

## 第4回 掘削性—Excability—



山崎建設(株)技術部長 岡本 直樹

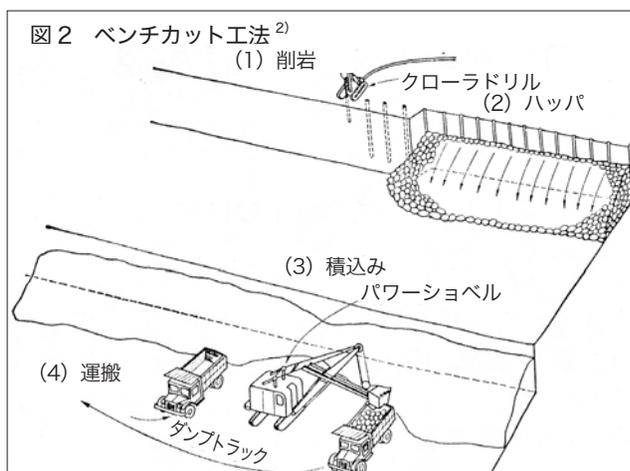
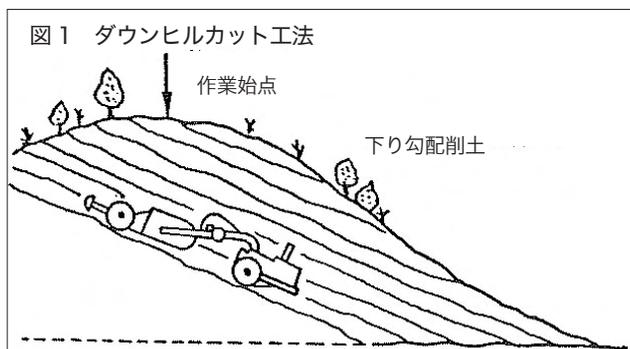
### 4-1 はじめに

前回は機械土工の基本となる土工計画について施工業者の立場で手法を紹介し、施工性（掘削性・積込み性・走行性・締固め性）を重視した検討の必要性を述べた。今回は掘削について、特に掘削機械の機種選定と生産性で問題となる掘削性を中心に記すこととする。

### 4-2 掘削

#### 4-2-1 掘削法

機械土工の基本的な掘削法には、山の取り方による分類があり、ダウンヒルカット工法（傾斜面掘削）とベンチカット工法（階段式掘削）がある。ダウンヒルカット工法は、傾斜面の下り勾配を利用して掘削を行う方法でブルドーザやスクレーパ系の掘削に適する工法である。ベンチカット工法は、階段状に掘削を進める方



法で、ショベル&ダンプトラック工法に適した工法である。また、ブルによるエサ出し（切崩し）とローダ積込みの場合の組合せは、両工法の併用である。図2は発破ベンチカットの施工図である。図中のケーブル式パワーショベルは、国内では姿を消しているが、海外鉱山ではまだ超大型が使われている。国内ではローダかバックホウ積込みとなり、鉱山では大型油圧ローディングショベルも使われている。

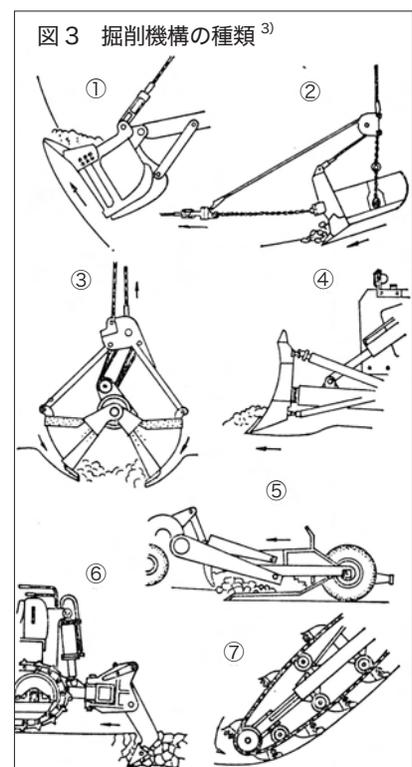
さて、掘削法にはこのほか、機種ごとのオペレーティングレベルのものがあるが本稿では触れない。

#### 4-2-2 掘削機構の種類

掘削機には掘削機構から分類すると図3のようなものがある。

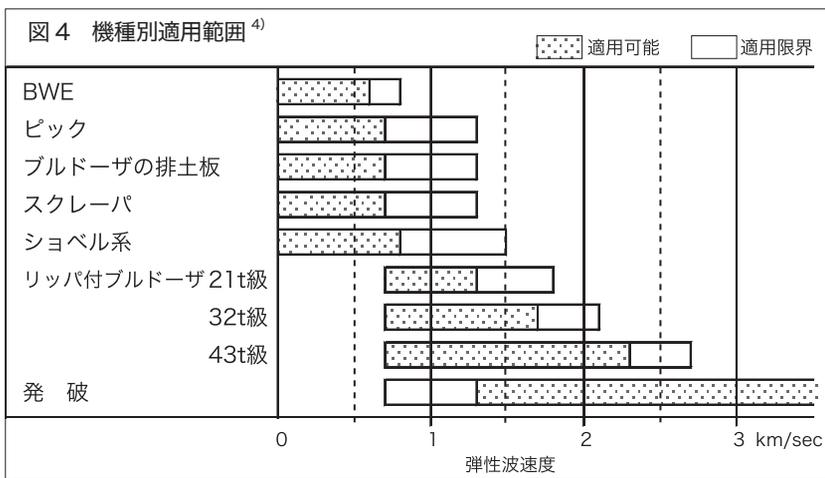
- ①ディップ方式
- ②ドラッグ方式
- ③グラブ方式
- ④ブレード方式
- ⑤スクレーパ方式
- ⑥リップ方式
- ⑦連続掘削方式

掘削積込み作業や掘削運搬を兼ねる機種については、今回は取り上げない。



#### 4-2-3 掘削性の“はかり”

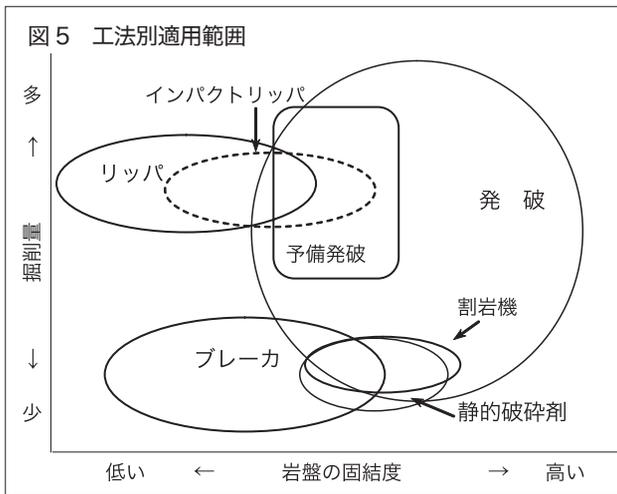
岩の硬さを表す“はかり”として、計画時に入手しやすい情報には、岩そのものの硬さを示す一軸圧縮強度、岩層の亀裂の程度を表すRQD、両者を含めてマクロ的に捉える弾性波速度がある。また、軟岩以下ではN値も利用できる。施工中には、簡易なシュミット



削工法の選定基準の例を図6に示す。

#### 4-2-5 低公害岩掘削工法

環境面から岩掘削工事において発破が制限され、振動・騒音を抑制した制御発破や無発破工法の採用例が増えている。振動・騒音を低減した低公害岩掘削工法はいろいろあるが、整理すると図7のように分類できる。



ハンマも利便性が高い。

掘削性の判定には弾性波速度がよく使われ、道路土工指針では汎用的な機械の大きな掘削性の適用範囲を示している(図4)。

#### 4-2-4 岩掘削工法の選定

岩掘削の各種工法の適用範囲を示すとおおむね図5のようになる。インパクトリッパはリッパとブレーカを合体させたもので、硬岩領域に踏込み生産性が高かったが、消耗が激しいためか生産中止となっている。次に岩掘

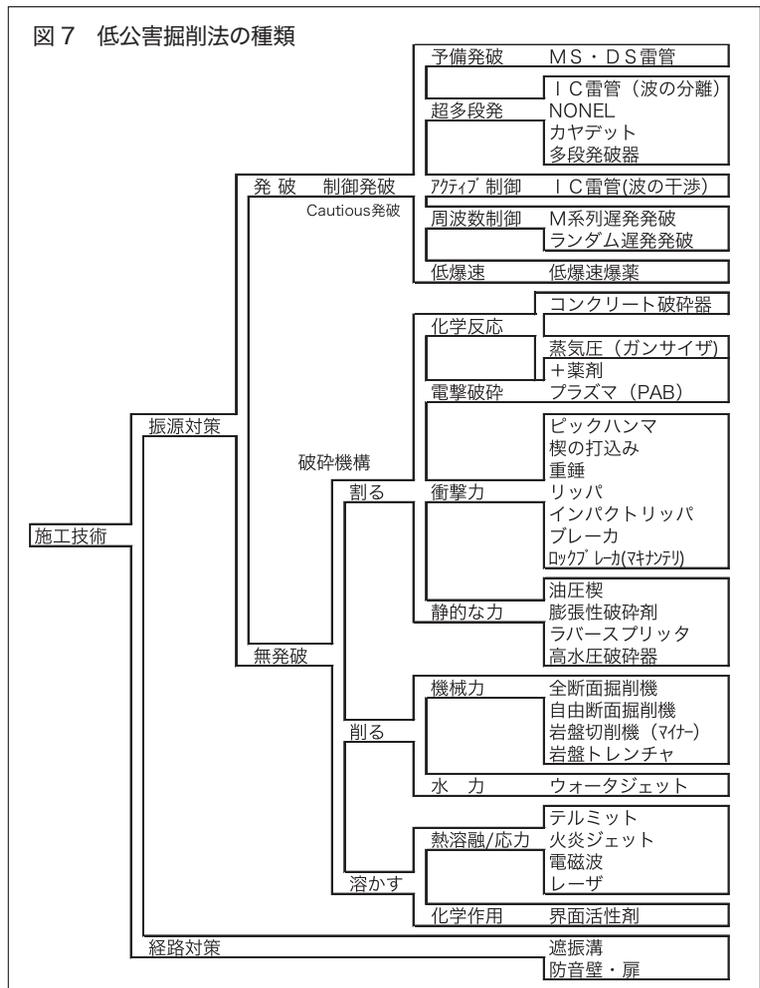
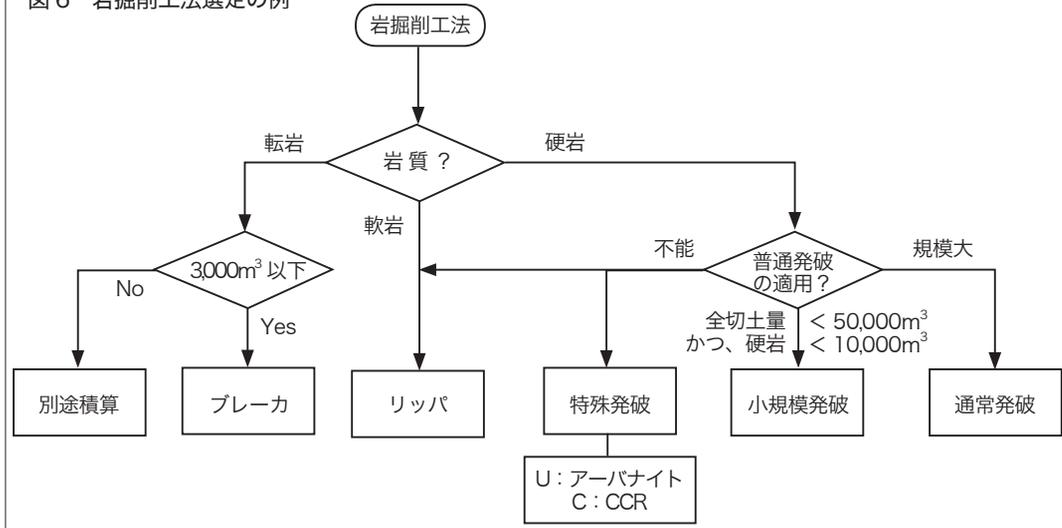


図6 岩掘削工法選定の例



#### 4-3 無発破工法

上図の低公害掘削工法の中から主な機械掘削工法を以下に紹介する。

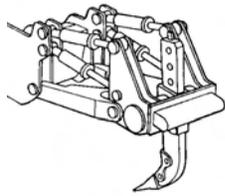
##### 4-3-1 リッパ工法

無発破工法の機械掘削工法には、軟岩から中硬岩領域まで掘削可能で生産性の高いリッパ工法がある。

(1) リッパの種類

図8 油圧リッパ

(1) ジャイアントリッパ



(2) マルチシャンクリッパ

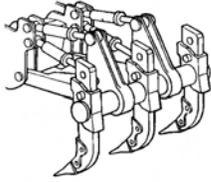
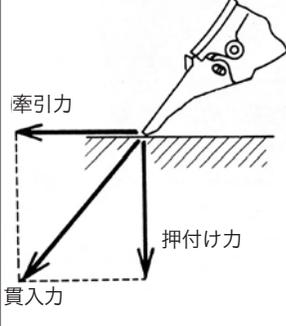


図9 リッパの貫入力



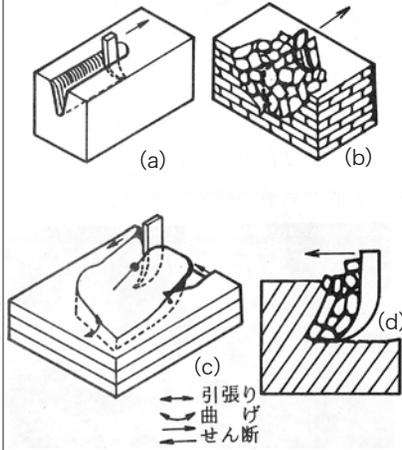
リッパは、21t級以上のブルドーザ後部に装着される図8のような油圧式の岩破碎装置で、マルチシャンク式のものとはシングル式のジャイアントリッパがある。リッパの貫入機構にはヒンジ式とパラレル式、アジャスタブル式の3種類があったが、現在の国内機種は可変式のアジャスタブル式のみとなっている。また、15 t級ブルドーザ等に装着されている小型のものはリッパスカリファイアと称し、硬土の掻起こし用である。

(2) リッピングのメカニズム

リッピングとは、ブルドーザのリッパ刃先にかける押付け力と牽引力との合成力である貫入力で、刃先を岩盤に喰い込ませながら、岩盤組織を破壊し、破碎する作業である。リッピングによる地盤起砕の状況を模式的に示すと図10のようなタイプがある。

(3) リッパビリティ : Rippability

図10 リッパによる起砕<sup>10)</sup>



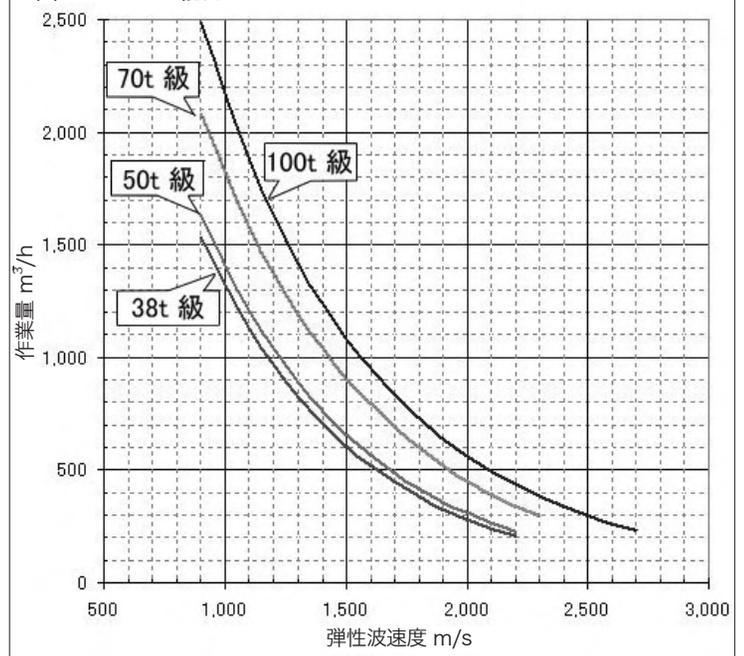
38 ~ 100t 級のリッパ付ブルドーザの岩種別リッパビリティを図11に示す。図12は、38 ~ 100 t 級の生産性の比を示している。実際の作業量は岩質等の係数を掛けて求める。

図11 リッパビリティ

機種	岩質	弾性波速度 (km/s)					
		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
100t 級	花崗岩	[Rippability range]					
	玄武岩	[Rippability range]					
	砂岩	[Rippability range]					
	礫石	[Rippability range]					
	粘板岩	[Rippability range]					
70t 級	花崗岩	[Rippability range]					
	玄武岩	[Rippability range]					
	砂岩	[Rippability range]					
	礫石	[Rippability range]					
	粘板岩	[Rippability range]					
50t 級	玄武岩	[Rippability range]					
	砂岩	[Rippability range]					
	礫石	[Rippability range]					
	粘板岩	[Rippability range]					
	花崗岩	[Rippability range]					
38t 級	花崗岩	[Rippability range]					
	玄武岩	[Rippability range]					
	砂岩	[Rippability range]					
	礫石	[Rippability range]					
	粘板岩	[Rippability range]					

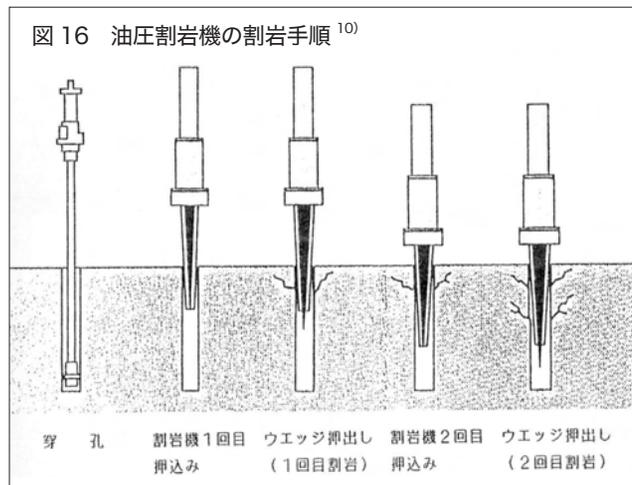
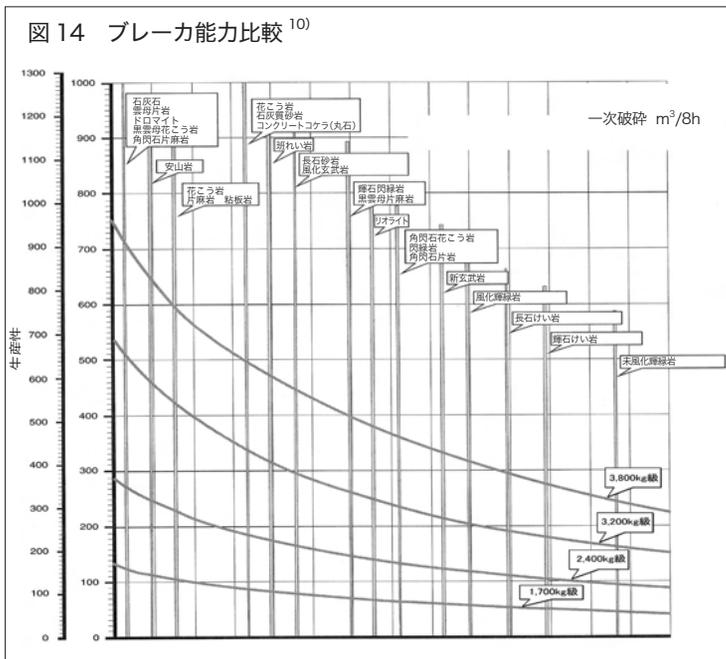
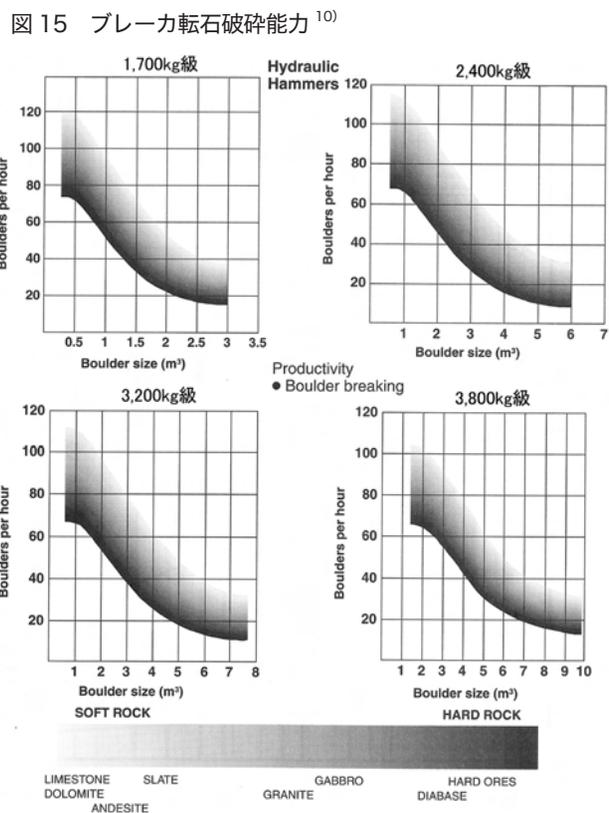
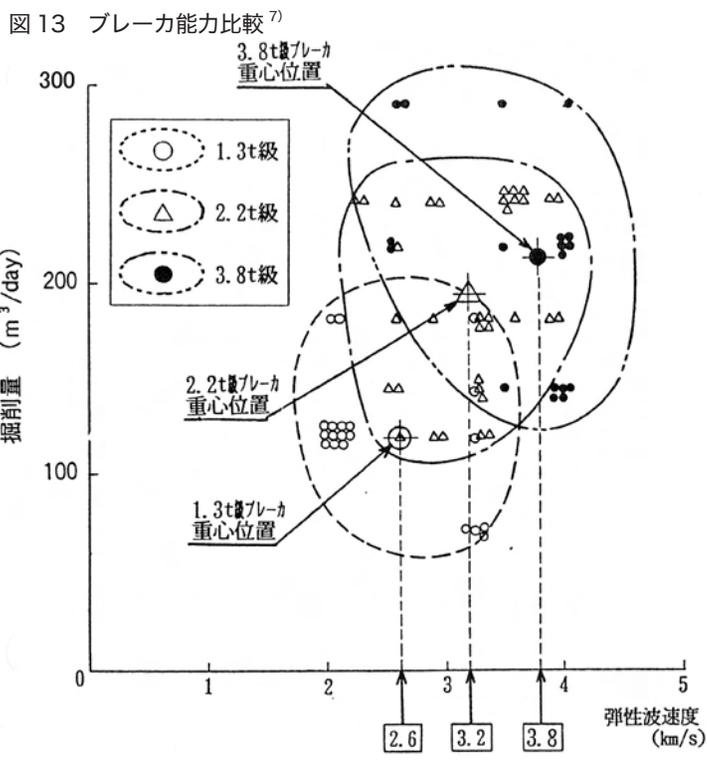
リッパ可能領域   
  限界領域

図12 リッパ能力<sup>10)</sup>



4-3-2 ブレーカ

ブレーカは、転石破碎や発破後の二次破碎として使われていたが、環境面からの発破制限や小割の細粒化要求から多用されるようになってきている。欠点は生産性が低いと騒音である。このため騒音対策としてコンクリート破壊機(ニブラ)も利用されている。また、これだけ普及しているにもかかわらずその生産性を示すオーソライズされた文献資料がない。わずか1,300kg 級が国交省の標準歩掛値としてあるだけである。参考にブレーカの能力比較と転石破碎能力関係の



ブルドーザで二次破碎を行う場合の割岩ピッチと弾性波速度の関係を示すと図17のようになる。割岩機には油圧式の他にドロップハンマ式がある。

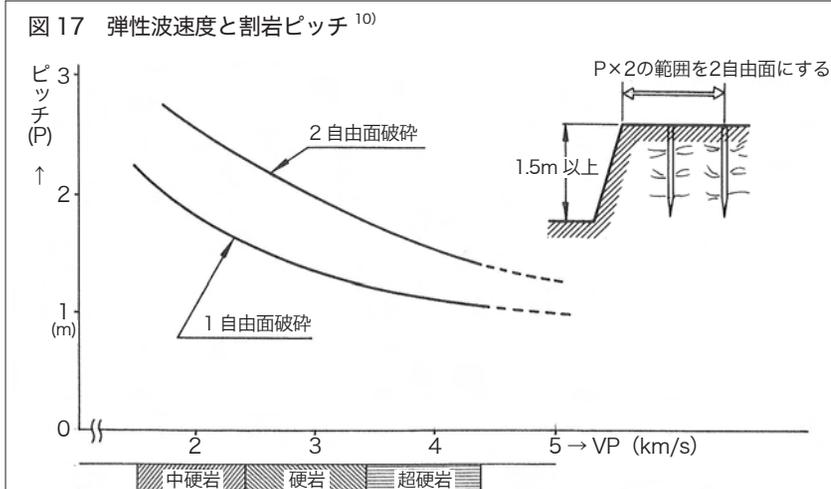
#### 4-3-4 切削系

公表資料を転載する。図13はトンネル工事での実測値、図14はメーカー提供の理論曲線である。2つのメーカーから同様の資料が提供されているが、クラス別の生産性比較(比率)の参考資料である旨がただし書にある。図15は転石破碎の能力である。

#### 4-3-3 油圧割岩機

油圧割岩機は、ドリルで<sup>せんこう</sup>穿孔した孔に油圧楔を挿入して割岩するもので、ドリルとの一体式と単体式があり、施工は図16のような手順で行う。

BP500で割岩し、70t級リップ付



### (1) 自由断面掘削機

切削系の掘削機には自由断面掘削機と面掘削機、トレンチャがあり、自由断面掘削機は主にトンネル工事用で、メーカーごとの呼称としてロードヘッダ、ブームヘッダ、カタローダ、スライスローダ、アルピネ、パワーカタ等がある。参考に理論掘削能力による掘削性を示すと図18のようになるが、実作業能力はこれらの値の5～6割程度と考えられる。類似の切削機にバックホウのアタッチメントとしてのツインヘッダがある。

### (2) 面掘削機

そのほかにマイナ系の面切削機に、サーフィスマイナとロー

図20 ツインヘッダの純切削能力<sup>10)</sup>

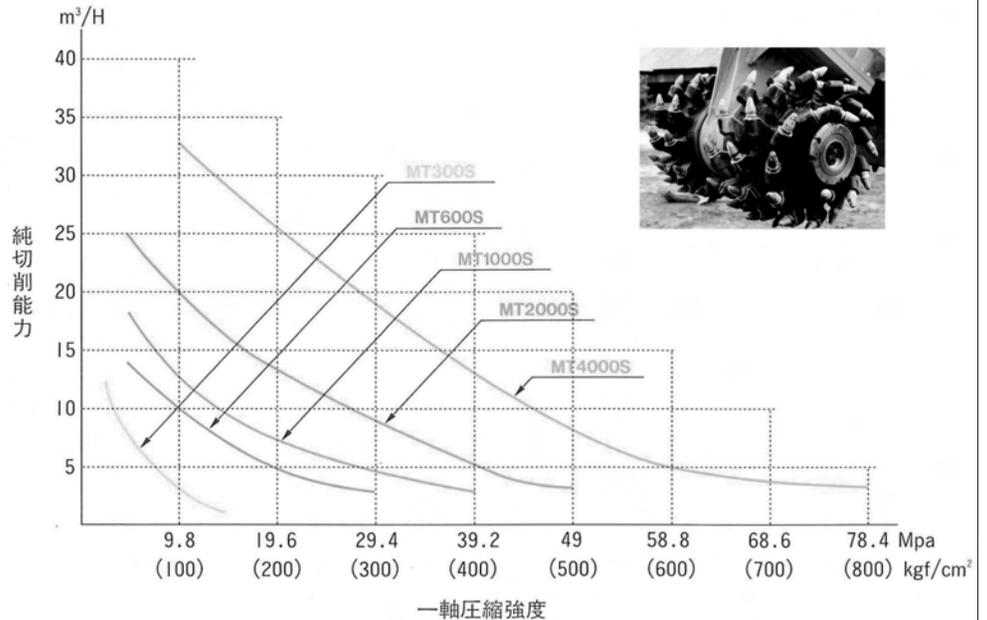


図21 岩盤トレンチャの形式<sup>9)</sup>

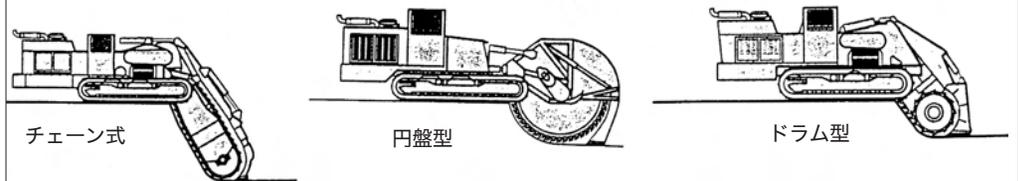
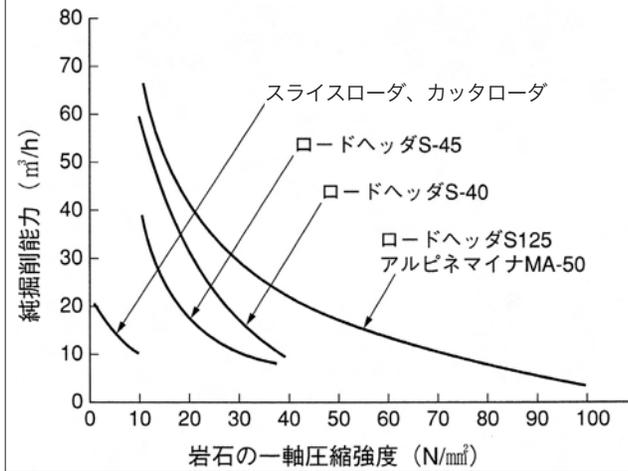


図18 自由断面掘削機の切削能力<sup>8)</sup>



ドマイナがある。類似機械にはスタビライザやコールドプレーナもある。サーフィスマイナの掘削能力はBWE (Bucket Wheel Excavator) とともに図19に示す。

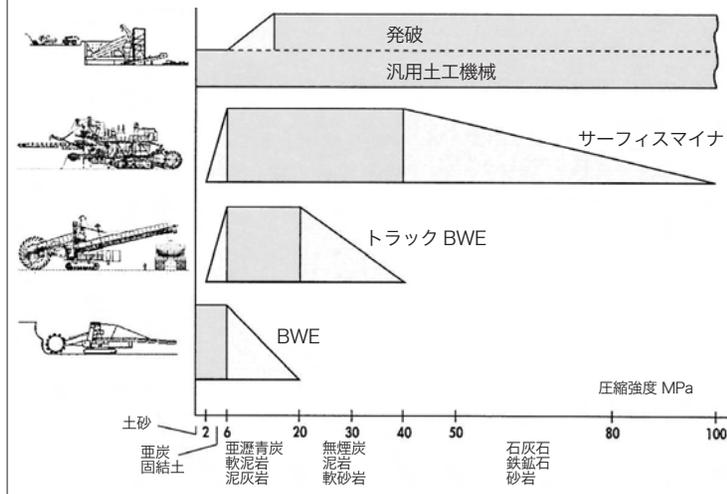
### (3) ツインヘッダ

ツインヘッダは、汎用的なバックホウに装着して岩を切削できるので、比較的利便性が高い。メーカー提示の掘削能力は図20のとおりである。

### (4) 岩盤トレンチャ

トレンチャは古くからある機種であるが、近年、岩盤トレンチャが注目され、英 Mastenboek 社や米 Torencor 社のものが輸入され、岩盤のパイプ埋設掘削やトンネルの中央排水溝掘削に利用されている。そのバリエーションは図21のようなチェーン式、円盤型、ドラム型がある。

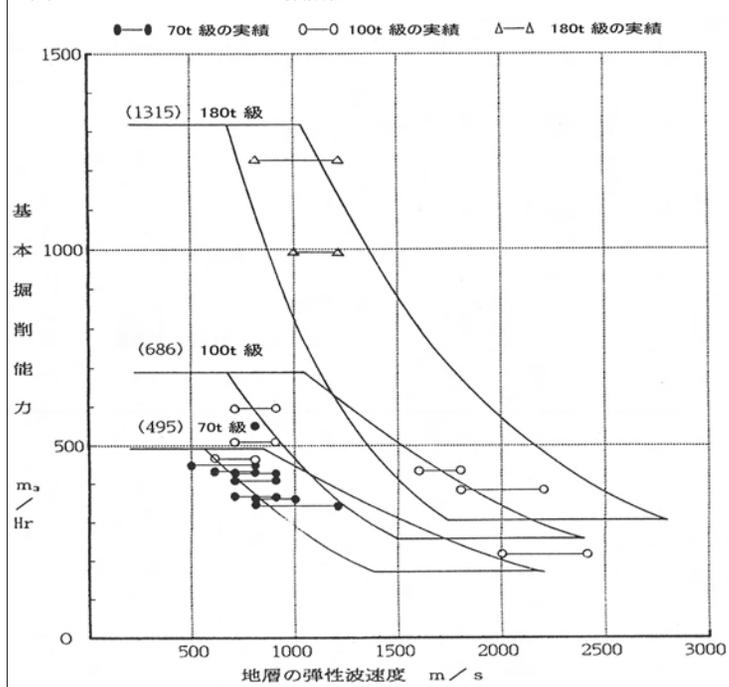
図19 大型連続掘削機の掘削性能<sup>10)</sup>



### 4-3-5 バックホウ

バックホウは軟岩の掘削が可能であるが、大型化に伴ってどの程度の硬さまで掘削可能なのか、またそのときの生産性はどうか？ という資料は少ないが、参考になるものとして70～180t級のバックホウの掘削性能を図22に示す。掘削力から求めた理論曲線に実績値をプロットしている。

図22 大型バックホウの掘削能力<sup>10)</sup>



関係で省いた資料も多いが、掘削能力・生産性を示す図表をできるだけ数多く載せるように努めた。メーカーによる理論計算値が多いので、経験値からの割掛が必要であるが、おおむね実作業量は半分くらいであろう。さて、今回は、搬土関係の話とします。

参考文献・資料

- 1) 岡本：施工計画、山崎建設、1980.5
- 2) 伊藤雅夫：ベンチカット工法、地人書館 1969.2
- 3) 米倉・久野：土と岩の施工論、理工図書、1981.4
- 4) 道路土工—施工指針、日本道路協会、1986.11
- 5) 土木工事積算基準、JH
- 6) 振動騒音ハンドブック、JCMA
- 7) 重永晃洋：大型ブレーカによる岩石破碎、建設機械、1997.11
- 8) 竹林ほか：土工ポケットブック、山海堂、2000.4
- 9) 下半切削に関する報告書、ジェオフロンテ研究会、1998.11
- 10) Caterpillar、ヤマモトロック、コマツ、Krupp、三井三池（製）、日立建機の各社技術資料
- 11) 土工教室 / <http://www.yamazaki.co.jp>

4-4 おわりに

今回は掘削機の掘削性にポイントを絞った。紙幅の