

ローラカッタビットの掘削効率の最適化

愛媛大学工学部 正 会 員 室 達 朗
 愛媛大学大学院 学生会員 ○上松 正史
 愛媛大学工学部 宮脇 猛弘

1. はじめに トンネル掘進機に用いられているローラカッタビットは全て同じ角度で配置されているが、掘削部の中心と外側では摩耗の度合いも異なる。本研究の目的は、トンネル掘進機の中心掘削部を想定した実験装置により、中心部におけるローラカッタビットの最適な掘削効率を明らかにする事である。

2. 供試岩盤 ふるいにより、粒径0.074~2.00mmに調整した気乾状態の海砂に普通ポルトランドセメントと水を加えてモルタル供試体を作成し、一軸圧縮強度 $S_c=107.97 \pm 7.19 \text{ kgf/cm}^2$ の疑似岩盤を製作し、これを実験に用いた。

3. 実験装置¹⁾ 図-1は掘削部の概略図を示す。配置されているローラカッタビットは直径10cm、幅1cm、刃物角 60° で、材質はSS400を使用している。掘削力がモーメントとして測定されないようにホルダ部に直接支持棒を取り付け、その延長上にロードセルを設置した。斜角 β は $-25^\circ \sim 25^\circ$ まで 5° ずつ、また掘削半径 R は2, 5, 8, 及び10cmの4種類変化させる事ができる。

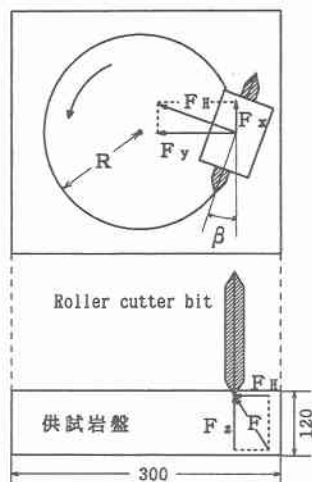


図-1 実験装置の概略図

4. 実験方法と測定 ローラカッタビットを供試岩盤に一定量 $d=0.6 \text{ cm}$ 貫入させ、ターンテーブルを回転させて定常掘削実験を行う。ローラカッタビットの刃先に作用する掘削力を接線方向力 F_x 、向心方向力 F_y 、及び垂直方向力 F_z ²⁾の三方向に分けて測定した。また、掘削時に発生したずりの重量も測定し、単位撓動距離当たりの掘削土量 V_E に換算した。これらより全掘削動力 P 、ならびに掘削効率 V_E/P を次式によって算定した。

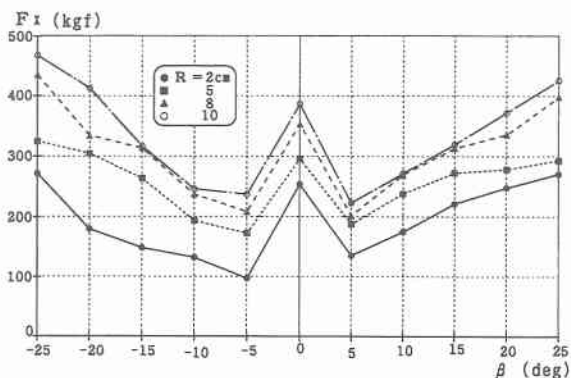
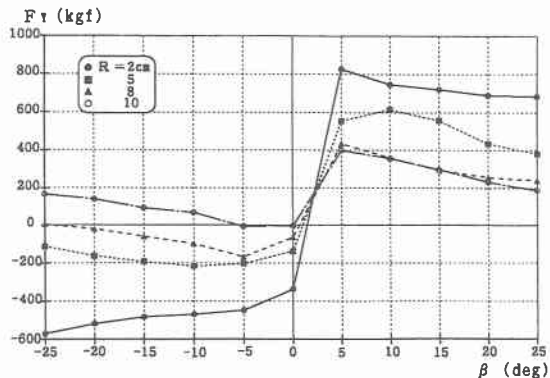
$$P_R = 2\pi R \cdot F_t \cdot N / 60 \quad (1)$$

$$P_T = F_t \cdot d \cdot N / 60 \quad (2)$$

$$P = P_R + P_T \quad (3)$$

ここで、 P_R : 回転動力 ($\text{kgf} \cdot \text{cm/sec}$)、 P_T : 推進動力 ($\text{kgf} \cdot \text{cm/sec}$)、 N : ターンテーブルの回転数 (rpm)、 R : 掘削半径 (cm)、 d : 貫入量 (cm) とする。

5. 実験結果 図-2は接線方向力 F_x と斜角 β の関係を示す。 F_x は各掘削半径に対して、斜角 $|\beta|$ の増加に伴って増加するが、 $\beta=0^\circ$ で最小値を取るのではなく一度ピーク値を取る。また、斜角 β

図-2 接線方向力 F_x と斜角 β の関係図-3 向心方向力 F_y と斜角 β の関係

$\pm 5^\circ$ で最小値を取る。図-3は向心方向力 F_y と斜角 β の関係を示す。斜角 $\beta = 0^\circ$ 付近を境にして向心方向力 F_y は、斜角 β の増加に伴って増加または減少し、一部を除いて $\beta = \pm 5 \sim 10^\circ$ で極値を取る。 $F_y = 0 \text{ kgf}$ となる斜角がどの掘削半径においても $\beta = 0 \sim 5^\circ$ の間に存在し、掘削半径が大きくなれば少しずつその点も $\beta = 0^\circ$ に近づく。この斜角でローラカッタビットに対する向心方向力の作用方向が逆転する。また掘削半径が小さい方が $|F_y|$ は大きいと言える。図-4は垂直方向力 F_z と斜角 β の関係を示す。垂直方向力 F_z は斜角 $\beta = 0^\circ$ で最大値を取り、斜角 β の増加に伴って次第に減少する傾向である。掘削半径が大きい方が F_x も F_z も大きい事が分かる。そしてこれら3分力を3次元的に合成し、これを合成掘削力 F とする。図-5は合成掘削力 F と斜角 β の関係を示す。合成掘削力 F は斜角 $\beta = 0^\circ$ で最大値を取り、斜角 $|\beta|$ の増加に伴い減少する。これは F_z にほぼ依存している事を示す。図-6は全掘削効率 V_E/P と斜角 β の関係を示す。各掘削半径において斜角 $\beta = \pm 5^\circ$ で極大値を取るような傾向であり、掘削土量だけで見れば $\beta = 0^\circ$ で極大値を取るが、掘削効率は全掘削動力に依存しているため $\beta = 0^\circ$ では低い値を取ると思われる。 $R = 2 \text{ cm}$ の時だけ高い掘削効率を得られているのは、掘削半径が非常に小さいため掘削円内全てがすり鉢状に掘削されたためである。斜角 $|\beta|$ が大きい時に変化量が大きくなるのは、チップングによる効果が大きく影響したためであると考えられる。

6. 考察 斜角 $\beta = \pm 5^\circ$ において接線方向力や掘削効率など特異な点が見られるのは、曲率半径による影響があると思われ、斜角 $|\beta|$ が増加した時にチップング効果が大きくなるのは、合成掘削力の供試体表面に対して作用する角度が小さくなっていくため、せん断破壊に依存する度合いが大きくなるためでないかと考える。

7. まとめ 掘削中心部におけるローラカッタビットの岩盤掘削に関して、掘削土量を効果的に増加させる斜角は、 $\beta = \pm 5^\circ$ 及び $\pm 25^\circ$ である事が判明したが、ローラカッタビットの摩耗³⁾という点を考慮すると最適な掘削効率を得られるのは斜角 $\beta = \pm 5^\circ$ であると言える。

8. 参考文献 1) 畠：建設機械学，鹿島出版会，pp.102-113, 1987. 2) C.R.Peterson：Roller cutter forces, Society of Petroleum Engineering Journal 249, pp.57-65, 1970. 3) 室・上松・宮脇・河野：T. B. M. 用ローラカッタビットの摩耗特性，地盤工学会技術・研究発表会 発表論文集平成7年11月，pp.47-48

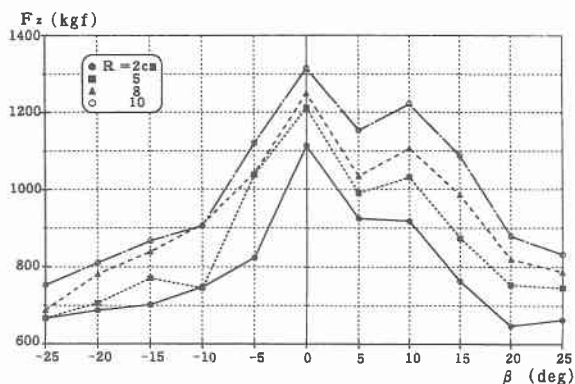


図-4 垂直方向力 F_z と斜角 β の関係

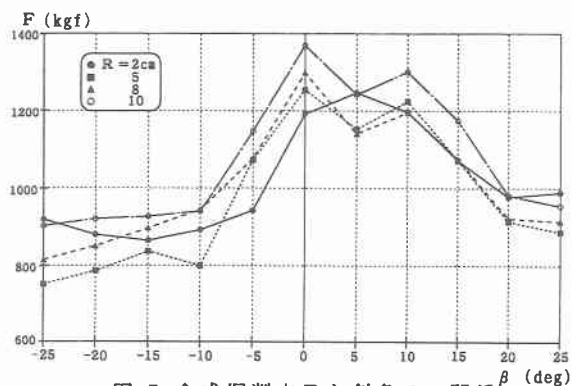


図-5 合成掘削力 F と斜角 β の関係

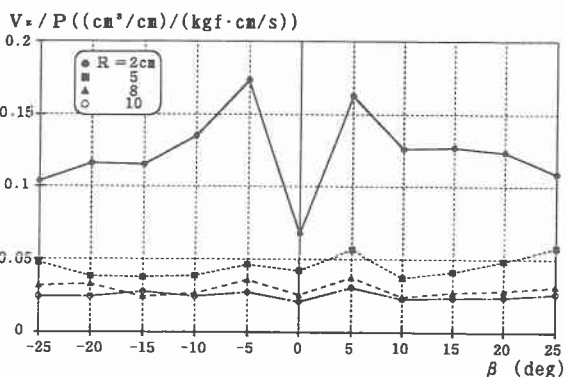


図-6 全掘削効率 V_E/P と斜角 β の関係