

ヒューリスティック・アプローチによる建設機械投入台数の決定

A HEURISTIC APPROACH OF RESOURCE ALLOCATION
FOR CONSTRUCTION SCHEDULING

湯沢 昭*・須田 熙**

By Akira YUZAWA and Hiroshi SUDA

In this paper, we discuss the resource allocation for the construction scheduling, i. e. we decide the number of the resources and the scheduling each activities with the cost to minimize by the heuristic approach. The heuristic approach repeat to calculate till objective completion date, which is scheduling problem by PERT and date reduction problem by CPM.

In this case, we consider the cost which is to carry in onsite and to carry out from onsite of all the resources. We applied the heuristic approach to the caisson type breakwater construction scheduling, and obtained satisfactory results.

Keywords: resource allocation, PERT, CPM

1. 序 論

建設工事の大規模化、複雑化に伴い施工計画・管理の合理化、システム化が大きな問題となっている。これらの問題に対応するため建設業界では施工計画から現場管理に至る一連の作業のシステム化が進んでおり、また作業現場においてもミニコン、マイコン等の普及によりさらにこの傾向は進むものと考えられる。

施工計画・管理に関する限り、システム化の内容は大きく2つの系統に分類される。1つは、ネットワーク系を中心とするものと、もう1つは、工種対応型のシステムである。前者は、PERTを始めとする各種のネットワーク手法が開発され、建設工事の施工計画から現場管理の一連の流れの中で使用されており、その利用頻度はハードウェアの進展（高性能化、価格の低廉化）とともに増加し、かつその内容も従来の進捗管理だけでなく、原価管理等、複合の機能へと拡張されるものと思われる（現実に複数のソフトが開発・運用されている）。後者に関しては、ダムのリフトスケジュールや運土計画等、その工種の特性に応じてシステムが各社で開発・運用さ

れている。工種対応型のシステムは、工種の特性に応じてシステムを構成しているため、その工種に関しては適切な計画・管理を実施することができるが、汎用性という面からは問題がある。それに比較してネットワーク系のシステムの利点は、その汎用性と論理性にある。しかし、PERTを中心とするネットワーク系のシステムにおいても、作業間の順序関係を一義的に決定する必要があり、自由度に欠けているという問題がある。また論理性も組み上げられたネットワークに対してであり、ネットワーク作成自体に関する検討は不十分な場合が多い。

本論文の目的である建設機械計画は、特に工種を限定していないため、ネットワーク系を基本として設計されている。つまりヒューリスティック・アプローチによりPERTによるスケジューリング問題とCPMによる日程短縮問題を費用最小化の条件のもとで目標工期になるまで逐次繰り返し計算を行うものであるため、各段階における情報をもとに、計画者は適切な工期の決定やそのときの機械計画を作成することが可能である。またそのためのシステムも容易に構成することができる。

2. 建設機械計画の従来研究と本研究の目的

建設機械計画に関する研究としては、多段決定過程を

* 正会員 工博 東北大学助手 工学部土木工学科
(〒980 仙台市荒巻字青葉)

** 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科 (同上)

デルによる荒井の研究^{1),2)}や資源問題としての吉川・山本の研究³⁾、さらには組合せ最適化問題としての石堂の研究⁴⁾等がある。荒井は、最適制御理論により多段決定過程モデルを利用した工程計画管理最適化問題の定式化を行い、建設機械の投入量、費用等を考慮しながら、全体費用を最小とするような施工段取の選定を行っている。またこのシステムはSOT (Scheduling Optimization Technique) と称され、実際の機械計画に運用されているとの報告もある。このシステムの問題は、機械工程計画の結果として、本来整数解であるべき日々の投入台数が実数値(たとえば0.1台とか1.4台)で計算されるところにあるが、機械計画の最適化問題としては評価される研究である。吉川・山本や石堂の研究は、ネットワークに基づき、投入資源(機械、資源、労力)の効率的利用と工期の短縮を目的としているが、費用に関する検討が間接的にしか行われていない。

本研究では、ヒューリスティック・アプローチによりPERTによるスケジューリング問題、反復法による山均し、各アクティビティの費用勾配の決定、およびCPMによる日程短縮問題を交互に繰り返しながら、投入資源(機械・労務等)の費用の最小化の方向を目指して解(計画)の改善を計るような建設機械計画と工程計画を策定する。特に投入資源の中でも工事原価の中で大きな部分を占める機械経費に着目し、機械の投入台数と工期との関係を費用最小化問題として定式化し、逐次繰り返し計算を行うことにより、任意の工期における建設機械計画と各アクティビティのスケジュール(工程表)の作成を行う。以下、本論文で使用する語句について説明すると、

① 資源とは、特にことわらない限り、個々の建設機械を意味する。

② 作業グループとは、1つのアクティビティを実行するために必要な資源の組合せをいう。

③ 山均しとは、工期の変更なしに各アクティビティのフロートを操作することにより得られる資源の平滑化作業のことである。

3. ヒューリスティック・アプローチによる建設機械計画の決定

ネットワークを作成し、PERTの計算を行うには、各アクティビティに資源を配分し、各アクティビティの実行時間を固定する必要がある。これによりこの段階においても資源の配分問題が発生し、本研究の目的である費用最小化問題とはならない。しかし各アクティビティに資源を配分しなければ、PERTの計算は不可能であるため、本論文では、始めに各アクティビティに1単位の作業グループを割り当て、実行時間の計算を行い、そ

のときの投入資源量を後述する山均しにより求め、費用を算出する方法を採用した。したがって、この場合の全体工期は最大となり、またこれが費用最小であることは明らかである。次に求められた費用をある基準に従い、各アクティビティに配分し費用勾配を決定、その結果に対してCPMを適用し工期の短縮を行う。

この場合、各アクティビティで使用する資源が独立であるならば(すべてのアクティビティで異なる資源を使用する場合)、アクティビティ別に費用-実行時間曲線を作成することにより(図-1)、CPMを直接適用し最適な資源計画を作成することが可能である。しかし一般的には、各アクティビティ間で資源を共有(同じ資源を複数のアクティビティで使用)するため、費用勾配の計算が直接行えず、したがってCPMの適用も不可能となる。本研究では、CPMを建設機械計画に適用するために費用勾配を以下の手順で求める(図-2参照)。

① PERTにより資源の山積みを行い、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(山均しのステップ)。

② ①で求められた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

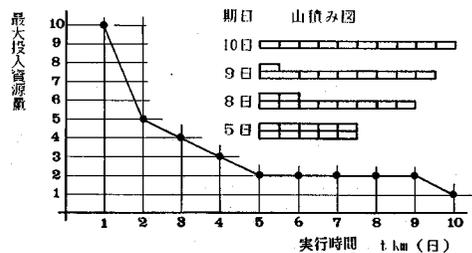


図-1 投入資源量と実行時間との関係

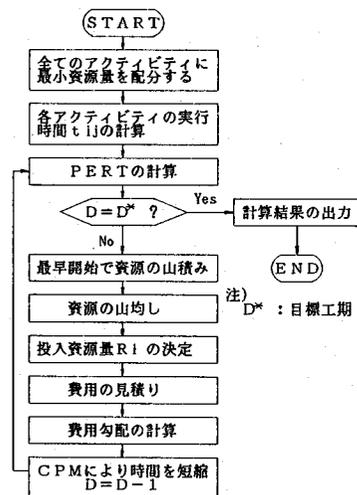


図-2 建設機械計画のシステムフロー

める（費用勾配のステップ）。

③ ②で求めた費用勾配を用いて、CPM を適用し工期の短縮を行う（工期短縮のステップ）。

以上の操作を前述した最大工期の状態から、単位時間ずつ減少させ指定の工期になるまで①から③を繰り返す。このフローからも明らかなように、単位資源量の新たな投入による工期の短縮を求めるのではなく、単位工期を短縮することにより生じる新たな資源の増加を計算し（各アクティビティの延べ資源投入量は一定）、そのときの増加費用を各アクティビティに配分するという繰り返しを行うため、任意の工期において費用最小となる。したがって、計画者は工期と費用との関係（一般的には工期の短縮に伴い、費用は増加する）を検討しながら適切な工期を設定することが可能である。

(1) 反復法による山均し

山均しの方法は、大きく2つの種類に分類することができる。1つは、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図るものであり、もう1つは、クリティカルパス上の作業に関して投入資源量を3種類想定³⁾し（最大投入可能資源量、標準資源量、着手可能資源量）、資源制約の余裕を考慮しながら3種類の投入資源量を操作するものである。本論文では前述したように各アクティビティの実行時間を先決し、それを可能とするように資源の投入量を決定するため、1番目のフロート操作の方法を採用した。

いま、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るれば、フロートの挿入位置としては図-3の表に示すような組合せが考えられる。つまり、フロートの挿入位置としては、AまたはBの前か、Bの後ろであり、この場合の組合せは全部で15通りある。これらの組合せをすべてのアクティビティに関して実施するのは実際的でないため、以下に示す反復法にて山均しを行う（図-4参照）。

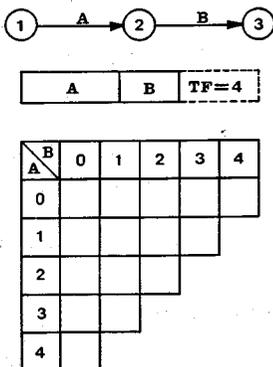


図-3 フロートの挿入位置と組合せ

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

$$Y_1 = \sum_i W_i \cdot [\text{Max} \{R_i(d)\}] \longrightarrow \text{Min} \dots (1)$$

$$Y_2 = \sum_i W_i \cdot [\sum_d \{R_i(d) - \bar{R}_i\}^2] \longrightarrow \text{Min} \dots (2)$$

$$Y_3 = \sum_i W_i \cdot [\sum_d (d_0 - d)^2 \cdot R_i(d)] \longrightarrow \text{Min} \dots (3)$$

Y_1 : 投入資源の最大量

Y_2 : 投入資源の平滑度

Y_3 : 投入資源の集中度

W_i : 資源 i の重み

$R_i(d)$: 資源 i の d 日目の投入量

\bar{R}_i : 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ィの前にフロートを逐次挿入し、そのときの式(1), (2), (3)の値を計算し、式の値が改善された場合は (Y_1 , Y_2 , Y_3 の値が、いずれも前の状態と同じか、または小さくなった場合)、その状態を記憶しておく。

③ ②の操作をすべてのアクティビティに対して行い、式(1), (2), (3)の値が改善されなくなるまで繰り返す。

図-5は、式(1), (2), (3)を図化したものであり、式(1)の結果は、最大投入資源量の最小化を意味し、式(2)は、投入資源の平滑度を、式(3)は、集中度を表わしている。この場合、費用に最も大きな影響

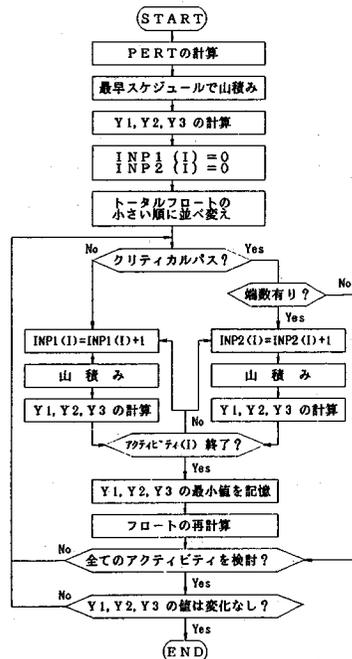


図-4 山均しのシステムフロー

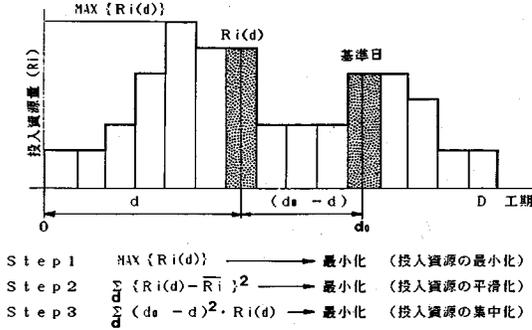


図-5 資源の山積み図と式 (1), (2), (3) との関係

を与えるのは Y_1 の値、つまり最大投入資源量であるため、最初に Y_1 の値を計算し、 Y_1 の値がその前の値より大きくなった場合は、 Y_2 、 Y_3 の値を求める必要はなく、本論文では、 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 の順に優先順位を設定した。

しかし、各アクティビティで1種類の資源しか使用しない場合には、上記の山均しの操作により解の改善を図ることが可能であるが、一般的には各アクティビティで複数の資源を使用するため、ある資源のみの山均しを行うと、他の資源の山積み状態も変化する。したがって、資源全体の山均しを同時に行う必要がある。本論文では、式 (1), (2), (3) に示したように、資源 i の重み W_i を設定することにより、その問題点を解決している。たとえば、 W_i を資源 i の搬出入費用とすれば、式 (1) は全資源の総搬出入費用最小化を目指した山均しを意味することになる。しかし、以上の操作からも明らかなように、本論文で使用している反復法では必ずしも Y_1 、 Y_2 、 Y_3 の最小値を補償しておらず、この点がヒューリスティック・アプローチの理由となっている。

次に各アクティビティのフロートを操作し山均しを行う場合、図-4からも明らかなように各アクティビティはフロートのあるものと、クリティカルパスを構成しているものとに分けられる。この場合、いずれのアクティビティとも作業の中断はないものと考えているため、フロートのあるアクティビティに関しては、そのフロートを図-6 (a) に示すように、各アクティビティの前に逐

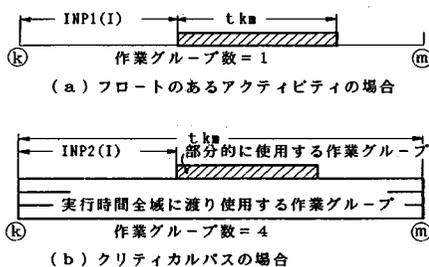


図-6 アクティビティの資源の使用状況

次挿入しながら、そのときの式 (1), (2), (3) の値を求め、山均しの操作を行う。この場合、前述したように各アクティビティに1単位の作業グループを与えた状態を初期値としているため、いずれの状態でもフロートのあるアクティビティの投入作業グループ数は、必ず1単位となる。次にクリティカルパスを構成しているアクティビティの資源の使用状況は、図-6 (b) のようになる。つまり実行時間全域 (t_{km}) にわたり使用する部分と、その時間内で一時使用する部分に分けることができる。この場合、山均しに影響を与えるのは一時使用する部分のみであるため、その部分についてのみ上記と同様の山均しの操作を行う。

単一資源の場合の山均しの計算結果の一例を図-7 に示す。

(2) 機械経費の構成と費用勾配

図-8 は、請負工事費における建設機械経費の内訳⁵⁾を表わしており、大きくは機械損料、運転経費および共通仮設費のうちの組立解体費、輸送費および修理施設費から構成されている。工事費のうち、材料費や労務費は工種や工事規模により決定され、全体工期にはあまり影響しないが、資源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。特に大型の船舶や重機を使用する港湾の防波堤工事や宅造工事では、工事原価に占

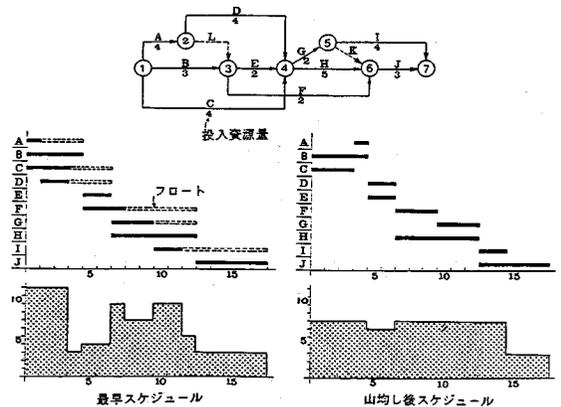


図-7 山均しの例

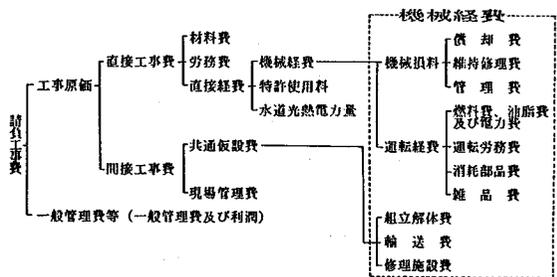


図-8 機械経費の内訳

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なる。

図-8の機械経費をその状態により分類すると、大きく3つに分けられる。1つは、資源の搬入・搬出に伴う費用(組立解体費、輸送費)であり、2つ目は、現場に存置することにより生じる費用(供用償却費、修理施設費)、最後は稼動時間に比例する費用(運転償却費、運転経費)である。

以上の結果、資源*i*の総費用は式(4)のようになる。

$$\text{資源 } i \text{ の費用} = \text{投入資源量} \times \text{搬出入費用} + \text{投入資源量} \times (\text{供用費用} + \text{稼動費用}) \dots (4)$$

いま、ある制限内で投入資源量とアクティビティの実行時間の間に反比例関係(投入資源量×実行時間=一定)があるとすれば、式(4)の右辺第2項は全体の工期に関係なくほぼ一定となる。したがって、式(4)の費用最小化問題は右辺第1項を最小化することと同じになる。したがって本論文では、資源の搬入・搬出費用に着目し(以下、費用とは特にことわらない限り搬入・搬出費用を意味する)、与えられた工期においてその費用が最小となる資源計画を策定することを目的とする。

費用勾配は、資源*i*の費用を各アクティビティの最大投入量に比例させ配分する(図-9参照)。したがって、アクティビティ*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。

$$C_{ij} = T_{ij} / t_j \dots (5)$$

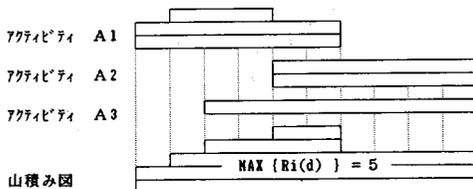
$$T_{ij} = \frac{R_{ij}}{\sum_j R_{ij}} \cdot \text{Max}\{R_i(d)\} \cdot C_i$$

C_{ij} : 資源*i*, アクティビティ*j*の費用勾配

T_{ij} : 資源*i*, アクティビティ*j*の配分費用

R_{ij} : 資源*i*, アクティビティ*j*の最大投入資源量

$\text{Max}\{R_i(d)\}$: 資源*i*の最大投入資源量



アクティビティ別資源の使用状況及び山積み図

アクティビティ A _i	最大投入資源量 R _{ij}	配分費用 T _{ij}	実行時間 t _j	費用勾配 C _{ij}
A1	3	250万円	6日	42万円/日
A2	2	167万円	6日	28万円/日
A3	1	83万円	8日	10万円/日
Σ R _{ij}	6			

山均し後の最大投入資源量 $\text{Max}\{R_i(d)\} = 5$ であり、資源の単位費用 $C_i = 100$ 万円とすると $\text{Max}\{R_i(d)\} \times C_i = 500$ 万円となる

図-9 費用勾配の計算例

C_i : 資源*i*の単位費用

t_j : アクティビティ*j*の実行時間

(3) CPMによる工期の短縮

式(5)で求めた、各アクティビティの費用勾配を用いて工期の短縮を行う。方法としては、工事の工期をパラメーターとするLP問題として定式化される(式(6))。

$$P = \sum_i \sum_j C_{ij} \longrightarrow \text{Min} \dots (6)$$

Sub to

$$0 < d_{km} \leq t_{km} \leq D_{km} < \infty$$

$$t_0 = 0$$

$$t_{km} + t_k - t_m \leq 0$$

$$t_n = D$$

d_{km} : アクティビティ(*k*, *m*)の特急時間

D_{km} : 〃の最大実行時間

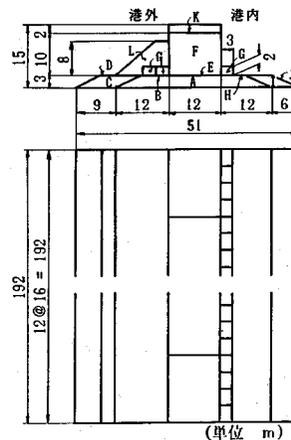
t_{km} : 〃の実行時間

D : 工期

式(6)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⁶⁾を適用し、時間の短縮を行う。この場合、式(5)で求められた費用勾配は単位時間ごとに不連続的に変化するため、式(6)の工期(D)を単位時間だけ減少させる(図-2参照)。式(6)の制約条件式の中の特急時間(d_{km})は、(作業グループ数×実行時間=一定)の範囲内での最小実行時間を表わしており、最大実行時間(D_{km})は、各アクティビティに1単位の作業グループ数を投入したときの実行時間を意味している。

4. 防波堤工事の建設機械計画

港湾の外郭施設である防波堤工事は、各種の機械、施設、作業船を活用し、場合によっては施工現場が海陸にまたがるなど、各種の工種が有機的に組み合わさった形



記号	工種名
A	基礎捨石
B	基礎荒均し(港外)
C	被覆捨石(港外)
D	被覆均し(港外)
E	基礎本均し
F	ケーソン据付
G	根固方塊据付
H	基礎荒均し(港内)
I	被覆捨石(港内)
J	被覆均し(港内)
K	上部コンクリート
L	消波工

図-10 ケーソン式防波堤工事の概略

で実施されることが多い。また、工事原価に占める機械経費の比率が高いため、適切な施工計画・管理が要求される。

本章では、ケーソン式防波堤工事を例に機械計画の検討を行う。図-10は、計算に用いた工事の全体図を表明しており、全幅が51m、総延長が192mである。通常防波堤工事は、港外側から施工され、最後に港内側の工事を行う場合が多いため（作業の安全性と手戻り工事

の防止）、全体を大きく12の工種に分割、またネットワークを作成するために工事の延長方向に対し、各工種を2から6つのブロックに分割した。

その結果、図-11に示すようなネットワーク図が得られた（ノード数が69個、総リンク数が95で、うちダミーリンク数が54）。表-1は、ダミーリンクを除くリンク別の総作業量、作業グループ単位時間当たりの標準作業量、および資源の組合せ（作業グループ）を表明し

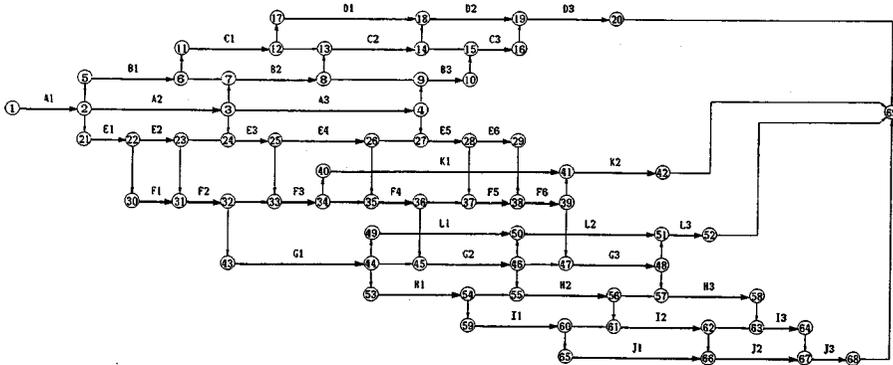


図-11 ネットワーク図

表-1 アクティビティ別データ

記号	ノットNo	総作業量	標準作業量	作業グループ					適要	
				R1	R2	R3	R4	R5		
A1	1	2	7200 m ³	400	1	1	0	0	0	基礎捨石
A2	2	3	7200 m ³	400	1	1	0	0	0	
A3	3	4	7200 m ³	400	1	1	0	0	0	
B1	5	6	429 m ²	36	0	1	0	0	0	基礎荒均し(港外側)
B2	7	8	429 m ²	36	0	1	0	0	0	
B3	9	10	429 m ²	36	0	1	0	0	0	
C1	11	12	2160 m ³	400	1	1	0	0	0	被覆捨石(港外側)
C2	13	14	2160 m ³	400	1	1	0	0	0	
C3	15	16	2160 m ³	400	1	1	0	0	0	
D1	17	18	1005 m ²	36	0	1	0	0	0	被覆均し(港外側)
D2	18	19	1005 m ²	36	0	1	0	0	0	
D3	19	20	1005 m ²	36	0	1	0	0	0	
E1	21	22	672 m ²	24	0	1	0	0	0	基礎本均し
E2	22	23	672 m ²	24	0	1	0	0	0	
E3	24	25	672 m ²	24	0	1	0	0	0	
E4	25	26	672 m ²	24	0	1	0	0	0	
E5	27	28	672 m ²	24	0	1	0	0	0	
E6	28	29	672 m ²	24	0	1	0	0	0	
F1	30	31	2	1	0	0	1	1	1	ケーソン据付
F2	31	32	2	1	0	0	1	1	1	
F3	33	34	2	1	0	0	1	1	1	
F4	35	36	2	1	0	0	1	1	1	
F5	37	38	2	1	0	0	1	1	1	
F6	38	39	2	1	0	0	1	1	1	
G1	43	44	48個	6	0	1	0	0	1	根固方魂据付
G2	45	46	48個	6	0	1	0	0	1	
G3	47	48	48個	6	0	1	0	0	1	
H1	53	54	621 m ²	36	0	1	0	0	0	基礎荒均し(港内側)
H2	55	56	621 m ²	36	0	1	0	0	0	
H3	57	58	621 m ²	36	0	1	0	0	0	
I1	59	60	1440 m ³	400	1	1	0	0	0	被覆捨石(港内側)
I2	61	62	1440 m ³	400	1	1	0	0	0	
I3	63	64	1440 m ³	400	1	1	0	0	0	
J1	65	66	813 m ²	36	0	1	0	0	0	被覆均し(港内側)
J2	66	67	813 m ²	36	0	1	0	0	0	
J3	67	68	813 m ²	36	0	1	0	0	0	
K1	40	41	2304 m ³	768	0	0	1	1	0	上部コン
K2	41	42	2304 m ³	768	0	0	1	1	0	
L1	49	50	384個	35	0	0	0	0	1	消波工
L2	50	51	384個	35	0	0	0	0	1	
L3	51	52	384個	35	0	0	0	0	1	

表-2 資源別の規格と費用内訳 (単位：千円)

記号	機械名	規格	供用損料	運転経費	労務費	主燃料	雑費	合計
R1	自航運搬船	D1300PS, 499CT	108	139	63	45	9	384
R2	自航潜水士船	D30PS, 4.9CT	4	6	26	1	1	38
R3	自航引船	D1000PS, 120CT	62	86	63	35	7	253
R4	非航コンクリートミキサー船	DE470PS, 450型	189	283	20	16	3	511
R5	自航起重機船	D550PS, 50t旋回	112	162	45	19	4	342

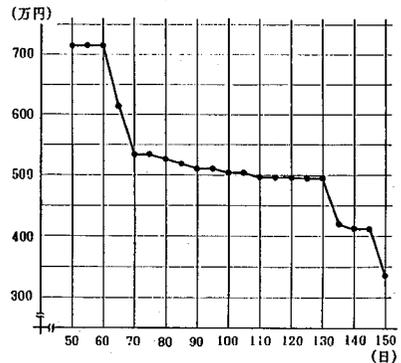


図-12 工期と費用の関係

表-3 主要工期の資源別最大投入量

期	工期	資源				
		R1	R2	R3	R4	R5
工	150日	1	5	1	1	1
	145日	2	5	1	1	1
	130日	2	7	1	1	2
	100日	2	8	1	1	2
	70日	2	12	1	1	2
	65日	2	14	1	1	3
60日	3	17	1	1	3	

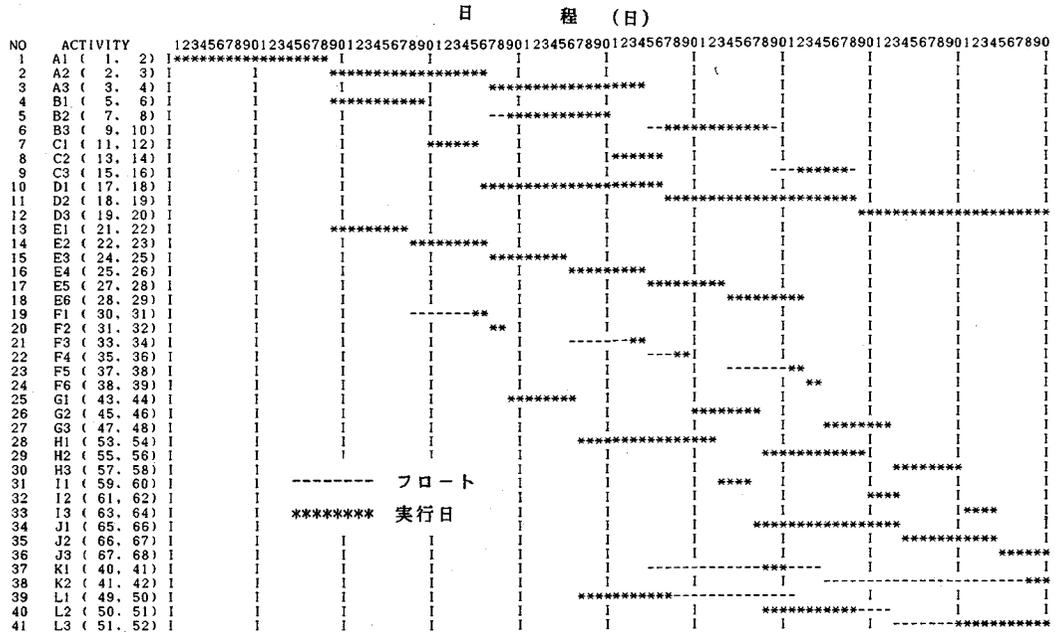


図-13 アクティビティ別工程表 (工期 100 日)

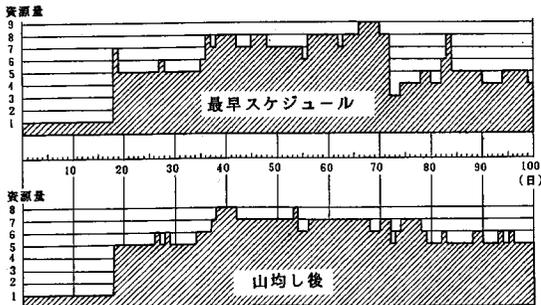


図-14 自航潜水土船 (R2) 山積み図

ている。またこの場合の資源としては、5種類 (表-2 参照) 考慮した。表-2は、資源別の規格と回航費用を表わしている。ただし、各費用とも回航時間を8時間として積算した。したがって、本章で考慮する費用としては、表-2に示す金額の2倍となる。

以上のデータをもとに、建設機械経費と全体工期との関係を計算すると、図-12のようになる。図-12は、最大工期150日から工期50日までの5日単位の費用をプロットしたものであり、また表-3はそのときの主要工期における資源別の最大投入量を表わしている。図-12からも明らかなように、工期と費用との関係は直線的ではなく、かつある工期になると費用が急激に増加する。これは工期が短縮されるに伴い、資源の投入が離散的に増加するためである。

図-13は、工期が100日の場合の工程表の出力結果

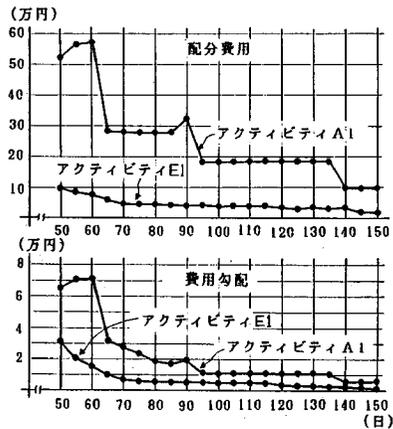


図-15 工種 (A1, E1) の配分費用および費用勾配

を、また図-14はそのときの資源R2 (自航潜水土船) の最早スケジュールでの山積み図と、山均し後の山積み図を表わしている。図-14から山均し前の最大投入資源量は9隻であったが、山均し後は8隻に減少し、また山積みの凹凸もかなり平滑化されていることがわかる。

図-15は、アクティビティA1 (基礎捨石) とE1 (基礎本均し) の配分費用 (図-9参照) と費用勾配 (式(5)参照) を図示したものである。アクティビティA1は、資源としてR1 (自航運搬船) とR2 (自航潜水土船) を使用し (表-1参照)、アクティビティE1は、R2のみであるため、その配分費用は (A1) の方が大きい。

またこれらの費用は、工期の短縮に伴い単純に増加するのではなく、その傾向は直線的ではないことがわかる。

以上、本研究で提案した建設機械計画策定手法の応用について述べた。計画者は、これらの結果に基づいて適切な工期の設定やその場合の建設機械の搬入台数およびその時期等に関する意思決定を行うことが可能である。

5. 結 語

建設工事は、現地生産という特殊性から自然の影響や計画段階では予測できなかった要因等により、絶えず状況が変化するため、的確かつ将来を見通した対応が必要とされる。そのためには、日々発生する膨大な情報を的確に入手し、その情報を科学的に分析・検討することにより始めて、次への対応が可能となる。

今、建設業界を取り巻く環境は厳しく、国際化・情報化の渦の中で従来から行われてきた経験とカンによる施工計画・管理だけでは、生産性の向上は望むべくもない。しかし、いかに科学技術が発達しても最終的な意思決定は人間によるしかなく、そのために必要なのは、タイムリーかつ科学的な情報である。

施工計画・管理の中でも、工程計画と原価管理が大きな議論の1つになっている。つまり工程と原価は、その切り口が異なるだけで本来同時に評価すべきものであり、そのためにはそれらを統一したシステムの開発が必要であるということである。方法論的には、PERT/CostやWBS (Work Breakdown Structure) の展開等⁷⁾が開発されている。しかし、原価の中でも材料費等は、工程の単位であるアクティビティと一対一に対応可能であるが、本研究の対象である建設機械経費のように複数のアクティビティ間でその資源を使用する場合は、必ずしも一対一に対応は容易ではない。したがって、工程と原価の統一を図る場合は、各アクティビティ単位に対応可能な原価と、工事全体で考慮すべき原価項目に分けて考える必要がある。前者に関しては、WBSの手法が有効であると思われる。後者については、本論文の費用勾配の中でも述べたように、ある基準に従い各アクティビティに配分する方法も考えられる。それによって工期の短縮による工事費の変化等、工程と原価の関連を検討することが可能となる。本研究で得られた主な結論は以下のとおりである。

(1) 建設機械計画の最適化のためのシステムを作成することができた。

(2) システムの内容は、PERTによるスケジューリング問題とCPMによる時間短縮問題との繰り返しであるため、容易にシステム化が可能である。

(3) 機械経費の費用を計算する場合の最大投入資源

量を算出する山均しの方法を提案した。これは反復法により解を逐次改善するものであるため、どの段階で作業を中断しても解の改善が図れる。

(4) 山均しの目的関数である式(1)、(2)、(3)の順番を入れ替えることにより、たとえばある資源の稼働日程を基準日付近に集中させることも可能である(その場合は、式(3)を最優先させる)。

(5) 式(1)、(2)、(3)の W_i (資源の重み)を各資源の費用とすることにより、全体の資源の山均しを費用という側面からその最小値を求めることが可能である。

(6) 計画者は、出力された工期と費用との関連を検討しながら、適切な判断を行うことができる。

(7) また実際の工事に本システムを適用することにより、その実用性が確かめられた。

(8) 費用を各アクティビティに配分することにより、工程と原価の結合の可能性を示した。

(9) したがって、アクティビティと一対一に対応する材料費等の原価と本研究で示した各アクティビティへの配分費用の合計を行うことにより、統合的な施工管理を行うことが可能となる。

本研究を遂行するにあたり、貴重なご意見をいただきました土木学会建設マネジメント委員会計画・管理技法小委員会の平田義則委員長(鹿島建設)をはじめ、各委員に対し深甚な謝意を表わす。

参 考 文 献

- 1) 庄子・荒井：共役こう配法による機械化土工・工程計画管理の最適化，土木学会論文報告集，No. 230，pp. 55～67，1974. 10.
- 2) 荒井：工程計画管理の最適化に関する現実的諸問題，土木学会論文報告集，No. 243，pp. 47～59，1975. 11.
- 3) 吉川・山本：MAN，DAYを変数とするヒューリスティックな日程計画法に関する一考察，土木学会論文報告集，No. 256，pp. 49～58，1976. 12.
- 4) 石堂：機械・資源・労務ピークの最小化，オペレーションズ・リサーチ，Vol. 31，No. 1，pp. 36～42，1986. 1.
- 5) 建設機械経費積算研究会編：建設機械経費の積算，(財)経済調査会，1981. 3.
- 6) たとえば，関根智明：PERT・CPM，ORライブラリー，日科技連.
- 7) John, P.H., Gregory, E.A.: Element of cost and schedule management, Jour. of Mana. in Eng., Vol. 1, No. 3, 1985.

(1987.5.30・受付)