

京都大学大学院 学生員 大石剛雄
 京都大学工学部 正員 吉川和広
 京都大学工学部 正員 山本幸司

1. はじめに。土木工事の複雑化、大規模化により従来のように個人的な経験や勘にのみ頼っているのは、多量の計画情報を効率よく処理し、望ましい日程計画案を作成することは困難となり、計算機を援用する日程計画モデルが必要とされる。また一方で熟練労働者の不足、機械賃・人件費の高騰により、これらを合理的に運用する日程計画が必要とされている。従来、日程計画モデルとしてはPERT/TIME, CPM, PERT/MANPOWER が良く知られている。

PERT/TIME は作業時間のみを考慮するもので、工事の時間の管理には有効であるが、機械人員の調達可能性及び投入資源の有効利用に関する考察がなされていないという問題点があった。またCPMは作業時間と作業費用との(区間)線形関係を入力情報とし、工期と工費との関係を分析するものであるが、資源制約を考慮していないという問題点があった。またPERT/MANPOWERは主として資源制約下で工期を最小とする日程計画案を作成するものであるが、作業の実行パターンとして1種類しか考慮していないため、代替案選択の範囲を狭くしていると考えられる。また入力情報としての資源制約が、作成される日程計画案に大きな影響を与えるにもかかわらず、これに関する分析、特に経済的な分析が不十分であった。筆者らは先に「資源制約下での投入資源の有効利用を目的とする日程計画モデル」を提案したが、これにおいても経済的な分析が不十分であった。そこで改めて投入資源の供用費低減化をexplicitに考慮した日程計画モデルを提案する。

2. 投入資源の供用費低減化を考慮した日程計画モデルの概要。本モデルは、ネットワークを構成する各作業の実行パターンとして数種の代替案(ARC)を考慮し、各作業のARCの組合せ(BSS)を変化させて日程計画案を作成し、工期-工費の関係を分析するものである。

<作業に関するデータ> 各作業はいくつかの実行パターン代替案(ARC)のいずれかによって実行される。したがって作業に関するデータは表1のように示される。各作業に対して、実行パターンを定めることにより、バイシクスケジュームセット(BSS)が定まる。(表2参照)

<工費の構成> CPMにおいては各作業の作業時間と作業

費用との関係をよ件として、工期-工費関係を分析していたが、本モデルでは、投入資源量と費用との関係(図1参照)をよ件とする。また日程計算の結果得られる山積量の急増(急減)に要する費用は、固定費用 $g_{ik}(h_{ik})$ と、増加量(減少量)に比例する費用(限界費用 $g_{2k}(h_{2k})$)とにより構成されるものとする。したがってd日目の資源k($k=1, \dots, p$)に関する費用は次式によって示される。

$$C_{kd} = g_{kd}(u_{mk} + g_{2k}x_{1k} - h_{2k}x_{2k}) + \sum_{i=1}^m (u_{ik} - u_{i+1,k})r_{ik} + g_{1k}x_{1k} + h_{1k}x_{2k} + g_{k,d-1}(h_{2k}x_{2k} - g_{2k}x_{1k}) \quad (1)$$

- ここに g_{kd} 資源kのd日目の山積量
- u_{ik} 資源kの区間iにおける限界費用
- r_{ik} 区間iの上界
- g_{1k} 資源kの山積量増加に関する固定費用
- g_{2k} 資源kの山積量増加に関する限界費用
- h_{1k} 資源kの山積量減少に関する固定費用
- h_{2k} 資源kの山積量減少に関する限界費用
- x_{1k}, x_{2k} 0-1変数で次式によって定まる。
- $x_{1k} = \begin{cases} 1 & \dots g_{kd} > g_{k,d-1} \text{ の場合} \\ 0 & \dots g_{kd} \leq g_{k,d-1} \text{ の場合} \end{cases}$
- $x_{2k} = \begin{cases} 1 & \dots g_{kd} < g_{k,d-1} \text{ の場合} \\ 0 & \dots g_{kd} \geq g_{k,d-1} \text{ の場合} \end{cases}$

<資源に関する重みづけ> 各作業のARCの費用を示す指標を与えるために、各資源の相対的重み(重要度)を示すp次元の重みベクトルを次式で定義する。

表1. 各作業に関するデータ列

作業番号 i	ARC j	資源必要量				作業時間 k=p+1
		k=1	k=2	...	k=p	
...
17	1	5	10	...	4	5
	2	4	15	...	3	4
	3	3	18	...	3	4
18	1	4	20	...	2	8
19	1	3	20	...	0	6
	2	3	10	...	2	4
...

表2. BSS例

作業番号	ARC
...	...
17	3
18	1
19	2
...	...
...	...

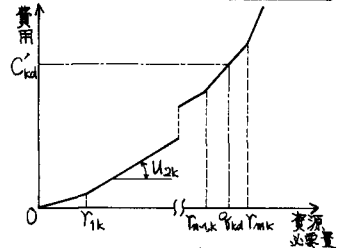


図1. 資源必要量と費用の関係

$$\mu_k = \frac{\text{資源 } k \text{ の最大限界費用}}{\sum_{k=1}^p (\text{資源 } k \text{ の最大限界費用})} = \frac{\sum_{i=1}^{MAX} U_{ik}}{\sum_{i=1}^{MAX} (\sum_{k=1}^p U_{ik})} \quad (2)$$

$$k=1, \dots, p \quad \sum_{k=1}^p \mu_k = 1$$

この重みバクトルにより作業 i , ARC j の重み W_{ij} は次式のように示される。

$$W_{ij} = \sum_{k=1}^p \mu_k * \text{SOURCE}(i, j, k) * \text{SOURCE}(i, j, p+1) \quad (3)$$

ここに SOURCE(i, j, k) 作業 i , ARC j の資源 k の必要量
SOURCE($i, j, p+1$) 作業 i , ARC j の作業時間

<作業の中断及びクリティカル作業の遅延> 作業の中断、及びクリティカル作業の遅延にはペナルティを課するものとし、後述する日々資源配分における実行作業の選択において考慮する。

3. 日程計画作成手順 本モデルによる日程計画作成の手順について以下に主要な点を述べる。(図2参照)

<初期計算> 各作業の作業時間を最小とするARCにより構成されるBSSに基づいて最小工期 λ_1 を求め、次に作業時間最大のBSSにより最大工期 λ_2 を求める。その結果、工期の範囲 $\bar{\lambda}$ は、 $\bar{\lambda} = \lambda_2 - \lambda_1$ となる。また前述した重みバクトル μ と各作業のARCの重み W_{ij} を求める。

<BSS> BSS空間は非常に大きくなるため、実行可能で合目的度の高い日程計画を得るために次のようなヒューリスティックな手順によってBSSの交換を検討する。①山積図の妥当性を考慮せず、作業時間最小のBSSにより日程計画を作成する。②工期を延伸することなしに工費を下げる試みをする。すなわちノンクリティカル作業に対して、クリティカルパスを延伸しない範囲で、最小の W_{ij} をもつARCに変換して得られたBSSにより日程計画を作成する。③最小 W_{ij} のBSSによって日程計画を作成する。

④あるBSSの各作業 i , ARC j から W_{ij} の増加(減少)が最小であるARC j' の置換を基本変換とし、②③のBSSに対して基本変換を(i)1つずつ実行する、(ii)累積的に実行する、(iii)基本変換の組合せについて実行することによって得られるBSSに基づいて、あらかじめ設定した限度(BSSの数、計算時間により限度を定める)まで日程計画を作成する。

<日々の資源配分> BSS設定後の日々の資源配分は、次式で示す関数 Δ の最小値を与える作業の組合せに対してなされる。 Δ 関数値は将来の資源配分量の平均値と d 日目の資源配分量の差の重みづけした二乗和に前述したペナルティを加えたものである。

$$\Delta = \sum_{k=1}^p \mu_k \left[\frac{W_{kd} - q_{kd}}{\lambda_d} \right]^2 + \phi_1 + \phi_2 \quad (4)$$

ここに W_{kd} 資源 k の残りの仕事量
 q_{kd} 資源 k の d 日目の配分量
 λ_d 残りの工期
 ϕ_1, ϕ_2 作業中断ペナルティ, クリティカル作業遅延ペナルティ

<工費計算> 日々の工費は式(1)によって算出され、さらに将来の工費下限値も、将来の理想的な山積み (W_{kd}) を仮定することによって計算できる。なお n 次元の工費バクトル C_n を、第 i 要素が工期 $\lambda = \lambda_1 + i - 1$ における最小工費を示すものと定義し、初期値として $C_2 = \infty$ とすれば、日々の工費計算時に工費下限値と、 C_n の対応する要素とを比較し、工費下限値が C_n の対応する要素より小さくないとき、計算中のBSSは捨てられるため、計算時間が節約される。

4. 結果及び考察 事例計算結果及び考察については譲渡時に発表する。

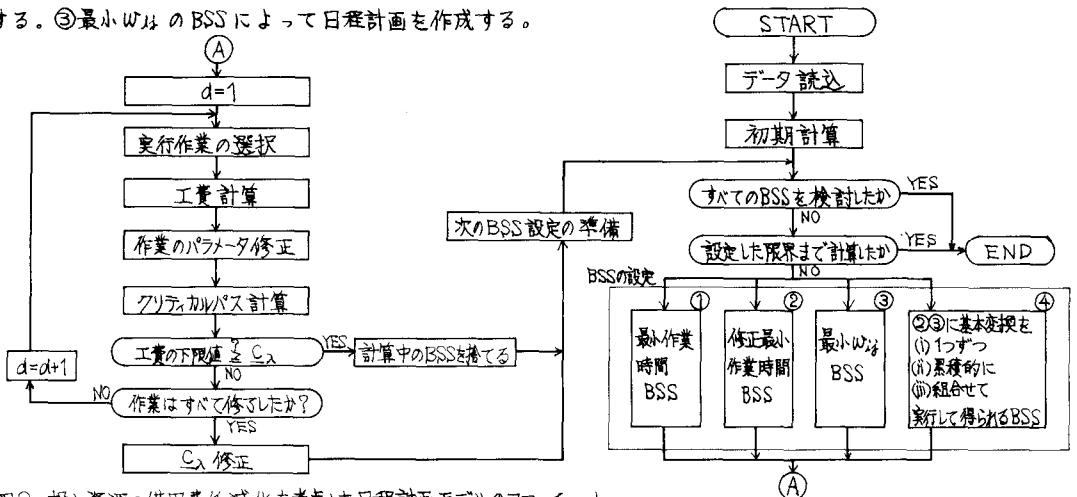


図2 投入資源の供用費低減化を考慮した日程計画モデルのフローチャート