

TBM用ローラーカッターの掘削特性

愛媛大学工学部 正会員 室 達朗
 愛媛大学大学院 学生会員 石山 徹
 愛媛大学工学部 学生会員 ○上松 正史

1. はじめに トンネル掘進機TBMの利点は高速及び連続掘進であるが、カッタービットの摩耗によって掘進率は低下し、ビット交換時に無駄な時間を費やすこととなる¹⁾。また、その中心掘削部が他のビットに比べて偏摩耗することが知られている。本研究の目的は、TBMの中心掘削部を想定した実験装置により、ローラーカッターの中心部における掘削特性を解明することである。

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、これを実験に用いることにした。

3. 実験装置 図-1は実験装置の概略図を示す。掘削部に配置されているローラーカッタービットは直径10cm、幅1cm、刃物角 60° で、材質はSS400を使用している。これはカッターホルダー部に取り付けられており、斜角 β を $-25^\circ \sim 25^\circ$ まで 5° ずつ、また掘削半径 R を2、5、8、及び10cmの4種類変化させることができる。

4. 実験方法と測定 ローラーカッタービットを供試岩盤に一定量 $d = 0.4 \text{ cm}$ 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。ローラーカッタービットの刃先に作用する力を接線方向力 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、掘削で産出したずりの重量も測定し、単位撓動当たりの掘削土量 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。

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

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

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

ここで、 P_R ：回転動力(kgf·cm/sec)、 P_T ：推進動力(kgf·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は掘削力 F_x (接線方向力)と斜角 β の関係を示す。 F_x は各掘削半径 R に対して、斜角 $\beta = 5^\circ$ でそれぞれ最小値をとり、さらに $|\beta|$ の増加

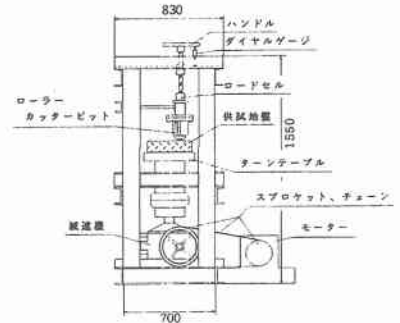


図-1 回転掘削試験機の概略図

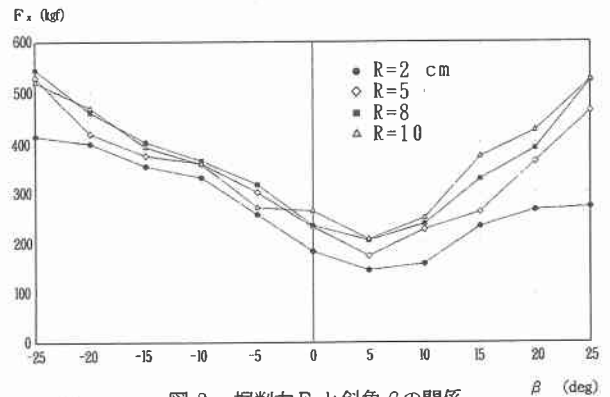


図-2 掘削力 F_x と斜角 β の関係

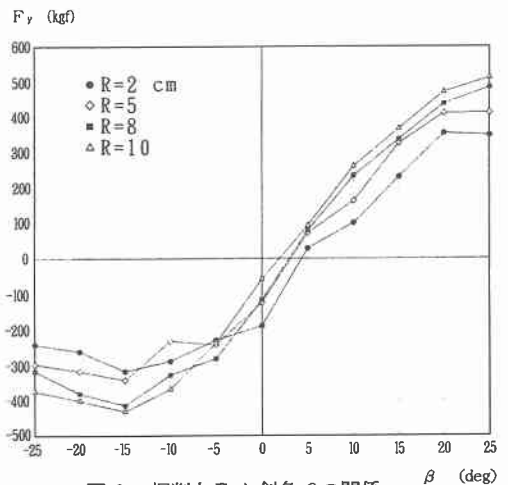
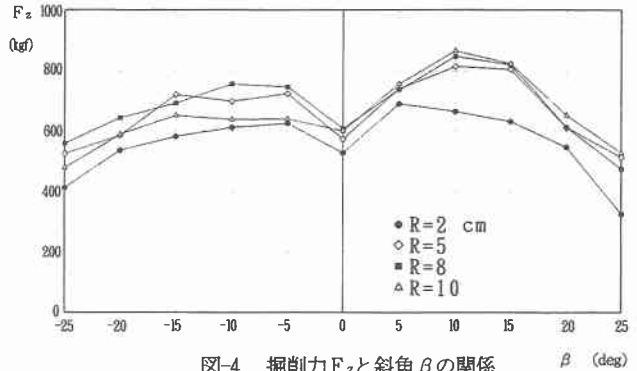
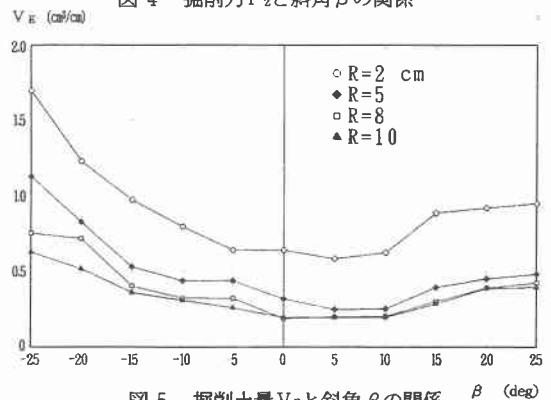


図-3 掘削力 F_y と斜角 β の関係

とともに増加していくが、その変化量は掘削半径によって若干異なることが判明した。その中でも $R = 2\text{cm}$ だけ、 $\beta = \pm 25^\circ$ でやや落ちつくような傾向を見せている。図-3は掘削力 F_y （向心方向力）と斜角 β の関係を示す。 $F_y = 0\text{kgf}$ となる斜角が存在するが、どの掘削半径に対してもこれが $\beta = 0 \sim 5^\circ$ の間であることが分かる。つまりこの斜角でローラーカッタービットに対する向心方向力の作用方向が逆転することを意味する。 F_y はこの斜角

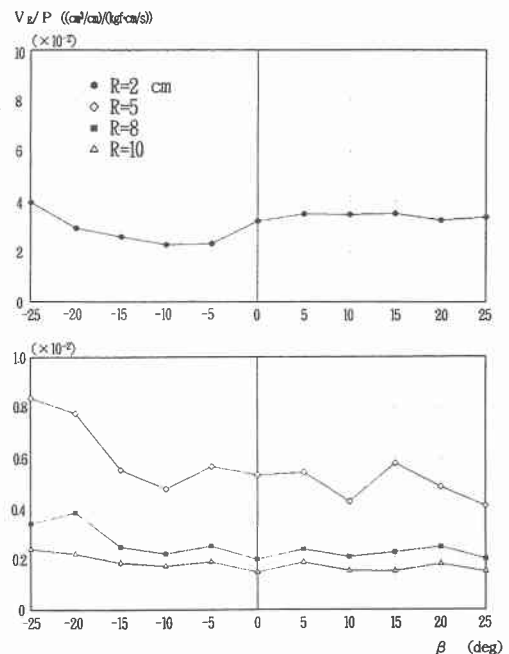
図-4 掘削力 F_z と斜角 β の関係

を境にそれぞれの方向に増加しているが $\beta = 20 \sim 25^\circ$ で最大値、 $\beta = -15^\circ$ 付近で最小値をとることが判明した。これは、斜角が大きくなると接線方向力が大きくなる分、向心方向力が軽減されるためであると考えられる。図-4は掘削力 F_z （垂直方向力）と斜角 β の関係を示す。 F_z は $\beta = 0^\circ$ を境に山型となり、どの掘削半径に対してもほぼ $|\beta| = 5 \sim 10^\circ$ で極大値をとることが判明した。これは $\beta = 5^\circ$ 付近で接線方向力、向心方向力が最小となるため、その分が垂直方向力に集中するためであると考えられる。図-5は掘削土量 V_E と斜角 β の関係を示す。 V_E は $\beta = 0 \sim 5^\circ$ で最小値をとり、 β の増加とともに増加するが斜角が負の場合の方が変化量大きいことが判明した。

図-5 掘削土量 V_E と斜角 β の関係

貫入量が一定であるため、掘削幅が増加すれば掘削土量も増加するのは当然であるが、 β が負の場合に V_E の変化量が顕著に大きくなるのは、チッピ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 F_z が $\beta = 5^\circ$ でそれぞれの R に対して最小値をとるのは、ローラーカッタービットが最初に掘削する点が掘削円周上にあるとき、つまり、最も転動しやすくなる斜角 $\beta = 5^\circ$ 付近の時である。図-6に示したように掘削効率 V_E/P ($\text{cm}^3/\text{cm} / (\text{kgf}\cdot\text{cm}/\text{sec})$) は斜角 $\beta = -20 \sim -25^\circ$ で最大値をとることが判明した。また、 $R = 2\text{cm}$ において $\beta = 5^\circ$ 付近で V_E/P が増大しているのは、掘削半径が小さくなると、比較的小さい V_E の値に対して岩盤に対する仕事量 P が減少するためであると考えられる。

図-6 掘削効率 V_E/P と斜角 β の関係

7. まとめ 掘削中心部においては斜角 $\beta = 5^\circ$ 付近の時にローラーカッタービットは最も転動しやすくなるが、斜角 β が $-25 \sim 25^\circ$ の範囲内では、より少ない力で最も効果的に掘削土量が得られるのは $\beta = -25^\circ$ であると判明した。

8. 参考文献 1) 深川, 室: TBMローラーカッタービットの摩耗特性, 愛媛大学工学部紀要 12(4), 1993.
2) C.R. Peterson: Roller cutter forces, Society of Petroleum Engineering Journal, 1970.