

土工搬土計画改善に関する研究

STUDY ON IMPROVEMENT OF HAULING PLAN
FOR EARTH MOVING石川 六郎*
By Rokuro ISHIKAWA

1. はじめに

土工は土地造成工事の基本となる作業である。とりわけ土工の成否に大きな影響を及ぼすのは、切盛土工の効率を決定する搬土計画の巧拙である。

従来の搬土計画は、道路工事のように線状に伸びた工事を主な対象とし、マスカープ（土積曲線）を利用した手法で立案されてきた。しかし、最近の土地造成工事のように地形が複雑、急峻となり、切盛土量のアンバランスが顕著になると従来のマスカープ手法では施工の実態に即した合理的計画の立案が困難になっている。さらに、ニュータウン計画のように工事規模が大きくなると、土工単価のわずかな差が総金額の大きな差となるため、より精密な検討が要求されている。

本研究では、このように面的な広がりのある工事場所における搬土計画を合理的に立案する方法を考察する。さらに、電子計算機を利用することにより施工管理のための適切な資料を提供する方法についても考察する。

2. 搬土計画最適化の考え方

(1) 搬土計画の最適化

従来の施工計画では（運搬土量）×（運搬距離）＝（運搬作業量）を最小にすることを目標にして決められた距離ランク別の運搬土量をみながら、過去の経験に基づき適当な機種を割り付けていた。しかし、このような方法には次の欠点がある。

① 平面上での最短搬路を決めても現実には途中の池や保存林等の障害物のために、重機の通行が不可能であったり、あるいは地表面勾配が急峻で予定していた重機では通行不可能か、もしくは著しく性能が低下する場合

がある。

② 最適重機の機種選定基準を水平距離にしているが、搬路地形を考えた場合には必ずしも妥当な仮定ではなく、したがって得られた結果が最適であるとはいえない場合も考えられる。

③ 運搬距離、搬路勾配、土質条件などが相互に関連してとりあげられていないので施工の実態からかけ離れる恐れがある。

本研究では、このような欠点を補うため各機種ごとに運搬距離、搬路勾配、土質条件を与えて、その搬路をとる場合の土工単価を直接求め、次式で示される目的関数を最小にするような運搬経路と土量、使用重機機種等の選定方法を検討する。

$$(\text{総土工費}) = (\text{運搬土量}) \times (\text{土工単価}) \cdots \cdots (1)$$

(2) 定式化と解法の整理

a) ブロック分割

工事区域の切盛作業を行う範囲を網目状（メッシュ）に区分して、各メッシュごとに切土量および盛土量を別々に求め、これと各メッシュの重心位置での現地盤高、計画高を基本データとする（図一1 参照）。

このメッシュから搬出または搬入される土量は、そのメッシュ内で切盛を相殺させたときの差量として求める。なお、以後の計算処理を簡略化するため、切土または盛土のみのメッシュを適当な大きさのブロックにまとめることもできるようにする。土砂は切土のブロックから盛土のブロックへ運ばれるものとし、そのブロック間距離が運搬距離となる。運搬経路の途中に池や急斜面などの障害のない場合は、両ブロックの重心間距離をもって運搬距離とする。すなわち i 番地の切土ブロックから j 番地の盛土ブロックまでの運搬距離 d_{ij} は次式で与えられる。

$$d_{ij} = \left. \begin{array}{l} \text{ブロック } i \text{ とブロック } j \text{ との重心} \\ \text{間距離 (障害のない場合)} \end{array} \right\}$$

HANDO KEIKAKU

0 40M (1/1000)

CUT/BANK (M²) ROW TOTAL (100M²)

					1044	786	501								23		23
					1659	955										26	26
			44/3	/9/	9		1391	5047	779	735					132		156
					1701	12242	11870	3393	524	806						305	331
			16112	3782			34	102	51	707					208		364
				3982	16517	13710	10224	7732	6709	16						639	970
			4223	22720	13254	4382	786		792	3293					494		858
					186	1839	7748	21827	17800	5307	18					547	1518
	15	79	24370	19252	7438	885		206	6252	11127	427				701		1559
	2389	281			146	6213	19440	6804	359							350	1874
	216	876	21382	17357	830	88	12		5036	12392	947				591		2150
	9556	2754			6350	11398	16884	12622	566							601	2475
1853	1665	483	10627	13455	9194	4540	158		2016	5064	4517				536		2686
	6920	9755	40		696	380	10950	17522	3201	1097						512	2987
1326	6767	192	1536	2809	15412	4922				498	6800	996			413		3098
	125	11704	4410	1186		1302	10920	18265	13380	8228	252	87				709	3696
	5872	3906		66	9764	15562	807			7820	17415	1873			631		3729
	3	2701	11460	8823	109		5187	18032	12755	442		2				595	4291
	5155	6331	2441	47	4835	13312	5906	1044		3560	14580	3425			606		4335
	78	22	3961	8580	1252		2251	7437	13977	877		260				387	4678
	5139	15140	8973	245		5035	14242	4256		1191	11157	9322			747		5082
	208		88	5955	9310	2233		1846	12125	2364	7	41				342	5019
	48	10190	15550	9090	2443		929	2588		17	696	2401			440		5522
	12	168		7	2733	7247	3446	1863	8720	4017	18	160				284	5303
		2262	2817	1778	1967	30	2060	1053	16		2	14			120		5642
		44	42	174	84	6573	5517	5253	7341	6443	662	80				322	5626
							3002	3014	7505	2299	1				158		5800
									51	1704	2310					41	5666
															13		5813
																9	5075
32	249	437	1310	819	573	459	290	173	224	500	565	180					
0	193	274	200	306	513	753	1110	1167	653	259	40	0					
32	281	717	2027	2847	3420	3879	4170	4343	4567	5068	5633	5813					
0	193	467	667	973	1486	2239	3349	4516	5369	5629	5666	5675					

図一1 ブロック分割および土工量表示図

=ブロック i とブロック j との最短
迂回距離 (障害のある場合)
.....(2)

なお、メッシュの区分のしかた、ブロックへのまとめ方の程度は使用する電子計算機の容量、対象とした工事の地形、要求される計算の精度、計算の手間等を勘案して決定する。

b) 搬土計画問題の定式化

前述の手順により工事区域が m 個の切土ブロックと n 個の盛土ブロックに分けられたとする。 i 番目の切土ブロック ($i=1, 2, \dots, m$) から j 番目の盛土ブロック ($j=1, 2, \dots, n$) までの運搬土量 v_{ij} 、運搬距離 d_{ij} 、および i, j ブロック間の平均勾配 I_{ij} が同様に与えられ

たとする。この作業を重機 r で処理する際の土工単価 c_{ij}^r が求められたとすると、この作業の土工費 z_{ij}^r は次式で定義される。

$$\left. \begin{aligned} z_{ij}^r &= c_{ij}^r v_{ij} = f(d_{ij}, I_{ij}) \cdot v_{ij} \\ \text{ここに,} \\ c_{ij}^r &> 0, \quad v_{ij} \geq 0 \quad (r=1, 2, \dots, l) \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

ただし、 l は考えている重機機種の数とする。よって、総土工費 Z は重機 r について次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} Z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n z_{ij}^r = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}^r v_{ij} \\ \text{ここに,} \\ c_{ij}^r &> 0, \quad v_{ij} \geq 0 \quad (r=1, 2, \dots, l) \end{aligned} \right\} \dots\dots(4)$$

切土ブロック i の切土量を p_i とすれば次式が成立す

る。

$$\sum_{j=1}^n v_{ij} = p_i \quad (i=1, 2, \dots, m) \dots\dots\dots(5)$$

盛土ブロック j の盛土量を q_j とすれば次式が成立する。

$$\sum_{i=1}^m v_{ij} = q_j \quad (j=1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots(6)$$

したがって問題は

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n v_{ij} &= p_i \quad (i=1, 2, \dots, m) \\ \sum_{i=1}^m v_{ij} &= q_j \quad (j=1, 2, \dots, n) \\ r &= 1, 2, \dots, l \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

なる条件のもとで、目的関数

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}^r v_{ij} \dots\dots\dots(8)$$

を最小とするような r と v_{ij} を決める LP (線型計画) 問題に帰結する。しかし、一般に使用する重機機種は 1 つの現場でせいぜい 3~4 種類のみなので、それぞれの v_{ij} を決める際にすべての機種についての c_{ij} の値を比較し、 c_{ij} を最小にする機種をとって v_{ij} を決めればよい。

c) 解法のアルゴリズム

前項で定式化された LP 型輸送問題を解くには、まず土工単価を無視して、ある 1 つの切土ブロックからいくつかの盛土ブロックへ搬土していくという操作を切盛土量のバランスする状態まですべての切土 (盛土) ブロックについて行い (north west corner rule), このときの組合せによる解 $(m+n-1)$ 個を初期解 S_0 とする。 S_0 は土量をバランスさせるという目的のもとに得られた解ではあるが、目的関数 Z を最小とする解とは限らない。そこで解の改善をはかるため次のステップで S_0 の切盛土量のバランスの際には考慮しなかったある 1 つの搬土 $[v]$ をとりあげ、それを解の組の中に新たに加えることにする。解の組の数は $(m+n-1)$ 個に限定されているのでこの新しい $[v]$ を追加すれば、 S_0 のうちから 1 つの搬土が除かれることとなり、ここに新しい組合せの解 S_1 が求まる。また S_0 に対する目的関数 Z の値 Z_0 より S_1 に対する値 Z_1 を小にする、すなわち

$$Z_0 > Z_1 \dots\dots\dots(9)$$

とするために S_0 を求める際に考慮しなかった搬土について式 (9) が成立するような $[v]$ を選択することにする。これを順次行えば

$$Z_0 > Z_1 > Z_2 > \dots\dots\dots(10)$$

となる。そして、最終的に

$$Z_p > Z_{p+1} \quad (p \text{ は任意の整数}) \dots\dots\dots(11)$$

なる $[v]$ を選択できなくなった p ステップ目のときに、目的関数 Z が最小となる。すなわち、そのときの組合

せの解 S_p が最適搬土計画を与えるものである。

3. 搬土計画の実際

(1) 施工ステップの分割

最近の大規模土工工事は丘陵地から山間部へと移りつつあり、現地盤高と計画地盤高との差が 30~50 m あるという場合もしばしば見られる。このような場合には、平面上で運搬作業量を求めても意味をなさず、施工の順序を考慮し現実の施工に即した計画を作成しなければならない。すなわち図-2 (1) に示すように A ブロックから C ブロックへ $a \text{ m}^3$, B ブロックから C ブロックへ $b \text{ m}^3$ というように単純に決めるわけにはいかない。A ブロックの下部の土砂は、B ブロックを切り取った後でないと運搬できないことは明らかである。そこで、図-2 (2) のように平面的のみならず立体的にステップ分けを行い、第 1 段階では A_1, B_1, C_1 などについて計画を立て、次に第 2 段階では A_2, B_2, C_2 などについて計画を立てるというように順次高低差を考慮した検討を行う必要が生じる。

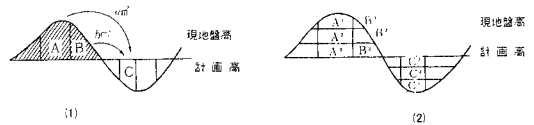


図-2 施工ステップ分割模式図

このように施工順序を勘案して各段階ごとに搬土計画を立て、現地形を修正しながら次のステップに進むことにより実際の地形上の制約条件、重機の効率等を考慮した合理的な施工計画管理が行われるであろう。

(2) ブロック内部調整

ブロック間の搬土計画を検討するに先立って、ブロック内の切土、盛土を相殺する。このブロック内部調整に使用する重機の機種はあらかじめ指定し、搬土距離は近似的にブロック辺長の 1/2, 勾配は 0 として処理する。この土量相殺で余った部分の切土または盛土は、次のステップで他ブロックとの間の搬土計画として検討されるわけであるが、この際にブロック重心位置での地盤高は次式で表わされる。

$$(\text{切土量} - \text{盛土量}) / \text{ブロック面積} \dots\dots\dots(12)$$

すなわち、余剰 (不足) 土の平均高さだけ修正された値を新しい地盤高とする。

(3) 使用機種の選定と最適搬路の決定

a) 土工単価

土工単価は次式で求められる。

$$U=C/Q \dots\dots\dots(13)$$

ただし、 U ：1 m³ 当り土工単価 (円/m³)

C ：重機の1時間当り費用 (円/時)

Q ：重機の1時間当り作業量 (m³/時)

また、重機の1時間当り作業量 Q は

$$Q=60 \cdot q \cdot f_1 \cdot E / c_m \dots\dots\dots(14)$$

ただし、 q ：1 サイクル当り作業量 (m³)

f_1 ：土量換算係数

E ：作業効率

c_m ：サイクルタイム (分)

で与えられるので、土工単価 U は式 (13)、(14) から

$$U=C \cdot c_m / (60 \cdot q \cdot f_1 \cdot E) \dots\dots\dots(15)$$

で表わされる。いま、重機としてブルドーザを例にとつて考えると

$$q=q_0 \cdot d \cdot \rho \dots\dots\dots(16)$$

ただし、 q_0 ：初期排土量 (m³)

d ：押土距離による逓減率

ρ ：土質の安息角 (ϕ) と勾配 (α) によって決まる係数

$$c_m = \frac{l}{v_1} + \frac{l}{v_2} + t_g \dots\dots\dots(17)$$

ただし、 l ：押土距離 (m)

v_1 ：前進速度 (m/分)

v_2 ：後退速度 (m/分)

t_g ：ギヤ入換え、加速に要する時間 (分)

であるから、式 (15) は

$$U=C \times \left(\frac{l}{v_1} + \frac{l}{v_2} + t_g \right) / (60 \cdot q_0 \cdot d \cdot \rho \cdot f_1 \cdot E) \dots\dots\dots(18)$$

となる。

例として、ブルドーザ CAT D 8-46 A について平坦地の場合の土工単価を搬土距離 l の関数として整理すれば、式 (18) において

$$v_1=46 \text{ m/分 (前進1速)}$$

$$v_2=98 \text{ m/分 (前進2速)}$$

$$t_g=0.33 \text{ 分}$$

$$q_0=5.13 \text{ m}^3$$

$$\rho=1.0 \ (\phi=30^\circ, \alpha=0\%)$$

$$f_1=1.0$$

$$E=1.0$$

とおくことにより

$$U_0 = \frac{0.144 l + 1.448}{1.388 d} \cdot C \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots(19)$$

ただし、 d ：押土距離によって決まる逓減率

一方、搬路の勾配が $\alpha\%$ である場合の重機作業量は一般に次式で与えられる。

$$Q' = f(\alpha) \cdot Q \dots\dots\dots(20)$$

ただし、 $f(\alpha)$ は勾配 α によって決まる修正係数で、

表一1 押土距離に関する係数 (ただし $\alpha=0\%$ の場合)

押土距離 l (m)	10	20	30	40	50	60	70	80
d	1.00	0.96	0.93	0.88	0.84	0.80	0.76	0.72

表二2 勾配に関する係数

勾配 α	15%	10%	5%	0	5%	10%	15%
$f(\alpha)$	1.47	1.28	1.12	1.00	0.89	0.80	0.73

これまでの経験よりほぼ定められた値となる。たとえば、参考文献 8) によれば、距離 l と d 、勾配 α と $f(\alpha)$ の関係は表一1、2 のように与えられている。

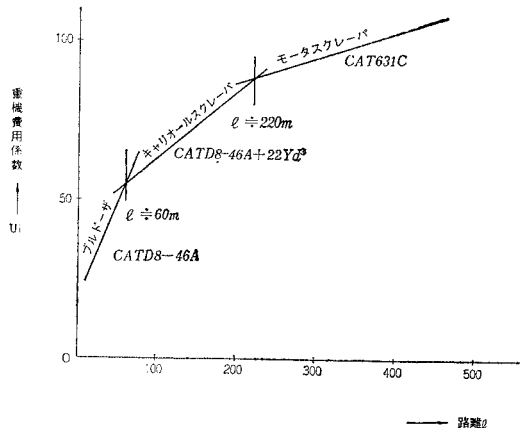
同様な関係を使用予定の全機種についてあらかじめ求めておく。実際の計算では、式 (15) で与えられる曲線をいくつかの区間に分けて直線で近似し

$$U_r = R_1 \cdot (a_r \cdot l + b_r \cdot R_3) \dots\dots\dots(21)$$

なる形に整理しておく。ただし、ここで U_r は機種 r (たとえばブルドーザ) について求めた土工単価であり、 a_r, b_r は使用機種によって決められる定数である。 R_1, R_2, R_3 は同じ機種の中で重機の性能の差、搬路勾配および土質の差を修正する係数 (たとえば CAT D 8-46 A を標準として関係式を求め、これを小松 D-120 A に修正する場合の係数) を意味している。以上の手続きにより、現実の種々の要素を考慮した土工単価を算出することができる。本論文では運土費用最小を目的関数としているが、上述のようにして求められた土工単価を用いて費用の計算を行うことにより、本論文の評価基準に妥当な信頼性をもたせることができると考える。

b) 使用機種と最適搬路

総土工費を求めるには、各重機についてまず i, j 間にある i に隣接するブロックへ運搬する場合の土工単価を式 (21) から求め、 j 方向ブロックへ1つ進み、次にこのブロックを起点とし、これに隣接するブロックについて同様な操作を j ブロックまで行う。この手順により



図一3 運搬距離と土工単価の関係

求められた i から j に至る土工単価のトータルが最小となる経路を最適搬路とする。すなわち機種 r を使用した場合の最小費用経路が定まる。この結果を、使用可能な各重機について比較し総土工費を最小にする使用機種ならびに最適搬路を決定する。機種の違いによる経済性の比較の一例として、ブルドーザ (CAT D 8-46 A), キャリオールスクレーパ (CAT D 8-46 A + 22Yd³), およびモータスクレーパ (CAT 631 C) の3機種について平坦地の場合の距離と土工単価との関係を図-3 に示した。

この図から、従来は経験的な判断により、ブルドーザ, キャリオールスクレーパ, モータスクレーパなどの機種選定が行われてきたことに対し、最小費用という合理的な根拠に基づいた機種選定が可能であることがわかる。しかも、費用計算においては土工単価の算出の際に述べたように、運搬距離、搬路勾配、土質条件などの種々の現実的な要素を考慮しているので、本論文の手法により得られた図-3 のような結果は実際の意味での信頼性が高いと判断されよう。

(4) 残土, 不足土の処理

計画土, 土工量がバランスしておらず残土がある場合には, 前述のように経済的に作業できる部分から搬土計画が決められるので, もし, 何の指定もない場合には残土, 不足土とも最も費用のかかる部分そのまま残ることになる。しかし, 事前に場外土取場または土捨場がわかっている場合には, この土取場または土捨場を1つのブロックとして扱い, 運搬距離, 搬路勾配を与えることにより全体としての最適化を図ることができる。

4. 電子計算機による計算処理

(1) 電子計算機システムの概要

前章で述べた計算を電子計算機で処理するため, 図-4 の概略フローチャートに示すようなプログラムを開発した。このシステムの概要は次のとおりである。

a) インプットデータ

インプットデータはプログラムの初期値設定, 計算処理方法選択等のためのデータとそのプロジェクト特有のデータの2種類に大別される。前者はメッシュの寸法, メッシュをブロックへまとめる方法, 工区分割の有無, 何ステップに分けるかのステップ分割の方法, 距離別集計の際のランク, 土層別搬土計画をするかなどの指定データであり, 後者としては各メッシュごとの切盛土量, 現地盤高, 計画高, 使用重機の機種, 土の体積変化率, 圧密沈下率, 通行禁止地区指定データ, 土工単価計算の

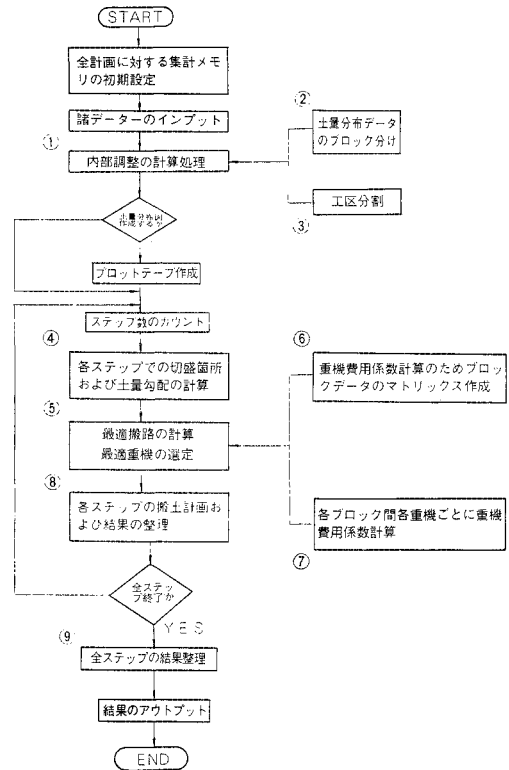


図-4 概略フローチャート

ための各機種ごとの修正係数などがある。これらのデータの中で最も数が多いのは地形, 土量に関するデータであるが, 地形データについては地形が単純な場合またはある規則性をもつ場合にはごくわずかなデータで表示できるように工夫できる。たとえば, ならかな丘陵地の地盤高は平面上の各境界点と曲面で近似するための数か所の高さを与えるだけで全体の丘陵が再現できる。また, 計画高が段丘のように, ある一定の方向に上下したり勾配あるいは方位について規則性をもつ場合にはデータ数がきわめて少なくなる。土工量のバランスに大きな影響を与える体積変化率, 圧密沈下率は一律に同じデータを与えることはせず, 各ブロック, 各ステップごとの土質の特性, 基礎地盤の状況などに合せて指定できる。

b) 計算処理

与えられた地形, 土量データは図-4 の概略フローチャートの②のパッケージでブロックごとに編集, ファイルされ, 必要があれば③のパッケージで切盛がバランスした, いくつかの工区に編集しなおされる。このデータを使って①のパッケージでブロック内の切盛相殺処理を行い, ブロック間搬土計画のための運搬土量, 地盤高の変化を計算する。もし必要ならばこの結果を土量分布図として図示できる。④のパッケージではそのステップでの土量分布および各ブロック間の距離, 平均勾配を計算

する。⑥、⑦のパッケージで各ブロック間の機種ごとの土工単価を計算し、この結果にもとづき⑤のパッケージで初期解の改善を図り、このステップでの最適搬路と使用機種を決定する。得られた結果は⑧のパッケージで機種ごと、距離ランクごとに集計、整理され、平均運搬距離の計算を行い、⑨のパッケージで各ステップすべての集計、整理をして、それぞれの最終結果が得られる。

c) アウトプット

得られる結果は計画の段階のみならず、施工管理の段階でも利用できるよう、指定したステップごとに次の4種類のもをを表示する。

- ① 各重機ごとの搬土計画：切土ブロック番号、盛土ブロック番号、運搬経路、距離、土量、土工単価、土工量など
 - ② 各重機ごとの距離別土量集計表
 - ③ 切土ブロック番号順に全機種についての搬土計画
 - ④ 全機種についての距離別土量集計表
- すべてのステップが終了した段階で、総集計として
- ① 各重機ごとの距離別土量集計表
 - ② 全機種についての距離別土量集計表
 - ③ 総土工量と総土工費

が得られる。また、必要とするステップごとの各ブロックの切土量、盛土量、運搬経路、運搬土量をプロッターにより図式的に表示し、さらに各ステップごとに工事終了時の地形図を描かせる。代表的なアウトプットの例として、ある土地造成工事搬土計画における第2ステップ

の全機種についての搬土計画の一部を表-3に、また図-5には表-3の結果を図に表現したもの、図-6に計画前の現地形図、図-7に第2ステップ終了後の地形図を示した。

表-3において、たとえば12行目にFROM 20 TO 3, P=294, COST=144.37, DIST=249.71, JUKI=SCRAPER, P*C=424, THROUGH=12, 5, 1, 2とあるのは、第20ブロックから12, 5, 1, 2の各ブロックを経由して第3ブロックへ土量 294 m³ をスクレーパーで運搬し、その際の運搬距離が249.71 m, 土工単価が144.37 円/m³, この土工費が424×10² 円であることを示している。得られたアウトプットの中で、まず、各ステップごと、重機ごとの距離ランク別運搬土量の分布をもとにしてこのステップで投入する重機台数を決定する。この段階で同一機種の各ステップごとの所要台数が大幅に異なるような場合には、ステップ分割の数、方法または使用機種について再検討が必要である。各ステップ終了ごとに、その段階での現地形図(たとえば図-7)を参照しながら次のステップの搬土計画へ地形上の制約条件を与えることができる。現場での施工管理には、各ステップごと、重機ごとの搬土計画とプロッターで描かせた運搬経路図(たとえば図-5)を併用すれば的確な施工上の指示を与えることができる。

b) 必要な電子計算機の容量

きめ細かな搬土計画を立てるには、多数のブロックを処理する必要があるが、使用する電子計算機の容量と速

表-3 全機種についての搬土計画

FROM 1 TO 2	P= 553	COST= 43.50	DIST= 40.00	JUKI= BULLDOZER	P*C= 240.
FROM 1 TO 6	P= 11.	COST= 30.46	DIST= 40.00	JUKI= BULLDOZER	P*C= 3.
FROM 4 TO 5	P= 583.	COST= 29.89	DIST= 40.00	JUKI= BULLDOZER	P*C= 174.
FROM 4 TO 6	P= 1809.	COST= 59.26	DIST= 80.00	JUKI= BULLDOZER	P*C= 1072.
THROUGH 5					
FROM 9 TO 17	P= 2282.	COST= 29.44	DIST= 40.00	JUKI= BULLDOZER	P*C= 672.
FROM 11 TO 10	P= 27.	COST= 39.15	DIST= 40.00	JUKI= BULLDOZER	P*C= 11.
FROM 11 TO 18	P= 388.	COST= 48.39	DIST= 56.57	JUKI= BULLDOZER	P*C= 188.
FROM 12 TO 6	P= 4042.	COST= 78.42	DIST= 96.57	JUKI= BULLDOZER	P*C= 3170.
THROUGH 5					
FROM 12 TO 13	P= 200.	COST= 29.32	DIST= 40.00	JUKI= BULLDOZER	P*C= 59.
FROM 12 TO 14	P= 3870.	COST= 53.37	DIST= 80.00	JUKI= BULLDOZER	P*C= 2066.
THROUGH 13					
FROM 19 TO 18	P= 371.	COST= 36.16	DIST= 40.00	JUKI= BULLDOZER	P*C= 134.
FROM 20 TO 3	P= 294.	COST= 144.37	DIST= 249.71	JUKI= SCRAPER	P*C= 424.
THROUGH 12 5 1 2					
FROM 20 TO 6	P= 290.	COST= 103.24	DIST= 153.14	JUKI= SCRAPER	P*C= 299.
THROUGH 12 5					
FROM 20 TO 25	P= 102.	COST= 123.20	DIST= 200.00	JUKI= SCRAPER	P*C= 126.
THROUGH 21 22 23 24					
FROM 20 TO 29	P= 1254.	COST= 48.41	DIST= 56.57	JUKI= BULLDOZER	P*C= 607.
FROM 20 TO 30	P= 203.	COST= 36.09	DIST= 40.00	JUKI= BULLDOZER	P*C= 73.
FROM 21 TO 7	P= 5950.	COST= 103.24	DIST= 153.14	JUKI= SCRAPER	P*C= 6143.
THROUGH 13 6					

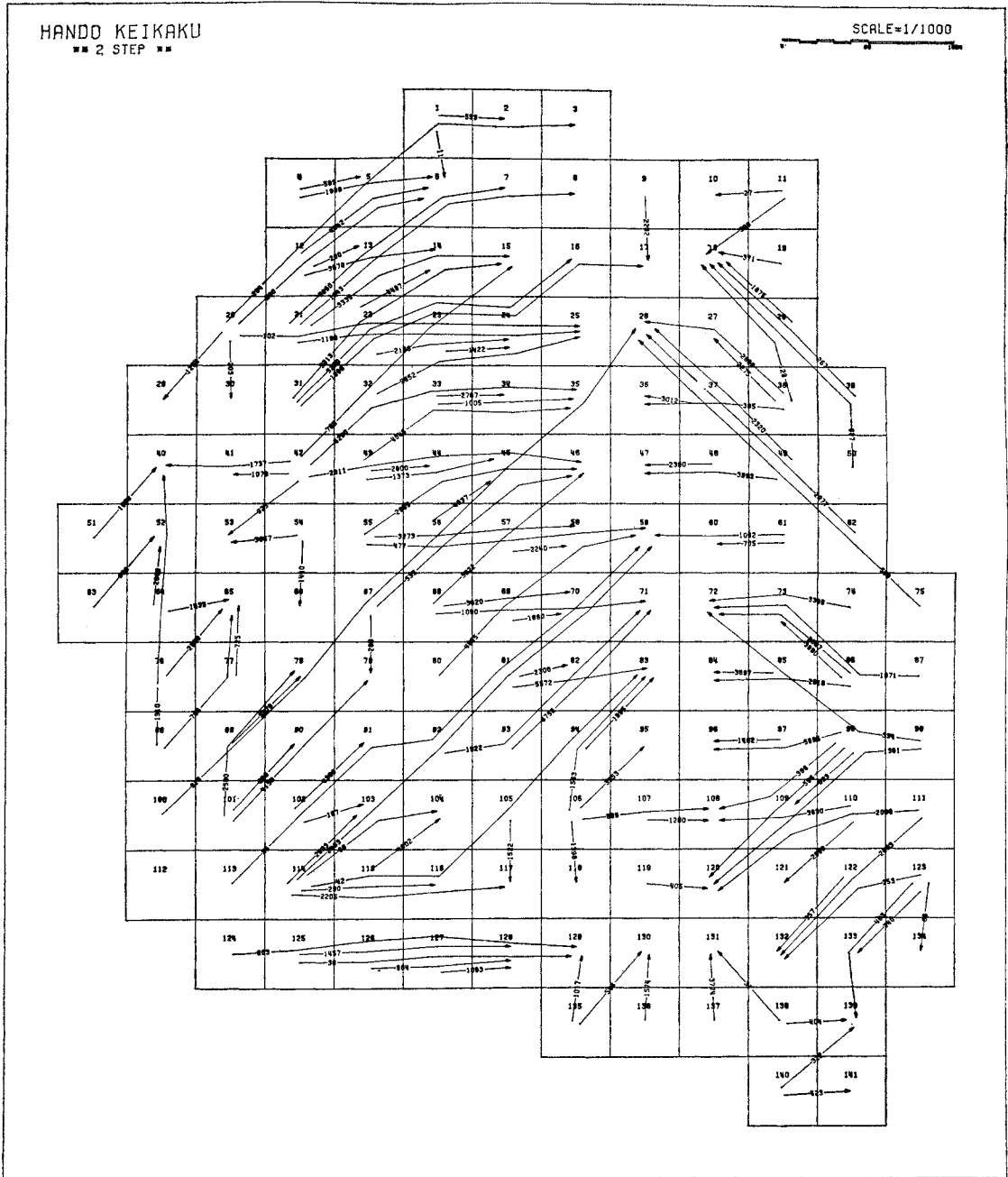


図-5 搬土経路と運搬土量図

度の面からの制約も考慮する必要がある。たとえば、30万 m^2 程度の土地造成計画で、200ブロック（1ブロック40 $m \times 40m$ ）程度に分割するとすれば、500KB程度の記憶容量が必要となる。一般にこの規模の計画では、最適解に到達するまでに400~500の代替案を比較検討することになり、これらについて設計条件、制約条件を変えながら5~6通り比較するとすればかなりの処理速度が要求される。たとえば前項の計算では、電子計

算機としてHITAC-8500（524KB、サイクルタイム0.84 μsec ）と、図化機としてCALCOMP 915/1136を使用した場合、200ブロック程度の規模で400~500の代替案が10分程度で処理される。

(2) 本システム利用上の留意点

一般に、どの計画についても必要なことであるが、本論文におけるように、特に大量の計算を大型電子計算機

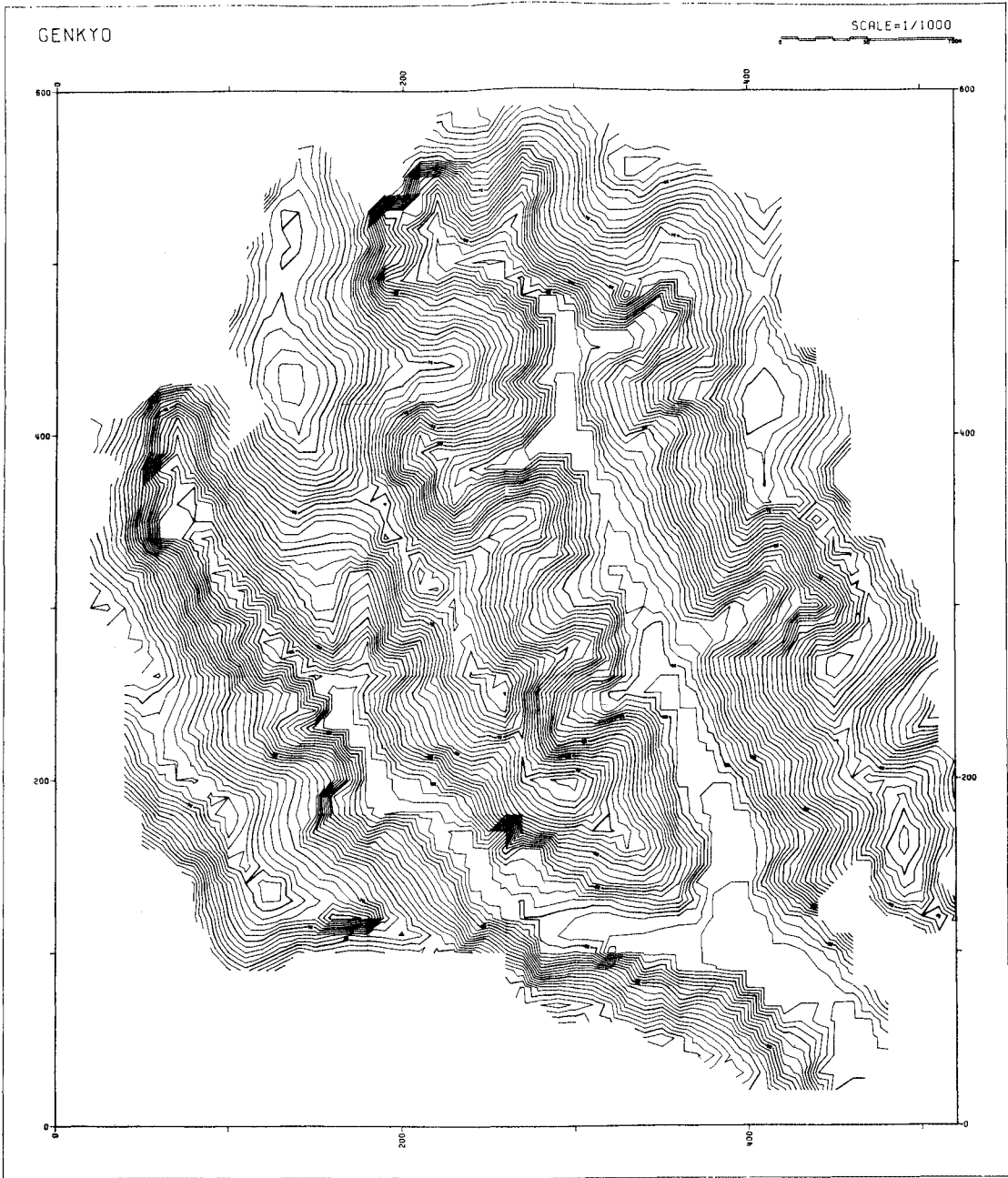


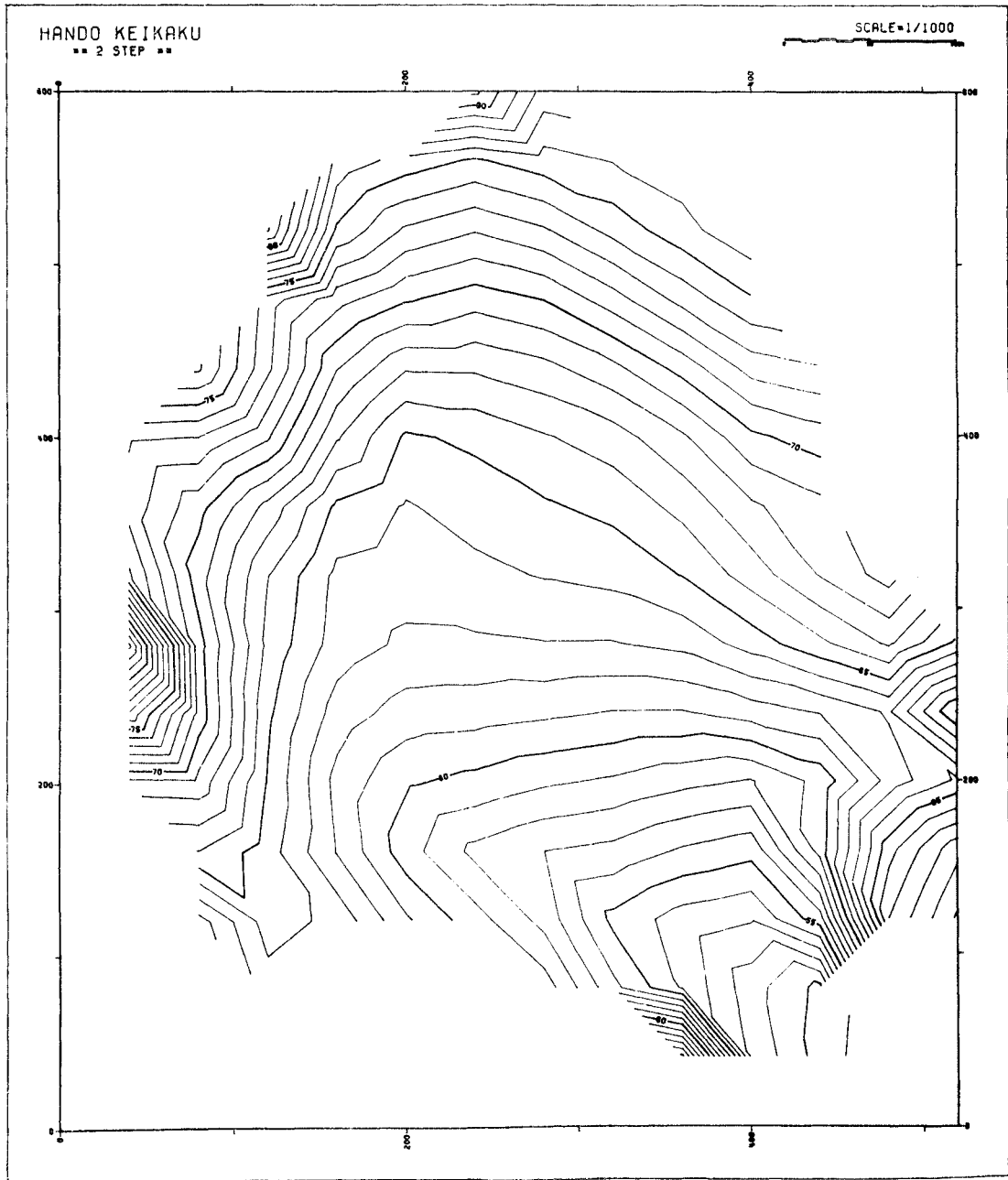
図-6 現地形図

で処理する場合には、目的と目的達成のために要求される精度を事前に明確にしておくことが重要である。たとえば、 m 個の切土ブロックと n 個の盛土ブロックがある場合、初期解として $(m+n-1)$ 組の搬土計画ができる。この解を改善するためには、

$$\frac{(m \cdot n)!}{(m \cdot n - m - n + 1)! (m + n - 1)!}$$

個の組合せを検討しなければならない。ちなみに、 $m =$

10, $n = 10$ とすれば 1.32×10^{20} 個の組合せになる。さ
いまい輸送問題では条件式、目的関数がいずれも線型であるので、おおよそ $(m+n)$ と同じオーダーの解の改善で最適解に到達できるが、その場合でも膨大な計算量の処理が必要であり、いかにすれば最も経済的に目的を達成するかが重要な課題である。このシステムをより実情に即して活用するには、重機に関するデータ、土質に関するデータ、施工法に関するデータなどのそれぞれにつ



図一7 第2ステップ終了後の地形図

いて十分な吟味が必要である。重機に関するデータについては、使用予定機種のパフォーマンスとコストの特性をいかに的確に表現するかが重要であり、このためには実績データの活用や場合によっては現地試験等から有効な資料を得ることも必要である。この時土質データと施工法の規定は密接な関連において考慮する。たとえば、地盤が表土、粘性土、砂質土などの層状構造になっている場合、各層ごとに施工ステップを分割できれば、運搬土の有効な配

分、妥当な土質データの賦与、その土質に最も適した機種種の準備が可能となり、搬土計画のレベルアップを図ることができる。また、場外土取（土捨）場を含めて搬土計画の最適化を図るには、土取（土捨）場と施工区域の間に土量0の仮想ブロックを考慮して全体系についての最適化問題を検討することが必要である。

急峻、複雑な地形の地域で広大な土地造成計画の適切なマスタープランを作成する作業は非常に困難で手間の

かかる作業である。本システムに土量計算の機能を付加すれば、土量計算という機械的な作業に要する労力を省き、施工の段階までを含む経済性を検討することによって、マスタープランの評価、修正という作業サイクルが迅速かつ容易に処理でき、計画、設計、施工のすべての面にわたる一貫した最適化が可能になるであろう。

5. おわりに

目的関数を従来の作業量最小から工費最小に換え、地形条件、施工法を考慮に入れて土工単価を求め、より現実に即した計画へのレベルアップを意図した本研究は、この種の工事計画ならびに施工管理の面で少なからぬ改善を果し得たと信じている。今後の方向としては、定められた施工計画をいかに忠実に実際の施工面で実現し、計画と実施のよりよいバランスのもとに、施工の過程で得られた有益な実績資料を計画面へフィードバックさ

せ、さらに計画技法のレベルアップを図ることができるかにあると考えられる。

参考文献

- 1) 吉川ほか：整地工事における機械稼働の解析，土木学会第26回年次学術講演会講演集第4部，1971.
- 2) 春名・山本：造成工事における機械系選定に関する一考察，土木学会第27回年次学術講演会講演集第4部，1972.
- 3) 春名・山本：大規模整地工事計画のシステム化に関する研究，土木学会論文報告集，第227号，pp. 71~84，1974.
- 4) 村井：Elastic Surface Methodによる宅地造成設計の最適化，土木学会論文報告集，第214号，pp. 37~46，1973.
- 5) 庄子・荒井：機械化土工における工程計画管理最適化問題の定式化，土木学会論文報告集，第214号，pp. 57~70，1973.
- 6) 平田ほか：搬土計画Ⅱ，鹿島建設技術研究所年報第19号，1970.
- 7) 日本建設機械化協会編：建設機械と施工法，技報堂，1966.
- 8) 建設物価調査会編：建設工事標準歩掛。

(1973.12.14・受付)