

重機土工計画システムの開発について

System Development for Planning of Earth Moving

戸田建設株式会社 寺井幸夫*
// 松下清一**
// ○ 伊藤耕一***

By Yukio TERAI, Seiichi MATSUSHITA, and Kouichi ITOH

近年土木工事の多様化、複雑化、大型化にともない、合理的な施工計画の策定の良否が工事の品質、工事利益に対してその重要度を増してきている。

特に大規模造成工事は、平面的広がりが多いという点、材料が品質が明確なコンクリート等ではなく、土という品質にバラツキがあるものを扱うという点、構造物を構成する材料が現場内需要と現場内供給という形態をとっている点等に関して、他工事と性格を異としている。即ち、施工計画においては相当な自由度のある施工要素を反映して計画案が絞り込まれる過程の中で、合理性を追求する余地が他工事と比較して大きいということになる。また計画より得られた土工単価の差異が最終コストを大きく左右し、工事の大型化にともなってそのスケールメリットは多大なものとなる。

本論文は、合理的な重機土工計画をたてるための一連作業をシステム化したソフトウェアについて述べたものである。

【キーワード】施工計画、システム開発、重機土工

1. はじめに

近年建設各社とも、脱請負の一貫として開発事業に着目し、積極的にこれを推進している。その結果自社開発物件はもちろんのこと区画整理組合の設立への参画、あるいは設計協力や用地買収協力等により工事受注が増加しており、工事量の増加とともに工事規模も1件で200万㎡～500万㎡と大型化してきた。土工事は、切土、盛土といった高さ・平面にかなりの自由度をもった粗造成工事が基本であり、その計画が工事全体に及ぼす影響は大きい。特に土運搬コストに関しては様々な土運搬の代替案の中からより経済的な計画が選択されるものである。しかしながら土工事は専門業者への一式外注形態が多く、専門業者が策定した計画、見積をベースとした“施工計画”それに伴う“予算”が通例となっ

ている。一方専門業者の計画、見積の妥当性を評価することが必要であるが、土工事に関する合理的な施工計画をたてるための周辺技術が当社においては十分に整備されていない現在、その評価が充分であるとはいえない。これまでもこれらの問題に対し、当社保有の大型計算機による土地造成関連の電算システムを一部利用し、計画した例はあるが、電算システムの利用面、機能面の不足等によりシステムが生かしきれていないのが現状であった。これに対し電算機の高性能化、小型化にともない、現在作業所においても活用されているパソコンシステムで同種のシステムを簡便に実行できるようになり、その利便性からパソコンによる“重機土工計画システム（土地造成工事）”を新規開発するに至った。

2. 重機計画のプロセスと本システム

土地造成工事においては重機計画における土の動かし方、作業の順序、適切な重機を設定することによる工事日程ならびに工期の設定の良否等が最終構

*、**、*** 土木工事統轄部土木工事技術室
(〒104 中央区京橋1-7-1)

- 162 -

(2) サブシステムの特徴

a) 土量計算サブシステム

以下の項目を与条件として設定し、メッシュ毎、ブロック毎の土質別切土量、盛土量また全体の切盛土量、過不足土量を集計し、出力する。

共通条件

・土量計算方法

点高法（正方メッシュの中心高とメッシュ面積との積）（図-3）

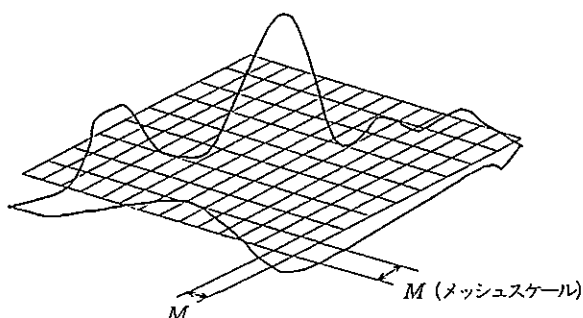


図-3 点高法による土量計算

・メッシュスケール、ブロックスケール （メッシュスケール）

正方メッシュの辺長（全エリア均一）

（ブロックスケール）

正方ブロックに含まれる正方メッシュの数

（exp. 1^2 , 2^2 , 3^2 ）（図-4）

（ブロックスケール= 2^2 の例）

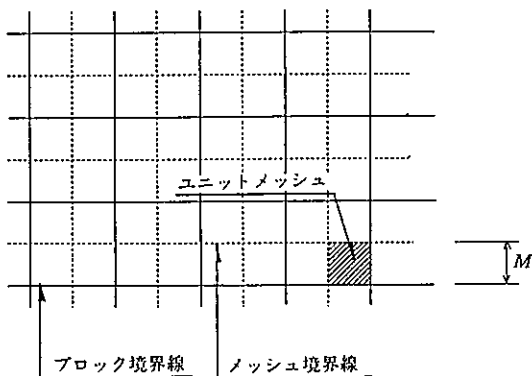


図-4 メッシュとブロック

・土質区分

礫質土、砂質土、粘性土、軟岩Ⅰ、軟岩Ⅱ、硬岩、高含水比粘性土、風化土の8種類

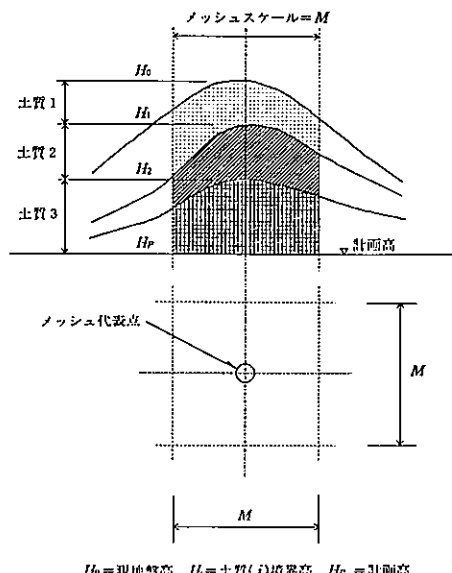
・廃棄土質

土質区分のうち盛土に適さない土質で場外に搬出するもの

各メッシュ条件

・切土メッシュ情報（図-5）

現地盤高、土質名および土質境界高(i)、計画高



H_0 = 現地盤高, H_i = 土質(i)境界高, H_p = 計画高

図-5 切土メッシュ情報

・盛土メッシュ情報

計画高、現地盤高、沈下予測高、埋設物土量。

沈下予測高とは、盛土による圧密沈下の予想高であり、埋設物土量とは、構造物 (Box, Cul 等) により盛土量から差引く土量である。いずれも必要に応じてメッシュ毎に設定する。（図-6、7）

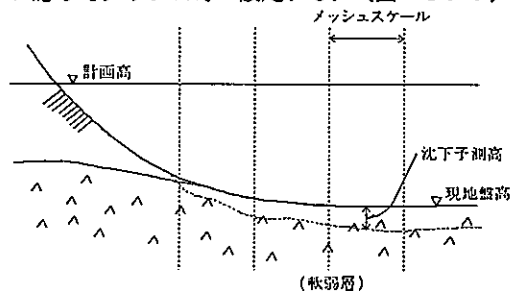
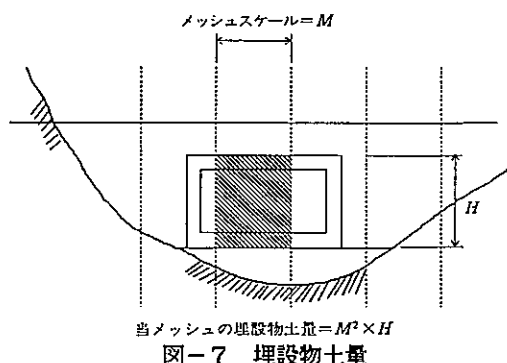


図-6 沈下予測高



b) 搬土計画サブシステム

重機計画の中でこの搬土計画が最も重要であり、現場の条件が生かされた計画が要求されるところである。

先づ搬土計画サブシステムの機能を決定する際の基本的な考え方を示すと次の通りである。

- ・第一の目的は、搬土の最適化である。
- ・最適化を図ることができる搬土は、現場の特殊条件から発生する搬土（特殊条件搬土）以外の自由搬土（一般搬土）である。
- ・現場の特殊搬土を先づ処理し、次に自由搬土を行なう。

以上より、搬土計画は、以下の4つの処理から構成することとした。

(1) 特殊条件搬土処理（オプション）

↓（処理順序）

(2) ブロック内搬土処理

↓

(3) 過不足土搬土処理

↓

(4) 一般搬土処理

以下にその概要を記す。

① 特殊条件搬土処理（オプション）

3つのオプションから構成されている。

◆ 廃棄土捨て

土量計算サブシステムで廃棄土質が設定されている場合に、場外捨て場までの運搬距離を設定する。

◆ 仮置土

計画地盤表面の表土復旧土用に場内切土で発生する良質土（砂、隙質土等）を仮置きする

場合に、仮置き予定場所と良質土発生場所、また表土復旧予定場所までの運搬距離を設定する。

◆ 必須盛土

現場特有の条件により、切土とそれを運搬し盛土するエリアが特定されている場合に、切土エリア、盛土エリア、運搬ルートを設定する。例えば宅地の一部早期売却、構造物の工期限定、軟弱層のサンドマット、障害物迂回路等が考えられる。

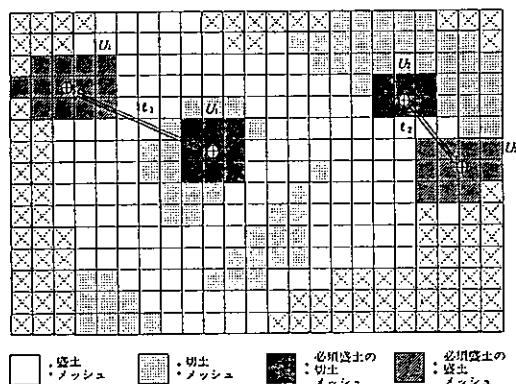


図-8 必須盛土

また搬土方式は、ブロック（Br）、ステップ（St）の2方式から選択でき、施工条件を反映できるよう考慮されている。（図-9）

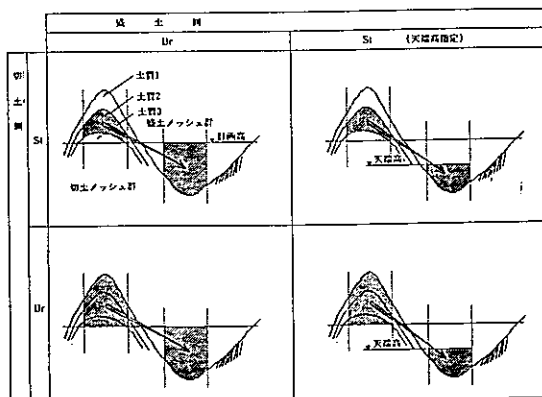


図-9 搬土方式

②ブロック内搬土処理

ブロックが複数メッシュで構成されている場合に、同一ブロック内のメッシュ間の搬土を全工事区域にわたって自動的にこなす。

③過不足土搬土処理

全切土量（廃棄土捨土量は除外）から全盛土量（沈下予測土量分加算、埋設物土量分控除）を差引いた過不足土量を計算し、購入土量あるいは残土捨土量と等しい盛土エリア（メッシュ群）あるいは切土エリア（メッシュ群）を設定する。又運搬距離も設定する。

この処理を行なうことによって過不足土量が0となり、切土量と盛土量がバランスすることになる。

（図-10）

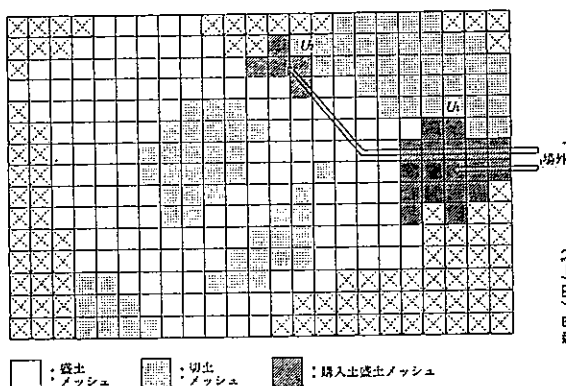


図-10 購入土の例

①から③の処理では、特定のメッシュを連続して指定することになるが、画面上のメッシュを直接指定できるよう補助入力装置としてマウスを使用し、操作性を高めている。またメッシュ図の拡大、縮小も考慮されており、ビジュアルな操作環境となっている。

④一般搬土処理

特殊条件搬土処理のように現場の特殊条件によりあらかじめ特定の切土エリアから特定の盛土エリアへの搬土が決まっているもの以外に対して、搬土の最適化を図る処理である。最適化の基準としては以下の2基準から選択できる。

- 1) コスト最小……全運搬コスト（円）の最小化
- 2) 仕事量最小……全運搬仕事量（ $m \times m^3$ ）の最小化

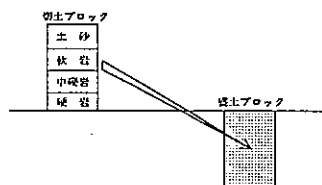
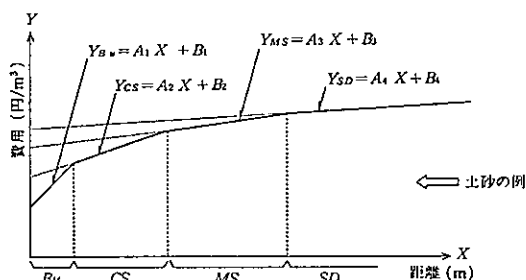
コスト最小の際には1矢線（単位搬土）のコスト評価が必要となる。1矢線のコスト（円/ m^3 ）は、重機の作業能力（ m^3/hr ）と運転経費（円/hr）の関係から算定されるものであり、前もって作業能力に関わる機種、土質、作業係数や運転経費に関わる損料、人件費、燃料等を設定し、計算しておく必要がある。これに関しては別プログラムで土質毎、機種毎に線形式を計算し、その結果得られた係数（A、B）をここで入力する。

具体的には、線形式は $Y = AX + B$ で与えられる。

ここで Y：コスト（円/ m^3 ）、X：運搬距離（m）、A：円/ m^3/m 、B：円

また1矢線には複数の土質が含まれるため、コストは土質の土量比率による複合単価として評価した。一方、仕事量最小の際には、 $A = 1$ 、 $B = 0$ をここで入力することとなる。

最適化の計算手法は、輸送型線形計算（Linear Programming LP計算）によった。（図-11）



複合評価関数

$$Y = \sum \begin{pmatrix} Y_{土砂} \\ Y_{軟岩} \\ Y_{中硬岩} \\ Y_{硬岩} \end{pmatrix} = \sum \begin{pmatrix} (A1X + B1) \times 0.1 \\ (A2X + B2) \times 0.2 \\ (A3X + B3) \times 0.5 \\ (A4X + B4) \times 0.2 \end{pmatrix}$$

↑
土量比率

図-11 一般搬土（最適化）

c) 重機計画サブシステム

b) 搬土計画サブシステムの結果を受け、搬土工法別主機械のコスト比較を行なう。

重機計画は、以下の4処理から構成されている。

(1) 搬土諸量の設定

↓ (処理順序)

(2) 全搬土の必要処理量 (m^3/hr) の算出

↓

(3) 搬土方式別の必要処理量の算出

↓

(4) 搬土方式別主機械のコスト比較

① 搬土諸量の設定

b) 搬土計画サブシステムの出力より、搬土種類毎 (廃棄土捨土、必須搬土、一般搬土 etc) の土質種類、土量、平均運搬距離、搬土方式を入力する。なお搬土方式については④搬土方式別主機械のコスト比較を参照されたい。

② 全搬土の必要処理量 (m^3/hr) の算出

①で入力された搬土土量 (m^3) の合計値と総運転時間から全搬土に対する1時間当りの必要処理量 (m^3/hr) を計算する。

先づ土工粗造成工程 (開始年月日～終了年月日) を設定し供用日数を求め、次に各月の降雨日数、降雨休止日及び降雨後の休止日数、公休日数等の与条件から供用日数の内の稼働日数を算定する。

与条件のためのモデルデータとして道路土工指針のデータを既定値としてもたせてあるので、入力はそれを修正するかたちとなっている。

総運転時間は、1日の実運転時間と稼働日数から算出する。

③ 搬土方式別の必要処理量の算出

①で入力された搬土諸量を搬土方式別に分類、集計した搬土土量 (m^3) と搬土方式別運転時間から搬土方式別の1時間当りの必要処理量 (m^3/hr) を計算する。

搬土方式別運転時間は、設定された搬土方式別工程 (開始年月日～終了年月日) から計算される稼働日数と1日の実運転時間から算出する。

④ 搬土方式別主機械のコスト比較

①搬土諸量の設定で入力されたデータより、各搬土方式別に土質種類毎の運搬土量 (地山量)、平均運搬距離を計算し、仮定した重機械の種類毎

の作業能力 (m^3/hr) および運転経費 (円/hr) から1 m^3 当りのコストを算出し比較する。

平均運搬距離は土質毎に土量による加重平均距離として求めた。また作業能力 (m^3/hr) は土質毎に異なるため、複合能力として土質毎の土量加重平均値を採用した。運転経費のうち機械損料は”建設機械等損料算定表 (62年度版 日本建設機械化協会)”を基本としている。

表-1 搬土方式と主機械 ()

搬土方式	略称	工 種
フルター	B.D	リッパ、掘土、敷均し、締固め
スクレーパー	C.S M.S	リッパ、掘削押土、敷均し、 締固め
ショベル ダンプ	S.D B.D	リッパ、集土、掘削積込、運土 敷均し、締固め

4. システムメニューと主な入出力例

(1) サブシステムの出力項目

(※ はプロッター出力を示す)

土量計算サブシステム

- ・入力データ一覧表
- ・土量計算結果一覧表
- ・メッシュ図、ブロック図、土量分布図、現況、計画高図 (※)

搬土計画サブシステム

- ・廃棄土捨土処理結果、仮置土処理結果、必須盛土処理結果
- ・ブロック内搬土処理結果、過不足土処理結果
- ・ブロック別切盛一覧表 (ブロック土量、ブロック重心)
- ・切盛メッシュ図 (※)
- ・評価関数値一覧表
- ・搬土一覧表 (From ブロック to ブロック、運搬土量)
- ・搬土矢線図 (※)
- ・搬土計画結果総括表

重機計画サブシステム

- ・搬土諸量の設定値一覧表
- ・全搬土の必要処理量計算結果 (粗造成工程、降雨日数、1日稼働時間、必要処理量他)
- ・搬土方式別の必要処理量計算結果 (搬土方式別粗造成工程、稼働日数、必要処理量他)
- ・搬土方式別主機械のコスト比較計算結果 (土質別能力、機種別コスト比較表他)

(2) サブシステムの入出力例

各サブシステムにおける入出力例を一部紹介する。

- ・メインメニュー 図-12
- ・土量計算サブシステム 図-13
- ・搬土計画サブシステム 図-14
- ・重機計画サブシステム 図-15

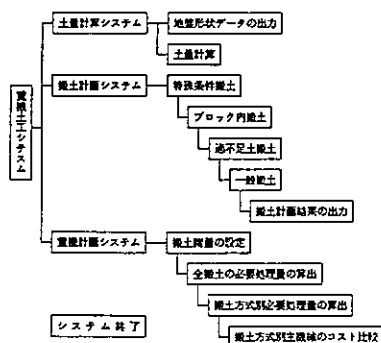


図-12 メインメニュー

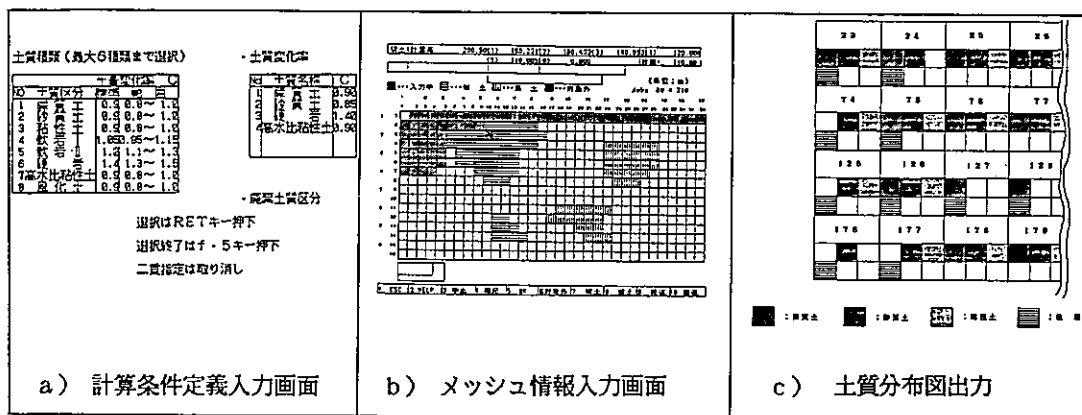


図-13 土量計算システム・入力画面および出力例

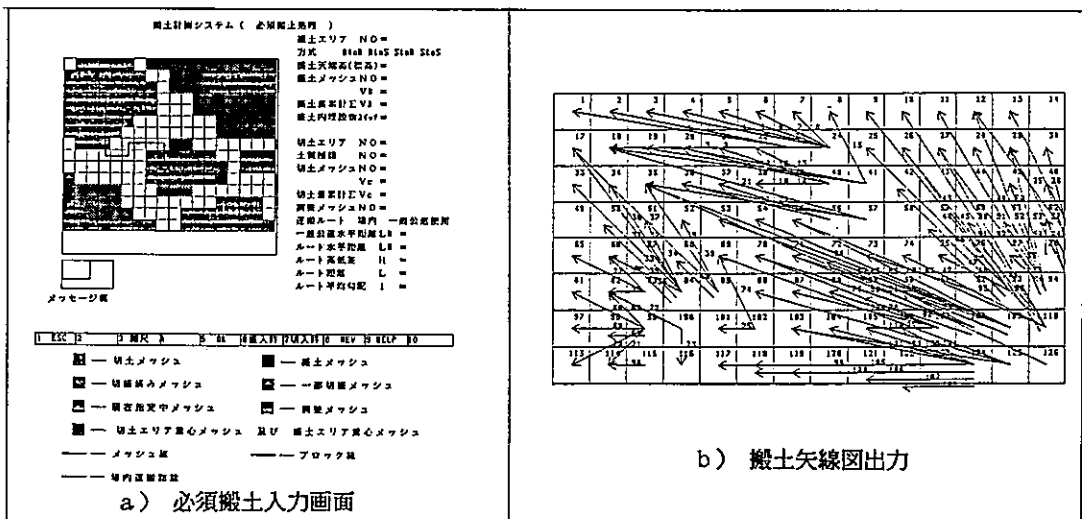


図-14 搬土計画システム・入力画面および出力例

〔降雨日数の休止及び降雨後の休止日数〕

(土質：結實土) 土量 29.41 ㎡

月	1月		2月		3月		4月		5月		6月	
降雨	当日	休	当日	休	当日	休	当日	休	当日	休	当日	休
1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
9	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
10	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
11	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
12	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

a) 降雨日数の休止および降雨後の休止日数入力画面

〔ブルドーザー方式〕

11t

土質	結實土	ひびき土	粘性土	軟岩Ⅰ	軟岩Ⅱ	硬 岩
土量	120000/日					
1	0.5					
2	0.5					
3	0.5					
4	0.5					
5	0.5					
6	0.5					
7	0.5					
8	0.5					
9	0.5					
10	0.5					
11	0.5					
12	0.5					

但し、運搬距離、E、L
は土量による加重平均値

計算式: $E = 60 / \text{km} \times 1.4 \times 100 \times L = E$
 $(C = 0.0330 - 1.4 \times 0.20) \{ K = 0.850 \}$

必要処理量: 106.8 m³/日

総積 〇〇 加重平均コスト 他土夜: 120000/日 運転手: 115000/日 軽油: 800/日

総積 〇〇 加重平均コスト

111	2.0	52.4
151	5.0	79.5
211	4.9	112.6
321	7.2	189.5
441	10.5	274.9
681	12.5	327.3
881	17.4	466.1

CASE

CASE	111	151	211	321	441	681	881	TOTAL	加重平均コスト
1	0	0	0	0	0	0	0	157.1	159.7
2	0	0	1	0	0	0	0	112.5	88.0
3	1	1	0	0	0	0	0	120.9	34.5
4	0							0.0	0.0

b) コスト比較入力画面

E ESC P B M 5 CHC B H H H L O 00 EXIN

図-15 重機計画システム・入力画面および出力例

5. システム環境

(1)ハード

本体 : PC-9800シリーズ (VM/VX/XL 発売
/XL²/RA) い。

ポートサイズ : 40MB

CRT : 14' 高解像度カラーディスプレイ

プリンター：15インチ（PC-PR201系）

マウス : 純正品

プロッター：A3版（MP3000シリーズ等
パーソナルモード）

(2)ソフト

O S : MS-DOS (Ver. 3. 1)

開発言語 : MS-DOS N88-日本語 BASIC(86)

(注：コンバイル予定)

6. システム制限値

(1) 土量計算サブシステム

メッシュ総数：横×縦＝150,000メッシュ

土質種類数 : 最大6種類

(2) 搬土計画サブシステム

仮置土 : 表土盛土エリアは最大10カ所

表土盛土用土質は1種類

必須盛土 : 1 盛土エリアに対する切土エリアは最大5ヶ所

盛土エリアの指定は最大15ヶ所

(3) 重機計画サブシステム

コスト比較 : 1搬土方式につき最大4ケース

例 フォトサー方式

11t×5台

11t×2台と21t×1台の組合せ

等が各々1ケースとなる。

7. おわりに

本システムは、62年年頭より社内でも要求機能が検討され、その仕様のもと同年7月にコーディング作業に移り、63年9月に完成したものである。開発に当たり可能な限り人力に関する補助画面や柔軟性のある入力環境を用意し操作性向上を図っているが、開発者側から見た面に偏っている可能性もあり充分とは言えない。従って今後実際の工事に適用し、使用者側からの見た不備な点に対する改良、機能の追加等により完成度の高いシステムへと改善して行きたい。当面は現在施工中のモデル工事に対してテストを行なう予定である。最後にこのシステムの開発に当たり御尽力をいただいた諸氏に謝意を表したい。