

土 木 研 究 所 資 料

岩石掘削工法に関する試験調査(第2報)

—リッパ掘削施工実績調査の解析—

昭和55年 6 月

建設省土木研究所
機 械 研 究 室

岩石掘削工法に関する試験調査（第2報）

— リッパ掘削施工実績調査の解析 —

目 次

1. ま え が き	1
2. 調査の目的と範囲	2
3. 施工実績調査資料の解析	2
3. 1. 施工実績調査資料の整理	3
3. 2. 岩盤の地山弾性波速度	7
3. 3. 使 用 機 械	8
4. リッパ掘削能力	11
4. 1. 時間当たり施工量	13
4. 2. リッピング作業速度	19
4. 3. 単位時間・単位機械重量当たりの掘削量（勾配補正単位掘削量）.....	21
4. 4. リッピング平均有効断面積	27
4. 5. 平均作業勾配と掘削量（弾性波補正単位掘削量）.....	31
4. 6. 岩石の種類と掘削量	34
5. リッパ掘削作業の適用限界の推定	35
6. 結 言	37
付 録 昭和46年度機械施工積算合理化調査 岩石工調査実施要領.....	39

1 ま え が き

近年、岩石掘削工法における有力な手段の一つである発破工法は、発破の使用規制、公害問題あるいは施工の安全性向上などの観点から制限が加えられつつある。この結果、リッパ工法やトンネルボーリングマシンなどの機械掘削が見直され、施工例も増加の傾向がみられ、しかも機械掘削による施工可能領域は、建設機械の大形化、高出力化などの技術進歩に伴って次第に拡大してきている。しかしながら、機械掘削工法を岩石工の実現場に適用する場合、現在でも系統的な調査研究資料が不十分なため、機械の使用条件、施工能力及び経済性等については、必ずしも明確にされておらず、現場における経験的判断にたよっているのが現状である。

一般に岩石工は、土工に比べコストや工期が5～10倍程度にもなるのが普通なため、工事施工計画の段階で適切な工法を選択することが重要な課題となっている。こうした背景から、在来 of 岩石掘削工法の適用区分を明らかにするとともに、省力化、能率向上及び低公害を目指した新しい岩石掘削工法の開発が要望されている。

土木研究所機械研究室においては、昭和49年度より岩石掘削工法の問題をとりあげ、普及度の高い岩石掘削工法の一つであるリッパ工法を対象に掘削機構の解明、能率の向上及び施工領域の拡大の可能性を検討するため、室内模型実験及び実大実験、現場調査並びに既存資料の解析等の試験調査を実施している。

本報告書は、岩石掘削工法に関する試験調査の一環として、工事現場における施工実績調査資料をもとに施工条件と施工能力の相互関係の把握及びリッパ工法の適用限界の推定に関して、昭和53年度に解析した結果をとりまとめたものである。

機械研究室 室 長 沢 田 茂 良
研究員 太 田 宏

2 調査の目的と範囲

本調査は、昭和46年度及び昭和47年度の両年度に建設省において実施した道路工事に関する岩石工歩掛調査のうち、リッパ工法における31工事の75ケースの施工実績調査データを対象に、次にあげる事項を目的として調査、解析を行った。

- (1) 昭和46年度及び昭和47年度の両年度のリッパ工法に関する施工実績調査資料を解析し、使用機械の規格、岩石及び岩盤の工学的性質、作業勾配、使用爪数、掘削量並びに時間当たり施工量等のリッパ掘削能力に関する相互関係を調査する。
- (2) リッパ岩石掘削における適用限界を推定する。

3 施工実績調査資料の解析

解析に使用した施工実績調査資料は、長期調査と短期調査に関するものに分かれている（付録の岩石工調査実施要領を参照）。

長期調査では、岩石掘削（浮石落とし、小割り及び排土までを含む）及び同箇所の法面整形について、工事量、工期、労力、作業日数、使用機械の供用日数、運転日数及び運転時間等を調査し、施工法、施工条件毎の標準歩掛りを求めるとともに標準機種、規格及び標準材料の選定を行おうとするもので、発破－掘削ブルドーザ併用、リッパ掘削－発破併用及びリッパ掘削－ブルドーザ併用等のように各施工法が混在しているため、リッパ単体の掘削施工能力の解析には直接利用することは不可能であり、参考資料として使用した。

一方、短期調査は、1日調査としてリッパ掘削だけについて初期、中期、後期の3回程度調査が行われ、リッピング時間、掘削サイクルタイム、作業量、施工条件、岩盤の工学的性質及び岩石の分類等について詳細な調査が行われており、リッパ掘削能力を解析するのに適している。

従って、本調査におけるリッパ掘削能力の解析は、短期調査資料に基づいて実施することにした。表3.1に解析に用いた施工実績資料数の年度別、調査地建別内訳を示す。

表 3.1. 解析対象岩石工調査資料数内訳

内訳		北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州	合計
昭和46年度	工事数	6	2	1	2	1			6	4	22
	調査件数	9	5	3	4	5			18	10	54
昭和47年度	工事数	2	2		1		2		2		9
	調査件数	3	7		2		5		4		21

3.1 施工実績調査資料の整理

表 3.2 は、施工実績調査資料のうち、油圧リッパ掘削歩掛調査表（短期）に基づいて、使用機械の規格別、使用爪本数別に次の項目について整理し、一覧表にしたものである。

- ① リッピング時間 t (h・min・s)：リッピングのための実運転時間
- ② 作業量 Q (m³)：リッパ装置付ブルドーザが行った作業量
- ③ リッピング延長 L (m)：平均作業量×リッピング総サイクル
- ④ 平均有効断面積 $\bar{A}$ (m²)：作業量÷リッピング延長
- ⑤ 平均作業勾配 α (°)：リッピング方向の平均勾配
- ⑥ 岩石名
- ⑦ 地山弾性波速度 V_p (m/s)：岩盤の地山弾性波速度

岩石の分類には、種々の方法があり、また同じ名前の岩石でもその工学的性質は、生成時代によって大きく異なる場合が多い。たとえば、堆積岩の場合は第三紀層に属する種類のものは、多くの場合「軟岩」であり、中生代より古い地層のものは、非常に硬くまた亀裂が多い。表 3.2 に示されている岩質の分類は、表 3.3 の昭和 44 年度土木工事共通仕様書(案)によるもので、軟岩Ⅰから硬岩Ⅱまでの 5 階級に分類されており、岩石名については表 3.4 に示した番号を用いて整理した。

表 3.2 リッパ掘削施工実績一覧表

データ No	使用機械 (製造会社 モデル名)	使用 爪数 n(本)	リッピング 時間 t (h・min・s)	作業量 Q (m ³)	リッピング 延長 L (m)	平均有効 断面積 $\bar{A}$ (m ²)	平均作業 勾配 α (°)	岩石名 (岩石名)	地山弾性 波速度 V_p (m/s)	備考
1	小松製作所 D155 (32.7t) D120A (27.7t)	1	2.40	161.5	2,610	0.062	下り 3	中硬岩 8	2,300	
2			3.30	220.5	3,450	0.064	" 2	" 8	2,300	
3			2.10	138.7	2,130	0.065	" 2	" 8	2,300	
4		3	1.51	630	2,148	0.29	" 8	軟岩Ⅰ 23	507	
5			2.14	620	2,427	0.26	" 5	中硬岩 23	814	
6			1.59	430	1,904	0.23	" 7	" 23	814	
7		2	3.40	950	2,573	0.37	" 5	軟岩Ⅰ 11	1,200	
8※			0.39	771	243	3.17	" 26	" 12	1,500	
9※			0.57	1,120	575	1.95	" 13	" 12	1,500	
10			1.34	886	1,008	0.879	0	" 12	1,500	
11			0.12.36	87.6	428	0.204	下り 1	軟岩Ⅱ 10	1,760	
12			0.21.06	83.8	565	0.148	" 1	" 10	1,760	
13		4	3.50	256	2,204	0.116	0	軟岩Ⅰ 16	2,350	
14			2.40	188	1,735	0.108	0	" 16	2,500	
15			3.36	245	2,077	0.118	0	" 16	2,500	
16			2.30	924	1,809	0.51	下り 5	礫混土	不明	

データ No	使用機械 (製造会社 モデル名)	使用 爪数 n(本)	リッピング 時間 t (h・min・s)	作業量 Q (m³)	リッピング 延長 ℓ (m)	平均有効 断面 A (m²)	平均作業 勾配 α (%)	岩石名 (岩石質名)	地山弾性 波速度 Vp (m/s)	備考
17	小松製作所	D120A (27.7t)	1	3.00	1,119	2,430	0.46	下り 5	礫混土	不明
18				1.37	166	733	0.23	" 7	"	"
19				1.30	194	881	0.22	" 5	軟岩Ⅰ 15	1,680
20				1.05	164	871	0.188	" 5	" 15	1,680
21※				0.24.58	50	437	0.114	" 20	硬岩Ⅰ 11	2,500* 推定
22※				0.20.30	41	344	0.119	" 10	" 11	2,500* 推定
23				0.29	57.6	551	0.105	上り 2	" 11	2,500* 推定
24				2.10	273	2,160	0.126	下り 4.5	中硬岩 15	1,600 ~2,300
25※		D85A (21.7t)	1	1.12.16	205	1,364	0.150	" 15	軟岩Ⅰ 10	1,357
26				1.36	270	1,459	0.185	" 3	中硬岩 16	1,980
27				0.56	160	875	0.183	" 4	" 16	1,980
28				1.28	250	1,274	0.196	" 4	" 16	1,200
29				1.30	240	1,224	0.196	" 4	" 16	1,200
30※		D80A (21.5t)	3	0.30	608	230	2.64	" 10	軟岩Ⅰ 12	1,500
31				2.50	625	4,004	0.156	" 4	軟岩Ⅰ 11	880 岩片 Vp 1,420
32※				0.05.18	117.6	245	0.48	" 23.5	軟岩Ⅰ 28	1,100
33※				0.07.18	173.4	293	0.59	" 23.5	" 28	1,100
34				0.11	180	505	0.36	" 5	" 12	1,100
35※			2	0.03.45	51.5	62	0.83	" 10	" 14	1,700* 推定
36※				0.07	69.9	137	0.51	" 10	" 14	1,700* 推定
37				4.30	250	6,480	0.04	" 5	" 11	不明
38				3.50	230	5,921	0.04	" 5	" 11	"
39				3.20	210	5,504	0.04	" 5	" 11	"
40			1	1.20	285	750	0.38	0	" 11	920
41				1.30	214	900	0.24	0	軟岩Ⅰ 12	1,600
42				0.50	208	750	0.28	0	" 12	1,600
43				0.40	91	500	0.182	0	中硬岩 12	2,200
44※				1.17	984	612	1.61	下り 10	" 12	1,500
45				1.30	341	830	0.41	" 6	" 12	1,800
46※				1.50	80	370	0.22	" 6	軟岩Ⅰ 16 25	336 岩片 Vp 3,260~1040
47※				1.00	40	112	0.36	" 5	" 16 25	352 岩片 Vp 3,260~1040
48※				0.40	50	120	0.42	" 3	" 16 25	339 岩片 Vp 3,260~1040
49				0.52.39	61	1,125	0.054	" 5	" 12	3,510
50				0.14	73.1	182	0.48	" 0.2	" 13	1,600

データ No	使用機械 (製造会社 モデル名)		使用 爪数 n(本)	リッピング 時間 t (h・min・s)	作業量 Q _s (m³)	リッピング 延長 ℓ (m)	平均有効 断面 面積 Ā (m²)	平均作業 勾配 α (%)	岩石名 (岩質) (岩石名)	地山弾性 波速度 V _p (m/s)	備考
51	小松製作所	D 80 A (21.5t)	1	0.43	25.1	874	0.029	0	中硬岩 14	2,000 ~2,300	
52				0.57	53.0	842	0.063	0	" 14	2,000 ~2,300	
53※				0.11	105	125	0.84	下り 20	" 18	2,100 ~2,700	
54※				0.14	83	176	0.47	" 22	" 18	2,100 ~2,700	
55				0.11	53	120	0.44	" 5	" 18	2,100 ~2,700	
56※		D 80 (21.5t)	2	作業不能					硬岩Ⅰ 13	3,290	
57		D 60 S (19.0t)	1	2.15	463	2,498	0.185	0	硬岩Ⅱ 10	1,200*	*推 定
58				2.20	560	2,352	0.24	0	" 10	1,200*	*推 定
59				3.09	565	2,761	0.21	0	" 10	1,200*	*推 定
60※		D 60 P (17.0t)	1	2.50	300	2,220	0.135	下り 15	軟岩Ⅲ 11	1,539	
61※				3.40	300	2,356	0.127	" 15	" 11	1,539	
62		D 60 A (15.3t)	2	0.22.50	81.5	244	0.33	" 5	軟岩Ⅰ 14	1,700*	*推 定
63				0.39.40	137	594	0.23	" 5	" 14	1,700*	*推 定
64				0.30.35	120	355	0.33	" 5	" 14	1,700	*推 定
65	キヤタビラー三菱	D 8 (29.4t)	2	1.19	290	870	0.33	" 3	" 11	900	
66※				1.21	395	1,166	0.35	" 10	軟岩Ⅲ 11	1,400	
67				2.06	240	1,975	0.122	" 7	" 11	1,400	
68		D 7 (20.3t)	3	0.31	142	57	2.49	" 6	軟岩Ⅰ 12	1,200	
69			1	2.10	250	2,280	0.109	" 8	軟岩Ⅱ 25	1,500	
70※		D 60 (14.2t)	1	0.32	245	287	0.85	" 10	" 4	2,400	
71				1.24	286	735	0.38	" 6	中硬岩 4	不 明	
72		D 4 D (8.5 t)	1	1.50	126	2,196	0.057	上り 1.5	中硬岩 15	2,100 ~2,500	
73	日立建機	T 20 (19.0t)	1	2.40	460	2,130	0.22	0	軟岩Ⅲ 15	596	岩片 V _p 3,280
74				0.30	86	540	0.159	0	" 15	618	岩片 V _p 3,540
75				1.10	173	1,065	0.162	下り 1	" 15	627	岩片 V _p 3,940

注、データ No に※印のものは、 $\alpha \geq 10\%$ 及び $V_p/V_L \leq 0.1$ のデータである。

表 3.3. 岩 石 の 分 類

名 称		摘 要
軟 岩	I	第3紀の岩石で固結の程度が弱いもの。 風化がはなはだしくてきわめてもろいもの。 指先で離しうる程度のもので、クラック間隔は1~5 cm くらいのものおよび第3紀の岩石で固結の程度が良好なもの。 風化がそうとう進み、多少変色を伴い、軽い打撃で容易に割れるもの。離れ易いもので、き裂間隔は5~10 cm 程度のもの。
	II	凝灰質で強く固結しているもの。風化が目にとってそうとう進んでいるもの。き裂間隔が10~30 cm 程度で軽い打撃により離しうる程度。異質の硬い互層をなすもので層面を楽に離しうるもの。
中 硬 岩		石灰石、多孔質安山岩のように、とくにち密でなくてもそうとうの硬さを有するもの。風化の程度あまり進んでいないもの。硬い岩石で間隔30~50 cm 程度のき裂を有するもの。
硬 岩	I	花崗岩、結晶片岩などで、全く変化していないもの。 き裂間隔が1 m 内外で相当密着しているもの。 硬い良好な石材を取り得るようなもの。
	II	けい岩、角岩などの石英質に富む岩質最も硬きもの。 風化しておらず新鮮なる状態にあるもの。き裂間隔少なく、よく密着しているもの。

昭和44年度 土木工事共通仕様書(案)より抜粋。

表 3.4. 岩 石 名 の 分 類

		番号	岩 石 名					番号	岩 石 名			
変成岩および水成岩	太古界および古生界	1	片	麻	岩	水 成 岩	第 三 系	14	頁		岩	
		2	石	英	片			岩	15	砂		岩
		3	石	墨	片			岩	16	凝	灰	岩
		4	緑	泥	片			岩	17	凝	灰 角 れ き	岩
		5	千		枚	岩	火 成 岩	深 造 岩	18	花	崗	岩
		6	け		い	岩			19	せ	ん 緑	岩
		7	石		灰	岩			20	斑	柎	岩
		8	硬		砂	岩			21	橄	攪	岩
		9	角			岩			22	蛇	紋	岩
10	粘		板	岩	火 山 岩	23			流	紋	岩	
11	頁			岩		24	ひ	ん	岩			
12	砂			岩		25	安	山	岩			
13	れ		き	岩		26	玄	武	岩			
						27	集	塊	岩			
					そ の 他	28	泥		岩			

3.2 岩盤の地山弾性波速度

岩盤中の弾性波速度は、岩盤の割れ目、構成岩石の物理的及び力学的性質など岩盤の自然状態におけるさまざまな性質を非破壊のままの状態、かつ任意の広がりに対して比較的容易に測定できるため、岩盤の工学的性質の情報量としてよく利用されている。

本解析調査においても、岩盤の工学的性質とリッパ掘削能力の相互関係を表す要素として地山弾性波速度を用いているため、3.1で述べた岩盤分類法に従って施工箇所における地山弾性波速度の分布について整理したものを図3.1に示す。

一般に岩盤中を伝達する弾性波の速度 V_p は、 $V_p = f(\phi, m, \lambda)$ で表され、媒体中の間隙 ϕ 、実質部分 m 及び圧力、温度、実質部分の弾性的異方性等によって決まる係数 λ によって変化する。すなわち、岩盤中における弾性波速度 V_p は、岩盤を構成する岩石部の速度値 V_L と割れ目及び岩石自体の持つ空隙部分を通る速度値との複合された値であるので V_p の絶対値だけでは、両要素のいずれが各々どの程度の割合になっているかという、岩盤掘削に対する設計、施工を対象としたときの岩盤の基本的性質の判断には困難である。そのため、速度値の評価は、普通固体部の速度値と比較することによって判断されている。

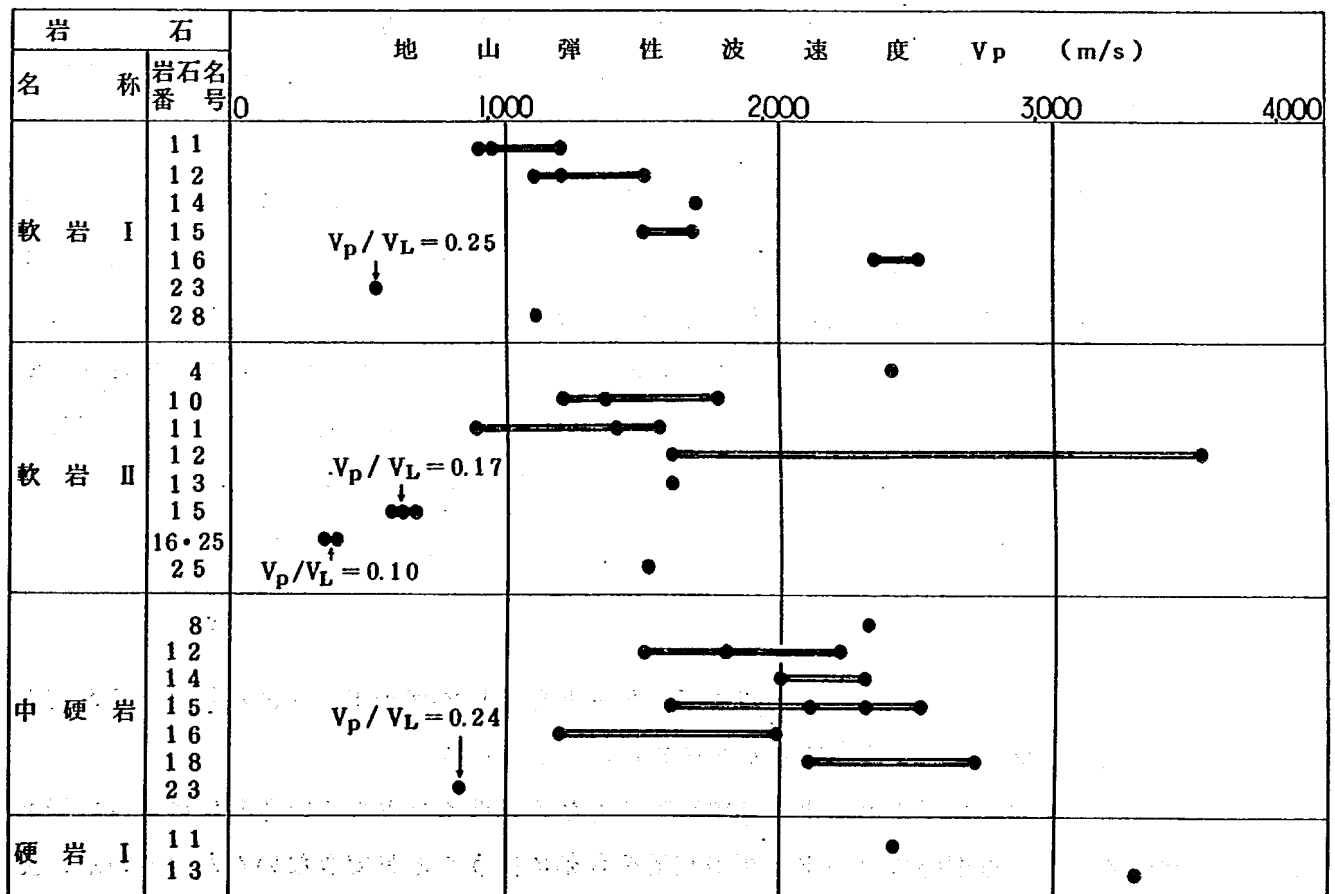


図3.1 施工箇所の地山弾性波速度の分布

すなわち、両者の違いは、岩盤中の空隙の多少を反映したものであるもので、割れ目の程度を表すものとして利用されている。たとえば、速度値から計算した動弾性係数の比を利用して表 3.5 に示すようなダムを対象とした岩盤良好度 (V_p^2/V_L^2) や亀裂係数 ($1 - V_p^2/V_L^2$) を定義している例がある¹⁾。

表 3.5 岩盤の良好度分類 (Onodera, 1963 による)

記 号	等 級	良 好 度 ^{*1)}	キレツ係数 ^{*2)} (工藤による)	備 考
A	きわめて良い	> 0.75	< 0.25	*1) $\frac{\epsilon_d}{E_d} = \frac{\text{岩盤の動弾性係数}}{\text{コアの動弾性係数}}$
B	良 い	$0.50 \sim 0.75$	$0.25 \sim 0.50$	
C	中 程 度	$0.35 \sim 0.50$	$0.50 \sim 0.60$	*2) $1 - \frac{\epsilon_d}{E_d}$
D	や や 悪 い	$0.20 \sim 0.35$	$0.65 \sim 0.80$	
E	悪 い	< 0.20	> 0.80	

各級の地質的性状

A：新鮮、割れ目ほとんどなし。

B：多少割れ目がある。割れ目の面に沿う多少の風化があるが内部は新鮮である。

C：割れ目の間にごくわずかの粘土をはさむこともあるが、岩石自体は新鮮、ただし割れ目の表面は風化している。

D：割れ目は開き、幅が大きい。その間に水を伴った粘土物質を持つことが多い。岩石自体には硬い部分もあるが、風化や変質を、また割れ目を多く伴う。

E：風化が進み、岩石が全体的に風化変質している。ジョイントなどの割れ目も多く、破碎されていることもある。

このような観点から図 3.1 の施工実施箇所の地山弾性波速度をみると、一般的には軟岩Ⅰから硬岩になるに従い速度値が増大している傾向がみられるが、図中に記したように軟岩Ⅰ-23、軟岩Ⅱ-15、軟岩Ⅱ-16・25 及び中硬岩 23 の速度比 (V_p/V_L) は、小さい値を示しており、特に軟岩Ⅱ-16・25 は著しく小さい。すなわち、これらの岩盤は全体的に極度に風化変質しており、地山の所々の箇所に極めて硬い岩塊がある状態か、もしくは亀裂が非常に大きな状態であると想定されるので、このような箇所におけるデータをそのまま一般のリッパ掘削能力の判定に使用するの是不適当であろうと考えられる。

3.3 使 用 機 械

現在使用されている油圧式リッパは、普通ブラケットを介してブルドーザに取り付けられており、機能的に見るとツールバー式と四節リンク式とに大別される。

ツールバー式は、図 3.2(a)に示すような構造であるため、ポイントのくい込み量によって掘削角度が変化するので、掘削時にブルドーザの重量を有効に使うことができないことが多いが、装置が割合いに小形でかつ構造が簡単であるので、中形及び小形ブルドーザで従来よく使用されてきた。

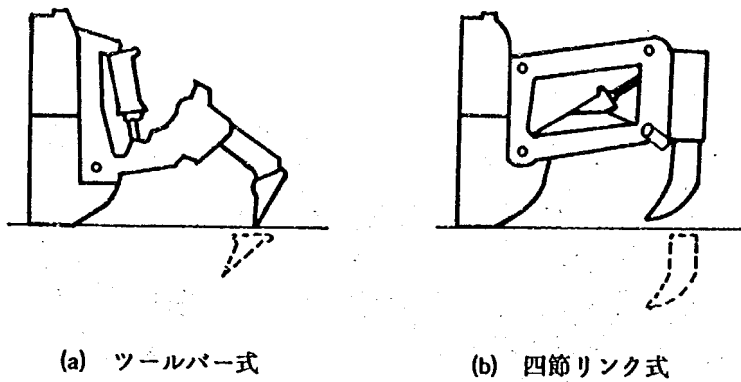


図 3.2 油圧リッパの形式

四節リンク式は、図 3.2(b)に示すような構造であるため、掘削時のポイントのくい込みの際における掘削角度が常に一定に保て、ブルドーザの重量を有効に作用させられるので貫入力が大きく、しかもリッパ装置全体の強度も高いため、最近のブルドーザのリッパ装置はほとんどの形式のものに移行している。

また、つい最近では、油圧によってリッパの刃先角度を自由に選択できる機能を有するマルチリッパが新しく開発、使用されるようになっている。

マルチリッパは、図 3.3 に示すような構造であり、掘削角度が現場状況に応じ任意に変えられるので、ポイント貫入時、掘削時にそれぞれ最適な角度をとることができるため、ポイントの貫入性、掘削性が良くなり、作業能率が向上すると同時に法面やがけぎわにおける作業性が良好になっている。さらに可変式リッパでは、写真 3.1 及び 3.2 に示すような大形ブルドーザによる重掘削のためにシングルシャंकのジャイアントリッパと呼ばれるものも現われている。

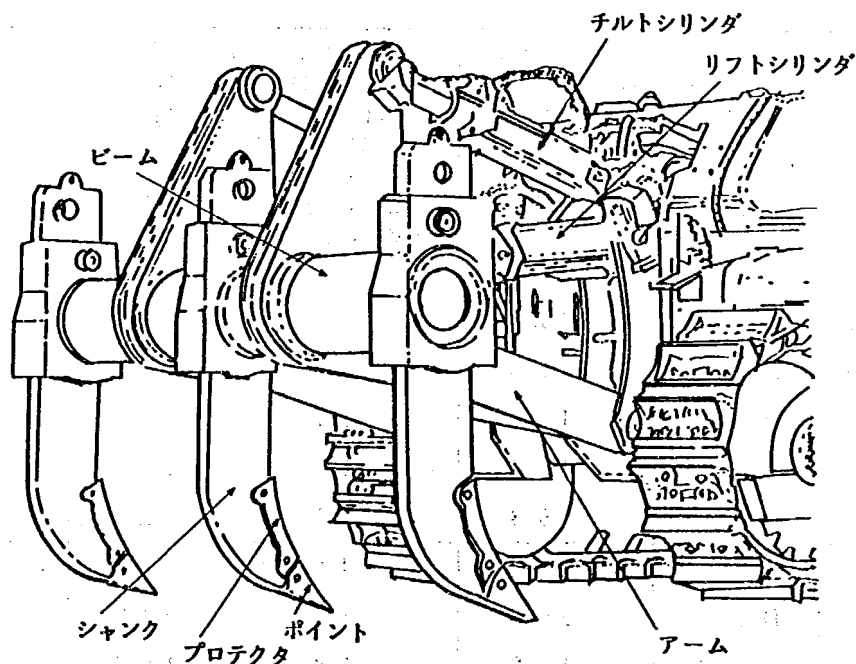


図 3.3 可変式マルチリッパ

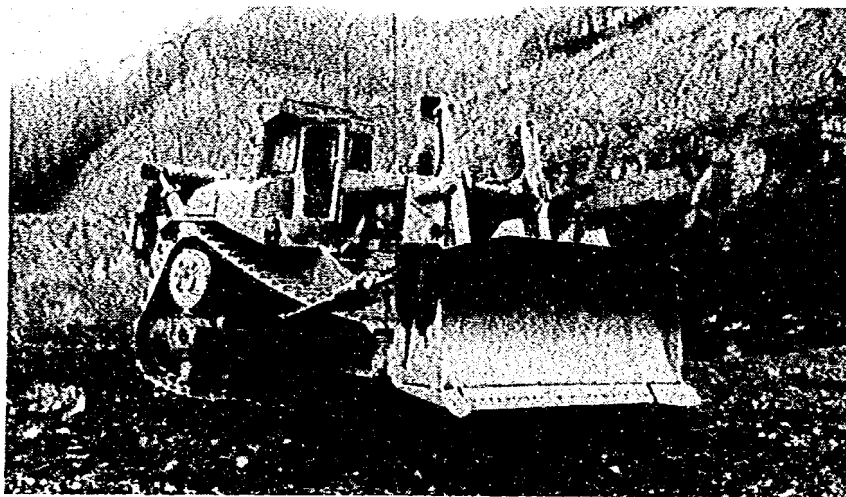


写真 3. 1 可変式ジャイアントリップを装置した
大形ブルドーザ

以上のように、リップ掘削作業においてはポイントの貫入性と掘削性の両方が良好であることが必要であり、使用機械の全重量及び機関出力はこれらと密接な関係があるので、ブルドーザ単体の重量だけでなくリップ装置の重量も知る必要がある。しかしながら、解析調査に用いる施工実績調査資料には、ブルドーザのモデル名しか示されていないが、ブルドーザは、同じモデル名のものでも改良等のため、製作した年が異なると機械重量や機関出力は若干異なるため、ブルドーザ重量、リップ装置重量及び機関出力等については、現段階においては推定するより方法がな

表 3. 6 使用機械の主要諸元

使用機械		ブルドーザ 重 量 (t)	リップ装置 重 量 (t)	リップドーザ 総 重 量 (t)	機関出力 (PS)
製造会社	モデル名				
小松製作所	D 155	32.7	5.1	37.8	320
	D 120 A	27.7	5.3 (3本爪) 4.8 (1本爪)	33.0 32.5	250
	D 85 A	21.7	2.7	24.4	180
	D 80 A	21.5	2.7	24.2	180
	D 80	21.5	2.7	24.2	180
	D 60 S	19.0	1.7	20.7	140
	D 60 P	17.0	1.7	18.7	140
	D 60 A	15.3	1.7	17.0	140
キャタピラー 三菱	D 8	29.4	4.5	33.9	270
	D 7	20.3	3.0	23.3	183
	D 6 C	14.2	1.4	15.6	142
	D 4 D	8.5	1.0	9.5	76
日立建機	T 20	19.0	3.1	22.1	160

い。従って、これらの仕様については、施工実績調査資料の調査年度が昭和46年度及び昭和47年度であったことから、日本建設機械要覧(1974年版)及びメーカーへの問合せによったものを用いた²⁾。

使用機械の主要諸元について調査した結果を表3.6に示す。

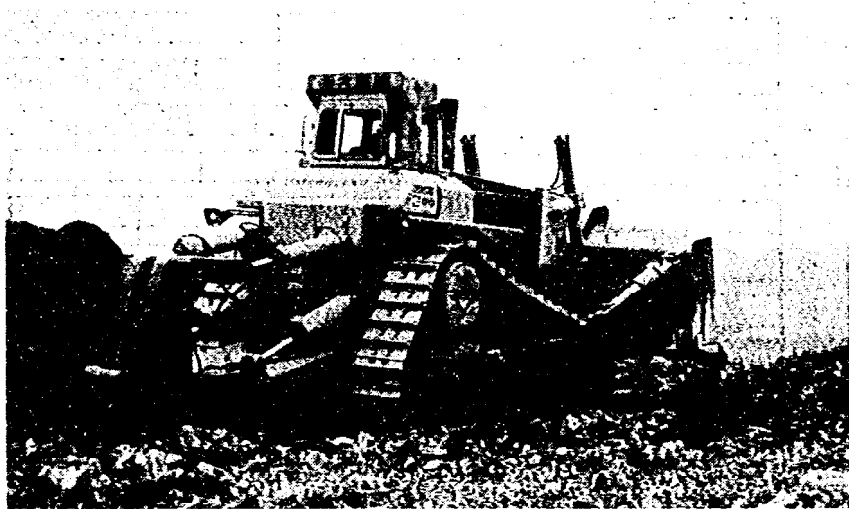


写真 3.2 大形ブルドーザのリップピング作業

4 リッパ掘削能力

一般にリッパによって作業ができる程度をリッパビリティ(リッパ掘削能力)といい、リッパビリティの限界などについて、いままでいろいろと検討されている。リッパビリティは、リッパ及びブルドーザの能力と岩盤の性質によって決まるものであるが、リッパビリティに影響を与える岩石の工学的性質を求める指標は、いまだ確立されておらず、前にも述べたように従来から地山弾性波速度が一つの目安とされてきている。

リッパ掘削作業の場合、基本的にはシャンクの貫入の良否がリッパ掘削能力を決めることになるので、リッパビリティの判断にはまずシャンクの貫入抵抗を左右する岩石の強度自体が問題となるが、例えば岩石そのものが相当硬くても岩盤にシャンクがくい込み易いような割れ目が多く存在すればかなり高硬度でもリッパ掘削作業が可能である。したがって、岩石そのものの強度と割れ目の多少などを総合的に含めたものとして地山弾性波速度に着目するのは、自然のなりゆきであったと考えられる。

このように地山の弾性波速度とリッパビリティとの関係について最初に着目した米国のキャタピラー社では、自社の製品の改良につれてリッパ掘削能力図を逐次改訂して発表している。図4.1は、これらを要約して示したものである。また、同様のものがわが国の小松製作所のものについて同社より図4.2のように示されている。

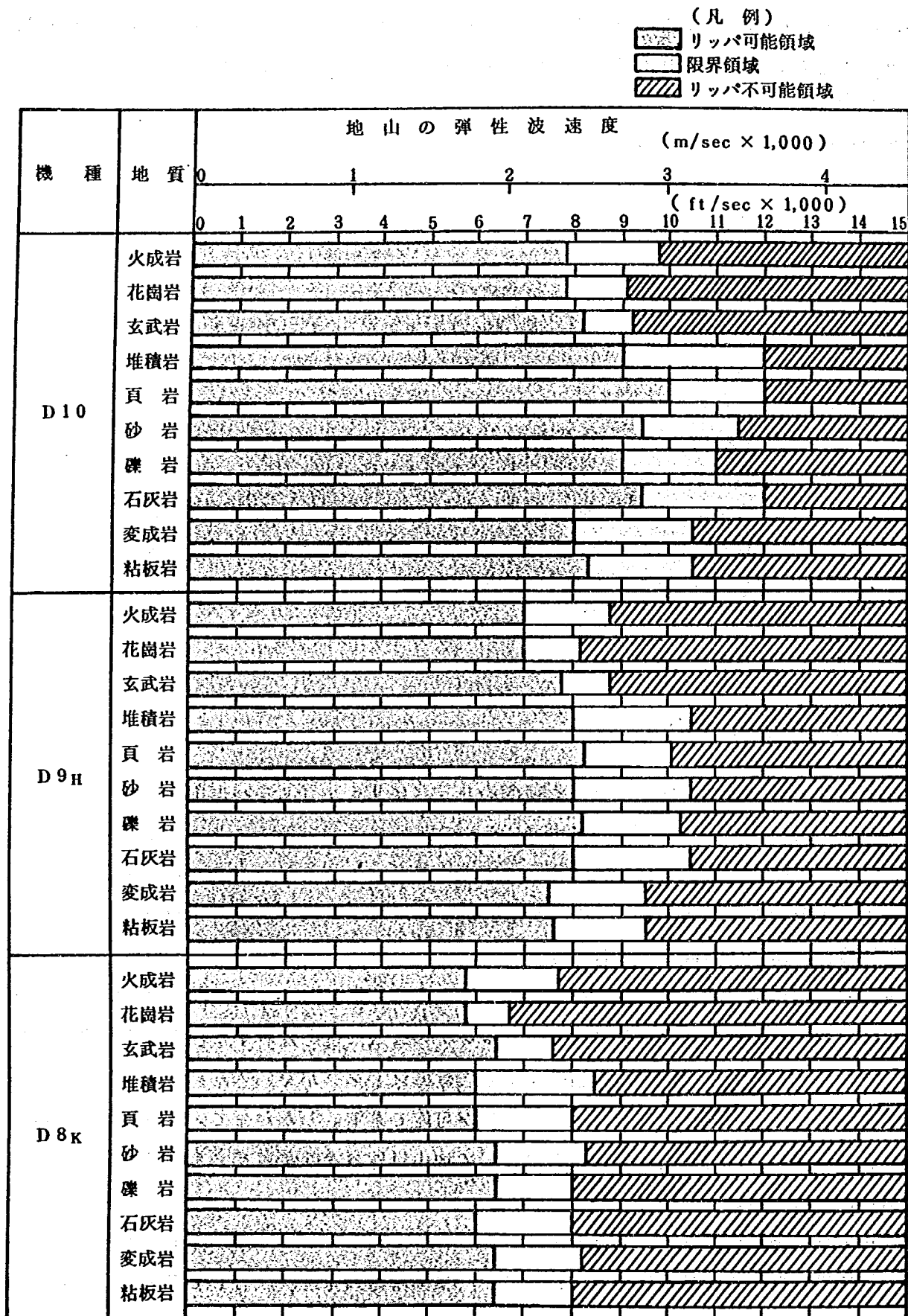


図 4.1 リッピング領域図 (キャタピラー社)⁹⁾

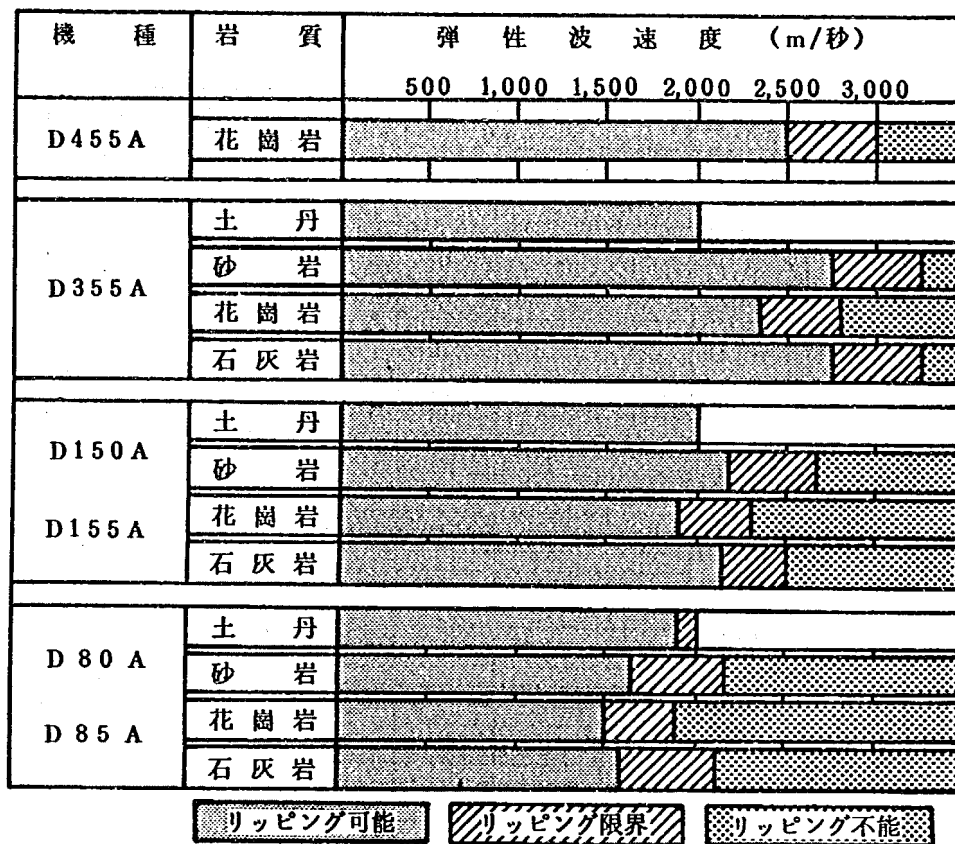


図 4.2 リッパ作業可能限界図（小松製作所）¹⁰⁾

昭和52年に改訂された道路土工施工指針では、ブルドーザの規格別に図4.3に示すようなリッパ掘削作業可能領域と地山弾性波速度との関係を与えている⁷⁾。

一方、岩石の種類に区別なく地山弾性波速度とリッパの掘削作業量との関係について求めて図4.4のように表示しているものもある。しかしながら、これらの表示はいずれも標準的な作業条件のものについての目やすを示しているものであり、例えば地層や地盤の割れ目の方向に対して自由な方向から掘削できない場合、上記の作業可能な上限値はかなり低下する。

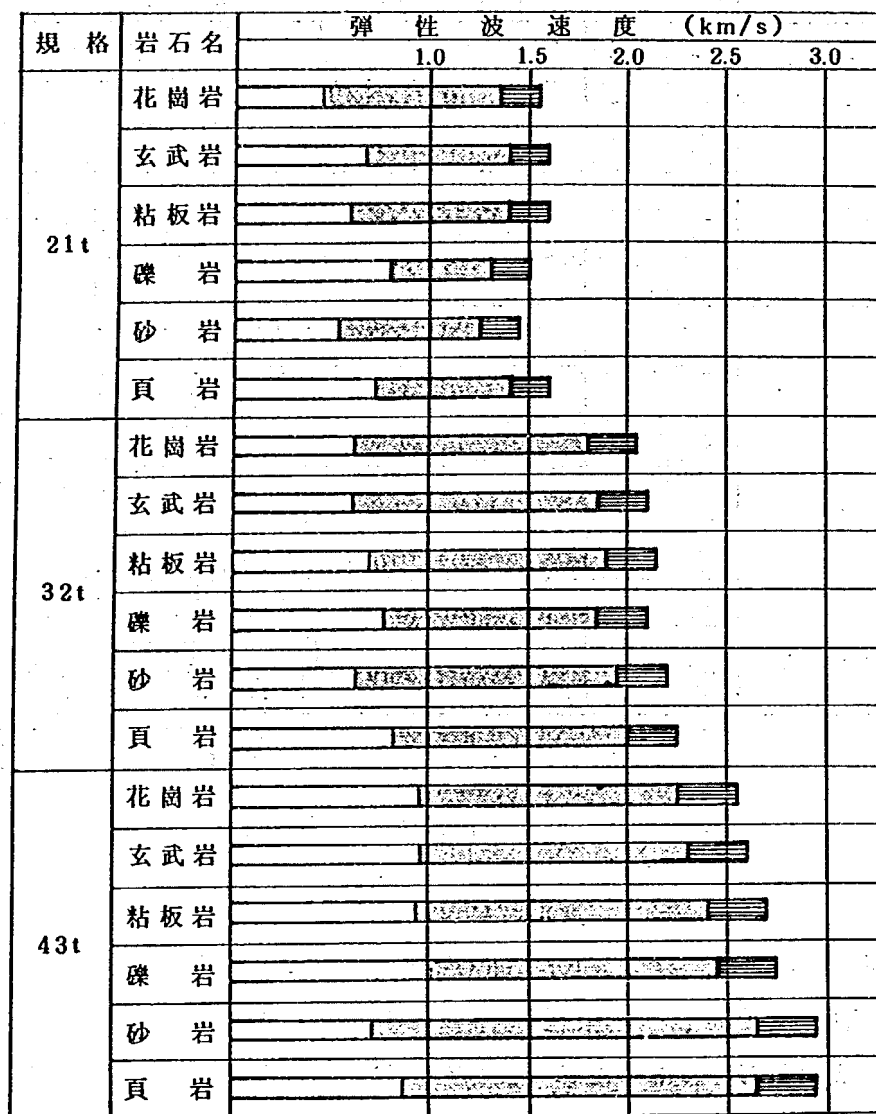
本解析調査では、単に地山弾性波速度のみならず、平均作業勾配、使用機械の重量、リッパ使用爪数及び岩石の種類等とリッパ掘削能力との関係についても検討することにした。

4.1 時間当たり施工量

(1) 使用機械の重量と時間当たり施工量

図4.5は、表3.2に示した作業量 Q (m³) をリッピング時間 t (h) で除して求めた時間当たり作業量 V_w (m³/h) と使用機械（ブルドーザ）の重量との関係を示したものである。

一般にブルドーザの重量が大きいほど、けん引力も大きくなり、また掘削力も大きくポイントのくい込み量や掘削速度が大きくなるため時間当たり施工量が増大すると考えられるが、同図からは使用機械の重量と時間当たり施工量との間には直接の相関性が見出せない。これは前述のようにリッパ掘削能力が単に機械の能力だけではなく、岩石の工学的性質や作業条件に



ブルドーザ掘削可能
 リップ作業可能
 リップ限界

図 4.3 弾性波速度とブルドーザ規格によるリップ作業可能範囲⁷⁾

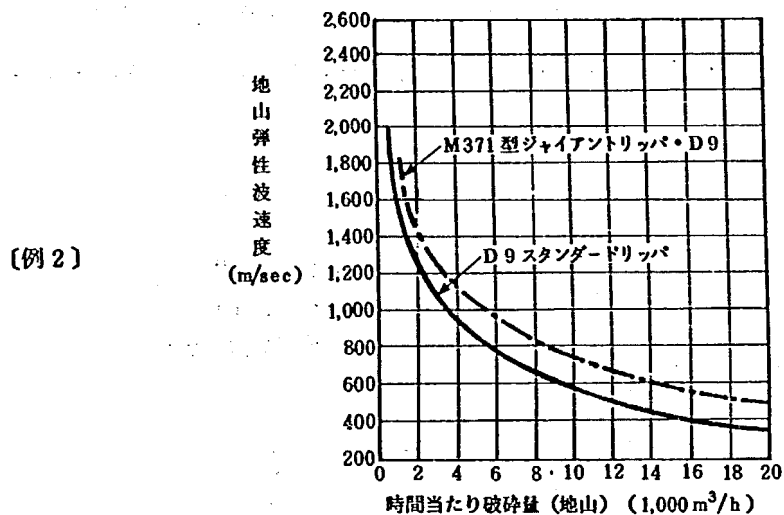
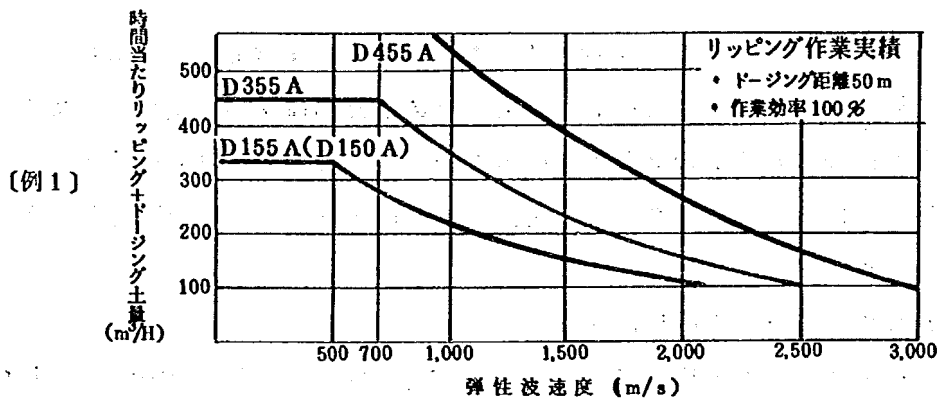


図 4.4 地山弾性波速度と時間当たり破砕量

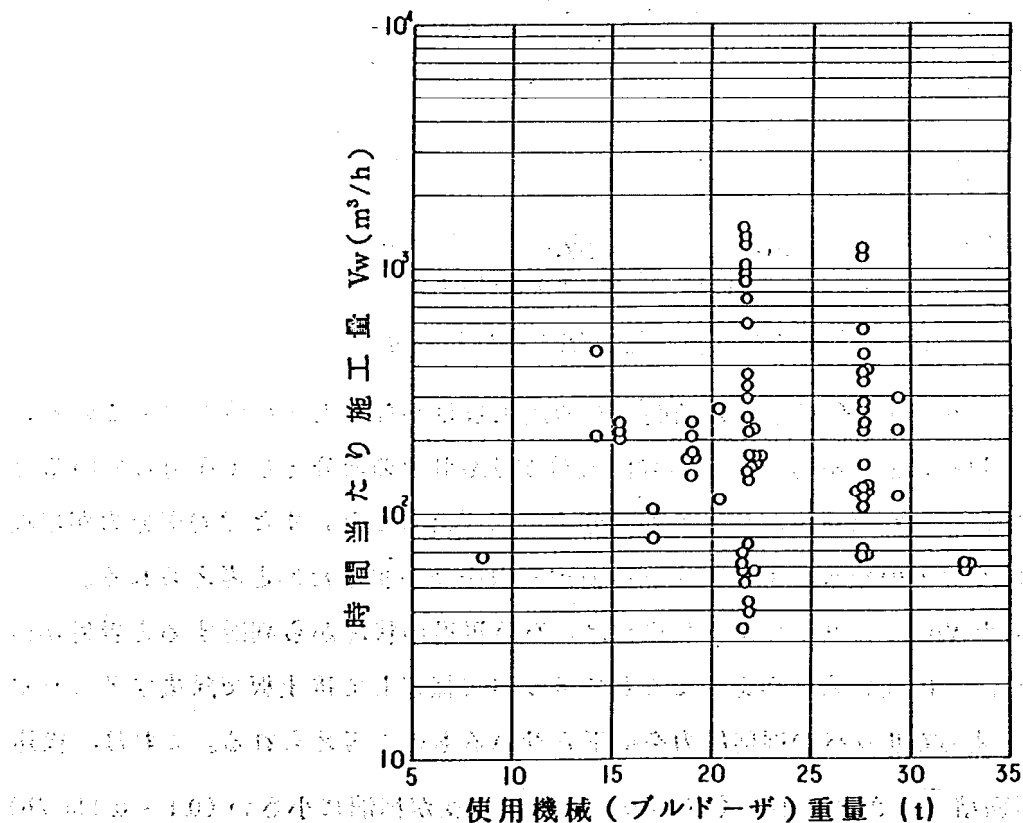


図 4.5 時間当たり施工量と使用機械 (ブルドーザ) 重量

よって大きく影響を受けることを意味するものである。すなわち、本解析調査に使用する施工実績調査資料は、工事現場にて行われたものであるため種々の作業勾配にて作業が実施されており、また地山弾性波速度の異なる各種の岩盤について掘削されているので、使用機械の重量の影響よりもむしろ作業勾配や岩盤の性質（地山弾性波速度等）の影響が大きく現われているものと考えられる。

(2) 時間当たり施工量と地山弾性波速度

表 3.2 のデータをもとに時間当たり施工量と地山弾性波速度との関係を示したものが図 4.6 である。同図で×印は、作業勾配 α が $\alpha \geq 10\%$ の場合を示し、△印は 3.2 で述べたように岩盤における弾性波速度 V_p と岩石そのものの弾性波速度値 V_L の $V_p/V_L \leq 0.1$ の場合を示している。

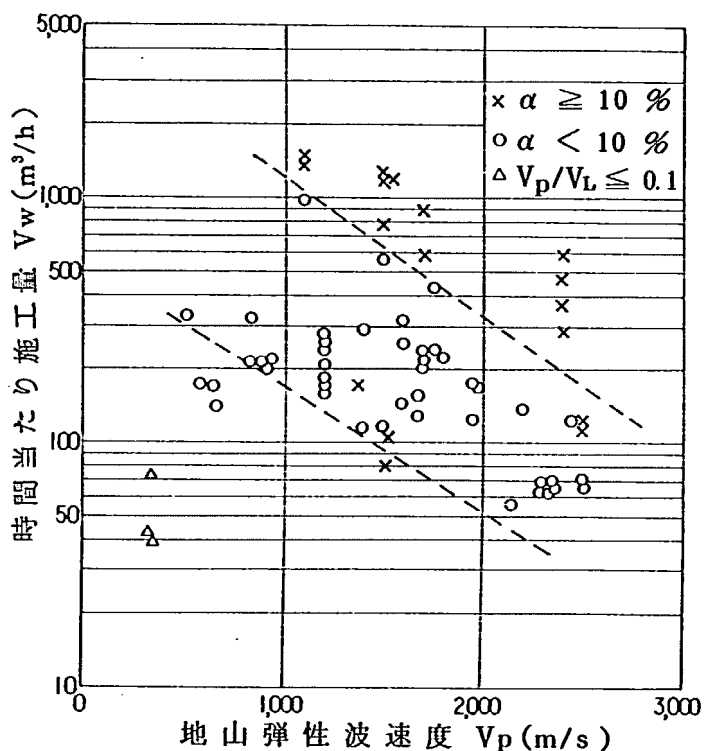


図 4.6 時間当たり施工量と地山弾性波速度

同図で作業勾配 α が $\alpha \geq 10\%$ の場合、時間当たり施工量はかなり大きな値となっている。この理由としては、単純に使用機械の重量の勾配成分がけん引力の増分として作用しているだけでなく、さらに掘起こされた岩塊が自重の勾配分力で転げ落ちるか、または勾配分力が岩塊の移動する方向に働くなどの影響によってリッパ掘削能力を助長するためと考えられる。

一方、△印で示した $V_p/V_L \leq 0.1$ のような場合は、当該現場の状況から判断すると岩盤が極度に風化し、地山の所々に硬い岩塊があってこれをリッパで掻起して排土板で除去するような作業状態となり、かえってリッパの掘削能力を低下させているものと考えられる。これは、後述のように平均有効断面積 $\bar{A}$ はさほど小さくないのに、作業速度が極端に小さい ($0.1 \sim 0.2$ km/h) ことから、機械のスリップなどが多く、施工しにくい状況であったことが推測できる。

したがって、リッパの掘削能力を解析する場合、これらの要因を十分考慮する必要がある、図4.6において、×印と△印のデータを除いて見ると時間当たり施工量と地山弾性波速度との間には、図中の点線の区間で示されるような大まかな相関を求めることができる。

(3) 使用爪数と時間当たり施工量

一般にどの形式のリッパでも、シャンク数は3本まで装着できる構造になっており、岩質や使用目的によって適当なシャンクの本数を選択することができる。普通は、破碎量を多くしようとする時1本シャンクによるほうがシャンクを深く貫入させることができて有利であるが、その場合には起砕された岩塊は大塊のものが多くなりやすいので、破碎した岩片をそのまま路床材料などに利用するようなときは再破碎などの事後処理が必要となって困ることがある。また、軟質の第三紀層のようなものに大形ブルドーザを用いてリッピングを行う場合には、シャンクの貫入力が大きいため、3本シャンクにしてもある程度の貫入量を期待することができ、1本シャンクの場合より有利なことが多い。このような岩石に対しては1本シャンクでリッパの能力一杯にシャンクを貫入させて強引に破碎するより、3本シャンクにて軽く破碎する方がリッピング速度が早くでき、またリッパ間隔を考えると3本シャンクは1本シャンクの場合の1/3の走行距離ですむわけであるから、掘削深さの差を相殺してもなお3本シャンクの方が有利であるわけである。

このようにリッピング作業では、リッパの貫入深さとブルドーザの速度段の選択とを岩質及びリッパシャンク数に応じて行うことが時間当たり施工量を増加させるうえで大切なポイントとなる。

リッパ掘削作業ではシャンクの貫入がなければ岩石を破碎できないので、貫入抵抗の大きな岩質の場合は当然シャンク数を減らして2本または1本とする必要がある。この場合、2本シャンクでは3本シャンクの中央を抜いて両端の2本で掘削することが多いが、この場合、左右シャンクの掘削抵抗の相違によってブルドーザに片荷重が作用して作業中に片側へ引きづられやすく、また左右のシャンク間の部分には起砕されない部分が残るので走行コースをオーバーラップさせる必要が生ずることが多く、なおさら走行コースが不安定になりがちである。この



写真4.1 2本爪によるリッピング作業

ような理由によって、2本シャンクによる作業はかえって全体としてみて起砕能力が低下することが多い。

したがって、岩掘削工の計画にあたってリップ掘削量を求める計算式などでは、リップング断面積はシャンク数に単純に比例するような例がみられたが、実際にはそのような単純なものではないことが分る。

以上のように、リップのシャンク(爪)数は、岩盤の種類や作業条件によって選定されるものであって、一義的に時間当たり施工量に影響するものではないが、施工実績調査資料をもとにして時間当たり施工量と使用爪数の関係を求めると図4.7のようになり、使用爪数が多くなるほど時間当たり施工量が増大している傾向がみられるが、前述のことを考慮すると使用爪数を多くしたため時間当たり施工量が増加するのではなく、むしろシャンクの貫入や掘削の容易な岩質に対して爪数が多く選択されたものと考えた方が適切であろう。

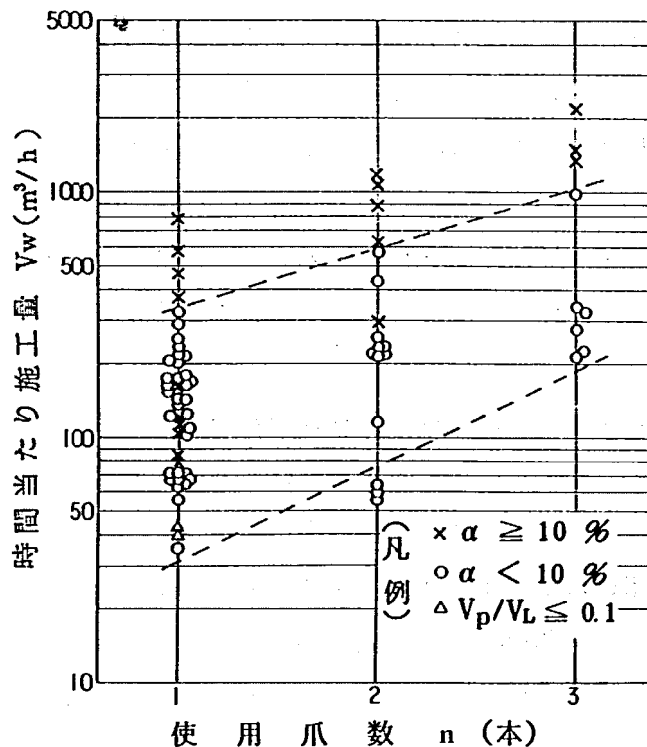


図 4.7 時間当たり施工量と爪数

(4) リッピング平均有効断面積と時間当たり施工量

図 4.8 は、リッピング平均有効断面積と時間当たり施工量の関係を示したものである。両者の関係を最小自乗法で求めると（図中の×印及び△印のデータは除いてある）次の関係式が得られた。

$$\log V_w = 0.69 \log \bar{A} + 2.7 \quad (r = 0.85) \quad (4.1)$$

V_w : 単位時間当たり施工量 (m^3/h)

$\bar{A}$: リッピング平均有効断面積 (m^2)

r : 相関係数

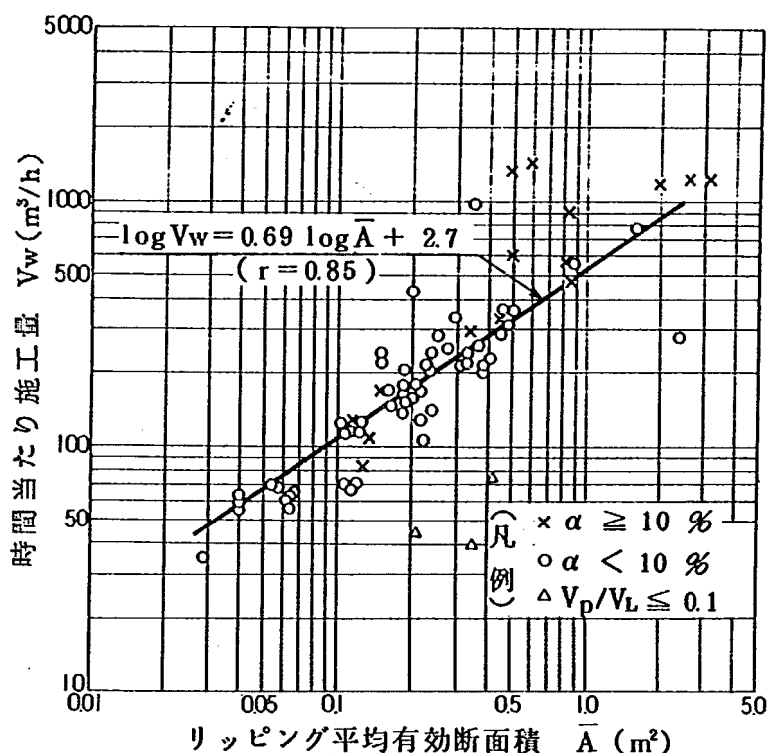


図 4.8 時間当たり施工量とリッピング平均有効断面積

すなわち、リッピング平均有効断面積が大きいほど時間当たり施工量も増大することが示されており、シャングの貫入性のより軟い岩盤ほどリッパ掘削が容易となって施工量も増大する。

また、大部分の×印の調査点は、回帰線より上にあることから判断すると、作業勾配が大きい場合、掘削性が良くなるため、時間当たり施工量は増大する傾向にあることがわかる。一方、亀裂係数が非常に大きい岩盤では図中の△印の調査点が示すようにリッピング平均有効断面積は十分大きいにもかかわらず、時間当たり施工量はあまり増加していない。これは現場の岩質が軟岩Ⅱ（水成岩、第三系の凝灰岩と安山岩の混合物）であり、亀裂係数 $V_p/V_L = 0.1$ と本調査データでは最も亀裂が大きいもので、シャングの貫入が容易であるが、地山の所々に存在する硬い岩塊によって掘削能率が著しく低下していることを示している。

4.2 リッピング作業速度

(1) リンピング作業速度と使用爪数

図 4.9 は、リッピング作業速度とリッパの使用爪数の関係を示したものである。リッピング作業速度はおよそ 1 km/h 前後であるが、使用爪数が多いほどリッピング作業速度が増加する傾向がみられる。また、作業勾配によるリッピング作業速度に大きな相違はみられず、リッピング作業速度は、作業勾配そのものとはあまり関係しないと考えられる。前項で述べたようにシャングの貫入や掘削の容易な岩質の場合、爪数が多く選択されるため、リッピング作業速度が大きくなるのである。

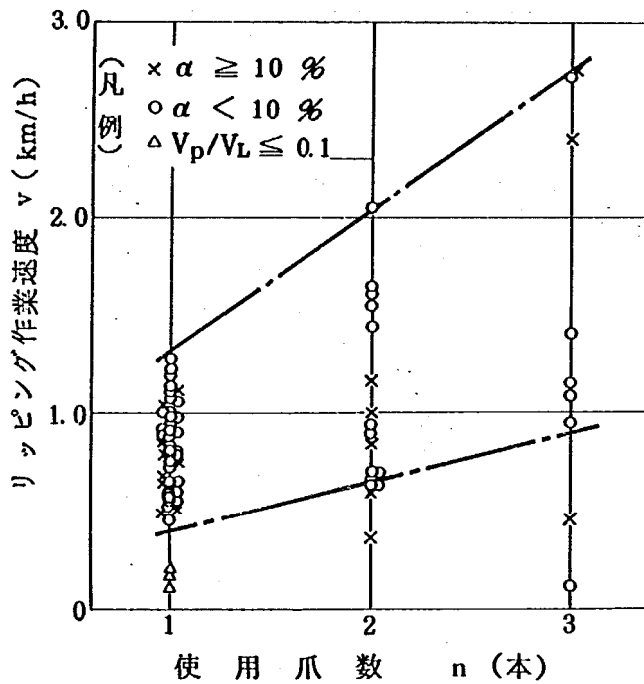


図 4.9. リッピング作業速度と使用爪数

ここで、各々の爪数におけるリッピング作業速度の平均値 $\bar{v}$ を計算してみると、

$$\bar{v}_1 = 0.79 \text{ km/h}$$

$$\bar{v}_2 = 1.03 \text{ km/h}$$

$$\bar{v}_3 = 1.46 \text{ km/h}$$

となり、リッピング作業速度は爪数の増加に単純に比例はしておらず、 $\bar{v}_2/\bar{v}_1 = 1.30$ 、 $\bar{v}_3/\bar{v}_2 = 1.42$ となって、2本爪の場合は多少悪い。さらに2本爪、3本爪の場合のリッピング作業速度は、1本爪の場合に比べてバラツキが目立つが、これも爪数が多くなればリッパの掘削能力はそれだけ地盤条件、作業条件の影響に左右されやすくなっているものと思われる。

(2) リッピング作業速度と地山弾性波速度

図 4.10 は、リッピング作業速度と地山弾性波速度の関係を示している。図より両者の間には特に相関関係はみられず、地山弾性波速度のいかんにかかわらずリッピング作業速度は、1 km/h の前後に分布している。また、3本爪は $V_p < 1,100 \sim 1,200 \text{ m/s}$ 、2本爪は $V_p < 1,700 \sim 1,800 \text{ m/s}$ の範囲にしか使用されておらず、多本爪は岩盤の軟かい現場に使われ、岩盤が硬くなるにつれて多数爪は使用できなくなること示している。

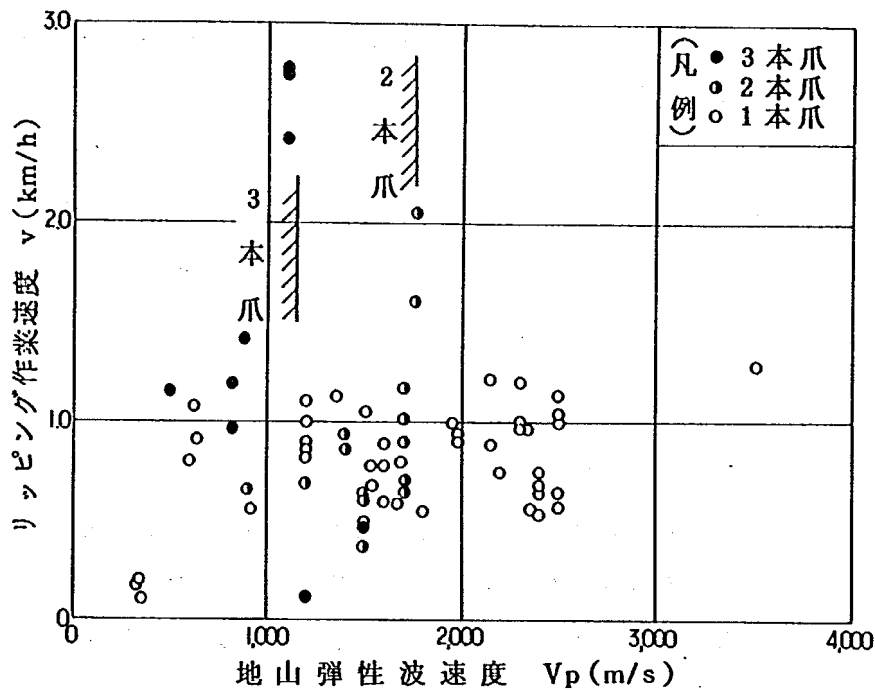


図 4.10 リッピング作業速度と地山弾性波速度

4.3 単位時間・単位機械重量当たりの掘削量（勾配補正単位掘削量）

いままでに記述した時間当たり施工量は、使用機械の重量、作業勾配等とは無関係に求めたものであるが、現実にはリッパの掘削量は、使用機械の出し得る牽引力の大きさによって異なってくる。したがって、リッパビリティを検討する場合、使用機械の重量や作業勾配の影響を考慮し、補正する必要がある。

図 4.11 は、傾斜地におけるリッパ装置付ブルドーザに作用する力の関係を示したものであり、ブルドーザの出し得る牽引力 F は、傾斜地の場合は水平面の場合とは異なってくる。

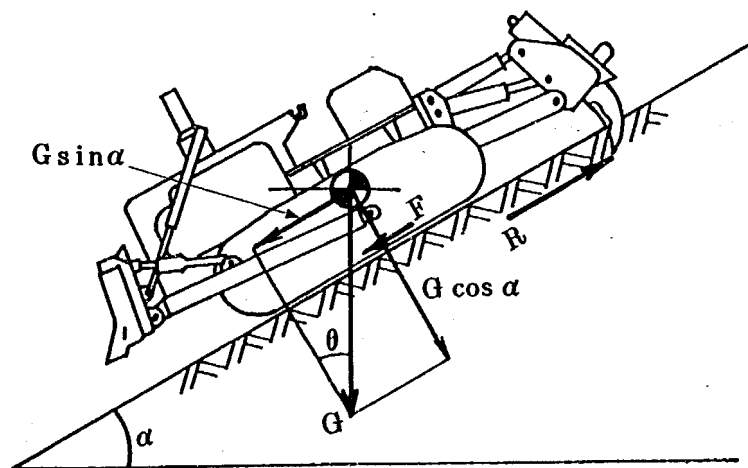


図 4.11 傾斜地におけるリッパ装置付ブルドーザの力学的関係

いま履板接地部の路面と履板間の粘着係数を μ とすると、傾斜角 α の勾配における下り方向の牽引力 F は、使用機械の総重量を G とすると次のように表わされる。

$$F = \mu G \cos \alpha + G \sin \alpha \quad (4.2)$$

すなわち、水平面の場合の牽引力 $F' = \mu G$ に比べて機械の勾配分力が作用することになる。このような傾斜地における牽引力が水平面における総重量 W のリッパ装置付ブルドーザが出し得る牽引力に相当すると仮定すると、式 4.2 より

$$\begin{aligned} \mu W &= \mu G \cos \alpha + G \sin \alpha \\ W &= G \left(\cos \alpha + \frac{1}{\mu} \sin \alpha \right) \end{aligned} \quad (4.3)$$

となる。すなわち、この W は傾斜地における勾配分力による牽引力の増分を、水平面における機械重量の増加分に換算して求めた使用機械の重量とみなせるので、傾斜地における重量 G のブルドーザが出し得る牽引力を水平面で得るためには機械重量が W である必要があることを意味しているもので、 W をここでは等価重量と呼ぶことにする。

そこで先に求めた時間当たり施工量 V_w を等価重量 W で除することにより傾斜地における作業能力を水平面にて作業した場合の単位時間、単位機械重量当たりの掘削量に換算することができる。したがって、この単位時間、単位機械重量当たりの掘削量は、

$$\bar{M} = \frac{V_w}{W} \quad (4.4)$$

で計算され、 $\bar{M}$ をここでは勾配補正単位掘削量と呼ぶことにする。

履板の粘着係数 μ は、路面の状況、履板の形状、履帯の接地圧分布、作業抵抗などによって異なるが、一般の砂利道等においては $\mu = 0.6 \sim 0.8$ 程度であるといわれている³⁾。したがって、ここでは μ の値は0.7と仮定し、式 4.3 によって等価重量 W を求めて、式 4.4 によって勾配補正単位掘削量 $\bar{M}$ を計算した。この結果は表 4.1 に示す。

また、単に時間当たり施工量 V_w を使用機械重量 G で除した単位機械重量当たりの掘削量 M を

$$M = \frac{V_w}{G} \quad (4.5)$$

とし、ここでは単位掘削量と呼び、 $\bar{M}$ と区別する。

表 4. 1. デ ー タ 解 析 資 料

データ No	使用機械 (製造会社 モデル名)	使用 爪数 n(本)	機 械 総重量 G (t)	地山弾性 波 速 度 V_p (m/s)	リッピング 作業速度 v (km/h)	時間当 り施工量 V_w (m ³ /h)	単位時間, 単位機械重量当たり掘削量			備 考
							$\bar{M}$ (m ³ /h・t)	$\bar{M}$ (m ³ /h・t)	$\hat{M}$ (m ³ /h・t)	
1	D 155 (33.2t)	1	37.8	2,300	0.98	61	1.6	1.5	2.6	
2				2,300	0.99	63	1.6	1.6	2.6	
3				2,300	0.98	64	1.7	1.6	2.8	
4	D 120A (27.7t)	3	33.0	507	1.16	341	10.3	9.3	5.6	
5				814	1.09	278	8.4	7.9	5.5	
6				814	0.96	217	6.6	6.0	4.3	
7		2	33.0	1,200	0.70	259	7.8	7.3	6.5	
8※				1,500	0.37	1,186	35.9	27.1	35.9	
9※				1,500	0.61	1,179	35.7	30.4	35.7	
10				1,500	0.64	564	17.1	17.1	17.1	
11				1,760	2.05	425	12.9	12.7	15.0	
12				1,760	1.61	239	7.2	7.1	8.4	
13		1	32.5	2,350	0.57	67	2.1	2.1	3.5	
14				2,500	0.65	70	2.2	2.2	4.0	
15				2,500	0.58	68	2.1	2.1	3.9	
16				不 明	0.72	370	11.4	10.7	—	
17				"	0.81	373	11.5	10.8	—	
18				"	0.45	103	3.2	2.9	—	
19				1,680	0.59	129	4.0	3.6	4.4	
20				1,680	0.80	152	4.7	4.3	5.2	
21※				2,500*	1.05	125	3.8	3.0	7.0	*推 定
22※				2,500*	1.01	118	3.6	3.1	6.6	*推 定
23				2,500*	1.14	126	3.9	3.9	7.1	*推 定
24				1,600 ~2,300	1.00	126	3.9	3.6	5.1	
25※	D 85 A (21.7t)	1	24.4	1,357	1.13	170	6.9	5.7	6.3	
26				1,980	0.91	169	6.8	6.6	9.1	
27				1,980	0.94	172	6.9	6.6	9.2	
28				1,200	0.87	170	6.9	6.5	5.7	
29				1,200	0.82	160	6.5	6.1	5.4	
30※	D 80 A (21.5t)	3	24.2	1,500	0.46	1,216	49.6	43.4	49.6	
31				880	1.41	221	9.0	8.5	6.1	岩片 V_p 1,420
32※				1,100	2.77	1,331	54.3	41.9	42.3	
33※				1,100	2.41	1,425	58.2	44.8	45.4	
34				1,100	2.75	981	40.0	37.4	31.2	

データ No	使用機械 (製造会社 モデル名)	使用 爪数 n(本)	機 械 総重量 G (t)	地山弾性 波 速 度 Vp (m/s)	リッピング 作業速度 v (km/h)	時間当 り施工量 Vw (m³/h)	単位時間, 単位機械重量当たり掘削量			備 考
							M (m³/h・t)	$\bar{M}$ (m³/h・t)	$\hat{M}$ (m³/h・t)	
35※	小 松 製 作 所	2	24.2	1,700	1.01	896	36.6	32.0	41.1	*推 定
36※				1,700	1.17	597	24.4	21.3	27.4	*推 定
37				不 明	1.44	56	2.6	2.4	—	
38				”	1.55	60	2.8	2.6	—	
39				”	1.65	63	2.9	2.7	—	
40		1	24.2	920	0.56	214	8.7	8.7	6.1	
41				1,600	0.60	143	5.8	5.8	6.1	
42				1,600	0.90	250	10.2	10.2	10.8	
43				2,200	0.75	137	5.6	5.6	8.5	
44※				1,500	0.48	769	31.4	27.5	31.4	
45				1,800	0.55	227	9.3	8.5	11.1	
46※				336	0.20	44	1.8	1.7	0.9	岩片 Vp 3,260~1,040
47※				352	0.11	40	1.6	1.5	0.8	岩片 Vp 3,260~1,040
48※				339	0.18	75	3.1	2.9	1.5	岩片 Vp 3,260~1,040
49				3,510	1.28	70	2.9	2.7	9.8	
50				1,600	0.78	318	13.0	13.0	13.8	
51				2,000 ~2,300	1.22	35	1.4	1.4	2.1	
52				2,000 ~2,300	0.89	56	2.3	2.3	3.4	
53※				2,100 ~2,700	0.68	583	23.8	18.9	41.0	
54※				2,100 ~2,700	0.75	361	14.7	11.5	25.3	
55				2,100 ~2,700	0.65	294	12.0	11.2	20.7	
56※	D80 (21.5t)	2	24.2	3,290	—	0	0	0	0	
57	D60S (19.0t)	1	20.7	1,200*	1.11	206	10.0	10.0	8.3	*推 定
58				1,200*	1.01	240	11.6	11.6	9.6	*推 定
59				1,200*	0.88	179	8.6	8.6	7.1	*推 定
60※	D60P (17.0t)	1	18.7	1,539	0.78	106	5.6	4.7	5.7	
61※				1,539	0.64	82	4.4	3.6	4.5	
62	D60A (15.3t)	2	17.0	1,700*	0.64	217	12.6	11.8	14.1	*推 定
63				1,700*	0.90	209	12.2	11.4	13.7	*推 定
64				1,700*	0.70	237	13.8	12.9	15.5	*推 定
65	D8 (29.4t)	2	33.9	900	0.66	220	6.5	6.2	4.5	
66※				1,400	0.86	293	8.6	7.6	8.1	
67				1,400	0.94	114	3.4	3.1	3.2	
68	D7	3	23.3	1,200	0.11	273	12.1	11.2	10.0	
69	(20.3t)	1	23.3	1,500	1.05	115	5.1	4.7	5.1	

データ No	使用機械 (製造会社 モデル名)		使用 爪数 n(本)	機 械 総重量 G (t)	地山弾性 波 速 度 V _p (m/s)	リッピング 作業速度 v (km/h)	時間当 り施工量 V _w (m ³ /h)	単位時間, 単位機械重量当たり掘削量			備 考
								M (m ³ /h・t)	$\bar{M}$ (m ³ /h・t)	$\hat{M}$ (m ³ /h・t)	
70※	キ ャ タ ピ ラ 菱	D 6 C	1	15.6	2,400	0.54	462	29.6	26.0	51.0	
71		(14.2t)			不 明	0.53	204	13.1	12.1	—	
72		D 4 D	1	9.5	2,100 ~2,500	1.20	69	7.3	7.4	11.8	
73	日 立 建 機	T 20 (19.0t)	1	22.1	596	0.80	172	7.8	7.8	4.5	岩片 V _p 3,280
74					618	1.08	172	7.8	7.8	4.5	岩片 V _p 3,540
75					627	0.91	148	6.7	6.6	3.9	岩片 V _p 3,940

注 データNoに※印のものは、 $\alpha \geq 10\%$ 及び $V_p/V_L \leq 0.1$ のデータである。

図 4.12 は、このようにして求めた勾配補正単位掘削量 $\bar{M}$ と地山弾性波速度 V_p の関係について示したものである。同図には全データについてブルドーザの規格、使用爪数等も併記してある。図中調査点における添字は、平均作業勾配 α (%) を示しており、 $\alpha \geq 10\%$ では掘削量が非常に増加しているものがあることがわかる。この理由としては図 4.13 に示すように、一度爪によって起砕された岩片は、その後シャンクによって押されながら自重の勾配分力 $w \cdot \sin \alpha$ によって移動する方向へ力が加わるため掘起しの力が少なくてすむため、 $\bar{M}$ がその分だけ増加するとも考えられるが、このほか地山の状態が大きく関係するものと思われ、これらの現象の詳細な解析にはなお多くの資料が必要であるため、図 4.12 では使用機械の勾配分力による牽引力の増加についてのみ補正を行った。

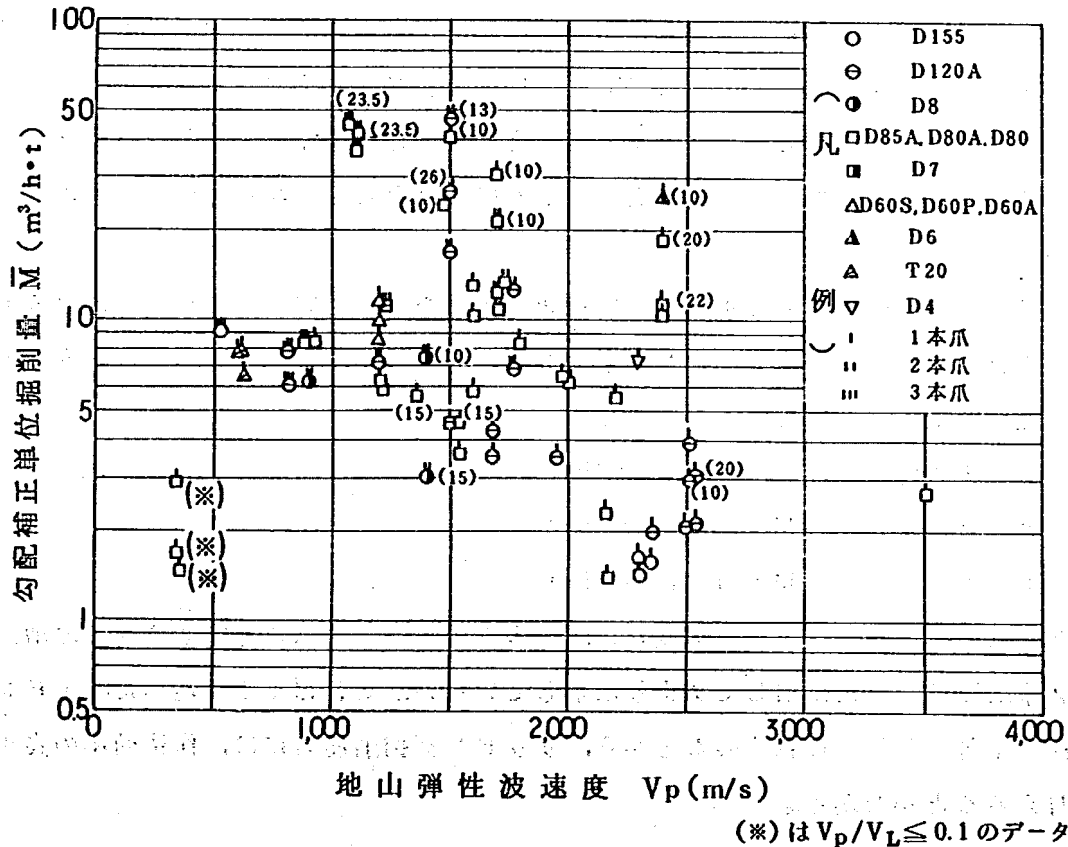


図 4.12 勾配補正単位掘削量と地山弾性波速度

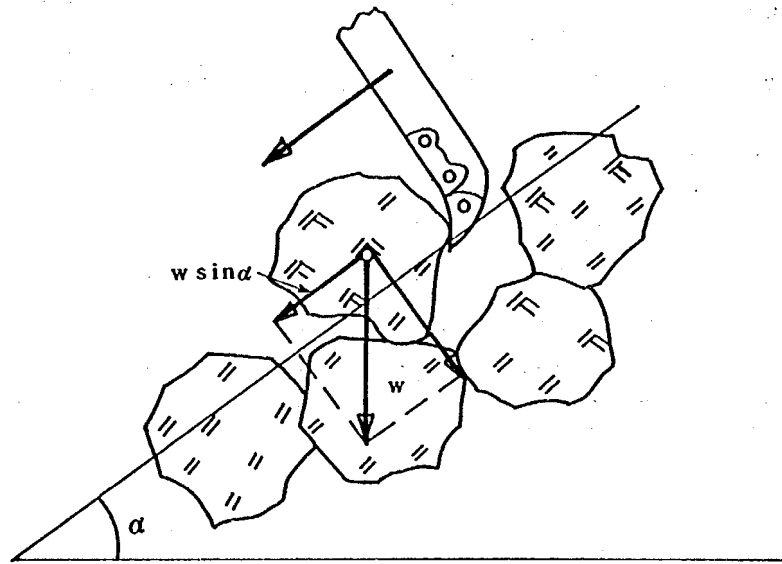


図 4.13 傾斜地における掘削

また、図 4.12 中※の調査点は、岩盤の亀裂係数の大きな場合 ($V_p/V_L \leq 0.1$) を示すものであり、この場合の $\bar{M}$ は他のデータに比べて非常に小さいものとなっている。

従って、作業勾配 $\alpha \geq 10\%$ の場合と亀裂係数 $V_p/V_L \leq 0.1$ の場合のデータは、一般的な水平地面におけるリッパ掘削能力を求める上において十分なデータであるかは疑問の残るところであるため、参考にする程度にとどめることとし、これらの調査点については×印及び△印で別に区別することにした。

図 4.14 は、勾配補正単位掘削量 $\bar{M}$ と地山弾性波速度 V_p との関係を求めたものである。図中の×印、△印は前述の $\alpha \geq 10\%$ 及び $V_p/V_L \leq 0.1$ の場合を示すものであって、これらの調査点を除いて○印のデータについて考えると $\bar{M}$ と V_p との間には、図中の表わした関係式の相関性が存在した。すなわち、地山弾性波速度が大きくなるにしたがって、リッパ掘削が困難になっていくことがわかる。

図 4.15 は、使用爪数と勾配補正単位掘削量との関係を示す。同図より全般的には爪本数 n が増加するにつれて勾配補正単位掘削量 $\bar{M}$ も増大していく傾向がみられる。各々の爪本数に対する勾配補正単位掘削量の平均値を計算してみると

$$n = 1 \text{ の時} \quad \bar{M}_1 = 7.0 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{t}$$

$$n = 2 \text{ の時} \quad \bar{M}_2 = 8.1 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{t}$$

$$n = 3 \text{ の時} \quad \bar{M}_3 = 13.4 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{t}$$

となり、3本爪の時の勾配補正単位掘削量は、1本爪の場合と比べると約2倍近くの増加がみられるが、2本爪では、それに対してあまり増加していない。これは4.2で述べたリッピング作業速度と同様の傾向であり、これらのことから、リッピング掘削能力には、作業効率の良否が大きく影響を与えることがわかる。

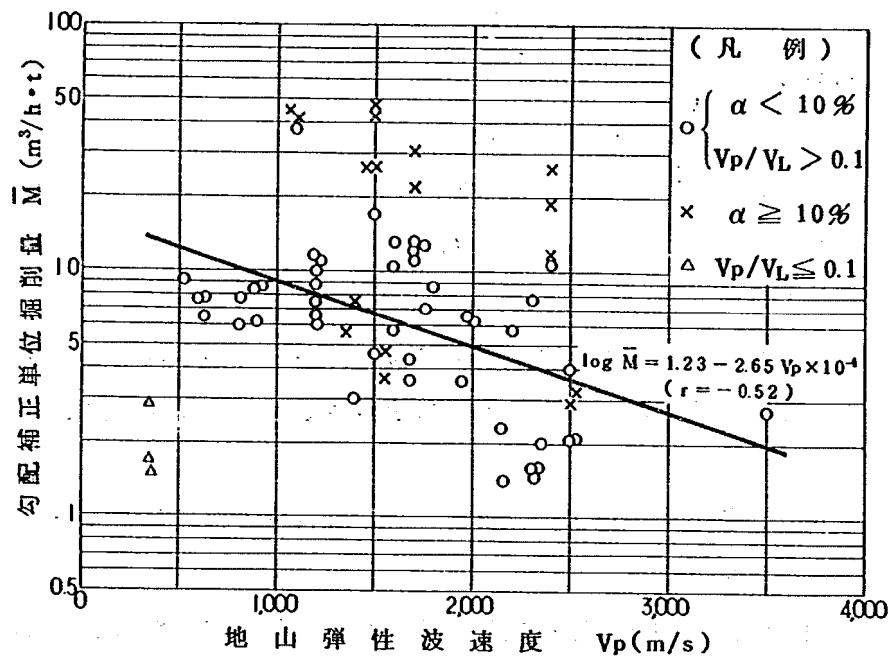


図 4.14 勾配補正単位掘削量と地山弾性波速度

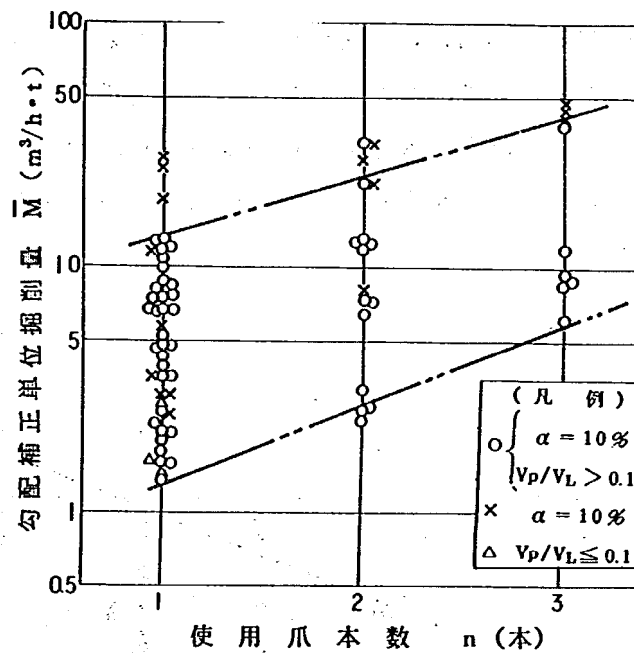


図 4.15 勾配補正単位掘削量と使用爪本数

4.4 リッピング平均有効断面積

リッパ掘削作業において、リッパのシャンク数やシャンクのくい込み深さなどは、4.1(3)で記述したように岩石の工学的性質、使用機械の重量及び作業勾配などの作業条件等によって異なってくるものであり、一般には軟い岩盤の掘削では多くの爪を使用し、硬くなるにしたがって爪の数を少なくする。

リッピングの断面積は、次式で表わされる⁷⁾。

$$A_n = \beta \cdot H^2 \cdot n$$

ここで、 A_n : リッピング断面積 (m^2)

β : 岩石の種類などによる係数

H : リッパのくい込み深さ (m)

n : 爪の本数

すなわち、同じ岩石の場合、リッピングの断面積はリッパのくい込み深さの自乗と爪本数に比例して増大することになり、爪の数が多いほど掘削断面積は大きくなり作業量も増大することになる。

本調査解析では、調査対象工事の施工実績資料から、これらの相互関係について検討した。

(1) 使用機械の重量と掘削断面積

図 4.16 は、使用機械 (ブルドーザ) の重量とリッピング平均有効断面積との関係を示したものである。同図からは、使用機械の重量とリッピング平均有効断面積との間には、はっきりとした相関性を見出すことはできない。

これは、リッピング平均有効断面積は、使用機械の重量すなわちシャंकの貫入力によって影響を受ける以上にシャंकの貫入性、すなわち岩石の工学的性質によって影響をより強く受けるものと考えられる。しかしながら、本施工実績調査資料は、現場調査のため同一岩質に対して使用機械の量を変化させたデータが少ないので、使用機械重量と掘削断面積の相関性について直接考察することは困難である。

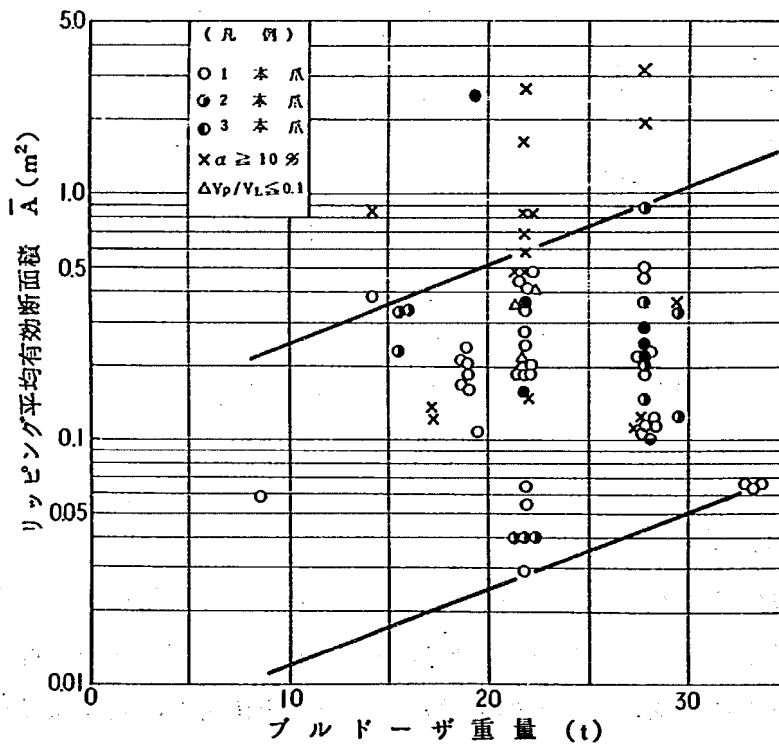


図 4.16 リッピング平均有効断面積とブルドーザ重量

(2) 掘削断面積の使用爪数

図 4.17 は、リップング平均有効断面積と使用爪数との関係を示したものである。一般に軟かい岩盤に対してはシャンク数を多くした方が掘削断面積はそれだけ大きくなり、掘削量が増大するとされているが、図 4.17 においても使用爪数が多いほどリップング平均有効断面積が増大していく傾向がみられる。

しかしながら、各使用爪本数に対する $\bar{A}$ の平均値を計算してみると（×印及び△印のデータを除いた平均値）

$n = 1$ の時 $\bar{A}$ の平均値は 0.24 m^2

$n = 2$ の時 $\bar{A}$ の平均値は 0.26 m^2

$n = 3$ の時 $\bar{A}$ の平均値は 0.63 m^2

となり、2 本爪の時の $\bar{A}$ は、ほとんど 1 本爪の時に比較増加しておらず、これは 4.1 (3) で記述したような理由で、シャンクのくい込み深さがあまり増加できないためと考えられる。

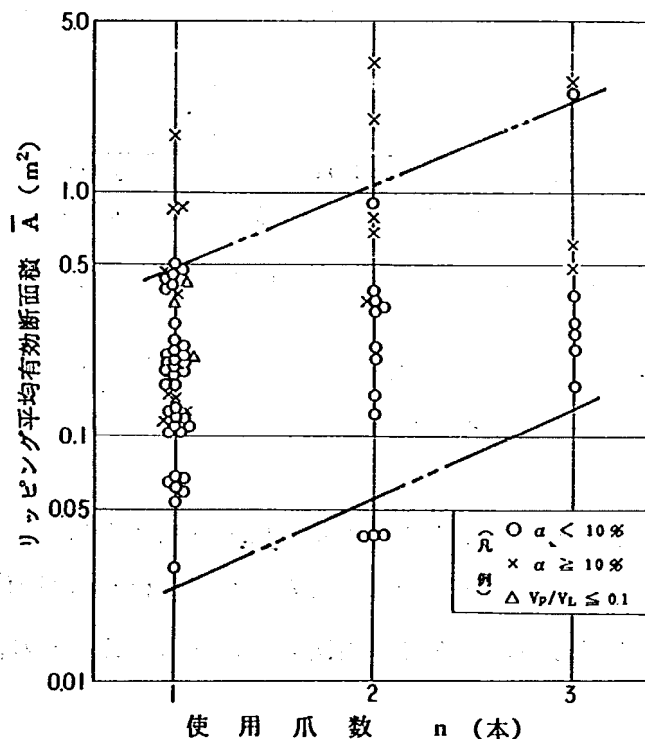


図 4.17 リップング平均有効断面積と使用爪数

(3) 掘削断面積と地山弾性波速度

図 4.18 は、リップング平均有効断面積と地山弾性波速度との関係を示している。同図で作業勾配の大きな $\alpha \geq 10\%$ の場合と亀裂係数の大きな $V_p/V_L \leq 0.1$ の場合とを除外して考えると両者の間には、図中の点線の区間で囲まれるようなかなりはっきりした相関性がみられる。

これより、地山弾性波速度が大きくなるほど岩盤は硬くなり、シャンクの貫入性が悪くなって掘削断面積が小さくなる傾向が確認された。また、作業勾配が極端に大きい時（図中×印）は、掘削力が増大するため、一般に掘削断面積も大きいことがわかる。一方、亀裂係数が大きい時（図中△印）は、リップング平均有効断面積はむしろ多少小さな値を示しており、これ

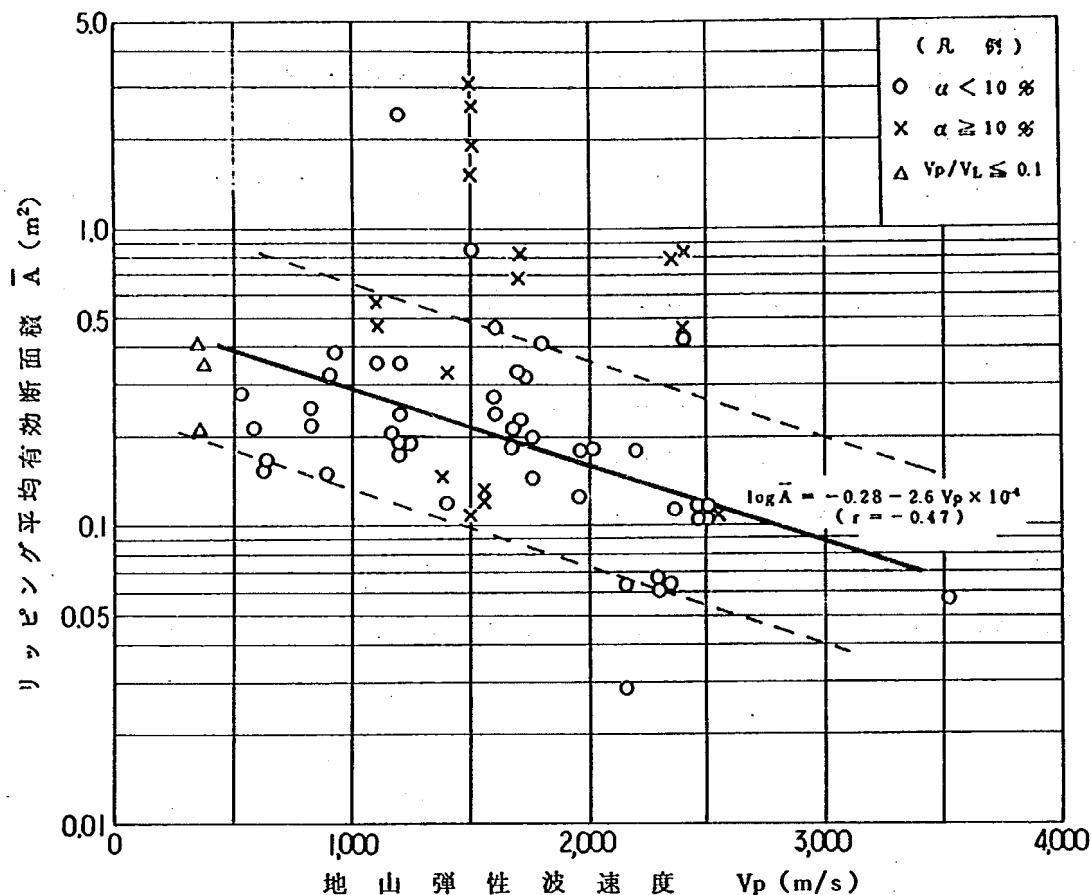


図 4.18 リッピング平均右効断面積と地山弾性波速度

は 3.2 でも述べたように風化変質した地山の所々に極めて硬い岩塊があり、掘削作業能力が低下する影響を受けているものと考えられる。

(4) 掘削断面積と掘削量

これまでは掘削断面積に及ぼす使用機械重量、使用爪数及び岩質等の影響について検討したが、図 4.19 は、リッピング平均有効断面積 $\bar{A}$ と勾配補正単位掘削量 $\bar{M}$ との関係について示したものである。同図から両者の間にはかなり相関の高い関係が認められ、次式に示すような相関が得られた。

$$\log \bar{M} = 0.92 \log \bar{A} - 1.40 \quad (r = 0.79)$$

すなわち、勾配補正単位掘削量はほぼリッピング平均有効断面積に比例して増加していくことがわかる。

また、作業勾配が大きい $\alpha \geq 10\%$ の場合の調査点 (×印) は相関式から大きく離れていないが、亀裂係数が大きい $V_p/V_L \leq 0.1$ の調査点 (△印) は、相関式より上方に離れており、この場合は、リッパのシャンクが十分岩盤に食い込んでも、作業能率が上らず、十分な掘削量が得られていないことを示している。すなわち、亀裂係数が極端に大きい場合には、地山中にある硬い岩塊もしくは大きな亀裂により作業が妨げられるため、作業速度が低下し、その結果作業能率が低下してしまう現場もあることに留意する必要がある。

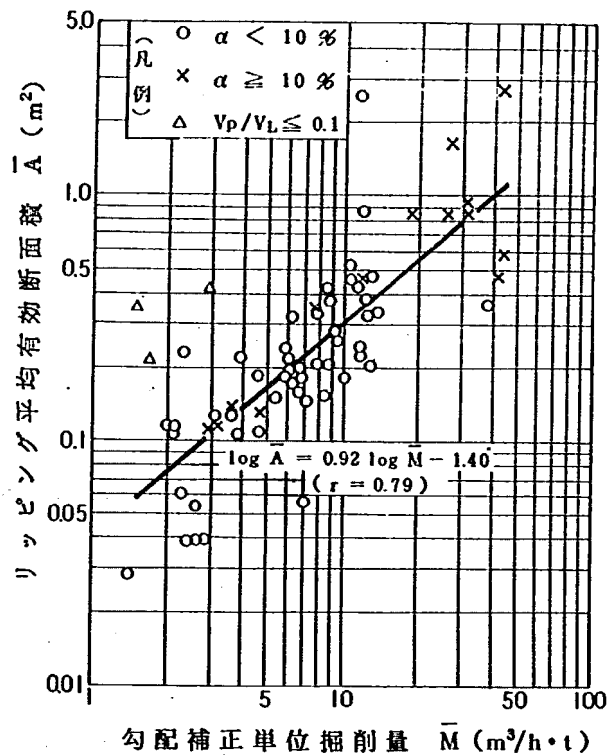


図 4.19 リッピング平均有効断面積と勾配補正単位掘削量

4.5 平均作業勾配と掘削量

これまでの解析調査からもわかるように、作業勾配はリッパ掘削量に大きな影響を与えている。しかしながら、リッパ掘削量と作業勾配の関係を検討するに当たって、施工実績調査は工事現場における実態調査であるため、同一岩盤に対して作業勾配が変化しているデータはなく、種々の岩質に対するデータであるため、そのまま利用することはできず、解析にあたっては、予め岩石の工学的性質を考慮しておかなければならない。

したがって、本調査解析では以下のように考えて岩石の硬さに関する影響を補正することにした。

図 4.14 において、平均作業勾配の大きい $\alpha \geq 10\%$ の場合を除くと、勾配補正単位掘削量 $\bar{M}$ と地山弾性波速度 V_p の間には図中の関係式で示した相関関係がみられる。すなわち両者の間には

$$\log \bar{M} = 1.23 - 2.65 V_p \times 10^{-4} \quad \text{または} \quad \bar{M} = 16.8 \cdot e^{-6.1 \times 10^{-4} V_p}$$

である。そこで、図 4.20 に示すように単位掘削量 M のすべての調査点を上式の線 ($\bar{M} = 16.8 \cdot e^{-6.1 \times 10^{-4} V_p}$) に平行移動して $V_p = 1,500 \text{ m/s}$ の線上に集めて地山弾性波速度が $1,500 \text{ m/s}$ の場合の単位掘削量に換算した。この場合に用いた単位機械重量当たりの掘削量 M は、作業勾配で補正した $\bar{M}$ ではなく、式 4.5 で示したような時間当たり施工量 V_w を使用機械の総重量 G で除した値である。

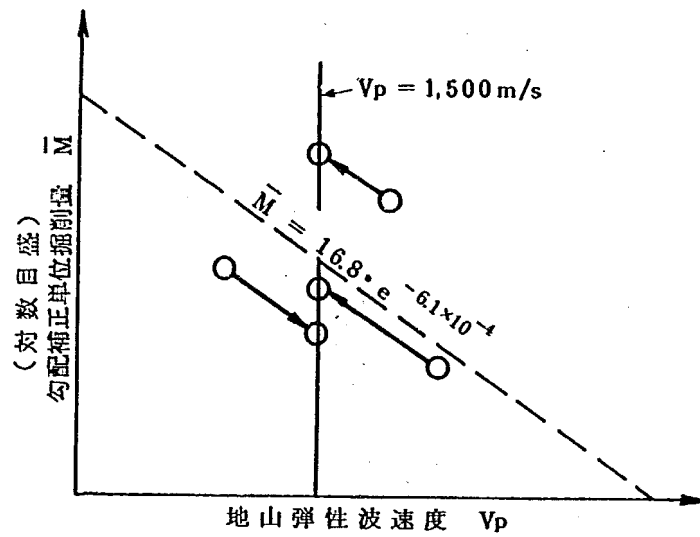


図 4.20 弾性波補正単位掘削量の求め方

ここで、地山弾性波速度 1,500 m/s の場合に換算した掘削量を弾性波補正単位掘削量と呼び $\hat{M}$ で表わすことにする。

このようにして求めた弾性波補正単位掘削量 $\hat{M}$ と平均作業勾配 α との関係を示したのが図 4.21 である。

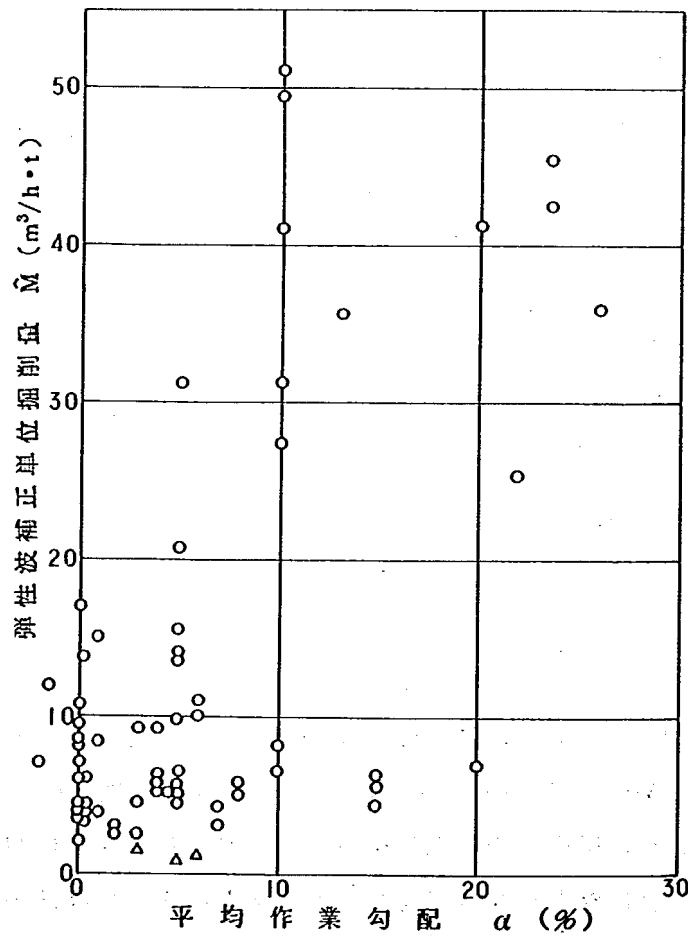


図 4.21 弾性波補正単位掘削量と平均作業勾配

同図から作業勾配が $\alpha < 10\%$ では、弾性波補正単位掘削量 $\hat{M}$ が作業勾配から受ける影響はあまり見られず、また調査点のバラツキも少ないが、 $\alpha \geq 10\%$ においては、 $\hat{M}$ は著しく増大しているものがみられ、調査点のバラツキも大きくなっている。 α に対する $\hat{M}$ の増分は、式4.3より使用機械の牽引力の増加分が $\alpha = 10\%$ で約14%増、 $\alpha = 30\%$ でも約37%増にすぎず、 $\hat{M}$ の著しい増加に対する主な原因とは考えられない。

しかしながら、これらのデータについて岩石名ごとについて区分すると $\alpha \geq 10\%$ でも、 $\hat{M}$ が著しく増大するものと、余り変化しないものとに分けることができる。すなわち、図4.22及び図4.23に示すように、作業勾配の影響を著しく受ける岩石は、砂岩、頁岩（ただし軟岩Iに属するもの）、泥岩、緑片泥岩及び花崗岩であり、作業勾配の影響が少ない岩石は、粘板岩、及び頁岩（ただし軟岩Iに属するものを除く）であることが分る。

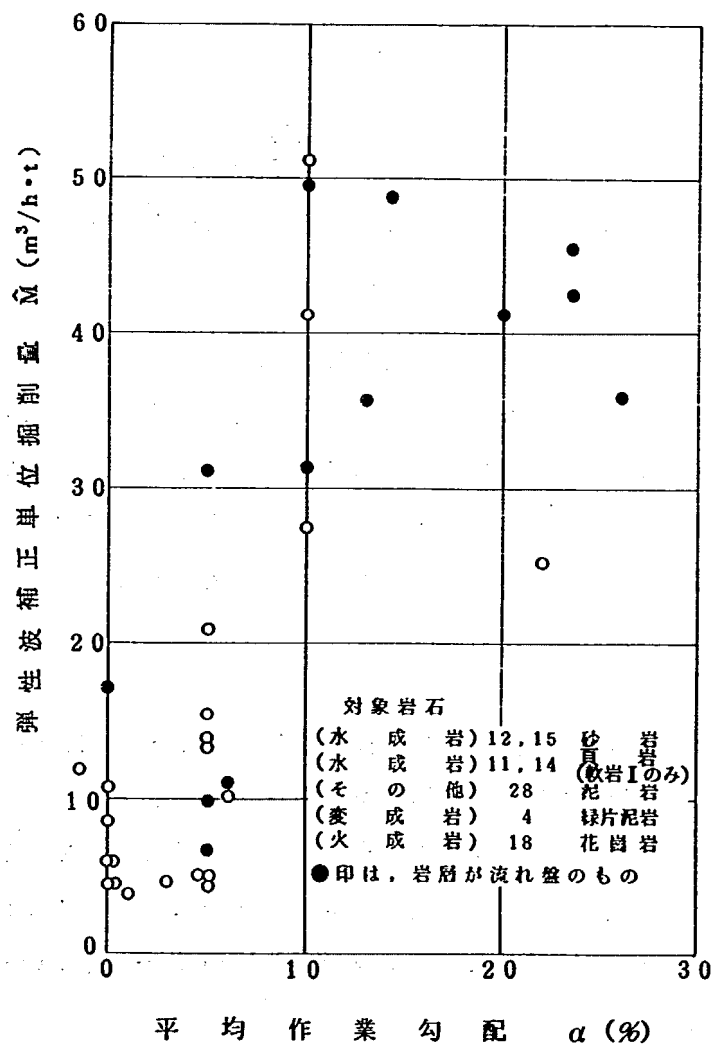


図4.22 平均作業勾配の影響の大きな岩の $\hat{M} - \alpha$ の関係

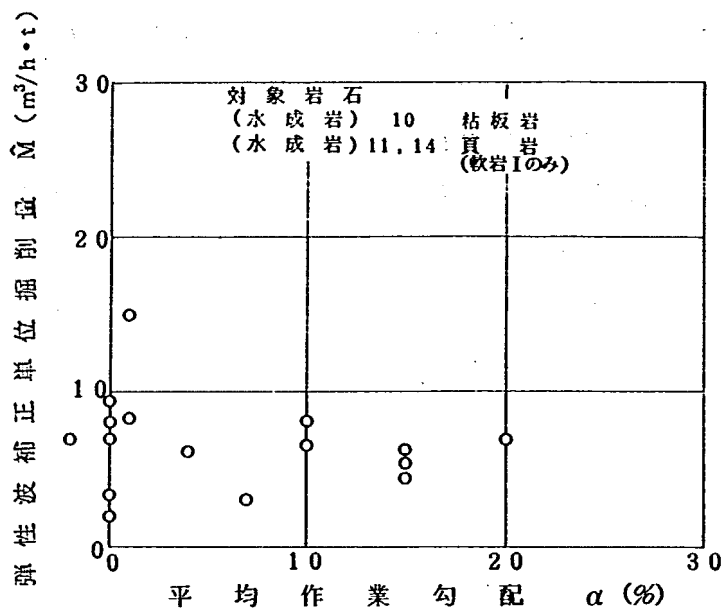


図 4.23 平均作業勾配の影響の小さな岩の $\hat{M} - \alpha$ の関係

さらに地山の状態を詳細に調べてみると、図 4.22 の黒丸印は、地山の岩層が横断面からみて流れ落ちる方向に流れている、いわゆる流れ盤（付録「岩石工調査実施要領」参照）の時のデータである。このような地層では、リップピングによって地山がゆるんだり、地層がすべり現象をおこし易くなるため、施工量が大きく増大しているものと考えられる。これは、作業勾配が 10% 未満のところでは、施工量があまり大きくないことから考えられる。

4.6 岩石の種類と掘削量

施工実績調査資料にもとづいて計算した勾配補正単位掘削量 $\bar{M}$ と岩石の分類との関係を図 4.24 に示す。同図中の添字は、現場における平均作業勾配を示している。

同図において、全体の傾向としては軟岩 I から硬岩 I に移るにつれて勾配補正単位掘削量 $\bar{M}$ が減少していく傾向がみられる。また、岩石別では泥岩、砂岩は勾配補正単位掘削量 $\bar{M}$ が非常に大きくなっており、なかでも砂岩などのように水成岩の薄い層状をなしているものはリップピングしやすいことを示している⁴⁾。

一方、凝灰岩、安山岩、硬砂岩、頁岩の大部分では $\bar{M}$ が小さく、これらの岩石についてはリッパ掘削作業がかなり困難であることを示している。

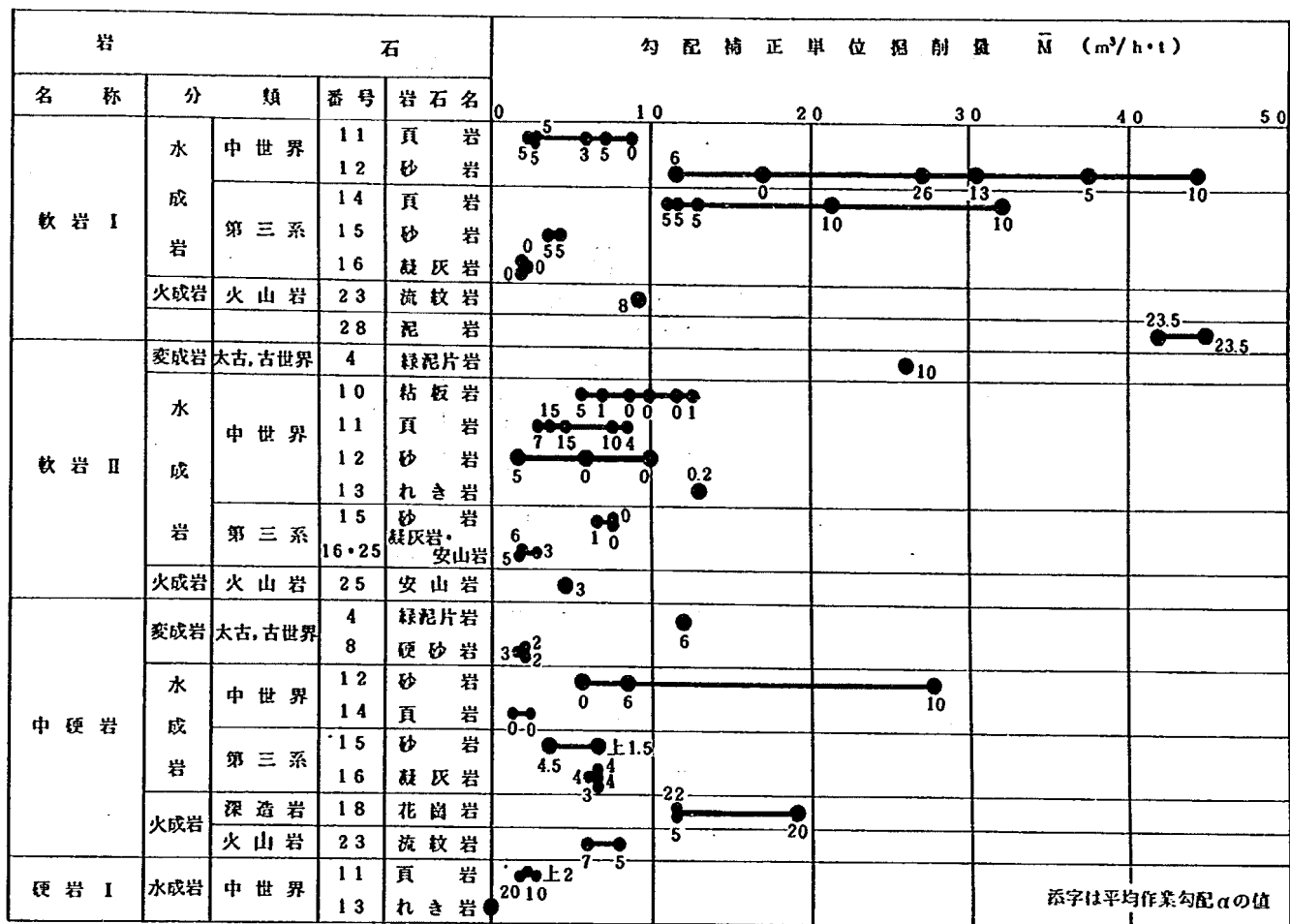


図 4. 24 岩石の種類と勾配補正単位掘削量

5 リッパ掘削作業の適用限界の推定

これまでに解析してきたようにリッパ掘削作業における施工限界は、使用機械の能力と岩石の工学的性質によって決まることが分ったので、使用機械の能力についてはリッパ装置付ブルドーザの総重量に着目し、また岩石の工学的性質については地山の弾性波速度に着目してリッパ掘削能力を推定したものが図 5. 1 である。同図は、水平面における一般的な作業状態での掘削能力及び掘削可能限界（勾配補正単位掘削量 $\bar{M}$ で示した）を推定するものであるので、平均作業勾配が $\alpha \geq 10\%$ のような大きな場合および岩盤の亀裂係数が非常に大きな $V_p/V_L \leq 0.1$ の場合のデータを除外して表示したものである。

使用機械別の作業能力を求めるため、リッパ装置付ブルドーザの能力をその重量によって 32 t、21 t および 15 t の 3 つに区分した⁷⁾⁸⁾。

図中の直線はそれぞれ上記の使用機械の重量区分における作業能力の上限を示したもので、この直線の下の部分にそれぞれの調査点が存在しているため、この直線をここではリッパ掘削能力限界線と呼ぶことにする。また、これらのリッパ掘削能力限界線は、およそ次のように表わすことができる。

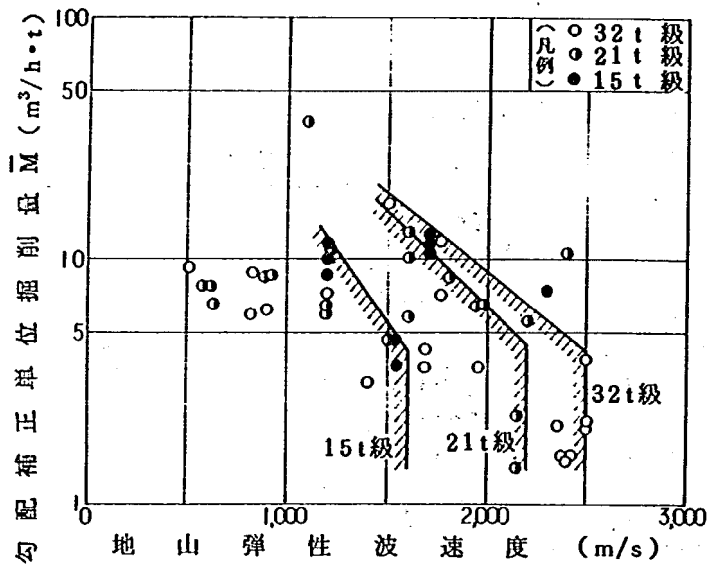


図 5.1 リッパ掘削能力限界推定図

$$32 \text{ t} : \log \bar{M} = -6.4 V_p \times 10^{-4} + 2.9$$

$$21 \text{ t} : \log \bar{M} = -7.9 V_p \times 10^{-4} + 2.4$$

$$15 \text{ t} : \log \bar{M} = -1.3 V_p \times 10^{-3} + 2.6$$

しかしながら、 $V_p < 1,000 \text{ m/s}$ の調査点では、上式のリッパ掘削能力限界線よりかなり下廻った調査点しか存在しておらず、この場合は亀裂係数がある程度大きい場合などが考えられるため、掘削能力を単に地山弾性波速度に反比例しているとは決められないことがある。

一方、適正なリッパ掘削作業における限界は、一般に経済的にも時間的にも他の掘削手段よりも能率の低下した場合であるが、ここでは他の掘削手段との比較はできないため、ここでは、図 5.1 の示されたデータから判断する。図を注意深く観察すると勾配補正単位掘削量 $\bar{M}$ が $\bar{M} \leq 4 \sim 5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{t}$ の付近で急激に調査点の上限がリッパ掘削能力限界線より下廻るのが分り、これ以上地山弾性波速度が大きい（すなわち硬い）岩盤をリッパしようとする作業能率が急激に落ちるものと考えられる。したがって、本解析においては、先の限界線と $\bar{M} = 4 \sim 5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{t}$ とで囲まれる範囲をリッパ掘削作業可能限界（図中の点線斜線部分）とした。

この結果リッパ掘削限界を地山弾性波速度 V_p で表わすと次のようになる。

$$32 \text{ t 級} \quad V_p = 2,500 \text{ m/s}$$

$$21 \text{ t 級} \quad V_p = 2,200 \text{ m/s}$$

$$15 \text{ t 級} \quad V_p = 1,600 \text{ m/s}$$

ただし、このリッパ掘削限界は、上記の如く施工性の観点から推測したものであり、施工の経済性の観点からみればまた別の限界が示されるはずであり、その限界値は本調査で推定した限界値よりも小さい値になると考えられる。

6 結 言

本報告は、昭和46年度から昭和47年度にかけて建設省にて実施した岩石工歩掛調査のうち、リッパ工法に関する工事を対象にしてリッパ掘削の施工能力を解析調査したものである。

本調査の結果を要約すると以下のようになる。

- (1) リッパ掘削能力は、岩盤の工学的性質と密接な関係があり、地山弾性波速度がリッパ掘削能力判定の一つの目安となることが確認できた。

- (2) リッパ掘削における平均有効掘削断面積 $\bar{A}$ (m²) と時間当たり施工量 V_w (m²/h) との間には、

$$\log V_w = 0.69 \log \bar{A} + 2.7$$

で表わされる相関性のあることが認められた。

- (3) リッパ掘削量は、作業勾配の影響を受けるので、傾斜地における勾配分力を考慮して補正した勾配補正単位掘削量 $\bar{M}$ (m³/h・t) の概念を導入して、これと地山弾性波速度 V_p (m/s) との相関性を求めたところ、

$$\log \bar{M} = 1.23 - 2.65 V_p \times 10^{-4}$$

の関係が得られ、地山弾性波速度が大きくなると掘削量が減少するのが認められた。

- (4) 平均作業勾配が10%程度までは掘削量に対して勾配の影響があまり大きく現われないが、10%以上になると時間当たり施工量及び弾性波補正単位掘削量が急激に増大することがある。これは単に使用機械重量の勾配分力の増加による牽引力の増大だけでなく、破碎された岩塊自身の勾配作用や掘削する岩石や岩層の種類に影響されている。

- (5) リッパの使用爪本数は、爪数が増加すると掘削量が増加する傾向はみられるが、2本爪の場合の効果は顕著ではなく、1本爪もしくは3本爪を使用し、作用速度やシャンクくい込深さなど他の施工条件を変えた方が得策である。

- (6) 地山と岩片の弾性波速度比 V_p/V_L が非常に小さい場合、すなわち、亀裂係数 $(1 - V_p^2/V_L^2)$ が大きい場合には、かえってリッパ掘削能力が低下する場合もある。これは極度に風化された地山の所々に極めて硬い岩塊の存在が想定され、これをリッパで搔起し排土板で除去するような作業状態となってリッパ掘削能力を低下させているものと考えられる。したがって、このような場合には、地山弾性波速度はリッパピリティの指標とはなり得ない。

- (7) リッピング平均有効断面積 $\bar{A}$ (m²) と地山弾性波速度 V_p (m/s) との間には

$$\log \bar{A} = -0.28 - 2.6 V_p \times 10^{-4}$$

の相関関係が存在することが認められ、地山弾性波速度が増大するほど掘削断面積は指数的に小さくなる。

また、リッピング平均有効断面積 $\bar{A}$ (m²) と勾配補正単位掘削量 $\bar{M}$ との間には、

$$\log \bar{A} = 0.92 \log \bar{M} - 1.40$$

で表わせる相関関係が認められた。したがって、この関係から、平均有効断面積からリッパ掘削能力を推定することができる。

- (8) 岩石の種類によっても掘削量が異なり、泥岩や砂岩ではリッピングが容易で、特に岩層が流れ盤のものは顕著である。これに対して、凝灰岩、安山岩、頁岩ではリッピングが困難である。
- (9) 施工性の観点から推定したリッパ掘削の適用限界を地山弾性波速度で表わすと、およそ次のようになる。

リッパ装置付ブルドーザ	32 t 級	$V_p = 2,500 \text{ m/s}$
〃	21 t 級	$V_p = 2,200 \text{ m/s}$
〃	15 t 級	$V_p = 1,600 \text{ m/s}$

参 考 文 献

- 1) 土質工学会編：「岩の工学的性質と設計施工への応用」 土質工学会
- 2) 日本建設機械化協会編：「日本建設機械要覧」（1974 年版） 日本建設機械化協会
- 3) A.A. Prokoflew：「Tank Theory」（ATAC Foreign Technology Office）（1967）
- 4) 土木工法事典編集委員会：「土木工法事典」 産業調査会
- 5) 土木学会関東支部編：「機械土工の施工計画と問題点」 土木学会関東支部講習会資料（53.10）
- 6) 日本建設機械化協会編：「建設機械と施工法」 技報堂
- 7) 日本道路協会編：「道路土工施工指針」 丸善
- 8) 日本建設機械化協会編：「建設機械等損料算定表」（昭和 53 年版） 日本建設機械化協会
- 9) キャタピラー三菱編：「機械施工システムを考える」
- 10) 小松製作所カタログ

〔付 録〕

昭 和 46 年 度

機械施工積算合理化調査

岩 石 工 調 査 実 施 要 領

建設省大臣官房建設機械課
とりまとめ担当 四国地方建設局

岩石工歩掛調査実施要領

1. 調査目的

この調査は岩石工積算資料(43.3)、リッパ掘削積算資料(44.3)の改訂増補を行うと共に岩石工と法面整形の関連性をも併せて求めるもので、発破掘削、発破掘削ブル併用、リッパ掘削、リッパ掘削発破併用、リッパ掘削ブル併用の各施工法についてその基準を作成すると共に、従来の標準機種、規格、作業能力等を施工法の進歩、機械の性能向上にあわせて改訂するものである。

2. 調査の対象

昭和46年度に施工される岩掘削を対象とし、1山1件として各地建5件以上調査するものとし、極力施工法ごと1件以上調査するものとする。対象作業は穿孔から浮石落とし、又は排土(穿孔、爆破、リッピング等の作業が出来るよう岩砕を取除く作業(以下「排土」という。))および法面整形までとし、排土にブルドーザーの代替へにトラクターショベルを投入した場合、クローラドリル、ワゴンドリル、ANFO(火薬)を使用した場合も対象とする。ただし床掘工、ダム工事、砂防堰堤工事は対象としない。

3. 調査の担当

調査は、各地方建設局および北海道開発局の各工事事務所および技術事務所が行い、各地方建設局および北海道開発局は資料を集積の上昭和47年4月30日までに四国地建機械課へ1部(原稿)送付するものとする。

4. 調査概要およびとりまとめ方針

調査は長期調査、短期調査、試験機器による岩試験、目で見た岩分類、機械投入時の現場条件実態調査等を行うものとする。

イ 長期調査で岩掘削(浮石落とし、小割りおよび排土まで)および同箇所の法面整形について工事量、工期、労力、および材料歩掛り、作業日数、使用機械の供用日数、運転日数、運転時間等を調査し施工法、施工条件毎の標準歩掛りを求めるとともに標準機種、規格および標準材料の選定を行う。

ロ 短期調査は1日調査とし、リッパ掘削について初期、中期、後期の3回程度調査し掘削サイクルタイムおよび作業量を求め各施工条件におけるリッパ掘削作業能力を求める。

ハ 調査対象工事の岩掘削全箇所を対象に1山(1,000 m³程度以上のみ。)ごとに施工実態調査を行い標準施工法を求める。

ニ 試験機器による地山弾性波速度、岩片弾性波速度、岩片一軸圧縮強度の測定および目で見た

亀裂、風化の程度等を調査し岩分類を定量的に示すべく解析する。

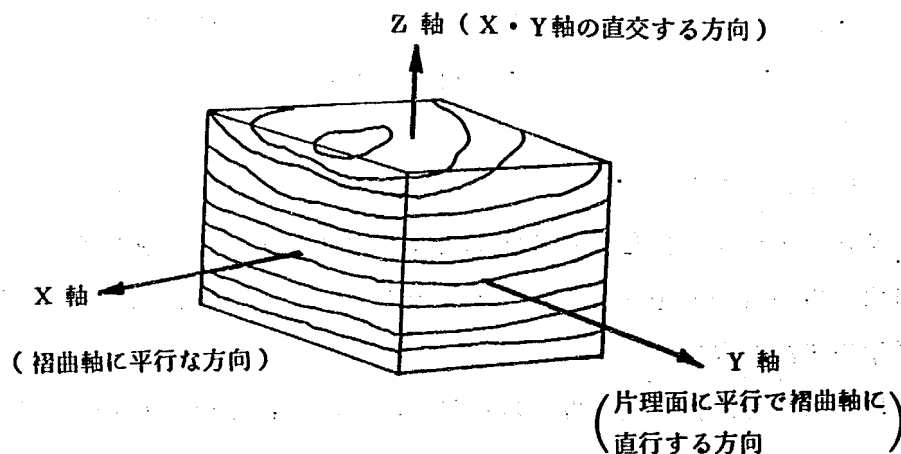
ホ ブルドーザー作業能力および作業効率については、土工積算資料によることとし施工基準関係のみ調査し解析する。

5. 調査表記入要領（記入例は各様式を通じての関連性はない。）

様式－1 岩石工歩掛調査表

- ① 工事設計概要： 最終変更設計書より記入すると共に施工業者名を記入する。
- ② 掘削量： 最終変更設計書より土質岩質ごとにそれぞれ記入する。岩質は、昭和44年度土木工事共通仕様書案による岩分類で軟岩Ⅰから硬岩Ⅱの5階級とする。（床掘は除く。）
- ③ 投入機械実態： 調査対象工事の掘削作業（排土を含み、床掘は除く。）に持込まれた、さく岩機程度以上の機械総てについて記入する。
延供用日数・延運転日数＝台数×供用日数，又は運転日数
- ④ 土質条件： ②で記入した岩についてそれぞれ該当事項を記入する。同一岩質で2種類以上の岩がある場合は段書きで記入する。
- ⑥ 岩石名： 別表1により記号で記入する。同表に記載されていない岩石については28以上の記号で記入し、記事欄に岩石名を記入する。
- ⑦～⑩： 別表－2～5により記号で記入する。
- ⑪ 弾性波速度： 弾性波探査機により地山弾性波速度を測定し、岩質ごとに記入する。
- ⑫ 岩片弾性波速度： 岩質ごとの代表的な岩片を現場より採集し、後記によるX軸方向の弾性波速度をウルトラソニスコープ等で測定し記入する。なお風化が著しく進み、岩片が小さく（X軸方向10 cm以下）測定出来ないものは、その旨記事欄に記入する。
- ⑬ 岩片耐圧強度： 岩質ごとの代表的な岩片を現場より採集し、50 mm立方体に整形し後記のZ軸方向について一軸圧縮試験を行い記入する。

X軸，Y軸，Z軸については下図のとおり。



様式-2 岩石工歩掛調査表（長期）

- ① 施工条件： 長期調査対象個所の各条件を記入する。
- ② 現道巾員： 現道沿いの作業の場合はその現道巾員を，工事用道路の場合は，「仮道〇〇m」と記入する。
- ③ 交通量： 現道沿いの場合のみ日当り交通量を記入する。近くに自記記録計がある場合はそれによる。
- ④ 発破時間の制限： 発破時刻に制約を受け，そのために作業待ちの有・無を○で囲む。
- ⑤ 附近の状態： 人家，鉄道等発破作業に影響をきたすものがあれば距離も併せて記入する。
- ⑥ 防護設備の状況： 防護柵等をおこなった場合は，その材料名，規格，寸法（高さ，延長）を記入する。
- ⑦ 発破量の制限： ⑤に制約を受けて1回当り，発破量の制限の有無を記入する。
- ⑧ リッパ作業距離： リッパ掘削の場合の平均的な1サイクル当り，リッピング距離を記入する。
- ⑨ ブルドーザの発破待ちの程度： 排土ブルドーザが発破のため待機した平均的な1回当り時間および1日当り回数を記入する。
- ⑩ 積込時の集土ブルドーザの程度： 発破，浮石落とし又は排土した岩砕を積込時にブルドーザで集土した場合は集土量を掘削量に対するパーセントを推定で良いから記入する。
- ⑪ 発破後の小割の程度： 発破後に小割した場合は，小割前の標準的な岩塊の大きさおよび，掘削量に対する小割量をパーセントで記入すると共に，その方法について記入する。なお小割をしない場合は「なし」と記入する。
- ⑫ 破砕岩の処理方法： 発破後の排土の処理方法および流用先（路体，路床，捨土等）又，排土が発破（又はリッピング）作業におよぼす影響の有無等を記入する。
- ⑬ 掘削方法： 発破掘削，発破掘削ブル併用，リッパ掘削，リッパ掘削発破併用，リッパ掘削ブル併用の施工法が変わるとに別欄とし各歩掛りを調査記入するものとする。また小割した場合は小割歩掛りを掘削歩掛りに入れるものとする。
- ⑮～⑳： 施工法，岩質ごとに各歩掛りを調査し記入することを原則とする。各歩掛りに分けられない場合は1本でもよい。
- ⑮ 掘削量： 地山土量で記入する。
- ⑯ 作業日数： 掘削～排土を行った日数を記入する。
- ⑰ リッパ爪数： リッパ掘削に使用した爪数を記入する。
- ⑱ 労力歩掛り： 1人1日2時間を1人として職種ごとに調査記入する。なお，排土ブルドーザは除く。
- ⑲ 機械歩掛り： リッパドーザは，リッピング時間（リッピングのための，その他運転時間

を含む。)を、コンプレッサー、レッグハンマー等は延運転日数を記入する。なおリッピング時間はタスクメーター等で調査するものとする。又、コンプレッサ等で掘削と法面整形に同一日に使用した場合は按分して計上する。

- ②① 材料歩掛り： 火薬は名称ごとに数量を記入する。リッパードーザー爪については取替ヶ数を記入する。
- ②② 法面整形面積および掘削量：岩質ごとに下段に面積を上段に()書きで掘削量を地山土量で記入する。
- ②③ 作業日数： 法面整形作業日数を記入する。
- ②④ 法面整形歩掛り： 岩質ごとの歩掛りについて、コンプレッサー、コールピック等は延運転日数を、労力は職種ごと1人1日2時間を1人として職種ごとに調査し記入する。

様式-3 油圧リッパ-掘削歩掛調査表(短期)

リッパ-掘削のみを調査対象とし、極力岩質および爪数の変らない日を選び、1日調査することとし、もし調査途中に爪数を変える場合はその時点でとりまとめるものとする。

- ④ リッピング時間： リッピングのための実運転時間を記入する。
- ⑤ その他時間： ④以外の運転時間を記入する。
- ⑦ 作業量： リッパードーザーが行った掘削量を 地山土量 で記入する。なお、調査前・後に行う測量は通常排土する範囲で排土完了後実施するものとする。
- ⑧ リッピング平均作業距離： 様式-6で調査した平均1サイクル当り、リッピング延長を記入する。
- ⑨ リッピング平均作業勾配： 調査中のリッピング方向の平均的な勾配を「上り〇〇%」、「下り〇〇%」と記入する。
- ⑪ リッピング総サイクル数： リッピングのみの総サイクル数を記入する。
- ⑫ リッピング総延長： ⑧×⑪を記入する。
- ⑬ 平均有効断面積： ⑦÷⑫を記入する。
- ⑬ 弾性波速度： 調査対象の岩の地山弾性波速度を記入する。
- ⑬ 岩の状況： 別表-1～5により、それぞれ該当項目を記号で記入する。
- ⑬ 弾性波速度： 様式-1の⑫に同じ。
- ⑬ 耐圧強度： 様式-1の⑬に同じ。
- ⑬ 特記事項： 特記事項があれば解り易く記入する。

様式-4 油圧リッパ-掘削作業能力調査表

リッパ-掘削作業能力調査は短期調査と同時に行うものとし、1回当り1時間程度行い、午前中1回、午後2回程度行うものとする。

⑧～⑭時間はストップウォッチ等で計測し秒単位で記入する。

⑧～⑬はリッピングのための実運転時間を記入する。

⑭～⑯は⑧～⑬以外の運転時間を記入する。

様式－5 岩石工施工箇所別施工実態調査表

調査対象工事現場内で1掘削箇所1,000m³程度以上の掘削箇所は全対象とし調査表1枚に1山ごと記入する。なお長期調査対象箇所分については、表の上余白部へ「(調査対象箇所分)」と記入する。

- ① 施工法標準断面図：掘削箇所の標準的な断面図を画き、土質、岩質ごとの境界線を入れ実際に施工された施工方法(②による。)および⑤の土質、岩質をそれぞれ記号で記入する。
又、リッパードーザー、ブルドーザー等を掘削、浮石落とし、又は排土のために投入した場合は投入時点の施工高さ(と広さを、巾(W)、長さ(L)、高さ(h)、をm単位で記入する。なお施工順序を△△、△-----で記入する。
- ③ リッパードーザー掘削平均距離：平均的なリッパードーザー掘削距離を記入する。
- ④ 積み込み時の集土ブルの程度：発破、浮石落とし又は排土した岩砕を積み込み時にブルドーザー又は、トラクターショベルで集土した場合は集土量を掘削量に対するパーセントを推定でよいから記入する。
- ⑦ 投入機械実態：調査対象箇所へ岩掘削、浮石落とし、排土および法面整形のために投入使用された機械(さく岩機程度以上の機械)全部について記入する。
- ⑮ 切土箇所への機械搬入方法：調査対象箇所へ、リッパードーザー、ブルドーザー等を搬入した際(仮道、迂回路、ウインチ等)の方法および延長、幅員等について記入する。
- ⑳ 職種別張付人員：調査対象箇所の掘削の初期、中期、後期の3回について(法面整形は、()書き)標準的張付人員を調査し記入する。
- ㉑ 記事：特記事項があれば記入する。

様式－6 状況写真表

長期調査対象箇所について、

(イ) 工事中の全景 (ロ) 発破直後の破砕岩の状況 (ハ) リッピング直後の掘削状況 (ニ) 切土箇所への機械搬入状況のわかる写真を糊付けし、その下に説明を記入する。なお、サイズはサービスサイズ程度とする。

様式－7 岩石工歩掛調査長期補助表

この補助表は、様式－2に記入するためのものであり、提出しなくてよい。

様式－8 油圧リッパ－掘削作業能力調査補助表

この補助表は、様式－3、4の補助表であり提出しなくてよい。

リッピング作業時の調査対象機械が走行した軌跡を全部記入し、リッピング前進は実線で、後退は破線でサイクルごとに通し番号を付ける。なお、調査前に掘削箇所外へ杭を打つなどしておけばよい。

⑦ 延前進距離： 記録したデータからリッピング前進だけの総距離を記入する。

⑧ 総サイクル数： リッピング前進の総回数を記入する。

(別表)

昭和44年度 土木工事共通仕様書(案)より抜粋

名 称	摘 要
軟 岩	I 第3紀の岩石で固結の程度が弱いもの。 風化がはなはだしくてきわめてもろいもの。 指先で離しうる程度のものでクラック間隔は1～5 cm くらいのものおよび第3紀の岩石で固結の程度が良好なもの。 風化がそうとう進み多少変色を伴い軽い打撃で容易に割れるもの。 離れ易いもので、き裂間隔は5～10 cm 程度のもの。
	II 凝灰質で強く固結しているもの。風化が目にしてそうとう進んでいるもの。 き裂間隔が10～30 cm 程度で軽い打撃により離しうる程度、異質の硬い互層をなすもので層面を楽に離しうるもの。
中 硬 岩	石灰石、多孔質安山岩のように、とくにち密でなくてもそうとうの硬さを有するもの。風化の程度あまり進んでいないもの。硬い岩石で間隔30～50 cm 程度のき裂を有するもの。
硬 岩	I 花崗岩、結晶片岩などで全く変化していないもの。 き裂間隔が1 m 内外で相当密着しているもの。 硬い良好な石材を取り得るようなもの。
	II けい岩、角岩などの石英質に富む岩質最も硬きもの。 風化しておらず新鮮なる状態にあるもの。き裂間隔少なく、よく密着しているもの。

表－1 岩 石 名

		番号	岩 石 名			番号	岩 石 名			番号	岩 石 名
変成岩および水成岩	太古界および古生界	1	片 麻 岩	水 成 岩	中 世 界	10	粘 板 岩	火 成 岩	深 造 岩	18	花 崗 岩
		2	石 英 片 岩			11	頁 岩			19	せ ん 緑 岩
		3	石 墨 片 岩			12	砂 岩			20	斑 柘 岩
		4	緑 泥 片 岩			13	れ き 岩			21	橄 攪 岩
		5	千 枚 岩			14	頁 岩			22	蛇 紋 岩
		6	け い 岩			15	砂 岩			23	流 紋 岩
		7	石 灰 岩			16	凝 灰 岩			24	ひ ん 岩
		8	硬 砂 岩			17	凝 灰 角 れ き 岩			25	安 山 岩
		9	角 岩							26	玄 武 岩
										27	集 塊 岩

(土木技術者のための土質工学より)

(表-2)

階級	岩の状態
A	変質は割れ目沿いのごく一部に限られる。 また全く未変質。透水性は極めて少ない し実際上不透水性 ($K < 10^{-5} \text{ cm/sec}$)
B	割れ目沿いに変質しているが、岩片内部 は新鮮で硬い。透水性は小。 ($10^{-3} < K < 10^{-5} \text{ cm/sec}$)
C	割れ目沿いに幅広く変質が進み全体として 脆弱。所々に未変部及び球状をなして 残存するものから未変部が大部分のもの まで含める。透水性は一般に中程度～や や高い ($K = 10^{-3} \text{ cm/sec}$)
D	一様に変質し、ハンマーの先端が突きさ さり指先でこわせる程に軟弱。透水性は 一般に中程度 ($K = 10^{-3} \text{ cm/sec}$)

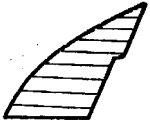
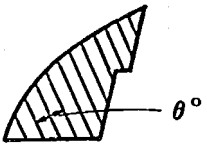
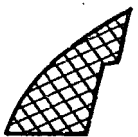
(表-3)

階級	き裂の状況
1	ほとんど完全に密着している。
2	一般に開口気味であるが、概して密着して いる。したがって切取りで流れ盤によ る滑落は起らない。
3	一般に割れ目沿いに変質して粘土化、ま た開口している。したがって割れ目から はがれ易い。流れ盤の場合、滑落し易い。
4	割れ目は粘土質物質でふさがれて、やや 不明瞭。 あまり開口していない。

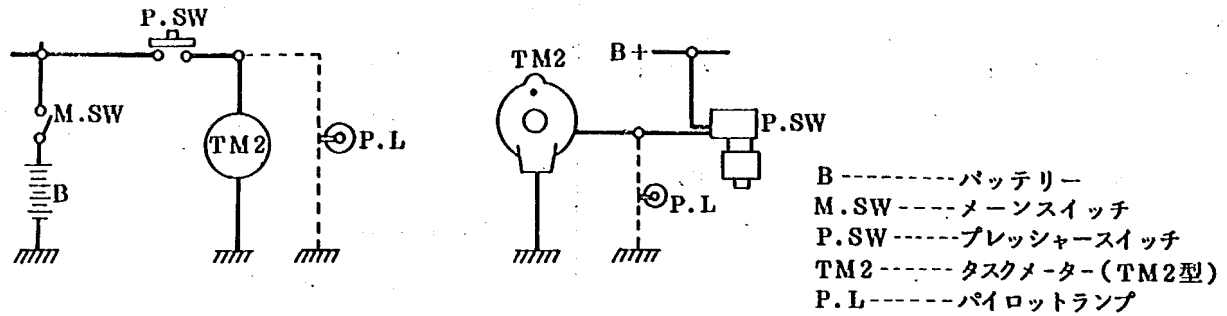
(表-4)

階級	き裂間隔 (き裂とき裂との間隔)
a	一般に 20~50 cm もしくは 50 cm 以上
b	一般に 10~20 cm
c	一般に 5~10 cm
d	一般に 5 cm 以下

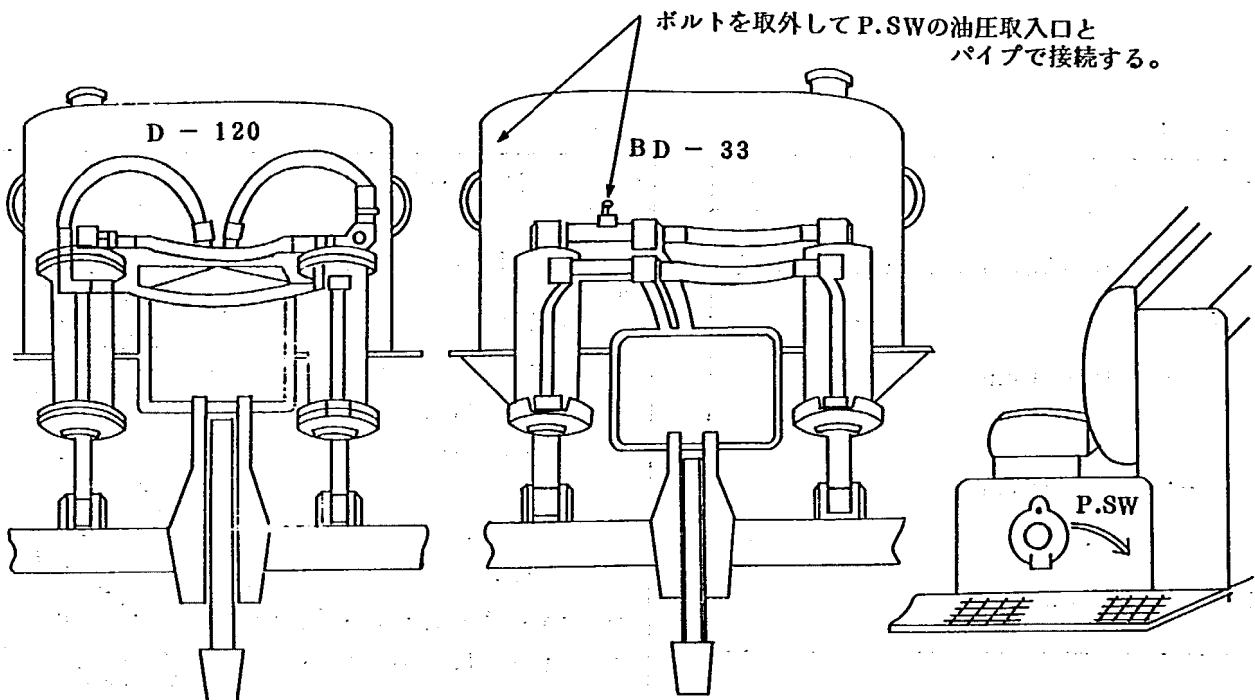
(表-5)

階級	関係 (岩層の状態)	摘 要
イ	横断面から見て水平に近いもの	
ロ	横断面から見て、切取面 の方へ流れおちているよ うな層	
ハ	横断面から見て、切取面 から奥の方へ行く程割れ 目が下に入っている層	
ニ	上記以外のものでブロッ ク状になっている層	

タスクメータ及びプレッシャースイッチの取付け方



1. プレッシャースイッチは、リッパー下降側油圧回路に取付ける。(図-1 参照) プレッシャースイッチ取付不可能な場合は、リッパー操作機構にマイクロスイッチ等を取付ける。
2. タスクメータは、運転席のところに取付ける。(図-2 参照)
3. パイロットランプを取付けると、リッピング作業時に於けるプレッシャースイッチの作動状態を確認するのに便利である。



(図 - 1)

(図 - 2)

タスクメーター（TM 2 型）の構造は主として下記の通りである。

① 機械的稼動記録機構

本体内部に装備された振子針（ブルドーザーの振動により作動する記録針）の上下運動が記録紙（CHART）に稼動状況を記録する。

② 電氣的稼動記録機構

本体内部に装備された電磁針がチャートにリッピング作業の時間を記録する。又、この電磁針は、常時チャートに接触して居て、P.SW が閉じた時、電磁石が働き上方に動いて記録線を描くようになっている。

③ 時計機構

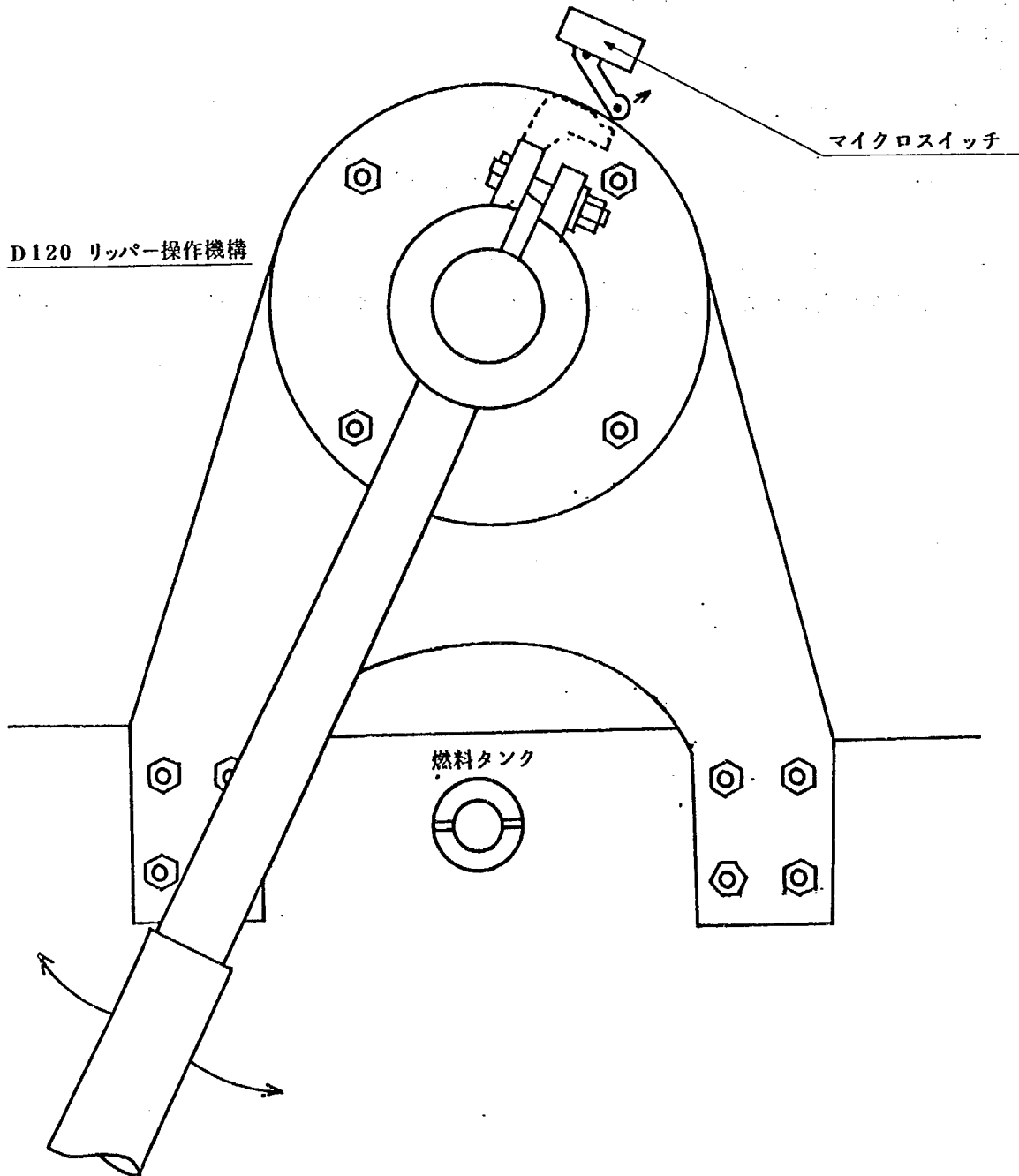
チャートの動力は天府式ゼンマイ時計機構であり、交換する場合は簡単に 3 本のビスで着脱することが出来る。

時計の種類は一周が 4, 8, 12, 24, 72 時間のものがあり、夫々互換性がある。

※ タスクメーターを選定する場合はブルドーザーのバッテリー電圧（電磁計の電圧は 12 V, 24 V が標準であるが 6 V のものもある）、時計の巻時間等を考慮の上、使用目的に応じたものを選定すること。

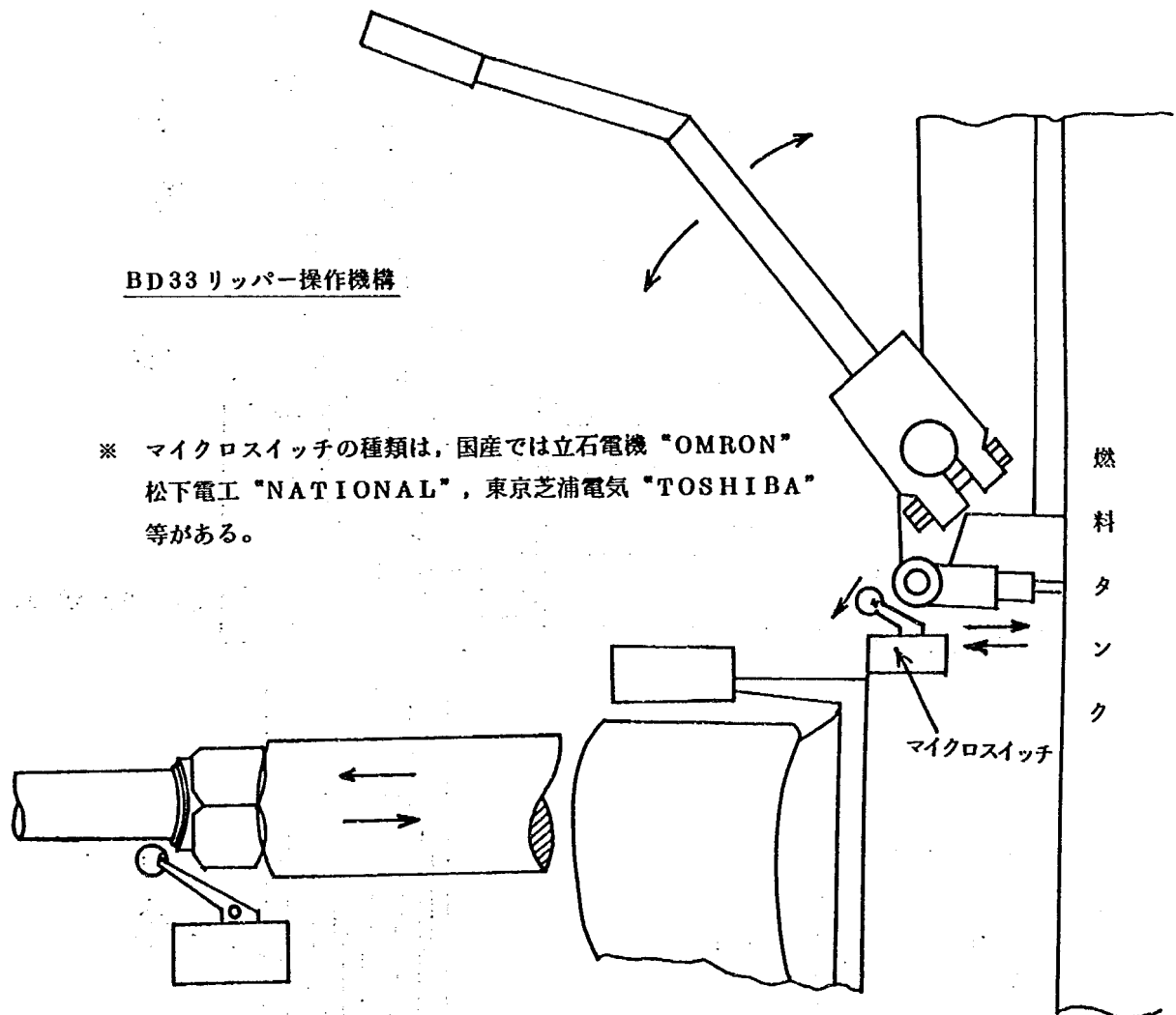
マイクロスイッチ

※ プレッシャースイッチを使用しないで、リッピング作業時間を調査する場合、
即ち、リッパー操作機構の部分で、レバーの動き、リンク機構、ロッドの往復



チ の 取 付 け 方

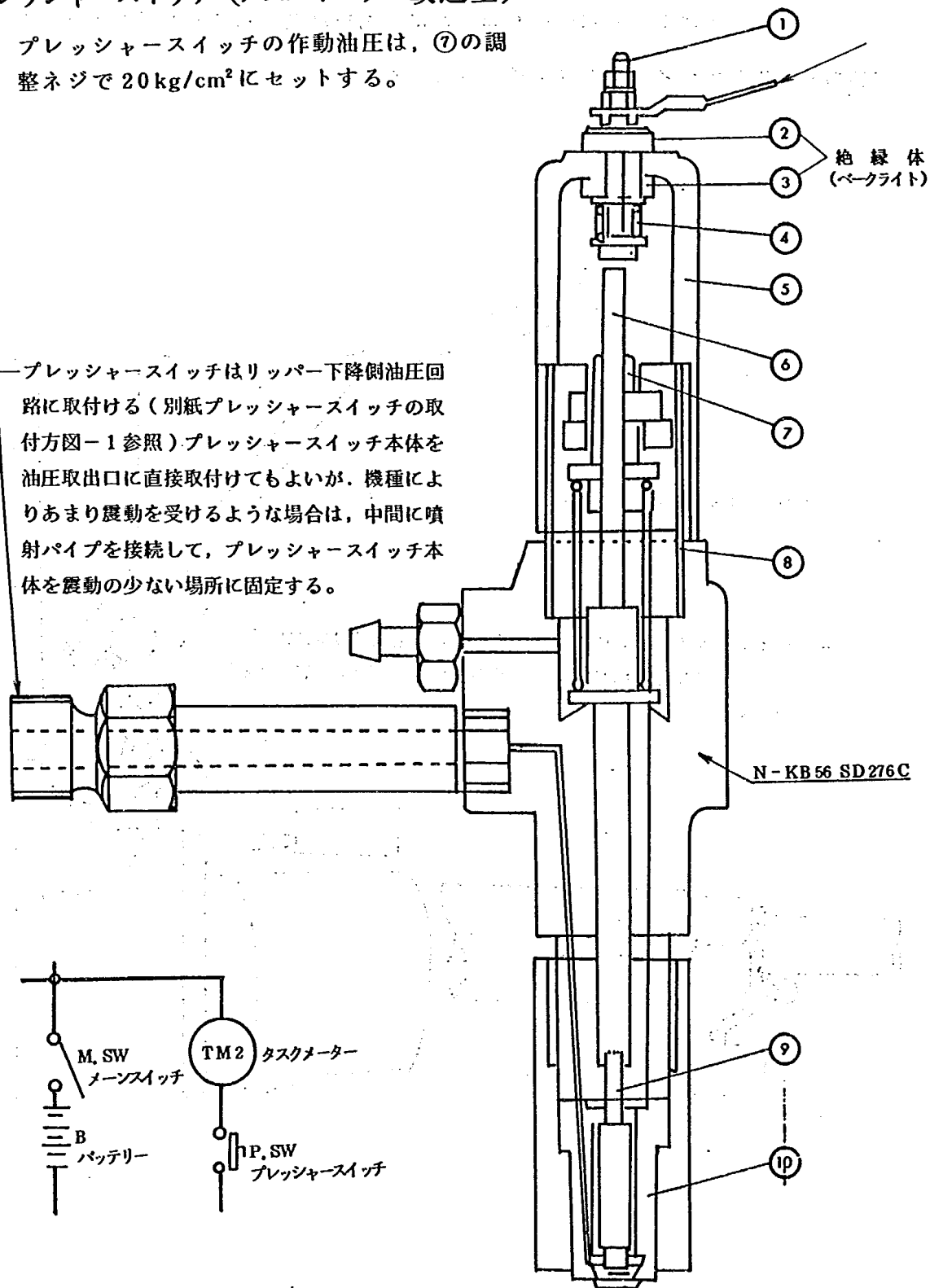
マイクロスイッチによる記録装置を参考迄に1例を略図で示すと下記の通りである。
運動等を利用してマイクロスイッチを取付ける。



プレッシャースイッチ（ノズルホルダー改造型）

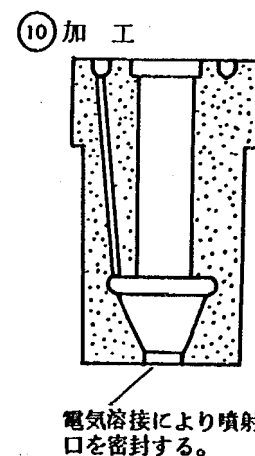
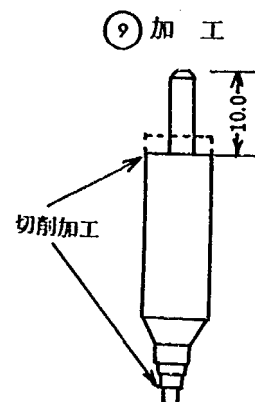
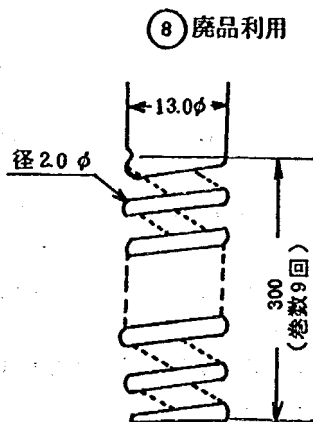
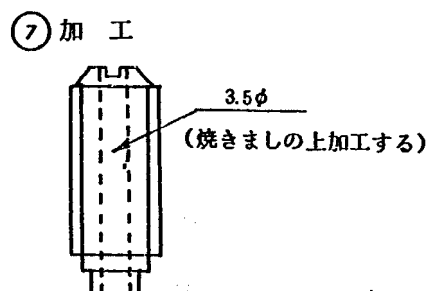
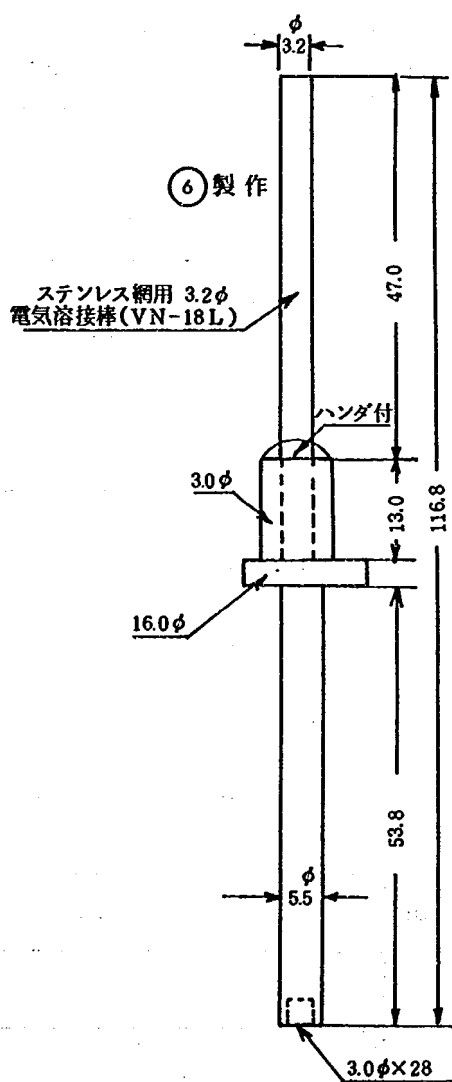
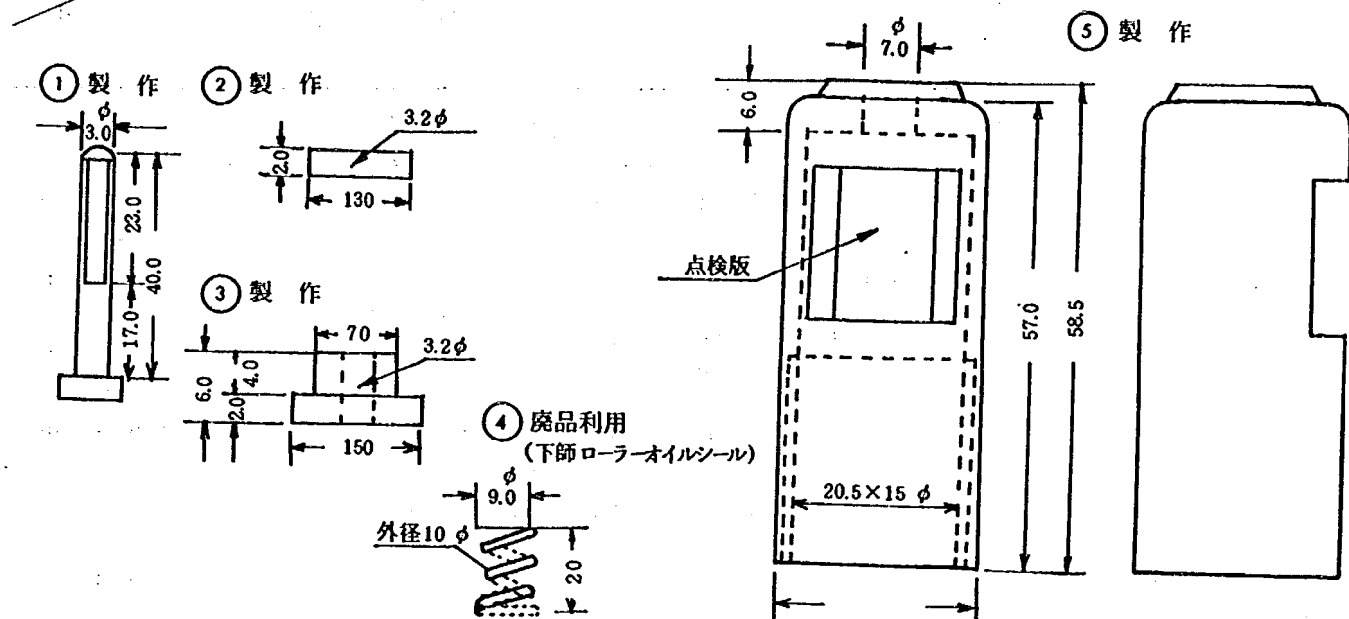
※ プレッシャースイッチの作動油圧は、⑦の調整ネジで 20 kg/cm^2 にセットする。

プレッシャースイッチはリッパ下降側油圧回路に取付ける（別紙プレッシャースイッチの取付方図-1 参照）プレッシャースイッチ本体を油圧取出口に直接取付けてもよいが、機種によりあまり震動を受けるような場合は、中間に噴射パイプを接続して、プレッシャースイッチ本体を震動の少ない場所に固定する。



※ 改造型プレッシャースイッチを使用する場合は、タスクメーター本体をアース側と絶縁（タスクメーター取付ボルトが運転席の取付板と接触しないように絶縁体を用いて取タスクメーターのコードをB+の方へ接続し、タスクメーター取付ボルトとプレッシャースイ

TM2型タスクメーターの本体取付ボルトに接続する。



しなければならない。
付ける)
ッチのコードを持続する。

岩 石 工 歩

様式 - 1

① 工 事 設 計 概 要			② 掘 削 量		1 1, 2 0 0 m³
工 事 名	深 瀬 改 良 工 事		砂 質 土	— m³	
工 費	9 0, 0 0 0 千円		レ キ 質 土	2, 6 6 0 m³	
工 期	自 至	S. 46. 7. 20 S. 47. 1. 20	粘 性 土	— m³	
工 事 延 長	1, 4 3 0 m		軟 岩 I	2, 0 5 0 m³	
幅 員	8. 0 m		軟 岩 II	2, 3 7 0 m³	
全 切 土 個 所 数	2		中 硬 岩	4, 1 2 0 m³	
岩 切 個 所 数	2		硬 岩 I	— m³	
請 負 業 者 名			硬 岩 II	— m³	
④ 土 質 条 件					
⑤ 岩 質	軟岩 I	軟岩 II	中硬岩	硬岩 I	硬岩 II
⑥ 岩 石 名	1 1	1 1	1 2		
⑦ 岩 の 状 態	D	D	C		
⑧ き 裂 の 状 況	4	4	3		
⑨ き 裂 間 隔	d	d	C		
⑩ 岩 層 の 状 態	□	□	□		
⑪ 弾 性 波 速 度	1,200 m/ sec	2,200 m/sec	2,400m/ sec		
⑫ 岩 片 弾 性 波 速 度	2,000 m/ sec	3,400 m/sec	4,300m/ sec		
⑬ 岩 片 耐 圧 強 度	175 kg/cm²	350 kg/cm²	1,200 kg/cm²		
⑭					
⑮					

掛 調 査 表

地 建 名	四 国	資 料 番 号	1
-------	-----	---------	---

③ 投 入 機 械 実 態

機 械 名	製 作 会 社	型 式 ・ 規 格	台 数	延 供 用 日 数	延 運 転 日 数	備 考
ブルドーザー	小 松	D 5 0 1 1 t	1 ^(台)	8 5 ^(日)	7 0 ^(日)	
コンプレッサー	北 越	AMR - 250 7 1m ³ /min	2	7 0	5 4	
レッグハンマー	東洋工業	TY - 16 LDB 2.1m ³ /min	5	3 5 0	2 1 6	
〃	〃	TY - 24 C B 2.9m ³ /min	4	2 8 0	1 0 8	
コールピック	古 河	C A 7 A 1.2m ³ /min	5	4 4 6	2 9 0	

⑬ 記 事

① 施 工 条 条													
② 現 道 幅 員			5. 0 m					⑧ リ ッ パ ー 作 業 距 離					
③ 交 通 量			7 4 0 台 / 日					⑨ ブルドーザーの発破待ちの程度					
④ 発 破 時 間 の 制 限			有り 無し					⑩ 積込み時の集土ブルドーザーの程度					
⑤ 附 近 の 状 態			人家へ 5 0 m 程度					⑪ 発 破 後 の 小 割 の 程 度					
⑥ 防 護 設 備 の 状 況			金網ムシロ掛けH=5m, L=30m					⑫ 破 碎 岩 の 処 理 方 法					
⑦ 発 破 量 の 制 限			有り 無し										
⑬ 掘削方法	⑭ 土質(岩質)	⑮ 掘 削 量 (m³)	⑯ 作業 日数 (日)	⑰ リッパ 爪数 (本)	⑱ 労 力 歩 掛						⑲ 機 械 歩 掛		
					世話役 (人)	リッパ ドーザ 運転手 (人)	助 手 (人)	削岩工 (人)	特 殊 作業員 (人)	普 通 作業員 (人)	リッパ ドーザ 27t級 (hr)	コンプレッ サ 7.1m³/min (日)	レッグ ハンマ 2.1m³/min (日)
リ ッ パ ー 掘 削	土 砂												
	軟 岩 I	3,620	4	2	2.0	4.0	2.0	—	—	—	24.0		
	軟 岩 II	4,230	8	1	4.0	8.0	4.0	—	—	—	46.0		
	中 硬 岩												
	硬 岩 I												
	硬 岩 II												
発 破 掘 削 ブル 併 用	土 砂												
	軟 岩 I												
	軟 岩 II												
	中 硬 岩	2,470	12	—	4.0	—	—	36.0	12.0	24.0	—	12	36
	硬 岩 I												
	硬 岩 II												

査 表 (長 期)

査 表 (長 期)					地 建 名	四 国	資料番号	7				
件					②④ 記 事							
3 0 m												
1 0 分 / 回 × 2 回 / 日												
岩 掘 削 量 の 1 0 % 程 度												
500mmφ程度以上のものはブレーカーで小割した掘削量の3%程度												
発破後大きなものは小割し、直ちトラクターショベル積込みし路体盛土へダンプ運搬した。リッパ掘削分の排土は、リッパドーザーのみで行い、リッピングの影響はなかった路体盛土へ												
②① 材 料 歩 掛					②① 法面整形 面積および掘削量 m (m²)	②② 作 業 日 数 (日)	②③ 法 面 整 形 歩 掛					
火 薬 (桐3等) 1kg	雷 管 (個)	ビッド (個)	ロッド (本)	リッパ の 爪 (個)			コンプレッサ 71m³/min (日)	コー ル ピ ック 12m³/min (日)	世話役 (人)	削岩工 (人)	普 通 作 業 員 (人)	
					(84) 420	5	5	15	2.5	—	20.0	
					(130) 650	8	8	24	4.0	—	32.0	
295	980	(36mmφ) 10	(22×900) 7		(73) 362	7	7	21	3.5	—	28.0	

油 圧 リ ッ パ ー 掘 削

様式一 3

[illegible]

步 掛 調 査 表 (短 期)

[illegible]

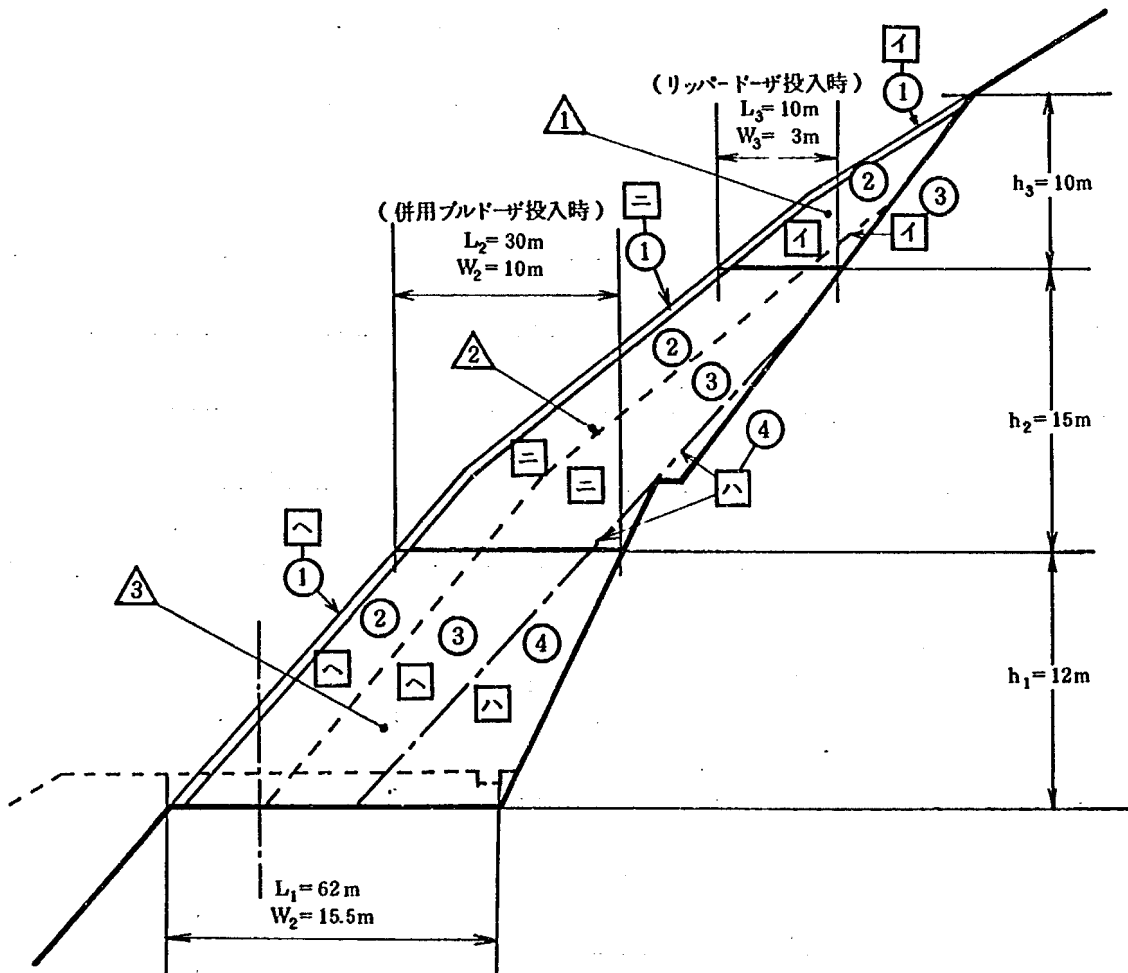
様式 - 4

— 60 —

作業能力調査表

[illegible]

① 施工法標準断面図



実 態 調 査 表

(調査対象箇所分)

		地 建 名	四 国	資料番号	6			
② 掘 削 施 工 方 法		③ リッパ-掘削平均距離		④ 積込時の集土ブルの程度		⑤ 土質・岩質		⑥ 掘 削 量
㊦ 人 力 切 土						① レキ質土		850 m³
㊨ 発 破 掘 削						② 軟 岩 I		2,300 "
㊩ 発破掘削ブル併用				トラクター・ショベルで集土 40%程度		③ 軟 岩 II		2,680 "
㊪ リ ッ パ ー 掘 削		30 m		"		④ 中 硬 岩		1,670 "
㊫ リッパ-掘削発破併用						⑤ 硬 岩 I		-
㊬ リッパ-掘削ブル併用		30 m		ブルドーザーで集土 10%程度		⑥ 硬 岩 II		-
㊭ リッパ-掘削ブル・発破併用						⑦		
⑦ 投 入 機 械 実 態	⑧ 機 械 名	⑨ 製作会社・型式	⑩ 規 格	⑪ 台数	⑫ 供用日数	⑬ 運転日数	⑭ 備 考	
	① リッパ-ドーザ	小 松 D120A	27t 級	1	28	24		
	② ブ ル ド ー ザ	" D50A	11t 級	1	15	12		
	③ ポ-タブルコンプレッサ	北 越 AMR250	7.1 m³/min	1	45	32		
	④ レ ッ グ ハ ン マ	東洋工業 TY16 LDB	2.1 "	6	150	36		
	⑤ コ ー ル ピ ッ ク	古 河 CA7A	1.2 "	4	100	60		
	⑥							
⑮ 切機 土械 箇搬 所入 へ方 の法	⑯ 搬入方法	⑰ 長 さ	⑱ 幅	⑲ そ の 他				
	ウ イ ン チ							
	迂 回 路	300 m	3~4 m	掘削箇所外より登坂				
	仮 道							
	そ の 他							
⑳ 職 種 別 張 付 人 員	回	世 話 役	リッパ-ドーザ運転手	助 手	削 岩 工	特殊作業員	普通作業員	
	1	1	1	1				
	2	1	1	1			(法面整形) 4	
	3	1	1 (ブルドーザー) 1	1	3	1	2	
㉑ 記 事								

(イ) 工 事 中 の 全 景

(ロ) 発破直後の破碎岩の状況

真 表

	地 建 名		資 料 番 号	
--	-------	--	---------	--

(一) リッピング直後の掘削状況

(二) 切土箇所への機械搬入状況

様式 - 7

- 66 -

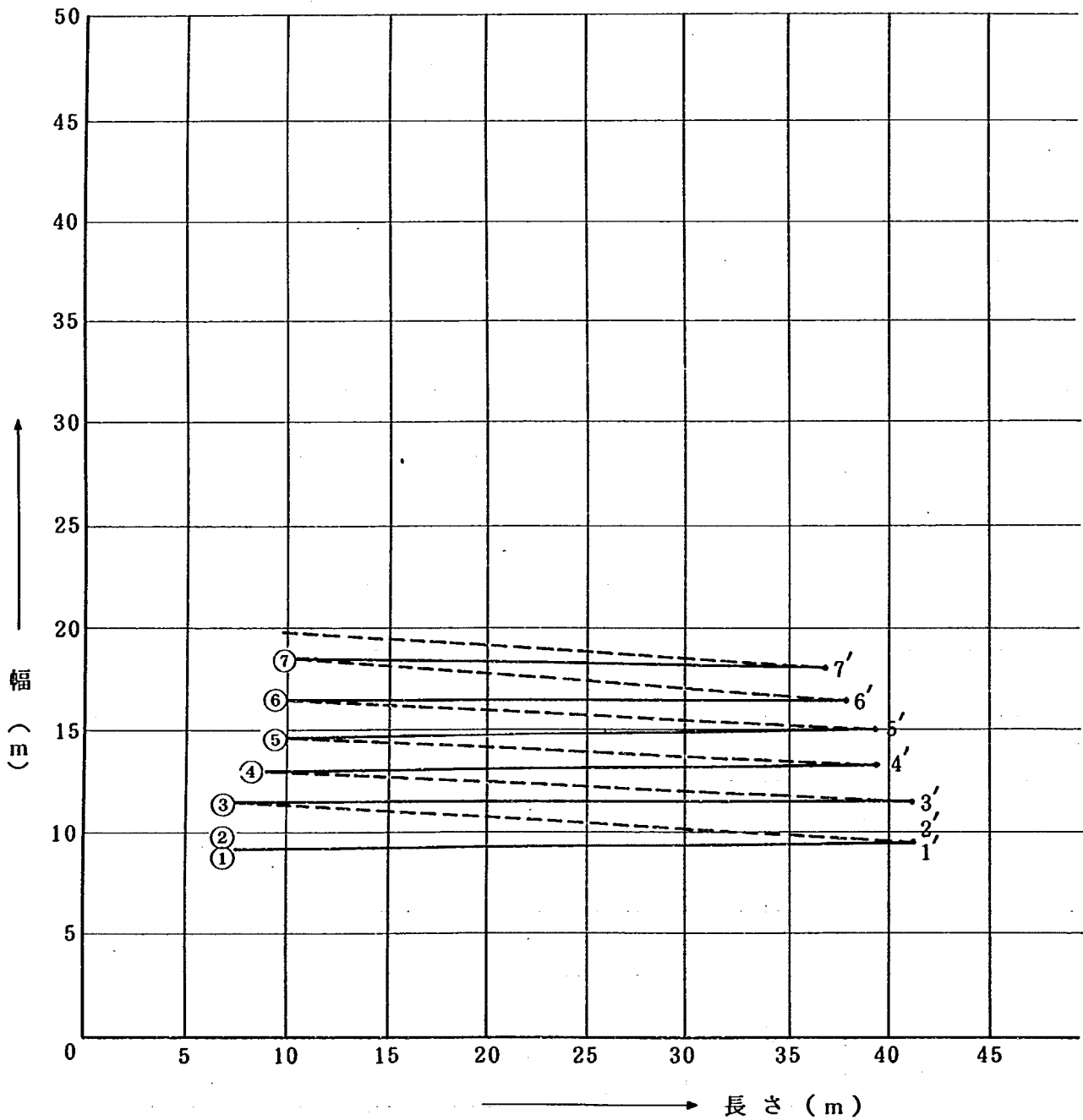
(長 期) 補 助 表

[illegible]

油圧リッパ掘削作業能力調査

様式-8

① 調査回数	2	② 調査月日	10:20	③ 調査開始時刻	14 ^h 10'30"
--------	---	--------	-------	----------	------------------------

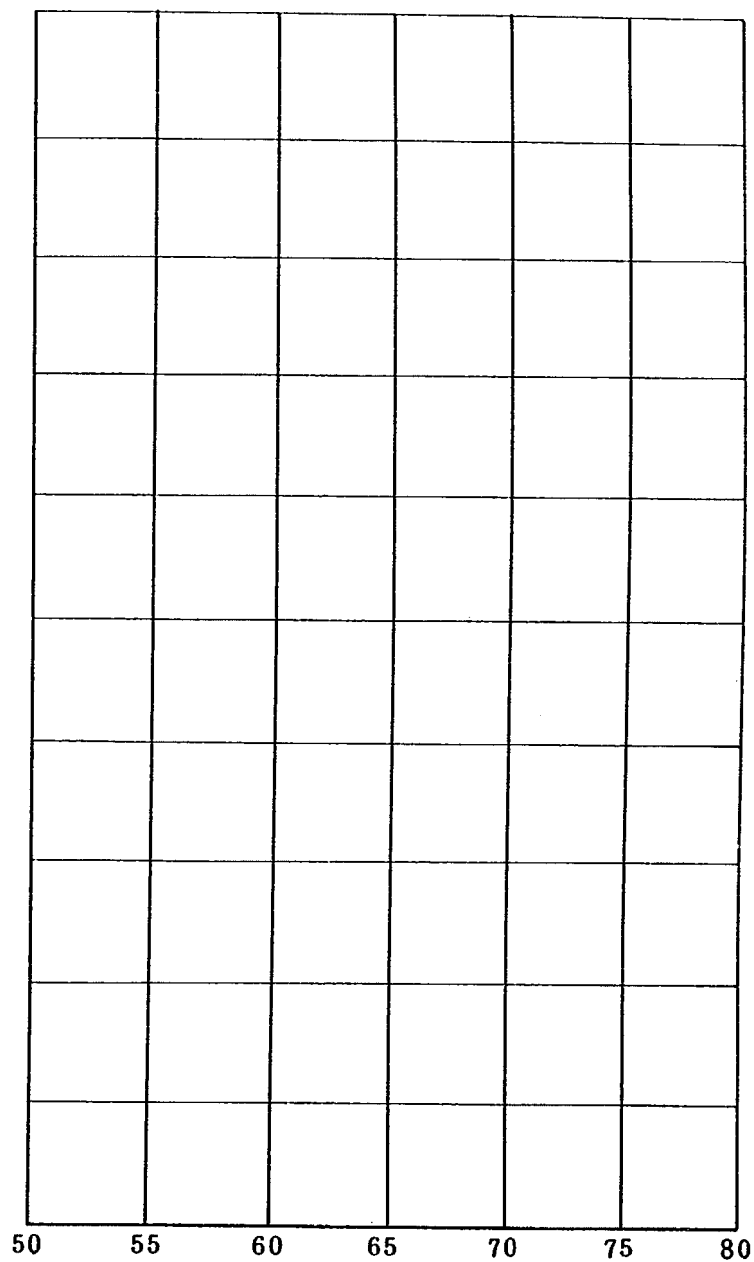


補助表（距離の記録）

		地 建 名	四 国	資料番号	4
④調査終了時刻	14 ^h 22' 0 ^r	⑤ 岩 質	軟 岩 I	⑥ 岩 石 名	11

———— リッピング前進

----- 後 退



⑦ 延前進距離	⑧ 総サイクル数
225 ^m	7

○

土木研究所資料第 1594 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

○

岩石掘削工法に関する試験調査(第2報)
—リッパ掘削施工実績調査の解析—

ISSN 0386-5878
土研資料第1594号
マイクロフィルム第 号
昭和55年6月(1980)

沢田茂良, 太田 宏

キーワード 建設機械, リッパビリティ, 岩石掘削

要 旨

本報告書は, 施工実績調査資料をもとに, リッパ工
法に関する施工条件と施工能力の相互関係の解析及
びリッパ工法の適用限界の推定を行ったものである。

○

郵便はがき

20円切手
をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

機 械 研 究 室

御 中

建設省土木研究所

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. 15

No. 15

配布先氏名

配布先住所

○