

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 ○青木 宏至
 日本道路(株) 正会員 馬越 英貴

1.はじめに 近年の土木建設業界では、施工現場において周辺環境の制約により発破工法は適用できない場合が多い。その中、安全かつ作業効率の高い掘削機械が必要とされている。過去の研究報告から刃物に振動を加えた掘削方式は非常に有望であることが示されている。本研究では振動切削実験装置を用いてモルタルの振動切削実験を行い、振動切削における重要なパラメータである振動周波数、振動振幅、切削速度の影響について検討する。

2.実験装置および供試体 本実験装置は実験装置本体、油圧システムで構成されている。実験装置本体の概略図を Fig.1 に示す。実験装置本体には、様々な振動を生み出すアクチュエータ、切削刃、切削する際に刃に作用する諸力を測定するダイナモメータ、供試体を固定し切削刃に送る供試体送りテーブルが備え付けられており、切削刃をその場で振動させ、そこへ供試体送りテーブルに載せた供試体を送り込むことによって、振動切削を行う仕組みである。テーブル送り速度は 0.35 ～ 2.0 cm/s の間で調節することができ、その速度を切削速度とする。切削刃には、刃幅 5 cm、刃物角 $\pi/3$ rad の平刃を使用した。ダイナモメータで測定可能な項目は切削抵抗の水平成分と鉛直成分である。油圧システムでは、振動周波数 0～500 Hz、振幅 0～1.0 cm の範囲でその組み合わせには機械的な限界はあるが、その範囲内で自由に設定することができる。また、供試体には寸法 25×25×60 cm、一軸圧縮強度 2.94 MPa のセメントモルタルを使用した。

3.実験方法 実験は上記に示す実験装置を用い、振動周波数 f 、振幅 a 、切削速度 V を様々に変化させながら行う。今回の実験では、まず始めに、 $f=0, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70$ Hz の 12 通り、振幅 $a=0.07, 0.09, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 1$ cm の 10 通りで実験を行い、最も有効な組み合わせを見い出す。ただし、各振動周波数における最大振幅は、2 Hz から順に 1, 1, 1, 0.8, 0.6, 0.3, 0.2, 0.15, 0.1, 0.09, 0.07 cm である。その有効な切削条件に対してそれぞれ、 $V=0.35, 0.5, 0.65, 0.8, 0.95$ cm/s の 5 通りで実験を行う。また、すくい角 $\alpha=\pi/9$ rad、切削深さ $z=1.2$ cm で一定とした。測定項目は切削抵抗の水平成分と鉛直成分と切削土量であり、切削抵抗はダイナモメータで測定しレコーダに記録する。切削土量は切削断面に供試体送り速度を乗じて算出する。

4.実験結果 Fig.2 に切削刃に作用する諸力を示す。ここで、切削抵抗を F 、その水平成分、鉛直成分をそれぞれ主分力 F_x 、背分力 F_z とし、それぞれの矢印の方向を正とした。

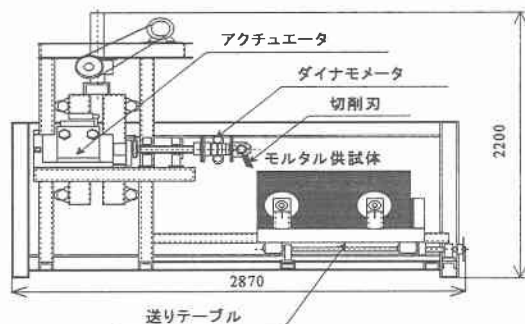


Fig.1 実験装置概略図

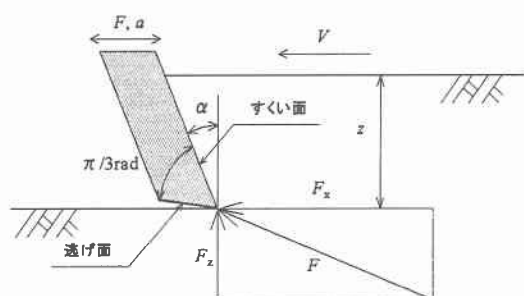


Fig.2 切削刃に作用する諸力

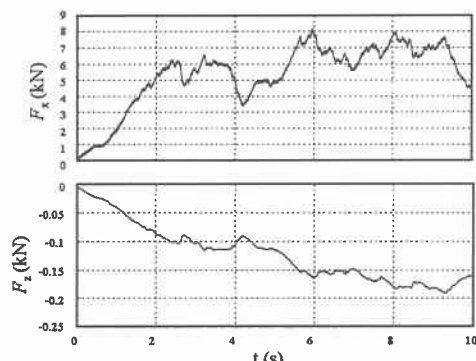


Fig.3 無振動切削実験測定結果

$f=0$ Hz, $a=0$ cm, $z=1.2$ cm, $V=0.35$ cm/s

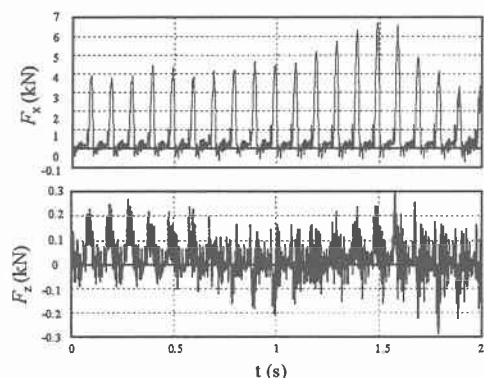


Fig.4 振動切削実験測定結果

$f=10$ Hz, $a=0.4$ cm, $z=1.2$ cm, $V=0.35$ cm/s

Fig.3、Fig.4 は無振動・振動切削実験の測定結果の一部で、切削時間

t と主分力 F_x と背分力 F_z の関係を示したものである。ここで、実際に供試体を切削しているのは、主分力 F_x の正の値であり、正の部分の面積を切削に使われた仕事量 W (kNcm)と仮定し、切削した時間 t (s)とし、切削に使われた仕事率 P (kNcm/s)を次式により定義する。

$$P=W/t \tag{1}$$

本実験における切削土量の測定に関して、切削溝の幅方向のチップング現象が顕著ではないため、切削土量 Q (cm³/s)は、切削深さ z (cm)、供試体送り速度 V (cm/s)、刃幅 B (cm)により次式で定義する。

$$Q=z \times V \times B \tag{2}$$

上述の仕事率 P を切削土量 Q で除することによって、単位体積を切削するのに必要な仕事量として表すことができる。これを比エネルギー S_E (kNcm/cm³)とし、次式のように定義する。

$$S_E=P/Q \tag{3}$$

比エネルギー S_E の値が小さければ、単位体積を切削するのに必要な仕事量が小さいということであり、より効率のよい切削であると判断できる。

Fig.5は $V=0.65$ cm/sにおける比エネルギー S_E と振動周波数 f の関係を示したものである。 $f=10, 20$ Hzまで S_E は f の増加とともに減少し、 $f=10, 20$ Hzにおいて最小値を示し、その後 f とともに緩やかに増加する傾向が見られる。

Fig.6は $V=0.65$ cm/sにおける比エネルギー S_E と振動振幅 a の関係を示したものである。 S_E は a の増加に伴い緩やかに減少し、各振動周波数における最大振幅で最小値を示す傾向が見られる。

Fig.7は $f=10$ Hzにおける比エネルギー S_E と切削速度 V の関係を示したものである。 $V=0.65\sim0.8$ cm/sまで V の増加に伴い S_E は減少しそこで最小値を示す。その後は V の増加に伴い増加する傾向を示す。

次に、振動切削に重要なパラメータである振動周波数、振動振幅、切削速度、この3つのパラメータより構成される速度比¹⁾(無次元量)の概念を導入し検討する。速度比 λ は次式のように定義される。

$$\lambda=2\pi\frac{f\cdot a}{V} \tag{4}$$

Fig.8は比エネルギー S_E と無振動切削時における比エネルギー S_{E0} の比 S_E/S_{E0} と速度比 λ の関係を示す。 λ の増加に伴い S_E/S_{E0} の値は減少する傾向を示す。

5.まとめ 以上の結果より、モルタルに対する最も効率の良い振動切削条件は、総合的に判断し振動周波数 $f=20$ Hz、振幅 $a=0.3$ cm、切削速度 $V=0.8$ cm/sであることが判明した。

参考文献 1)金須正幸, 福地博, 伊藤義夫, 加藤弘道: 土の切削における振動効果の機構解明, 弘前大学農学部学術報告, No.48, pp.1~20, 1987.

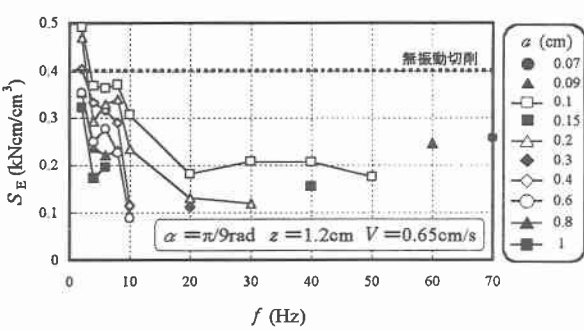


Fig.5 比エネルギー S_E と振動周波数 f の関係

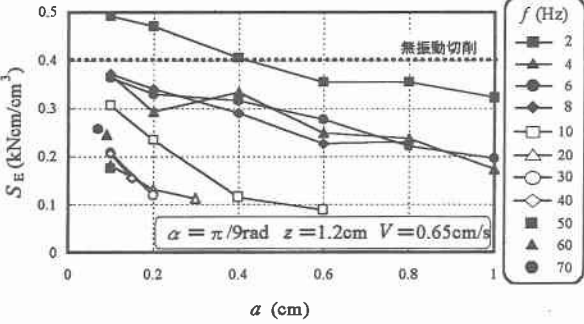


Fig.6 比エネルギー S_E と振動振幅 a の関係

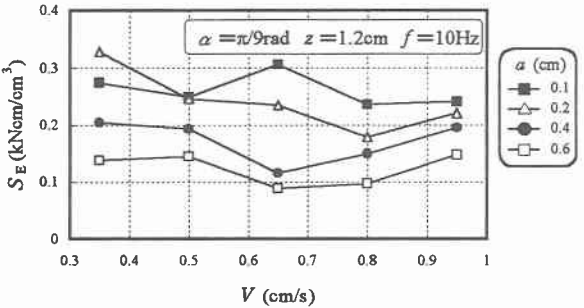


Fig.7 比エネルギー S_E と切削速度 V の関係

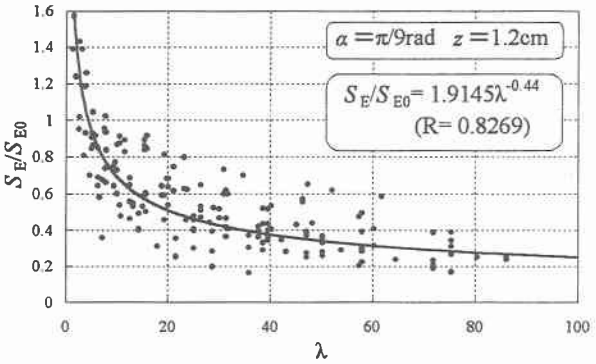


Fig.8 S_E/S_{E0} と速度比 λ の関係