

施工面から見た軟岩

3. 軟岩と施工

とう かい りん よし み
東 海 林 良 美*

3.1 軟岩における施工機械

土木工事において、風化した岩や土丹など、いわゆる軟岩と称されるものに出会うことが多く、これらを対象に作業する場合の施工機械は、作業の種類、工事規模、現場条件などによっても異なるが、どのような場合でも硬い地盤（あるいは岩片）に抵抗させなければならないことから、通常の土砂用のものと比べると大型でかつ強力型の機種を使用することになる。

この節では、最近の工事例から主に軟岩用としてよく使用されている機種をあげ、その特徴などについて紹介する。

3.1.1 土工用機械

(1) 掘削 土工における軟岩掘削は、ブルドーザの後部に装着したリッパによる起砕が最も能率が良く、大型ブルドーザの普及により岩種に対する施工の範囲も拡大された。特に最近では、環境上の問題から大型ブルドーザによるリッパ工法が無公害工法としてクローズアップされている。

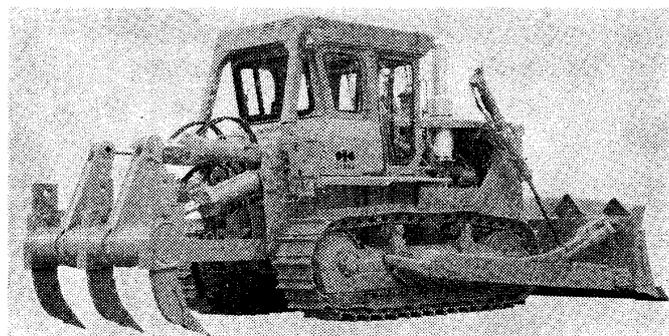


写真-3.1 リッパ付大型ブルドーザ（小松D155A）
（リッパの構造は油圧駆動・四節リンク式になっている）

現有のリッパ付ブルドーザ（写真-3.1）は総重量20t級から90t級までであり、40t級までが軟岩用に、それ以上の機種は硬岩にも使用されている。30t級以上の大型ブルドーザとリッパの例を表-3.1に示すが、いずれの機種のリッパも岩盤に貫入するシャンクは1本から3本まで装着できるようになっており、岩質や使用目的によって適切なシャンク本数を選ぶことができる。一般的には1本のシャ

表-3.1 30t級以上の大型ブルドーザとリッパの例²⁾

製作会社	ブルドーザ形式	リッパ種類	総重量 (t)	機関出力 (PS)	土板寸法 (幅×高) (m)	シャンク間隔×本数 (m)	最大掘削深さ (m)
小 松	D85A	固定式 マルチシャンクリッパ	26.2	220	(ストレート) 3.73×1.32	1.08×3	0.67
	D155A	刃先角度可変式 シングルシャンクリッパ	40.9	320	(ストレート) 4.13×1.59	—×1	1.24
		刃先角度可変式 マルチシャンクリッパ	41.4			1.21×3	0.84
	D355A-3	刃先角度可変式 シングルシャンクリッパ	53.0	410	(ストレート) 4.32×1.88	—×1	1.40
刃先角度可変式 マルチシャンクリッパ		54.4	1.43×3			1.02	
キャタピラ	D8L	掘削角再調整式 シングルシャンクリッパ	42.8	339	(ストレート) 4.18×1.77	—×1	1.70
		掘削角調整式 マルチシャンクリッパ	43.2			1.10×3	0.82
	D9L	掘削角調整式 シングルシャンクリッパ	59.7	466	(ストレート) 4.55×1.99	—×1	1.92
		掘削角調整式 マルチシャンクリッパ	60.4			1.35×3	1.01
	D10	掘削角調整式 シングルシャンクリッパ	87.6	710	(ストレート) 5.49×2.16	—×1	1.78
		掘削角調整式 マルチシャンクリッパ	89.0			1.44×3	1.15

*建設機械化研究所 研究課長

講座

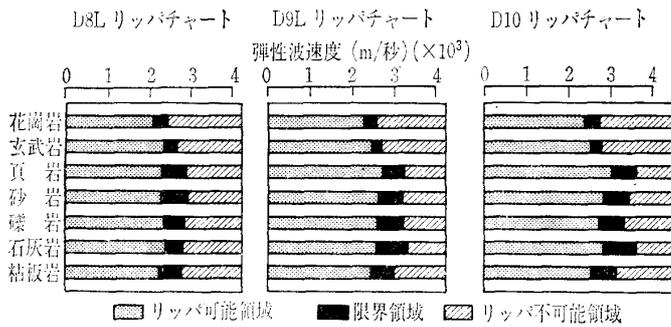


図-3.1 弾性波速度とリッピング範囲³⁾

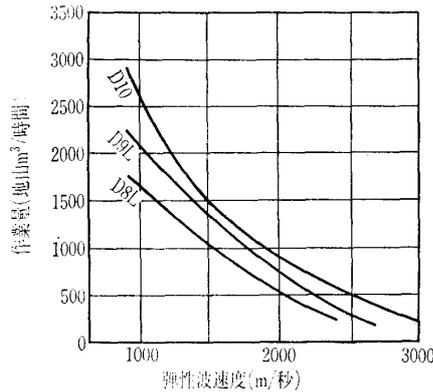


図-3.2 弾性波速度と作業量³⁾
(この図の作業量は効率100%の状況で時間当たりリッピングの最大値を表したものである)

ンクによる方が深く貫入させることができ、有利であるが、その場合は起砕された岩塊は大塊になりやすい。軟質の第三紀層のようなものに大型ブルドーザを用いたリッピングを行う場合には、リッパの貫入力が大きいので3本シャックでもある程度の貫入を期待することができ、1本シャックよりも有利なことが多い。このような岩に対しては1本シャックで能力いっぱい貫入させて強引に起砕するよりも、3本シャックで軽く起砕する方がリッピング速度が早く、またリッパ間隔を同じに考えれば、3本シャックは1本シャックの場合の1/3の走行ですむわけであるから、起砕深さの差を相殺してもなお3本シャックの方が有利であることが多い。2本シャックの場合は、左右シャックの掘削抵抗の相違によってブルドーザが片側に引きずられやすく、また左右シャック間には起砕されない部分が残ることもあり、全体の起砕能力が落ちることが多い。

リッパによって作業のできる程度をリッパビリティといい、地山の弾性波速度を目安とすることが多い。この関係に最初に着目した米国キャタピラ社の最近の資料のうちから要約すると、図-3.1のようになる。この図では砂岩、頁岩などの堆積岩の薄い層状のものはリッピングしやすく、花崗岩、玄武岩などの火成岩は大きな塊状をしていることが多く、リッピングは困難な場合が多いことを示していると言える。地山の弾性波速度と作業量を目安を図-3.2に示す。

これまで述べたリッパは盤下げ掘削に使用される機械で

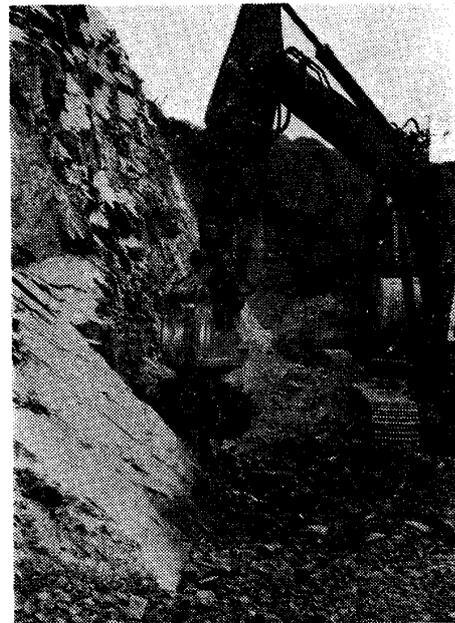


写真-3.2 バックホウのブームに取り付けた油圧式回転切削機 (三井三池 MT 1000)

あるが、ベンチ掘削においては大型のパワーショベルやバックホウが使用される。しかし、これらの機種はもともと土砂を主対象とするものであるため、軟岩のうちでも特に軟らかいもの以外は急速に掘削力が落ちて能率が悪くなるので注意しなければならない。

軟岩や亀裂の多い岩石、一軸圧縮強度1000 kgf/cm²以下の岩塊(2m³程度以下のもの)の小割にはブレーカが適する。ただし、硬い一枚岩には効果が少なく、土丹などではのみがもぐってしまい破碎できないことがある。

最近開発された機械に、軟岩ののり面仕上げ掘削や溝掘り、坪掘りなどの部分掘削を目的とした回転式切削機(三井三池)がある。本機は汎用のバックホウのアタッチメントとして使用できる油圧駆動の機械で、0.4 m³級および0.7 m³級バックホウに取付けられる2機種がある。

(2) 積込み・運搬 リッパなどによって起砕されたものは土工の次の段階として積込み・運搬が行われる。軟岩は固結程度が完全でないため、これらの過程を経過するうちに次第に破碎され細粒化して行く現象をたどるが、積込み段階ではまだ大塊が多く、岩片はその形状が不規則であるのでショベルで積込みを行う場合にはバケットにかさばって入りにくく多くの間隙を生じやすい。通常、1回の動作によってすくい込める量は、条件の良い砂や普通土などに比べて1/2程度が多く、さらに小形の機種ではバケットそのものが小さいために大きな岩片は入りにくいため、2 m³級以上の容量のバケットでなければある程度以上の能率は期待できない。

一方、運搬を行うダンプトラックは、わが国では11 t程度の機種が多く使われている。しかし、一般に使われてい

る普通ダンプトラックに岩塊を積むには各部の消耗が激しく耐久性の点で問題があり、また岩塊を混じえたものは単位重量が大きいので、荷台いっぱい載せると多くの場合積載重量超過になりやすい。

このため、ダム工事や大規模土工工事などのように長期にわたって過酷な作業が行われる現場では、重ダンプトラック（いわゆる専用ダンプ）が使用されることが多い。重ダンプトラックは、現在国産では15~70 t級のものがあり、これらは負荷部分を頑強に設計し、積載量の割には軸距を短くして回転半径を小さくとり、タイヤも大きなものを使用している。重ダンプトラックは15 t級のものでも車両総重量が30 t前後になるため公道の走行は許されず、いわゆるオフザロードで使用することになる。

(3) 敷ならし・締固め 一連の土工の流れの最後の作業として、目的地に運ばれた岩片混じりの土砂は敷ならしが行われ、さらに必要な締固めが行われる。

敷ならしにはブルドーザあるいは岩塊が混じっているためバックホウが使用されることがある。

締固めは、将来受けると考えられるいろいろの外力に対して十分な安定性を得るために、その土にあらかじめ外力を加えてその構造を密にし、土粒子を安定した状態にすることである。すなわち、敷ならされた土の上に転圧や振動などの外力を加えて、粒子の間隙部により細粒の土を充てんして全体の間隙を少なくしてより密な構造にすることである。

ところが起砕された岩片を主とするものは、一般の土の場合とはかなりようすが異なってくる。大きな岩片同士が接触するとその間隙は意外に多く存在し、通常の転圧ではその間隙に細粒のものが入りにくいことが多い。このため、振動を主体として全体をゆすり込むような締固め機構でないとうまくいかない。したがって、表-3.2に締固め機械選定の目安を示すように岩片混じりのものを締固めるには振動ローラを主として考えるべきである。振動ローラには自走式と被けん引式とがあり、わが国では前者の小型の機種が多くみられるが、岩片混じりのものを締固めるにはもっと大型の機種が必要で、厚い巻出しでもかなり深部まで締固めることができるような大型のものか、または被けん引式の振動ローラを使用しなければならない。一層あたりの仕上り厚さと締固め機種を目安を表-3.3に示す。

なお、第三紀層のような軟岩を起砕したものは、締固めの途中で岩片が割れたり、角がとれて細粒化したりすることがあるので、このようなものを締固めるには、振動ローラのほかに、自走式あるいは被けん引式のタンピングローラ（写真-3.3）なども有効であり、かなりの締固めを期待することができる。

3.1.2 岩石トンネル掘進機

山岳トンネルを機械掘削する場合の機種として、自由断面掘進機と全断面円形掘進機（略称 T.B.M.）があり、一

表-3.2 盛土の構成部分と土質に応じた締固め機械*
（高速道路調査会資料 1972を一部改編）

盛土の構成部分	土質区分	締固め機械						備考
		ロードローラ	タイヤローラ	振動ローラ	タンピングローラ	ブルドーザ 普通型	ブルドーザ 湿地型	
盛土	岩塊などで、掘削・締固めによっても容易に細粒化しない岩			◎				硬岩塊
	風化した岩や土丹などで、掘削・締固めにより部分的に細粒化する岩		大○	◎	◎			軟岩塊
	単粒度の砂、細粒分の欠けた切込み砂利、砂丘の砂など			○	○			砂礫まじり砂
路体	細粒分を適度に含んだ粒度分布のよい締固め容易な土、まさ、山砂利など		大○	◎	◎			砂質土 礫まじり砂質土
	細粒分は多いが親水性の低い土、低含水比の粘性土、軟質の土丹など		大○		◎			粘性土 礫まじり粘性土
路床	含水比調節が困難でトラフィカビリティが容易に得られない土、シルト質土など					●		水分を過剰に含んだ砂質土、シルト質土
	高含水比で親水性の高い粘性土、関東ロームなど					●	●	親水性粘性土
	粒度分布の良いもの	○	大○	◎				粒調材料
のり面	単粒度の砂、粒度分布の悪い礫まじり砂や切込み砂利など	○	大○	◎				砂礫まじり砂
	裏込め		○	小○				礫質土
	砂質土			小○				◎
	粘性土			小○	○			◎
	親水性粘土、粘性土					●		

- ◎：有効なもの
 - ：使用できるもの
 - ：トラフィカビリティの関係で、他の機種が使用できないので止むを得ず使用するもの
 - ：施工現場の規模の関係で、他の機種が使用できない場所でのみ使用するもの
- 大：大型機種
小：小型機種

表-3.3 岩塊盛土に用いる締固め機械と仕上り厚さ⁹⁾

一層あたりの仕上り厚さ	締固め機種 (起振力標示)	備考
30 cm 以下	振動ローラ 5 t 以上	振動ローラが適さない材料についてはタイヤローラ 15 t 以上
30~60 cm	振動ローラ 13 t 以上	
60~100 cm	振動ローラ 20 t 以上	

注) 振動輪が二軸のものは、公称起振を一軸あたりに換算する。

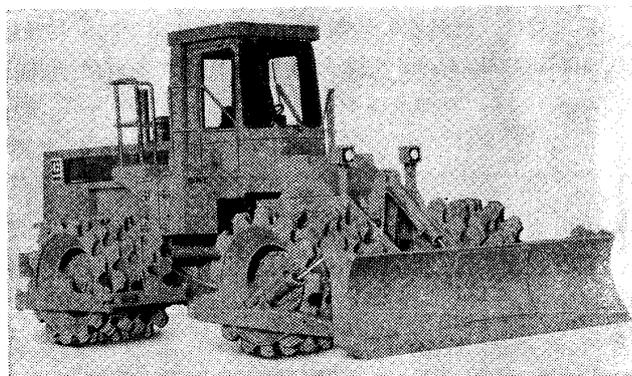


写真-3.3 自走式タンピングローラ（キャタピラ 825C）

般に前者は軟岩用、後者は硬岩用として使い分けられている。

(1) 自由断面掘進機（写真-3.4） この掘進機は、元

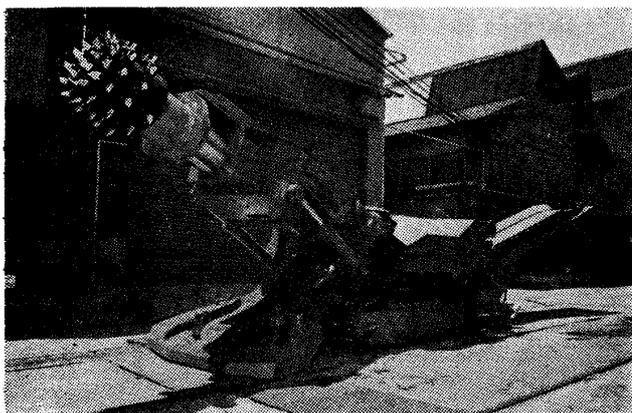


写真-3.4 軟岩用自由断面掘進機 (三井三池MRH-S90)

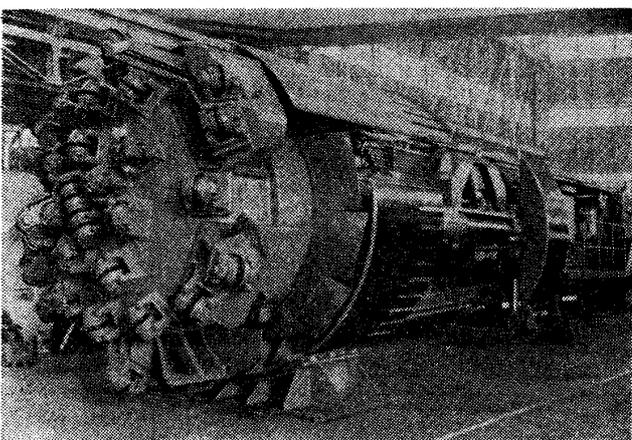


写真-3.5 硬岩用全断面円形掘進機 (小松 TG370)

来、炭鉱等の採掘機械として発達したものを土木用に発展させたもので、構造はブームにカッタを付けて切削し、反力は機械自体の自重とアウトリガ等でとっている。切削したずりはギャザリングアーム等で掻き寄せ、ベルトコンベアで後方へ落とし二次処理するようになっている。現有機の例を表-3.4に示すが、いずれの機種も切羽面を部分ごとに掘削し、断面形状および大きさを自由に選べる特色を有しており、小動力で小型軽量である割には掘削能力が大きい。

適応地質は、低強度の岩盤や未固結の地山で、一軸圧縮強度 $100\sim 200 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の軟質の地山であれば掘削は

容易で能率的である。大型の機種を使用すれば $500\sim 600 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の岩にも適用が可能であり、 1000 kgf/cm^2 以上の硬岩の掘削実績もある。ただし、この種の掘進機は、岩石の強度がある領域に到達すると掘削不能に陥り漸減するような形にはならない。この傾向は同じ軟岩であっても堆積岩に比べ風化した火成岩の方が激しいようである。

このように、岩盤が硬くなると掘削能力が減り進行が遅くなるばかりでなく、切削用ビット（歯先工具）や部品の消耗も急増し、両面からコストアップに影響することになるので使用の限界をよく検討しなければならない。

最近、トンネル工事に NATM が多く適用されるようになり、凹凸の少ない掘削面の仕上げと余掘り防止対策がより重要になった。そのため、自由断面掘削機においてはコンピュータを利用した運転制御装置が開発され実効を上げた例があり、更に、掘削の自動化、硬岩掘削の研究も進められている。

(2) 全断面円形掘進機(T.B.M.) (写真-3.5) この掘進機は、円形断面の掘削を行うもので、特に硬岩用として一軸圧縮強度 2000 kgf/cm^2 程度まで掘削可能とされている。構造は、本体から伸びるグリッパシューをトンネル壁面に圧着し掘進時の反力を得て、カッタに回転と推力を与えて切削または圧砕するものである。岩質が 1000 kgf/cm^2 前後の強度で節理が少なく、しかも硬度が低く研磨性が少ない地質に適しており、軟岩トンネルに採用した事例としては、新第三紀凝灰岩層を対象に最大日進 62m 、月進 670m の国内記録を達成した時もある。しかし、T.B.M. の場合は掘削断面が円形であるために水路トンネル以外ではそのまま最終断面として用いることができず、また、破碎帯部の掘削に苦慮することが多い。また機械が大型でかつ自重が大きいため掘削不能となった場合の段取り替えが大変であるため、地質の変化の激しいわが国では T.B.M. の採用が限られている。

最近では発破掘削に対する騒音振動対策として硬岩地山に用いられる例があり、また、中小水力発電工事に際してシールドジャッキを内蔵する全地質型の小断面用 T.B.M. が開発されている。

表-3.4 軟岩用自由断面掘削機の例⁷⁾

製作会社	形式	掘削断面		重量 (t)	切削ドラム			油圧源 電動機 (kW)	掻寄部形式
		高さ (m)	幅 (m)		駆動電動機 (kW)	回転数 (rpm)	伸縮量 (m)		
大空機械	CL62	3.00	2.50	7.6	(油圧駆動)	90	—	55	—
	CL92BS	4.00	4.60	10.0	(油圧駆動)	90	—	55	—
	CL101UB	5.25	6.30	14.5	(油圧駆動)	90	—	77	—
日本鉱機	RH-1J	5.30	6.30	30.0	50	85/57/38	—	50	ギャザリングアーム
	RH-3J	5.90	6.20	42.0	180	30/50	—	90	ギャザリングアーム
	RH1/4	5.60	5.60	66.0	112	60/50, 36/30	—	45	ギャザリングアーム
三井三池	MRH-S45	4.15	4.66	17.0	45	46/55	0.5	30	ギャザリングアーム
	MRH-S90	5.30	5.90	40.0	90	54/65	0.8	37	ギャザリングアーム
	MRH-S125	4.30	5.00	30.0	125	46/55	0.5	37	ギャザリングアーム

表-3.5 大口径ロータリー掘削機の例⁷⁾

製作会社	形式 (呼称)	掘削具の形式	揚泥方式	重量 t	ドリルパイプ 径 mφ	掘削口径		掘削深さ		駆動装置			原動機	
						一般土質 mφ	岩石 mφ	一般土質 m	岩石 m	注(1) 形式	回転 速度 rpm	トルク t-m	注(2) 形式	定格出力 kW(PS)
日立建機	S480H	Wing bit Roller bit	Pump suction Air lift	26.1	0.25	1.0~4.8	1.0~2.1	250	250	R	0~15	0~10.0	E.M.	55+75
	S500R	"	"	39.7	0.23	1.2~5.0	1.2~2.3	250	250	R	0~22	0~12.0	D.E.	(57+187)
	S690	"	"	29.9	0.30	1.5~6.0	1.5~2.7	300	300	R	0~12	0~17.0	E.M. (D.E.)	75+110 (128+179)
三菱重工業	MD250	Roller bit	Air lift	68.0	0.32	7.5	4.0	300	300	P	0~18	17.50	"	180(220)
	MD350	Drag bit	Jet suction	130.0	0.41	10.0	5.0	300	300	P	0~10	35.00	"	300(440)
	MD450	"	"	155.0	0.46	12.0	6.0	300	300	P	0~9	40.00	"	360(440)
石川島播磨重工業	L-4	Three wing bit	Pump suction	6.0	0.20	4.5	3.0	350	350	R	0~19	0~6.00	"	75(100)
	L-10	Roller bit	Air lift	16.0	0.32	7.5	4.0	600	600	R	0~9	0~18.00	"	145(170)
	L-10S	"	"	22.0	0.33	10.0	6.0	650	650	R	0~18	0~36.00	"	290 (170×2)
利根ボーリング	RRC-15	Three wing bit	Suction pump または Air lift	9.2	0.15	1.0~1.5	1.0~1.5	50~150	50~150	O	35.5	0.80	S.E.M.	15×2
	RRC-20	"	"	12.0	0.15	1.5~2.0	1.5~2.0	50~150	50~150	O	32.7	1.15	"	18.5×2
	RRC-30	"	"	18.0	0.20	2.3~3.0	2.3~3.0	50~150	50~150	O	16.8	3.40	"	30×2

注 (1) R…ロータリーテーブル, P…パワースイベル, O…その他
 (2) E.M. …電動機, D.E. …ディーゼルエンジン, S.E.M. …水中電動機

表-3.6 各種ビットの選定⁹⁾

地質強度 ビット形式	N値 100 0 50 100 150 200 250 300 500							備考
	一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm ²)							
3翼ビット	[]							N値50以下の一般土質
硬土質ビット	最適		カッタの摩耗 多く不経済					一軸圧縮強度 100kgf/cm ² 以下の 硬土質
軟岩ビット	適		最適					一軸圧縮強度 100~300kgf/cm ² の軟岩
ローラビット			目詰り多く不経済		最適			一軸圧縮強度 200kgf/cm ² 以上の 硬岩

3.1.3 基礎工用機械

(1) 大口径掘削機 基礎工事における大口径立孔掘削の工法には、オーガ掘削、回転バケット掘削、ロータリー掘削、重錘掘削などがある。それぞれには一長一短あり、その目的、口径、掘削深度、対象地質などによって適応工法および機種が選定されているが、一般に、ロータリー掘削は他の工法に比べ地質の影響を受けることが少なく、特に硬質岩盤の掘削には不可欠の工法となっている。

ロータリー掘削機(表-3.5)は、ビット(歯先工具)、ビ

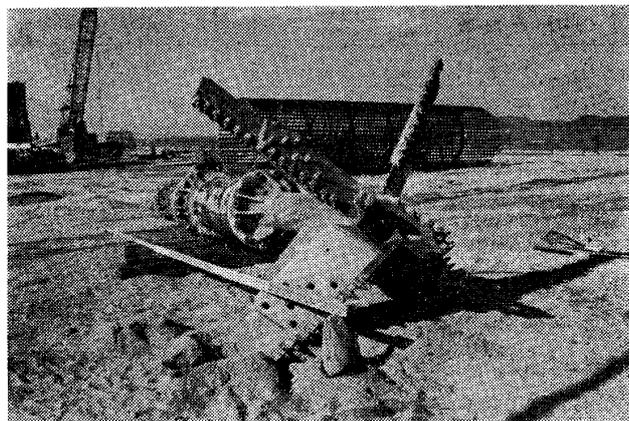


写真-3.6 土砂・軟岩用コニカルビット

ットの推力・回転・昇降の各装置、揚泥装置などから構成され、そのうちビットについては、掘削対象地盤によって表-3.6が選定の目安にされている。軟岩の場合一般に泥岩、シルト岩、緑色凝灰岩など掘削ずりが泥化しやすいものにはバイトビットあるいはコニカルビット(写真-3.6)などのドラグモーションビットが適応する場合が多く、ローラビット(写真-3.7)を使用すると目詰りの心配がある。風化花崗岩など硬質の岩盤の場合には逆にローラビットの方が適応する例が多い。なお、

岩盤掘削の場合の所要トルクや推力は、同一口径の土砂掘削の場合と比較すると3~4倍近く必要になるので機種選定の際は注意しなければならない。

立孔において大口径・大深度掘削になるとずりの排出が難しくなるが、ロータリー掘削においては、泥水を媒介として逆循環方式で連続的に揚泥する、いわゆるリバースサーキュレーション方式を採用している。揚泥はビット部を吊

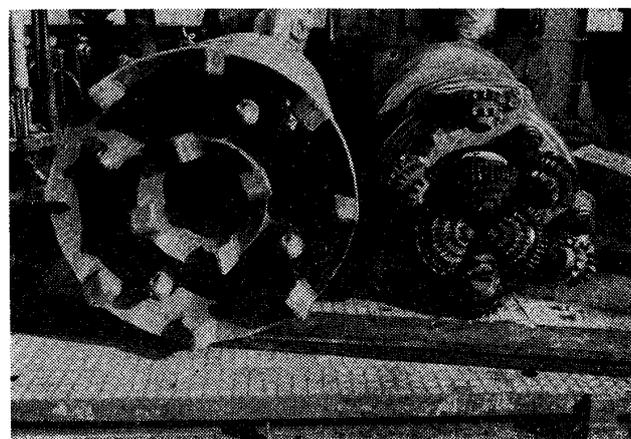


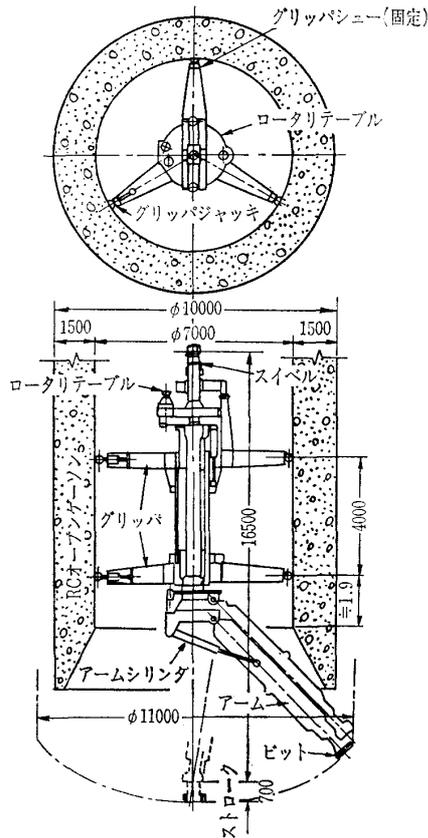
写真-3.7 硬岩用のローラビット(右)および重錘掘削機刃先(左)

講座

下げているロッド内を通すことになり、掘削深度が浅い場合はポンプサクソン方式が、深い場合はエアリフト方式が効果的である。

立孔の岩盤掘削の工法として、ロータリ掘削のほかに重錘掘削とロックオーガの事例がある。重錘掘削(神戸製鋼)は重錘(写真-3.7)の落下衝撃力を利用し岩を破碎するもので、岩質に応じて落下高を調整して掘削する。ロータリ掘削に比べ発生するずりの形状が大きく、その処理(揚泥はリバースサーキュレーション方式による)が容易であり、特に、玉石、転石層や硬質岩盤に対して効果的である。一方のロックオーガ(三和機材)は、従来のアースオーガのもつ高速穿孔を硬質地盤においても可能にすべく開発されたものである。一軸圧縮強度500~1000 kgf/cm²程度の岩盤に対し直径1.3mの施工例もあるが、岩盤が硬くなるとオーガヘッド部の消耗が激しく、本体の耐久性が問題になるので実用的には800 kgf/cm²程度までである。なお最近、岩盤掘削専用のオールケーシング掘削機(松沢基工)も開発され、実用に供されている。

(2) アーム式水中掘削機 現在工事中の横浜港横断橋の下部工は、多柱基礎となるφ10mのオープンケーソンを



- 本機の主要仕様
- 掘削用電動機出力.....400V×50Hz×55kW
 - ビット径×長さ.....φ856mm×250mm
 - ビット回転数.....28rpm
 - ビット取付け本数.....27本
 - ロータリテーブル回転トルク...22.5f・m
 - ロータリテーブル回転数.....0~0.58rpm
 - エアリフトパイプ内径.....300mm
 - 純掘削能力(推定).....洪積層の砂・粘土互層...25 m³/h, 土丹層...20m³/h

図-3.3 アーム式水中掘削機(三井三池)切削ヘッド部¹²⁾

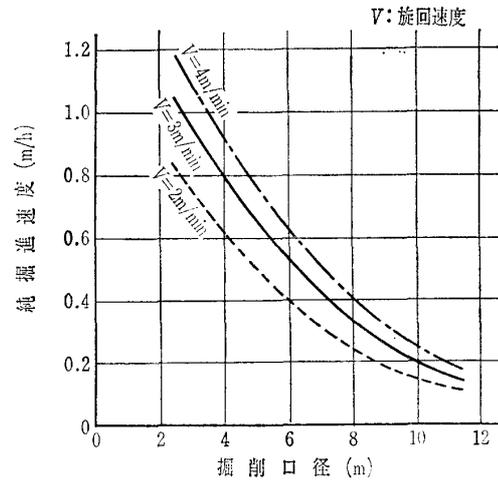


図-3.4 掘削口径別の純掘削速度¹²⁾(実稼働当たりの掘削速度はこの図の8割程度になる)

表-3.7 適応船種¹⁾

土質			適応船種	摘要	
分類	状態	N 値			
粘土質土砂	軟泥	4未満	↑	G	
	軟質	4~10 "			
	中質	10~20 "			
	硬質	20~30 "			
	最硬質	30~40 "			
	"	40~50 "	P ↓ ↓ ↓	D ↓	
砂質土砂	軟質	10未満		G	
	中質	10~20 "			
	硬質	20~30 "			
	最硬質	30~40 "			
	"	40~50 "	↓ ↓ ↓ ↓ ↓		D ↓
礫まじり粘土質土砂	軟質	30未満		G	
	硬質	30以上	↓ ↓ ↓ ↓ ↓		D ↓
礫まじり砂質土砂	軟質	30未満		G	
	硬質	30以上	↓ ↓ ↓ ↓ ↓		D ↓
岩盤	軟質	40~50未満		G	
	やや軟質	50~60 "			
	中質		↓ ↓ ↓ ↓ ↓		D ↓
	硬質		↓ ↓ ↓ ↓ ↓		D ↓
	最硬質		↓ ↓ ↓ ↓ ↓	D ↓	
砂利	ゆるい			G	
	締った		↓ ↓ ↓ ↓ ↓		D ↓

注 1.()は砕岩または発破後の適応船種を示す
 2.P:ポンプ浚渫船, G:グラブ浚渫船, D:ディップ浚渫船, 砕:砕岩船

水面下50~70mの所に出現する土丹層(一軸圧縮強度40 kgf/cm²程度)に10~20m貫入させる必要がある。そのため、ケーソン直下においてφ11mまで拡張可能な軟岩用拡張式大口径掘削機・アーム式水中掘削機(図-3.3)を開発し実用に供している。

掘削機本体の構造(図-3.3)は、前出の軟岩用自由断

面掘削機の切削部をロータリテーブルに組込み、縦形の深い水中で稼働できるようにしたものであり、小径ドラムによる部分掘削のため、所要推力、回転力が少なく、小型軽量となり所要動力も少ない。また、円ばかりでなく矩形、楕円形など任意の断面形状を掘削でき、掘削したずりはドラムと一緒に移動する吸込み口により効率的に吸込むことができるので、掘削時のリカッティングが少なく、スライム処理も完璧にできる特長をもつ。

本機はカッタードラムの送り（旋回）速度を2~4 m/minまで変化させることができ、掘削対象地盤の硬軟に対処するようにしている。したがって、土丹のような軟岩ばかりでなく、自由断面掘削機の例からすると中硬岩程度までの掘削が可能であり、掘削口径と旋回速度によって図-3.4に示す純掘進速度が得られることになる。なお、掘削機本体はケーソン内側にグリップを圧着して固定しているため、ケーソンの不時の沈下は絶対に防がなければならない。そのため、この工法の場合のケーソン沈設は、所定のピッチ（約0.6m）ごとに刃口下掘削完了後圧入することになる。

3.1.4 海底掘削用機械

港湾、河川などの浚渫工事においては、土質条件等によって表-3.7が適応船種選定の目安になり、この中で岩盤を対象とする場合には次の作業船が良く使用される。

(1) 砕岩船 砕岩の方法に重錘式と打撃式がある。

重錘式砕岩船は台船中央部あるいは船首に重錘やぐらを取付け、これにワイヤーによって重錘を吊るし、巻上げ落下させて砕岩を行うものである。重錘の重量は10~40 tで、そのストロークは3~5 m、鋼棒の先端部は耐摩耗鋼のビットになっている。落下回数は毎時60~120回、公称能力20~50 m³/h程度、最大浚渫深さは20~50mである。

一方の打撃式砕岩船は、バックホウ浚渫船（次記ディップバ浚渫船の一種）のバケットの代りに大型水中削岩機を装着し、圧縮空気などの動力源によって砕岩作業を行うものである。陸上工事のブレイカと同様能力はあまり期待できないが、水深10m以下の所の小規模砕岩には適している。この種の砕岩船はアタッチメントを代えることによって積込み作業もできるので便利である。

(2) ディップバ浚渫船 硬い地盤や破碎された岩石などの浚渫に使用される。船体前部に2本、船尾に1本のスパッドを設け、船首に長柄（ディップアーム）のディップバを有する。スパッドを海底に突立てて船体を固定し、ディップアームの先端についたバケットで掘削する。掘削は断続的であり能率は高くないが、浚渫作業中の占有面積が少なく掘削力は強力である。現在ディップバ容量11.5 m³のものも出現しているが、一般には2~4 m³級が多く、これらの浚渫船の公称能力は50~100 m³/h、最大浚渫深さは19 m程度までである。

(3) グラブ浚渫船 従来、比較的小規模な航路、泊地の浚渫あるいは防波堤、係船岸壁の床掘などに使用されて

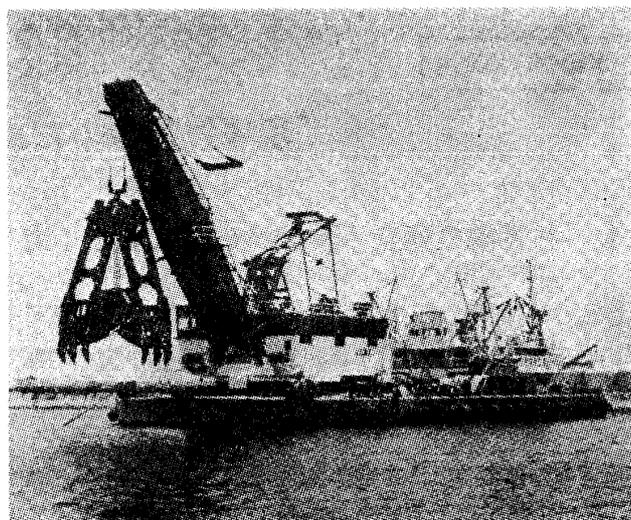


写真-3.8 大型グラブ浚渫船(神戸製鋼GE-1500, 総トン数: 3174 t, 主機馬力: 3000 PS, グラブ容量: 25 m³ (土砂用), 13 m³ (硬土盤用))

きたが、最近では大型グラブ船（写真-3.8）が多く建造され硬土盤用としては、グラブ容量13 m³で自重125 t（重容比9.6）、一般土砂用としてはグラブ容量25 m³で自重85 t（重容比3.4）のものも出現し、硬土盤浚渫や大量土砂浚渫に進出している。この船種は他の船種に比べ、浚渫深度の制約を受けない特長があり、浚渫深度70mのものも出現している。硬土質に対する公称能力は、バケット容量2.5 m³級で150 m³/h、1.5 m³級で80 m³/h程度である。

なお、これまであげた作業船は主として広範囲な面掘削に適するものであるが、このほか大型ポンプ船（主機馬力5000 PS以上）やリッパ付水中ブルドーザ（総重量43 t、機関出力270 PS）の採用事例もある。また、部分掘削の工法としては高圧水ジェットを利用する方法もある。

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，pp. 367~378, 1974.
- 2) 小松製作所およびキャタピラ社資料.
- 3) キャタピラ社資料.
- 4) 高速道路調査会編：土の締固めに関する調査研究報告書，p. 26, 1972.
- 5) 日本道路公団試験所編：技術手帳・岩塊盛土の締固め機械，p. 3, 1983.
- 6) 日本トンネル技術協会編：トンネル工事用機械便覧，pp. 46~115, 1984.
- 7) 日本建設機械化協会編：日本建設機械要覧，pp. 458~461, pp. 636~637, pp. 1079~1082, 1983.
- 8) 土木学会編：軟岩・調査設計施工の基本と事例，pp. 182~184, 1984.
- 9) 日本建設機械化協会編：場所打ち杭設計施工ハンドブック，pp. 127~128, 1984.
- 10) 磯上一男・相沢林作：大口径RCD工法，pp. 6~26, 森北出版，1983.
- 11) 築瀬久知ほか：岩盤掘削用機械とその実績，pp. 66~135, 基礎工，1981.10.
- 12) 日本建設機械化協会建設機械化研究所編：創立20周年記念論文集・アーム式水中掘削機の開発，pp. 72~86, 1984.
- 13) 日本作業船協会編：現有作業船一覧，pp. 2~7, pp. 32~35, pp. 52~55, pp. 160~185, pp. 254~257, 1984.