

愛媛大学大学院 学生会員 馬越 英貴
 愛媛大学工学部 フェロー 室 達朗
 (株)森組 延本 基春

1.はじめに 最近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、硬岩掘削における発破の使用が制限される場合が非常に増加している。その中、安全、経済的かつ迅速に施工することが望まれ、作業の自動化、機械化、省エネ化が要求されているが、現在そのニーズに充分応えられているかは疑問である。本研究では回転式岩盤切削機による仕事量を予め理論的に求めることを目的としている。

2. 切削メカニズム ダウンカットにおけるポイントアタックビットの先端が描く軌跡はトロコイド曲線であり、Fig.1 において転動軌跡上の任意の点 $F(X,Y)$ は、ビットの回転半径 R 、供試体送り速度 V 、回転角速度 ω 、および時間 t を用いて 次式で与えられる。

$$X = Vt - R \sin \omega t \quad (1)$$

$$Y = R(1 - \cos \omega t) \quad (2)$$

F 点が切削深さ $Y = z$ の位置にあるときの原点から F 点までの軌跡の長さ L は次式によって算定される。

$$L = \int_0^t \{1 + (dY/dX)^2\}^{1/2} dX \\ = R \omega \int_0^t \left\{ \left(\frac{V}{R\omega} \right)^2 - \frac{2V \cos \omega t}{R\omega} + 1 \right\}^{1/2} dt \quad (3)$$

次に Fig.2 は、切削溝の平面図を示したものである。各ビットの 1 打撃当たりの切削せん断面積 a と切削容量 q は、進行方向および横方向切削ピッチ p_{lon} 、 p_{lat} 、切削深さ z 、切削長 L を用いて次式で概算することができる。

$$\text{「Bit 1」} \quad a = \frac{7}{4} \times p_{lon} \times z + L \times p_{lat} \quad q = \frac{7}{8} \times p_{lon} \times p_{lat} \times z$$

$$\text{「Bit 2」} \quad a = \frac{5}{4} \times p_{lon} \times z + L \times p_{lat} \quad q = \frac{7}{8} \times p_{lon} \times p_{lat} \times z$$

$$\text{「Bit 3、4」} \quad a = p_{lon} \times z + L \times p_{lat} \quad q = \frac{1}{2} \times p_{lon} \times p_{lat} \times z \quad (6)$$

Fig.3 は、切削溝の進行方向断面図を示したものである。切削断面の形状は半月状であり、各ビットの回転とともに切削厚さ h (s) は、 P 点からの軌跡の長さ s によって変化する。 $h(s)$ は PE 上の任意の点 C の法線とその 1 つ前の軌跡との交点 A との距離であり、直線 AC と水平線 AB とのなす角度 θ を用いて次式¹⁾で表される。

$$h(s) = p_{lon} \cos \theta \quad (7)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{R \omega \cos \omega t - V}{R \omega \sin \omega t} \right) \quad (8)$$

なお、 A 点が地表面と接する位置 F 点にあるときの弧 PQ の長さを sQ 、直線 FQ の長さを $h(sQ)$ とすると $h(s)$ は次式のように与えられる。

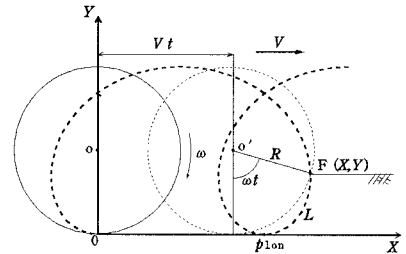
$$h(s) = \frac{h(sQ)(L-s)}{L-sQ} \quad (9)$$


Fig. 1 ポイントアタックビットの転動軌跡

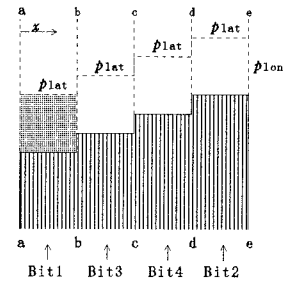


Fig. 2 進行方向切削平面図

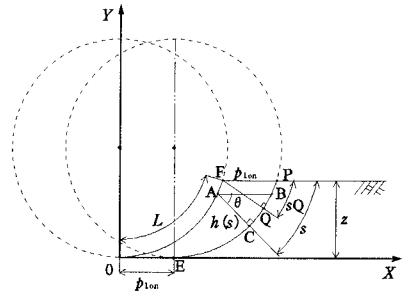


Fig. 3 進行方向切削断面図

キーワード：ポイントアタックビット、モルタル、衝撃切削

〒790-8577 愛媛県松山市文京町3 TEL. 089-927-9814 FAX. 089-927-9845

一例として、 $R = 35\text{cm}$ 、 $\omega = 3.2 \pi \text{ rad/s}$ 、 $z = 3.0\text{cm}$ 、 $p_{\text{lat}} = 0.25\text{cm}$ 、 $p_{\text{lat}} = 5.0\text{cm}$ に対応する算定結果を以下に示す。 $L = 14.6\text{cm}$ 、 $sQ = 14.4\text{cm}$ 、 $h(sQ) = 0.10\text{cm}$

$$0 \leq s \leq sQ \text{ (cm)} : h(s) = 0.50(14.6 - s) \quad (10)$$

$$sQ \leq s \leq L \text{ (cm)} : h(s) = 0.72 \times 10^{-2} s^{0.9909} \quad (11)$$

従来、平刃による軟岩の水平方向の掘削抵抗 $H_a(\text{kN/cm})$ は、平刃のすくい角 $\alpha(\text{rad})$ 、切削厚さ $h(\text{cm})$ 、および岩石の動的せん断強度 $S_d(\text{kPa})$ を用いて、次式の実験式で表される^{2),3)}。

$$H_a = 1.20 \times 10^{-3} h^{0.925} S_d^{0.741} 10^{-0.353\alpha} \quad (12)$$

$$S_d = \{1.48 + 0.160(\log \dot{\epsilon}) + 0.013(\log \dot{\epsilon})^2\} S_s \quad (13)$$

ここで $\alpha = 0\text{rad}$ 、 $h = h(s)$ 、ひずみ速度 $\dot{\epsilon} = 20.8\text{s}^{-1}$ 、静的せん断強度 $S_s = 4,500\text{kPa}$ を代入することによって切削抵抗 $H(s)$ は次式で表される。 $H(s) = 0.911 \{h(s)\}^{0.925}$ (14)

3. 仕事量推定式 ビットの走行軌跡に沿って発生する1打撃当たりの衝撃切削仕事量 $W(\text{kNcm})$ は、上式で表される切削抵抗 $H(s)$ (kN/cm) を切削幅 $x = 0\text{cm}$ から $p_{\text{lat}}(\text{cm})$ および軌跡の長さ $s = 0\text{cm}$ から $L(\text{cm})$ まで積分した値、および両側面のせん断に要する仕事量の和として次式で算定される。なお、 $H(s)$ は波状分布するので、ここでは三角形分布を仮定する。

$$W = \frac{1}{2} \left[0.911 \int_0^{p_{\text{lat}}} \left[\left\{ \frac{1}{4} h(s) \right\}^{0.925} + \left\{ \left\{ \frac{3}{4} h(s) \right\}^{0.925} - \left\{ \frac{1}{4} h(s) \right\}^{0.925} \right\} \frac{x}{p_{\text{lat}}} \right] dx ds + \eta p_{\text{lon}} z S_d L \times 10^{-4} \right] \\ = \frac{1}{2} \left[0.911 \xi p_{\text{lat}} \left[\int_0^{sQ} \{h(s)\}^{0.925} ds + \int_{sQ}^L \{h(s)\}^{0.925} ds \right] + \eta p_{\text{lon}} z S_d L \times 10^{-4} \right] \quad (15)$$

ここで $S_d = 7,711\text{kPa}$ 、 x は各ビットの横断方向の切削溝端面からの距離である。 ξ 、 η は、「Bit 1」については $\xi = 0.883$ 、 $\eta = 1.75$ 、「Bit 2」については $\xi = 0.639$ 、 $\eta = 1.25$ 、「Bit 3」、「Bit 4」については $\xi = 0.522$ 、 $\eta = 1.00$ である。したがって W_T は各ビットの1打撃当たりの衝撃切削仕事量 W の和に切削ドラム回転数 n を乗じて算出される。また、 $W = T_{\text{mean}} L/R$ であることから、平均トルク T_{mean} は次式によって算定できる。

$$T_{\text{mean}} = WR/L \quad (16)$$

なお、以上の算定式は、ポイントアタックビットのすくい角 $\alpha = 0\text{rad}$ であり、岩石材料のせん断破壊を引き起こす範囲である

$\alpha \leq 5 \pi/18\text{rad}$ ³⁾ を満足しているため、モルタル供試体が引張り破壊ではなく、せん断破壊するとして誘導している。

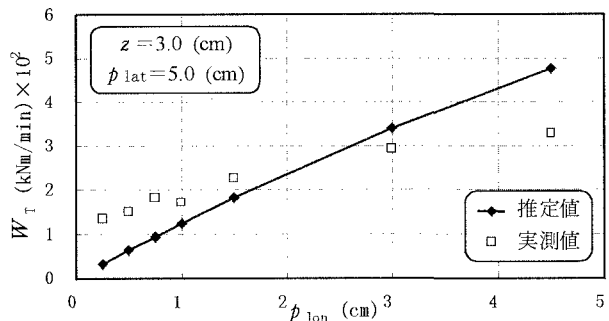


Fig.4 単位時間当たり仕事量 W_T と進行方向切削ピッチ p_{lon} の関係

Fig.4 は単位時間当たり平均仕事量 $W_T(\text{kNm/min})$ と進行方向切削ピッチ $p_{\text{lon}}(\text{cm})$ の関係を横方向切削ピッチ $p_{\text{lat}} = 5.0\text{cm}$ 、切削深さ $z = 3.0\text{cm}$ において、実測値と推定値とで比較したものである。単位時間当たり平均仕事量は、両者とも p_{lon} の増加にともなって増加し、ほぼ同じ値を示している。

4. おわりに 理論的に推定された単位時間当たり仕事量は実測値とほぼ同じ値を示しているが、進行方向切削ピッチの増加に伴うその増加傾向には違いが見られる。その原因としては、実験による実測において進行方向切削ピッチの増加に伴いチップング現象が顕著になるのに対し、理論的な推定ではそれを考慮に入れていなかったためであると考えられる。今後の課題としては推定値を求める際に、実験時に見られたチップング現象を考慮に入れより信頼性の高い推定値を得ることである。

5. 参考文献 1) 室達朗, 竹垣喜勝, 石川哲也: ポイントアタックビットによるモルタル供試体の衝撃切削能力に関する実験的考察, 土木学会論文集, No.560/VI-34, pp.131-140, 1997. 2) 室達朗, 深川良一, 藤田克美: 軟岩に対する比切削抵抗と定常掘削力の発生機構, 土木学会論文集, No.424/III-14, pp.125-133, 1990. 3) Soroushian, P., Choi, K. and Alhamad, A.: Dynamic constitutive behavior of concrete, ACI Journal, Vol.83, pp.251-259, 1986.