

日本電信電話公社 正会員 ○有岡良祐

日本電信電話公社 正会員 倉石里美

1. まえがき

近年、トンネルの築造には回転ドラム型メカニカルシールド機がおおいに利用されているが、粘性土掘削におけるシールド機の動力の算定に必要な回転トルク、推力についてはあまり明らかにされていない。本報告では、粘性土掘削におけるシールド機の動力を決定するのに大きな影響をもつ回転トルクについて理論による推定とし、 $\phi 1570\text{mm}$ メカニカルシールド機を用いた掘削実験を行なったのでその結果について述べる。

2. 回転トルクの推定

回転トルク M は、無負荷時におけるトルク M_0 、切削に要するトルク M_1 、バケット内の土の揚上げに要するトルク M_2 、バケット内の土のつまりにより増加するトルク M_3 の総和と考えられる。

$$M = M_0 + M_1 + M_2 + M_3$$

このうち、 M_0 は機械の軸受構造、 M_3 はバケット形状により異なるため理論的に解析し難いので実験で確認することにし、ここでは切削に要するトルク M_1 、およびバケット内の土の揚上げに要するトルク M_2 について推定を行なった。

(1) M_1 の推定

M_1 は、工具刃先のすくい面に作用する力（第1項）と、工具刃先の内側面、外側面において土をせん断破壊させるための力（第2項）に打ち勝ってなす仕事に分けて解析を行ない次式を得た¹⁾

$$M_1 = \sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{1}{2} r \frac{f^2}{n^2} K_A + C \frac{f}{n} K_B \right) \frac{\cos(\delta - \alpha)}{\cos \delta} + C' \frac{f}{n} \tan \alpha \cdot \tan \delta \right\} w_i R_i + \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\pi}{2} (D_{1i} + D_{2i}) \left(C \frac{f}{n} + \frac{E \sigma}{2} \frac{f}{n} \tan \phi \right) \right\} \quad \text{----- (1)}$$

ただし、 r : 土の単位体積重量 (kg/m^3) f : 掘進速度 (m/min) n : 回転数 (rpm)

C : 土の粘着力 (kg/cm^2) K_A, K_B : 工具すくい角と土の内部摩擦角の関数

α : 工具すくい角 (度) ϕ : 土の内部摩擦角 (度) δ : 工具と土の摩擦角 (度)

C' : 工具と土の摩擦力 (kg/cm^2) w : 工具切削幅 (m) E : 土圧係数

R : シールド機の回転中心から工具の中心までの距離 (m)

D_1 : 工具の外側径 (m) D_2 : 工具の内側径 (m)

(2) M_2 の推定

M_2 は、掘削された土砂をバケットで揚上げ、ホッパに落す仕事であり、式(2)であらわされる²⁾

$$M_2 = r \pi D A \frac{f}{n} \quad \text{----- (2)}$$

ただし、 D : シールド機のカッタフェース径 (m) A : 掘削断面積 $= \frac{\pi D^2}{4}$ (m^2)

(3) 計算結果

$\phi 1570\text{mm}$ シールド機の掘削機構（図-1、図-2）を想定し、表-1の諸元により、切削トルク M_1 と土の揚上げに要するトルク M_2 について計算した結果を図-3に示す。

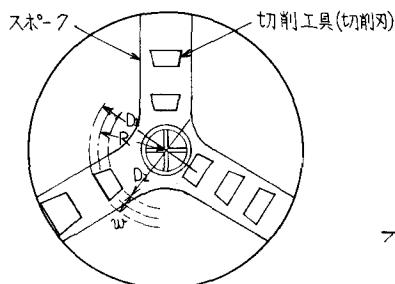


図-1 カッタフェース

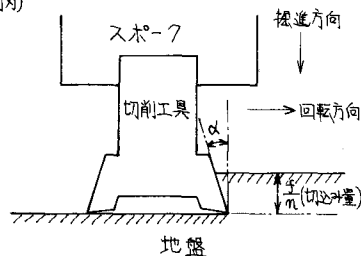


図-2 切削工具拡大図

表-1 理論計算に使用した数値

$\gamma = 1370 \text{ kg/m}^3$	$K_A = 1.69$	$D = 1.57 \text{ m}$
$C = 700 \text{ kg/m}^2$	$K_B = 3.5$	$A = 1.94 \text{ m}^2$
$\alpha = 20^\circ$	$n = 4 \text{ rpm}$	$\sum_{i=1}^n W_i R_i = 0.34 \text{ m}^2$
$\phi = 24^\circ$	$C' = 100 \text{ kg/m}^2$	$\sum_{i=1}^n (D_i^2 + D_{i+1}^2) = 11.32 \text{ m}^2$
$\delta = 40^\circ$	$E = 0.42$	

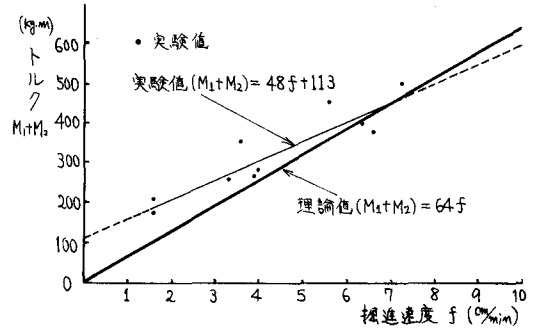


図-3 $(M_1 + M_2)$ の理論値と実験値の比較

3. $\phi 1570 \text{ mm}$ × カニカルシールド機による実験

(1) 実験の概要

$\phi 1570 \text{ mm}$ シールド機 (長さ 2.18 m , 最大回転トルク 2.2 t-m) を用い, カッタジャッキ (最大推力 40 t , 最高速度 37.5 cm/min) による掘削を行ない, 掘進速度と回転トルク, 推力の特性値を求めた。実験土質は関東ロームであり, 自然含水比 $95 \sim 108\%$, $\gamma = 1370 \text{ kg/m}^3$, $C = 700 \text{ kg/m}^2$, $\phi = 24^\circ$ であった。

(2) 実験結果

回転トルクを構成する各トルクは図-4 のようになった。この図から粘性土の掘削においてはバケット内への土のつまりによるトルクの増加が非常に大きいので, 今後, 土のつまりのないバケット等の改良を行なう必要があると判断される。

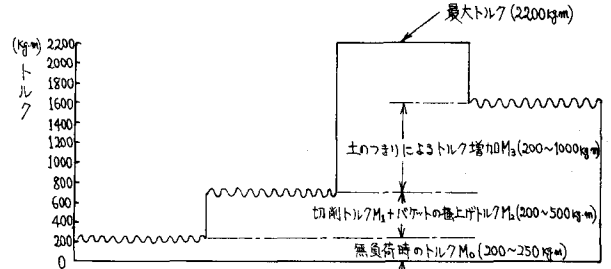


図-4 回転トルク M を構成する各トルク

回転トルク M と推力は図-5 のようによい

相関が得られ, トルクと推力はほぼ比例関係にあることがわかった。トルク M と掘進速度の関係は図-6 から明らかなように 1 次式で表わされ, 掘進速度 5 cm/min でトルク 1100 kg-m , 10 cm/min で 1600 kg-m を必要とした。

(3) 理論との対比

ここでは $(M_1 + M_2)$ について理論値と実験値を比較したものでその結果を, 図-3 に示す。この図によると理論値は実験値にくらべて傾斜 ($\frac{M_1 + M_2}{f}$) はやや大きい, 掘進速度 1.5 cm/min から 8 cm/min の間ではほぼよい近似を与えていることがわかる。

4. まとめ

- (1) シールド機による粘性土の掘削においてはバケット内の土のつまりによるトルク増加の大きいことが判明した。
- (2) 本報告ではシールド機の回転トルクを構成するトルクのうち切削に要するトルクと, バケットによる土の掘上げトルクについて理論値と実験値を比較した。この結果, 理論値は実験値に対してほぼ近似した。

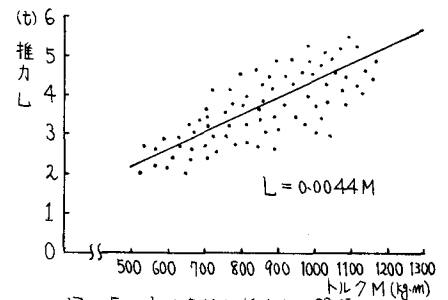


図-5 トルク M と推力 L の関係

5. 文献 1) 建設機械化協会: 土木用建設機械の作業条件測定機の試作研究 (1965)

2) 矢野信太郎: シールド工法 (1969)

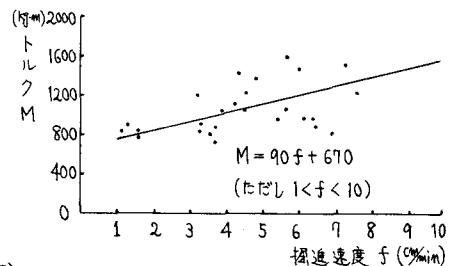


図-6 トルク M と掘進速度 f の関係