

立命館大学	正員	春名 攻
立命館大学大学院	学生員	○堀 元治
立命館大学大学院	学生員	北岡 英基

1. はじめに

ニュータウン開発などの造成工事においては、工事対象地域が平面的な広がりを持つことから、施工空間、施工条件などの把握が難しいため、あまり効果的な工程計画立案のための方策がとられておらず、造成工事の工程計画立案の作成が非常に困難である。そのため、工程計画策定においては経験工学的な熟練技術者の経験や勘に多く依存しており、計画案作成のための作業が非常に多いのが現状である。また、近年においては、都市部の地価高騰などから、これらの工事が山間部に移行してきているため、ますますこれらの把握が工程計画立案に対して必要となってくる。

そこで、本研究においては、造成工事の中心的工事である土工事を取り上げ、コンピュータグラフィックスを用いて施工段階の検討、さらには、計画者の意思を反映することができる方法として、ヒューリスティックな運土計画モデルの開発について検討することとした。

2. 山間部における大規模土工事の特徴

造成工事においては、その工事の対象が「土」であることから、土工事はその支配的工事である。その土工事は「掘削→積み込み→運搬→散土→整地」といった単純な作業の繰り返して構成されている。これらの作業は、対象地域の地形・形状・土質の分布などに非常に影響を受けると考えられることから、土工事を平面的な工事として捉えるのでは、高さ方向の検討が不足し、工程計画案の実用化には検討の余地が残されることになる。さらに、山間部での工事では、急峻な地形・土質の種類の増加などにとともに、これらの検討は以前にも増して重要となってくる。

(1) 土量配分計画の問題点

一般的に、土量配分計画では、対象地を適当なブロックに分割し、そのブロックを施工の単位として切土ブロック盛土ブロック間の直線距離の算出を行い、それを運土距離とし、目的関数を

$$(\text{仕事量}) = (\text{運土距離}) \times (\text{運土量})$$

として、総仕事量最小化を目指した線形計画法・輸送問題による解法で行われている。しかし、この仕事量最小化では、上り勾配や下り勾配などによる機械の施工性の検討や、また、時間軸で変化する地形にともない運土ルート及び運土距離も変化するといったことに対する検討も不足する。

特に山間部における造成工事では、これらのブロック間の勾配やルートの運土距離を評価基準にした仕事量最小化では、必ずしも最適な土量配分であるとは考えにくい。

(2) 機械性能の向上による運土作業の変化

従来の運土作業においては、運土距離に応じて、運土機械の設定を行ってきた。しかし、近年における土工量の増加や機械の大型化による性能の向上などにとともに、ダンプトラックの使用が多くなってきている。一般にタイヤ系重機は、他の運土機械に比べ、勾配、ルートの施工効率に与える影響が大きいため、大型のタイヤ系重機の走行路確保といった問題が重要視されるようになってきた。機械の施工性を考慮すると、直線ルートを通ることは少なく、地形形状に応じたルートの設定方法が重要となる。しかし、運土計画段階においては、これらの検討が不足し、経験工学的に熟練技術者の経験や勘に大きく依存しているのが現状である。そのため、運土計画において地形形状を先取的に把握し、より容易な計画者の判断が可能な方策が必要である。

3. 運土計画化のための実験モデルの開発

先に述べたように、山間部における大規模土工工事では、急峻・複雑な地形、時間軸による地形変化、及び、複数の土質構成など高さ方向も考慮した3次元的な検討を加えた運土計画を立案していく必要がある。

本研究においては、まず、対象地域のモデル化を行い、地形の形状による機械の施工効率、及び、地形変化にともなう施工条件などを土量配分計画と運土計画との2段階で検討を行うこととした。さらに、コンピュータグラフィックスを活用して、施工空間を明確な表示を行い、計画者の意思決定情報とした。

このような検討を加えた結果、土工の運土計画作成におけるプロセスを図-1に示す4つのステー

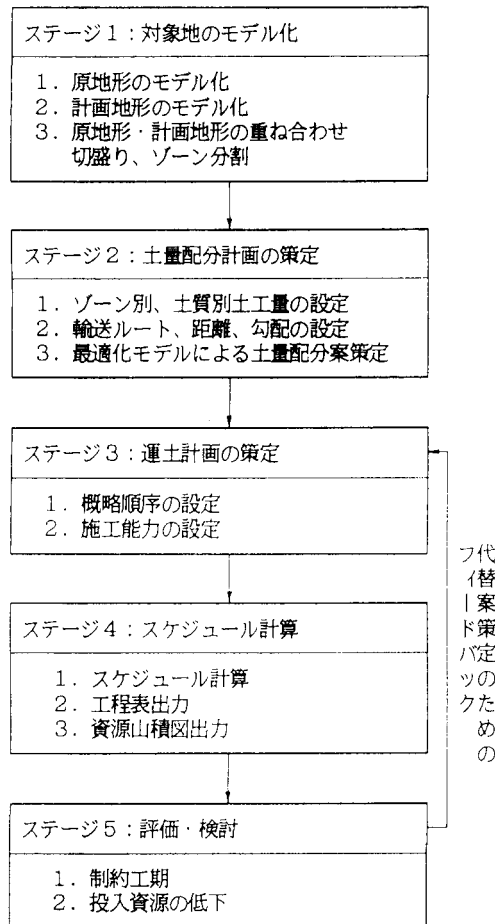


図-1 概略工程計画作成プロセス

ジにデザインした。

(1) 施工性を考慮した土量配分モデルに関する考察

山間部による土工事に、従来の仕事量最化を適用した場合、高さ方向の検討が不足するため、技術上いくつかの問題が生じる。つまり、機械的に求められた解には、地形的变化を捉えた施工性に関する検討が不足することになる。

そこで、本研究においては、土量配分計画を土の理想的配分という観点から土量配分計画を捉え直し、運土計画の段階で時間軸上での具体的検討を行いつつ計画化していくこととした。そして、上り勾配では施工効率が低下し、下り勾配では施工効率が向上するといった機械の施工性に着目し、表-1に示すような定式化を行った。

運土距離の算出にあたっては、原則として2ブロック間の直線距離とするが、ブロック間に工事対象外の山、谷あるいは池などがある場合には、迂回させてルートを設定することにより、より実務レベルでの検討に近づけている。

また、対象地域のブロック分割については、一度切り崩した山は水を含みやすくなるため、ある程度の切り崩しが完了するまで連続施工する必要がある。そこでまず、対象地を従来と同様に、切土地域・盛土地域に分割した後、それぞれの地域について、切土ブロックは山単位で、盛土ブロックについては谷単位で分割することとした。そして、本研究では、高さ方向にも層分割を行うこととしているが、この段階で分割した場合、ブロック間の距離・勾配が実際の施工性とは異なった条件の設定となることが考えられ、従って、土量配分計画段階では、ブロックの層分割を行わずに、以下に述べる運土計画の段階において層分割を行うことで、詳細な検討を加えることとした。

なお、これらの考え方を、工事の対象となる対応土質別に適用土量配分計算を行うことにより、土質の考慮も可能であると判断している。

(2) 運土実験モデルの開発

マクロ的に計画された土量配分を、概略の運土計画としてとりまとめていくためには、前述の土量配分に加えて、運土ブロックの施工順序や投入機械の設定とスケジュール計算、工程表の出力といったプ

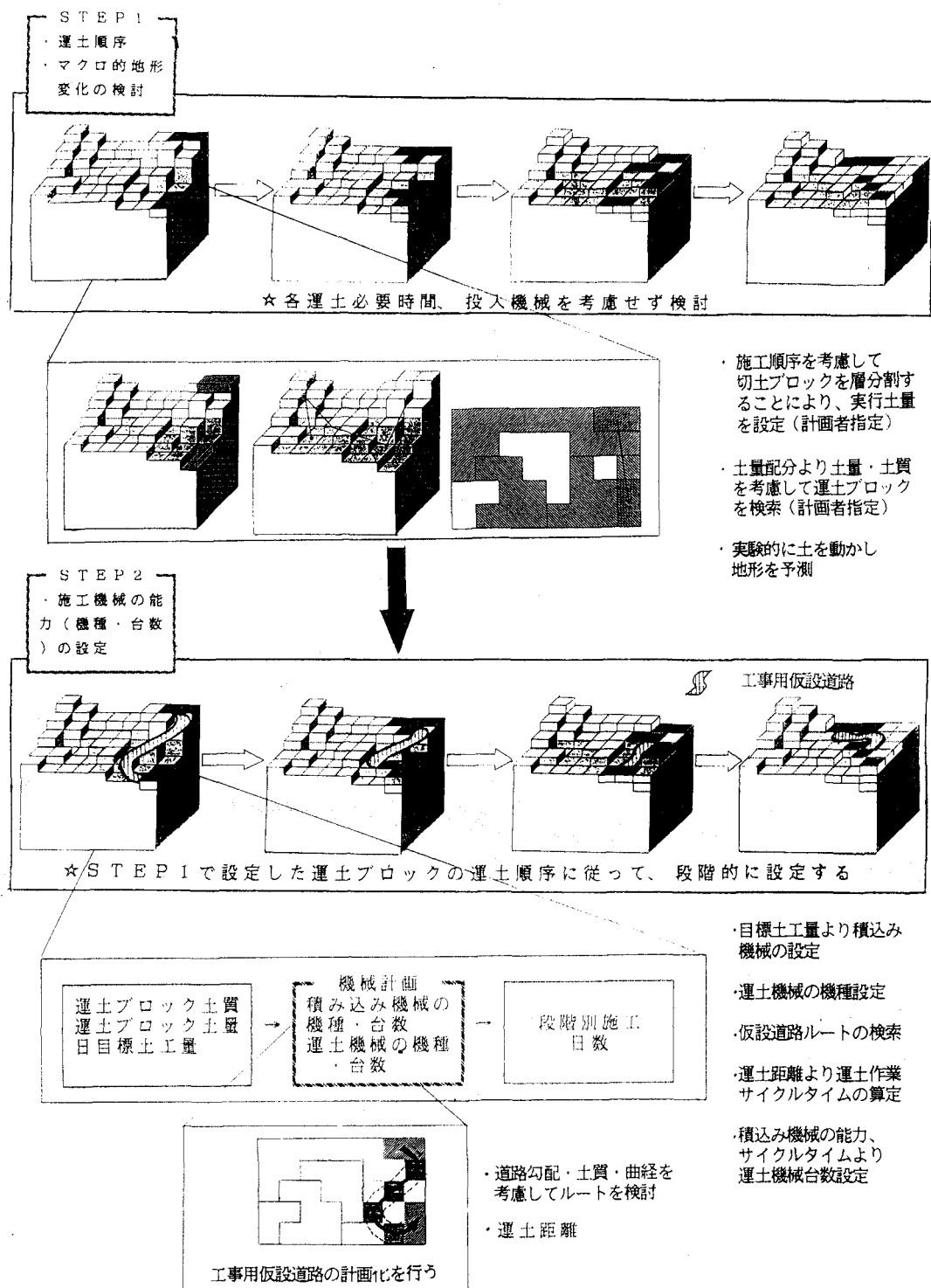


図 - 2 運土計画詳細プロセス

ロセスについても検討する必要がある。

山間部においては、運土作業が進展するにつれて地形形状が変化し、その変化に応じた切土ブロックや、運土ルート of 決定を検討することが重要である。しかし、現状では、その地形変化の把握は決して容易ではなく、運土計画そのものの検討が非常に困難となっている。

そこで、本研究では、これらの把握を可能とする、図-2に示すような運土計画策定プロセスをデザインした。

ここでは、まず、施工開始運土ブロックの指定を行い、切土ブロックにおいて、ブロック内の土質を考慮して層分割を行い、地形形状から仮設道路の設定を行うこととした。

次に、これらのブロックについて、投入機械の機種・台数についての選定を行う。ここで、運搬機械の待ち時間を低減するよりは、積み込み機械の待ち時間を低減することが、効率的な運土作業につながるから、積み込み機械を運土作業の支配的機械と考えた。従って、制約工期、総土工量より算出される日目標土工量にもとづき各ブロックでの積み込み機械の機種・台数の設定と積み込み作業のサイクルタイムを早期の段階で算出することとした。そして、それをもとに、運土機械の機種・台数の設定を行い、各運土ブロックの所要日数を算出する。これらの

作業を施工終了となるブロックまで繰り返し行うことにより、運土計画案を作成していくこととした。

なお、運土計画案の策定にあたっては、工期、資源山積み図から制約工期、投入資源などの評価・検討を行い、代替案を作成することにしている。

4. 施工管理段階への適用方法

本研究においては、計画検討作業の迅速化と効率化を中心に検討を行ってきたが、施工段階においても、本モデルを適用した検討が有効であると考えている。すなわち、予測外の土質、資源の制約の変更など計画段階との施工条件の変化により、計画の修正を余儀なくされた場合、各計画のどの段階において修正を加えるかといった検討を容易に行うことが可能である。さらに、実施工段階の地形をその実績データよりコンピュータ・グラフィックスで表示し、それを計画段階における予測地形と比較することにより、工事の進捗情報・機械の適合正などを迅速に確認することができ、より実務レベルに近い管理システムの構築が可能であると考えられる。

4. おわりに

本研究では、大規模土工事の運土計画に対して、計画化の各プロセスを通して、一貫性や整合性を図れることを目的とした支援情報システムの開発研究を行った。そして、コンピュータ・グラフィックスを活用した運土計画モデルの開発によって、時間軸での地形変化に対する検討を可能にした。

今後の課題として、土量配分計画における土質を考慮した施工順序に対する考慮、運土ルートの走行性に対する考慮を組込んだ目的関数の定式化、また、運土計画における仮設道路の安定性、仮設道路の整備に関して検討を加える必要があると考え、今後、これらの検討を行うことにより、さらなるシステムの向上を図りたいと考える。

[参考文献]

- 1) 春名 攻：建設工事における施工管理に関するシステム論的研究、学位論文（京都大学工学博士）1971年7月
- 2) 石川六郎：システムズアプローチによる工事管理 鹿島出版 1977年7月

表-1 土量配分モデルの定式化

○ 目的関数	
$F(x) = (1 + a \tan \theta) \times L_{ijk} \times w \times x_{ijk} \rightarrow \min$	
○ 制約条件	
・ 盛土ブロック土量	$\sum \sum x_{ijk} = \alpha_k$
・ 切土ブロック土量	$\sum x_{ijk} = \beta_{ij} \times C_{ij}$
・ 運土量	$x_{ijk} \geq 0$
	$\sum \alpha_k = \sum \sum (\beta_{ij} \times C_{ij})$
○ 変数及び定数の定義	
a	: 勾配による施工効率係数
α_k	: kブロックの盛土量 (m ³)
β_{ij}	: iブロックのj層目の切土量 (m ³)
C_{ij}	: 締固めた土量/地山状態の土量
L_{ijk}	: 運土距離 (m)
x_{ijk}	: 運土量 (m ³)
TAN θ	: 勾配
w	: 土の単位体積重量 (kg/m ³)