

VI-77

異形断面シールド技術に関する研究（その6）

－スイングカッタの掘削性能実験（3）－

大成建設(株) 正会員 金子研一
(株) 大林組 宮 清
(株) 鴻池組 正会員 中島 豊
三菱重工(株) 松本隆夫

1. はじめに

楕円形シールドの掘削方法として、円板カッターとスイングカッター、スライドカッターを組み合わせる方法を考案した。この掘削機構の検証のため種々の実験を行ったが、本文ではスイングカッターに関する実験結果のうちシールド機の設計上重要となる切削(掘削)トルクについてとりまとめている。

2. 実験の概要

実験装置は模型実験機、掘削供試体、反力架台、計測装置より構成し、模型実験機の掘削は直径1.0mの円板カッターとその内部の2本のスイングカッターで行なうこととした¹⁾。図-1にスイングカッターの構造と軌跡を示し、表-1に実験条件を示す。

表-1 実験の条件

ハ'ラメーター	備 考	
カッタ回転数	$f=2, 3, 4 \text{ rpm}$	
推進スピ'ト'	$v=2, 3, 4 \text{ cm/min}$	
偏 平 率	楕 円	0.7 長径=1428mm 短径=1000mm
		0.8 " =1280mm "
		0.9 " =1140mm "
	円 形	1.0 直径=1000, 1140, 1280, 1428mm
供試体強度	一軸圧縮強度 (q_u) 20, 30kgf/cm ²	

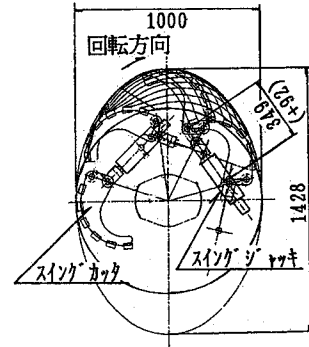


図-1 スイングカッターの構造と軌跡

3. 掘削トルク

供試体強度、掘削断面形状(偏平率=短径/長径)の異なる掘削トルクの測定値を実際のシールド機の設計に反映させるため、単位体積当たりの掘削エネルギー(掘削体積比エネルギー)によって実験結果を整理することとした。

カッター(円板カッター+スイングカッター)の1回転当たりの掘削体積比エネルギー(E_s)は次式によって定義される。

$$E_s = \frac{E_c}{V} = \frac{\int_0^{2\pi} T_c(\theta) d\theta}{\int_0^{1/f} v(t) dt \cdot A} \quad (1)$$

ここに E_s : 掘削体積比エネルギー(kgf/cm²)

E_c : 掘削エネルギー(kgf・cm)

V : 掘削体積(cm³)

$T_c(\theta)$: カッタートルク(kgf・cm)

A : 掘削断面面積(cm²)

f : 単位時間当たりの回転数(rpm)

$v(t)$: 模型実験機の掘削速度(cm/min)

スイングカッターのビットの軌跡が複雑であるため、

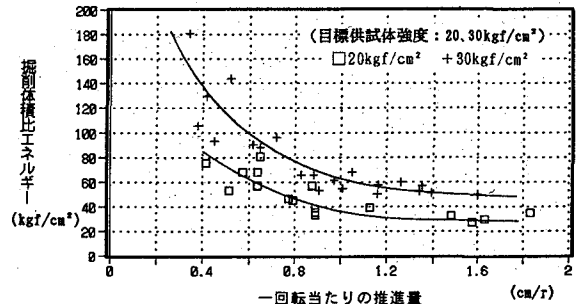


図-2 円板カッターの掘削体積比エネルギーと一回転当たりの推進量の関係

E_c は(1)式の $d\theta$ を 5° としてその間のカッタートルクの平均値を積分することによって求めた。図-2に E_s と1回転当たりの推進量(d_1)を対比するが、同図より E_s は掘削断面の形状・面積には依存せず、掘削供試体の強度、 d_1 に依存し、 E_c は d_1 の双曲線関数で表現できることが分かる。

図-3に図-2の E_c を掘削供試体の強度で除した無次元数と d_1 を対比する。同図より、1本の双曲線で E_c と d_1 とは関連づけることができ、その関連より任意の一軸圧縮強度の地盤を任意の断面で掘削するために必要とされるトルクが計算できることが分かる。また、 d_1 が 0.9cm/r 以上の場合、カッター1回転当たりの掘削エネルギーは一定となり、(2)式で表される。

$$\int_0^{2\pi} T_m(\theta) d\theta + \int_0^{2\pi} [f(\theta) + f(\theta + 180^\circ)] d\theta = \text{const.} \quad (2)$$

ここに $T_m(\theta)$: 円板カッターの掘削トルク(kgf·cm)

$f(\theta) + f(\theta + 180^\circ)$: スイングカッターの掘削トルク(kgf·cm)

カッター1回転当たりの円板カッターの掘削エネルギーは一定であるため、スイングカッターの掘削エネルギーも一定となる。スイングカッターを等間隔で n 本装備した場合、スイングカッター1本当りの掘削エネルギーは $1/n$ となり、スイングカッターが θ の位置にあるときの掘削トルクは(3)式で表される。

$$T_c(\theta) = T_m(\theta) + \sum_{i=0}^{n-1} \{f(\theta + i\Delta\alpha)\} \quad (3)$$

ここに n : スイングカッターの装備本数

$\Delta\alpha$: スイングカッターの装備間隔 ($\Delta\alpha = \frac{360^\circ}{n}$)

図-4に模型実験機にスイングカッターを3本装備した場合のカッタートルクの変動を示す。同図より、スイングカッターの本数を3本に増加した場合、カッタートルクの変動を平滑化できることが分かる。

4. おわりに

掘削体積比エネルギーを掘削供試体の一軸圧縮強度で除した無次元量によって、従来関連が強いといわれていた地山強度、掘削速度、掘削トルクの3者の関連を明確にすることができた。今後、検証の必要はあるが、楕円形シールド機の装備トルク算定式の一項として活用できるものと考えている。

なお、本研究は建設省総プロ(地下空間の利用技術の開発)の一環として、建設省土木研究所、先端建設技術センターおよび民間7社(大林組、鴻池組、新日本製鐵、大成建設、竹中土木、東急建設、三菱重工業)の共同研究で実施したものの一部である。

- 1)中島他, 異形断面シールド技術に関する研究(その4)スイングカッターの性能実験(2), 土木学会第46回年次学術講演会, 平成3年9月

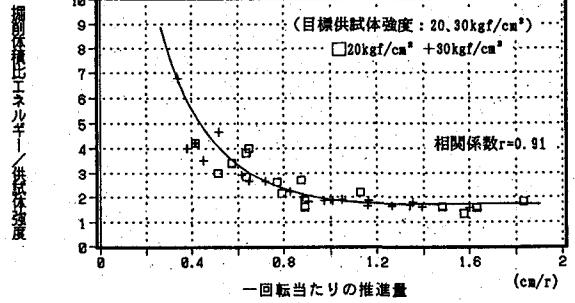


図-3 掘削体積比エネルギー/供試体強度と一回転当たりの推進量の関係

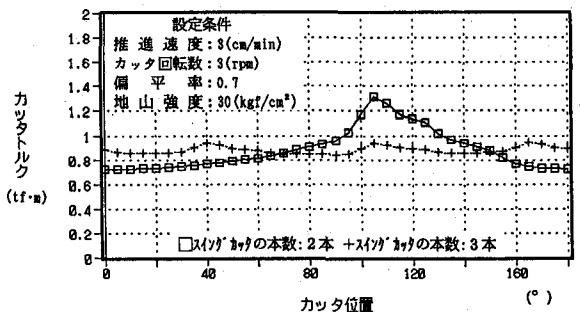


図-4 カッタートルクのシミュレーション結果