

10. 回転溝切削機における円盤型圧壊破碎刃と円盤型剥離破碎刃の性能比較

愛媛大学大学院：○黒瀬 賢二郎

愛媛大学工学部：室 達朗、河野 幸一

1. 概説

岩盤の掘削工事を精度良く効率的に進めていくことが可能な大型岩盤切削機¹⁾(サーフィスマイナー)などによる岩盤切削工法が注目されている。岩盤切削工法とは岩盤を層状に掘削する工法である。掘削する1層の厚みは通常5~30cmで、層状に掘削することで岩盤を薄く掘削できるため、一般の硬岩掘削工法に比べ低騒音・低振動での硬岩掘削が可能である。そこで、その補助掘削として溝を作ってから岩盤切削工法を行うことで、より効率の高い掘削が可能と考えられる。

本研究の目的は、掘削効率を向上させるための方策として、2自由面をもつ岩石の端面をディスクカッタービットで掘削する端面掘削²⁾の特性を実験的に明らかにし、比エネルギーによる円盤型剥離破碎刃(以下、剥離刃という)と円盤型圧壊破碎刃(以下、圧壊刃という)の性能を比較することである。

2-1 実験装置

本研究のために円盤型溝掘削刃を製作した。圧壊刃、剥離刃1、剥離刃2から構成され、刃幅は圧壊刃が10mm、剥離刃が5mm、刃物角は共に $\pi/3\text{rad}$ である。また回転半径に5mmずつ差をつけている。刃自体は純粋回転しておりトルクが発生しない。刃の全体図を図-1に示す。またその他に円盤型溝掘削刃に駆動転動力を与える油圧モーター、切削刃に作用する主分力 F_x 、背分力 F_z を測定する八角形リング、供試体を切削刃へ送りこむ供試体送りテーブルが設置されている。実験装置の全体図を図-2に示す。

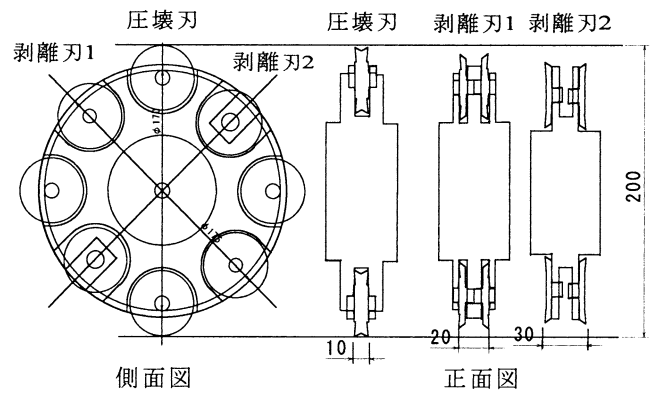


図-1 掘削刃全体図

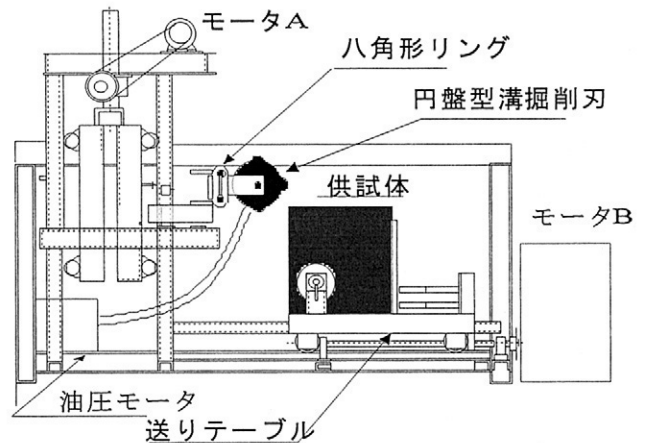


図-2 実験装置

2-2 岩石供試体

栃木県産の流紋岩質軽石凝灰岩(大谷石)と、6種類の異なる強度のセメントモルタル供試体；モルタルA、モルタルB、モルタルC、モルタルD、モルタルE、モルタルFを作製し、擬似岩石として用いた。強度 Sc は、大谷石が $1.03(\text{kN}/\text{cm}^2)$ 、モルタル供試

体がモルタル A : 0.38 (kN/cm²)、モルタル B : 0.96 (kN/cm²)、モルタル C : 1.76(kN/cm²)、モルタル D : 2.34(kN/cm²)、モルタル E : 2.50 (kN/cm²)、モルタル F : 3.00(kN/cm²)である。モルタル供試体の寸法は、25×25×25cm である。

2-3 実験方法

これらの実験装置を用いて切削深さ Z=0.5,1.0,1.5cm と変化させて溝掘削実験を行った。なおすべての実験において切削ドラムの回転数 140r.p.m、最大回転トルクは 140Nm である。また、送りテーブルの送り速度は 0.21m/min の一定とした。またこの送り速度を切削速度とする。

3-1 実験結果

実験により得られた大谷石による深さ Z=1.5cm の時の背分力 F_z の経時変化の生データを図-3に、その拡大図を図-4に示す。図-4から分かるように圧壊刃および剥離刃1,2の背分力がはっきり表れていることが分かる。

また、円盤型溝掘削刃が回転し、切削刃が順次変化していくため、常に切削刃が当たっていないことから、短周期の波形になり、なおかつ主分力 F_x と背分力 F_z とが 0 にまでもどる激しい波形になっている。またどの実験条件においても背分力 F_z が主分力 F_x よりも大きい値を示している。

切削トルク T (Nm)は次式より算定した。

$$T = (F_z \sin \theta - F_x \cos \theta) \times r \quad (1)$$

T : 切削トルク (Nm)

F_x : 主分力 (kN)

F_z : 背分力 (kN)

θ : 切削刃の作用角 (rad)

r : 作用半径 (cm)

3-2 圧壊刃と剥離刃1,2の比較

測定した主分力 F_x と背分力 F_z においては、すべての切削刃が定常掘削状態になってからの掘削時間を 10 分割したブロック毎の最大値を抜き出し、平均したものを主分力 F_{xSM} (kN)、背分力 F_{zSM} (kN)、ト

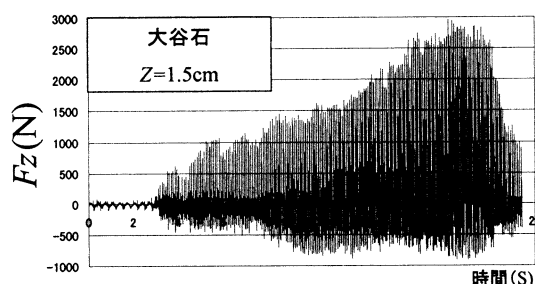


図-3 背分力 F_z の経時変化

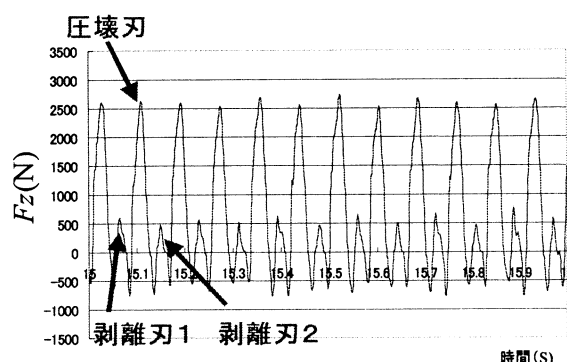


図-4 拡大図

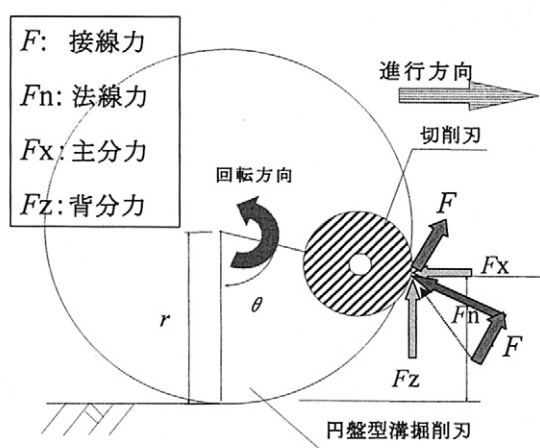


図-5 溝掘削機諸力

ルク T_{SM} (Nm)と定義した。これにより圧壊刃だけに働く F_x 、 F_z 、 T を求めることができる。

剥離刃に働く F_x 、 F_z 、 T の最大値を抜き出し、平均したものを主分力 F_{xEM} (kN)、背分力 F_{zEM} (kN)、 T_{EM} (Nm)と定義した。これにより剥離刃1,2だけに働く F_x 、 F_z 、 T を求めることができる。切削深さ Z=0.5cm 時の F_x 、 F_z と圧縮強度 Sc の関係を図-6、図-7に示す。また、深さ別のトルク T と圧縮強度 Sc の関係を図-8に示す。この図で圧壊刃より剥離刃

1, 2 のほうが少ない力で掘削していることが分かる。また、供試体の強度が大きくなると主分力 F_x 、背分力 F_z およびトルク T も増加する。

3-3 掘削土量

本実験において発生したズリを算出した。掘削によって発生するズリを時間当たりで表したものを掘削土量 V_E (cm^3/s) とし、次式で算出した。

$$V_E = B/t \quad (2)$$

$$B = [(vt - r \sin \theta)(r - r \cos \theta) + (\pi r^2 \cdot \theta / 2\pi - (1/2) \cdot r^2 \sin \theta \cos \theta)] \cdot b \quad (3)$$

$$V_E: \text{掘削土量 } (\text{cm}^3/\text{s}) \quad B: \text{発生ズリ } (\text{cm}^3)$$

$$v: \text{切削速度 } (\text{cm}/\text{s}) \quad t: \text{切削時間 } (\text{s})$$

$$b: \text{掘削幅 } (\text{cm}) \quad r: \text{作用半径 } (\text{cm})$$

$$\theta: \text{切削刃の作用角 } (\text{rad})$$

$$\theta: \text{切削刃の作用角 } (\text{rad})$$

なお、実験条件において、切削深さ $Z=0.5, 1.0, 1.5\text{cm}$ としているため、 $Z=0.5\text{cm}$ のときは、圧壊刃しか作用せず、 $Z=1.0\text{cm}$ のときは圧壊刃と剥離破碎刃1が作用するため、それぞれの刃によって算出される土量を合計している。 $Z=1.5\text{cm}$ のときも同様に、圧壊刃、剥離1、剥離2の合計土量となっている。

また、圧壊刃に及ぼす主分力 F_{xSM} (kN)、背分力 F_{zSM} (kN) およびトルク T_{SM} (Nm)、剥離刃に及ぼす主分力 F_{xEM} 、背分力 F_{zEM} およびトルク T_{EM} について、切削深さ Z (cm) と岩石の一軸圧縮強度 S_c (kN/cm^2) の関係についてそれぞれ重回帰分析を行い、次式に示す実験式を得た。 R は重相関係数である。

$$F_{xSM} = 0.556Z^{1.089} S_c^{0.623} \quad (R=0.948) \quad (4)$$

$$F_{zSM} = 1.887Z^{0.396} S_c^{0.453} \quad (R=0.933) \quad (5)$$

$$T_{SM} = 45.40Z^{0.872} S_c^{0.719} \quad (R=0.892) \quad (6)$$

$$F_{xEM} = 0.558Z^{0.663} S_c^{0.786} \quad (R=0.833) \quad (7)$$

$$F_{zEM} = 1.155Z^{1.025} S_c^{0.625} \quad (R=0.821) \quad (8)$$

$$T_{EM} = 9.872Z^{0.878} S_c^{0.454} \quad (R=0.754) \quad (9)$$

3-4 掘削動力、比エネルギー

掘削に必要な動力を求めるため、実験によって得られた主分力 F_x (kN)、背分力 F_z (kN) より切削刃の

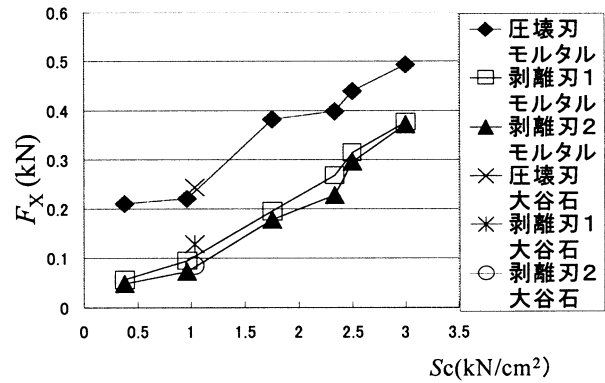


図-6 主分力 F_x と圧縮強度 S_c の関係

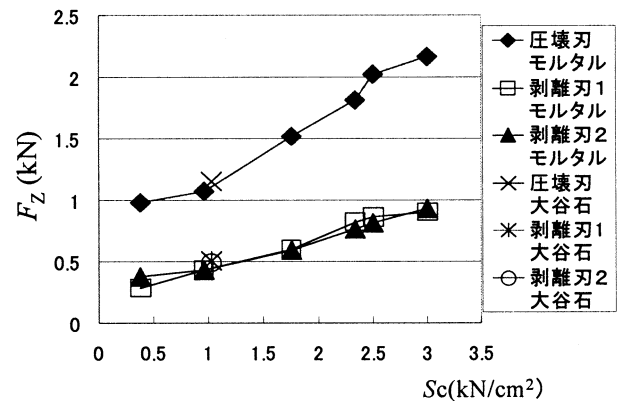


図-7 背分力 F_z と圧縮強度 S_c の関係

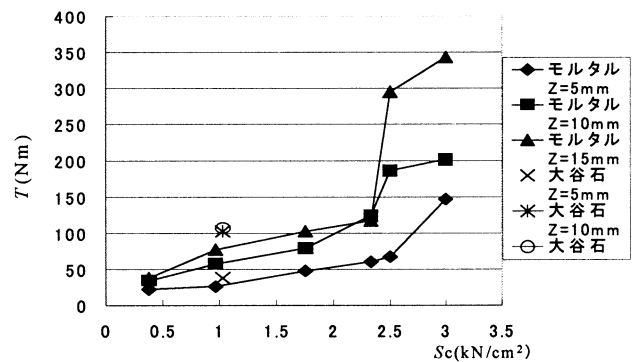


図-8 トルク T と圧縮強度 S_c の関係

接線方向力 F (kN) を算出した。単位時間当たりの動力 P を次式として定義する。

$$P = 2\pi r \times F \times 140/60 \quad (\text{kNcm}/\text{s}) \quad (10)$$

P : 掘削動力 (kNcm/s)

r : 切削ドラム半径 (cm)

F : 接線方向力 (kN)

本実験で用いる切削ドラムの回転距離と1分間当たりの回転数は 140rpm と一定であるので、動力は接

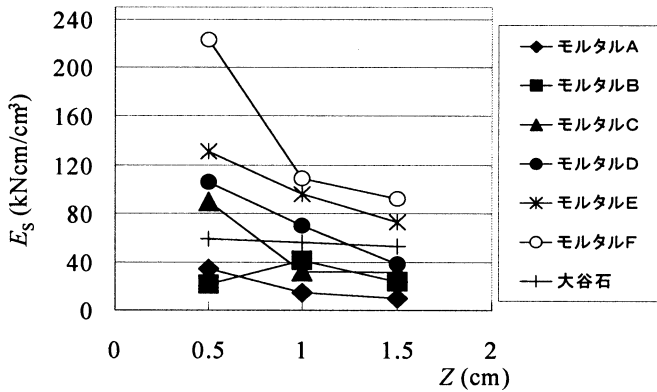


図-9 比エネルギー E_s と深さ Z の関係(合体刃)

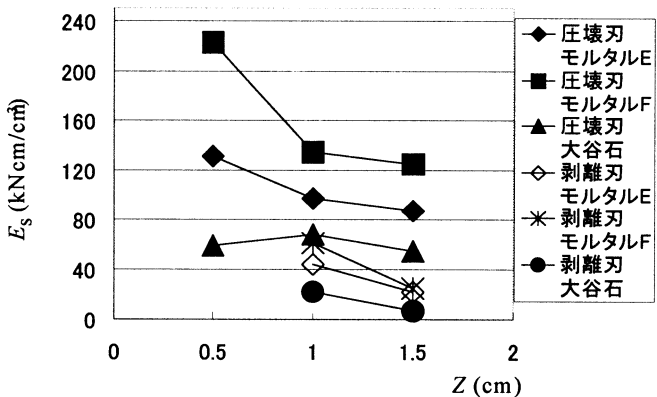


図-10 比エネルギー E_s での圧壊刃と剥離刃の関係

線方向力によって決定され、単位時間当たりの掘削動力として表す。

次に、掘削動力 P を上述の掘削土量 V_E で除することによって、単位体積を切削するのに必要な動力として表すことができ、これを比エネルギー E_s として次式のように定義する。

$$E_s = P/V_E \quad (\text{kNcm/cm}^3) \quad (11)$$

E_s : 比エネルギー (kNcm/cm³)

P : 掘削動力 (kNcm/s)

V_E : 掘削土量 (cm³/s)

また、図-9に合体刃による比エネルギー E_s と深さ Z の関係を示す。また、圧壊刃と剥離刃の関係を図-10に示す。

比エネルギー E_s は溝掘削特性を評価する際、掘削効率にあたりこの E_s の値がより小さければ、単位体積を掘削するのに必要な動力が小さいということになり、より効率のよい掘削であると判断できる。掘削動力 P (kNcm/s)および比エネルギー E_s (kNcm/cm³)について、切削深さ Z (cm)と岩石の一

軸圧縮強度 S_c (kN/cm²)の関係についてそれぞれ重回帰分析を行い、次式に示す実験式を得た。 R は重相関係数である。

$$P = 11.56Z^{0.707}S_c^{0.754} \quad (R=0.821) \quad (12)$$

$$E_s = 25.69Z^{0.787}S_c^{1.025} \quad (R=0.845) \quad (13)$$

図-9と図-10より、圧壊刃のみの掘削時に比べ合体刃の方が比エネルギーが小さいことにより、より効率的に掘削していることが分かる。また、モルタルE、モルタルF、大谷石における圧壊刃と剥離刃の比エネルギーを比較すると剥離刃は圧壊刃の平均で1/3.5で掘削していることが分かった。

4. 結論

溝掘削を行うことによって端面掘削をする剥離破砕刃がどの程度有効であるかを解明するために岩盤の溝掘削機を製作し、それを用いて様々な条件で実験を行い、円盤型溝掘削刃に作用する主分力、背分力、およびトルクとそれより算出する掘削動力、掘削土量、比エネルギーより溝掘削特性を明らかにした。その結果、次の新しい知見を得た。

- 1)比エネルギーにおいて圧壊刃と剥離刃では、剥離刃の方が約1/3.5倍となり効率的であることが分かった。
- 2)圧壊刃に及ぼす主分力、背分力およびトルク、剥離刃に及ぼす主分力、背分力およびトルクについて、切削深さと岩石の一軸圧縮強度の関係についてそれぞれ重回帰分析を行い、式(4)~(9)を得た。
- 3)掘削動力および比エネルギー E_s (kNcm/cm³)について、切削深さと岩石の一軸圧縮強度の関係についてそれぞれ重回帰分析を行い、式(12)~(13)を得た。

参考文献

- 1) 竹垣喜勝、古川忠彦、丸山健一：大型岩盤掘削機3500SMサーフィスマイナーの低騒音・低振動岩盤切削工法、建設機械、420、Vol.36、No.2、pp.46-50、2000年2月
- 2) 室達朗、土屋清、河野幸一、若林優輔：ディスクカッタビットによるモルタル端面の定常掘削特性に関する実験的考察、土木学会論文集No.687/III-56、pp.37-47、2001年9月