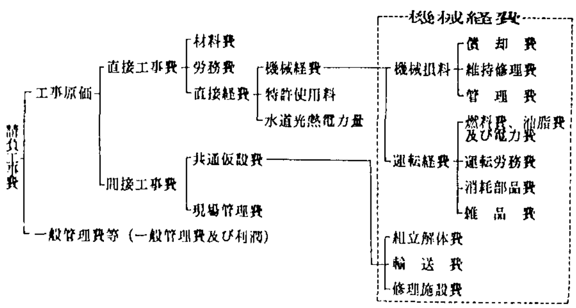
Ⅵ-57　ＣＰＭによる建設機械計画の策定

東北大学　正会員　湯　沢　　昭

１．はじめに

大型の重機や船舶を使用する宅造工事や港湾の防波堤工事等では、工事原価に占める機械経費の比率が高いため適切な建設機械計画が必要とされる。このような建設機械計画の立案は従来より経験によるところが大きく、一部では動的計画法やシミュレーションを適用した報告もある。図－１は、公共工事の機械経費の構成を表わしており、この中で材料費や労務費は一般的に工種や工事規模により決定され、工期にはあまり左右されないが、建設機械の投入台数は直接工期と関連し、またその費用も大きく変化する。本論文は、建設機械計画にＣＰＭの概念を導入し、与えられた工期において機械経費が最小となるような建設機械計画の策定を目的としている。



図－１　機械経費の構成

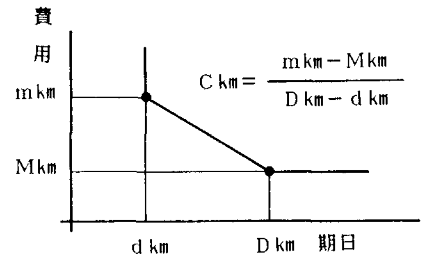
２．ＣＰＭの建設機械計画への適用

ＣＰＭは、各アクティビティに標準時間と特急時間を設定し、図－２に示すような費用勾配を想定し、与えられた工期における総費用最小となる計画を作成する。しかし、費用勾配が不連続な場合や各アクティビティ間で資源を共有する場合は、費用勾配の設定が困難であるためＣＰＭを直接適用することは出来ない。本研究では、ＣＰＭを建設機械計画に適用するために各アクティビティの費用勾配を以下の手順で求める。

① ＰＥＲＴにより資源（建設機械）の山積みを行い、各アクティビティのフロートを操作することにより、最大投入資源量の最小値を計算する。

② ①で求められた最大投入資源量の総費用を計算し、次にその費用を各アクティビティに配分し、費用勾配を求める。

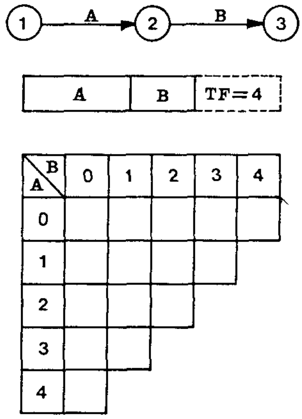
③ ②で求まった費用勾配を用いて、ＣＰＭを適用し工期の短縮を行う。



図－２　費用勾配

以上の操作を指定の工期になるまで、①から③を繰り返す。

この中でポイントとなるのが、①の山均し（工期を固定）である。山均しの方法には種々あるが、いづれの方法も共通しているのは各アクティビティのフロートを操作することにより、山積みの平滑化を計るものである。本研究では、次のような方法を採用した。今、図－３に示すような２つのアクティビティが直列に連結されており、トータルフロートが４日の場合、アクティビティの作業を中断しないものとすれば、フロートの挿入位置としては図－３の表に示すような組み合わせが考えられる。つまり、フロートの挿入位置としては、Ａ又はＢの前か、Ｂの後ろであり、この場合の組み合わせとしては全部で15通りある。これらの組み合わせを全てのアクティビティに関して実施することは実際的でないため、以下のような反復法にて山均しを行う。



図－３　フロートの考え方

①　最早スケジュールで山積みを行い、その時の式(1),(2),(3) の値を求める。

$$Y1 = \sum_i wi \cdot [\,\mathrm{MAX}\{Ri(d)\}\,] \longrightarrow \mathrm{Min} \cdots\cdots (1)$$

$$Y2 = \sum_i wi \cdot [\,\Sigma\{Ri(d)-\overline{Ri}\}^2\,] \longrightarrow \mathrm{Min} \cdots\cdots (2)$$

$$Y3 = \sum_i wi \cdot [\,\Sigma(d_0-d)^2 \cdot Ri(d)\,] \longrightarrow \mathrm{Min} \cdots\cdots (3)$$

Y1　：投入資源の最大量
Y2　：　〃　平滑度
Y3　：　〃　集中度
wi　：資源(i) の重み
Ri(d)：資源(i) のｄ日目の投入量
$\overline{Ri}$　：資源(i) の平均投入量
d_0　：基準日

②　フロートの小さい順にそのアクティビテイの前にフロートを逐次挿入し、その時の式(1),(2),(3) の値を計算し、式の値が改善された場合は、それを記憶しておく。

③　②の操作を全てのアクティビテイ（クリティカルパスは除く）に対し行い、式(1),(2),(3) の値が改善されなくなるまで繰り返す。ここで式(1) の結果は、最大投入資源の最小化を意味しており、式(2) は投入資源の平滑化を、式(3) は集中化を表現している。山均しの計算結果の一例を図－４に示す。

費用勾配は、資源(i) の総費用（機械経費）を各アクティビテイの最大投入量に比例させ配分する。従って、アクティビテイ(j) の費用勾配は、複数の資源の費用勾配の和として計算される。

$$Cij = \frac{Rij}{\sum_j Rij} \cdot \mathrm{MAX}\{Ri(d)\} \cdot Ci \,/\, tj \cdots\cdots (4)$$

Cij：資源(i) ｱｸﾃｨﾋﾞﾃｨ(j) の費用勾配
Rij：資源(i) ｱｸﾃｨﾋﾞﾃｨ(j) の最大投入資源量
MAX{Ri(d)}：資源(i) の最大投入資源量
Ci：資源(i) の単位費用
tj：ｱｸﾃｨﾋﾞﾃｨ(j) の実行時間

最後に式(4) で求まった各アクティビテイの費用勾配を用いて工期の短縮を行う。方法としては、工事の工期（λ）をパラメータとするＬＰ問題として定式化される（式(5)）。

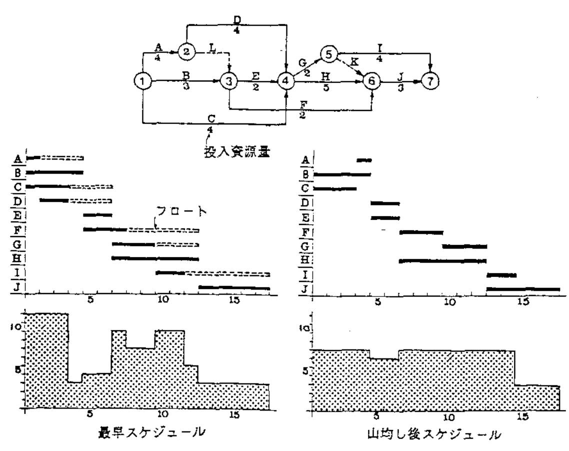
$$P = \sum_i \sum_j Cij \longrightarrow \mathrm{Min} \cdots\cdots (5)$$

Sub to

$$0 \leqq d_{km} \leqq t_{km} \leqq D_{km} < \infty$$
$$t_0 = 0$$
$$t_{km} + t_k - t_m \leqq 0$$
$$t_n = \lambda$$

dkm：ｱｸﾃｨﾋﾞﾃｨ (k, m)の特急時間
Dkm：　〃　(k, m)の標準時間
tkm：　〃　(k, m)の実行時間
λ：工期

式(5) はパラメトリック・プログラミングであり、その解法としてはプライマル・デュアル法を適用し、最適スケジュールを求める。この場合、式(4) で求められた費用勾配は単位時間毎に非線形的変化をするため、式(5) の工期（λ）を単位時間ずつ減少させながら目的とする工期になるまで以上の手順を繰り返すものとする。それにより費用勾配が負の場合でも計算が可能となる。



図－４　山均しの例

３．まとめ

本手法は、ＰＥＲＴ記述可能な工事に対しては適用可能であり、特に機械経費の占める割合いの高い工事には有効であると思われる。

なお計算結果等に関しては、当日発表する予定である。