

# ポイントアタックビットの衝撃切削能力に 及ぼす切削ピッチによる影響

室 達朗<sup>1</sup>・延本 基春<sup>2</sup>・馬越 英貴<sup>3</sup>

<sup>1</sup>フェロー 工博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 松山市文京町3)

<sup>2</sup>正会員 工修 榊森組 (〒541-0045 大阪市中央区道修町4丁目5番17号)

<sup>3</sup>学生会員 愛媛大学理工学研究科博士前期課程学生 (〒790-8577 松山市文京町3)

本研究の目的は、ポイントアタックビットの進行方向切削ピッチ、横方向切削ピッチおよび回転切削ドラム回転方向がモルタルの衝撃切削能力におよぼす影響について実験を行い、単位仕事量当たりの切削土量が最大となる最適な進行方向切削ピッチ、横方向切削ピッチおよび切削ドラム回転方向を見いだすことである。その結果、単位仕事量当たり切削土量は、進行方向切削ピッチの増加とともに増大すること、切削深さが小さいとき、最適な横方向切削ピッチが存在することおよび最適な切削ドラム回転方向は実機と逆方向であることが判明した。

*Key Words* : point attack bit, longitudinal and lateral pitch, cutting depth, cutting torque, impact cutability

## 1. まえがき

近年、厳しい施工条件においても、岩盤切削が効率的に行えるよう開発された岩盤切削機は、全長14,100 mm、全幅4,900 mm、全高7,080 mmであり、4履帯からなる走行装置によって、走行しながら岩盤を平滑に切削することができる。また、車両本体中央下腹部には160本のポイントアタックビットを螺旋状に取り付けた回転切削ドラムを配置している。この回転切削ドラムを走行方向に対してアップカット方式で正回転させることで衝撃切削を行う仕組みになっており、ドラム標準回転数は48 r.p.m.、ビット先端周速度は352 cm/sである。

この岩盤切削機の掘削能力については、著者らはすでに花崗斑岩と流紋岩質凝灰岩で構成されるテストヤードにおいて現地実験を実施しており、単位時間当たりの掘削土量および単位掘削仕事量当たりの掘削土量はともに岩盤の亀裂係数に比例して増大することを明らかにしている<sup>1)</sup>。その後、岩盤切削機の回転切削ドラムに配置されるポイントアタックビットの岩石に対する衝撃切削機構および能力を解明し、より合理的なビットの配置設計と切削機の運転方針を樹立するために回転式衝撃切削試験機を製作した。一軸圧縮強度が約20MPaのモルタル供試体に対するポイントアタックビットの衝撃切削能力に及ぼすビットの進行方向切削ピッチ、切削深さおよ

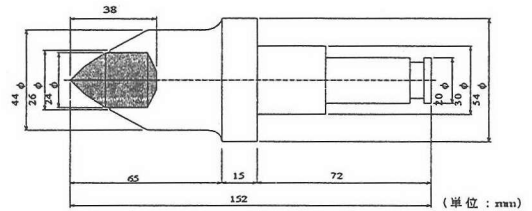


図-1 ポイントアタックビット

びビットの先端周速度の変化について実験を行った結果、切削ドラムに作用する最大トルク、平均トルクおよび供試体に作用する水平方向の最大衝撃加速度は、進行方向切削ピッチ、切削深さおよびビットの先端周速度の増加とともに増大することが明らかにされている<sup>2)</sup>。さらに、実際の岩石材料に対するビットの衝撃切削能力を予測するために、岩石の落錘式衝撃破壊試験を試作し、各種岩石の限界衝撃せん断エネルギーを用いて1打撃当たりの掘削仕事量と進行方向切削ピッチとの関係を算定する方法を提案した<sup>3)</sup>。

本研究の主たる目的は、この回転式衝撃切削試験機および図-1に示すポイントアタックビットを用いて、擬似岩盤としてのモルタル供試体に対する衝撃切削能力に及ぼす切削ドラム軸方向の横方向ピッチの影響を実験的に明らかにし、単位仕事量当たりの切削土量が最大となる最適な横方向ピッチを見い

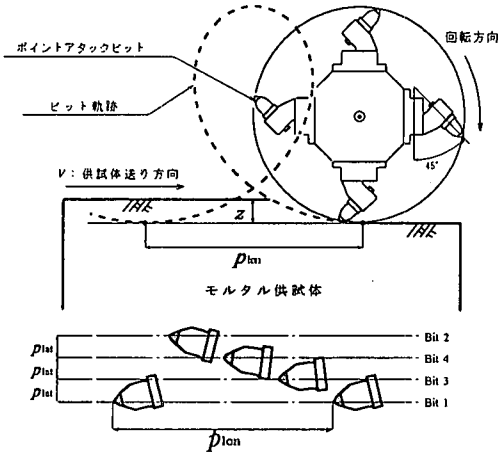


図-2 正回転切削断面図および切削溝平面図

出し、より合理的なポイントアタックビットの切削ドラムへの配置計画を提案することである。さらに、切削ドラムの回転方向がアップカット方式となる正回転の場合とダウンカット方式となる逆回転のどちらが単位仕事量当たりの切削土量を向上させるのかについても実験的考察を行った。

## 2. 実験方法

### (1) モルタル供試体

本研究では、一軸圧縮強度が 19.6MPa のモルタル供試体を使用した。粒径  $74 \mu\text{m} \sim 2.0\text{mm}$  に調整した気乾燥の海砂を細骨材とし、また、普通ポルトランドセメントおよび水の配合は室ら<sup>2)</sup>によって得られた実験式から水セメント比  $W/C = 57.2\%$  とした。この配合によって、各材料を強制攪拌混合してセメントモルタルを作成し、寸法  $100\text{cm} \times 50\text{cm} \times 50\text{cm}$  の型枠に打設し、平均気温  $18^\circ\text{C}$  の屋外で7日間湿潤養生させ、実験に供した。養生後の一軸圧縮強度は  $19.6 \pm 0.4\text{MPa}$ 、引張強度は  $2.3 \pm 0.2\text{MPa}$ 、およびせん断強度は  $4.2 \pm 0.3\text{MPa}$  であった。

### (2) 実験方法

図-2は、切削ドラムに  $\pi/2\text{rad}$  間隔で取り付けた4本のポイントアタックビットによるモルタルの切削断面図および切削溝平面図を示したものである。ビットは全て新品のものを使用し、ビットの方向と円周の接線方向とのなす角度を  $\pi/4\text{rad}$  に設定している。また、「Bit 1」、「Bit 2」は外側ビットであり、「Bit 3」、「Bit 4」は内側ビットである。また、ビットの横方向への取り付け角度は外側ビットで外向

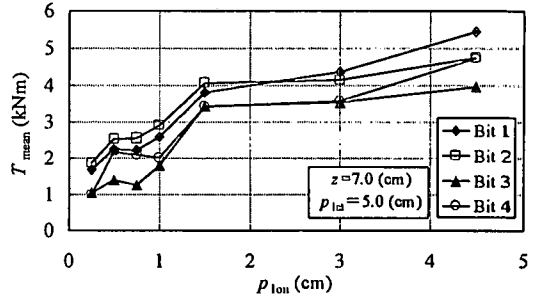


図-3 平均トルク  $T_{mean}$  と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  の関係

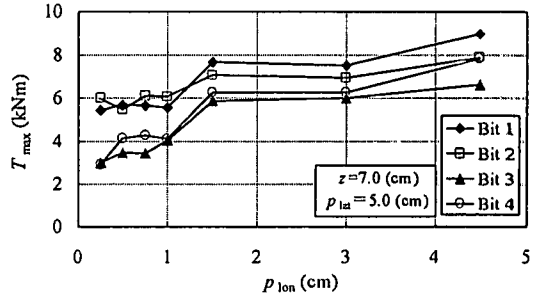


図-4 最大トルク  $T_{max}$  と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  の関係

きに  $7\pi/90\text{rad}$ 、内側ビットで外向きに  $7\pi/180\text{rad}$  としている。これは掘削性能の向上とビット摩耗に対するセルフシャープネス性<sup>4)</sup>を確保するためである。

前節で述べた一軸圧縮強度 19.6MPa のセメントモルタルを使用し、切削ドラムの回転数  $n = 96\text{r.p.m.}$ 、回転角速度  $\omega = 3.2\pi \text{ rad/s}$ 、ビット先端周速度  $V_b = 352\text{cm/s}$  と一定とし、モルタル供試体の搬送速度  $V = 24 \sim 432\text{cm/min}$ 、進行方向切削ピッチ  $p_{lon} = 0.25 \sim 4.50\text{cm}$ 、横方向切削ピッチ  $p_{la} = 3.0 \sim 7.0\text{cm}$ 、切削深さ  $z = 3.0 \sim 7.0\text{cm}$  の範囲で計140通りの実験を行った。ここに進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  (cm)とは、モルタル供試体表面における切削ドラム1回転当たりのビットの打撃間隔であり、 $p_{lon} = V/n$ として算定することができる。また、測定項目は切削ドラムに作用するトルク  $T$  および切削土量  $Q$  であり、切削トルクは、回転軸に  $\pi/2 \text{ rad}$  間隔で貼り付けた4枚のひずみゲージによって測定し、切削土量  $Q$  ( $\text{cm}^3/\text{min}$ )は、切削溝の断面積  $S$  ( $\text{cm}^2$ )とモルタル供試体の搬送速度  $V$  ( $\text{cm/min}$ )より、 $Q = SV$ として算定した。

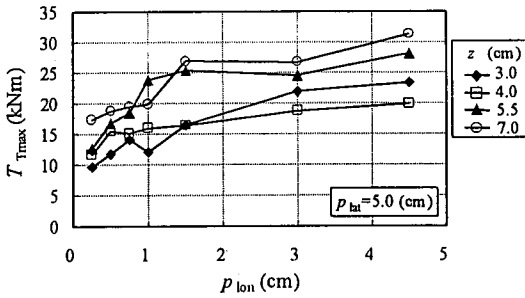


図-5 最大全トルク  $T_{Tmax}$  と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  の関係

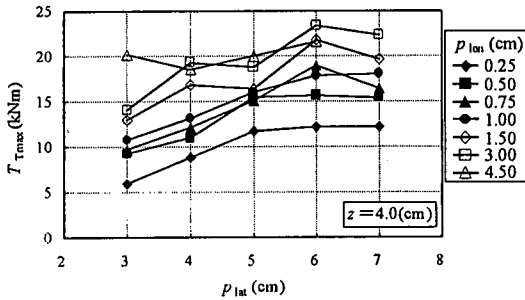


図-6 最大全トルク  $T_{Tmax}$  と横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  の関係

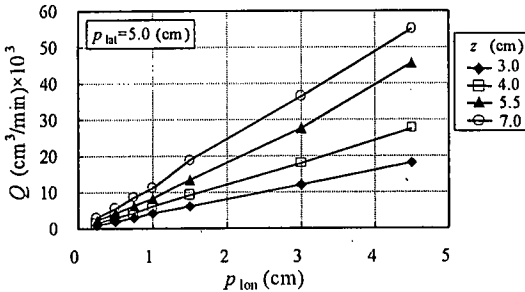


図-7 切削土量  $Q$  と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  の関係

### 3. 切削ピッチと衝撃切削能力

従来、楔型の刃で単一衝撃をコンクリートブロックに加える破碎<sup>3)</sup>、コナルインディケータの貫入<sup>4)</sup>、ポイントアタックビットによる切削<sup>7)</sup>、さらに2枚刃での水中砂質土の掘削<sup>8)</sup>においても最適な打撃間隔および刃間距離が存在することが確認されており、ポイントアタックビットによる衝撃切削においても最適な進行方向切削ピッチ、横方向切削ピッチが存在することが予想される。

#### (1) トルクと進行方向切削ピッチ

図-3は、各ビットに作用する平均トルク  $T_{mean}$  (kNm) と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  (cm) の関係について、一例として

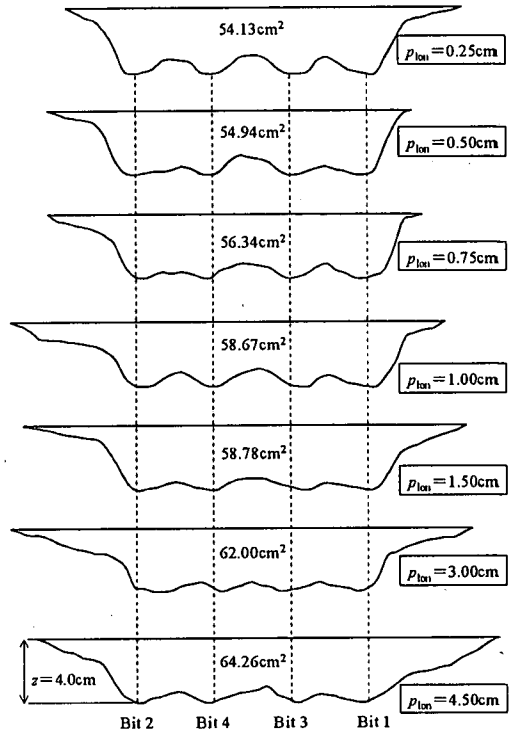


図-8 進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  の違いによる切削断面積の比較 ( $z = 4.0\text{cm}$ ,  $p_{lat} = 4.0\text{cm}$ )

て、一例として、切削深さ  $z = 7.0\text{cm}$ 、横方向切削ピッチ  $p_{lat} = 5.0\text{cm}$  に対するものを示したものである。いずれのビットにおいても、 $T_{mean}$  は  $p_{lon}$  の増加とともに増加しており、外側ビットである「Bit 1」、「Bit 2」の  $T_{mean}$  が内側ビットである「Bit 3」、「Bit 4」のものを上回っている。これは外側ビットが切削溝の両端部を切削するためである。

図-4は、同様に各ビットに作用する最大トルク  $T_{max}$  (kNm) と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  (cm) の関係について、一例として切削深さ  $z = 7.0\text{cm}$ 、横方向切削ピッチ  $p_{lat} = 5.0\text{cm}$  に対するものを示したものである。いずれのビットにおいても  $T_{max}$  は  $p_{lon}$  の増加とともに増加し、外側ビットの  $T_{max}$  が内側ビットのものを上回っている。

図-5は、各ビットに作用する最大トルクの和として与えられる最大全トルク  $T_{Tmax}$  (kNm) と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  (cm) の関係について、一例として横方向切削ピッチ  $p_{lat} = 5.0\text{cm}$  に対するものを各切削深さ  $z$  ごとに示したものである。いずれの切削深さにおいても、 $p_{lon}$  の増加とともに  $T_{Tmax}$  も増加し、 $p_{lon} = 1.5\text{cm}$  までは急増し、その後漸増している。

これらの現象は、進行方向切削ピッチの増加に伴い切削する部分が増加するためである。

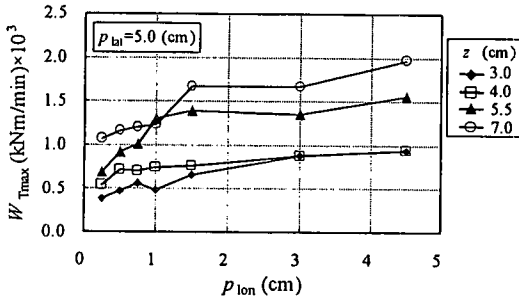


図-9 単位時間当たり最大仕事量  $W_{Tmax}$  と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  の関係

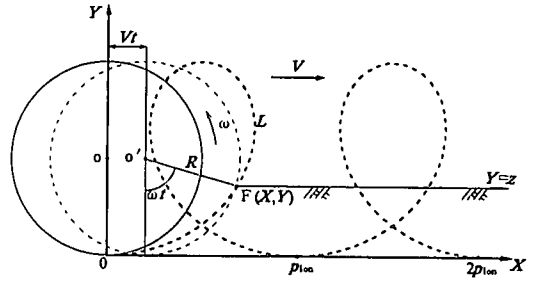


図-10 ビットの転動軌跡

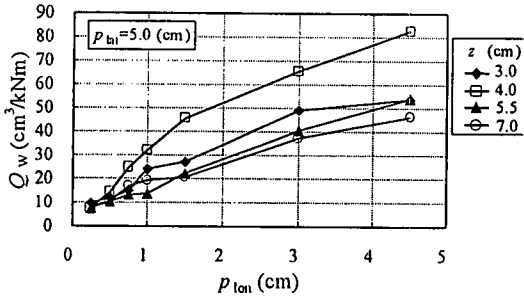


図-11 単位平均仕事量当たり切削土量  $Q_w$  と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  の関係

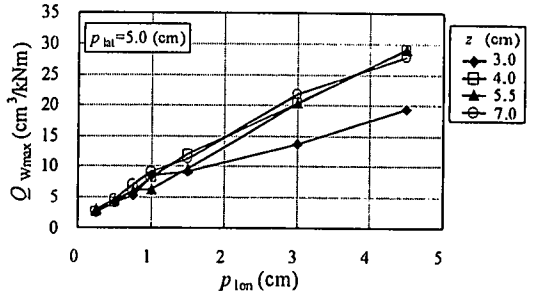


図-12 単位最大仕事量当たり切削土量  $Q_{wmax}$  と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  の関係

## (2) トルクと横方向切削ピッチ

図-6は、同様に最大全トルク  $T_{max}$  (kNm) と横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  (cm) の関係について、一例として切削深さ  $z = 4.0$  cm に対するものを各進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  ごとに示したものである。いずれの進行方向切削ピッチにおいても、 $p_{lat}$  の増加とともに  $T_{max}$  も増加する傾向がみられる。

この現象も前節と同様、横方向切削ピッチの増加に伴い切削する部分が増加するためである。

## (3) 単位仕事量当たり切削土量と進行方向切削ピッチ

図-7は、単位時間当たり切削土量  $Q$  (cm<sup>3</sup>/min) と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  (cm) の関係について、一例として横方向切削ピッチ  $p_{lat} = 5.0$  cm に対するものを各切削深さ  $z$  ごとに示したものである。 $Q$  は、 $p_{lon}$  の増大に伴って増大するが、 $p_{lon} = 1.5$  cm 以上になると、若干ではあるが増加傾向は強くなっている。これは、図-8に示す進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  の変化に伴う切削溝断面積の変化からわかるように、 $p_{lon}$  の増加に伴い、切削溝の幅方向にチッピング現象<sup>9)</sup>が生じているためであると考えられる。

次に、図-9は、単位時間当たりの最大仕事量  $W_{Tmax}$  (kNm/min) と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  (cm) の関係について、一例として横方向切削ピッチ  $p_{lat} = 5.0$  cm

に対するものを4種類の切削深さ  $z$  について示したものである。単位時間当たり最大仕事量とは、供試体を切削するためにビットがした1分間当たりの仕事量であり、最大全トルクを回転半径  $R$  で除した値に切削長  $L$  (m) とドラム回転数  $n$  (r.p.m.) を乗じた値として次式を用いて算出することができる。

$$W_{Tmax} = \frac{T_{Tmax}}{R} Ln \quad (1)$$

ここで、 $R$ : ビットの回転半径 (m)

$L$ : ビットの供試体切削長 (m)

また、ビット先端が描く軌跡はトロコイド曲線であり、図-10にその転動軌跡を示す。このことから切削長  $L$  は、供試体送り速度  $V$ 、ビットの回転半径  $R$ 、回転角速度  $\omega$ 、時間  $t$  を用いて次式で表される。

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

上式により、ビット先端の供試体切削長  $L$  が求まり  $W_{Tmax}$  が算出される。

その結果、いずれの切削深さ  $z$  においても進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  の増加とともに  $W_{Tmax}$  も増大する傾向が見られる。また全トルクと同様、進行方向切削ピッチが 1.5 cm までは急激に増加しているのが特徴的である。

単位平均仕事量当たり切削土量  $Q_w$  (cm<sup>3</sup>/kNm)、単位最大仕事量当たり切削土量  $Q_{wmax}$  (cm<sup>3</sup>/kNm) は、

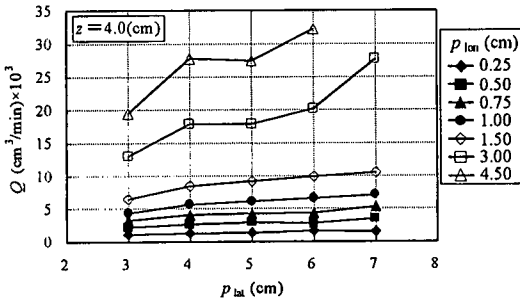


図-13 切削土量  $Q$  と横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  の関係

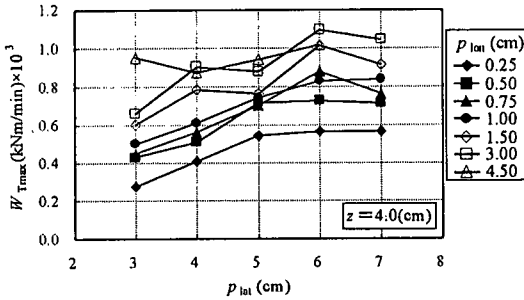


図-15 単位時間当たり最大仕事量  $W_{Tmax}$  と横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  の関係

単位時間当たり切削土量  $Q$  ( $\text{cm}^3/\text{min}$ ) をそれぞれ単位時間当たり平均、最大仕事量  $W_T$ ,  $W_{Tmax}$  ( $\text{kNm}/\text{min}$ ) で除したものとして、次式で算定することができる。

$$Q_w = \frac{Q}{W_T} \quad (3)$$

$$Q_{wmax} = \frac{Q}{W_{Tmax}} \quad (4)$$

図-11, 12は、単位平均仕事量当たり切削土量  $Q_w$ 、単位最大仕事量当たり切削土量  $Q_{wmax}$  ( $\text{cm}^3/\text{kNm}$ ) と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  ( $\text{cm}$ ) の関係について、一例として横方向切削ピッチ  $p_{lat} = 5.0\text{cm}$  に対するものを各切削深さ  $z$  ごとに示したものである。いずれの切削深さ  $z$  においても  $p_{lon}$  の増加に伴って増大する傾向が見られる。単位仕事量当たりの切削土量は、切削土量に比例し、単位時間当たり仕事量、即ち切削トルク値に反比例する。切削土量は進行方向切削ピッチの増加とともに増加し、 $p_{lon}$  が  $1.5\text{cm}$  を超えたあたりから、僅かではあるが傾きが大きくなっているのに対し、切削トルク値は進行方向切削ピッチが小さいときは急激に増加し、その後比較的傾きが小さくなることからこのような傾向が見られたものと考えられる。このことから本実験の範囲では、進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  ( $\text{cm}$ ) の最大値である  $4.5\text{cm}$  において最も効率よく切削することができることがわかった。また、ビットの摩耗に関しては、進行方向切削ピッチ  $1.5\text{cm}$  以下では切削トルクが増大するた

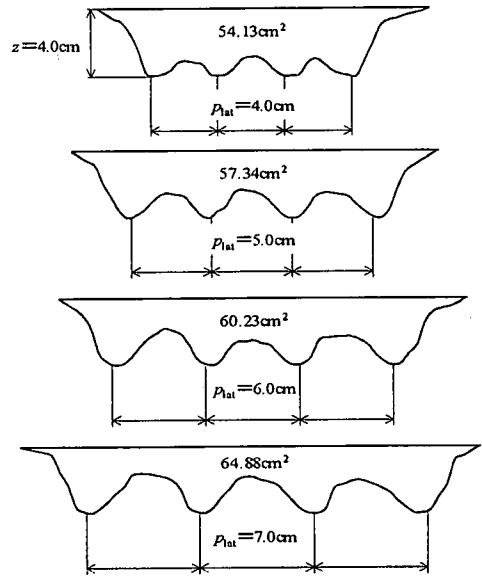


図-14 横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  の違いによる切削断面積の比較 ( $z = 4.0\text{cm}$ ,  $p_{lon} = 0.25\text{cm}$ )

めビットの摩耗寿命は短くなり、それ以上では進行方向切削ピッチが大きくなると切削溝の幅方向のチッピング現象により、切削土量が増加し、切削トルクの増加傾向が小さくなるため、最適切削ピッチは本実験においては  $4.5\text{cm}$  としてよいことが判明した。

#### (4) 単位仕事量当たり切削土量と横方向切削ピッチ

図-13は、同様に単位時間当たり切削土量  $Q$  ( $\text{cm}^3/\text{min}$ ) と横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  ( $\text{cm}$ ) の関係について、一例として切削深さ  $z = 4.0\text{cm}$  に対するものを各進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  ごとに示したものである。 $Q$  は、 $p_{lat}$  の増加とともに増加する傾向がある。また、図-14に横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  の変化に伴う切削溝断面積の変化を示す。横方向切削ピッチの変化による切削溝幅方向のチッピング現象の変化はみられない。

$Q$  は、切削深さ  $z$ 、進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$ 、横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  の関数で与えられるとして重回帰分析を行った結果、以下の実験式を得た。

$$Q = 1.77 \times 10^3 z^{1.22} p_{lon}^{1.04} \{1 - \exp(-0.204 p_{lat})\} \quad (r = 0.995) \quad (5)$$

ここに、 $r$  は重相関係数である。

図-15は、単位時間当たりの最大仕事量  $W_{Tmax}$  ( $\text{kNm}/\text{min}$ ) と横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  ( $\text{cm}$ ) の関係について、一例として切削深さ  $z = 4.0\text{cm}$  に対するものを7種類の進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  について示した

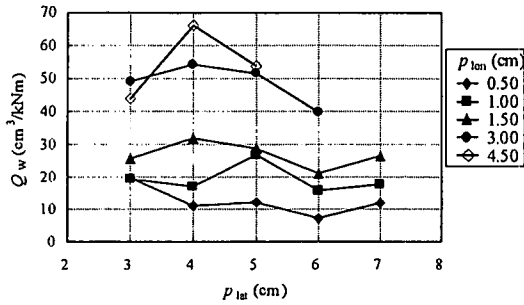


図-16 単位平均仕事量当たり切削土量  $Q_w$  と横方向切削ピッチ  $p_{ba}$  の関係 ( $z = 3.0\text{cm}$ )

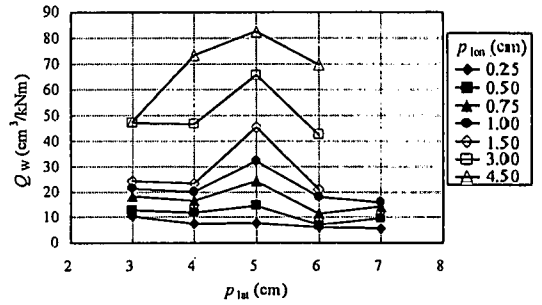


図-17 単位平均仕事量当たり切削土量  $Q_w$  と横方向切削ピッチ  $p_{ba}$  の関係 ( $z = 4.0\text{cm}$ )

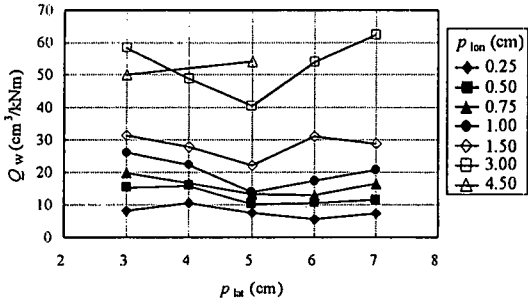


図-18 単位平均仕事量当たり切削土量  $Q_w$  と横方向切削ピッチ  $p_{ba}$  の関係 ( $z = 5.5\text{cm}$ )

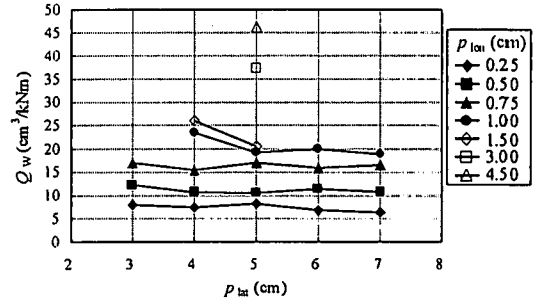


図-19 単位平均仕事量当たり切削土量  $Q_w$  と横方向切削ピッチ  $p_{ba}$  の関係 ( $z = 7.0\text{cm}$ )

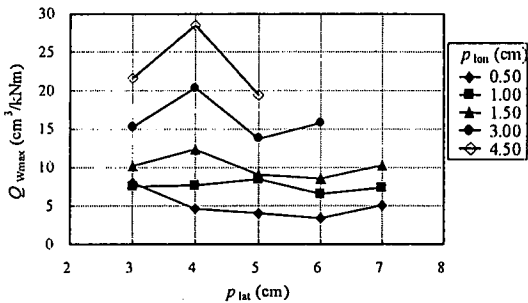


図-20 単位最大仕事量当たり切削土量  $Q_{wmax}$  と横方向切削ピッチ  $p_{ba}$  の関係 ( $z = 3.0\text{cm}$ )

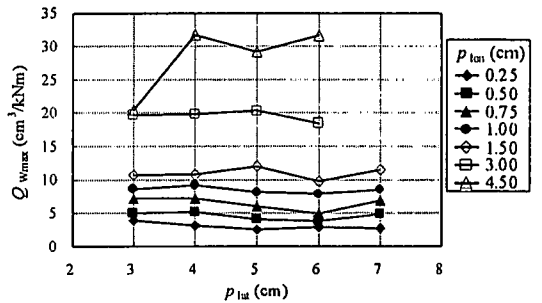


図-21 単位最大仕事量当たり切削土量  $Q_{wmax}$  と横方向切削ピッチ  $p_{ba}$  の関係 ( $z = 4.0\text{cm}$ )

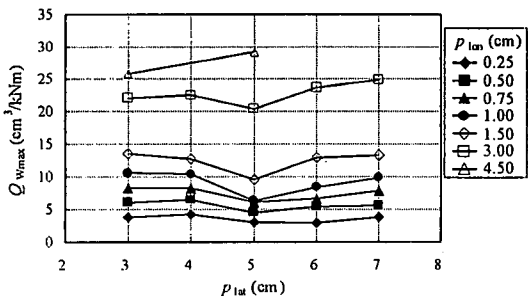


図-22 単位最大仕事量当たり切削土量  $Q_{wmax}$  と横方向切削ピッチ  $p_{ba}$  の関係 ( $z = 5.5\text{cm}$ )

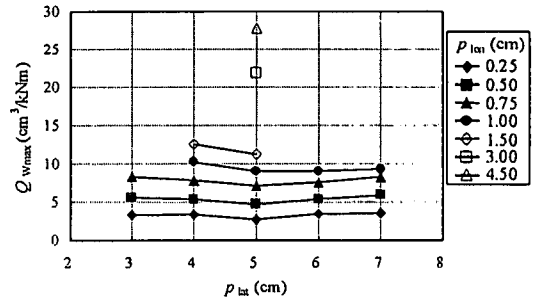


図-23 単位最大仕事量当たり切削土量  $Q_{wmax}$  と横方向切削ピッチ  $p_{ba}$  の関係 ( $z = 7.0\text{cm}$ )

ものである。  $p_{ba}$  の増加とともに  $W_{Tmax}$  も増大する傾向が見られる。切削土量と同様に重回帰分析を行った結果、以下の実験式が得られた。

$$W_{Tmax} = 0.171 \times 10^3 z^{1.02} p_{ba}^{0.258} \{1 - \exp(-8.29 p_{ba})\} \quad (r = 0.883) \quad (6)$$

図-16~19は、単位平均仕事量当たり切削土量  $Q_w$

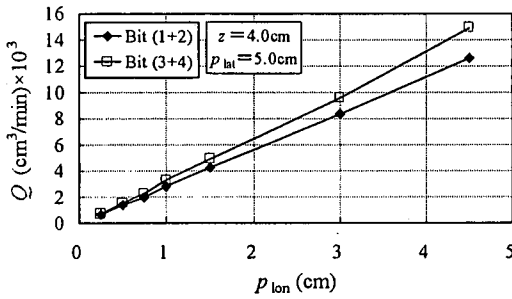


図-24 切削土量  $Q$  の内側ビットと外側ビットによる比較

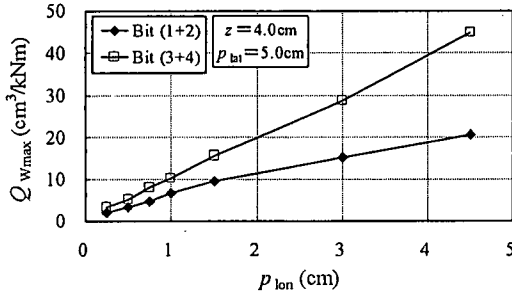


図-26 単位最大仕事量当たり切削土量  $Q_{wmax}$  の内側ビットと外側ビットによる比較

( $\text{cm}^3/\text{kNm}$ ) と横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  (cm) の関係を、進行方向切削ピッチ 7 種類、切削深さ 4 種類について示したものである。局所的には、切削深さ  $z = 3.0\text{cm}$  のものは  $p_{lat} = 4.0\text{cm}$ 、 $z = 4.0\text{cm}$  のものは  $p_{lat} = 5.0\text{cm}$  のところで最も大きい値を示しているが、それ以上の切削深さになると、これといったピーク値を持たず、漸増する。この原因としては、ビットの切削溝の重複部分の影響が考えられる。ポイントアタックビットは、ある程度隣り合うビットと同じ部分を切削しており、その部分は横方向切削ピッチが大きくなるほど、小さく、切削深さが大きくなるほど大きくなっていく。切削深さが小さいとき、即ち  $z = 3.0, 4.0\text{cm}$  においては、横方向切削ピッチの変化によるビットの重複部分が大きく影響し、ピーク値を持つが、切削深さが  $5.5\text{cm}$  を超えると、いずれの横方向切削ピッチにおいても切削溝の大部分が隣のビットと重複するため、横方向切削ピッチによる変化が見られなかったのではないかと考えられる。

単位平均仕事量当たり切削土量  $Q_w$  ( $\text{cm}^3/\text{kNm}$ ) は、切削深さ  $z$  (cm)、進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  (cm)、横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  (cm) の関数で与えられるとして行った重回帰分析の結果を以下に示す。

$$Q_w = 25.5 z^{-0.111} p_{lon}^{0.762} \{1 - \exp(-0.643 p_{lat})\} \quad (r = 0.946) \quad (7)$$

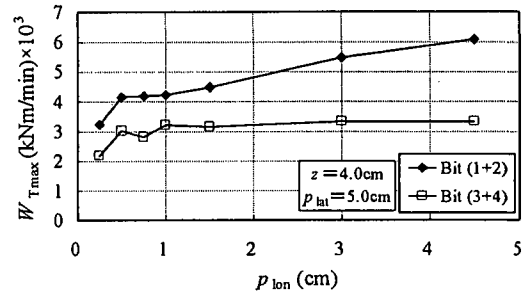


図-25 単位時間当たり最大仕事量  $W_{Tmax}$  の内側ビットと外側ビットによる比較

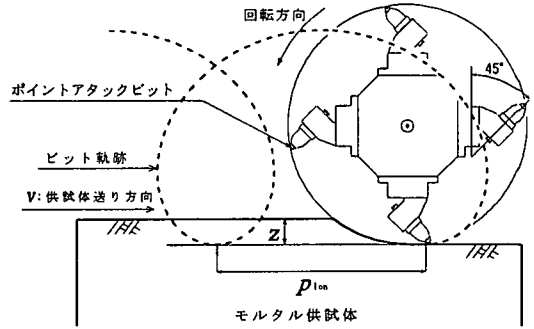


図-27 逆回転切削断面図

図-20～23は、単位最大仕事量当たり切削土量  $Q_{wmax}$  ( $\text{cm}^3/\text{kNm}$ ) と横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  (cm) の関係を、進行方向切削ピッチ 7 種類、切削深さ 4 種類について示したものである。

$Q_{wmax}$  にも、 $Q_w$  と同様の傾向が見られ、その原因についても同様であると考えられる。以下に重回帰分析結果を示す。

$$Q_{wmax} = 6.07 z^{0.250} p_{lon}^{0.787} \{1 - \exp(-0.770 p_{lat})\} \quad (r = 0.974) \quad (8)$$

以上のように、進行方向切削ピッチ 7 通り、横方向切削ピッチ 5 通り、切削深さ 4 通りの計 140 通りの実験を行った結果、単位仕事量当たり切削土量  $Q_w$  ( $\text{cm}^3/\text{kNm}$ ) は、進行方向切削ピッチが大きくなるほど最適な切削が可能となり、各横方向切削ピッチにおいて最適な切削深さが存在することがわかった。横方向切削ピッチに関しては、局所的には、切削深さが  $3.0, 4.0\text{cm}$  の時はそれぞれ最適な横方向切削ピッチ  $4.0\text{cm}, 5.0\text{cm}$  が得られたが、切削深さが  $5.5\text{cm}$  以上になると切削溝の大部分が隣のビットと重複するため、横方向切削ピッチの最適値は見いだせなかった。また、 $Q_w$  の値が最大となったのは、進行方向切削ピッチ  $p_{lon} = 4.5\text{cm}$ 、横方向切削ピッチ  $p_{lat} = 5.0\text{cm}$ 、切削深さ  $z = 4.0\text{cm}$  の時であり、その値は  $82.5\text{cm}^3/\text{kNm}$  であった。

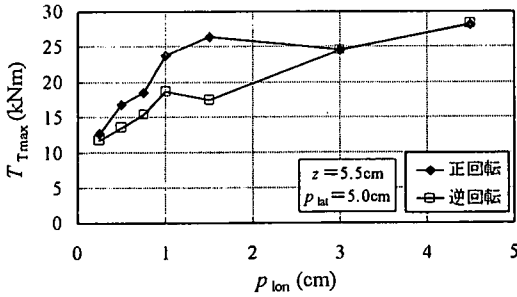


図-28 最大全トルク  $T_{Tmax}$  の正回転と逆回転による比較

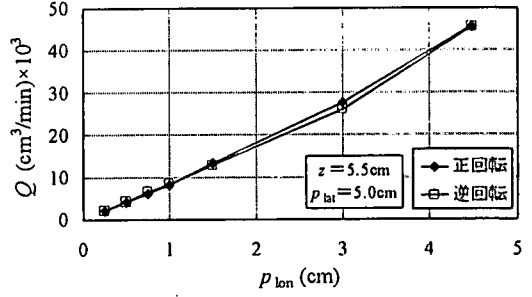


図-29 切削土量  $Q$  の正回転と逆回転による比較

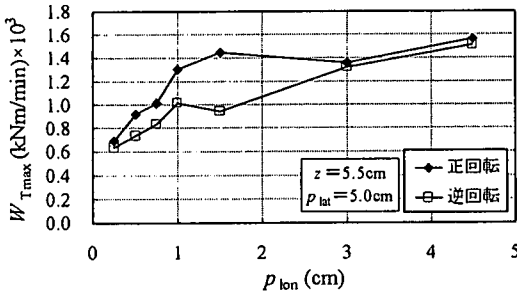


図-30 単位時間当たり最大仕事量  $W_{Tmax}$  の正回転と逆回転による比較

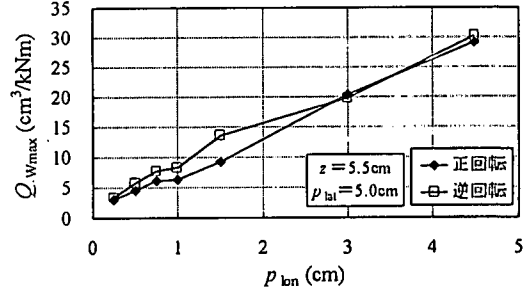


図-31 単位最大仕事量当たり切削土量  $Q_{wmax}$  の正回転と逆回転による比較

#### (5) 内側ビットと外側ビットによる切削能力の比較

図-24は、切削土量  $Q$  ( $\text{cm}^3/\text{min}$ ) と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  ( $\text{cm}$ ) の関係について、一例として切削深さ  $z = 4.0\text{cm}$ 、横方向切削ピッチ  $p_{lat} = 5.0\text{cm}$  のものを外側ビット Bit(1+2) と内側ビット Bit(3+4) とで比較したものである。内側ビットの  $Q$  が外側ビットのものを上回っている。

図-25は、単位時間当たり最大仕事量  $W_{Tmax}$  ( $\text{kNm}/\text{min}$ ) と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  ( $\text{cm}$ ) の関係について、示したものである。 $W_{Tmax}$  は、外側ビットの方が内側ビットよりトルク値が大きくなることから、外側ビットの  $W_{Tmax}$  が内側ビットのものを上回っている。

図-26は、同様に単位最大仕事量当たり切削土量  $Q_{wmax}$  ( $\text{cm}^3/\text{kNm}$ ) と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  ( $\text{cm}$ ) の関係について示したものである。 $Q_{wmax}$  は内側ビットが外側ビットを上回っており、内側ビットの方が効率よく切削を行っていることがわかった。重回帰分析の結果、以下の実験式を得た。

$$Q_{wmax}(1+2) = 4.11 z^{0.371} p_{lon}^{0.836} \{1 - \exp(-6.07p_{lat})\} \quad (r = 0.974) \quad (9)$$

$$Q_{wmax}(3+4) = 9.12 z^{0.118} p_{lon}^{0.814} \{1 - \exp(-0.507p_{lat})\} \quad (r = 0.954) \quad (10)$$

実機の回転切削ドラムには、前述したように 160 本ものポイントアタックビットが取り付けられてお

り、そのほとんどが内側ビットに相当する。そのため、前節で述べた結果をそのまま実機に適用するというわけにはいかないことから、内側ビットと外側ビットに分けて今後さらに詳しく検討していく所存である。

#### 4. 切削ドラムの正回転と逆回転による衝撃切削能力

実機では、切削ドラムの回転方向は履帯の回転と逆方向であり、アップカットで岩盤を切削し、その後ずりをドラム上方から後方のベルトコンベヤーに送る仕組みになっているが、このドラムの回転方向を逆にし、図-27に示すようにダウンカットで切削を行えば、ずりをドラム上方へすくい上げる必要がなくなる。また、アップカットではポイントアタックビットが岩盤に当たる瞬間はあまり力を受けないと思われるが、次第に切削する部分が増加し、切削ドラムの回転抵抗が増大する。しかし、ダウンカットによって岩盤を切削すればポイントアタックビットが当たる瞬間は多くの岩石を切削しなければならないが、角を切削するためチップング効果が期待され、さほど切削抵抗は増大せず、効率的な切削が可能になるのではないかと考えられる。

そこで、ここでは横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  を 5.0cm



で固定し、進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$ 、切削深さ  $z$  を様々に変化させて衝撃切削実験を行い、正回転（実機と同じ方向）と逆回転で衝撃切削能力にどのような違いが見られるかを比較、検討する。

図-28は、一例として、切削深さ  $z = 5.5\text{cm}$  に対する最大全トルク  $T_{Tmax}$  (kNm) と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  (cm) の関係について、正回転と逆回転とで比較したものである。正回転の  $T_{Tmax}$  の値が逆回転のものよりも大きな値を示している。これは、切削時の供試体送り方向とビットの回転方向が、正回転では反対方向、逆回転では同一方向であり、さらに前述したように逆回転では角を切削することにより生じるであろうチッピング効果のためであると考えられる。逆回転のものについて重回帰分析の結果、以下の実験式が得られた。

$$T_{Tmax} = 6.91 z^{0.505} p_{lon}^{0.331} \quad (r = 0.963) \quad (11)$$

図-29は、この場合の切削土量  $Q$  (cm<sup>3</sup>/min) と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  (cm) の関係について、正回転と逆回転とで比較したものである。正回転と逆回転とで大きな違いは見られない。逆回転のものについて重回帰分析を行った結果、以下の実験式得られた。

$$Q = 1.11 \times 10^3 z^{1.19} p_{lon}^{1.10} \quad (r = 0.980) \quad (12)$$

図-30は、この場合の単位時間当たり最大仕事量  $W_{Tmax}$  (kNm/min) と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  (cm) の関係について、正回転と逆回転とで比較したものである。これにも最大全トルクと同様の傾向が見られる。逆回転のものについて重回帰分析を行った結果、以下の実験式が得られた。

$$W_{Tmax} = 1.55 \times 10^2 z^{1.03} p_{lon}^{0.338} \quad (r = 0.998) \quad (13)$$

図-31は、この場合の単位最大仕事量当たり切削土量  $Q_{wmax}$  (cm<sup>3</sup>/kNm) と進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  (cm) の関係について、同様に正回転と逆回転とで比較したものである。逆回転時の  $Q_{wmax}$  が正回転時のものを上回っており、このことから本実験においては、切削ドラムの最適な回転方向は逆回転であるということが判明した。逆回転のものについて重回帰分析を行った結果、以下の実験式が得られた。

$$Q_{wmax} = 7.51 z^{0.145} p_{lon}^{0.747} \quad (r = 0.988) \quad (14)$$

しかしながら、実機の施工現場において、軟岩については問題はないと思われるが、硬岩を切削する場合にドラム回転方向を逆にすると、履帯と同じ回転方向となり、実機が岩盤に乗り上げてしまう可能性があるため、岩盤の強度やクラックの有無などの関係を詳しく調査する必要がある。

## 5. 結論

本研究の目的は、ポイントアタックビットによるモルタルの衝撃切削能力を調査することであり、ポイントアタックビットを用いた回転式衝撃切削システムをもつ岩盤切削機を研究の対象とし、モデル衝撃切削試験機を用いて様々な条件における実験を行い、切削ドラムに作用する切削トルクや切削土量などのデータから衝撃切削能力を考察した。その結果、得られた新しい知見を以下に簡潔に示す。

- (1) 切削ドラムに作用する平均、最大、全トルクは、進行方向切削ピッチ  $p_{lon}$  および横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  の増加とともに増大する傾向にあるが、進行方向切削ピッチが 1.5cm までは急増する現象が見られた。また、外側ビットのトルクは、切削溝の両端部を切削するため、内側ビットよりも大きい値を示した。
- (2) 単位仕事量当たり切削土量で表される切削能力は、進行方向切削ピッチの増加に伴い増大する。すなわち、本実験の範囲では進行方向切削ピッチ 4.5cm で最大値を示した。これは、進行方向切削ピッチが増加すると、切削溝幅方向にチッピング現象が見られ、切削土量が増加するためである。
- (3) 単位仕事量当たり切削土量  $Q_w$  (cm<sup>3</sup>/kNm) は、切削深さが 3.0, 4.0cm の時はそれぞれ横方向切削ピッチ  $p_{lat} = 4.0, 5.0\text{cm}$  において最大となったが、切削深さ  $z = 5.5\text{cm}$  を超えると、いずれの横方向切削ピッチ  $p_{lat}$  においても切削溝の大部分が隣のビットと重複するため、横方向切削ピッチとともに漸増する。以下に得られた実験式を示す。  

$$Q_w = 25.5 z^{-0.111} p_{lon}^{0.762} \{1 - \exp(-0.643 p_{lat})\}$$

$$Q_{wmax} = 6.07 z^{0.250} p_{lon}^{0.787} \{1 - \exp(-0.770 p_{lat})\}$$
- (4) 正回転と逆回転とで比較すると、最大全トルク、単位時間当たり最大仕事量は正回転の方が逆回転よりも大きい値を示した。これは、正回転ではポイントアタックビットが岩盤にあたる瞬間はあまり大きな抵抗を受けないと思われるが、次第に切削する部分が増加し、切削ドラム回転の抵抗となるのに対し、逆回転では、ビットがあたる瞬間は多くの岩石を切削しなければならないが、角を切削するためチッピング効果が得られた為であると考えられる。
- (5) 切削土量は、正回転と逆回転とで大きな違いは見られない。
- (6) 単位最大仕事量当たり切削土量  $Q_{wmax}$  は、逆回

転が正回転を上回り，このことから，本実験においては，最適な切削ドラム回転方向は逆回転であるということが判明した．以下に逆回転に対して得られた実験式を示す．

$$Q_{wmax} = 7.51 z^{0.145} p_{len}^{0.747}$$

謝辞：最後に，本研究を実施するに当たり，本学技官河野幸一氏，奥村組土木興業(株)関係各位に多大なるご援助を頂いたことに対し，謝意を表す．

#### 参考文献

- 1) 室達朗，竹垣喜勝，丸山健一，藤本英樹：岩盤切削機の掘削能力とビット摩耗の寿命予測，土木学会論文集，No.492/VI-23，pp.127-136，1994年6月．
- 2) 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年3月．
- 3) Muro,T, Takegaki,Y. and Yoshikawa,K.: Impact cutting property of rock material using a point attack bit, J.of Terramechanics, Vol.34, No.2, pp.83-108, 1997.
- 4) 室達朗，深川良一：岩盤掘削刃の摩耗とハードフェーシング対策，土木学会論文集，No.364/III-4，pp.87-95，1985年12月．
- 5) 土質工学会編：土と基礎・最近の工法，土質工学会，pp.1-18，1967．
- 6) Lundberg,B.: Penetration of rock conical indenters, Int.J.Rock Mech.Min.Sci.& Geomech.Abstr.,Vol.11, pp.209-214, 1974.
- 7) 西澤泉，大久保誠介，西松裕一，秋山政雄：ポイントアタックビットの切削抵抗，資源・素材学会誌，第107巻，第12号，pp.859-864，1991．
- 8) 畠昭治郎：建設機械学，鹿島出版会，pp.169-176，1987．
- 9) 小林良二，奥村清彦：岩石のせん断について，日本鉱業会誌，Vol.87，No.999，pp.407-412，1971．

(1998. 4. 3 受付)

## EFFECT OF CUTTING PITCH OF A POINT ATTACK BIT ON THE IMPACT CUTABILITY

Tatsuro MURO, Motoharu NOBUMOTO and Hideki UMAKOSHI

The aim of this experimental research is to clarify the effect of longitudinal pitch, lateral pitch and direction of rotation of cutting drum of point attack bit on the impact cutability for mortar, and to find the optimum longitudinal pitch, lateral pitch and direction of rotation of cutting drum that the amount of debris per unit cutting work takes a maximum value. As the result, it was observed that the amount of debris per unit cutting work increases with longitudinal pitch, the optimum lateral pitch exists at the case of shallow cutting depth, and the optimum direction of rotation of cutting drum is the reverse direction of down cut.