

VI-9 大谷石に対するバケットツースの三角波による振動掘削効果

愛媛大学大学院 学生会員 ○黒瀬 賢二郎
 愛媛大学工学部 フェロー 室 達朗
 愛媛県庁 橋本 敏徳
 愛媛大学大学院 岩田 智明

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 実験装置には、様々な振動を生み出すアクチュエータ、切削刃、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¹⁾。テーブル送り速度は0.35～2.00 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 $B=1\text{cm}$ 、刃物角 $\pi/4\text{ rad}$ の小型バケットツースを使用した。油圧システムでは、振動周波数0～500 Hz、振幅0～1.0 cmの範囲で自由に設定することができる。また、供試体として一軸圧縮強度10.3 MPaの大谷石を使用した。

3.実験方法 実験は振動周波数 $f=0, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70\text{ Hz}$ の計12通り、振幅 $a=0.07, 0.09, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0\text{ cm}$ の計10通り、振動波形を三角波で実験を行う。その切削条件に対してそれぞれ、切削速度 $V=0.35, 0.5, 0.65, 0.8, 0.95\text{ cm/s}$ の計5通り、切削深さ $z=0.8, 1.2, 1.6\text{ cm}$ の計3通り、すくい角 $\alpha=\pi/6\text{ rad}$ とする。測定項目は切削抵抗の水平成分と鉛直成分および切削土量であり、切削抵抗はロードセルで測定しレコーダに記録する。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.切削抵抗の解析 図.1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、鉛直成分である主分力 F_x 、背分力 F_z とし、それぞれの矢印の方向を正とした。

切削刃が供試岩石に対して三角波運動をするとき、岩石に対する変位を X とすると、 X は1)式で与えられ、岩石に対する速度は、2)式で与えられる。

$$X = Vt - (-1)^n \times 2an + (-1)^n \times \frac{2a\omega t}{\pi} \quad (n=0, 1, 2 \dots) \quad 1)$$

$$\frac{dX}{dt} = V + (-1)^n \frac{2a\omega}{\pi} \quad 2)$$

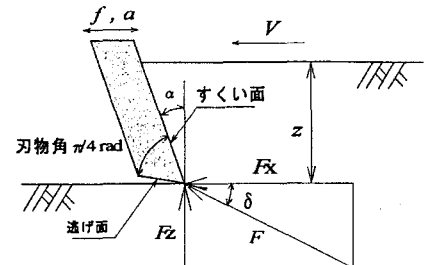


図1 切削刃に作用する諸力

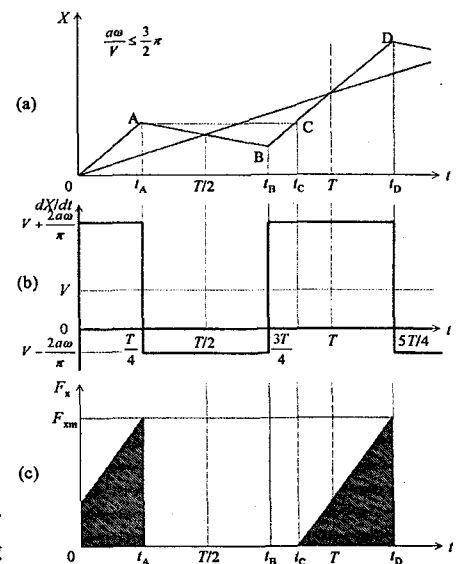


図2 三角波のサイクル図

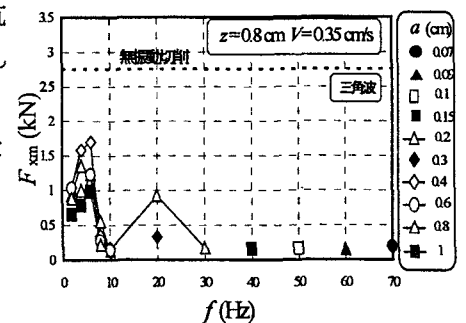


図3 切削抵抗 F_{xm} と振動周波数 f の関係

図.2に三角波の1サイクル当たりの切削刃の変位 X 、運動速度 dX/dt および主分力 F_x の変化を示す。

図.3に $z=0.8\text{cm}$ 、 $V=0.35\text{cm/s}$ における主分力 F_{xm} と振動周波数 f の関係を、無振動切削時の F_{xm0} について示す。 f が増加するに従い、 F_{xm} は著しく減少し、大谷石では $f=30\text{ Hz}$ 付近で最小値をとる。その後、 F_{xm} は f の増加とともに緩やかに増加する。無振動切削時における F_{xm0} と比較して振動切削時の F_{xm} が下回っている。最小値付近では

最大で80～95 %の減少が見られる。

図.4に主分力 F_{xm} と振動振幅 a の関係を同一実験下について無振動切削時の F_{xm0} と併せて示す。 a の増加に対する F_{xm} の減少量はわずかに減少するだけで振幅による影響が小さい。

図.5に $z=1.2\text{cm}$ 、 $f=8\text{Hz}$ における主分力 F_{xm} と切削速度 V の関係を無振動切削時の F_{xm0} について示す。 V の増加に伴い F_{xm} は増加する傾向がある。以下に、主分力 F_{xm} (kN) は、切削深さ $z=0.8\text{cm}$ に関してそれぞれ振動周波数 f (Hz)、振動振幅 a (cm) と切削速度 V (cm/s) 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を示す。

$$F_{xm} = 4.56 \cdot f^{-0.329} \cdot a^{-0.222} \cdot (1 + 0.792 \cdot V^{4.916}) \quad (R=0.617) \quad 3)$$

図.6に $z=0.8\text{cm}$ 、 $V=0.35\text{cm/s}$ における主分力 F_{xm} と無振動切削時における F_{xm0} の切削力比 F_{xm}/F_{xm0} と速度比 $\lambda (=2\pi fa/V)$ の関係について示す。全ての図において、 λ の増加に伴い F_{xm}/F_{xm0} の値は減少している。 F_{xm}/F_{xm0} の値が減少するということは、 F_x の無振動切削時における F_{xm0} に対する割合が小さくなり、振動切削による主分力の減少の程度を確認できる。ここで、主分力 F_{xm} と無振動切削時における F_{xm0} の切削力比 F_{xm}/F_{xm0} は、速度比 λ と切削深さ z の関数で与えられるとして、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を示す。

$$F_{xm}/F_{xm0} = 1.55 \cdot \lambda^{-0.424} \cdot z^{0.182} \quad (R=0.528) \quad 4)$$

次式により主分力 F_x の正の値による仕事量 W を定義する。

$$W = \int_0^L F_x dx \quad (\text{kNcm}) \quad 5)$$

ここで L (cm) は、主分力 F_x が正の値を示した時間に供試体上を進んだ距離である。次に、単位時間当たりの仕事量として仕事率 P を次式により定義する。

$$P = W/t \quad (\text{kNcm/s}) \quad 6)$$

ここで t (s) は、主分力 F_x が正の値を示した時間である。

仕事率 P を切削土量 $Q (=z/B)\text{kNcm/cm}^3$ 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 とし、次式のように定義する。

$$S_E = P/Q \quad (\text{kNcm/cm}^3) \quad 7)$$

図.7 $z=0.8\text{cm}$ 、 $V=0.35\text{cm/s}$ における S_E と無振動切削時における S_{E0} の比 S_E/S_{E0} と速度比 λ の関係について示す。 λ がより大きい値をとると比エネルギー比 S_E/S_{E0} を減少させ効率的であると判断できる。

5.まとめ 無振動時と振動切削時の切削力比 F_{xm}/F_{xm0} 、および比エネルギー比 S_E/S_{E0} は速度比 λ の増加に伴い減少する。速度比 λ の大きくなるような振動周波数 f 、振動振幅 a 、切削速度 V の組み合わせでの振動切削が効率的であるといえる。

参考文献 1) T. Muro and D. T. Tran :Vibro-cotting characteristics of

a blade for a weak rock, The 14th International Conference of the International Society for Terrain-Vehicle Systems, Vicksburg, MS USA, CD/ROM 11pages, Oct, 2002

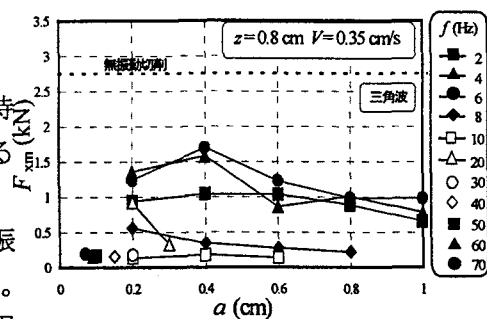


図.4 主分力 F_{xm} と振動振幅 a の関係

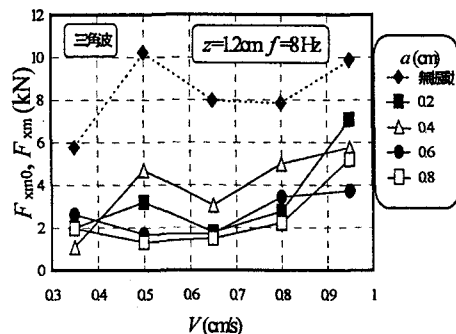


図.5 主分力 F_{xm0} 、 F_{xm} と切削速度 V の関係

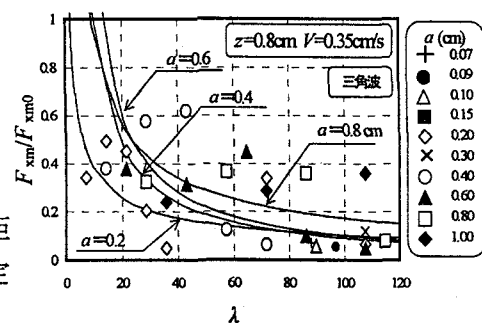


図.6 切削力比 F_{xm}/F_{xm0} と速度比 λ の関係

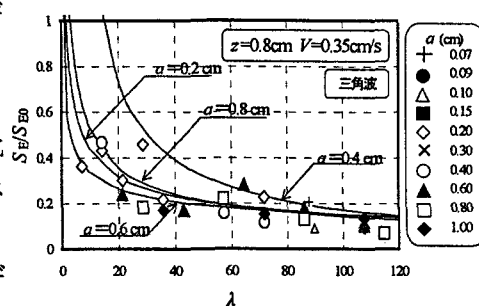


図.7 比エネルギー比 S_E/S_{E0} と速度比 λ の関係