

愛媛大学工学部 フェロー 室 達朗
 愛媛大学工学部 正会員 河原 荘一郎
 愛媛大学大学院 学生会員 ○青木 宏至
 愛媛大学大学院 学生会員 馬越 英貴

1.はじめに 近年の土木建設業界では、都市近郊の岩盤破碎工事が増加しており、公害防止の観点から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平刃によるモルタルの振動切削実験を行い、振動切削の性能や特性を調査する。

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、測定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、供試体送りテーブルが備え付けられており、この送りテーブルにより供試体を切削刃に送り切削する仕組みである。切削刃は、刃幅 5 cm、刃物角 $\pi/3$ rad の平刃を使用した。油圧システムでは、振動周波数、振幅、振動波形を任意に設定することができ、0~500 Hz の幅広い加振が可能である。切削抵抗の測定はダイナモメータで行う。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。また、供試体として寸法 25×25×60 cm、一軸圧縮強度 1.47 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 、すくい角 α 、振幅を様々に変化させながら行う。今回の実験では $f=0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70$ Hz の 8 通り、すくい角 $\alpha=0, \pi/18, \pi/9, \pi/6$ rad の 4 通りで行った。また、振幅はすべて最大振幅で行い、各振動周波数における最大振幅は、10 Hz から順に 0.6, 0.3, 0.2, 0.15, 0.1, 0.09, 0.07 cm である。切削深さ $z=0.8$ cm、供試体送り速度 $V=0.144$ cm/s 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、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、 F と F_x のなす角を作用角 δ とした。また、矢印の方向を正とした。Fig.3 は振動切削実験の測定結果の一部で、切削長 L と主分力 F_x と背分力 F_z の関係を示したものである。切削長 L (cm) に関しては、サンプリング間隔 s (μ s) とデータの個数 n 、供試体送り速度 V (cm/s) により、次

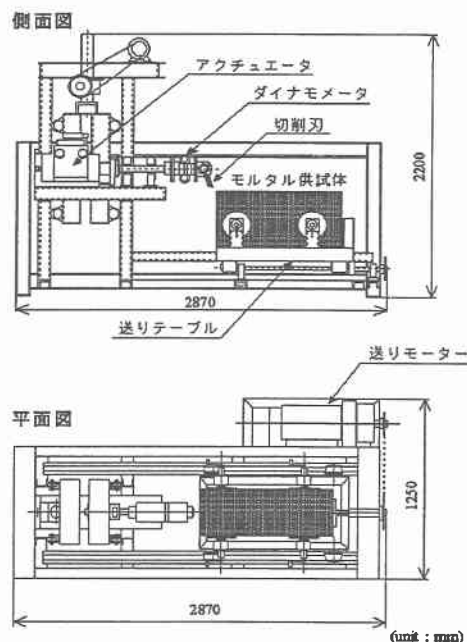


Fig.1 実験装置側面図・平面図

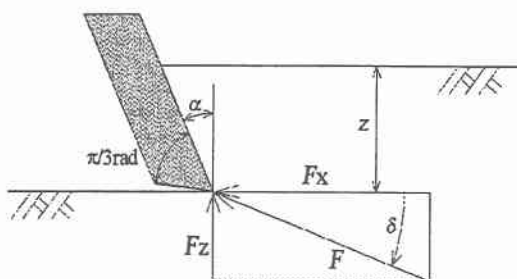


Fig.2 切削刃に作用する諸力

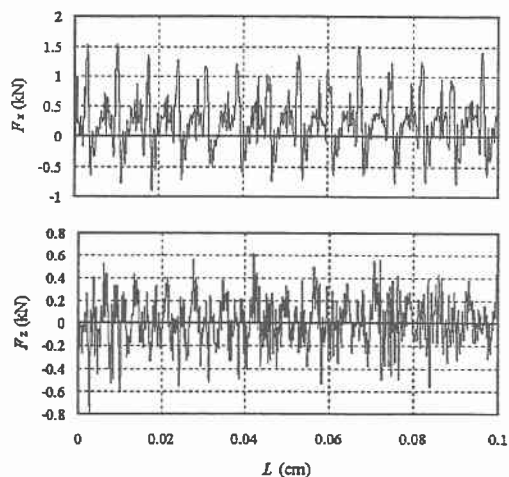


Fig.3 振動切削実験測定結果 $z=0.8$ cm $\alpha=\pi/6$ rad $f=20$ Hz

式を用いて算出した。

$$L = snV \times 10^{-6} \quad (1)$$

本実験では、サンプリング間隔は無振動実験では $500 \mu s$ 、振動実験では $100 \mu s$ で行った。

Fig.4 は主分力 F_x と加速度振幅の関係を各すくい角 α ごとに示したものである。ここでの F_x の値は、Fig.3 で示した波の正のピーク値を 10 個とり、平均したものである。また、加速度振幅は振幅 a を 2 回微分したもので、 A とすると振動周波数 f と振幅 a により次式で表せる。

$$A = a(2\pi f)^2 \quad (2)$$

F_x はすべての α において無振動切削の時が最も大きく A が約 7 cm/s^2 すなわち $f=30 \text{ Hz}$ 、 $a=0.2 \text{ cm}$ までは、 f の増加に伴い F_x は減少し、約 7 cm/s^2 で最小値をとり、約 7 cm/s^2 より大きくなると、 f の増加に伴い F_x も増加する傾向が見られる。笈田の提案した関数¹⁾を取り入れることで以下に主分力 F_x は、振動周波数 f 、すくい角 α 、振幅 a の関数で与えられるとして行った重回帰分析の結果を示す。

$$F_x = 7.54(\cos \alpha)^{-0.662} \left\{ 1 + 1.43 \left[0.0889 - 50.7 \exp(-0.00678 A) + 148 \{ \exp(-0.00678 A) \}^2 \right]^{0.930} \right\}^{-0.221} \quad (3)$$

ここで、相関係数は $r=0.883$ である。

Fig.2 に示した主分力 F_x の波で、正の部分の面積を切削に使われた仕事量 $W(\text{kNcm})$ と仮定し、切削した時間を $t(\text{s})$ とすると、切削に使われた仕事率 $P(\text{kNcm/s})$ は次式により算出される。

$$P = W/t \quad (4)$$

本実験は、定常切削であることから、刃幅 $B(\text{cm})$ 、切削深さ $z(\text{cm})$ 、供試体送り速度 $V(\text{cm/s})$ により、単位時間当たりの切削土量 $Q(\text{cm}^3/\text{s})$ は、次式を用いて算出される。

$$Q = BzV \quad (5)$$

単位切削土量当たりの切削に使われた単位時間当たり仕事量のことを比エネルギー $S_E(\text{kNcm/cm}^3)$ とすると、 S_E は次式を用いて算出される。

$$S_E = P/Q \quad (6)$$

また、無振動切削と振動切削の比エネルギーを比較するため、各すくい角での、無振動切削の比エネルギーを算出した。その結果、 0 rad から順に $1.50, 0.996, 0.664, 0.616 \text{ kNcm/cm}^3$ という値が得られた。比エネルギーが小さいということは、同じ土量を切削するのに必要な単位時間当たりの仕事量が小さいということであり、比エネルギーが小さい方がより効率的な切削であるといえる。

Fig.5 は比エネルギー S_E と振動周波数 f との関係を示したものである。 S_E はすべての α において f が 20 Hz で最小値をとり、その後 f の増加に伴い S_E も増加する傾向が見られる。また、振動を加えると比エネルギーは大幅に減少する傾向が見られる。

5.まとめ 以上の結果より、本実験条件において切削刃に作用する切削抵抗は、振動周波数 $f=30 \text{ Hz}$ 、振幅 $a=0.2 \text{ cm}$ の時、最も小さくなる。比エネルギーは、振動周波数 $f=20 \text{ Hz}$ 、振幅 $a=0.2 \text{ cm}$ の時、最も小さくなる。

6.参考文献 1)室 達朗著：テラメカニックスー走行力学一、技報堂出版、pp.114～115、1993。

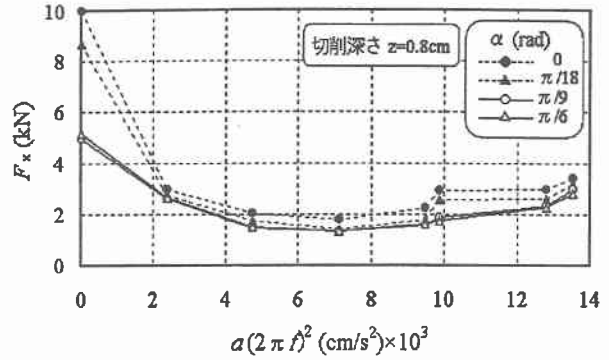


Fig.4 主分力 F_x と加速度振幅の関係

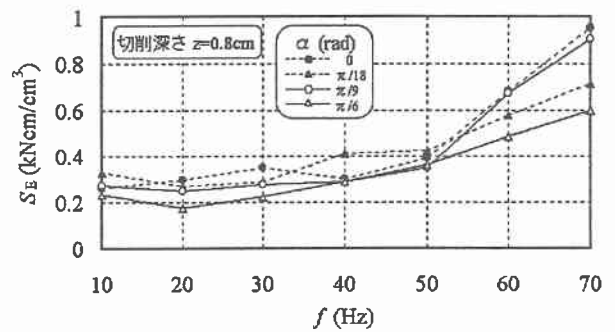


Fig.5 比エネルギー S_E と振動周波数 f の関係