

VI-7 大谷石に対するバケットツースチップの振動切削効果

愛媛大学大学院
愛媛大学工学部

学生会員○橋本 敏徳
フェロー 室 達朗

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大谷石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、切削する際刃に作用する諸力を測定するロードセル、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。切削刃には、刃幅 1 cm、刃物角 $\pi/4$ rad の小型バケットツースチップを使用した。また、供試体には寸法 $25 \times 25 \times 25$ cm、一軸圧縮強度 10.3 MPa の大谷石を使用した。

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。また、すくい角 $\alpha = \pi/6$ rad で一定とし、切削深さ $z = 0.8, 1.2, 1.6$ cm の 3 通りとした。測定項目は切削抵抗の水平成分と鉛直成分であり、切削抵抗はロードセルで測定しレコーダに記録する。

4.結果と考察 Fig.2 は $V = 0.65$ cm/s における主分力 F_{xm} と振動周波数 f の関係を示したものである。 $f = 40$ Hz まで F_{xm} は f の増加とともに減少し、 $f = 40$ 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。またどの値も無振動切削時の値を下回っており、 $f = 30, 40$ Hz 付近では最大で約 70% の減少が見られる。

Fig.3 は $V = 0.65$ cm/s における主分力 F_{xm} と振動振幅 a の関係を示したものである。 F_{xm} 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はほぼ最小の値を示す傾向が見られる。

Fig.4 は $f = 10$ Hz における主分力 F_{xm} と切削速度 V の関係を示したものである。 F_{xm} は V の増加に伴い緩やかに増加する傾向を示した。ここで、主分力 F_{xm} は $z = 0.8$ cm に関してそれぞれ振動周波数 f 、振動振幅 a 、切削速度 V の関数で与えられるとし、それらによる影響を考慮に入れて行った重回帰分析の結果と相関係数 R を示す。

$$F_{xm} = 2.12 \cdot f^{-0.2946} \cdot a^{-0.1395} \cdot (1 + 1.25 \cdot V^{2.819}) \quad (R = 0.734) \quad (1)$$

次に主分力 F_x の行った仕事量を W (kNcm)、切削した時間を t (s) とする。切削に使われた仕事率 P (kNcm/s) を次式で定義する。

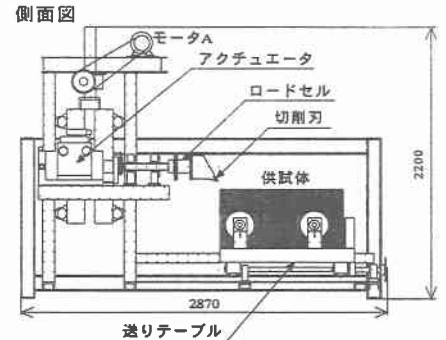


Fig.1 実験装置概略図

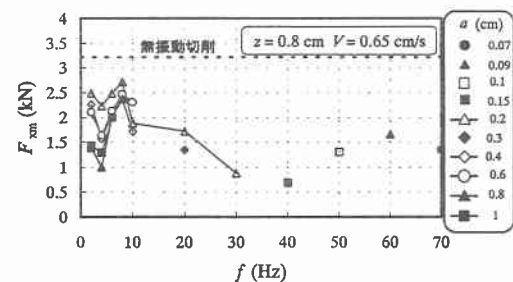


Fig.2 主分力 F_{xm} と振動周波数 f の関係

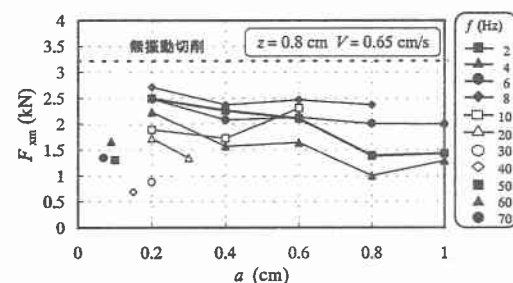


Fig.3 主分力 F_{xm} と振動振幅 a の関係

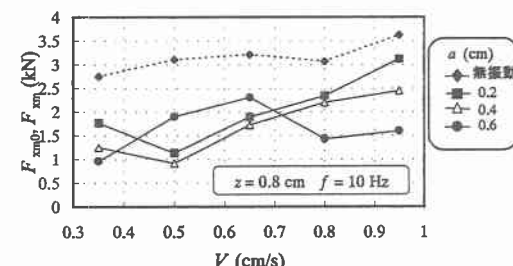


Fig.4 主分力 F_{xm} と切削速度 V の関係

$$P = W / t \quad (2)$$

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。

$$Q = z \times V \times B \quad (3)$$

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 (kJNcm/cm³) とし、次式のように定義する。

$$S_E = P / Q \quad (4)$$

この比エネルギー 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。 $f=40$ Hz まで S_E は f の増加とともに減少し、 $f=40$ 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。またどの値も無振動切削時の値を下回っており、 $f=30, 40$ Hz 付近では最大で約 80% の減少が見られる。

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ほぼ最小の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。無振動切削では、 S_E は V の影響を受けるが、振動切削では V が S_E に及ぼす影響はあまり見られない。ここで、比エネルギー S_E は $z=0.8$ cm に関してそれぞれ振動周波数 f 、振動振幅 a 、切削速度 V の関数で与えられるとし、それらによる影響を考慮に入れて行った重回帰分析の結果と相関係数 R を示す。

$$S_E = 1.15 \times 10^{-1} \cdot f^{-0.42} \cdot a^{-0.27} \cdot (1 + 14.17 \cdot V^{0.05}) \quad (R=0.586) \quad (5)$$

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従来の速度比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。

$$\lambda = 2\pi \cdot (f \cdot a) / V \quad (6)$$

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。つまり、 λ の値が大きいほど効率の良い切削が可能であることを示している。ここで $z=0.8$ cm, $a=0.2$ cm, $V=0.65$ cm/s における比 S_E/S_{E0} と速度比 λ との関係を一例として次式に示す。

$$S_E/S_{E0} = 4.898 \cdot \lambda^{-0.719} \quad (R=0.904) \quad (7)$$

また、 S_E/S_{E0} は速度比 λ と切削深さ z の関数で与えられるとして行った重回帰分析の結果と相関係数 R を示す。

$$z=0.8 \text{ cm} \quad S_E/S_{E0} = 1.763 \cdot \lambda^{-0.403} \quad (R=0.414) \quad (8)$$

$$z=1.2 \text{ cm} \quad S_E/S_{E0} = 1.846 \cdot \lambda^{-0.348} \quad (R=0.462) \quad (9)$$

$$S_E/S_{E0} = 1.785 \cdot \lambda^{-0.368} \cdot z^{0.561} \quad (R=0.444) \quad (10)$$

5.まとめ 本研究において無振動切削と比較して振動切削は非常に有効であることが確認できた。また、振動切削において大谷石には最適な切削条件が存在することが確認され、速度比を大きく、すなわち切削速度を小さく、振動周波数と振動振幅の積を大きくするほど最適な切削ができることが確認できた。

参考文献 1) 金須正幸 他：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.48，1987。

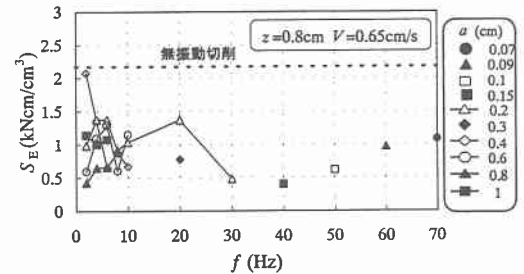


Fig.5 比エネルギー S_E と振動周波数 f の関係

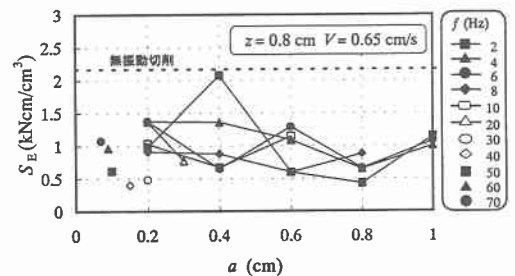


Fig.6 比エネルギー S_E と振動振幅 a の関係

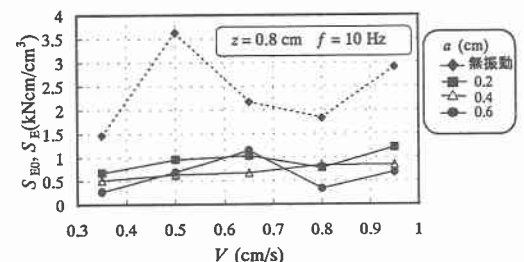


Fig.7 比エネルギー S_E と切削速度 V の関係

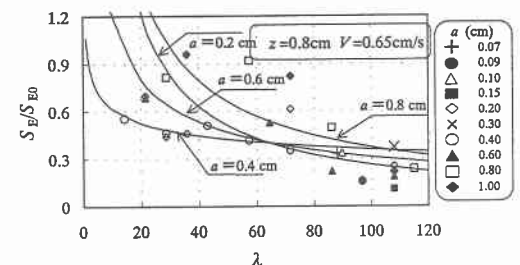


Fig.8 S_E/S_{E0} と速度比 λ の関係