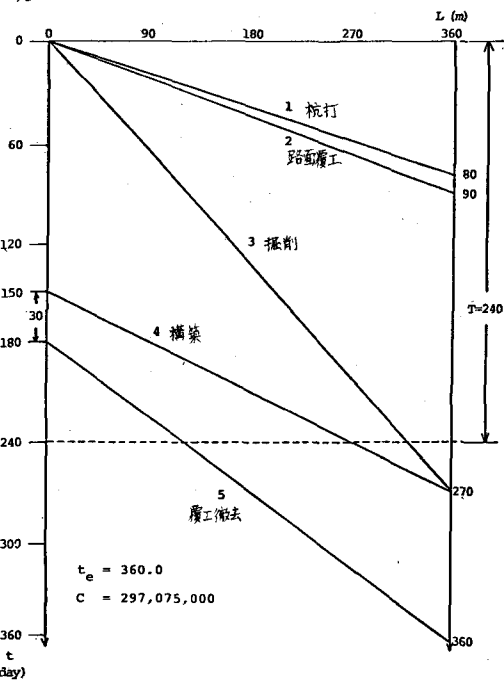


図-2 初期解

このためステージ1の手順を適用したところまず工事期間235日、総工事費用380,200千円となる初期実行可能解が得られたが、これを座標式工程モデルを用いて表示すると図-3のようになった。次に初期実行可能解の費用の5%増しの範囲で工期の実行可能性を満たす代替案の探索を行ったところ、図-4に示す手段によって7つの代替案が得られた。そしてこれら7つの代替案に対してその工程分割、作業の中断パターンとステージ2の手順を用いて費用を最小とする施工速度を設定した結果を表-4に示した。これより代替案1が工期240日、総工事費用360,503千円となり7つの代替案の中で一番費用が小さいものであることがわかった。また費用を最小化した7つの代替案について構築工程を底床構築、中床構築、上床構築に分解し、主要な資源である鉄筋工について山積み図を作成したところ1, 2, 5の代替案が実行可能性が高いと判断された。これらを座標式工程表上で作業の錯綜などについて検討したところ代替案2は作業の錯綜が1, 5の代替案に比べてあまりなく、費用も代替案1に比べ0.04%増だけであったのでこの代替案2を概略工程計画として採用することとした。(詳細については講演時に発表するものとする。)

表-4. 代替案の工事期間と最小総工事費用

代替案	node no.	工事期間 (日)	最小総工 事費用(千円)
1	8	240	360,503
2	11	240	360,639
3	12	240	373,443
4	5	235	375,486
5	9	240	379,003
6	10	240	387,165
7	6	225	391,382

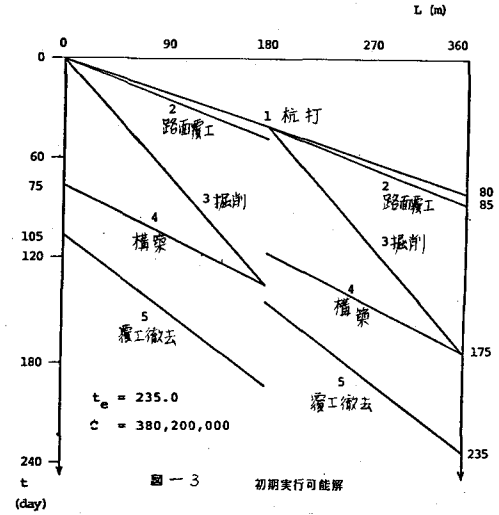


図-3 初期実行可能解

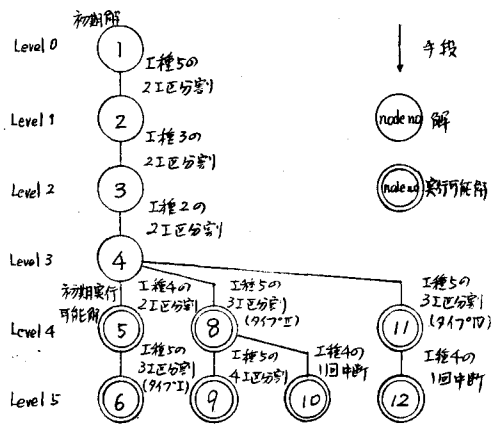


図-4 実行可能解に至る手順
(実行可能解にかかわる手順のみを示す)

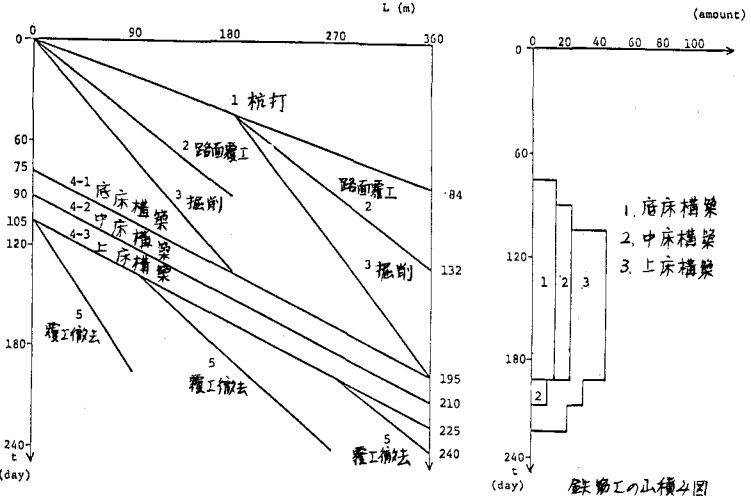


図-5 費用最小化した代替案2 (採用された概略工程計画図)