

愛媛大学大学院 学生会員 ○石山 徹
 愛媛大学工学部 正会員 室 達朗
 日立建機(株) 安本真一

1. はじめに

TBM(Tunnel Boring Machine)に使用されているローラーカッタービットの摩耗機構を解明するためには、ローラーカッタービットにかかる力を知ることが必要であり、この力はローラーカッタービットの配置、掘削機の回転数、掘削する岩盤の強度などに影響を受けるものと思われる。ここでは、TBMに使用されているローラーカッタービットの掘削特性について、特定の軸圧縮強度を持つ供試地盤に対し、製作したローラーカッタービットを用いて掘削半径、斜角と掘削力、及び掘削量の関係を求めていく。

2. 供試地盤

TBMが掘削可能な岩盤強度は、一般には $20 \sim 1500 \text{ kgf/cm}^2$ とされている¹⁾。ここでは、供試地盤として軸圧縮強度 100 kgf/cm^2 のセメントモルタルを製作し、これを $30 \times 30 \times 10 \text{ cm}$ の木製容器に流し込んだ後7日間養生させ使用した。

3. 掘削実験

実験装置の概略図を図-1に示す。本実験では、図-1に見られるハンドルで供試地盤にローラーカッタービットを一定量 2 mm 貫入させ掘削する定常掘削実験²⁾を行った。ここでローラーカッタービットは直径 10 cm 、刃物角 60° のものを使用した。また図-2に掘削部の概略図を示す。掘削半径 R は 2 cm 、 5 cm 、 8 cm 、 10 cm の4通りに、斜角 β は $0^\circ \sim 25^\circ$ まで 5° ずつ変化させることができる。供試地盤はターンテーブルに4点固定され、ターンテーブルを回転させることにより供試地盤を回転させ、一定量貫入させたローラーカッタービットによって供試地盤を掘削させると共に、3方向の力 F_x 、 F_y 、 F_z を測定する³⁾。

4. 実験結果

実験結果から F_x 、 F_y 、 F_z と β の関係を求めた。 F_x については、 $\beta = 5^\circ$ 付近で最小値をとり、その後上昇する傾向がみられた。これは、 $\beta = 5^\circ$ 付近で最もローラーカッタービットがスムーズに回転していることを意味している。 F_y については、斜角 β が小さい時は図-2に見られる y 方向と反対方向(負の方向)の力が働いているが、 β が大きくなるに従って正の方向に移行する傾向がみられた。つまり、ある斜角 β で $F_y = 0$ となることがわかり、 β_0 は掘削半径が大きくなるほど小さくなる。また、

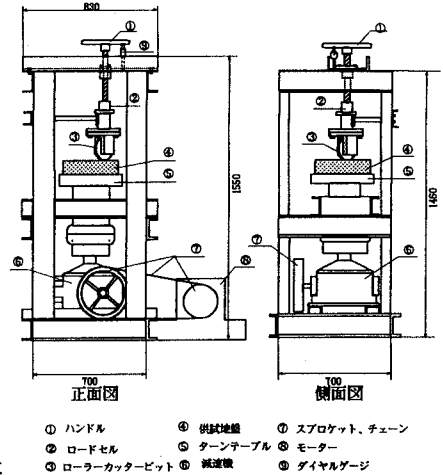


図-1 実験装置の概略図

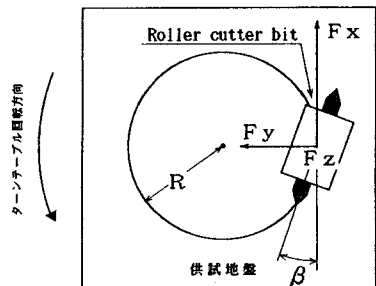


図-2 掘削部の概略図

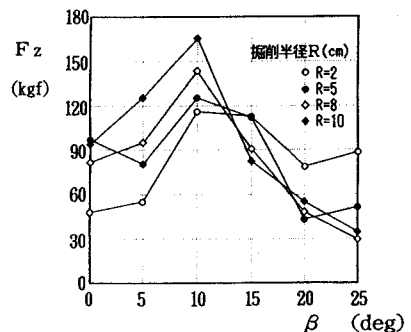


図-3 F_z と β の関係

図-3に F_z と β の関係を示した。図を見れば β が 10° 付近まで F_z は上昇し、その後減少する傾向がみられる。これは F_x 、 F_y と比較して逆の傾向を示しており、 x 、 y 方向にかかる力を減少させる分 z 方向の力が増大するものと考えられる。また、図-4に掘削土量 V_E と斜角 β の関係を示す。ここで掘削土量とは、ローラーカッタービットにより掘削された供試地盤のずり部分の体積を掘削した距離で除した値である。図を見ると、掘削半径 $R=2\text{cm}$ の時の掘削土量が他の掘削半径に比べて大きいことがわかる。そして $\beta=5^\circ$ 付近で最小値をとり、その後上昇する傾向をとっていることがわかる。また、 β の二次式で回帰を行った。以下に結果を示す。

$$V_E = 7.7 \times 10^{-2} - 7.2 \times 10^{-4} \beta + 5.0 \times 10^{-5} \beta^2 \quad (R=2\text{cm})$$

$$V_E = 4.3 \times 10^{-2} + 1.3 \times 10^{-4} \beta + 4.6 \times 10^{-5} \beta^2 \quad (R=5\text{cm})$$

$$V_E = 3.1 \times 10^{-2} + 0.8 \times 10^{-4} \beta + 9.6 \times 10^{-5} \beta^2 \quad (R=8\text{cm})$$

$$V_E = 3.0 \times 10^{-2} + 11.1 \times 10^{-4} \beta + 7.8 \times 10^{-5} \beta^2 \quad (R=10\text{cm})$$

また、より動力をかけずに掘削土量を増加させる斜角を判定するために、掘削土量 V_E を動力 P で除した値と斜角 β の関係を図-5,6に示した。 $R=2\text{cm}$ の場合は、他の掘削半径に比べて値が大きいので図-5に別に表した。ここで動力 P とは F_x の仕事量のことである。 P の算定式は以下の通りである。

$$P = 2\pi R \cdot N \cdot F_x / 60 \quad (\text{kgf} \cdot \text{cm} / \text{s})$$

ここで、 R ：掘削半径(cm)、 N ：ターンテーブルの回転数(rpm)である。図を見れば、どの掘削半径においてもある斜角 β でピークをとる山型のグラフであることがわかる。このピーク値の時が、より動力を少なくして掘削土量を増加させ得る斜角であることを示しているといえる。このピーク値をとる斜角は掘削半径が大きくなるほど小さくなり、 $R=2\text{cm}$ の時に約 10° 、 $R=5\text{cm}$ の時に約 7° 、 $R=8\text{cm}$ の時に約 5° 、 $R=10\text{cm}$ の時は約 0° になっている。

5. 結論

以上のことより、ローラーカッタービットに負担をかけさせないためには、掘削半径ごとに異なったある程度の斜角をもたせると良いが、反面推進力を増加させる結果になることが分かった。したがって、各方向の力のバランスのとれた斜角を持たせることが望ましい。

《参考文献》

- 1) 天野礼二，長友成樹：新体系土木工学. トンネル(I)，技報堂出版，pp.114～118，1989.
- 2) 畠 昭治郎：土と基礎・最近の工法，土質工学会，pp.1～17，1967.
- 3) C.R.Peterson：Roller Cutter Forces，Foster-Miller Associates Inc. Transactions. Vol.249，pp.57～59，1970.

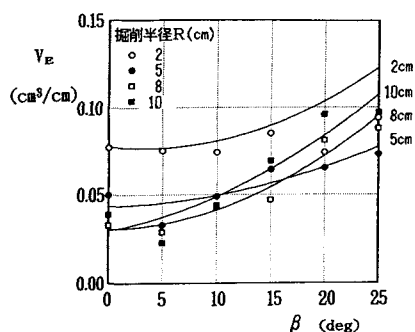


図-4 V_E と β の関係

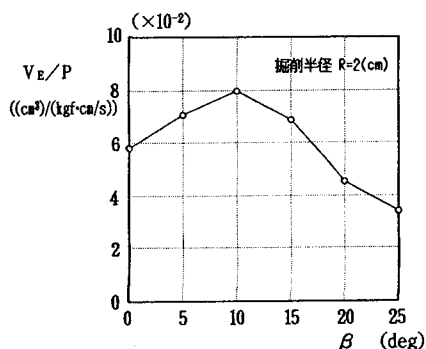


図-5 V_E / P と β の関係 ($R=2$)

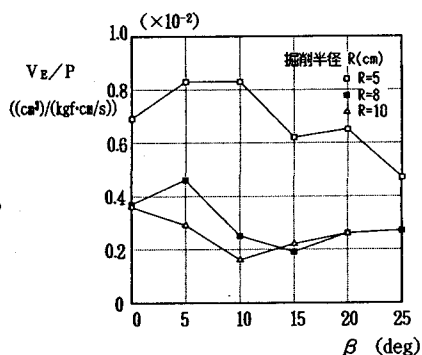


図-6 V_E / P と β の関係 ($R=5, 8, 10$)