

立命館大学理工学部 正 員 春名 攻
大阪市 正 員 ○堀 元治
立命館大学大学院 学生員 迫間幸昌

1. はじめに

都市部やその周辺での新たな開発対象地が皆無となった今日においては、都市中枢機能の集中による人口過密、住宅不足など都市部の抱える問題は益々大きなものとなっている。関西地方の学研都市や国文都市に見られるような山間・急峻な丘陵部におけるニュータウン開発や、さらには、地方都市の活性化を目指した地方コミュニティ空港の建設など、新規都市開発事業のターゲットは、完全に都市部から都市部周辺の山間部へと移行してきていると言える。

本研究においては、今後拡大する傾向にある大規模造成工事の中心である土工事に着目して、急峻かつ複雑な山間部の地形にも対応が可能な土量配分計画と運土計画の問題を検討するとともに、土質条件や地形条件、さらには施工機械の施工性、安全性の確保が必要な仮設道路の設定が可能な運土計画作業のシステム化を行った。

2. 山間部における土工事の特性についての考察

従来の運土作業においては、一般的に、短距離運土ではブルドーザ、中距離運土ではモータースクレーパ、長距離運土であればダンプトラックといったように運土距離に応じて運土機械の設定を行ってきた。しかし、近年の土工事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もない、中距離運土でもダンプトラックの使用が多くなってきている。タイヤ系重機は、他の運土機械に比べ勾配や、ルートの施工効率にあたる影響が大きいため、大型タイヤ系重機の走行路の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ってくる。ま

た、それらの条件も工事の進捗により変化するため、機械の走行路もそれらに対応させて設定する必要がある。しかし、運土計画段階ではこれらの把握が困難であることから、工事施工段階で順次、走行路の設定を行っていきるのが現状である。また、その設定にあたっては、経験工学的に熟練技術者の経験や勘に大きく依存しており、膨大な作業量となっている。

そこで運土計画段階において、その施工条件等を取引的に把握し、より容易な計画者の判断が可能な方策が必要である。

3. 運土計画モデルの開発に関する考察

先に述べたように、山間部における大規模土工事では、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策定する必要がある。

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。

(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、地形的変化を捉えた施工性に関する検討が不足することになる。

本研究では、運土計画の前段階として仮想の土量配分を行い、運土計画の段階で時間軸上での具体的検討を行い、計画化していくこととした。その仮想

の土量配分については、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、対象地域を山、谷単位で分割したブロック間の重心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。

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、運土ルートの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、まず、地形形状の変化を把握するために、運土ブロックの順序の設定を行うこととした。その施工順序の設定については、山を切り崩すことで、地形の形状やブロック内でも、施工面積等の施工条件が変化するため、切土ブロックを、ブロック内の土質を考慮して高さ方向に層分割を行うこととした。さらに、その層の切土量から運ばれる盛土ブロックの盛られる高さを算出し、盛土ブロックを層分割することとした。それら施工順序の設定

を行い、例えば、図-1に示すような地形の中央の切土を施工すれば、図-2のような地形に変化し、さらに、切り崩すと図-3のような地形となるといったようにコンピュータ上で地形の変化を把握することとした。それをもとに、投入機械種の施工性を考慮して、運土ルートの設定を行うこととした。このように設定された運土ルートの距離と、勾配を再度土量配分モデルの目的関数に代入することで、総仕事量という観点から評価することとした。

4. 概略工程計画策定の概要

以上の考察をもとに本研究では、図-4に示すような工程計画作成プロセスをデザインした。

(1) ステージ1：対象地形のモデル化

ここでは、土質別の土工量の算定と、施工ブロックの分割を中心とした検討を行うこととする。土工量の算定にあたっては、メッシュ法（柱状法）を用いて、計画地形と原地形の平均標高差から土工高を求め、メッシュ単位で土工量を算出するものとする。対象地形をモデル化することによって分割された対象地域の切土地域と盛土地域を、原地形の地形

表-1 土量配分モデルの定式化

目的関数	
総仕事量の最小化	$F(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (1 + \alpha \tan \theta_{ij}) \times L_{ij} \times x_{ij} \rightarrow \min$
制約条件	
①総切土量と総盛土量のバランス	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \times C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}$
②切土ブロックの土量バランス	$\sum_{j=1}^m x_{ij} = VB_i$
③盛土ブロックの土量バランス	$\sum_{i=1}^n x_{ij} = VB_j$
	$x_{ij} \geq 0$
変数及び定数の定義	
L_{ij}	: ブロック間の距離 (m)
x_{ij}	: 運土量 (m ³)
α	: 施工効率
$\tan \theta_{ij}$	: ルート勾配
C	: 締め固めた土量/地山の状態
VB_i	: 切土ブロック i の土量 (m ³)
VB_j	: 盛土ブロック j の土量 (m ³)
n	: 切土ブロックの総数
m	: 盛土ブロックの総数

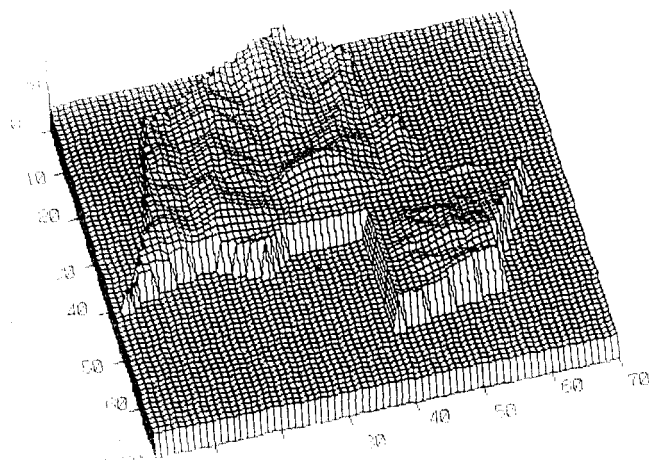


図-1 原地形の形状

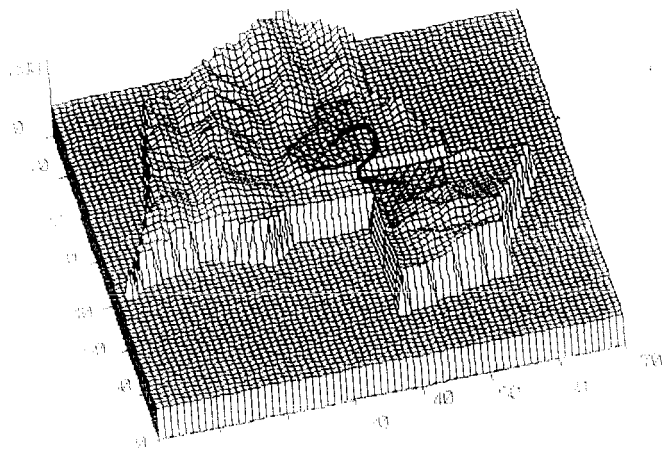


図-2 地形形状の変化（その1）

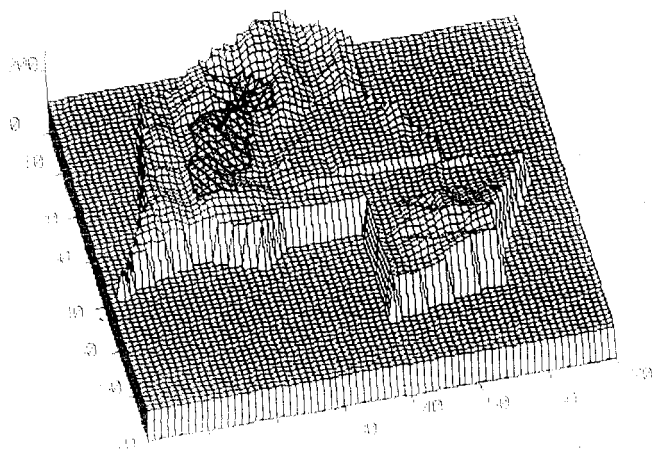


図-3 地形形状の変化（その2）

形状を考慮し、切土地域については山ごとに、盛土地域については谷ごとに造成ブロック分割する。なお、各ブロックの土工量は、与件情報からの土質データをもとに土質別に算出する。

（2）ステージ2：仮想の土量配分の策定

このステージでは、運土計画策定のための情報として、概略の土量配分を行うこととしている。

まず、ステージ1で算出した土工量及び土質条件から土量体積変化率を算出する。ついで、各ブロックの重心の算出を行い、その重心からブロック間の2点間の距離と平均勾配を算出する。また、迂回路の設定が必要な場合には、ここで設定しその距離と平均勾配を算出する。これらを線形計画法により土量配分を求め、土のマクロな動きを見ることとしている。

（3）ステージ3：運土計画の策定

ここでは、ステージ2で求められた概略の土量配分をもとに、ブロックの施工順序、運土ルート（仮設道路）の設定を行い、それらを、評価することで運土計画を策定することとしている。

施工順序の設定については、ステージ1で分割したブロックをさらに垂直方向に分割した層で分割を行い、それについて順序を設定することとした。その順序による地形の形状の変化と投入機械の機種を考慮に入れて、運土ルートの設定を行うこととした。

さらに、その運土ルートの距離と勾配から、仮想の土量配分で用いた目的関数に再度入力することにより、運土計画案を評価することとした。

（4）ステージ4：機械計画の策定

ステージ3で策定された運土計画案に対して、ここでは、地形の形状の変化による施工条件を考慮して投入機械の台数・チーム数の設定を行うこととしている。

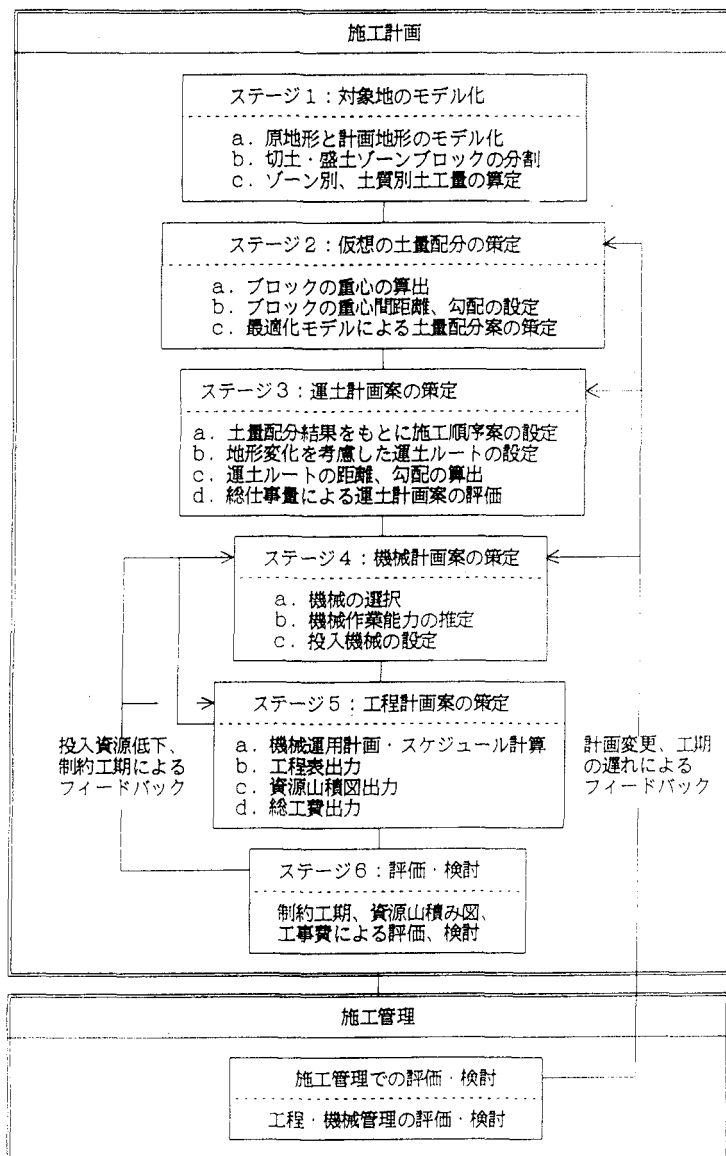
(5) ステージ5：工程計画案の策定

ここでは、ステージ4までに設定された計画案に対してスケジュール計算を行い、工程表、資源山積み図の出力を行う。

(6) ステージ6：検討・評価

ここでは、ステージ5で取りまとめた工程表、および資源山積み図の評価・検討を行い代替案の策定を行うこととしている。

スケジュール計算の計算結果が、工期を満足しない場合や、資源の1日当りの投入量が多い場合には、変更可能や運土段階に戻り、投入チーム数・投入機械台数の変更を行い、また、ブロックの施工順序の変更等により、資源山崩しを行い、概略工程計画案として取りまとめることとしている。



図ー4 概略工程計画策定プロセス

さらに、本研究では、この工程計画策定プロセスを施工管理段階にも対応することを前提にしている。そこで、管理段階における設計変更や、工期の遅れ等の計画の変更が必要な場合のフィードバックについても検討を加えている。

5. おわりに

本研究では、大規模土工事の運土計画策定に対して、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、コンピュータを活用し、計画段階で運土による地形形状の変化の把握が可能な運土計画モデルの開発によって、時間軸での施工条件に対する検討を可能にした。

今後の課題として、運土ブロックの施工順序、運土ルートをより効率的に設定する方法、さらに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、これらの検討をシステム論的に整理を行い、さらなるシステムの向上を図りたいと考える。