施工機械の配分計画に関する一考察

京都大学工学部　正員　吉川和広
京都大学工学部　学生員　○春名　攻
藤田組　正員　河内正克

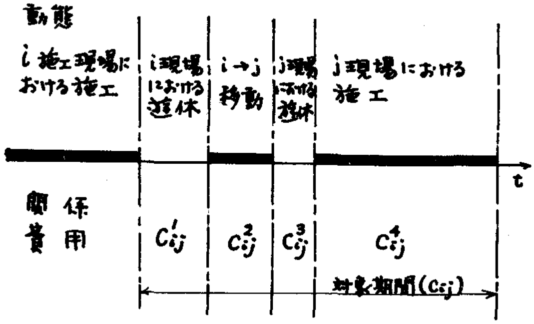
1、まえがき

近年、土木工事の近代化を目的とした施工計画の研究が行なわれ、かなりの程度に成果をあげている。たとえば、ネットワーク手法の導入によって、工程計画を中心とする施工計画システムが研究、開発され、実用化の段階に入っている。しかし、これらは個々の工事を対象とした施工計画であって、マクロな立場での施工計画はあまり研究されていない。施工計画をより合目的なものとするためには、管理下にあるすべての工事を対象とし、これらを合目的に総合化するための計画システムの開発が必要である。本研究においては、このようなマクロな立場に立った施工計画として、近年、ますます重要性の大きくなってきた施工機械の配分計画のためのモデル化を行なった。

2. 計画における評価値の設定

建設工事における施工機械の特性は主としてつぎの2点に述べられる。すなわち、(1)生産する場、すなわち、施工現場がかなり大きい距離をもって散在しており、従って、機械は現場間を移動しなければ複数の生産品を作ることができない。また、費用の面からは、この移動に要する費用はかなり大きく、機械が高価である。従って、耐用年数などを考慮にいれると、生産費用すなわち施工費に対して、機械、施設関係費用の占める割合はかなり大きいといえる。(2)建設工事においてよくみられる現象として、現場間の距離的なへだたりと、管理運営のまずさから、全くムダと思われるくらいの遊休が生じている。従って配分計画を策定する場合、管理、運営の面からつぎのような点に着目することが必要であるといえる。すなわち、(1)施工機械の移動は必然的であり、かつ移動に関する費用が大きいので、これを十分評価して配分計画を策定することが必要である。(2)遊休は費用の面から大きな損失であるから費用の評価には必らず遊休費用を含めることが必要である。

以上において、移動、遊休を計画モデルに導入することの必要性について述べたが、以下においては、費用の構成について述べる。図－1に、施工機械の動態と費用を示したが、配分計画モデルにおいては、i施工現場からj施工現場への移動に対する評価値として次式に示すような費用C_{ij}を用いる。



図－1

$$C_{ij} = C^1_{ij} + C^2_{ij} + C^3_{ij} + C^4_{ij}$$

さらに、図からあきらかなように、i現場とj現場間の期間が必要とされる移動時間を満たさない場合、移動は考えられないから、$C_{ij} = \infty$ とおくことが必要である。

3、配分計画モデルの策定

本モデルにおいては、同種の作業を行なうm台の機械に対して、施工現場を$(n>m)$とし、与えられた施工現場は必らず施工されるものとする。従って、1台の機械に複数の現場を割り当てることが必要となる。つぎに、モデルの策定にあたって、必要な記号を定義しておく。

X；施工現場の集合　$X=\{1,2,\cdots\cdots,i,\cdots j,\cdots n\}$

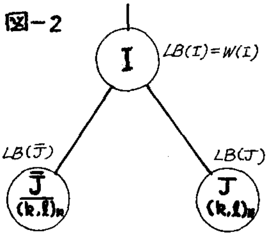
X_k；機械M_kに割当てられた施工現場の集合$(k=1,2,\cdots,m)$

$(i,j)_k$；機械M_kのi現場からj現場への移動

R_k；機械M_kの移動ルート　$R_k=\{(i,j)_k,(p,q)_k\cdots\cdots\}$

L_k；機械M_kの移動閉ループ　$L_k=\{(i_1 i_2),(i_2,i_3),\cdots(i_{s-1},i_s)(i_s,i_1)\}$

図-2

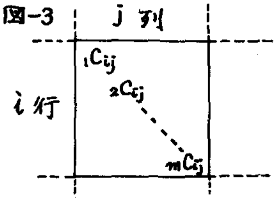


以上の定義を用いれば、遊休はつぎのいずれかで示される。

(1) $X_k=\phi$（空集合）, (2) $L_k=\phi$。また、1つの施工現場には、2台以上の機械の割当てがないということは、(1) $X_k\cap X_{k'}=\phi$

(2) $L_k\cap L_{k'}=\phi$ $(k\neq k')$ のいずれかで示される。従って、配分計画モデルは、目的関数 $C=\sum_{k=1}^{m}C_k(L_k)+\sum_{k=1}^{m}C_k^*(L_k)$ を最小とするような閉ループの集合$\{L_k;k=1,2,\cdots,m\}$を求める問題として示される。

図-3



ここで、各条件は、

(1) $L_k\cap L_{k'}=\phi$ $(k\neq k')$　(2) $C_k(L_k)=\begin{cases}\sum_{(i,j)_k\in L_k} {}_kC_{ij}, & L_k\neq\phi\\ 0, & L_k=\phi\end{cases}$　(3) $C_k^*(L_k)=\begin{cases}C_k^*(\text{遊休費}), & L_k=\phi\\ 0, & L_k\neq\phi\end{cases}$

4、解法

つぎに、ブランチバウンド手法を導入した解法について述べよう。$m=1$の場合には、上述のモデルはトラベリングセールスマン問題となり、D.C.Little等によって解法が導びかれているが、ここではmが一般の場合の解法について述べる。さて、本解法においては図-2のブランチ図を示すようにブランチ操作は、1つの移動に対して1台の機械を割当てることに相当する。また費用マトリックスの(i,j)要素を図-3のように与える。さらに、ブランチを始めるまでの操作としては、初期のコストマトリックスにおいて、各行、各列に少なくとも1つの0－係数が存在するようなマトリックスI_0を作るためにリダクションを行なっておく。ここで、リダクションの総和を$W(I)$とする。さて、ブランチを行なう対象となる要素(k,l)は次式によって決定する。

$$\theta(k,l)_k=\max_{(i,j),k}\theta(i,j)_k$$

ここで、$\theta(i,j)_k=\min\left[\left(\{{}_kC_{ij};k=1,2,\cdots m\}\text{を除く行}i\text{の最小係数値}\right)+\left(\{{}_kC_{ij}\}\text{を除く行}j\text{の最小係数値}\right),\ \min_{k'}\{{}_{k'}C_{ij};k'\neq k\}\right]$

さらに、下界値は次式によって与えることとする。

$$LB(J)=W(I)+\alpha(J),\qquad LB(\overline{J})=W(I)+\theta(k,l)_k$$

ここで、$\alpha(J)$は、Iからk行、l列を消したマトリックスにおいて、各行、各列に必らず0-係数をもつようにリダクションを行なった場合のリダクション値を表わしている。ブランチ・バウンド手法においては、各ブランチにおける最小の下界値を与えるブランチに注目し、そのブランチを対象として操作をくりかえしていく。この操作の結果、ある1つの実行可能解が得られたならば、この値を一時的な評価基準として、この基準値より小さな下限値に注目し、ブランチ操作をつづければ、最適解を得ることができる。さらに、くわしい計算手順および適用計算例については講演時に示すこととする。