

## 23. 道路建設における環境に優しい硬質岩盤剥離掘削技術の開発

呉工業高等専門学校 重松 尚久、○花岡 尚  
愛媛大学 室 達朗

### 1. はじめに

従来、硬質岩盤を掘削するにあたっては、発破工法が主流であったが、近年では騒音、振動問題や周囲環境への影響が懸念されている。そのため、機械式掘削工法への移行が注目されている。奥村組土木興業株式会社は、低騒音、低振動で掘削のでき、規制の厳しい環境問題を十分にクリアできる岩盤掘削機（サーフェスマイナー）を開発した。これは、切削ビットを用いてチップング効果を利用した硬質岩盤剥離掘削技術であり、道路建設における環境に優しい新しい硬質岩盤剥離技術として用いられるようになってきている。しかしながら、固い岩盤においては、ビットの摩耗が激しくなりコストが高くなってしまいう問題点がある。そこで、本研究では、ディスクカッタービットを用いた端面掘削方式によって、騒音や振動などの規制の厳しい環境問題を十分にクリアでき、硬質岩盤掘削を効率的に行うことができる新しい硬質岩盤剥離掘削技術を開発することを目的とする。今回の実験では、高強度モルタル供試体を掘削する際の、ディスクカッタービットに作用する垂直力  $F_z$ 、横方向力  $F_y$ 、転がり抵抗  $F_x$  を測定し、切り込み幅の違いによる影響、貫入速度の違いによる影響、ディスクカッタービットの刃先アールの違いによる影響、供試体の一軸圧縮強度の違いによる影響を明らかにする。また、掘削初期状態である初期端面掘削過程と通常掘削状態である通常端面掘削過程における剥離破碎方式の力学的なメカニズムを明らかにし、新しい掘削機的设计開発に資するための基礎となるデータを得ることを目的としている。

### 2. 実験概要

#### 2.1 端面掘削

図-1 に平面掘削と端面掘削の概略図を示す。従来の平面掘削方式（圧壊方式）と比較すると、端面掘削方式は2自由面を作った後、引張り破壊により削孔する

ため、掘削効率の向上やディスクカッタービットの摩耗減少も図れる。岩盤に多くの亀裂を発生させて岩盤の連続性を遮断し、多数の自由面を形成することで、より小さな力で剥離破壊が発生する。この技術を用いることにより、掘削効率の向上とディスクカッタービットの摩耗量の低減が期待できる。また、2自由面の端面にディスクカッタービットを押し付けつつ削孔する方法は、水平方向に削孔するセミシールドマシンのみでなく、垂直方向の縦坑削孔に水平方向と同様の構造で用いることができ応用範囲も多い。特に垂直削孔の場合では、従来の機械掘削の課題であった騒音や振動が少なく効率が高いことから新たな

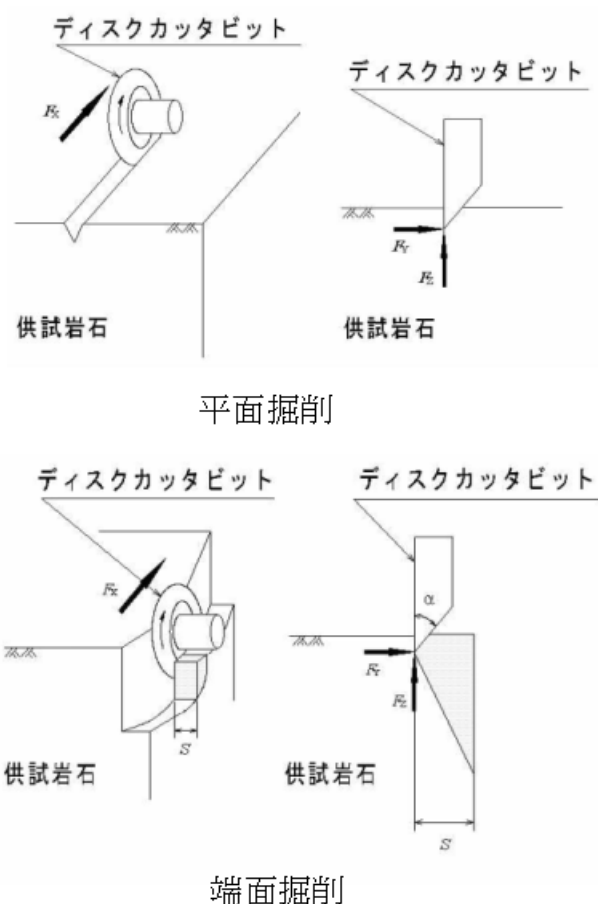


図-1 平面掘削と端面掘削の概略図

削孔工法となりうる。過去の実験<sup>1)</sup>により、端面掘削は、平面掘削との比較実験では、比エネルギーが約1/10に減少することがわかっており、極めて効率的な掘削が可能ながことが明らかになっている。

## 2.2 実験方法

図-2 にディスクカッタビットを取り付けた実験装置の概略図を示す。ディスクカッタビットを供試体の端部から切り込み幅15、20、25、30mmの位置に向かい合わせに2個取り付け、掘削速度をそれぞれ、0.028、0.058、0.087mm/sの3通りに設定し、回転する供試体にディスクカッタビットを押し付けることにより、掘削を行う。ディスクカッタビットに作用する垂直力 $F_z$ 、回転トルク $T$ 、横方向力 $F_y$ を測定し、転がり抵抗 $F_x$ は回転トルク $T$ より、また、横方向力 $F_y$ は、ベアリングの摩擦抵抗を考慮し、補正を行い、2つのロードセルから得られる値を平均する。

## 2.3 ディスクカッタビット

図-3 にディスクカッタビットの形状を示す。ディスクカッタビットは刃先アール1mmの刃Aおよび刃B、刃先アール3mmの刃C、刃先アール5mmの刃Dの4種類を用いた。刃先アールが大きいほどより摩耗が進

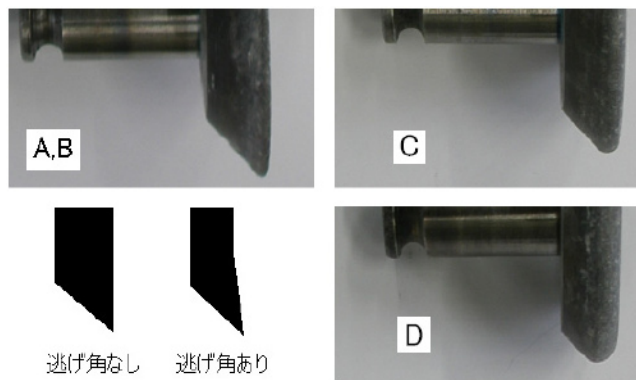


図-3 ディスクカッタビットの形状

行したディスクカッタビットと見立てることができる。なお、刃Aのみ逃げ角 $0^\circ$ であり、刃B、刃C、刃Dは逃げ角 $4^\circ$ である。

## 2.3 供試体

本研究では、3種類のモルタル供試体を擬似岩盤として用いた。材齢14日で一軸圧縮強度 $100\text{N/mm}^2$ 程度のものを高強度モルタルA<sup>2)</sup>、 $80\text{N/mm}^2$ 程度のものを高強度モルタルB<sup>2)</sup>、 $40\text{N/mm}^2$ 程度のものを普通モルタルと定義する。表-1に配合表を示す。なお形状は直径200mm、高さ230mmの円柱形である。

表-1 それぞれのモルタルの配合設計

|          | 水<br>( $\text{kg/m}^3$ ) | セメント<br>( $\text{kg/m}^3$ ) | シリカフューム<br>( $\text{kg/m}^3$ ) | 細骨材<br>( $\text{kg/m}^3$ ) | 混和剤<br>( $\text{g/m}^3$ ) |
|----------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 高強度モルタルA | 222                      | 966                         | 96.6                           | 981                        | 19320                     |
| 高強度モルタルB | 290                      | 966                         | 96.6                           | 981                        | 16905                     |
| 普通モルタル   | 298                      | 595                         | -                              | 1333                       | -                         |

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 実測データ

図-4に、刃Bによる掘削速度 $0.087\text{mm/sec}$ における垂直力 $F_z$ と掘削深さ $z$ の関係を示す。垂直力 $F_z$ は掘削深さ $z$ が大きくなるにしたがって、上下に振幅しながら増加している。小さな周期は、ディスクカッタビットにより供試体を掘削する際、供試体内部にクラックが入ることにより、供試体は小さな破壊を起こすため生じ、大きな周期は、掘削を行うことでクラックが入り、供試体が大きく剥離することによって力が解放されるため生じている。垂直力 $F_z$ が、掘削深さ $z$ が大きくなるに従い徐々に増加する要因として、掘削をする際に、ディスクカッタビットと供試体との接地部分が増加するため、周面摩擦が増加したためと考えられる。

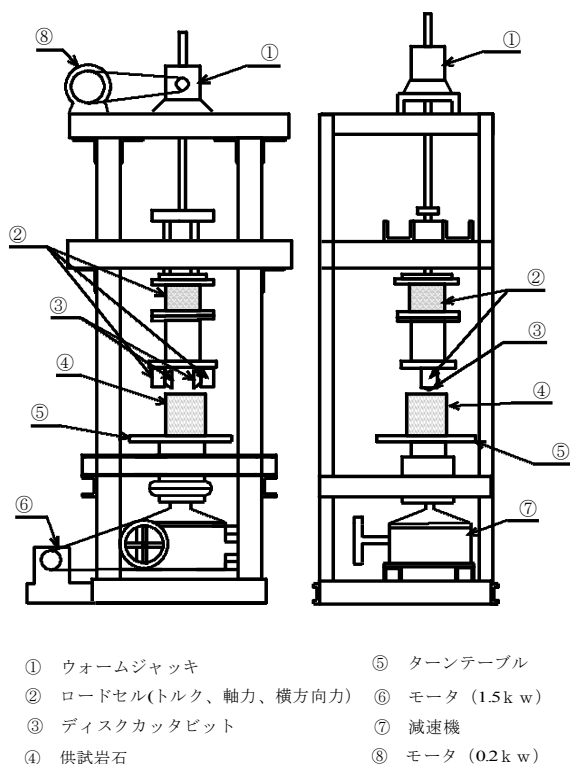


図-2 実験装置概略図

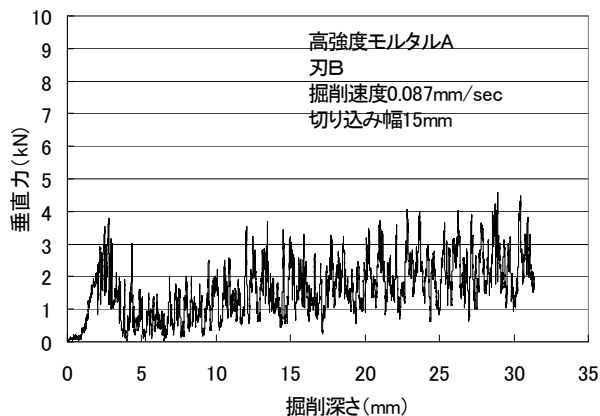


図-4 垂直力と掘削深さの関係

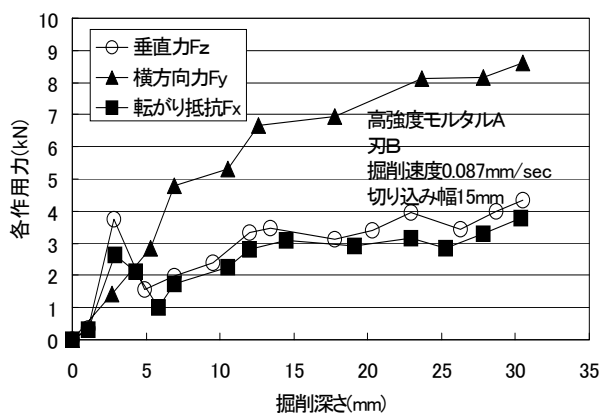


図-5 各作用力と掘削深さの関係

図-5 に、高強度モルタル A、刃 B、掘削速度 0.087mm/sec、切り込み幅 15mm における各作用力と掘削深さの関係を示す。垂直力  $F_z$  は掘削深さが大きくなるにつれ、掘削深さが約 3mm に達するまでは上昇し、その後急激に減少する。これは、円柱形の供試体から大きな剥離片が生じ、作用する力が解放されたためである。これを初期端面掘削という。その後、定常端面掘削に移行し、掘削深さが大きくなるにつれ、徐々に増加していく。定常端面掘削において、徐々に増加する要因はディスクカッタービットに作用する周面摩擦によるものである。転がり抵抗  $F_x$  も同様の傾向にある。それに対して、横方向力  $F_y$  は初期端面掘削時に力は解放されず、常時掘削深さが大きくなるにつれ増加する。3つの作用力を比較すると、初期端面掘削時では垂直力  $F_z$  に対する横方向力  $F_y$  は、最大 80% の力、垂直力  $F_z$  に対する転がり抵抗  $F_x$  は最大 140% の力で作用しており、定常端面掘削時では垂直力  $F_z$  に対する横方向力  $F_y$  は、最大 230% の力、垂直

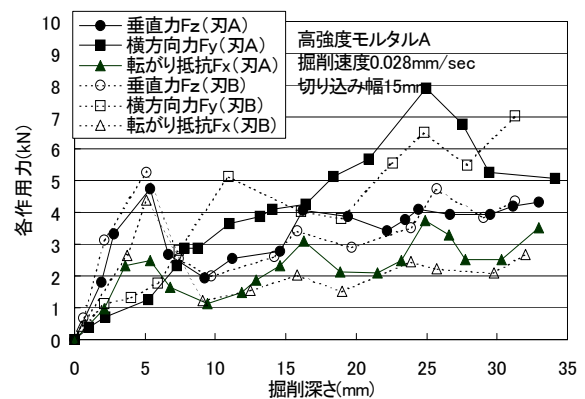


図-6 逃げ角効果

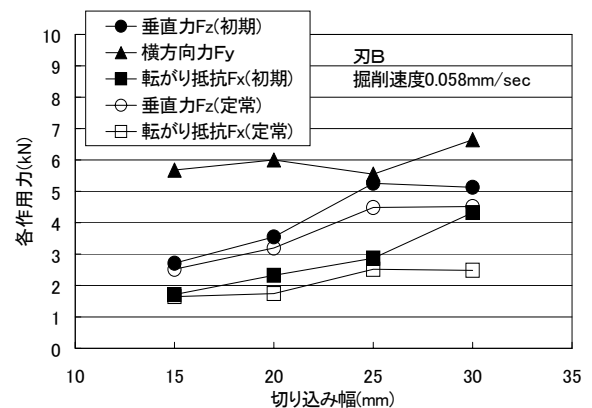


図-7 切り込み幅による影響

力  $F_z$  に対する転がり抵抗  $F_x$  は最大 80% の力で作用している。

### 3.2 逃げ角効果

図-6 に高強度モルタル A、刃 A および刃 B、掘削速度 0.028mm/s、切り込み幅 25mm における各作用力と掘削深さの関係を示す。すべての作用力は、逃げ角を設けた刃 B の方が、逃げ角を設けていない刃 A に対して約 10% 低減している。なお、他のモルタル供試体、切り込み幅、掘削速度でも同様の結果となった。

### 3.3 切り込み幅による影響

図-7 に高強度モルタル A、刃 B、掘削速度 0.058mm/s における初期端面掘削時および定常端面掘削時の各作用力の最大値と切り込み幅の関係を示す。横方向力は初期端面掘削の影響を受けないため、初期端面掘削と定常端面掘削の区別はしない。垂直力および転がり抵抗は切り込み幅が大きくなるにつれ、増加傾向にあり、横方向力は切り込み幅の影響を受けないことがわかる。他のモルタル供試体、ディスクカッタービット、掘削速度でも同様の結果となった。

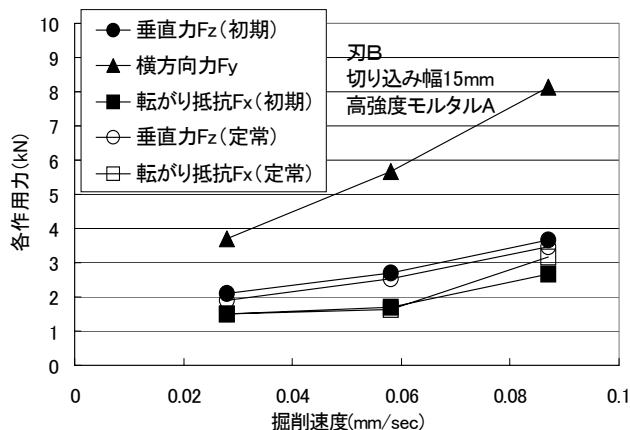


図-8 掘削速度による影響

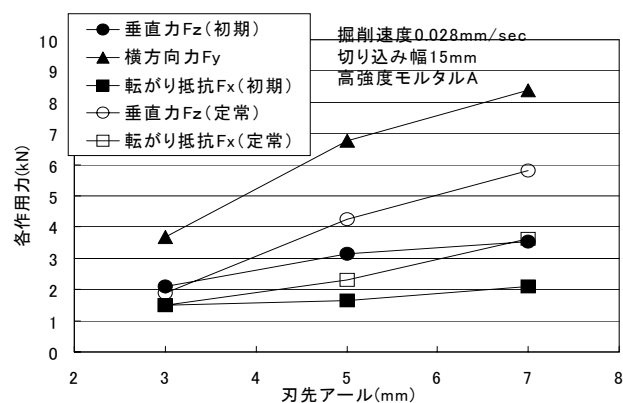


図-9 刃先アールによる影響

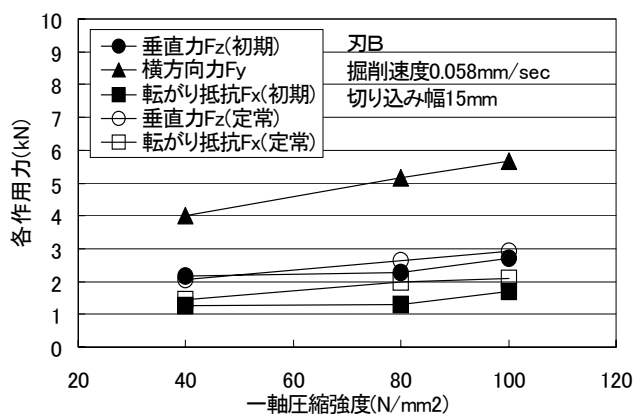


図-10 一軸圧縮強度による影響

### 3.4 掘削速度、刃先アールによる影響

図-8に高強度モルタルA、切り込み幅 15mm における初期端面掘削時および定常端面掘削時の各種作用力の最大値と掘削速度の関係を、図-9に高強度モルタルA、切り込み幅 15mm における初期端面掘削時および定常端面掘削時の各種作用力の最大値と刃先アールの関係を示す。垂直力  $F_z$  は、掘削速度が大きくなるにつれ、また刃先アールが大きくなるにつれ大きくな

ることがわかる。他の切り込み幅、ディスクカッタービット、掘削速度、モルタル供試体においても同様の結果となった。なお、横方向力  $F_y$  および転がり抵抗  $F_x$  についても同様の結果となった。

### 3.5 一軸圧縮強度による影響

図-10に刃B、掘削速度 0.058 mm/s、切り込み幅 15mm における初期端面掘削時および定常端面掘削時の各種作用力の最大値と掘削速度の関係を示す。すべての作用力は、一軸圧縮強度が大きくなるにつれ大きくなる。他のディスクカッタービット、掘削速度、切り込み幅においても同様の結果になった。

## 4. 結論

- (1) 垂直力  $F_z$  および転がり抵抗  $F_x$  は、初期端面掘削時において力が解放されるが、横方向力  $F_y$  は初期端面掘削の影響を受けない。
- (2) すべての掘削条件において、初期端面掘削時に垂直力  $F_z$  に対する横方向力  $F_y$  は最大 80% の力、垂直力  $F_z$  に対する転がり抵抗  $F_x$  は最大 140% の力が作用した。また、定常端面掘削時に垂直力  $F_z$  に対する横方向力  $F_y$  は最大 230% の力、垂直力に対する転がり抵抗  $F_x$  は最大 80% の力が作用した。
- (3) ディスクカッタービットに逃げ角を設けることにより、すべての作用力を約 10% 低減させる効果がある。
- (4) 垂直力  $F_z$  および転がり抵抗  $F_x$  は、初期端面掘削時、定常端面掘削時ともに、切り込み幅が増加するにつれ、増加する傾向にあり、横方向力  $F_y$  は切り込み幅による影響を受けない。
- (5) すべての作用力は、定常端面掘削時において、掘削速度、刃先アールおよび一軸圧縮強度が増加するにつれ、増加する傾向にある。

今後は、岩石供試体において同様の実験を行い、道路建設に適応する機械の設計を行っていく予定である。

謝辞 本研究は、(社) 日本建設機械化協会の平成 19 年度研究開発助成を受けて実施しています。

### 参考文献

- 1) 室達朗：岩盤掘削・穿孔作業の合理化方策について、建設機械, 464, Vol.39, pp.23-28.
- 2) 竹村和夫, 米倉亜州夫, 田中敏嗣：シリカフュームを用いたコンクリートの乾燥収縮特性, コンクリート工学年次論文報告集 9-1, p.69-74, 1987.