

大規模造成工事計画支援システムの開発研究 ～運土ルート計画を中心として～

Development Study on Computer Support System for Planning and Design of
Land Development with Large-scale Earthmoving Project

立命館大学理工学部	正 員	春名 攻 *
東洋建設株式会社	正 員	竹中 弘治 **
東洋建設株式会社	正 員	大音 宗昭 ***
(株)建設技術研究所	正 員	上山 晃 ****
立命館大学大学院	学生員	○玉井 大吾 *

By Mamoru HARUNA, Hiroharu TAKENAKA, Muneaki OTO, Kou UEYAMA and Daigo TAMAI

近年、建設工事を取り巻く環境は非常に厳しい状況下にあると言える。とりわけ、一現場あたりの現場技術者・作業員は減少し、また熟練技術者の減少化の傾向は顕著化しており、問題は深刻な状況であると言える。一方、施工現場での管理項目や管理基準は複雑・多岐の傾向にある。そのため、専門技術者としての現場職員は、適切な判断を下すことが非常に難しくなっていると言える。本研究では、大規模造成工事における施工計画を策定する際に、施工計画の各検討段階における計画者の判断・意志決定を支援する情報システムの構築を目指す事とした。また、その支援情報システムが計画者に提供する情報は、Computer-aidedな形で、迅速且つ、コンピュータグラフィックスを積極多用した情報にする事とした。

【キーワード】計画支援、運土ルート、CAD

1. はじめに

近年、我が国における建設プロジェクトの大規模化・多様化・複雑化の傾向は益々顕著になる傾向にあると言える。そのため、一般的にはこれまでのような現場技術者の経験や勘に基づいた工事施工計画の策定方法では、工事施工の基本目的である経済性・迅速性・確実性等を高いレベルで実現化させることが、非常に困難な状況にあると言える。

一方、近年の建設業界においては、熟練技術者の不足が益々顕著になる傾向にあると言える。そのため、より合目的な計画案策定のための方法論の確立

や技術者の意志決定のための支援情報システムの開発・整備がこれまで以上に重要であり、また急がれていると言える。

特に、大規模造成工事においては、高さ方向と平面方向の3次元的な広がりをもつ空間を対象としている事もあって、計画情報量が膨大であることや施工自由度が大きいといった特徴を有している。そのため、大規模造成工事における施工計画の策定作業では、施工計画の検討段階である、施工順序計画、運土ルート計画、投入機械計画といった各検討段階の設定に計画者の経験や勘を中心として意志決定がなされている。そのため、施工計画の内容に対して計画者の経験や勘が大きな影響を与えられ考える。しかし、本研究グループがこれまでに現場技術者に対して行ったヒアリング調査からは、特別な場合を除いて、これらの検討段階における「計画策定のための方法論」もしくは「計画策定の明確な制約

* 環境システム工学科	0775-61-2736
** 本社	03-3296-4723
*** 鳴尾研究所	0798-43-0661
**** 情報技術部	03-3668-0451

条件」というものは存在せず、計画者が現場状況を肌身で感じながら主観的意志決定により設定しているのが現状であるという調査結果を得た。

そこで本研究では、これら計画者の経験や勘によって目的合理性を確保してきた施工計画策定作業上の意志決定をより合理的に実施するために、計画者に対して意志決定を支援する情報をComputer-aidedな形で提供する事を可能とするシステムの開発とその一般工事における適用を目指す事とした。

本研究では、まずその第1ステップとして施工計画策定作業の検討段階の一つである「運土ルート計画」に着目して研究を進める事とした。具体的には、まず現場技術者の経験による判断を基に、運土ルートの設定方法をパターンに分類する事とした。続いて、各パターン毎の概略施工費用を算出する事とした。これにより、計画者が運土ルート設定を行う際の、意志決定の材料となり得る支援情報の提供を可能にした。

2. 計画支援システム開発に関する考察

建設工事において、周辺環境に悪影響を及ぼす事なく安全に、高品質な構造物を構築するために、新技術の開発・促進・普及とともに生産活動の合理化・高度化のためのマネジメント技術の確立が強く求められている。先にも述べたように、近年一現場当たりの現場技術者・作業員は減少し、労働力不足は顕著化し深刻な問題となっている。一方、施工現場での管理項目や管理基準は複雑・多岐の傾向にある。そのため、専門技術者としての現場職員による適切な判断を下す事が難しくなっており、AI(Artificial Intelligence)をはじめとして現場職員の意志決定を支援するシステム開発へのニーズも高まってきている。このような状況下に於いて、エキスパートシステムを始めとしたAI技術の適用事例が増加しており、有効な対応策として考えられている。ところで、可能な限り作成する施工計画の現象との整合性を高めるためには、熟練技術者の判断・意志決定機構を明確にし、より高度化された意志決定支援

システムを構築する必要があると考えられる。計画者が意志決定を行う際、検討対象問題には、「適当に構造化する事が可能な問題」と、「構造化する事が困難な問題」とが存在する。このうち、「構造化する事が困難な問題」に対しては、意志決定者である人間の果たす役割が大きく、個人の洞察力や過去の経験、価値判断が意志決定のための重要な要素となる。

このような状況をふまえ、大規模造成工事において本研究グループが提案する「概略施工計画案策定プロセス」(図-1参照)に乗っ取った施工計画策定システムの開発を行うために、現場技術者に対して施工計画の各段階(土量配分計画、運土計画、機械計画、運土ルート計画、)における意志決定構造に関するヒヤリング調査を実施した。その結果、意志決定に必要な検討項目の優先順位は、現場状況によって大きく異なり、明確な意志決定方法論が存在しない事が判明した。すなわち、このような問題に於ける判断・意志決定は、計画者が過去に経験した工事事例や技術者としての勘を基に、現場状況にマッチした判断・意志決定が行われると推測できる。つまり、このような問題は先述の「構造化する事が困難な問題」の部類に属する問題であると考えられる。しかし、このような経験や勘を基にした判断・意志決定には、判断・意志決定に至るまでのプロセスにおいて検討する計画設定方法代替案の数には限りがあり、またその設定方法代替案には特徴(パターン)を有していると考えられる。つまり、計画者はその特徴(パターン)を考慮して、現場状況にマッチした設定方法代替案を選択していると考えられる。

一方、施工計画の各段階に於いて意志決定を行う際、代替案がただ一つの場合には、その代替案を実施計画として採用する事になるが、代替案が二つ以上あり且つ、経験や勘だけで判断する事が困難な場合や、計画者が自己の判断に対する保証を確保したいと考える場合、その判断・意志決定を迅速に支援するシステムが非常に有用であると考えられる。すなわち、最適な施工計画の策定が可能であるとは限らないものの、施工計画策定段階に於ける望ましい策定の方向性を計画者に提供する事が可能になるシステ

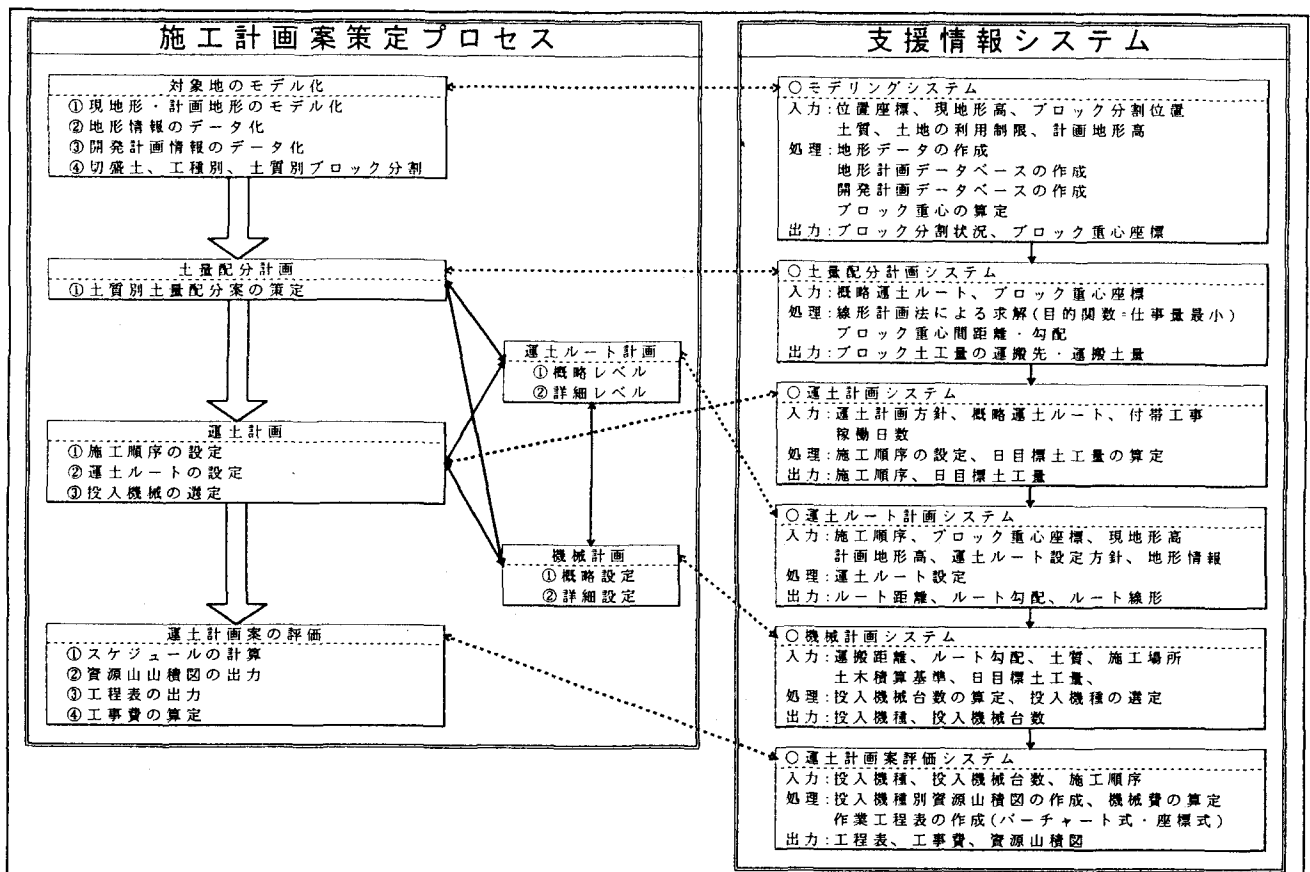
ムの開発が望まれていると言える。

そこで、本研究では大規模造成工事における施工計画を策定する際、施工計画の各検討段階に於ける計画者の判断・意志決定を支援する情報提供システムの構築を目指す事とした。本研究ではその第一ステップとして、運土ルート計画の支援情報システムの開発を行う事とした。また、この支援情報システムが提供する情報はComputer-aidedな形で、迅速且つ、コンピュータグラフィックスを積極多用した情報にする事とした。

3. 運土ルート設定方法に関する検討

先述の通り、運土ルートの設定に関する検討項目には、優先順位あるいは決定のための明確な方法論

がないため、計画者が過去に経験した工事事例や技術者としての勘を基に、現場状況にマッチした運土ルートを決定していると推測することができる。そこで、運土ルート設定方法代替案として計画者が検討する特徴（パターン）を有した設定方法を、抽出・設定する事とした。続いて、この運土ルートパターン毎のルート距離やルート上の勾配状況などをルートを表示する情報として算定する事とした。さらに、これまでに本研究グループで提案したプロセスに基づき（図－1参照）、運土ルートパターン毎に運土費用を概略レベルで算出する事で、ルートを表示する情報とする事とした。このように施工計画の策定に対して先取りの検討した運土ルートパターンを表示する情報は、運土ルートを設定するための意志決定を行う上での、支援情報になり得ると考える。



図－1 土工事計画における概略施工計画案策定プロセス

(1) ルートパターンに関する検討

運土ルートの設定をおこなう際の支援情報となり得るパターン分けは、計画者の意志決定の材料となるべく、正しくパターン分けされている必要がある。さらに、対象地が運土ルートパターンのうち、どの傾向を有するのかをみるためのものであるため、できるだけルートパターンの違いが特徴的に判別できるような設定をおこなう必要がある。したがって本研究では、以下に示す三つのルートパターンに分けることとした。すなわち、

- ① 施工段階ごとに、できるだけ直線になるように設定した場合。
- ② できるだけ直線で、かつ全施工段階を通して利用することがある程度可能な仮設道路を建設して設定した場合。
- ③ 既存道路を利用しかつ、できるだけルート勾配が小さくなるように設定した場合。（ただし、利用可能な既存道路が周辺に存在する場合に限る）の三つに分ける事とした。

また、本研究では、ルートパターンを表現する情報であり運搬機械の走行性を表現するルート勾配やルート距離を算定する為、或いは実行可能なルートパターンが設定されている事をルートパターンの設定時にチェックする為に、本研究グループがこれまでに開発した施工段階毎の対象地形状態をコンピュータグラフィックスによって表現するシステムを検討システムとして利用することとした。

ここで、①のルートパターンの処理上の設定方法としては、運土ルートを設定する場合には、切土ブロック重心から盛土ブロック重心までメッシュ単位で運土ルート設定を行う事とした。このとき、その地点において次に進行する8方向のメッシュへの移動勾配を算出する事とした。コンピュータ画面上に於ける処理としては図-2に示すように表示を行う事とした。また、この進行先メッシュへの勾配を考慮しながら、ルート設定可能な勾配方向且つ、目的地（盛土ブロック重心）と逆方向には進まない方向にルート設定を行っていく事とした。一方、このパターンで使用する運搬機械を設定する場合には、施

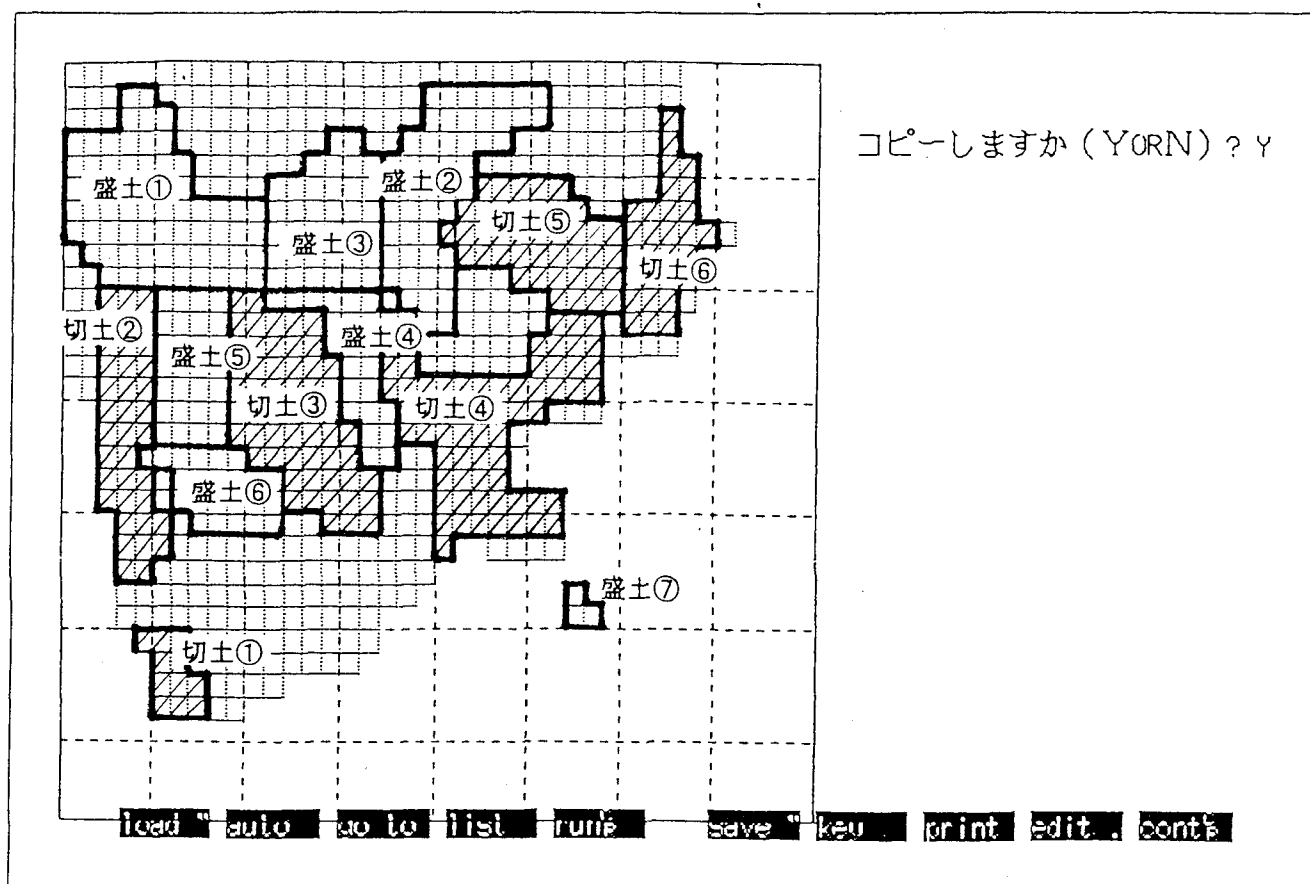


図-2 対象造成地の切・盛土ブロック分割図

工段階ごとに異なる運土ルートを設定するため、常設的な仮設道路の建設をほとんど考慮せずに作業をおこなうことができる運搬機械を投入することとした。

また、②のルートパターンの処理上の設定方法としては、運土矢線図を基にできるだけ直線になるように常設的な仮設道路のルートと区間をあらかじめ設定し、この仮設道路積極的に活用できるような運土ルートを設定を行う事とした。一方、このパターンで使用する運搬機械を設定する場合には、仮設道路建設によって運搬機械の走行性が増しているため、高速運土を可能にする走行速度が高い運搬機械を投入する事とした。しかしながら、このルートパターンでは仮設道路を建設費するため、運搬費用の中に仮設道路建設費を盛り込む事とした。

また、③のルートパターンの処理上の設定方法としては、対象地形を表現するメッシュに既存道路を示す情報を付加して、ルート設定時に表示させる事とした。これを利用して、既存道路をできるだけ利用するルートを設定する事とした。一方、このパ

ターンで使用する運搬機械を設定する場合には、運搬機械の走行性が高い運搬機械を投入する事とした。このルートパターンでは、②のルートパターンと同様に走行性の高い運搬機械の投入が可能ではあるが、仮設道路建設費を削減することが可能であり、一方で比較的運搬距離が延びる傾向にあり、また周辺環境への影響（粉塵、騒音等）を十分に考慮する必要があるという特徴を有していると言える。

(2)各ルートパターンにおける機械選定に関する検討

上述したように、本研究は運土ルートの設定方法を三つのルートパターンに分ける事により、対象とする造成地に対して三つのルートパターンのうち、どのルートパターンが適しているかを判断するものであると考える。このため、機械選定に関しては、ルートパターン毎の特徴を考慮し且つ、そのルートパターンにおいて一般的に使用される「標準的な機械の組み合わせ」を設定することとした。また、検討を簡略化するために、各ルートパターン毎に設定する「標準的な機械の組み合わせ」は、全施工段階

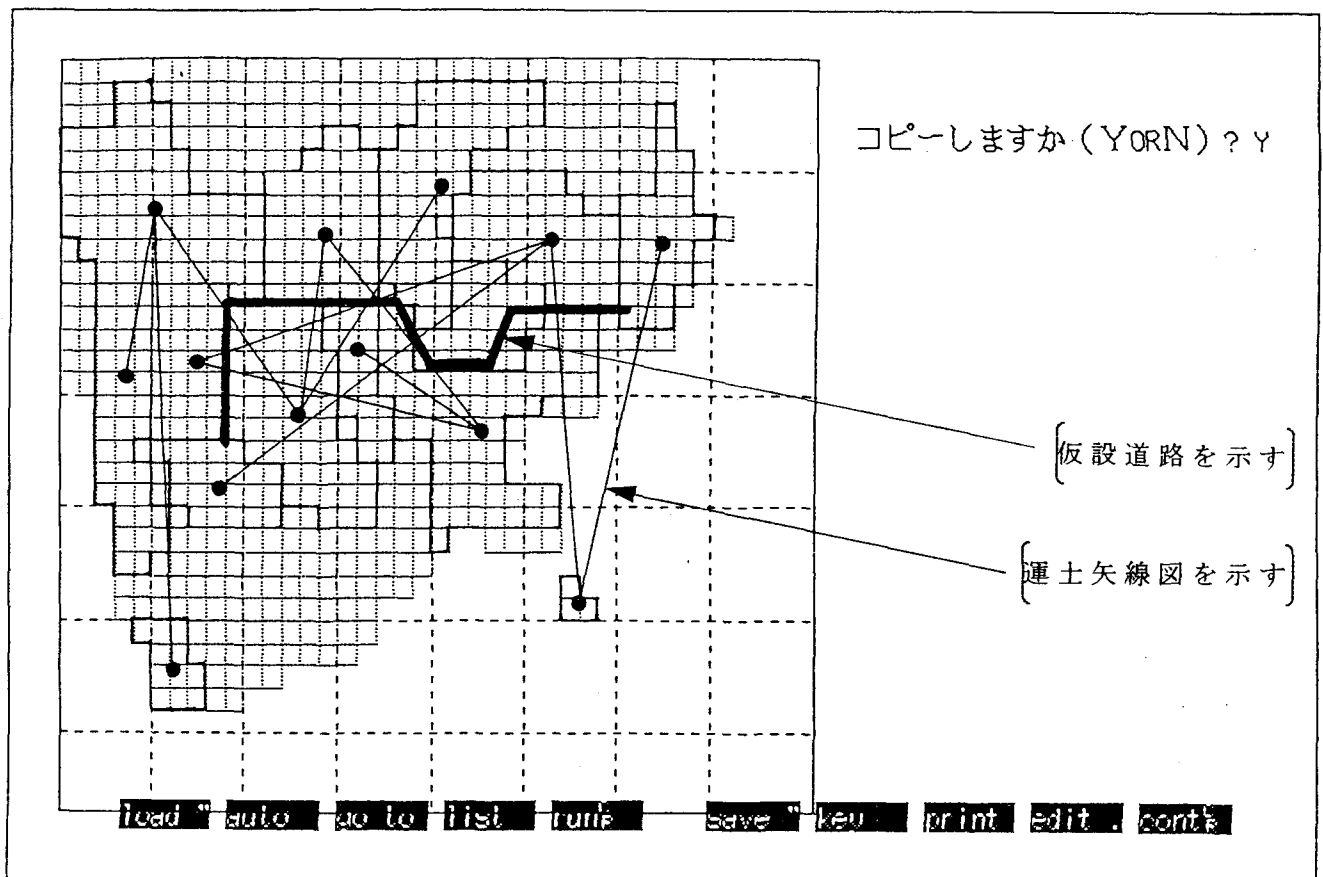


図 - 3 仮設道路の設定システムの処理画面

において統一させておく事とした。

そこで、本研究においては、各ルートパターンにおいて使用する機械の設定を以下のように行うこととした。すなわち、

ルートパターン①では、各施工段階ごとに切土ブロックと盛土ブロックを結ぶ運土ルートをできる限り直線になるように設定するため、ルート距離はかなり短くてすむが、ルート線形が大きく異ので同じルートを施工段階が変わっても繰り返し利用するような運土ルートを設定する事はかなり少ないといえる。このため、その都度仮設道路を建設することは困難であるといえる。従って、現地形に近い状態においても運搬作業を実施することが可能なモータスクレーパを投入機械として設定することとした。

ルートパターン②では、運土矢線図を利用して運土ルート設定を行う前に仮設道路の建設ルートと区間を設定するため、運搬機械の走行性はよいものと考えられる。そのため、運搬機械には高速施工が可能で運搬速度が高いダンプトラックを投入する機械編

成を設定する事とした。

ルートパターン③では、既存道路をできるだけ利用するように運土ルートを設定しているため、運搬機械の走行性はよいものと考えられる。そのため、運搬機械には高速施工が可能で運搬速度が高いダンプトラックを投入する機械編成を設定する事とした。

(3)概算費用の算定に関する検討

先述の通り、本研究ではどのルートパターンが対象造成地にマッチするのかを判断するために、ルートを表現する情報として、概算運土費用（〔機械経費〕＋〔仮設道路建設費〕）を算定する事とした。これらの費用は、建設省発行の土木工事積算基準および施工単価表等を参考に算出する事とした。また、機械経費に影響を及ぼす投入機械台数に関しては、工期・月稼働日数および土工量を使って算出した日当たり土工量と、投入機械のサイクルタイム等を用いて算出した時間当たり土工量にもとづいて設定を行う事とした。

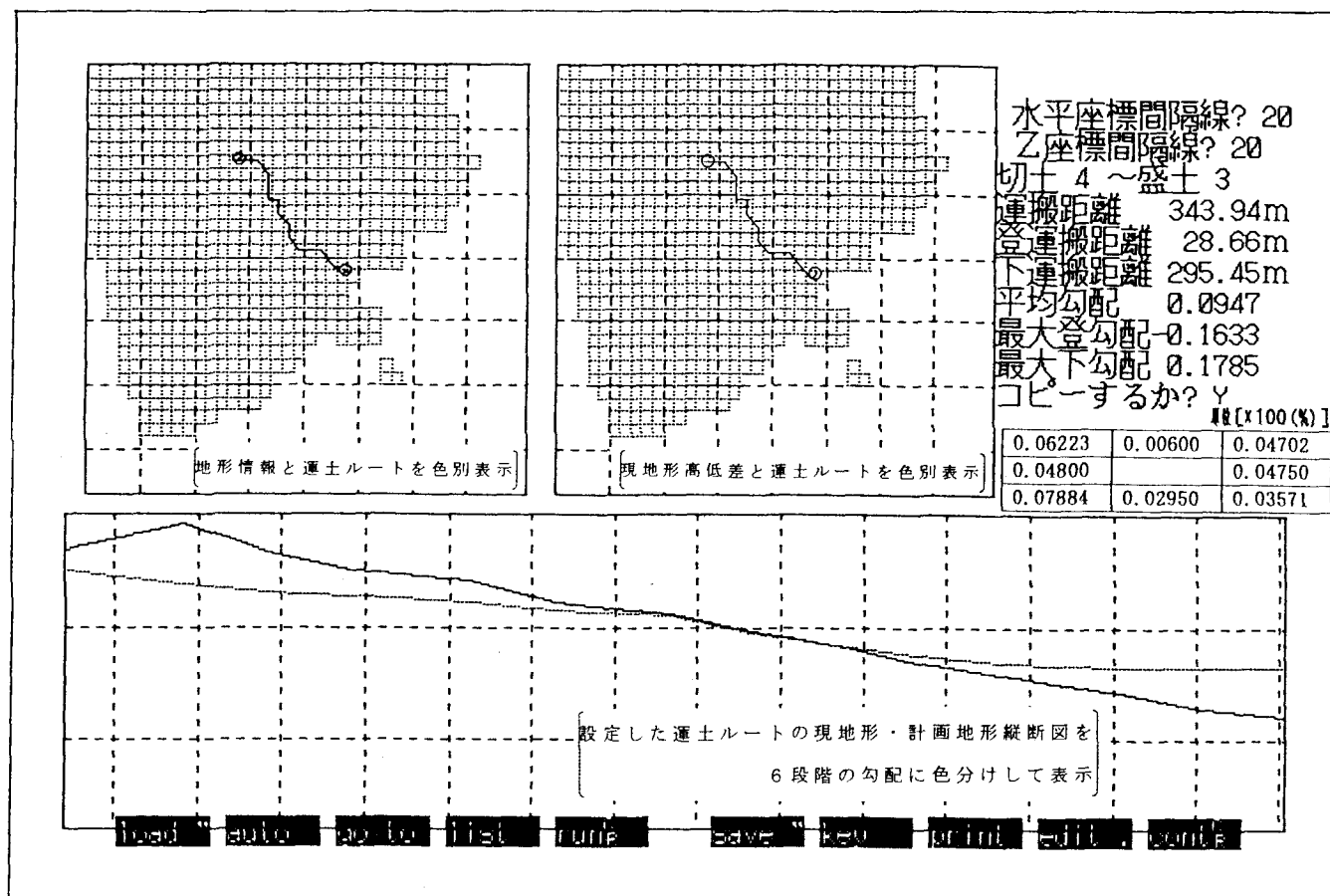


図 - 4 運土ルート設定システムの処理画面

4. 本システムの実際工事への実証的適用

ここでは、本研究で開発した大規模造成工事計画支援システムを、図-3のように六つの切土ブロックと七つの盛土ブロックに分割された土工量409,141m³の山間部中規模宅地造成工事を対象として、実証的検討を行った。ここでは、対象造成地が山間部における新規の宅地造成工事であったため、対象造成地の周辺地域において切土ブロックから盛土ブロックへの土運搬に利用できる既存道路が存在しなかった。このため、ルートパターン③に関しては除外し、ルートパターン①、②について検討を進めていく事とした。仮設道路設定の処理画面を図-3に示す。さらに、運土ルート設定の処理画面の一例を図-4に示す。また、投入機械の組み合わせに関しては、上述した理由および対象工事の規模を考

切土 ブロックNo.	盛土 ブロックNo.	運土量 (m ³)	作業日 数(日)	施工 順序
1	1	21701	10	8
2	1	56846	26	7
3	1	66285	31	4
3	2	43628	20	5
3	3	4149	2	6
4	3	75539	35	1
4	4	13844	7	2
4	5	24684	12	3
5	5	37908	18	10
5	6	6768	4	9
5	7	23071	11	11
6	7	34718	16	12

表-1 対象工事の投入機械の組み合わせ

	パターン①	パターン②
掘削	モータスクレーバ (16m ³)	バックホウ (1.0m ³)
積込		ダンプトラック (11t)
運搬		
敷均	ブルドーザ (21t)	ブルドーザ (21t)

表-2 対象工事の運土量算定結果と施工順序

施工順序	分類	投入機械台数	
		パターン①	パターン②
1 切土ブロックNo. 4 ～盛土ブロックNo. 3	掘削	モータスクレーバ (16m ³) 3台	バックホウ (1.0m ³) 7台
	積込		
	運搬		ダンプトラック (11t) 3台
	敷均	ブルドーザ (21t) 1台	ブルドーザ (21t) 1台
2 切土ブロックNo. 4 ～盛土ブロックNo. 4	掘削	モータスクレーバ (16m ³) 3台	バックホウ (1.0m ³) 7台
	積込		
	運搬		ダンプトラック (11t) 3台
	敷均	ブルドーザ (21t) 1台	ブルドーザ (21t) 1台
3 切土ブロックNo. 4 ～盛土ブロックNo. 5	掘削	モータスクレーバ (16m ³) 3台	バックホウ (1.0m ³) 7台
	積込		
	運搬		ダンプトラック (11t) 4台
	敷均	ブルドーザ (21t) 1台	ブルドーザ (21t) 1台
4 切土ブロックNo. 3 ～盛土ブロックNo. 1	掘削	モータスクレーバ (16m ³) 3台	バックホウ (1.0m ³) 7台
	積込		
	運搬		ダンプトラック (11t) 3台
	敷均	ブルドーザ (21t) 1台	ブルドーザ (21t) 1台
5 切土ブロックNo. 3 ～盛土ブロックNo. 2	掘削	モータスクレーバ (16m ³) 3台	バックホウ (1.0m ³) 7台
	積込		
	運搬		ダンプトラック (11t) 3台
	敷均	ブルドーザ (21t) 1台	ブルドーザ (21t) 1台
6 切土ブロックNo. 3 ～盛土ブロックNo. 3	掘削	モータスクレーバ (16m ³) 3台	バックホウ (1.0m ³) 7台
	積込		
	運搬		ダンプトラック (11t) 3台
	敷均	ブルドーザ (21t) 1台	ブルドーザ (21t) 1台
7 切土ブロックNo. 2 ～盛土ブロックNo. 1	掘削	モータスクレーバ (16m ³) 3台	バックホウ (1.0m ³) 7台
	積込		
	運搬		ダンプトラック (11t) 3台
	敷均	ブルドーザ (21t) 1台	ブルドーザ (21t) 1台
8 切土ブロックNo. 1 ～盛土ブロックNo. 1	掘削	モータスクレーバ (16m ³) 3台	バックホウ (1.0m ³) 7台
	積込		
	運搬		ダンプトラック (11t) 4台
	敷均	ブルドーザ (21t) 1台	ブルドーザ (21t) 1台
9 切土ブロックNo. 5 ～盛土ブロックNo. 6	掘削	モータスクレーバ (16m ³) 3台	バックホウ (1.0m ³) 7台
	積込		
	運搬		ダンプトラック (11t) 4台
	敷均	ブルドーザ (21t) 1台	ブルドーザ (21t) 1台
10 切土ブロックNo. 5 ～盛土ブロックNo. 5	掘削	モータスクレーバ (16m ³) 3台	バックホウ (1.0m ³) 7台
	積込		
	運搬		ダンプトラック (11t) 4台
	敷均	ブルドーザ (21t) 1台	ブルドーザ (21t) 1台
11 切土ブロックNo. 5 ～盛土ブロックNo. 7	掘削	モータスクレーバ (16m ³) 4台	バックホウ (1.0m ³) 7台
	積込		
	運搬		ダンプトラック (11t) 4台
	敷均	ブルドーザ (21t) 1台	ブルドーザ (21t) 1台
12 切土ブロックNo. 6 ～盛土ブロックNo. 7	掘削	モータスクレーバ (16m ³) 4台	バックホウ (1.0m ³) 7台
	積込		
	運搬		ダンプトラック (11t) 4台
	敷均	ブルドーザ (21t) 1台	ブルドーザ (21t) 1台
概略費用(千円)		112657	168371

表-3 対象工事の投入機械台数と概略費用算定結果

慮して、表-1に示すように各ルートパターンの機械設定を行う事とした。

ここでは、施工計画の策定を先述の図-1に示す本研究グループが提案する概略施工計画案策定プロセスに乗っ取って行う事とした。これに基づいて算出した運土量および作業日数の結果に関しては表-2に示す事とする。また、施工順序については、表-2に示すように設定する事とした。以上の設定及び算出数量に基づいて、施工段階ごとの投入機械台数および概算費用を算出した。その結果は表-3に示す事とする。

続いて、以上の算出された各ルートパターンを表現する情報を基にルートパターンの評価検討を行った。概算運土費用を基に各運土ルートパターンを評価すると、本対象工事においてはルートパターン①、すなわち、施工段階毎にできるだけ直線となるような運土ルートの設定方法が対象造成地にマッチした運土ルート設定であると判断する事ができる。これは、切土ブロックと盛土ブロックとの重心間距離距離が、全体的に短いためであると考え（直線距離で169.464m~401.944m）。すなわち、仮設道路を建設して高速施工を行う事ができる機械を投入するほどのブロック間距離が確保されていないため、仮設道路建設による施工効率の向上効果が低いものと考えられる。

5. おわりに

本研究では、まず大規模造成工事を対象とした施工計画支援システムの開発の方向性を整理した。続いて、施工計画の検討段階の一部である運土ルート設定に着目して、運土ルート設定の判断・意志決定を支援するシステムの開発研究を行った。開発した運土ルート設定支援情報システムでは、熟練技術者の判断を基に運土ルートの設定パターンを三つに分類した。この運土ルートパターン毎にルートを表現する情報を算定し、その算定結果を基に対象造成地に最もマッチする運土ルートパターンを評価する事とした。ここでマッチすると評価・判断された運土

ルートパターンは、施工計画の策定に於ける運土ルート設定の望ましい方向性を示すものであり、計画者が運土ルートを設定する際の支援情報となり得るものであると考える。今後は、本システムのケーススタディーを重ねることで、造成対象地形の変化とそれに適する運土ルートパターンの相関関係を検討したいと考えている。

また、本研究においては、施工計画の検討段階の一つである運土ルート計画に着目して研究を行ったが、施工計画において計画者の経験や勘により意志決定を行っており且つ、構造化する事が困難である問題と捉える事ができる施工順序計画や機械選定計画に関しても、本研究と同様に計画者の判断・意志決定のパターン分類を行い、計画者の意志決定のための支援情報システムを構築することができると考えられる。そこで、これに従って造成計画支援システムの開発をさらに押し進めていく必要があるものと考え。

【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
- 3) 住宅・都市整備公団 技術管理室：土木工事積算要領、1986年
- 4) 経済調査会：施工単価資料、'92年秋季版、応製社、1992年
- 5) 土木工事積算研究所：建設省土木工事積算基準平成5年度版、建設物価調査会、1993年
- 6) 春名、竹林、迫間：大規模土地造成工事計画システムの開発に関する研究-E.S.とC.G.からのアプローチ、第12回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会、講演集、1994年
- 7) 春名、大音、迫間、上山：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、第13回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会、講演集、1995年
- 8) 吉川和宏、春名攻：建設工事に於ける総括工程計画モデルの開発研究、土木計画学研究論文集、1984年