

京都大学大学院 学生員 見波 潔
 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 近年、土工事はますます大規模化する傾向にあり、従来以上に機械化施工の必要性が高まっている。これにともない、迅速性、経済性、確実性等、機械化施工導入の所期の目標を満足するような施工計画の作成が必要となり、そのための1つの方法論として、大規模機械化土工の計画プロセスを1つのシステムとして把握し、このシステムを構成する各サブシステムに対して、可能な限り各種OR技法を導入した客観的なモデル分析を実施し、これをもとに設計しうる代替案に対して、客観的、総合的な評価検討を加えることが可能となるような計画策定プロセスが考えられた。これが、図1に示す大規模機械化土工計画システムである。

このシステムの土量配分計画に関しては、線形計画法の輸送問題を適用する方法が開発されている。本研究では、この結果として得られる、切土ブロック、盛土ブロック、およびその間の運土量をインプット情報として、作業計画のプロセスにおける、実施工上の運土作業の決定、および各運土作業に対する運土機械割付問題を取り上げ、数学的アプローチを試みる。

2.運土作業の決定 土量配分計画では、総仕事量(運土量×運土距離)を最小にする土量配分(ここでは単位運土作業と呼ぶことにする)を求めることができるが、これをそのまま実施工上の運土作業とするには作業単位が小さ過ぎることが多く、現実にはもう少し大きな作業を施工の対象としている。これは、作業単位をあまり小さくすると、各作業の施工順序付けが複雑になること、運土機械が輻輳する可能性が大ききこと、作業段取り回数が増え、運搬路の整備なども複雑になることが考えられるからである。そこで、作業条件が類似した単位運土作業を1つの運土作業としてグルーピングすることを考え、そのための有効な手法として、本研究ではクラスター分析法を導入した。クラスター分析法は、対象とする個体(ここでは単位運土作業)が幾種類かの特性値によって表現される場合、その特性値のみに基づいて個体を分類する数値分類法の1つである。本研究では、実施工での機械の輻輳を避けるために、切土・盛土ブロックの接近した作業、および運土方向の類似した作業をまとめること、機械の特性に応じた機械割付を行なうために、運土距離の類似した作業をまとめること、また、運土量の少ない作業は隣接作業とまとめる方が望ましいことなどを考慮して、単位運土作業の特性を表わす指標として、(i)切土ブロックの座標(始点)、(ii)盛土ブロックの座標(終点)、(iii)運土方向、(iv)運土距離、(v)運土量 を取り上げ、これらを用いて個体間の距離を表1のように定義した。表中の $d_{\alpha\beta}$ によ

図1. 土工計画のプロセスシステム

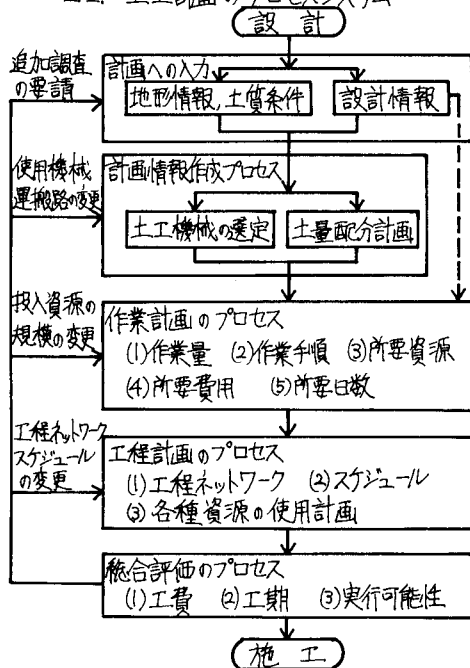


表1. 個体間距離の定義

α番目、β番目の単位運土作業の特性値
 $Q_{\alpha} = (x_{\alpha 1}, y_{\alpha 1}, x_{\alpha 2}, y_{\alpha 2}, U_{\alpha})$, $Q_{\beta} = (x_{\beta 1}, y_{\beta 1}, x_{\beta 2}, y_{\beta 2}, U_{\beta})$
 ここに、 $x_{\alpha 1}, y_{\alpha 1}$: α番目の個体の始点のx座標およびy座標
 $x_{\alpha 2}, y_{\alpha 2}$: α番目の個体の終点のx座標およびy座標
 U_{α} : α番目の個体の運土量

距離	定義式
(i) 始点間距離	$A_{\alpha\beta} = \sqrt{(x_{\alpha 1} - x_{\beta 1})^2 + (y_{\alpha 1} - y_{\beta 1})^2}$
(ii) 終点間距離	$B_{\alpha\beta} = \sqrt{(x_{\alpha 2} - x_{\beta 2})^2 + (y_{\alpha 2} - y_{\beta 2})^2}$
(iii) 方向間距離	$T_{\alpha\beta} = 2 \arccos \frac{(x_{\alpha 2} - x_{\alpha 1})(x_{\beta 2} - x_{\beta 1}) + (y_{\alpha 2} - y_{\alpha 1})(y_{\beta 2} - y_{\beta 1})}{\sqrt{(x_{\alpha 2} - x_{\alpha 1})^2 + (y_{\alpha 2} - y_{\alpha 1})^2} \sqrt{(x_{\beta 2} - x_{\beta 1})^2 + (y_{\beta 2} - y_{\beta 1})^2}}$
(iv) 距離間距離	$S_{\alpha\beta} = \sqrt{(x_{\alpha 1} - x_{\beta 2})^2 + (y_{\alpha 1} - y_{\beta 2})^2 + (x_{\alpha 2} - x_{\beta 1})^2 + (y_{\alpha 2} - y_{\beta 1})^2}$
(v) 運土量間距離	$R_{\alpha\beta} = \min(U_{\alpha}, U_{\beta})$
個体間距離	$d_{\alpha\beta} = k_1 A_{\alpha\beta} + k_2 B_{\alpha\beta} + k_3 T_{\alpha\beta} + k_4 S_{\alpha\beta} + k_5 R_{\alpha\beta}$ (k_i は正規化した値を示す)

て単位運土作業間の類似度を表わすものとし、 d_{ij} の小さい作業を1つの運土作業としてまとめた。この方法では、何番目のサイクルで形成されるクラスターを実施する運土作業と想定するか、および重み係数 $\alpha_1 \sim \alpha_5$ をどのように決定するかに関する理論的方法論は存在しないが、いずれにしても現場の状況に則したものでなければならぬ。その方法については、講演時に2,3の適用事例とともに述べる。

3. 運土機械割付計画 上述したプロセスを経て得られる各運土作業に対して運土機械を割り付ける際、従来は現場の地形条件、土質条件、平均運土距離、距離別運土量などを考慮して経済的な機種を選定し、それを各運土作業に対して、主として運土距離に応じて経済的な台数（あるいは組み合わせ）を割り付ける方法がとられている。しかし、この方法では現場に複数の機種が投入された場合に、工費、工期に関して十分な客観的評価が行なえるとは限らない。そこで、本研究では、①運土作業全体に要する総機械経費を評価基準とすること、②工期および運土機械の投入可能日数について考慮すること、③当該現場に投入可能な機種および台数を用いて、あらかじめいくつかの運土機械系（有機的に結合し同一行動をとる運土機械の集合）を設定し、これらを各運土作業に割り付けることを考慮して、機械割付モデルとして次のように定式化を行なった。

制約条件； $\sum_{i=1}^n \frac{1}{N_{ij}} \cdot n_{ij} \leq H_i$, $\sum_{j=1}^m Q_{ij} \cdot n_{ij} = W_j$, $n_{ij} \geq 0$

目的関数； $Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (C_i + d_{ij}) \cdot \frac{1}{N_{ij}} \cdot n_{ij} \rightarrow \min$.

ここに、 n_{ij} [回]；運土作業 j のうち機械系 i で施工する運土回数、 N_{ij} [回/日]；運土作業 j を機械系 i で施工するときの時間当り運土回数、 Q_{ij} [m³/回]；運土作業 j を機械系 i で施工するときの積載容量、 H_i [hr]；機械系 i の総運転可能時間、 W_j [m³]；運土作業 j の総運土量、 C_i [円/hr]；機械系 i の運転時間当りの機械経費、 d_{ij} [円/day]；機械系 i の供用日当りの機械経費、 D_i [hr/day]；遊休を0と仮定したときの供用日当りの運転時間

制約条件の第1式は各機械系の総運転可能時間に関する制約を、また第2式は各運土作業の運土量に関する制約を表わす。また、目的関数はすべての機械系の遊休を0と仮定した上で各運土作業に割り付けたときの総機械経費を表わす。

本研究で機械割付モデルの解法として導入する拡張型輸送問題は、投入機械が各製品を全く独立かつ自由な製造順序で製造できるように問題に対して開発された手法である。したがって、本研究で扱う運土作業のように施工上技術的な制約が存在するために各機械系に対して全く独立には施工順序を付加できない場合には必然的な機械の遊休を考慮する必要がある。しかしながら、機械

の遊休は図1に示したプロセスからも明らかのように、1つの機械割付案に従って日程計画を作成した段階で初めて明らかになるものである。また、機械経費には遊休費用を考慮に入れなければならないことを考慮すると、上述した①②を完全に満足するような機械割付モデルを作成することは不可能と考えるを得ない。そこで、本研究では①②を可能な限り満足しうる機械割付方法として図2に示す手順を提案する。これは、機械割付計画および工程計画のプロセスを繰り返すことにより、これらの代替案を得る方法である。

4. おわりに 本研究では、上述したクラスター分析法、および機械割付モデルを2,3の事例現場に適用し、実証的考察を行なった。その結果、運土作業の決定に関しては、第2サイクルで形成されるクラスターを用いるのが妥当であること、また、重み係数に関しては、始点間距離および終点間距離の重みをかなり大きくすることにより、実際の運土作業を決定することができることがわかった。また、日程計画を作成してみたところ、並列型の工程ネットワークによる機械の遊休の少ない日程計画案を用いると、機械割付モデルの最適性が保持されることがわかった。その他適用事例結果の詳細は、紙面の都合上、講演時にスライドで示す。

図2. 運土機械割付計画作成の手順

