

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

重松 尚久

呉工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒737-8506 呉市阿賀南2-2-11)



近年、トンネルなどの掘削工事において、周囲環境への問題が指摘され、発破工法の適用が厳しくなっている。そこで、機械式掘削工法への移行が注目されているが、現在主流として使われている平面掘削方式では、硬質岩盤掘削において効率の良い掘削が行えないのが現状である。本研究は、硬質岩盤掘削を効率的に行うことができる端面掘削方式を用いた掘削技術の開発を行うことを目的としている。実験では、ディスクカッタビットを用いて回転する円柱型のモルタル供試体を掘削し、掘削刃の曲率半径、掘削速度、切り込み幅の変化が、掘削性能に与える影響を明らかにする。

キーワード 硬質岩盤剥離掘削, ディスクカッタビット, 端面掘削方式, 道路建設

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）を開発した。これは、切削ビットを用いてチッピ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、ディスクカッタビットの刃の曲率半径の違いによる影響、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砕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

(1) 端面掘削

従来の平面掘削方式（圧壊方式）は、ディスクカッタビットを装着した面板を岩盤面に押し付けつつ回転させて岩盤を圧壊しながら削孔する。掘削効率は岩の強度や亀裂や岩質等により変わるが、押し付け力と圧接する回数で決まるが、このような1自由面を圧壊破砕する掘削方式では応力が解放されないため亀裂が生じにくく、仮に生じた後も亀裂の誘発は望めず効率が悪い。また、岩石を粉砕するように削るために、ディスクカッタビットの摩耗寿命が短いという致命的な欠点がある。特に石英分を多く含む花崗岩では摩耗が激しく削孔距離にも制限を受ける。

これらの既存技術に対して新しいコンセプトは、2自由面をもつ岩盤の端面をディスクカッタビットで剥離破砕する端面掘削方式である。剥離破砕する端面掘削方式の技術は、『岩石は破壊形態によってその強度が著しく異なる』という物理的特性を積極的に利用したものである。図-1に平面掘削と端面掘削の概略図を示す。これによると、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ビットの摩耗量の低減が期待できる。また、

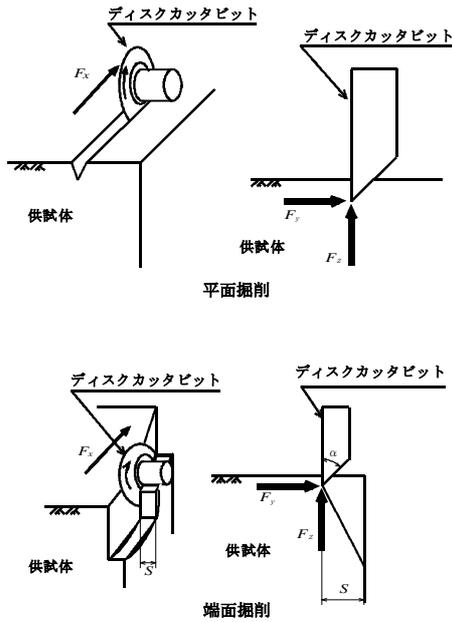


図-1 平面掘削と端面掘削の概略図

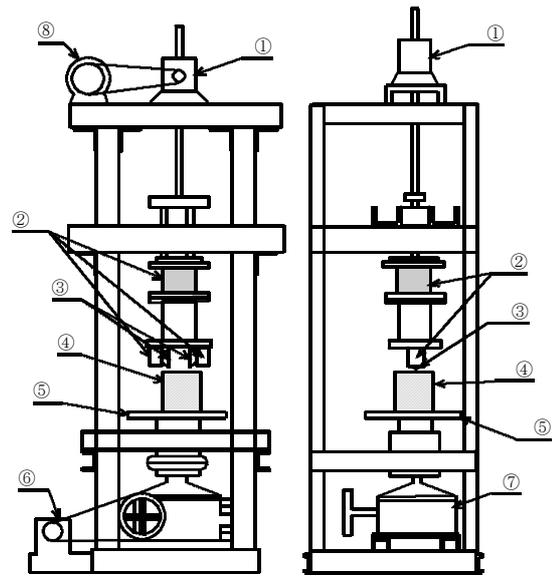
2自由面の端面にディスクカッタビットを押し付けつつ削孔する方法は、水平方向に削孔するセミシールドマシンのみでなく、垂直方向の縦坑削孔に水平方向と同様の構造で用いることができ応用範囲も広い。特に垂直削孔の場合では、従来の機械掘削の課題であった騒音や振動が少なく効率が高いことから新たな削孔工法となりうる。過去の実験¹⁾により、端面掘削は、平面掘削との比較実験では、比エネルギーが約1/10に減少することがわかっており、極めて効率的な掘削が可能なが明らかになっている。

(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、2つのロードセルから得られる値を平均する。なお、今回の実験は変位制御方式で行った。

(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の曲率半径1mmの刃Aおよび刃B、3mmの刃C、5mmの刃Dの4種類を用いた。刃の曲率半径が大きいほどより摩耗が進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° であり、刃B、刃C、刃Dは逃げ角 4° である。



① ウォームジャッキ
② ロードセル(トルク、軸力、横方向力)
③ ディスクカッタビット
④ 供試岩石
⑤ ターンテーブル
⑥ モータ (1.5k w)
⑦ 減速機
⑧ モータ (0.2k w)

図-2 実験装置概略図

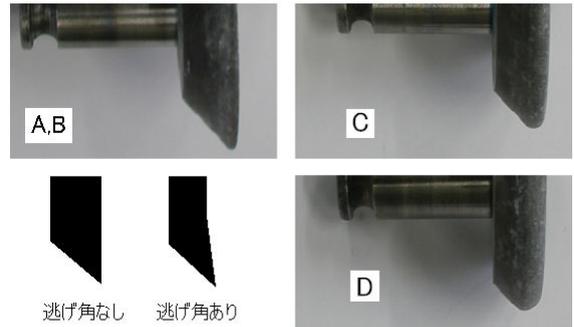


図-3 ディスクカッタビットの形状

(4) 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 100N/mm^2 程度のものを高強度モルタルA²⁾、 80N/mm^2 程度のものを高強度モルタルB²⁾、 40N/mm^2 程度のものを普通モルタルと定義する。なお、形状は直径200mm、高さ230mmの円柱形である。

3. 実験結果と考察

(1) 実測データ

図-4に、刃Bによる掘削速度 0.087mm/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

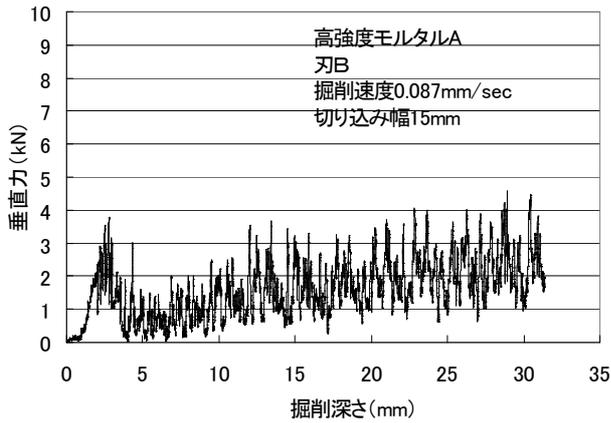


図-4 垂直力と掘削深さの関係

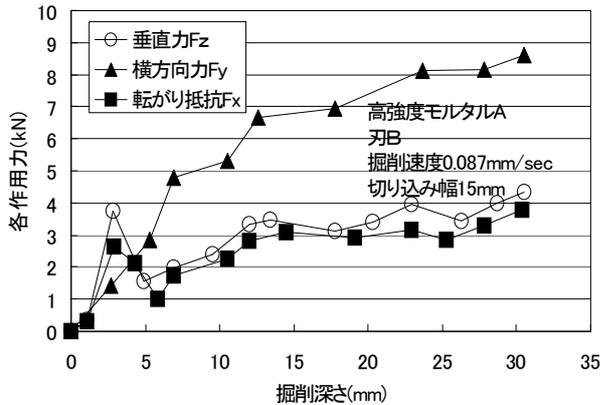


図-5 各作用力と掘削深さの関係

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、ディスクカッター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-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

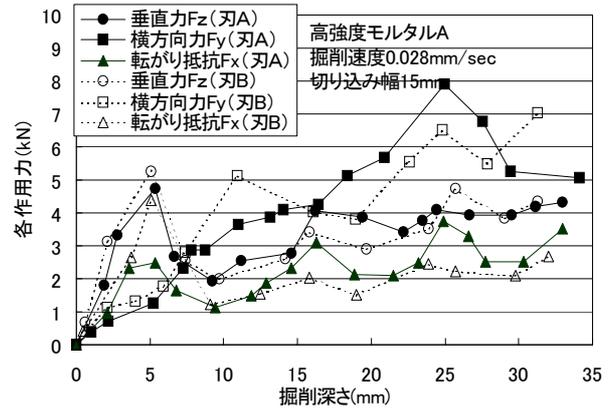


図-6 逃げ角効果

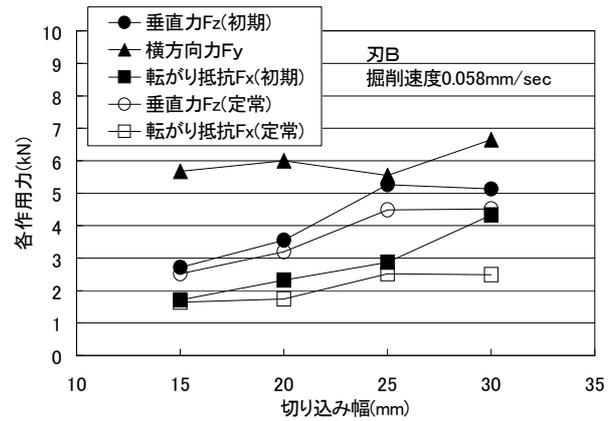


図-7 切り込み幅による影響

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。

(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) 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。

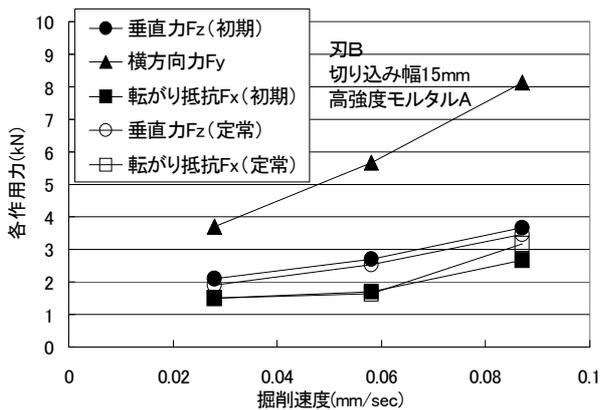


図-8 掘削速度による影響

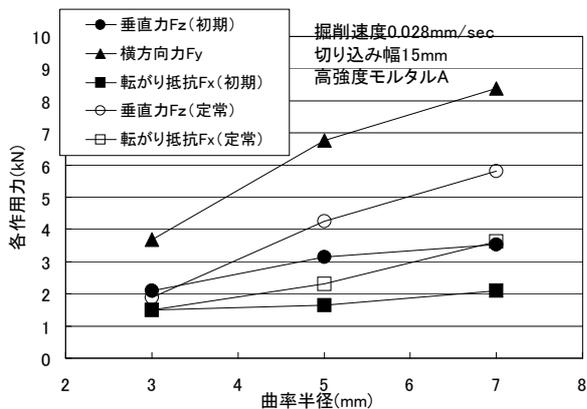


図-9 刃の曲率半径による影響

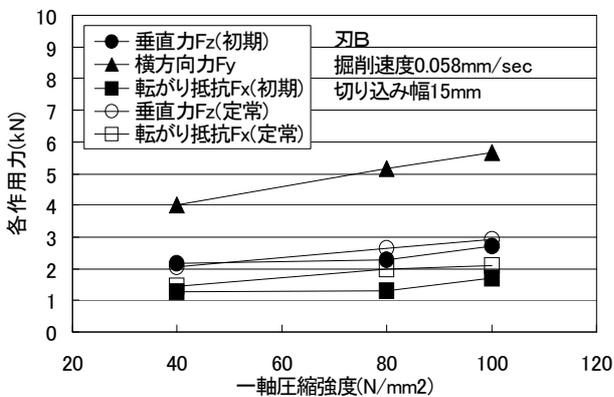


図-10 一軸圧縮強度による影響

(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の曲率半径の関係を示す。垂直力 F_z は、掘削速度が大きくなるにつれ、また刃の曲率半径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。

(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ことわかる。他のディスクカッタビット、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、刃の曲率半径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: シリカフェ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.