

立命館大学	正 員	春名 攻
東洋建設株式会社	正 員	○大音 宗昭
立命館大学大学院	学生員	迫間 幸昌

1. はじめに

近年における土地開発事業は、都市部における都市中枢機能の集中による人口過密、住宅不足などの問題により、都市周辺の山間部や地方都市において盛んに展開されるようになってきている。そのために、大規模な宅地造成工事においては、その急峻かつ複雑な地形や複数の土質構成、さらに工事施工途中における時間的な地形や地質の変化などの施工条件が従来の土地開発工事計画とは大いに異なっており、大規模造成工事を合理的に進めるための運土計画の策定方法のシステム化が重要な課題となってきたと言える。

そこで、本研究においては、現場技術者の経験をもとに、時間の経過にともなう地形の変化の把握と運土ルートの設定方法に着目して、その変化をコンピュータ・グラフィックスを積極的に活用することで、急峻かつ複雑な山間部の地形を3次元的な施工空間として把握し、各種の与条件の検討を行なうことで、合理的な工事施工を実現するための施工計画の策定を念頭においた運土計画モデルの開発を研究対象とした。

2. 山間部における土工事の特徴についての考察

山間部土工事においては、丘陵地の宅地造成工事に比べ、原地形と計画地形の高低差が非常に大きくなり、高盛土施工のような施工条件を余儀なくされるため、土質設計を行っている。また、山あるいは尾根を中心とする切土ブロックと、谷部を中心とする盛土ブロックとに鮮明に分割されるために、高さ方向も加えた三次元的な空間として土工事をとらえる必要性がある。さらに、実施工においても時間の

経過にともない造成地形が複雑に変化するために、施工空間や施工条件などの把握が非常に困難となり、それらの地形変化による機械の施工効率の影響を考慮することが不可能であるので、土工事を平面工事として捉えることには限界があると考えられる。そのため、従来における工程計画立案のための方策においては、山間部の造成工事の工程計画立案の作成には効果的なものとは言えないと考えられる。

また、近年の土工事では土工量の増加や機械の大型化による機械性能の向上にともない、中距離運土でもタイヤ系重機の使用が多くなってきている。そのため、タイヤ系重機は他の運搬機械に比べ、運土ルートの勾配による施工効率の影響を受けるために、運搬機械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。また、それらの条件も工事の進捗により変化するため、運搬機械の走行路の設定に関してもそれらに対応させて検討する必要がある。このため、各種の与条件を考慮し時間の経過にともなう地形の形状を把握するとともに、運搬機械の施工性・走行性を確保するための工事用仮設道路の設定を行なうことが重要となってくる。

さらに、山間部の土工事では、急峻かつ複雑な地形や複数の土質構成、また土質設計による高盛土施工を余儀なくされるために、設計当初の調査の質によっては、再調査・再設計を必要とされる場合がある。そのために、十分な調査の結果をもとに、長大のり面や軟弱地盤等の問題点や各土質の位置・規模を正確に把握するとともに、環境保全地域を的確にとらえ、また表土や植生に対して十分な検討をすることで、環境や土工事の安全性にも対応した工程計画を立案することが重要であると考えられる。

以上のように、工程計画策定においては熟練技術

者の経験や勘に多く依存しており、施工計画案の作成のための作業が非常に多く、明確で分かりやすい方法による検討が行なわれていないのが現状である。

そこで、工程計画策定のための検討項目を下記に示す。

3. 施工計画システム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では、急峻・複雑な地形、時間の経過にともなう地形の変化、および複数の土質構成など高さ方向も考慮した3次元的な検討を行うとともに、調査結果をもとにし、付帯工事の工程を考慮して工程計画を策定する必要がある。

本研究においては、調査結果を考慮した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、および地形変化にともなう施工条件などを、コンピュータを活用して、施工空間の明確な表示を行うことで計画者の意思決定情報とした。

(1) 調査結果をもとにした

対象地のモデル化に関する考察

大規模な造成工事においては、急峻かつ複雑な地形や複数の土質構成、さらに高盛土工により土質設計を行っているために、設計当初の調査の質によっては、再調査を必要とし、再設計を余儀なくされることがある。そのために、対象地全体における軟弱地盤の位置や規模、また長大のり面の安定等の問題点を的確に把握するとともに、開発対象地の湧水量・位置や降雨量をもとに防災計画を検討するだけでなく、表土や植生等の環境面の検討を行うことが重要である。

そこで本研究では、調査項目の整理を行うとともに、施工計画との関連性を明確にすることで、工程計画立案のための検討項目とすることとした。

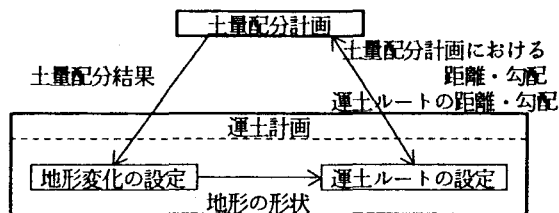


図-1 土量配分計画と運土計画との問題点

(2) 概略運土を考慮した

土量配分モデルに関する考察

山間部による土工に、従来の仕事量最小化を適用した場合、高さ方向の検討が不足するために技術上の問題が生じる。つまり、機械的に求められた解には、地形の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。また、図-1に示すように、土量配分段階で得られる運搬距離と運土計画段階で検討する運土ルートの距離との整合性が問題となるために、土量配分の解に矛盾が生じることになる。

そこで、本研究においては、図-2に示すように、ブロック間の重心間距離や施工条件をもとに概略運搬機械の設定を行い、その運搬機械の施工性を考慮するとともに、地形の形状や与条件を把握することで運土ルートを設定を検討し、その運土ルートの距離を変数として捉えることで、整合性がとれると考えた。さらに、これらの考え方を工事の対象となる対応土質別に、また構造物・治水工事を考慮した工種別に土量配分計算を行うことにより、より実務レベルでの検討に近づけている。

(3) 運土実験モデルの開発

マクロに計画されたものを、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詳細な投入運搬機械および運土ルートの設定についても検討する必要がある。

そこで本研究では、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、軟弱地盤工事や防災工事、さらに構造物工事等の付帯工事の工程を考慮した時間の経過をもとに、作業エリアの確保と運搬機械の施工性を検討し、コンピュータ上で地形の変化を把握することとした。また、その地形の形状をもとに、投入運搬機械の施工性を考慮して、運土ルートを設定を行うこととした。

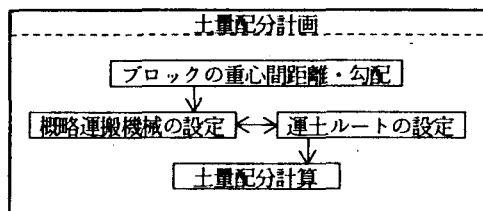


図-2 概略運土を考慮した土量配分計画の策定

4. 概略施工計画策定の概要

以上の考察をもとに本研究では、図-3に示すような施工計画作成プロセスをデザインした。

(1) 概略施工計画作成システムの概要

a) ステージ1：対象地のモデル化

ここでは、まず対象地の原地形と計画地形のモデル化をおこなうことで、計画当初の長大のり面や軟弱地盤等の問題に関して十分に調査できているかを確認し、不十分なものに対しては再調査をする。次に、重要構造物工事や治水工事を考慮した対象地の工種ブロックの分割をするとともに、切土・盛土分布に応じた施工ブロックの分割をおこなう。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し切土・盛土量のバランスを図るものとする。

b) ステージ2：土量配分の策定

このステージでは、運土計画の策定との整合を図るために、切土・盛土ブロックの重心間距離勾配の算定をおこない、その距離・勾配や調査結果をもとにした施工条件を考慮して概略な運搬機械の選定を

おこなう。さらにその概略な運搬機械の施工性・走行性を確認しながら、運土ルートを設定しその距離と勾配を算出する。これらの概略運搬機械の設定と運土ルートを設定を再度確認して、表-1に示すような線形計画法による土量配分をおこなうことで、土のマクロな動きを見ることとしている。

c) 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、人間の要素が入る構造物工事や軟弱地盤工事、さらに防災工事の地域を把握し、その付帯工事の工程を考慮した運土作業の順序関係を検討するとともに、その他の地域においては、作業エリアの確保と運搬機械の施工性を考慮するだけでなく、排水・治水のしやすさを検討して、運土矢線に対して施工順序を設定する。さらに、その施工順序にともなう地形の形状の変化をもとに、投入機械の機種を考慮に入れて、図-4や図-5に示すように運土ルートの設定を行うこととした。

d) ステージ4：工程計画案の策定

ここでは、ステージ3までに立案された施工計画案に対してスケジュール計算を行い、工程表、資源

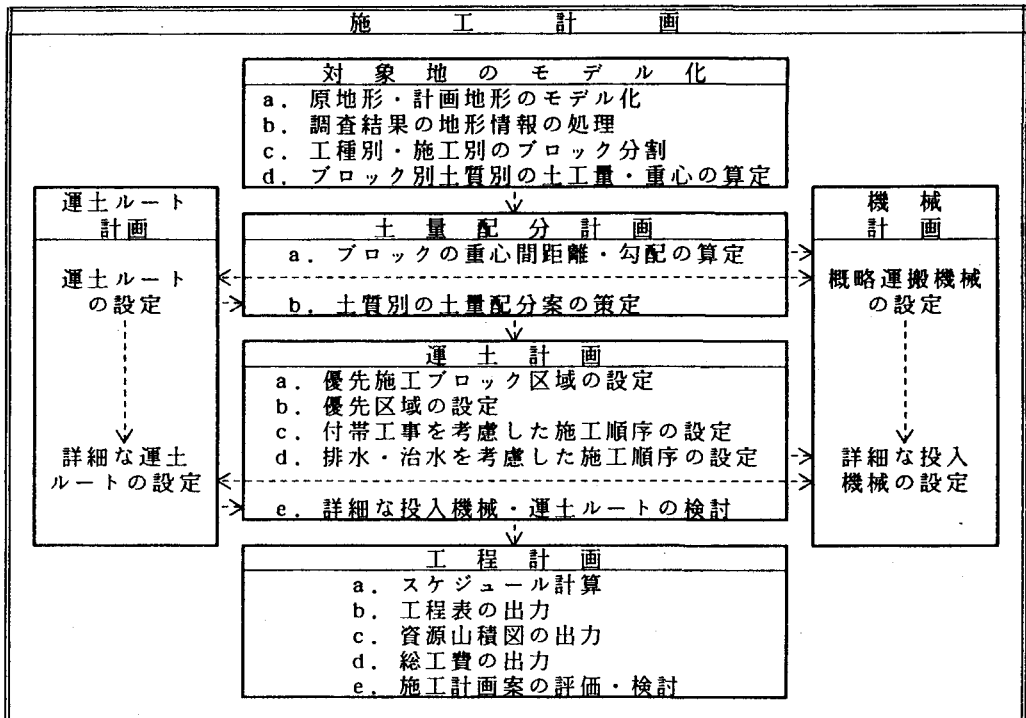


図-3 概略施工計画策定プロセス

山積み図の出力を行うとともに、さらに、その評価・検討を行い、概略工程計画案として取りまとめることとしている。

(2) 2つのサブシステムの概要

施工計画における土量配分計画と運土計画の一貫性や整合性を図るために、土量配分計画においても、概略な運搬機械の選定や運土ルートの設定を行うため、機械計画と運土ルート計画をサブシステムとして扱うこととした。

a) 機械計画の策定

土量配分計画段階における概略機械計画の検討については、対象地の施工計画や投入機械の施工性などの技術的問題のある場所を把握し、切土・盛土ブロックの重心間距離をもとに、運搬機械の概略(ブーム系orスクレーパ系orダンプトラック系)な設定を行う。

また、運土計画段階における詳細機械計画の策定においては、地形の形状の変化による施工条件を考慮して、投入機械の機種・台数および投入チーム数の設定を行うこととしている。

b) 運土ルート計画の策定

機械計画で選定された運搬機械の施工性・走行性を確保するために、時間の経過にともなう地形の形状をコンピュータを活用して把握するとともに、調査の結果、および付帯工事の状況を検討しながら、メッシュ単位ごとに勾配を考慮して、設定することとしている。

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、施工計画立案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に関するシステム論的研究を行った。そして、

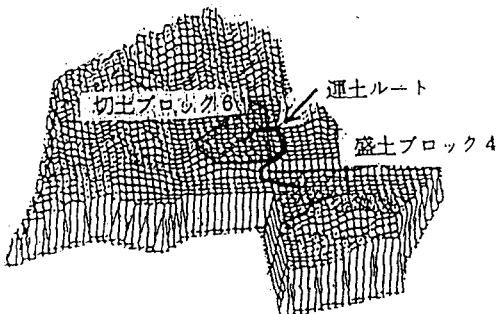


図-4 工事途中の地形形状の変化(その1)

調査の結果や付帯工事の工程を考慮した与条件の検討を、コンピュータの積極的な活用により、計画段階での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と考えられる。

《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
- 2) 石川六郎：システムズアプローチによる工事管理、鹿島出版会、1977年
- 3) 三島八郎：宅地造成工事の調査と設計と施工、鹿島出版会、1985年

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	
$\sum_{j=1}^m x_{ij} = V B_i$	
③ 盛土ブロックの土量バランス	
$\sum_{i=1}^n x_{ij} = V B_j$	
$x_{ij} \geq 0$	
変 数 及 び 定 数 の 定 義	
L_{ij}	: 運土ルートの距離 (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
$V B_i$	: 切土ブロック i の土量 (m ³)
$V B_j$	: 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

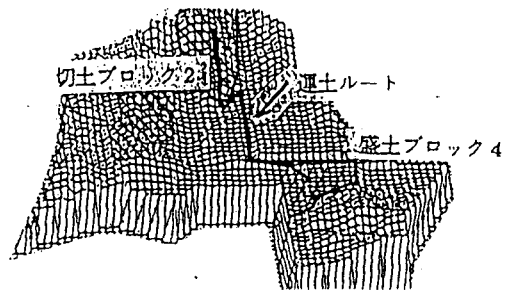


図-5 工事途中の地形形状の変化(その2)