

(株) 鴻池組 正員 折田 利昭
同 上 正員 田坂 隆一郎

1. はじめに 工事着手当初の施工環境が不確定な時期においては、施工法や主要資機材の運用計画など工程計画の基本方針を決定する総括工程計画の作成が重要な役割を果たす。筆者らは、このような観点から総括工程計画作成システムの開発を行ってきたが、これまでは工期という一側面からの評価が中心であった。本報では、もう一つの重要な要素である費用という側面からの評価方法についてのべる。

2. 総括工程計画作成における費用評価のシステムの整理 工期と費用の両者を同時に最小化する工程計画を求めることは非常に難しいと思われる。このことは、CPMとして知られる手法において順序関係が確定した後、工期と費用の両者を満足する解を求めることから類推できよう。これらのことから、筆者らは費用評価を含めた総括工程計画作成の手順を以下のように進めることが望ましいであろうと考えた。

- (1) 設計図書や仕様書など提示条件の内容を検討し、関連する諸法規を調査するとともに、現地踏査を行って施工条件および環境条件を把握する。一方工事用資源の調達能力や施工技術・施工方法の調査を行う。
- (2) 上記工事情報を受けて施工方法を提案し、各施工段階における工学的および力学的安全性の検討を行う。それと同時に構造物を築造していく時の施工単位については、その規模と技術的順序関係を作業の安全性や工事施工の迅速性から検討を行う。その場合、施工数量に対応する費用の評価を行い、施工方法を決定する。
- (3) 上記施工方法にしたがって工事を実施して望ましい水準で所期の成果を上げるという管理的立場から、主要な工事用資源の運用計画をも含めて各工事や各工種のスケジュールが全体工期の中でバランスがとれ、しかも管理しやすい計画を作成する。その場合、工事用資源の調達・運用に関わる評価を行い、総括工程計画を決定する。

ここで、上述した手順をフロー図で表わすと図-1のようになる。

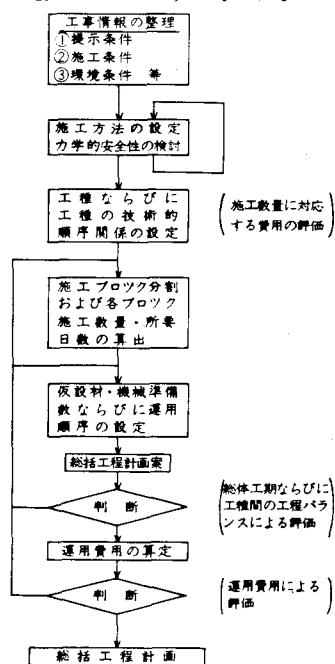
さて、(1)、(2)については別の機会にゆずるが、(3)における工期および資源運用計画の側面からのシステム化については既に明らかにしており、ここでは費用的側面の評価と算定のシステム的な方法について考察する。

2.1 費用要素の評価と算定のシステム化の方針 ここで考察する 図-1 総括工程計画作成フロー 費用は資源の運用計画によつて変動すると考えられるものを対象としている。ところで費用要素それぞれについて評価と算定方法についてみると、以下にのべる特徴がある。

- ① 労務費、本設材料費は運用計画による変動幅は小さい。
- ② 機械費は運用計画による変動幅は大きい、主要機械の費用要素は投入台数によつて評価できる。
- ③ 仮設材料費は機械費と同様な特徴があるが、搬入・搬出費をも考慮して評価する必要がある。
- ④ 経費は運用計画による変動幅は大きい、工期によつて大略評価できる。

これらのことから、総括工程計画作成において費用要素の評価のシステム化に対する効果が大きいと思われる仮設材料費の運用費用算定の定式化と、費用最小化の方法を確立することが重要である。

2.2 仮設材料費算定の定式化 仮設材料は、搬入・使用・搬出をくり返すが、仮設材料の運用に関わる費用は運送費、使用料および整備費の3つでとらえることができる。ここで、使用料は仮設材料1単位・1日当り、整備費は返却仮設材料1単位当りで計算される。しかし運送費はトラツク種類、台数および運送



距離から計算され、仮設材料数量から直接算定できない。

(1) 運送費の定式化 運送費は運送量に対応したトラック車種の組み合わせによる最小費用である。定式化にあたり、トラック車種数を N 、トラック車種 i の

運送費を c_i 、制限数量を r_i 、運送量を x 、求めるトラック車種 i の台数を k_i とすると、(1)式のように定式化

でき、運送費 $g(x)$ は動的計画法で解くことができる。すなわち、 $g(x)$ はステップ関数となる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{Minimize } \sum_{i=1}^N C_i \times k_i \\ \text{Subject to } \sum_{i=1}^N r_i \times k_i \geq X \\ k_i: \text{非負の整数} \end{array} \right\} (i)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Minimize } \sum_{i=1}^T g(x_i) + \sum_{i=1}^T (g(y_i) + C \times y_i) + a \times \sum_{i=1}^T (x_i - y_i) \\ \text{Subject to } \sum_{i=1}^T x_i - \sum_{i=1}^T y_i \geq D_t, \sum_{i=1}^T x_i - \sum_{i=1}^T y_i = 0 \\ x_t, y_t: \text{非負の整数 } (t=1, 2, 3, \dots, T) \end{array} \right\} (ii)$$

(2) 仮設材料の運用費用算定の定式化 仮設材料の運用費用算定は、運送費、使用料および整備費の総和を最小化する搬入・搬出のスケジュールを求める問題といえられる。定式化にあたり、工期を T (日) に i 日目の必要数量を D_i 、使用料を a 円 (／単位・日)、整備費 b 円 (／単位)、求める i 日目の搬入量、搬出量を x_i と y_i と表わすと、(iii)式のように定式化できる。

(3) 解法 (ii)式において $g(x)$ はステップ関数であることから、まず、実行可能解を求め、次にその目的

関数の値を逐次改善していく方法をとることにする。実行可能解としては工程計画上必要数量が変動する日毎に(iii)式に表わされる搬入量・搬出量の解がある。

目的関数の改善解は、この実行可能解の値と、以下にしめす動かし方による解の値を比較し、順次運用費用を低減する解として求められ、改善解がなくなるまでくり返す。

$$\left. \begin{array}{l} x_i^* = \begin{cases} 0 & (D_i \leq D_{i-1}) \\ D_i - D_{i-1} & (D_i > D_{i-1}) \end{cases} \\ y_i^* = \begin{cases} 0 & (D_i \geq D_{i-1}) \\ D_{i-1} - D_i & (D_i < D_{i-1}) \end{cases} \end{array} \right\} (iii)$$

さて、解の動かし方には、表-1にしめす5つのパターンが考えられる。表中の変化量 ΔZ を見ると、

$\Delta Z < 0$ となる P_1, P_2 表-1 動かし方に関するパターン

パターンすなわち搬入出日を増加させる分割運送は不得策であることがわかり、その他のパターンで改善解を求めることになる。

パターン	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
概要	t_1 の搬入量 x_1 を分割し、 a 日を搬入量 0 の t_2 に搬入する	t_1 の搬出量 y_1 を分割し、 a 日を搬出量 0 の t_2 に搬出する	t_1 の搬出量 y_1 を a 日へ t_2 の搬入量 x_2 を分割し、 a 日を t_2 の搬入量 x_2 に加算する	t_1 の搬入量 x_1 を分割し、 a 日を t_2 の搬出量 y_2 に加算する	t_1 の搬入量 x_1 を分割し、 a 日を t_2 の搬出量 y_2 に加算する
動かし方モデル図					
使用料の増分 (ΔZ_1)	$a \times a \times (t_2 - t_1 + 1)$	$a \times a \times (t_2 - t_1 + 1)$	$a \times a \times (t_2 - t_1 + 1)$	$a \times a \times (t_2 - t_1 + 1)$	$a \times a \times (t_2 - t_1 + 1)$
目的関数の変化量 (ΔZ)	$g(x_1) - \{g(x_2) + g(t_2 - x_2)\}$	$g(y_1) - \{g(y_2) + g(t_2 - y_2)\}$	$g(y_1) + g(x_2) - g(t_2)$	$g(x_1) + g(y_2) - g(t_2)$	$g(x_1) + g(y_2) - g(t_2)$
	< 0	< 0	≥ 0	≥ 0	≥ 0

パターンの動かし方を順次適用して、 ΔZ を最大とするスケジュールを解として取り入れる方法をとる。

3. 計算事例 上述の解法により仮設材料毎に費用を算定し、それらを積み重ねることによつて総括工程計画における仮設材料の運用費用を算定しながら費用改善を図ることができる。ここでは地下鉄工事を例としてとり上げ、仮設材料を型枠支保工材としての鳥居型建枠 (1,219×1,930) における運用費用についてしめす。費用算定の前提として、使用予定は総括工程計

画作成の過程において表-2のように求められている

表-2 鳥居型建枠使用予定

日	個	日	個	日	個	日	個
368	305	445	499	588	588	588	540
383	631	448	505	1367	594	594	532
394	592	450	506	1165	615	615	262
404	916	477	525	523	623	623	
421	1254	479	527	810			
422	1248	489	554	804			
431	1250	497	584	810			
445		499	588				

また、トラック車種別運送費、制限数量も表-3にしめすとおりであり、使用料および整備費は建設物価 (581.2版) のものを用いた。これら条件のもとで本研究の方法による計算結果は、実行可能解では 1,492,619 円、求められた解では 1,286,003 円であり、運用費用が算定されると同時に費用改善がなされていることがわかる。なお、この計算は総括工程計画作成システムの中に組み込むことが必要であるので、小型コンピュータで行った。

表-3 トラック費用

トラック車種	運送費 (円)	制限数量 (個)	使用現場迄 10km 以内を想定
1	4100	55	
2	5830	110	
3	6950	135	
4	7910	160	
5	8920	175	
6	9900	190	

4. おわりに 本研究の方法は工程計画における費用面からの評価に対して有効であることがわかった。今後施工数量に対応する費用の評価システムに取り組み、より合理的な総括工程計画作成システムにしていくつもりである。

参考文献 1) 田坂, 折田, “小型コンピュータを利用した工程計画の作成方法について” 土木学会昭和 58 年度年講