

大規模建設工事の概略工程計画システムに関する研究

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

京都大学大学院 学生員 〇上坂克巳

1. 概説

本研究は、工事受注に際して受注者が作成する概略工程計画の方法に関して、システム論的検討を行ったものである。ここでは、計画過程を2段階過程として設定し、前者では座標式工程モデル、後者ではネットワーク式工程モデルを適用してトータルプロセスを設計し、これを高速道路下部工事に適用して実証的検討を行った。

2. 概略工程計画の設計プロセス

本研究で提案する概略工程計画の設計プロセスを図-1に示した。以下、この図にしたがって説明を行うこととする。

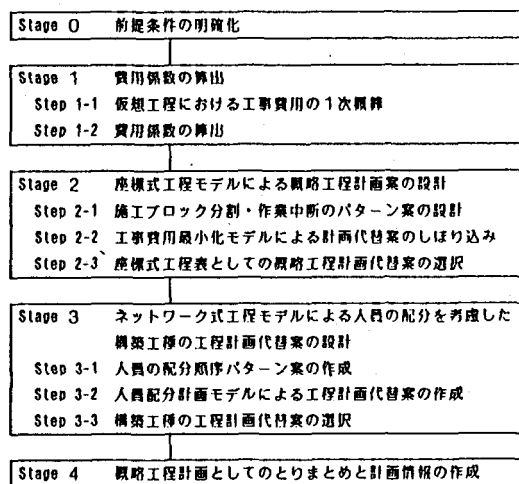


図-1 概略工程計画の設計プロセス

(a) Stage0 前提条件の明確化

このstageでは、上位の工事計画である基本工事計画において定められた条件を明

確化し、以下の検討のフレームとする。

(b) Stage1 費用係数の算出

このstageの目的は、現在使用されている積算基準や積算システムを用いて工種ごとに工事費用の1次的概算を行うとともに、次のStage2での検討において重要な指標となる目的関数（総工事費用最小化）の費用係数を決定することにある。すなわち、このstageで現行の積算技術を本研究で提案する方法論に組込んでおくことによって、図-1で提案したプロセスの実務上での有効性が保証できる。（費用係数を算出する手順は、ここでは省略する。）

(c) Stage2 座標式工程表による概略工程計画案の設計

このstageの目的は、座標式工程表の特徴を十分に生かし、「工程・品質・安全・原価」という4側面から見て可能な評価を行うことによって、合理的な概略工程計画作成を目指すことにある。たとえば、座標式工程表のもつ特徴の一つとして、空間的な施工間隔を表示できることが挙げられるが、ここでは、その特徴を生かして、「安全に建設機械を使用することができる空間的スペースの確保」を制約条件として織込み、安全性という側面からの評価を可能としている。さらに、Stage3の構築工種における人員配分計画作成のためのフレームを規定することも、このstageの重要な役割である。

(d) Stage3 ネットワーク式工程モデルによる
人員の配分を考慮した構築工種の工程
計画代替案の設計

Stage3では、熟練工を中心とした人員の
合理的な配分という観点から、Stage2で得
られた構築工種の工程計画（座標式工程表
で表示されている）を、よりblusu-upする
ことによってネットワーク表示の工程計画
を設計する。このstageの目的は、Stage2
では十分に検討しえなかった合理的な人員
配分計画の作成はもちろんのこと、その計
画化の過程の中で、Stage2の結果の実行可
能性をより細かい工程のレベルで人員の配
分という面から保証すること、さらには座
標式工程表で表された工程を、より具体化
してネットワーク式工程表表示することに
より、次のレベルの詳細工事計画へのプレ
イクダウンをスムーズにすることである。
(e) Stage4 概略工程計画としてのとりまと
めと計画情報の作成

このstageの役割は、Stage3までの検討
結果を概略工程計画として、とりまとめて
明確化すると同時に、詳細工事計画へのbr
-eakdown等の以後の工事計画化において必
要な計画情報を作成することである。

3. Step 2-2 工事費用最小化モデルによ る計画代替案のしほりこみ

Step 2-2では、Step 2-1で求めた各種施
工パターンに対応する計画の内容を工事費
用が最小となるように改善する機能をもた
せている。

ここでは、工事費用の最小化を図るため
に、座標式工程表を計画化のためのツール
として用い、表-1、表-2に示す内容をも
つLPによる最適化モデル（工事費用最小
化モデル）を開発した。

表-1 工事費用最小化モデルの
定式化のための定義

$v_j^{(p)}$	工種作業を示す j は工種作業の番号 p は工種の種類
$d_j^{(p)}$	$v_j^{(p)}$ の所要時間
$t_j^{(p)}$	$v_j^{(p)}$ の開始時刻
$l_{j1}^{(p)}$	$v_j^{(p)}$ の開始位置
$l_{j2}^{(p)}$	$v_j^{(p)}$ の終了位置
$l_j^{(p)}$	$l_j^{(p)} = l_{j2}^{(p)} - l_{j1}^{(p)}$
$A1^{(p)}$	工種 p の施工速度の下限值
$A2^{(p)}$	工種 p の施工速度の上限値

表-2 工事費用最小化モデルの定式化

操作変数	d_j, t_j
目的関数	$\min. \sum \{ (-\alpha^{(p)} / l) d_j^{(p)} + \beta_j^{(p)} / n_j \} + \gamma t_e$
制約条件	
契約工期の満足	$t_0 = 0$ $t_e \leq T$ (T は契約工期)
施工速度の範囲	$(l_j^{(p)} / A2^{(p)}) \leq d_j^{(p)} \leq (l_j^{(p)} / A1^{(p)})$
時間的施工間隔の確保	$(t_j + d_j (1^* - l_{j1}) / l_j) - (t_l + d_l (1^* - l_{l1}) / l_l) \geq \mu_{lj}$ $(t_j + d_j (1^{**} - l_{j1}) / l_j) - (t_l + d_l (1^{**} - l_{l1}) / l_l) \geq \mu_{lj}$ ただし $\max. (l_{l1}, l_{j1}) = 1^*$ $\min. (l_{l2}, l_{j2}) = 1^{**}$
空間的施工間隔の確保	$(l_{R1} + l_R (t^* - t_R) / d_R) - (l_{L1} + l_L (t^* - t_L) / d_L) \geq \nu_{LR}$ $(l_{R1} + l_R (t^{**} - t_R) / d_R) - (l_{L1} + l_L (t^{**} - t_L) / d_L) \geq \nu_{LR}$ ただし t_L, t_R, d_L, d_R の初期値を $t_{L0}, t_{R0}, d_{L0}, d_{R0}$ として $\max. (t_{L0}, t_{R0}) = t^*$ $\min. (t_{L0} + d_{L0}, t_{R0} + d_{R0}) = t^{**}$
前後関係の維持	$t_A \geq t_B, t_C \leq t_D$ ただし v_L, v_R のうちで 開始時刻の初期値が大きい方が v_A 他方が v_B 終了時刻の初期値が小さい方が v_C 他方が v_D

4. Step 3-2 人員配分計画モデルによる 工程計画代替案の作成

Step 3-2では、Step 3-1で作成された数
個の人員の配分パターンに対し、人員配分
計画モデルを適用する。その際、以下に示
すような2段階のプロセスにしたがって遊
休している人員数を減じることにより、間
接的に労務費用の低減を図る。

すなわち、まずStep 3-2-1では、表-3、表-4で示されるモデルにしたがって、山積み図の最高点の高さの和を最小化する。

さらに、Step 3-2-2では、制約条件として、各職種ごとの投入人員数の上限値

$$\sum f_{s(L)j}^{(L)} \leq \lambda^{(L)}$$

を付加し、「重みづけした実質的な延べ配分人員数の最小化」

を行うこととした。その際、 $\lambda^{(L)}$ の初期値をStep2-1の結果を用いて

$$\lambda^{(L)} \text{ start} = \sum f_{s(L)j}^{(L)} \text{ opt.}$$

と設定し、以下、 $\lambda^{(L)}$ を1日ずつ増加させることによって、パラメトリック分析を行い、目的関数

$$\min n. \sum m^{(L)} \sum f_{ij1}^{(L)}$$

が最小となるような人員配分計画案を作成することとした。

表-3 人員配分計画モデルの定式化のための定義

<操作変数>	
$f_{ij}^{(L)}$	職種Lの携る作業(i, j)に対する配分人員数
$f_{ij1}^{(L)}$	作業の所要時間に影響を与える人員数
$f_{ij2}^{(L)}$	遊休している人員数
$f_{ij}^{(L)}$	ダミー作業(i, j)に対する配分人員数
t_i	ノードiの結合点時刻
t_{vj1}	工種作業vjの開始を表す結合点時刻
t_{vj2}	工種作業vjの終了を表す結合点時刻
<パラメータ>	
$\lambda^{(L)}$	職種Lの投入人員数の上限値
<定数>	
$F_{ijmin.}^{(L)}$	作業(i, j)の配分人員数の下限値
$F_{ijmax.}^{(L)}$	作業(i, j)の配分人員数の上限値
T_{vj1}	工種作業vjの開始時刻
T_{vj2}	工種作業vjの終了時刻
c_{ij}	作業(i, j)の所要時間の下限値
※(作業(i, j)に携る人員はほぼ調達万能)	
$a_{ij}^{(L)}$	$b_{ij}^{(L)}$ 作業(i, j)の時間係数
$m^{(L)}$	職種Lの重みを表す係数
<その他>	
$s^{(L)}$	職種Lの人員のsource

表-4 人員配分計画モデルの定式化
Step3-2-1の場合

<操作変数>	
t_i	(i = 1, 2, ..., n)
$f_{ij}^{(L)}$	$f_{ij}^{(L)}$
$f_{ij1}^{(L)}$	$f_{ij2}^{(L)}$ (L = 1, 2, ..., l)
<制約条件>	
a) 変数の制約	
$t_i \geq 0$	$f_{ij}^{(L)} \geq 0$, $f_{ij2}^{(L)} \geq 0$
$F_{ijmin.}^{(L)} \leq f_{ij1}^{(L)} \leq F_{ijmax.}^{(L)}$	
$f_{ij}^{(L)} = f_{ij1}^{(L)} + f_{ij2}^{(L)}$	
b) 順序関係の制約	
1) 検討対象となる実作業(i, j)	
$t_j - t_i \geq -a_{ij}^{(L)} f_{ij1}^{(L)} + b_{ij}^{(L)}$	
2) ダミー作業(i, j)	
$t_j - t_i \geq 0$	
3) 検討対象ではない実作業(i, j)	
$t_j - t_i \geq c_{ij}$	
c) 人員の流れの連続式	
$\sum f_{ij}^{(L)} = \sum f_{jk}^{(L)}$	
d) Stage2の結果による工種作業の施工時期の制約	
$t_{vj1} = T_{vj1}$	
$t_{vj2} = T_{vj2}$	
<目的関数> 投入人員数の和の最小化	
$\min n. \sum \sum f_{s(L)j}^{(L)}$	

5. 事例検討

本研究では実証的検討の対象として、阪神高速道路下部工事をとりあげた。この工事は、阪神高速道路公団発注による大阪府道湾岸線下部工事で、工事延長204mの工事区間に杭基礎6基とRC単柱6基を施工するものである。契約工期は270日、請負金額は4億3000万円であった。

次に、表-5に基本作業工程と工種の分類、さらにピアー基(1施工ユニット)を施工する際の各作業の標準所要日数を示した。構築工種に関しては、構造物部位に対応させて4工種に分類した。なお、「コンクリート打設」は1日で行わなければなら

ず、「養生」についても必要日数がほぼ決まっているため、「コンクリート打設」と「養生」を一つにまとめて、所要日数を変化させることができない「時間的施工間隔」として、工種の分類から外した。

また、本工事では熟練工である鉄筋工と型枠大工の調達が困難であるという状況に

あるため、本工事にStage3を適用する際には、これらの職種の人員を検討対象としてとりあげることとした。

最後にStage2の適用結果を図-2に、Stage3の適用結果を図-3に示す。また、その他の検討結果については講演時に発表することとする。

表-5 基本作業工程と工種の分類

工種の分類	基本作業名	標準所要日数	
杭打(p=1)	ベント杭打設	15	
掘削(p=2)	掘削	20	
フーチング構築(p=3)	薬石・均しコンクリート	5	34
	杭頭処理	11	
	フーチング型枠組立て	6	
	フーチング鉄筋組立て	12	
時間的施工間隔	コンクリート打設	1	8
	養生	7	
柱構築(p=4)	埋め戻し	6	30
	鋼矢板抜き	8	
	足場組立て	4	
	柱鉄筋組立て	6	
	柱型枠組立て	6	
時間的施工間隔	コンクリート打設	1	9
	養生	8	
梁構築(p=5)	梁支保工組立て	10	28
	足場府型	4	
	梁鉄筋組立て	8	
	梁型枠組立て	6	
時間的施工間隔	コンクリート打設	1	14
	養生	13	
後処理(p=6)	型枠外し	4	13
	支保工解体	5	
	埋め戻し	4	

標準所要日数は1施工ユニットあたり(単位 日)

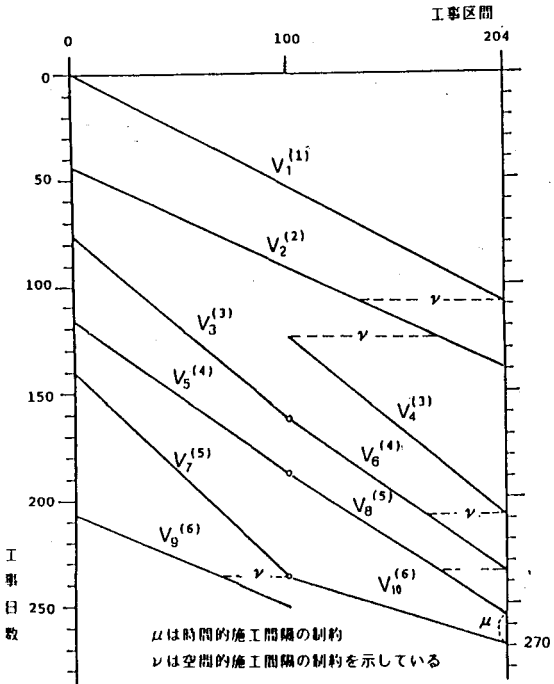


図-2 Stage2の適用結果

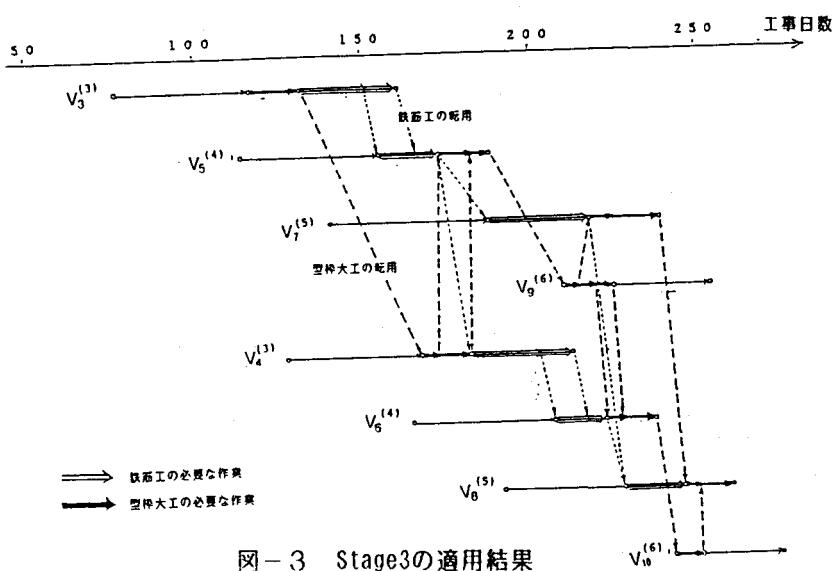


図-3 Stage3の適用結果