

Ⅵ-9 ディスクカッタビットの岩石に対する端面掘削に関する実験的考察

愛媛大学工学部 フェロー 室 達朗
愛媛大学大学院 学生会員 ○弓立 真人

1.はじめに 硬岩盤の掘削に適する T.B.M は従来のトンネル施工と比べ、驚異的な掘進速度が期待できるマシンであるが、ビットの摩耗問題など、改良すべき点が多々ある。掘削効率を向上させるためには、比エネルギーを減少させることが必要である。本実験では、従来の1自由面ではなく、2自由面を持つ端面掘削において、比エネルギーを減少すべく、擬似岩石と実岩石である安山岩、大谷石を用いて非定常掘削の特性を実験的に明らかにすることを目的とする。

2.実験装置および供試体 掘削実験に使用した実験装置概略図を図-1に示す。上部に設置した最大推力 50 kN、ストローク 35 cm のウォームギアジャッキに、出力 0.2 kw、回転数 0~28.5 r.p.m.の無段変速機付きモータの動力を伝えることで、ディスクカッタビットを一定の貫入速度 0~0.57cm/round の範囲で貫入させることができる。そして、出力 1.5 kw のモータの動力を減速機を通して供試岩石を載せたターンテーブルに伝え、回転させることで掘削を行う仕組みである。また、供試体として一軸圧縮強度 $S_c=1.0, 4.0\text{kN/cm}^2$ のセメントモルタル供試体を擬似岩盤とし、安山岩($S_c=9.7\text{kN/cm}^2$)、大谷石($S_c=1.0\text{kN/cm}^2$)を実岩石として使用した。

3.実験方法 図-2 に掘削部の概略図、作用力とその方向を示す。切込み幅 S は円柱供試体の側面から中心方向への距離を示しており、ディスクカッタビットの掘削軌跡円半径を 10cm とし、供試体の直径を変化させることで調節している。ディスクカッタビットに作用する掘削力は、転がり抵抗力 F_x 、横方向力 F_y 、推進力 F_z に分けてダイナモメータで測定した。実験は、切込み幅 S (cm)、貫入速度 p (cm/round)、直径 D (cm)、ディスクカッタビットの刃物角 $\alpha = \pi/6, \pi/4, \pi/3(\text{rad})$ の組み合わせにより実験を行った。表 1 に各供試体の実験条件を示す。また、実験で発生した掘削土量を電子天秤で測定した。

4.実験結果 図-3 に、掘削実験結果の一例として安山岩における定常掘削力 F_x, F_y, F_z と走行距離 L (cm)の関係を示す。この波形の各頂点でモルタルの破壊が生じており、これらの極大値の平均を掘削力 F_{XM}, F_{YM}, F_{ZM} とした。図-4 は安山岩における転がり抵抗力 F_{XM} と切込み幅 S との関係を示したものである。転がり抵抗力 F_{XM} は切込み幅 S 、貫入速度 p の増加と伴に大きくなっている。転がり抵抗力 F_{XM} (kN) と貫入速度 p (cm/round)、切込み幅 S (cm)、刃物角度 α (rad)、一軸圧縮強度 S_c (kN/cm²)との関係について重回帰分析を行い、次式に示す実験式を得た。 R は重相関係数である。

$$F_{XM}=0.253p^{0.767}S^{1.335}\alpha^{0.332}S_c^{0.987} \quad (R=0.942) \quad (1)$$

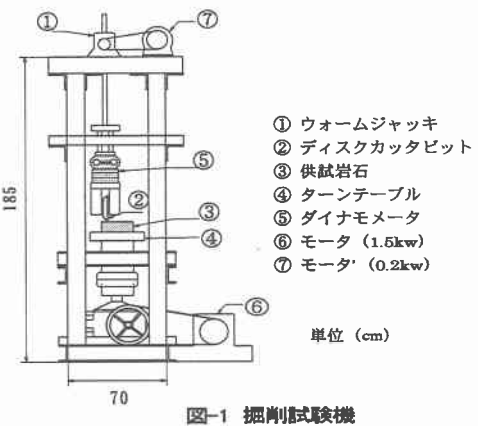


図-1 掘削試験機

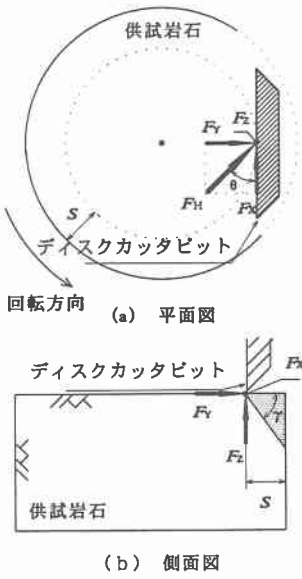


図2 掘削試験機掘削部

	モルタルA	モルタルB	安山岩	大谷石
一軸圧縮強度 $S_c(\text{kN/cm}^2)$	1.0	4.0	9.7	1.0
切り込み幅 $S(\text{cm})$	1.0, 1.5, 2.0 2.5, 3.0		1.0, 2.0, 3.0	
貫入速度 $p(\text{cm/round})$	0.1, 0.2, 0.3		0.05, 0.1, 0.2	0.1, 0.2, 0.3
直径 $D(\text{cm})$	22, 23, 24, 25, 26		22, 24, 26	

表1 供試体の実験条件

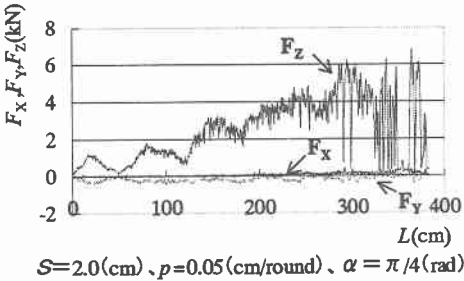


図-3 安山岩 掘削力 F_x, F_y, F_z と走行距離 L

掘削動力は、回転動力 P_R (kNcm/s)と推進動力 P_T (kNcm/s)に分けることができる。回転動力 P_R は、ディスクカッタビットの走行距離 L ($=\pi RN/30$) (cm)と転がり抵抗力 F_X (kN)の積を単位時間当たりで示したものである。推進動力 P_T は、掘削終了までの貫入量 Z ($=dN/60$)(cm)と推進力 F_Z (kN)との積を単位時間当たりで示したものである。また、回転動力と推進動力の和を全動力 P (kNcm/s)として算定した。図-5に安山岩における掘削時の全動力 P と切込み幅 S との関係を示す。全動力 P (kNcm/s)と貫入速度 p (cm/round)、切込み幅 S (cm)、刃物角度 α (rad)、一軸圧縮強度 S_C (kN/cm²)との関係について重回帰分析を行い、次式に示す実験式を得た。 R は重相関係数である。

$$P=0.289p^{1.030}S^{1.035}\alpha^{-0.025}S_C^{0.735} \quad (R=0.953) \quad (2)$$

効果的な掘削を示す指数として、掘削に要する全動力 P (kNcm/s)をそのとき発生した掘削土量 V_E (cm³/s)で除した値を比エネルギー E_S (kNcm/cm³)とする。ここにおける掘削土量とは、掘削により発生したずりを安山岩の単位体積重量と掘削時間で除したものである。

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

比エネルギーは、ある一定体積に対する必要仕事量であり、小さい値を示すほど効果的である。比エネルギー E_S (kNcm/cm³)と貫入速度 p (cm/round)、切込み幅 S (cm)、刃物角度 α (rad)、一軸圧縮強度 S_C (kN/cm²)との関係について重回帰分析を行い、次式に示す実験式を得た。 R は重相関係数である。

$$E_S=0.105p^{0.576}S^{-0.869}\alpha^{-0.273}S_C^{0.880} \quad (R=0.889) \quad (4)$$

端面掘削の有効性を示すため破壊靱性(MN/m^{1.5})と一軸圧縮強度(MPa)からなる比エネルギーを最小にするための掘削軌道間隔 H (cm),貫入量 Z (cm)において $(H/Z)_{OP}$ という最適掘削条件¹⁾により平面掘削実験を行った。図-6に安山岩における平面・端面掘削の比エネルギー E_S と切込み幅 S の関係を示す。平面掘削の比エネルギーは各刃物角における比エネルギーを平均したものである。端面掘削の方が効率的であることがわかる。最適な掘削条件を求めるため、切込み幅 S (cm)を貫入速度 p (cm/round) で除した S/p に対する比エネルギー E_S (kNcm/cm³)の関係を示す。図-7に一例を載せる。図より、 S/p の増加に対して放物線的に増加する傾向が見られる。比エネルギー E_S を S/p に対して二次曲線に回帰できたモルタル A と安山岩について以下に示す。

$$\text{モルタル A} \quad (\alpha=\pi/3 \text{ rad}) \quad E_S=2.994 \times 10^{-5}(S/p-28.4)^2+0.012 \quad (r=0.688) \quad (5)$$

$$\text{安山岩} \quad (\alpha=\pi/4 \text{ rad}) \quad E_S=9.390 \times 10^{-5}(S/p-52.7)^2+0.036 \quad (r=0.862) \quad (6)$$

5.まとめ 以上の結果により、最適な掘削条件は、モルタル A において切り込み幅 S (cm)を貫入速度 p (cm/round)で除した $S/p=28.4$ 、安山岩においては切り込み幅 S (cm)を貫入速度 p (cm/round)で除した $S/p=52.7$ であることが判明し、また、平面掘削方式に対する端面掘削方式の比エネルギーの比率は、モルタル A において約 1/18、モルタル B において約 1/41、安山岩において約 1/21、大谷石において約 1/9 に減少することが判明した。

参考文献 1) F.Gong, 佐藤一彦、浅井秀明：円周軌道切削における最適切削条件及び最大切削抵抗—ディスクカッタによる岩石の切削に関する研究(第2報)—,資源・素材学会誌、第108巻、第12号、pp.849~854,1992

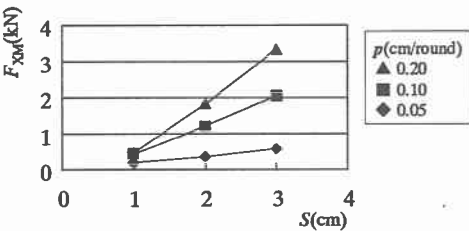


図-4 転がり抵抗力 F_{XM} と切込み幅 S
安山岩 ($\alpha=\pi/4$ rad)

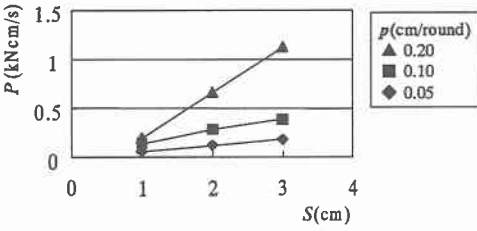


図-5 全動力 P と切込み幅 S
安山岩 ($\alpha=\pi/4$ rad)

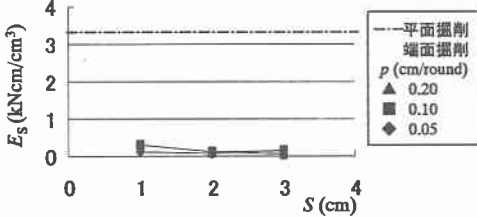


図-6 平面掘削と端面掘削における
比エネルギー E_S と切込み幅 S
安山岩

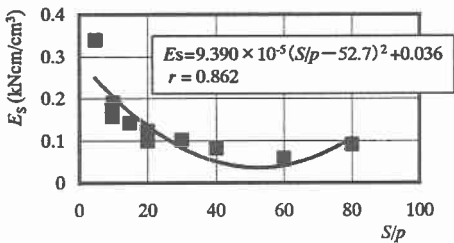


図-7 比エネルギー E_S と S/p
安山岩 ($\alpha=\pi/4$ rad)