山間部大規模土工事における支援情報システムの開発研究

A Development Study of Information-supported System for planning of Large-Scale Earthmoving Project in Mountain Area.

立命館大学　春名　攻 *
東洋建設㈱　大音　宗昭 **
㈱大林組　迫間　幸昌 ***
立命館大学大学院　○上山　晃 ****
By Mamoru HARUNA, Muneaki OOTO, Yukimasa HASAMA and Koh UEYAMA

山間部の土地開発事業は、経済のバブル崩壊後の不況にもかかわらず、大都市圏における人口過密の問題や地方都市の活性化に対する有効な施策として盛んに行われている。山間部の土地開発事業における土工事は、地形変化が激しいために平野部や丘陵部において行ってきた従来の方法では、合理的な施工計画案を求めることが困難な場合が多い。

そこで、これまで開発されてきた方法論をベースとして、山間部土工事に適した形で、安全かつ迅速、経済的に工事を行う高度な施工計画策定のための支援情報技術の開発を行うこととした。すなわち、本研究では、土工事の施工計画の中で中核的存在である運土計画の策定方法に着目し、山間部の大規模土工事の激しい地形変化に対応した計画的検討の方法を施工空間を３次元で捉えながら現場マネジメントを遂行する形で計画的検討の方法を開発するとともに、合理的な情報を提供することの可能な支援システムの開発を進めた。

【ｷｰﾜｰﾄﾞ】計画情報・シミュレーションシステム・費用分析・運土計画

1．はじめに

建設工事の実施段階における目的は、所定の工期内に、安全に施工を進め、かつ経済性を確保しながら目標品質の構造物を建設することである。このような目的のもとに、現場レベルでの施工管理計画の内容は、施工方法の決定、詳細工程計画、機械・労務・資材の各計画及び施工管理体制の設定などによって構成される。しかし、ここで取り上げる大規模土工事は他の工種に比べ天候の影響を特に受けやすく、また地盤や土質等に代表されるように状態をあらかじめ予知することの難しい要素を多く含んだ工種である。これらの原因から、工事を施工計画どおりに実施することは困難をともなうことが多いという特徴を持っている。したがって、本研究では大規模土工事における現場マネジメントのシステム化の検討において、上述のような工事特性を充分考慮するとともに、工程管理、品質管理および出来高管理等を土運搬作業による施工状況と関連づけて行なうこととし、運土管理として総合的に捉えることとした。さらに、運土管理をより効率的、合理的に遂行するための制約となる工事費用に対して分析を行い、運土管理のための総合的な計画支援情報の提供を目的とするシステム開発を行うこととした。

2．大規模土工事における積算特性の考察

* 理工学部環境社会工学科　0775-61-2736
** 鳴尾研究所　0798-43-0661
*** 精華台ＪＶ工事事務所　07749-5-0139
**** 理工学研究科環境社会工学専攻　0775-61-2736

（1）土工事における機械経費算定に関する考察

現在、公共工事の効率的かつ合理的な積算方式は、国や各種公共団体で検討がなされ改善されつつある。しかし、積算システムについては上述の各主体が独自のものを所有し運用している。また施工を行なう建設業者では各々独自の見積り方式及びそのシステムを持ち、運用しているのが一般的である。

工事費の積算及び見積りを受注者の立場としてみた場合には、受注のための経営戦略として、適正な利益が確保される範囲で、競争相手の価格との兼ね合いを勘案しつつ、自己の応札価格を弾力的に設定するための作業であるということがいえる。さらに、工事請負者に確定した段階では、事前の工事原価の計算により受注者の要求する品質等を確保しつつ、的確で最も経済的に施工するための工事計画を策定する上で必要な実行予算書作成のための作業でもあるといえる。

本研究においては、運土管理に際して受注者の工事費積算のうち、公共工事の受注者が入札を行うための予定価格算出の問題を扱う。そのため、ここでは建設省方式にもとづいて工事費用の積算に関するシステム論的な検討を行なった。

そこで、大規模土工事の特徴として工事費用の中で直接経費の占める割合が高いことや、工法変更や機械変更を行なう際には運転作業員の追加を始めとする労務資源が変更されることに着目して、機械損料と労務費を含めた機械経費の算定を「建設省土木工事積算基準」と「建設機械等損料算定表」にもとづいて行なうこととした。

（2）土工事における機械経費の特性分析

これまでの工事費用の算出においては、熟練した現場技術者の経験や勘をもとに、対象工事の概略費用を予測することが多かった。また、概略工事費の算出においては、各々の受注者が独自に持つ複合単価表を用いたり、過去における類似した土工事との比較により算定を行なってきた。

しかし、最近増加傾向にある山間部での土工事は、対象地域の地形の形状やその地域における土質及び地質構造、対象工事の規模等の複雑さにより、過去の工事のなかに類似工事といえるものは少ないと考える。このため、過去の工事から工事費用を求める

統計的な推論方法を採用することが難しくなっており、より精度の高い工事費の算定方法を開発することにより概略工事費を把握する必要がある。

本研究においては、現場マネジメントを行う上での支援情報として、以下の点について検討を行なった。

一般に、各々の施工場面において、その後に投入する施工機械の台数に対する検討は、工期・稼働率及び残土工量をもとに熟練現場技術者が過去の経験

表1．土工事施工機械運転1時間あたりの作業量算定表

「建設省土木積算基準」参照

運転1時間当たり土工量算定式　単位：m^3／h

ブルドーザ　：$土工量=\frac{60\times q\times f\times E}{Cm}$

バックホウ　：$土工量=\frac{3600\times q\times f\times E}{Cm}$

ダンプトラック：$土工量=\frac{60\times q\times f\times E}{Cm}$

スクレーパ　：$土工量=\frac{60\times q\times f\times E}{Cm}$

1サイクル当たりの土量（q）　単位：m^3

ブルドーザ	：15	t：1.73	32	t：4.63
	21	t：2.81	湿地16	t：1.97
バックホウ	：0.6	m^3：0.58	0.35	m^3：0.33
ダンプトラック	：11	t：土砂 6.1	軟岩 5.0	硬岩 4.4
モータスクレーパ	：16	m^3：14.4		
被牽引式スクレーパ	：9	m^3：8.1		

土量換算係数（f）

地山の土量：1　　ほぐした土量：L　　締め固めた土量：C

サイクルタイム（Cm）

ブルドーザ　：掘削押土作業　：Cm＝0.027×l＋0.79　(min)
　　押土敷均し作業：Cm＝0.030×l＋0.79　(min)

バックホウ　：旋回角度　45°：28　(sec)　135°：32　(sec)
　　90°：30　(sec)　180°：35　(sec)

ダンプトラック：$Cm=\frac{4.8}{1000}\times l+16$　(min)

スクレーパ　：$Cm=\frac{1.1}{100}\times l+1.25$　(sec)

l　：運土距離　(m)

作業効率（E）　上段：ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ　中段：ﾊﾞｯｸﾎｳ　下段：ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ

土質条件＼現場条件	地山状態 良好	地山状態 普通	地山状態 不良	ルーズ状態 良好	ルーズ状態 普通	ルーズ状態 不良
砂	0.85	0.80	0.75	0.90	0.85	0.80
	0.80	0.65	0.50	0.85	0.70	0.55
	—	—	—	0.90	0.90	0.90
砂質土	0.85	0.80	0.75	0.90	0.85	0.80
	0.80	0.65	0.50	0.85	0.70	0.55
	—	—	—	0.90	0.90	0.90
レキ質土	0.70	0.65	0.60	0.75	0.70	0.65
	0.75	0.60	0.45	0.80	0.65	0.50
	—	—	—	0.90	0.90	0.90
粘性土	0.65	0.60	0.55	0.70	0.65	0.60
	0.75	0.60	0.45	0.80	0.65	0.50
	—	—	—	0.90	0.90	0.90
岩塊・玉石	0.50	0.45	0.40	0.55	0.50	0.45
	—	—	—	0.65	0.50	0.35
	—	—	—	0.90	0.90	0.90

とその施工段階における直感により、日目標土工量を設定し、現状における施工機械の作業効率をもとに行なっている。そこで、土工事における施工機械の機械経費の特性について、まず日目標土工量の側面から検討を行なった。

また、施工機械の作業能力は、土質や現場における施工の難易、運搬距離などの施工条件により異なる。このため、これら施工機械の機種選定や台数の検討においては、運土ルートの距離による要因が大きいと考えた。次に運搬距離の側面からも検討を加えた。

これら土工事費用の特性に関する評価項目としてここでは、計画段階における工事費用の概算の検討にも容易に使用できる土工量 1m³当たりの単価を用い、掘削から敷均し作業までの施工機械の機種及び規格などの選定及び作業効率については、表1に示した積算基準にもとづく指標を使用することとした。また、施工計画作成段階における概略費用の把握のため、機械経費の算定のための施工条件として運搬距離、土質、作業現場の状況及び稼働時間を設定した。

a）日目標土工量の設定と土工事費用の分析

日目標土工量は、土の運搬が大きな比重を占める土工事においては、施工速度と大きな関連があるといえる。そこで、土工事の急速施工にともなう工事費用の変化の特性分析では日目標土工量の変化との関係から考察することが可能であると考えた。なお、日目標土工量の設定では、500(m³/日) から10000(m³/日)までの10(m³/日)単位に設定し、評価項目として取り上げた「土工量 1m³当たりの費用」では、先に述べた施工機械の組合わせの中から機械経費の最も安いものを選ぶこととした。

ここで、日目標土工量による施工単価の変移についての計算結果の一部を図1に示す。さらに、重回帰分析による分析結果も同図中に示す。

この結果からもわかるように、工事施工速度に関わらず機械経費に対する工事費用単価はほぼ一定の数値になることがわかる。また、急速施工になればなるほど単価の周期変動は小さくなった。つまり、大規模な造成工事においては、土工量 1m³当たりの工事費用単価の変動が少ないことがわかった。このことから、各作業の施工能力の不均衡さを考慮して施工機械の編成を検討して積極的に施工機械を投入することにより、急速施工を安定して行なうことが可能であると考えることができる。しかし、小規模な造成工事や低速施工を行なう工事では、土工量 1m³当たりの工事費用単価の変動が大きくなるために、この方法で対応することは危険である。その場合には、各作業の施工能力を均衡させるとともに、その作業量に応じた施工機械の機種を選定する必要

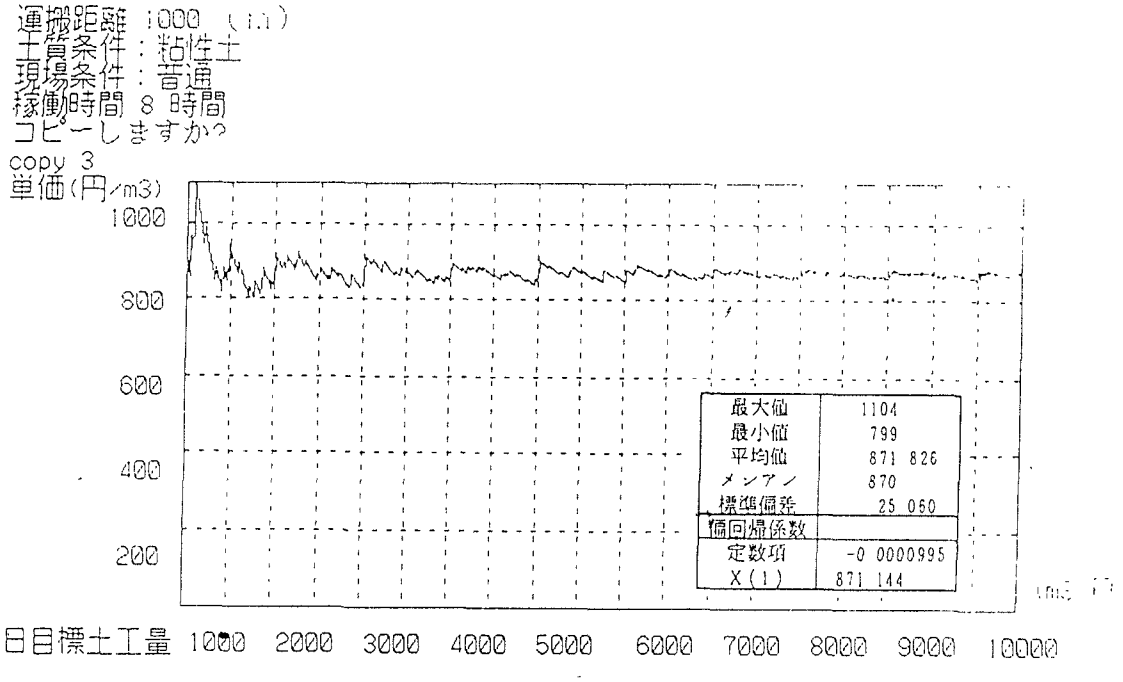
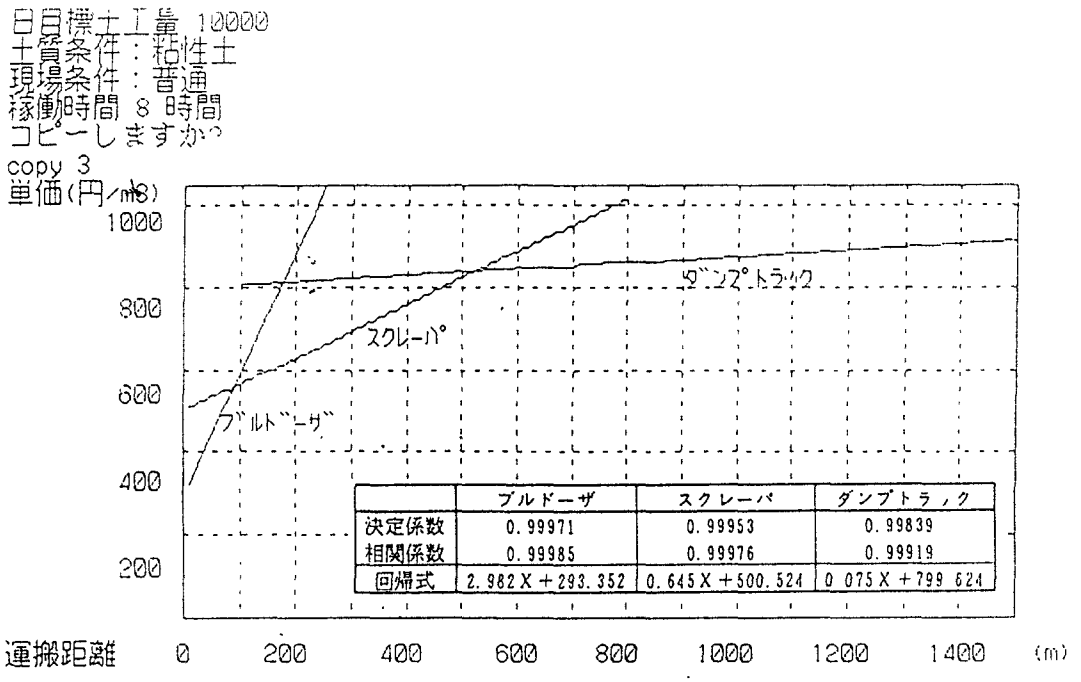


図1．日目標土工量による工事費用分析結果（粘性土）



	ブルドーザ	スクレーパ	ダンプトラック
決定係数	0.99971	0.99953	0.99839
相関係数	0.99985	0.99976	0.99919
回帰式	2.982X＋293.352	0.645X＋500.524	0.075X＋799.624

図2．運搬距離による工事費用分析結果（粘性土）

がある。

b）運搬距離からみた土工事費用分析

運搬距離の観点から土工事費用の分析を行なうことにより、土工事の運土ルート距離にともなう工事費用の特性に関して考察することとした。なお、運搬距離の設定に関しては、表1に示す施工機械に関して10mから1500m間で10m単位ごとの運搬距離を設定した。また、評価項目には、「土工量 1m³当たりの費用」を用いることとした。

運搬距離による施工単価の推移についての計算結果の一部を図2に示した。なお、重回帰分析によりこれらを分析した結果も同図中に示す。

この分析結果からもわかるように、土工事における機械経費の費用単価は、運土距離の変化と線形関係を持つ。この結果、次節の土量配分計画における目的関数を、従来の仕事量最小化から工事費用最小化に変更することは可能であると考察でき、実際の施工を考慮した工事費用最小の土量配分計画も行なえるようになったものと考える。

3．運土管理のための支援情報システムの役割に関する考察

土工事は、「土」の掘削・積込み・運搬・敷均し作業等々を中心として、比較的単純なサイクル作業として構成され、その繰り返しにより施工される。その作業内容は単純であり、詳細工程計画を立案するための工程要素も非常に少ないため、現場レベルでの合理的な運土管理計画の策定には、他の工事以上の工夫が必要であると考える。

また、工事が大規模になるにともなって施工空間も大きくなり、施工自由度も増大する。このために、日々に変化する土工量や施工機械の運搬ルートと距離を事前に正確に算定することも容易な作業ではなくなる。その上、地形の複雑さや土質構成の多様さのため、日々の施工条件を的確に把握することも非常に困難になってくる。

これら土質、施工場所、土工量、運搬距離などは、施工機械の機種の選定及び組合わせを決定する上で重要な検討要素である。しかし、従来の現場技術者の経験と勘による検討方法では、一貫して最適な施工機械の選定を行なうことが困難である。さらに、時間の経過にともなって地形が複雑に変化するために、視覚的な検討情報を用いないで運搬機械の走行性を考慮しつつ運土ルートを詳細に設定することなどは非常に困難な作業となってくる。

本研究では、上述のような課題や問題点をもつ計画問題を効率的・合理的に解明していくためには、効果的な支援情報システムの介在が不可欠であると考えた。そこで、土工事の現場レベルにおいて詳細

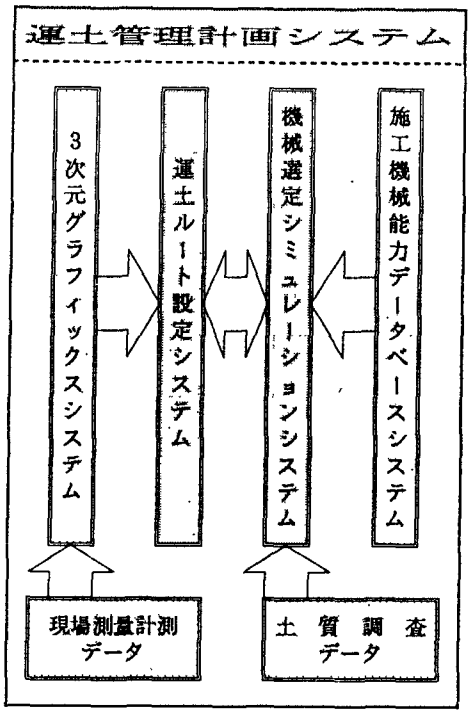


図3．運土管理計画システム

工程計画を立案するために必要なシステムとして、図3に示すような運土計画管理のための支援情報システムを提案した。

（1）運土計画のシステム化のための支援情報システム

一般に運土機械の施工能力は、運土ルートの勾配の影響を大きく受け、上り勾配であれば機械の進行速度・作業効率は低下し、下り勾配であれば進行速度・作業効率は向上する。つまり、ブロック間の距離が短くても上り勾配であれば、運土距離にみあった施工能力を発揮できることができず、一方、運土距離が多少長くても下り勾配であれば、その距離以上の施工能力を発揮することができる。つまり、従来からの運土計画で用いられている平面的な情報だけでは、機械の施工性の判断ができないために、工事の目的合理性を確保できているとはいえない。

さらに、工事の進捗に伴う地形の変化は、運土作業の施工条件（施工面積、運土ルート等）も変化させるので山間部の造成工事においては地形変化が複雑になる。つまり、運土機械の施工性を考慮するならば、仮設道路設定方法の明確化がより重要であるので、土量配分計画の策定では、時間的に変化する地形の形状などを考慮した運土ルートの設定の検討を行なうことが効果的であると考える。

そこで、本研究では勾配による施工効率を導入することによって、投入機械の施工性をより的確に計画者に提供できると考え、そのための土量配分モデルの開発を行った。このような土量配分計画の策定プロセスを図4に、概略運土ルートの設定プロセスを図5に示した。

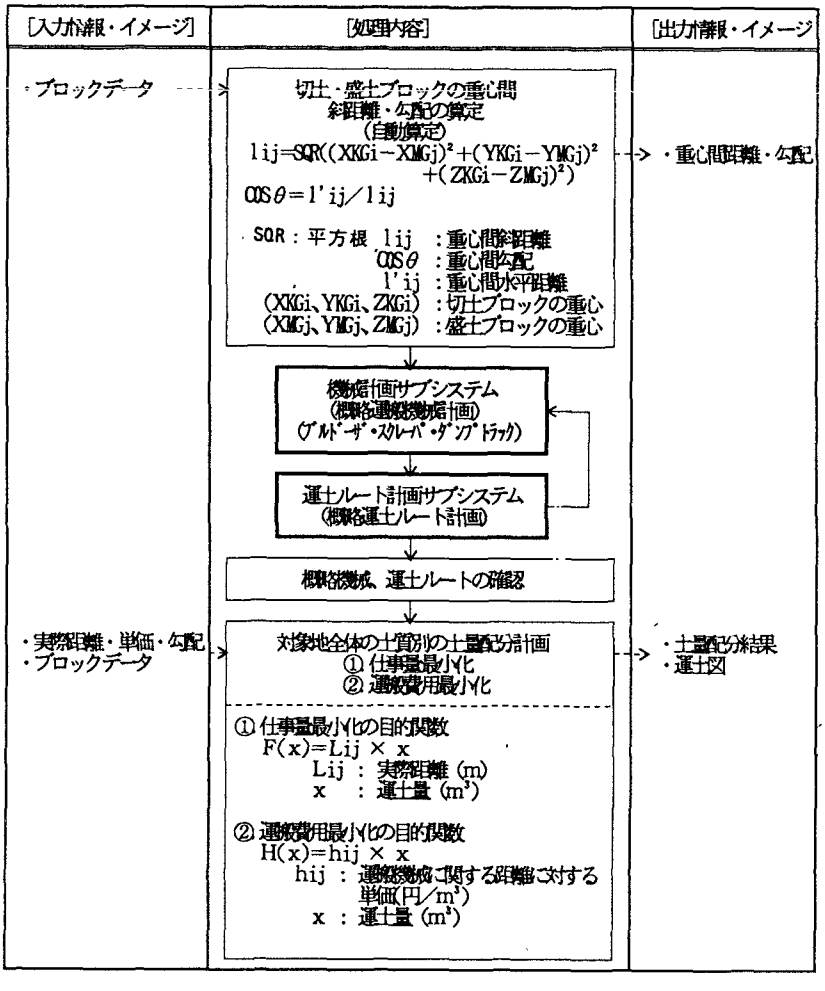


図4．土量配分計画における計画検討フロー

a）運搬機械の施工性を考慮した概略運土ルートの設定情報

一般的に、運土距離はブロックの重心と重心との直線距離で示される。しかし、ブロック間に工事の対象外の山や谷あるいは池などがある場合、実際

の施工段階では機械の施工能力を考慮すると直線では運土せずに迂回して運土作業を行なう。すなわち、合理的な土量配分計画を策定するには、原地形の状態から運搬機械の機種を想定した走行可能なルートを探索し、各施工場面における迂回路の距離を算出することが不可欠である。

本研究では、迂回路の距離を運土距離の水平距離、切土と盛土ブロックの重心の差によるルートの勾配から算出し、施工段階ごとの運土距離情報を求めることとした。なお、ルート勾配については次に示すような式によって算出した。

$$\mathrm{TAN}\theta = (Z_{GG1} - Z_{GG2}) \div L_1$$

- $\mathrm{TAN}\theta$ ：勾配
- Z_{GG1} ：切土ブロックの重心
- Z_{GG2} ：盛土ブロックの重心
- L_1 ：ブロック間の運搬距離

また、概略運土ルートの設定条件については、現場技術者に対するヒヤリング調査を行い、この結果をもとに以下のように整理した。

①既存道路を運搬ルートとする。

②尾根線、谷線を運搬ルートとする。

③土地利用計画による新規道路を仮設道路とする。

④排水性の良い水の流れる近くに運搬ルートを設定する。

⑤タイヤ系運搬機械を使用するときは、工期の最後まで使用可能な仮設道路を運土量の多い所に設定する。

⑥勾配、地盤の土質、土地買収、構造物、環境保全等を考慮して設定する。

b）土量配分計画モデルについて

土量配分においては、切土地区から盛土地区に運び込まれる土が土質工学的に安定なものであることが必要である。そのための検討としては、土量配分を行う前に、予め与件の土質情報にもとづき、切土と盛土の土質が一致しないブロックに関しては、その切土ブロックから盛土ブロックに運び込まれないように運土の組み合わせを設定しなければならない。そこで、工事地域における地形と土質情報をコンピュータグラフィックスを活用して視覚的に提供することとした。

（2）機種選定とその組み合わせ方法のシステム化に関する検討

一般に、工事に使用する施工機械の機種を適正に選定することは、運土管理計画において最も重要な業務である。また、工事の品質、工期、経済性のみならず安全、工事公害問題にも影響することが多い。このため、機種選定において工事の条件と工事がおかれている環境を的確に把握し、最も適した機種を複合的・総合的な組み合わせとして選定する必要がある。また、機械化施工の規模が大きくなる傾向の強い山間部工事においては、掘削から敷均しまでの作業のための各種の機械がその作業条件に応じて適宜組合わされて、一貫した作業を行なうことが多い。しかし、個々の施工機械が多様に変化する現場条件のもとでは、その組合わせ機械の能率が不均衡な状態になりやすく、工期の遅れや工事費用の増大につながりかねない。つまり、現場条件を考慮して、一群の機械の作業能力のバランスを確保するとともに、それらに関する迅速な検討が可能であるような検討システムの開発が必要であると考えた。

本研究では、文献調査及びヒヤリング調査をもとに、現場の施工条件を考慮した施工機械の機種選定のプロセスを次のようにシステム論的に整理することとした。すなわち、そこでは主力

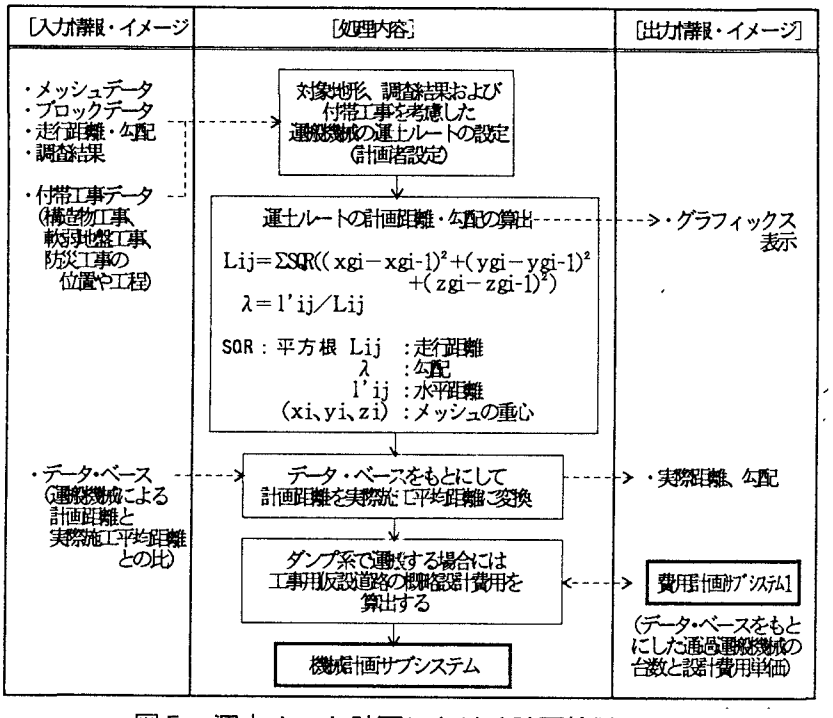


図5．運土ルート計画における計画検討フロー

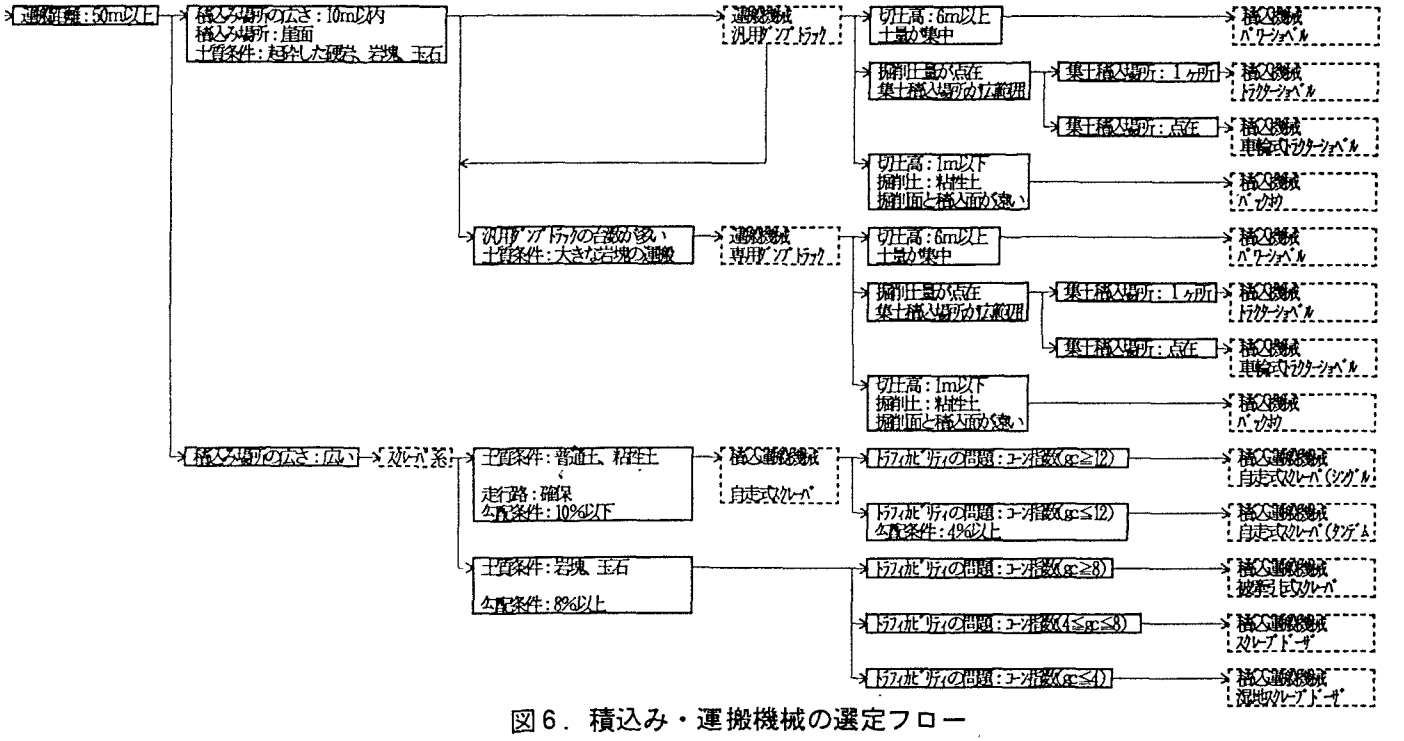


図６．積込み・運搬機械の選定フロー

作業である運搬作業と積込み作業を中心とした施工機械の機種選定の方法について、選定プロセスの一部を図６に示すような形に階層化したエキスパートシステムとして構築した。

また、選定した運搬機械と積込み機械の主力機械が、施工能力を最大に発揮するとともに、掘削機械と敷均し機械等の他の機械系との作業能力のバランスが確保されるように規格、台数を選定していくことが必要である。このための策定プロセスを図７に示すように整理し、これにもとづいたシミュレーションシステムとして構築することとした。なお、機械能力に関わる作業係数及び作業量算定は、土質と作業の容易さという尺度にもとづいて分類することとした。

a）日目標土工量の算出

土工事の工程計画を作成する上では、工事を制約工期内に納めることが重要であると考えられる。しかし、”いつ””どれだけの土量”を施工すれば良いかといった情報がないために、投入機械や投入チーム数の設定が困難となる。そこで、先に算出した総土工量と、その地域の天候条件と制約工期を考慮して実質稼働日数を算出するとともに、日目標土工量を算出することとした。

日目標土工量の算出にあたっては、土質により施工効率が異なるので土質別に総土工量を算出し、その土質の土工を行う場合の施工効率を過去のデータから推定し、次のように算出することとした。

$$T = (\alpha_x \times V_x) \div (t \times \beta)$$

- T ： 目標日土工量
- α_x： 土質Xの施工効率
- V_x： 土質Xの総土工量
- t ： 制約工期
- β ： 天候などによる稼働率

b）投入する施工機械の機種設定と台数算定

次に、施工場所、土工量及び運搬距離から投入機械の機種選定を行ない、日目標土工量との関係のもとでその台数を算定することとした。施工機械の機種選定にあたっては、「建設省土木工事積算基準」をもとに整理した土工事施工機械の組合わせ表にもとづき計画者の判断で設定する形式を用いることとした。さらに、選定した施工機械の台数の算出にあたっては、先に表１に示した作業効率や算定式を参考にすることとした。

4．支援情報システムの適用例

ここでは、本研究において提案した詳細運土ルートの設定と施工機械の選定の運土管理計画支援情報システムを実際の工事に適用することにより、その実証的検討を行なうこととした。

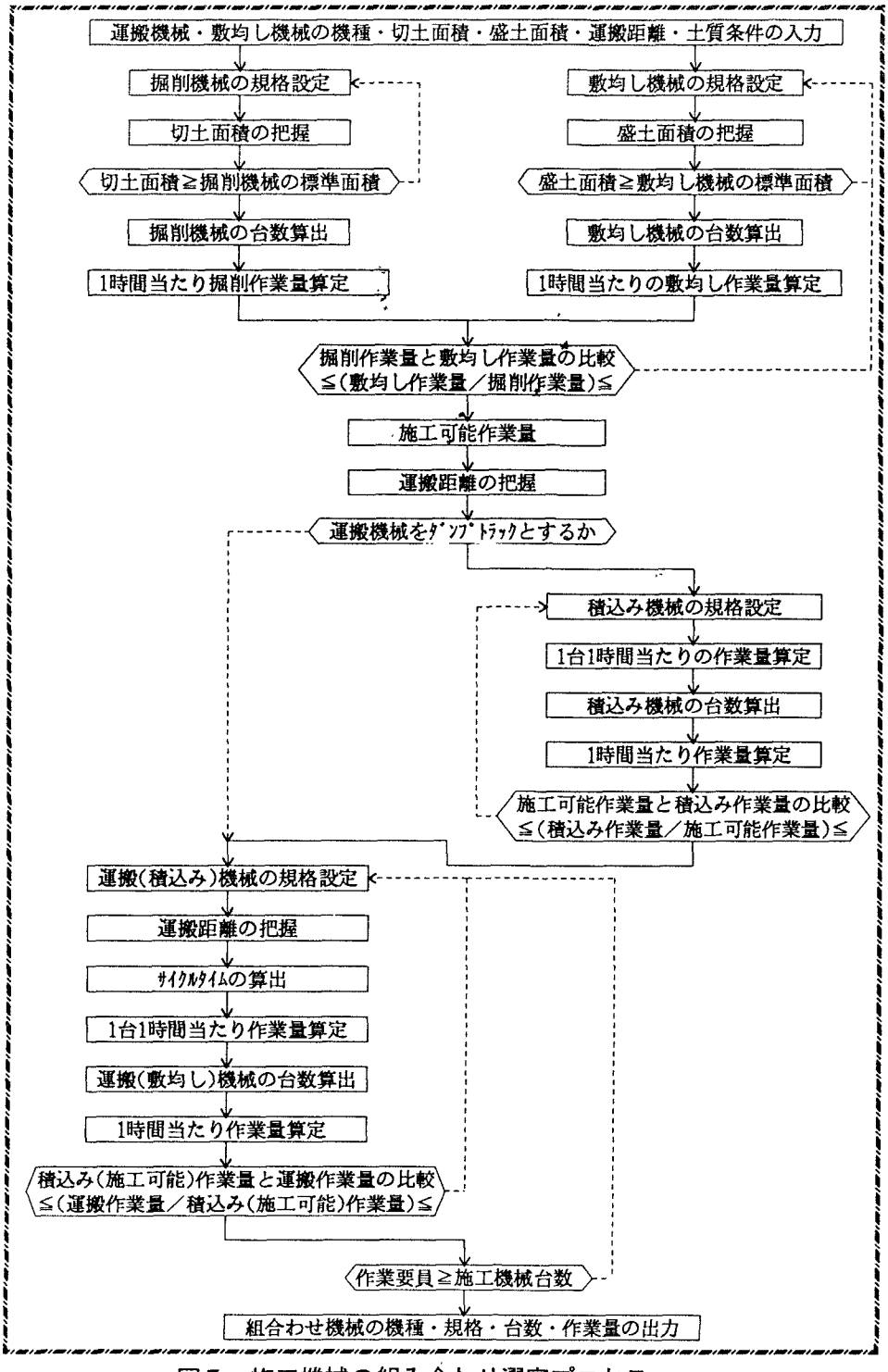


図７．施工機械の組み合わせ選定プロセス

（２）支援情報システムの適用に関する考察

本研究における運土管理計画検討のための支援情報システムを適用するにあたり、与件となる概略施工計画案を表２に示し、仕事量最小を目的関数として求めた土量配分結果を表３に示した。

ａ）運土ルート設定に対する検討

ここでは、表２で示した概略施工計画案による概略工程計画にもとづいて、施工管理段階での詳細な地形の変化の把握と、その地形変化を考慮した運土ルートの設定をコンピュータグラフィックスを積極的に活用した本システムを適用して行うこととした。なお、対象工事は中規模造成工事と考えられたため、週別の運土管理計画案の策定を行なうこととした。

造成工事の地形変化については、コンピュータグラフィックスを活用した情報処理により対象地形の変状況の視覚的な把握を行なった。すなわち、各施工段階における軟弱地盤の位置、尾根線、谷線や既存道路などの地形情報をもとに、メッシュ単位で詳細運土ルートの設定を行なって運搬距離と勾配を算定した。

なお、当該工事における各週別の運土作業の掘削面積、敷均し面積、運搬ルート距離及びその勾配等の算定結果を表４に運土ルート図を図８に示した。

ｂ）機械選定シミュレーションによる検討

ここでは、各週別の運土作業の掘削面積、敷均し面積、運土ルート距離及びその勾配をもとに、施工管理段階での現場施工条件を考慮して掘削から敷均しまでの施工機械の編成を設定した。

まず、図６には一部の検討項目を掲載したがここに示すように、ここでは、各週別の運土作業における掘削作業の難易度、運搬機械のトラフィカビリティによる走行性、あるいは土質条件等の現場施工条件、等々を考慮して土工事の主力機械と考えられる積込み機械及び運搬機械を選定することとした。主力機械の選定方法については、本研究において開発した「施工機械選定システム」を適用した。

表２．概略施工計画案

施工順序	運土作業	制約期日（日）		施工期間 開始（日）	施工期間 終了（日）	施工期間（日）	土工量（m³）	概略工事費（円）
1	切土２ブロック 盛土２ブロック	1	139	1	42	42	94,009	47,930,000
2	切土２ブロック下層 盛土１ブロック上層	26	142	43	45	3	6,302	5,380,000
3	切土６ブロック 盛土１ブロック下層	1	132	46	55	10	22,600	18,330,000
4	切土４ブロック 盛土３ブロック	51	192	56	80	25	54,845	33,340,000
5	切土２ブロック下層 盛土４ブロック	56	160	81	87	7	15,363	9,330,000
6	切土３ブロック下層 盛土４ブロック	56	147	88	106	19	41,964	28,990,000
7	切土１ブロック 盛土１ブロック	39	168	107	132	26	59,200	103,810,000
8	切土２ブロック下層 盛土１ブロック上層	65	170	133	134	2	3,156	3,580,000
9	切土３ブロック上層 土捨て場５ブロック	41	150	135	150	16	36,071	19,850,000
10	切土３ブロック下層 盛土３ブロック	86	192	151	151	1	1,613	1,330,000
11	切土３ブロック下層 盛土４ブロック	76	180	152	160	9	19,042	13,730,000
12	切土５ブロック 盛土３ブロック	51	192	161	192	32	72,080	48,820,000

施工機械の機種と規格の組み合わせを抽出するとともに、主力機械である運搬機械の稼働状況に遊びがおこらないように一連の施工機械の組合わせを選定した。また、作業ごとの機種及び規格の組み合わせを表５に示した。

ｃ）施工機械変更のタイミングに関する検討

ここでは、週別の運土作業の施工機械の編成を策定する際に、施工機械の一部変更のタイミングの検討方法について述べることとする。そこで、週別の運土作業において、各作業の作業効率を考慮して策定した施工機械の編成の組合

表３．土量配分結果

上段：運土量(m³)　中段：運土距離(m)　下段：勾配(tanθ)

	盛土1ﾌﾞﾛｯｸ	盛土2ﾌﾞﾛｯｸ	盛土3ﾌﾞﾛｯｸ	盛土4ﾌﾞﾛｯｸ	土捨場ﾌﾞﾛｯｸ	(m³) 切土土工量
切土1ﾌﾞﾛｯｸ	59200.00 219.00 0.1278					59200.00
切土2ﾌﾞﾛｯｸ	9458.00 271.00 0.1102	94009.00 127.00 0.1681		15363.00 184.00 0.1352		118830.00
切土3ﾌﾞﾛｯｸ			37684.00 216.00 0.1185	61006.00 313.00 0.0981		98690.00
切土4ﾌﾞﾛｯｸ			54845.00 167.00 0.1357			54845.00
切土5ﾌﾞﾛｯｸ			36009.00 274.00 0.0964		36071.00 896.00 0.0578	72080.00
切土6ﾌﾞﾛｯｸ	22600.00 424.00 0.0857					22600.00
(m³) 盛土土工量	91258.00	94009.00	128538.00	76369.00	36071.00	426245.00
						総仕事量 118456072

当該現場の施工条件においては、土質を粘性土、稼働時間を 8時間及びトラフィカビリティをgc＝12とした。また、週別の運土作業の現場施工条件は、掘削土量の位置、集土積込み場所の位置と広さ、切土高、さらに運土ルートの距離及び勾配等を各施工段階ごとに設定した。

つぎに、前節の図７に示したように、施工機械の作業能力のバランスを考慮しつつ、掘削機械及び敷均し機械の作業面積に対する施工能力が最大になるわせ案の中から、経済性及び資源調達の側面から合理的・効率的な詳細機械計画案を策定することとした。ここで各運土作業における施工機械の機械経費の推移を図９に示した。

ここでは、切土２ブロックから盛土２ブロックへの運土作業を対象例にとりあげ、作業効率を考慮した施工機械の編成案群の中から、土工量 1m³ 当たりの機械経費単価の安い２つの編成案の土工事施工の経過にともなう機械経費の推移を表わした。この

表4．想定工事の施工面積及び運土距離等の算定結果

	週	切土面積 (100㎡)	盛土面積 (100㎡)	運土ルート距離 (m)	運土ルート勾配 (tanθ)	土工量 (100m³)
切土2ブロック～盛土2ブロック	1	29	36	251	0.106	112
	2	62	72	220	0.116	112
	3	64	80	219	0.101	90
	4	76	84	218	0.091	90
	5	100	112	215	0.081	112
	6	108	140	188	0.082	90
	7	108	168	182	0.079	90
	8	100	172	146	0.091	90
	9	100	188	142	0.080	67
	10	88	32	123	0.085	83
切土2ブロック下層～盛土1ブロック下層	1	80	36	314	0.089	63
切土6ブロック～盛土1ブロック下層	1	12	40	511	0.089	23
	2	20	56	478	0.081	90
	3	21	80	462	0.071	112
切土4ブロック～盛土3ブロック	1	28	32	341	0.100	90
	2	52	92	286	0.089	90
	3	64	132	231	0.086	112
	4	72	152	257	0.080	90
	5	64	168	212	0.089	90
	6	19	200	150	0.110	74
切土2ブロック下層～盛土4ブロック	1	84	25	190	0.107	112
	2	52	72	148	0.109	40
切土3ブロック上層～盛土4ブロック	1	29	72	396	0.093	112
	2	70	84	403	0.073	112
	3	96	88	381	0.070	90
	4	100	68	380	0.066	103
切土1ブロック～盛土1ブロック	1	17	80	330	0.120	90
	2	29	72	301	0.097	90
	3	32	80	273	0.071	90
	4	60	64	249	0.059	112
	5	62	72	217	0.080	90
	6	36	61	186	0.076	118
切土2ブロック下層～盛土1ブロック上層	1	24	15	211	0.041	31
切土3ブロック上層～盛土5ブロック	1	108	50	879	0.050	67
	2	116	50	881	0.047	112
	3	100	50	891	0.042	90
	4	88	50	922	0.034	90
切土3ブロック下層～盛土3ブロック	1	80	212	230	0.081	16
切土3ブロック下層～盛土4ブロック	1	68	64	332	0.060	55
	2	54	56	328	0.055	67
	3	23	49	283	0.056	67
切土5ブロック～盛土3ブロック	1	19	212	406	0.078	90
	2	84	224	334	0.073	90
	3	124	248	352	0.066	90
	4	152	264	295	0.076	90
	5	164	284	291	0.073	90
	6	148	312	284	0.070	67
	7	132	324	262	0.075	90
	8	92	112	265	0.073	111

図から、施工初期段階（第1層目から第5層目まで）では、敷均し機械のブルドーザ 9tの方がブルドーザ11tと比較して、約 8.1万円安いことがわかる。しかし、施工6段階目以降においては機械経費の推移が逆転している。そして施工7段階目には、敷均し機械のブルドーザ11tの方がブルドーザ 9tと比較して約15.8万円安くなっていることがわかる。

本研究で開発したシステムでは、このような施工過程における投入機械の変更を含めてより詳細な機械計画案の策定のための検討情報が求められているものと考える。

5．おわりに

本研究では、まず土工事における工事費用の特性について考察した。そしてその考察の中で機械経費の重要性について着目して分析を加えた。すなわち、そこでは機械経費を施工速度と運土距離の関係という側面から捉えて分析を加え、その特性についての考察を行った。また、施工管理計画において、地形の変化を考慮した運土ルートの設定と、詳細な施工機械の選定を行うための運土計画支援情報システム

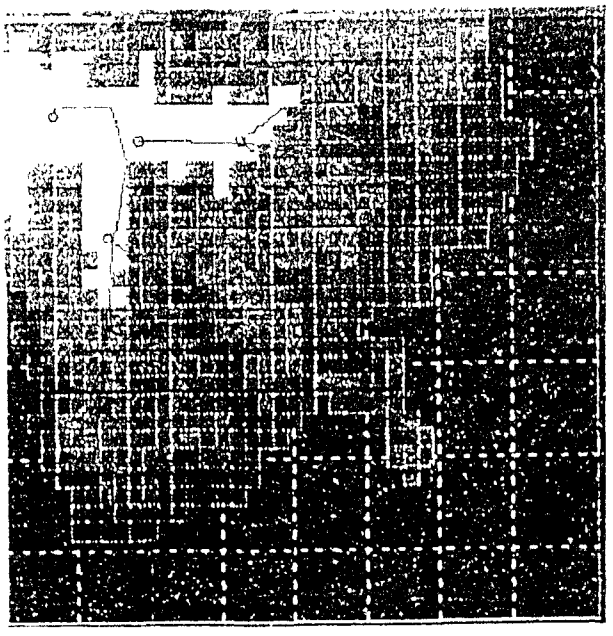


図８．運土計画図

の開発を行うとともにその適用例を示した。

以上のような本研究の成果は次のように取りまとめることができる。すなわち、

１）本研究において提案した運土計画支援情報システムにより、従来土工事において課題とされてきた施工順序による地形変化の把握や、施工順序による地形の形状を考慮した運土ルートの設定、さらに施工条件の変化に伴う投入機械台数、等々を運土計画案策定のための運土実験から求めることが可能となった。

２）土工事の施工機械の特性に対して考察が可能になった。

最後に今後の課題としては、

１）本研究において提案した支援情報システムは、プロトタイプシステムであるので、実際の工事において適用を重ねることにより、実用性の向上を図る必要がある。

２）土質調査、測量調査等の詳細データにもとづいたより詳細な費用分析を行う必要がある。

等が挙げられる。

【参考文献】

1)吉川和宏・春名攻：建設工事計画における総括工程計画モデルの開発研究，土木計画学論文集，1984

2)春名攻：土木工事のマネジメントシステムの設計方法について，土木施工と情報，1983

3)総合建設技術研究会：改訂４版　宅地造成設計施工の手引き、大成出版社，1988

4)伊丹康夫：建設機械の施工と管理，（財）建設物価調査会，1990

5)石川六朗：システムズアプローチによる工事管理，鹿島出版会，1987

6)三島八郎：宅地造成工事の調査と設計と施工，鹿島出版会，1991

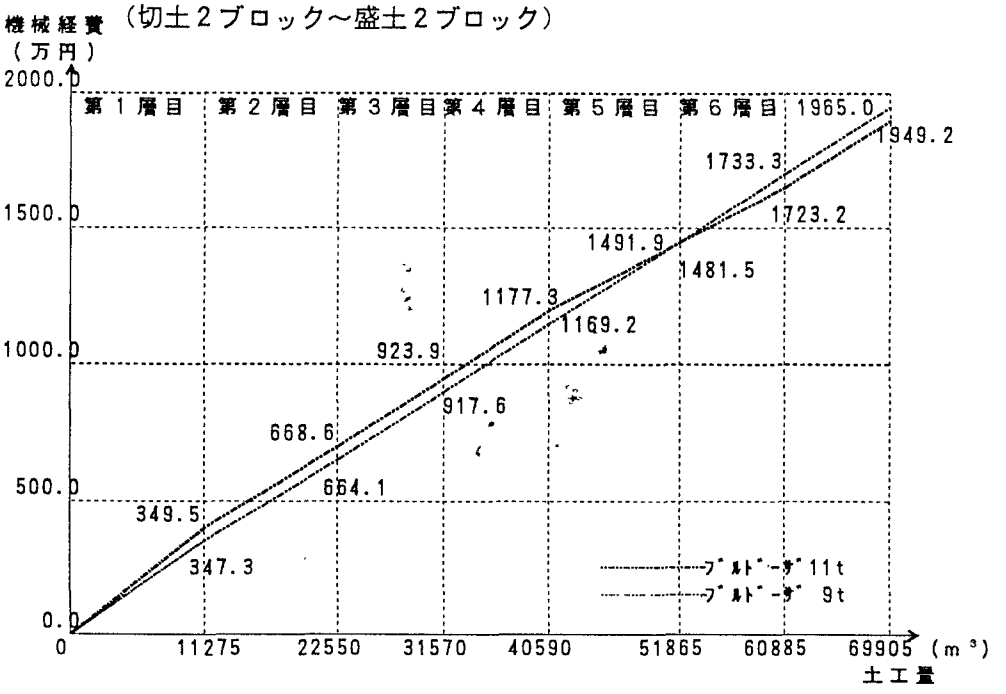
7)宅地防災研究会：宅地防災マニュアルの解説，1992

8)春名攻：土木工事マネジメントシステムの概念設

表５．各作業における施工機械の機種及び規格の組み合わせ結果

運土作業(切土)	運土作業(盛土)	案	掘削機械機種・規格	積込機械機種・規格	運搬機械機種・規格	敷均機械機種・規格
切土1ﾌﾞﾛｯｸ	盛土1ﾌﾞﾛｯｸ	①	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾓｰﾀｽｸﾚｰﾊﾞｼﾝｸﾞﾙ16m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		②	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	被牽引式ｽｸﾚｰﾊﾞ9m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
切土2ﾌﾞﾛｯｸ下層	盛土1ﾌﾞﾛｯｸ下層	①	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾊﾞｯｸﾎｳ0.6m³	ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ11t	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
切土2ﾌﾞﾛｯｸ下層	盛土1ﾌﾞﾛｯｸ上層	①	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾊﾞｯｸﾎｳ0.6m³	ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ11t	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
切土2ﾌﾞﾛｯｸ	盛土2ﾌﾞﾛｯｸ	①	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾓｰﾀｽｸﾚｰﾊﾞｼﾝｸﾞﾙ16m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		②	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	被牽引式ｽｸﾚｰﾊﾞ9m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		③	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾊﾞｯｸﾎｳ0.6m³	ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ11t	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
切土2ﾌﾞﾛｯｸ下層	盛土4ﾌﾞﾛｯｸ	①	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾓｰﾀｽｸﾚｰﾊﾞｼﾝｸﾞﾙ16m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		②	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	被牽引式ｽｸﾚｰﾊﾞ9m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		③	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾊﾞｯｸﾎｳ0.6m³	ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ11t	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
切土3ﾌﾞﾛｯｸ下層	盛土3ﾌﾞﾛｯｸ	①	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾓｰﾀｽｸﾚｰﾊﾞｼﾝｸﾞﾙ16m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		②	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	被牽引式ｽｸﾚｰﾊﾞ9m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		③	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾊﾞｯｸﾎｳ0.6m³	ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ11t	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
切土3ﾌﾞﾛｯｸ上層	盛土4ﾌﾞﾛｯｸ	①	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾓｰﾀｽｸﾚｰﾊﾞｼﾝｸﾞﾙ16m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		②	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	被牽引式ｽｸﾚｰﾊﾞ9m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		③	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾊﾞｯｸﾎｳ0.6m³	ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ11t	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
切土3ﾌﾞﾛｯｸ下層	盛土4ﾌﾞﾛｯｸ	①	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾓｰﾀｽｸﾚｰﾊﾞｼﾝｸﾞﾙ16m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		②	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	被牽引式ｽｸﾚｰﾊﾞ9m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		③	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾊﾞｯｸﾎｳ0.6m³	ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ11t	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
切土3ﾌﾞﾛｯｸ上層	土捨て場5ﾌﾞﾛｯｸ	①	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾊﾞｯｸﾎｳ0.6m³	ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ11t	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
切土4ﾌﾞﾛｯｸ	盛土3ﾌﾞﾛｯｸ	①	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾓｰﾀｽｸﾚｰﾊﾞｼﾝｸﾞﾙ16m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		②	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	被牽引式ｽｸﾚｰﾊﾞ9m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		③	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾊﾞｯｸﾎｳ0.6m³	ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ11t	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
切土5ﾌﾞﾛｯｸ	盛土3ﾌﾞﾛｯｸ	①	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾓｰﾀｽｸﾚｰﾊﾞｼﾝｸﾞﾙ16m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		②	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	被牽引式ｽｸﾚｰﾊﾞ9m³		ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
		③	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾊﾞｯｸﾎｳ0.6m³	ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ11t	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t
切土6ﾌﾞﾛｯｸ	盛土1ﾌﾞﾛｯｸ下層	①	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ32t	ﾊﾞｯｸﾎｳ0.6m³	ﾀﾞﾝﾌﾟﾄﾗｯｸ11t	ﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞ21t

表6．各運土作業における施工機械経費の推移



計の方法について，第6回電算機利用に関するシンポジウム講演概要，1981
9)春名攻：建設業の現場マネジメント業務のシステム化に関する研究，第14回土木情報シンポジウム，1989
10)原田満：建設工事における現場マネジメントのための工事計画・管理のシステム化に関する研究，立命館大学大学院修士論文，1992

A Developement Study of Information -Supported System for Planning of Large-Scale Earthmoving Project in Mountain Area.

In this study, two aspect of construction planning problem of large-scale earthmoving project in mountain area having been incresed recent ten years for the purpose of regional developement at local area for from metropolitan district is discussed forussing on cost analysis problem relating to efficiency of construction works by machine fleet in mountain area.

For the first aspect of construction problem the following is studied : Since workability or efficiency of mavhine fleet in mountain area depends on varance of lay of the land which is changing through construction process, analysis of machine works is implemented bassed on simulation analysis developed for this study.

For the second aspect of construction problem, the following is studied : It is very important to set transportation root between cutting area and banking area effectively according to the change of lay of land during construction process.

To obtain efficient soil transportation planning at mountain area, the planning system including transportationroot setting program is developed in this study utilizing simulation system of earthmoving work machine fleet planning.

Finallly empirical study appling two types of systems developed above is shown showing that these systems works well practically.