

土木研究所資料

第198号

土工機械の作業能力に関する調査
ブルドーザの作業能力について 一第1報一

昭和41年7月

建設省土木研究所

土工機械の作業能力に関する調査
ブルドーザの作業能力について - 第 1 報

正 誤 表

頁	行	正	誤
3	上から 11 行	土工板面積	土木板面積
14	上から 1 行	road	read
15	図- 3	運搬距離 (m) サイクルタイム (min)	
16	図- 4	図- 4 実作業時間率 - (日当りの度数分布)	
17	上から 12 行	土工板高さ	土高板高さ
20	上から 14 行	$=LH\cos\phi_1, \sec\phi_1$ ($\phi_1 + C_1$)	$=LH\cos\phi_1 (\phi_1 + C_1)$
	下から 5 行	sec	seo
24	写真- 1	写真- 1 簡易サンプラー	

土工機械の作業能力に関する調査

ブルドーザの作業能力について

—第1報—

機 械 研 究 室

千 田 昌 平

佐々木 輝 夫

目 次

ま え が き	1
1. 調 査 の 概 要	1
2. ブルドーザの作業能力算定式	2
(1) 土工板容量 (q)	2
(2) 土量変化率 (f)	3
(3) サイクルタイム (C_m)	3
(4) ブルドーザの作業効率 (E)	6
3. 実測、調査結果および考察	7
(1) 各変数の実測値とその結果	7
(2) 考 察	12
(3) 土工板容量(q)算定のための一試案	17
(4) 国産機種 of 土工板形状の現状	23
(b) 調査結果と今後の問題点の検討事項	23
あ と が き	25

ま え が き

土工を合理的に施工するためには投入される土工機械の適応性や作業能力を適確に把握することが必要であるが、作業能力は対象となる工事の土工量、施工期間、天候、地形、土質、選路の状況など現場条件によつて大きく影響されるので、これらを適確に把握することは非常に困難である。

特に最近では施工法、土工機械の性能向上、オペレータの技倆の向上などにより作業能力算定基準を再検討する時期にある。

本報告は土工機械のうち、40年度に実施したブルドーザの作業能力についての調査結果をとりまとめたものである。なお、調査は継続中であり、本報告は作業能力算定のための諸係数について問題点の摘出、テストケースとして実測した係数の検討を行つた第1次報告である。

1. 調 査 の 概 要

ブルドーザの作業能力算定式の変数、1)土工板容量(1回当り押土量)、2)サイクルタイム、3)作業効率に含まれる実作業時間率、クローラと土のすべり率その他について、主に文献、実績資料などの調査検討を行い、テストケースとして千葉支所内での試験実例および実際の土工現場での実測調査を行い、作業能力算定式の変数について検討を行つた。

なお、土工現場での実測調査の一部を工事施工者に委託して調査測定を行つた。

2. ブルドーザの作業能力算定式

一般に土工機械の作業能力は単位時間当りの扱い土量で表わされ、ブルドーザの単位時間当り土工量は(1)式により表わされている。

$$Q = \frac{q \times f \times E \times 60}{C_m} \quad (\text{m}^3 / \text{hr}) \quad \text{---(1)}$$

ここで Q : 単位時間当り土工量 (m^3 / hr)

q : 土工板容量 (1回当りのほぐした押土量) (m^3)

f : 土量変化率

E : ブルドーザの作業効率

C_m : サイクルタイム (min)

このブルドーザ作業能力算定式の各変数は、対象となる工事の諸条件によつて決まるものであり、明確な数値として表現することが難しい。文献などによる土工板容量 (q)、土量変化率 (f)、サイクルタイム (C_m) およびブルドーザの作業効率 (E) についてまとめると次のような変数、数値がある。

(1) 土工板容量 (q)

土工板容量はブルドーザ土工板1回当りの基準押土量をいい、その算定方式には種々の方式がある。次にこれらを列挙すると

$$q_1 = \frac{10}{16} L H \quad (\text{伊丹氏による}) \quad \text{---(2)}$$

$$q_2 = \frac{10}{16} L H^2 \quad (\text{能川氏による}) \quad \text{---(3)}$$

$$q_3 = \frac{242}{3} L H^2 \quad (\text{H. L. Nichols 氏による}) \quad \text{---(4)}$$

$$q_4 = \frac{1}{2} L H^2 \quad (\text{Use of Road による}) \quad \text{---(5)}$$

(注) 15機種種の算出例から逆算して係数を求めたもので、係数の平均
0.499

$$q_5 = \frac{L H^2}{2 \tan(\phi + \alpha)} \mu \cdot d \quad (\text{日本道路公団}) \quad \text{---(6)}$$

$$q_6 = L H^2 \left[\frac{1}{2 \tan(\phi + \alpha)} + \epsilon \right] \mu \cdot d \quad (\text{土工機械設計第2次案}) \quad \text{---(7)}$$

- ここで L : 土工板長さ (m)
 H : 土工板高さ (m)
 ϕ : 押土の摩擦角 (度)
 α : 搬路の勾配 (下り勾配で負号をとる) (度)
 μ : 押土の性質に関する係数
 d : 運搬距離による押土の遞減率
 ϵ : 押土によりきまる数値

などがあり、国内のブルドーザメーカー各社でもそれぞれ異つた算定式を用いて土工板容量の仕様値を示している。

図-1は各算定式による土工板容量と土木板面積 $\times$ 土工板高 (LH^2) との関係を示したものである。なお、図-1の土工板の L および H の関係は国産ブルドーザの土工板形状の傾向を示す図-7によつた。

(2) 土量変化率 (f)

土工板容量がほぐした土量で表わされるから、単位時間当り土工量を地山の土量かほぐした土量あるいは締固め後の土量で表わすかによつてそれぞれ $f=1$ 、 $f=1/L$ あるいは $f=C/L$ の値を用いる。ここで、 $L = \frac{\text{ほぐした土量}}{\text{地山の土量}}$ 、 $C = \frac{\text{締固め後の土量}}{\text{地山の土量}}$ である。

土工機械の作業能力算定にあつては土量変化率を正しく知ることが必要であり、特に大規模な土工工事で施工計画ならびに工費に大きな影響を及ぼす場合には現地での調査、試験等を行なうことも必要である。

土量変化率の大略の数値は各種示されているが、現在日本道路協会において審議中の道路土工指針改訂第2次案の土量変化率の数値は表-1のとおりである。

なお、表-1中の土の分類名称も新分類法として同協会で審議中のものである。

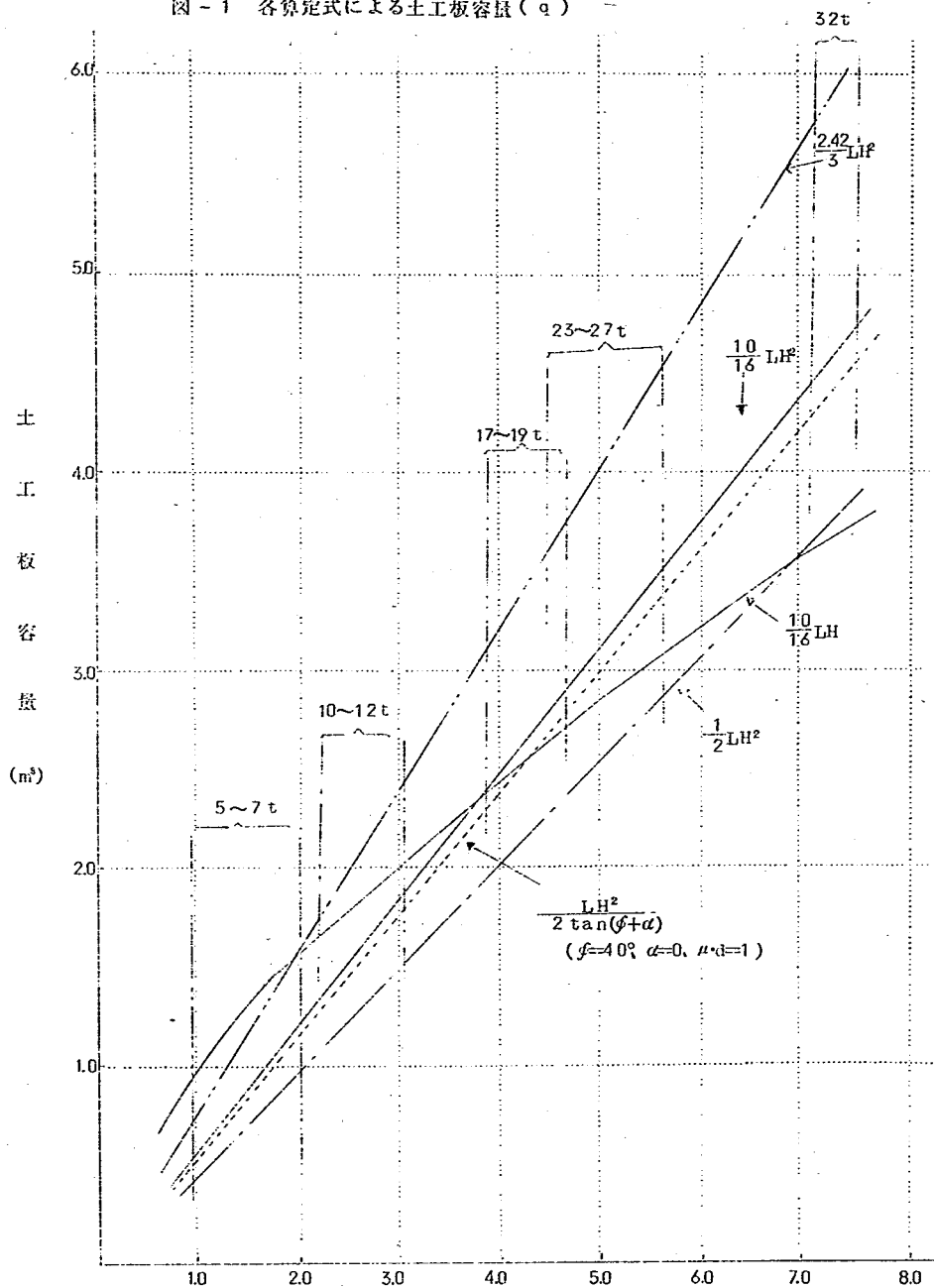
(3) サイクルタイム (C_m)

ブルドーザ作業における前進掘削運搬、後進ギャエの入換後進、前進ギャエの入換を1サイクルとして、これに要する時間サイクルタイム (C_m) は次式により算定されている。

$$C_m = \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} + t \quad (\text{min}) \quad (8)$$

- ここで V_1 : 前進速度 (m/min)
 V_2 : 後進速度 (m/min)
 l : 運搬距離 (m)
 t : ギャ入換時間 (min)

図-1 各算定式による土工板容量 (q)



土工板面積×土工板高さ (L × H²)

表 - 1

土 量 変 化 率

(道路土工指針改訂第2次案による)

大分類	土のおもな種類		L	C	摘 要
粗粒土	岩石	硬 岩	1.7 0～2.0 0	1.3 0～1.5 0	
		中 硬 岩	1.5 5～1.7 0	1.2 0～1.4 0	爆破する場合も含む
		軟 岩	1.3 0～1.7 0	1.0 0～1.3 0	
	レキ 砂利 粒状土	レキ、玉石、ズリ	1.1 0～1.1 5	0.9 5～1.0 5	
		砂 利	1.1 0～1.2 0	1.0 0～1.0 5	
		砂まじり砂利	1.1 5～1.2 0	0.9 0～1.0 0	
		固 結 し た 砂利	1.2 5～1.4 5	1.1 0～1.3 0	
	砂	砂	1.1 0～1.2 0	0.8 5～0.9 5	
		レキまじり砂	1.1 5～1.2 0	0.9 0～1.0 0	
		玉石または ズリまじり砂	1.1 5～1.2 0	0.9 0～1.0 0	
	砂質土	砂 質 土	1.2 0～1.3 0	0.8 5～0.9 0	
		レキまじり砂質土	1.3 0～1.4 0	0.9 0～0.9 5	
		玉石または レキまじり砂質土	1.4 0～1.4 5	0.9 0～0.9 5	
細粒土	粘性土	粘 性 土	1.2 5～1.3 5	0.8 5～0.9 5	ローム質火山灰土も含む
		レキまじり粘性土	1.3 0～1.4 0	0.9 0～1.0 0	
		玉石または ズリまじり砂質土	1.4 0～1.4 5	0.9 0～0.9 5	
	シルト および 粘土	シルトおよび粘土	1.2 0～1.4 5	0.8 5～0.9 5	
		レキまじりシルト および 粘 土	1.3 0～1.4 0	0.9 0～0.9 5	
		玉石またはズリまじり シルトおよび粘土	1.4 0～1.4 5	0.9 0～0.9 5	
$L = \frac{\text{ほぐした土量}}{\text{地山の土量}} \qquad C = \frac{\text{締固め後の土量}}{\text{地山の土量}}$					

前進および後進速度は施工法、勾配、土質、走行路の状況などから速度段を選択し、その定格車速を(8)式に代入してサイクルタイムの算定を行っている。

(4) ブルドーザの作業効率 (E)

ブルドーザの作業効率は、(1)式のQ算定式に前述の各変数を代入して算出された標準の作業能力に対して、現場条件、施工法、運転手の技術その他の影響で実際の能力は100%発揮できないことを考慮した変数であるとして、例えば次のような数値がある。

ブルドーザ作業効率 (E) の参考値

参考資料1 (道路土工指針) のE (タイヤドーザの場合0.1ずつ低い効率を使用する)

作業が順調に進む場合	0.75 ~ 0.85
作業が普通に行われる場合	0.65 ~ 0.75
作業が多小困難な場合	0.55 ~ 0.65
作業がかなり困難な場合	0.45 ~ 0.55

参考資料2 (建設工事の計画と実施) のE (勾配の係数は別にして)

作業の難易	工事種別例	E
容 易	切取り工	0.7 ~ 0.8
普 通	容易な築堤工、広い整地工	0.6 ~ 0.7
やや 困 難	水中作業による河川築堤工、道路工 複雑な地形の整地工	0.5 ~ 0.6
困 難	山腹道路工	0.4 ~ 0.5

参考資料3 (機械化土工) のE (工事総合効率という言葉で表わされている)

特に優秀な場合	0.9
普通の場合	0.83
不良の場合	0.75

参考資料4 (道路土工指針改訂第2次案) のE

砂、含水が低い粘性土、砂質土 レキまたは砂利混り砂	0.85 ~ 0.70
レキ混り砂質土、レキ混り粘性土 含水の低いレキ混り粘土、玉石混り砂	0.80 ~ 0.65
玉石混り砂質土、玉石混り粘性土 含水の低い玉石混り粘土	0.75 ~ 0.60
玉石、レキ、岩屑、粘土、粘性土 含水の高い砂質土	0.65 ~ 0.50
含水の高い粘土、粘性土、含水の高い粘土質火山灰土 玉石混り固結粘性土	0.40 ~ 0.25

3. 実測、調査結果および考察

(1) 各変数の実測調査とその結果

1) 土工板容量 (q)

土工板容量の実測は千葉支所内作業試験場と道路土工、河川土工の実際の土工現場の3個所で行った。押土作業は、かなり平坦で勾配も殆んどない場所を選び、スロット工法（溝押工法）によらず普通の作業方法とし、土工板の押土量を次の2種類の押土状態について測定した。すなわち、土工板に可能なかぎり土を満載するようにブルドーザを数回掘削集土作業させて土工板に満載し3～5 m押土した状態の「満載状態」と実際の土作業中の標準的な押土量と思われる「作業状態」の土量の測定を行ったもので、土工板に土を満載した状態でブルドーザを停止して、その押土の形状をブルドーザの進行軸およびその直角方向について20 cm刻みに高さの測定を行い、区分求積法によつてその体積を求めた。測定結果は表-2のとおりである。

2) 土量変化率 (f)

土量変化率の測定は土工現場でL（ルーズ/地山）について行つたもので、その結果を表-3に示す。なお、測定方法は土の単位体積重量比をもつて土量変化率としたもので、地山の場合は容量1,000 ccのコア-カッタ式現場密度測定器を用いて資料の採取を行い、ルーズな土の場合は資料採取時に密度に影響を与えないようにするため、コア-カッタの直径を大きくした容量3,000 ccの簡易サンブラーを製作し、資料の採取を行つた。写真-1に簡易サンブラーを示す。

3) サイクルタイム

河川土工現場で運搬距離40～60 mについて、ブルドーザ作業のサイクルタイムの実測を行つた。その結果を表-4に示す。

なお、サイクルタイムの実測は巻尺とストップウォッチによつたものである。また表-4の「機関回転速度による計算値」欄の数値は測定時の機関回転速度を回転時間計に別に記録させ、その平均速度よりすべり等のない場合のサイクルタイムとして算定したものである。

4) ブルドーザの作業効率 (E)

ブルドーザの作業効率の中で考えられている機械の実働率について測定したものである。ブルドーザの機関回転時間と作業走行中の機械振動時間を回転時間計に記録させて、その時間比を実作業時間率として、土工現場2個所で1～2ヶ月間測定を行つた。この結果を表-5に示す。

表-2

土工板容量の実測結果と各算定式による値

工事種別	場 所	使用ドーザー	土 質 条 件			押土の状態	実 測 値	算定値(2)式	" (3)式	" (4)式	" (5)式	" (6)および(7)式								
			種 類	含水比	ルーズ 単体重															
試 験	千葉支所	16t(土工板) (3.86m×0.95m)	関東ローム	30.5%	1.171 $\frac{t}{m^3}$	満載状態	4.5 m^3	2.3	2.2	2.8	1.7	※1 2.5								
"	"	"	"	41.3	1.056	"	5.8													
"	"	"	"	41.3	1.056	"	4.3													
	(平均)						(4.65)													
道路切土	51号夏海 バイパス	"	細 砂	11.3	1.541	"	4.2					2.3	2.2	2.8	1.7	※2 2.1				
"	"	"	"	7.5	1.397	"	5.2													
	(平均)						(4.70)													
河川切土	那珂川	"	シルト質 ローム	49.3	1.373	作業状態	2.5									2.3	2.2	2.8	1.7	※3 2.1
"	"	"	"	49.3	1.373	"	2.7													
"	"	"	"	49.3	1.373	"	2.9													
"	"	"	"	49.3	1.373	満載状態	3.4													
	(平均)						(2.88)													
備考																				
注) (6)および(7)式の算定条件																				
※1 $\phi = 35^\circ$ $\alpha = 0$ $\mu \cdot d = 1$ $\epsilon = 0$																				
※2 $\phi = 40^\circ$ $\alpha = 0$ $\mu \cdot d = 1$ $\epsilon = 0$																				
※3 ※2と同じ																				

表-3

土 量 変 化 率 実 測 結 果

月 日	実測場所及び土質	含水比(%)	湿りゆん土の単位体積重量		実測土 量 変化率 L	土量変化率L (土工指針案)	備 考
			地山(γ/cm^3)	ルーズ(γ/cm^3)			
11/4	千葉支所内 細粒土、粘性土、 粘性土	33.19	-	1.327	-	1.25	
			-	1.145			
		27.74	-	1.135			
			-	1.075			
			(30.5)	(1.171)			
11/6	"	45.31	-	1.065	-	1.35	
			-	1.018			
		32.92	-	1.033			
			-	1.068			
		45.56	-	1.063			
			-	1.088			
			(41.3)	(1.056)			
11/9	51号夏海バイパス 粗粒土、砂、砂	14.92	1.735	1.522	1.102	1.10	
		11.75	1.660	1.592			
		7.29	1.695	1.527			
		(11.3)	(1.698)	(1.541)			
11/12	"	9.98	1.770	1.390	1.250	1.20	
		5.31	1.633	1.415			
		5.60	1.835	1.385			
		8.94	(1.746)	(1.397)			
		(7.5)					
1/7	那珂川 細粒土、粘性土、 粘性土	54.6	1.531	1.190	1.073	1.25 ~ 1.35	
		52.1	1.466	1.422			
		51.7	1.417	1.337			
		36.6	1.439	1.422			
		46.1	1.512	1.495			
		54.9	(1.473)	(1.373)			
		(49.3)					

注) 実測土量変化率は各測定値の平均()の数値より求めたもの。

$$\text{土量変化率 } L = \frac{\text{ルーズ}}{\text{地 山}}$$

表-4

サイクルタイム測定表

(単位 min)

回数	走行距離		サイクルタイム		備考	回数	走行距離		サイクルタイム		備考	
	前進	後進	実測値	機関回転速度による計算値			前進	後進	実測値	機関回転速度による計算値		
1	60	60	2.27	2.23	定格車速 のサイクル タイム 1) 40m 1.33 2) 50m 1.60 3) 60m 1.84	41	50	40	1.85	1.89		
2	"	"	2.22	2.23		42	40	60	1.98	1.98		
3	"	"	2.52	2.32		43	60	60	2.51	2.35		
4	"	"	2.49	2.32		44	"	"	2.25	2.23		
5	"	"	2.22	2.32		45	"	"	2.53	2.51		
6	60	40	2.15	2.03		46	"	"	2.53	2.51		
7	40	60	1.66	1.66		47	30	30	1.59	1.53		
8	60	60	2.37	2.32		48	60	60	2.45	2.51		
9	"	"	2.49	2.32		49	"	"	2.62	2.51		
10	"	"	2.33	2.27		50	"	"	2.69	2.51		
11	"	"	2.35	2.27		51	"	"	2.54	2.51		
12	"	"	2.52	2.27		52	"	"	2.55	2.51		
13	"	"	2.34	2.27		53	"	"	2.59	2.51		
14	"	"	2.50	2.50		54	60	50	2.41	2.41		
15	"	"	2.53	2.50		55	45	50	2.00	2.00		
16	"	"	2.57	2.50		56	50	40	2.09	2.04		
17	"	"	3.12	2.62		57	40	40	2.08	1.77		
18	"	"	2.74	2.37		58	40	30	1.82	1.81		
19	30	60	2.56	2.37		59	40	60	1.88	1.97		
20	60	60	2.45	2.32		60	60	60	2.37	2.51		
21	"	"	2.46	2.32		61	50	50	2.24	2.14		
22	50	50	1.94	1.98		62	"	"	2.00	2.14		
23	50	60	1.99	2.10		63	40	60	1.95	1.97		
24	60	60	2.72	2.32		64	60	40	2.35	2.31		
25	"	"	2.66	2.32		65	45	30	1.82	1.81		
26	"	"	2.46	2.27		66	40	40	2.00	1.94		
27	"	"	2.39	2.27		67	50	60	2.00	2.24		
28	60	40	1.91	1.93		68	30	-	-	-		
29	40	40	1.59	1.61		注) 1. 機関回転速度による計算値：実測時の機関平均回転速度より算定したサイクルタイム 2. 定格車速のサイクルタイム：機関定格回転速度におけるサイクルタイム計算例 (R-2、R-3、t 0.3minのとき)						
30	40	50	1.69	1.72								
31	50	50	2.06	1.94								
32	"	"	2.00	1.94								
33	50	60	2.06	2.05								
34	60	40	2.57	2.21								
35	50	60	2.68	2.35								
36	60	60	2.73	2.35								
37	"	"	2.45	2.35								
38	"	"	2.50	2.35								
39	60	50	2.34	2.23								
40	50	50	1.66	1.99								

表-5

実作業時間率測定表

月日	機関運転 時 間	実 作 業 時 間	実作業時 間率 (%)	備 考	月日	機関運転 時 間	実 作 業 時 間	実作業時 間率 (%)	備 考
(道路土工、押土作業)				16 ^t フル	(河川土工、押土作業)				16 ^t フル A2
11/9	h min 3. 50	h min 3. 13	83. 9		1/11	h min 7. 07	h min 6. 52	96. 5	
11/10	8. 30	7. 42	90. 6		1/12	7. 42	7. 24	96. 1	
11/11	8. 19	8. 00	96. 2		1/14	7. 46	7. 33	97. 2	
11/12	7. 43	6. 33	81. 4		1/17	5. 26	5. 21	98. 5	
11/13	7. 17	6. 59	95. 9		1/18	6. 20	6. 05	95. 3	
11/14	3. 57	3. 20	84. 4		1/19	7. 15	7. 06	97. 5	
11/15	6. 48	6. 27	94. 9		1/20	7. 15	7. 10	98. 8	
11/16	7. 44	7. 12	93. 1		1/21	7. 07	7. 03	99. 0	
11/21	7. 39	6. 25	79. 5		1/22	2. 14	2. 10	97. 0	
11/22	8. 08	5. 46	70. 9		1/23	7. 03	6. 47	96. 2	
11/23	7. 18	5. 58	81. 7		1/24	7. 09	7. 06	99. 3	
11/24	8. 06	6. 27	79. 6		1/25	8. 03	7. 51	97. 5	
11/27	6. 20	4. 30	71. 1		1/26	7. 35	7. 22	97. 1	
11/28	6. 23	5. 32	86. 7		1/27	5. 35	5. 32	99. 1	
11月計	98. 02	84. 04	85. 8		1/28	7. 24	7. 20	99. 1	
12/2	2. 27	2. 16	92. 5		1/29	6. 15	5. 49	93. 1	
12/11	6. 04	5. 26	89. 6		1/30	6. 45	6. 39	98. 5	
12月計	8. 31	7. 42	90. 5		1/31	7. 46	7. 33	97. 2	
全期計	106. 33	91. 46	86. 2		1月計	1214. 7	118. 43	97. 4	
(河川土工、押土作業)				16 ^t フル A1	2/ 1	4. 00	2. 51	71. 3	
1/17	6. 35	5. 43	86. 7		2/ 2	8. 03	7. 21	91. 3	
1/18	8. 09	7. 36	93. 3		2/ 3	7. 06	6. 36	93. 0	
1/19	4. 18	2. 07	49. 3		2/ 4	8. 03	7. 37	94. 5	
1/20	3. 29	3. 06	89. 0		2/ 5	7. 52	7. 17	87. 5	
1/21	7. 46	7. 00	90. 2		2/ 6	7. 46	7. 24	95. 1	
1/24	5. 37	4. 32	80. 8		2/ 7	7. 46	6. 44	87. 1	
1/25	2. 50	2. 32	89. 4		2/ 8	6. 42	6. 17	93. 9	
1/26	3. 28	3. 12	92. 4		2/ 9	7. 40	7. 36	99. 3	
1月計	42. 18	35. 48	84. 6		2/10	7. 37	6. 59	91. 7	
					2/11	7. 49	7. 35	97. 0	
					2/12	5. 53	5. 48	98. 6	
					2/13	7. 19	6. 34	89. 8	
					2/14	7. 45	7. 28	96. 4	
					2/15	5. 05	4. 57	97. 4	
					2/16	8. 31	8. 07	95. 3	
					2/19	8. 02	7. 52	98. 0	
					2/20	7. 51	7. 36	96. 9	
					2月計	1305. 0	122. 39	93. 8	
					全期計	2523. 7	241. 22	95. 6	

なお、測定個所とその工事の条件は表-6のとおりである。

表-6

実作業時間率測定個所および条件

調査場所	関東地方建設局常陸工事事務所	
工事の分類	道路新設土工	河川新設土工
土質	細砂	粘土質ローム
作業現場	山間(勾配2~3%)	畑(平地)
土工量	約 10,000m ³	約 50,000m ³
施工区分	請負	直営

(2) 考 察

1) 土工板容量(q)

実測値は表-2のとおりかなりバラツキがある。これには土質条件、測定方法とともに土工板に溝破する基準が明確でないことなどによると思われる。

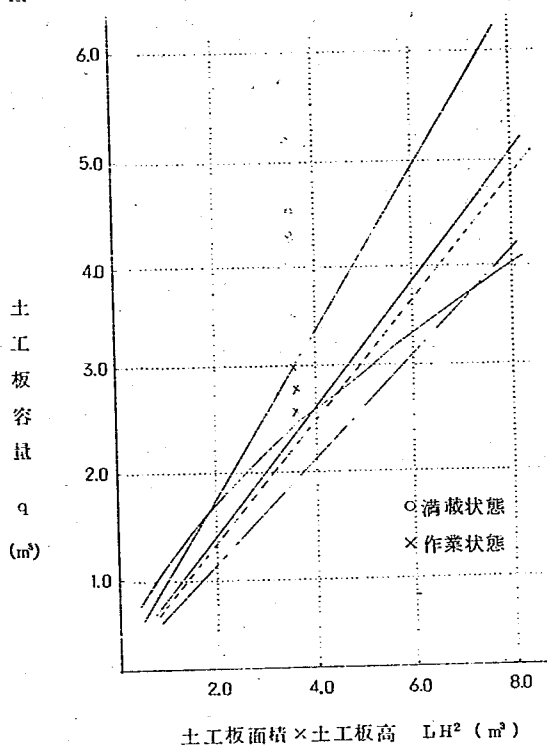
しかし、実測値は各算定式による数値よりかなり大きな値を示している。各算定式による数値が「溝破状態」の土量か、または作業量とサイクル回数から求めた平均的な土量(作業状態)を表わしたものか明らかでないが、一般的には後者と想定されることから特に(2)~(5)式については、その算定式にブルドーザの作業効率の要素が含まれていることが考えられ、表-2の結果になったものであろう。

また、土質による土工板容量の変化について実測結果では資料が少なく明らかでないが、各算定式の土質による土工板容量の補正はブルドーザ作業効率に含められていると考えられる。

以上の実測結果と実測作業中と同じ条件で算定した各算定値の比較を表-2、図-2に示すが実測した1機種に限っては作業状態の土工板容量が(4)式($2.42/3(H^2)$)に最も近くなっている。

なお、土工板容量が土質などの現場条件と土工板形状(LH または LH^2)以外にブルドーザの機関出力、けん引力、重量などの影響も考えられ、これらの要素を含めた算定試案について(3)の項で記述する。

図-2 土工板容量の実測値と算定値の比較



2) 土量変化率 (f)

土量変化率の実測値は表-3のとおり数個の資料の平均値から求めたものである。実測結果、砂質土の場合は土工指針案の数値にかなり近く、関東ロームの場合は実測値が小さな値であつた。

なお、ルーズな土の資料採取に使用した簡易サンブラーはかなり良好で安定した結果が得られたように思われる。

3) サイクルタイム (Cm)

サイクルタイムの実測結果では定格車速で算定したサイクルタイムより実測値が大きくなっている。この原因として例えば実測時にも機関回転速度が定格回転数に達しない状態でブルドーザが運転されており、このように現場の条件、オペレータの運転技術などによつて定格車速に達しないことが考えられるので、実際のサイクルタイムは補正することが必要であろう。

サイクルタイムについて Use of read そのほかの文献では固定時間という考え方を導入しており、固定時間とはギヤ入換時間、定格車速に達するまでの加速時間、掘削、撤出時間など運搬距離に無関係に必要とされる時間であり、そしてサイクルタイムは残りの運搬距離と車速で決まるとしている。固定時間について、例えば Hand Book of Heavy Construction では

前後進レバーのみの操作によるブル作業の場合 0.15 min

前後進の速度段を変えてブル作業を行なう場合 0.30 min

の固定時間を示している。

定格車速より算出する標準のサイクルタイムを実作業のサイクルタイムに補正する方法には前記の固定時間によるか、すべり率をも考慮して効率により前後進走行時間に対して補正する方法がよいか検討を要するところと思われる。

図-3の①②③の直線は固定時間を入れて実測を行ったブルドーザの定格車速の場合の運搬距離-サイクルタイムの関係を表わしたもので、実測したサイクルタイム(・印)から運搬距離-サイクルタイムの関係の回帰直線を求めると④の直線となる。これから推定される固定時間は0.75 minであり、作業速度は定格車速の約0.8となつている。

4) ブルドーザの作業効率(E)

ブルドーザの作業効率の検討にあたっては、Eの数値そのものの検討ほか作業能力に影響を与える数多くの不確定要素をそれぞれ検討していく方法がある。例えば土質、含水比、土工量、運搬距離などの影響については土工板容量で、施工法、地形、作業場所の環境などについてはサイクルタイムで、工事規模、機械の配置などによる機械の稼働率については実作業時間率のような係数で検討すれば、作業効率としてはオペレータの技倆、機械の新旧の程度などを考慮すればよく係数の決定が容易で簡便になると考えられる。

40年度は作業効率Eと実作業時間率の実測を試みたが各係数のうち土工量(掘削跡坪)の把握が充分でなかつたので作業効率の数値を求めることができなかった。実作業時間率の実測結果の1日ごとの実作業時間率の度数分布は図-4のとおりであり、総運転時間に対する実作業時間率は道路土工の場合86.2%、河川土工の場合93.9%であつた。

この実測結果ではブルドーザの廻送時間を特に区分していない。(ブルドーザを作業現場に置いている)機械の格納場所が作業現場と異なる場合は廻送時間を区分することも必要と考えられるが、このような方法で各種の条件での資料を得れば一つの基準ができるものと考えられる。

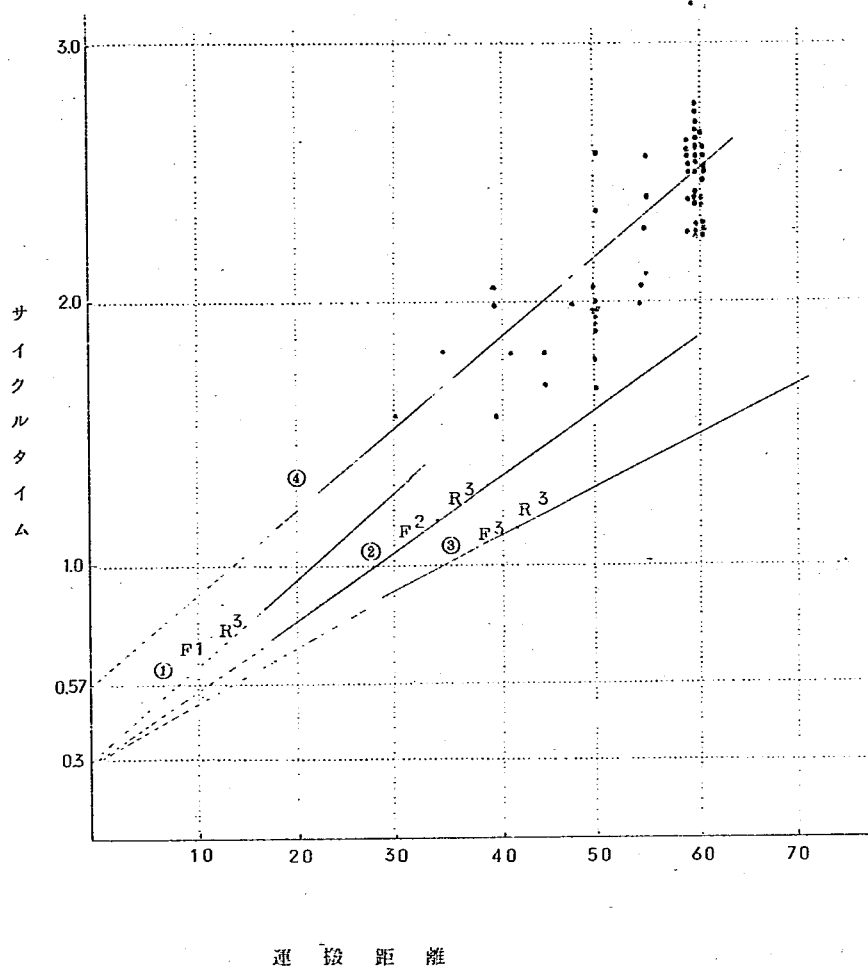
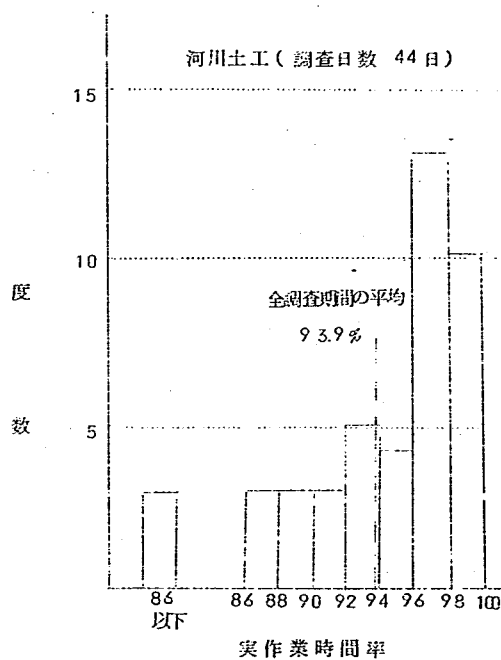
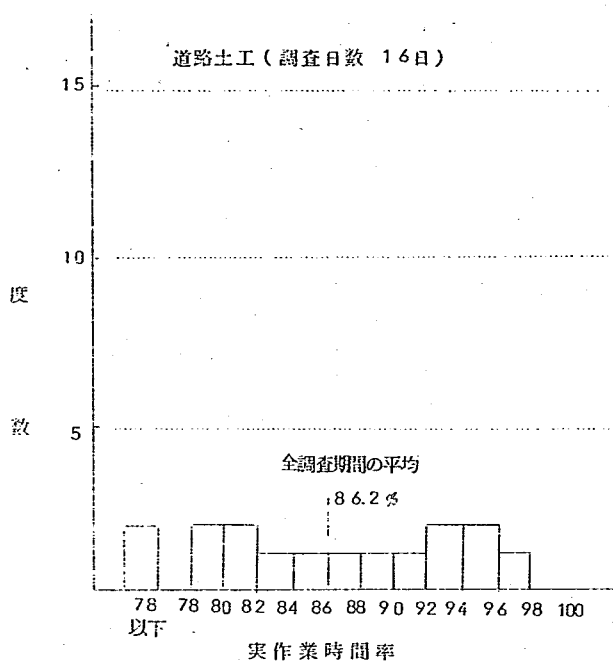


図-3 運搬距離とサイクルタイム

図-4 実作業時間率（日当りの度数分布）



(3) 土工板容量 (q) 算定のための一試案

1) 土工板容量算定式

土工板容量の決定される要素は土工板形式、形状、けん引力などの機械条件と土質、施工法、搬路の状況、オペレータの技倆などの作業条件が考えられる。

機械条件のみを考えた場合、前述各算定式では土工板形状によつて土工板容量が決定されるとしているが、ブルドーザのけん引力も土工板容量に影響することが考えられる。土工板形状とけん引力等から土工板容量を算定する方法として次のように考えてみた。この算定式は(9)式のとおりである。

$$q = LH \left(m - \frac{H}{2 \tan \phi_1} \right) \quad (\text{m}^3) \quad (9)$$

ここで q : 土工板容量 (m^3)

L : 土工板長さ (m)

H : 土工板高さ (m)

ϕ_1 : 押土により形成される土工板前面の角度 (度)

m : 土質、搬路の状況、機関出力またはけん引力より決まる定数 (m) であり、次式より求める。

$$m = \frac{1}{rH \tan \phi_2 + c_1} \left\{ \frac{0.27 P_0 \cdot \xi_1 \cdot \xi_2}{V L} - h \cos \phi_2 \cdot \sec \phi_2 (rH \tan \phi_2 + C_2) + \frac{r H^2 \tan \phi_2}{2 \tan \phi_1} \right\} (\text{m}) \quad (10)$$

ここで r : ルーズな押土の見掛けの密度 (t/m^3)

P_0 : 機関出力 (Ps)

ξ_1 : ブルドーザの動力伝達機構の効率

ξ_2 : 走行抵抗損失による効率

V : ブルドーザの前進作業速度 (Km/hr)

ϕ_2 : 押土の摩擦角 (度)

C_1 : 押土の粘着力 (ルーズな土) (t/m^2)

C_2 : " (地山) (t/m^2)

h : 押土中の土工板の常時くい込み深さ (m)

2) 押土の仮定と算定式の誘導

土工板で押される押土を図-5のように仮定する。

すなわち、高さを土工板高 H 、上底 n 、下底 m の台形断面で土工板長 L を巾とする立体

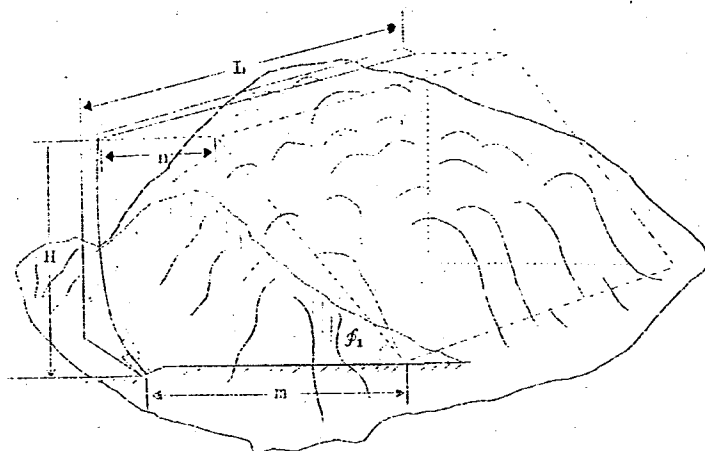


図-5 押土の形状

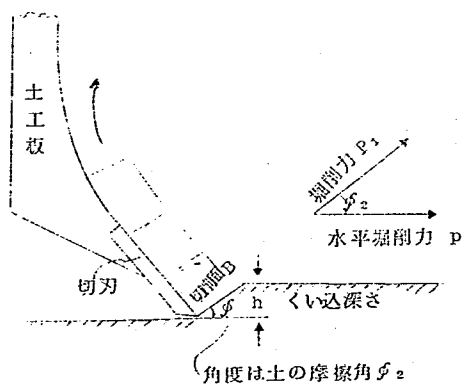


図-6 土工板の掘削

とするもので、その押土形状は土塊を押すに要する力と機関出力のうち、押土に發揮しうる力がバランスしたときに定まる押土形状から求めて、その体積を標準の土工板容量にしようとするものである。

Ⅰ) 押土の体積

図-5の押土の台形断面の下底 m はブルドーザの機関出力、けん引効率、土質などから定まる定数とし、押土前面の角度 ϕ_1 は土の摩擦角とすると、上底 n は $m - \frac{H}{\tan \phi_1}$ となる。よつて台形面積(A)および体積(q)は

$$A = H \left(m - \frac{H}{2 \tan \phi_1} \right) \quad (11)$$

$$q = L H \left(m - \frac{H}{2 \tan \phi_1} \right) \quad (12)$$

で求められる。

Ⅱ) 押土の形状と下底長 m

ブルドーザの押土量は掘削から運土作業に移る点で最も大きくなり、選搬中は常に小量の掘削を続けながら押土を確保し運土作業が行なわれる。

土工板の押土作業に要する力は大略次のように考えられる。すなわち、

押土塊と地盤とのせん断抵抗(すべり抵抗)

掘削力(運土中の小掘削)

土工板刃先と地盤の摩擦抵抗

であり、一方土工板には機関出力から

動力伝達機構の損失

走行抵抗その他の損失

を除いたけん引力が働らくとする。

算定試案ではブルドーザの押土作業で土工板に働らくこの両方の力がつり合う状態の押土量を標準の土工板容量として考えたもので、したがつて図-5に仮定した押土形状から下底長 m を機種ごとに求めようとするものである。

一般に土のせん断強さは

$$\tau = \sigma \tan \phi + c \quad (Kg/cm^2) \quad (13)$$

ここで σ : 垂直荷重

ϕ : 土の摩擦角

c : 粘着力

で表わされており、押土作業に要する力を次のように考える。

まず、押土塊と地盤のせん断抵抗 τ_s は(13)式の垂直荷重 σ を rH とすると

$$\begin{aligned}
C_s &= (rH \tan \phi_2 + C_1) L \cdot n + \left(\frac{1}{2} rH \tan \phi_2 + C_1\right) L (m-n) \\
&= (rH \tan \phi_2 + C_1) L \left(m - \frac{H}{2 \tan \phi_1}\right) + \left(\frac{1}{2} rH \tan \phi_2 + C_1\right) L \cdot \frac{H}{\tan \phi} \\
&= L \left\{ rH \cdot \tan \phi_2 \left(m - \frac{H}{2 \tan \phi_1}\right) + C_1 m \right\} \text{-----} (14)
\end{aligned}$$

で表わされる。次に堀削抵抗は図-6のように切削面B(切削面の角度は土の摩擦角とする)でせん断破壊を起すときの土のせん断強さと切削面積から求めるものとする。切削面積は、土工板刃先の摩擦抵抗分も含めて、常にくい込深さをhと仮定したときの面積とする。したがって切削面積Bは

$$B = L \cdot h \operatorname{cosec} \phi_2$$

であり、切削力(堀削抵抗) p_1 は

$$\begin{aligned}
p_1 &= L \cdot h \operatorname{cosec} \phi_2 \cdot c \\
&= L h \operatorname{cosec} \phi_2 (\sigma \tan \phi_2 + C_2)
\end{aligned}$$

である。この水平掘削力pは

$$\begin{aligned}
p &= P_1 \sec \phi_2 \\
&= L h \operatorname{cosec} \phi_2 \cdot \sec \phi_2 (\sigma \tan \phi_2 + C_2) \text{-----} (15)
\end{aligned}$$

で表わされる。

以上から押土作業に要する力Fは(14)式と(15)式を加えたものとなる。

$$\begin{aligned}
F &= C_s + p \\
&= L \left\{ rH \tan \phi_2 \left(m - \frac{H}{2 \tan \phi_1}\right) + C_1 m \right\} + h \operatorname{cosec} \phi_2 \cdot \sec \phi_2 \\
&\quad \times (rH \tan \phi_2 + C_2)
\end{aligned}$$

ここで垂直荷重 σ は掘削点であるから rH とすると

$$\begin{aligned}
F &= L \left\{ rH \tan \phi_2 \left(m - \frac{H}{2 \tan \phi_1}\right) + C_1 m \right\} + h \operatorname{cosec} \phi_2 \cdot \sec \phi_2 \\
&\quad \times (rH \tan \phi_2 + C_2) \text{-----} (16)
\end{aligned}$$

であり、ドーザが車速 V (Km/h)で押土するときの所要動力 P_T (P_S)は

$$\begin{aligned}
P_T &= \frac{V \cdot F}{0.27} \\
&= \frac{VL}{0.27} \left\{ rH \tan \phi_2 \left(m - \frac{H}{2 \tan \phi_1}\right) + C_1 m + h \operatorname{cosec} \phi_2 \cdot \sec \phi_2 \right. \\
&\quad \left. \times (rH \tan \phi_2 + C_2) \right\} \text{-----} (17)
\end{aligned}$$

より求められる。一方土工板には機関出力 P_0 (P_S)に動力伝達機構の効率 ξ_1 と走行抵抗損失による効率 ξ_2 を掛けた、

$$P = P_0 \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \text{-----} (18)$$

が働く。

これからブルドーザが車速 V で押土作業するとき、その押土の形状は図-5であり、押土の所要動力 P_T は(17)式で、トラクタの発揮しうるけん引力は(18)式で与えられる。

そこで押土量は(17)式と(18)式による動力が等しいとき最大となり、これを標準の土工板容量にしようとしたものであるから両式を等号で結べば、押土量とその形状が求められ、したがって下底長 m は次式により求められる。

$$P = P_T$$

$$P_0 \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 = \frac{VL}{0.27} \left\{ rH \tan \phi_2 \left(m - \frac{H}{2 \tan \phi_1} \right) + C_1 m + h \cos \phi_2 \cdot \sec \phi_2 \right. \\ \left. \times (rH \tan \phi_2 + C_2) \right\}$$

$$\therefore m = \frac{1}{rH \tan \phi_2 + C_1} \left\{ \frac{0.27 P_0 \cdot \xi_1 \cdot \xi_2}{VL} - h \cos \phi_2 \sec \phi_2 (rH \tan \phi_2 + C_2) \right. \\ \left. + \frac{rH^2 \tan \phi_2}{2 \tan \phi_1} \right\} \quad (19)$$

以上、(19)式にブルドーザ作業の諸条件を入れて幾種ごとに標準的な下底長 m を求めておき、(9)式により土工板容量を算定しようとするものである。なお、図-5で仮定した点線の押土形状と実際の形状は土質ごとに異なることが考えられるが、これは土質による容量係数をもつて補正することが考えられる。

Ⅲ) 二、三の機種についての試算結果

前述の算定式(9)および(19)式により、10t、17t、33t級ブルドーザについて、下底長 m と土工板容量 (q) の試算結果を表-7に示す。

なお、算定のための係数のうち、押土中の土工板の常時くい込み深さ h は $H/20$ 、押土により形成される角度 ϕ_1 は土の摩擦角とするが、ここでは 45° として算定し土質ごとの角度、容量に対する補正は別に考慮するように考えている。また、運搬中のルーズな土の粘着力 C_1 は0と仮定した。その他の係数は表-7のとおり実測値および推定値を用いたものである。

表 - 7

二、三の機種種の m と q 試算結果

算 定 条 件	項 目		機 種				摘 要
			17t(A社) 実測機	10t(B社)	17t(C社)	33t(A社)	
	機 関 出 力 P.		120	110	130	265	
	土 工 板 長 L (m)		3.86	3.65	3.86	4.78	
	土 工 板 高 H (m)		0.95	0.89	0.98	1.25	
	車 速 V (Km/h)		2.5	2.59	2.6	2.7	
	伝 送 効 率 ξ_1		} 0.7	} 0.7	} 0.7	} 0.7	
	走 行 効 率 ξ_2						
	ルーズな土の見掛けの密度 γ (t/m³)		1.4	1.4	1.4	1.4	ローム質土の実測値
	土の摩擦角 ϕ_2 (度)		40°	40°	40°	40°	掘削資料の三軸試験結果から地山の状態を推定
土の粘着力 C_2 (t/m²)		8~12	8~12	8~12	8~12	〃	

試 算 値	押土形状の下底 長 m (m)	C_2	8	1.78	1.76	1.82	2.44	
			10	1.61	1.58	1.65	2.27	
			12	1.42	1.41	1.48	2.10	
	土工板容量 q (m³)	C_2	8	4.8	4.3	5.0	10.8	
			10	4.1	3.7	4.4	9.8	
			12	3.5	3.1	3.7	8.8	

(4) 国産機種 of 土工板形状の現状

土工板はトラクタの性能に適合し、押土量が最大となるように、その形状を定められることが望まれるが、ブルドーザの輸送などの取扱いの関係から大型機種の土工板形状で特に土工板長に制約を受けることも考えられる。

現在、わが国で生産されているアングルドーザの土工板形状（土工板長、土工板高）は大略図-7のような傾向を示しており、土工板のL/H比はほぼ直線と考えられる。図-8はブルドーザ重量と土工板面積の関係を示したものである。

(5) 調査結果と今後の問題点の検討事項

以上、限られた条件での実測結果からブルドーザ作業能力算定のための各変数の問題点の指摘を試みたものであるが、資料数が少なく的を得ていないもあると考えられるが、今後は更に次のような検討を行って資料の蒐集、施工例の調査を進めれば作業能力算定基準の確立のための指針が得られるであろう。

i) 土工板容量： 実土工現場での土質別の実測資料を蒐集するとともにブルドーザの有効押土動力、走行抵抗の検討、押土の掘削性や固さと土質調査の方法の検討などから算定方式の検討、土工板容量の補正法について検討する。

ii) サイクルタイム： 現場条件、オペレータの技倆などによる作業別のサイクルタイムの補正方法の検討などを行う。

iii) 作業効率： 実作業時間率などの実績調査を行い、工種、工事規模などにより、分類できるかどうかなどを検討する。

図-7 国産機種 of 土工板形状

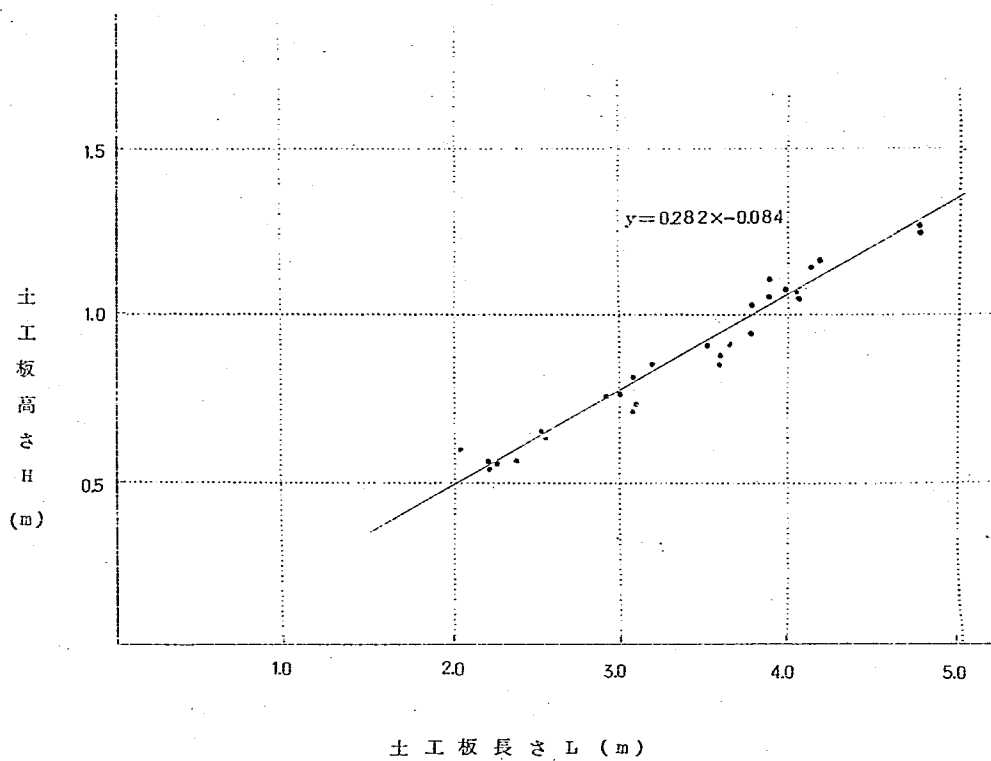


写真-1 簡易サンプラー

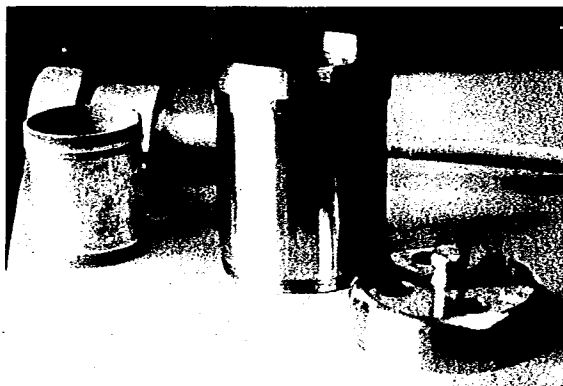
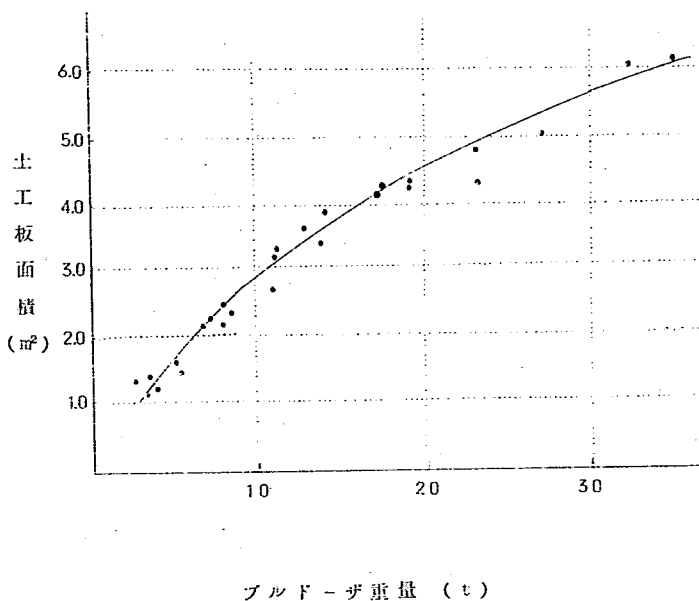


図-8 ブルドーザ重量と土工板面積



あ と が き

以上ブルドーザの作業能力算定基準について文献、資料の調査とテストケースとして行つた各係数の調査について、調査測定方法、測定結果を報告したものであるが、問題点の指摘程度にとどまつたものであつて、今後、これらの諸係数の問題点の解明を行い、各種土工工事算定基準、合理的な施工法などを検討していく必要があろう。

おわりに、本調査に御協力を頂いた関東地方建設局常陸工事事務所の関係各位に厚く感謝致すものである。