

矩形断面シールド工法の開発（その3） （スイングドラム型矩形断面シールド実証機の掘削能力設計法に関する実験的検討） Development of Rectangular Shield Method - Part 3 - （Experimental operation of Swing-Drum Rectangular Shield Machine）

坪井 広美* 内田 克巳**
Hiromi Tsuboi Katsumi Uchida
高橋 鉄也** 岡本 修***
Tetsuya Takahasi Osamu Okamoto

要 約

スイングドラム型矩形断面（SDR）シールド工法は、小径のドラムカッタを上下にスイングさせることにより矩形断面掘削を可能とした工法である。

本報は、技報第16号で報告した実証機を用いた負荷実験により、スイングドラム型掘削機構の掘削能力設計法を検証した報告である。

負荷実験の結果、スイングトルクおよび土砂攪拌トルクについては、要素実験から導いた設計式の妥当性が確認された。また、ドラムカッタトルクについては、カッタのスイングに起因する摩擦抵抗などを考慮する必要があることが明らかになった。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. SDRシールドの掘削能力設計法
- § 3. SDRシールド実証機負荷実験
- § 4. 掘削能力設計法の検討
- § 5. まとめ

§ 1. はじめに

矩形を含む異形断面シールド工法は、円形シールドに比べ必要最小限の合理的な断面空間が構築可能であるため、地下空間の有効利用技術として開発が行われている。

SDRシールド工法は、シールド本体と同一幅のドラムカッタを回転させながら上下にスイングさせることに

より矩形断面を掘削するものである（写真-1）。この掘削機構は従来の円形シールドの掘削機構とは異なるため、その掘削能力の設計法を明確にすることが重要となる。実証機の掘削能力の算定にあたっては、円形シールドの設計法を踏襲するとともに、スイングアームに関する係数は1/6スケールの模型による要素実験^{1) 2)}から得た数値を適用した。

本報では、実証機を用いた負荷実験結果を基に、SDRシールド掘削能力の設計法の妥当性を検証した内容を報告する。

§ 2. SDRシールドの掘削能力設計法

2-1 設計条件

SDRシールド実証機の設計条件を表-1に示す。

以下、SDRシールドのスイングトルク、ドラムカッタトルクおよび土砂攪拌羽根トルクの設計式を記述する。

* 技術研究所土木技術課

** 機材部機械課

*** 技術研究所機電課



写真-1 SDRシールド実証機

なお、各変数の () 内は、実証機の数値である。

2-2 ドラムカッタートルク

SDRシールドのドラムカッタートルク (T_c) は、円形シールドのカッタートルク設計法を踏襲し、式 (1) で表す (図-1 参照)。

$$T_c \text{ (tf}\cdot\text{m)} = T_1 + T_2 + T_3 \quad (1)$$

ここに、 T_1 : 地山の切削抵抗によるトルク (tf·m)

T_2 : 掘削土の摩擦抵抗によるトルク (tf·m)

T_3 : 機械および駆動抵抗によるトルク (tf·m)

各項の設計式は、以下のとおりである。

(1) T_1 (地山の切削抵抗によるトルク)

T_1 はドムブローフスキーのツメ付きバケットの切削抵抗に関する実験式³⁾ から、式 (2)、(3) を得る。

$$T_1 \text{ (tf}\cdot\text{m)} = P_c \cdot r \cdot 10^{-5} \quad (2)$$

$$P_c = k \cdot b \cdot t_c (0.7 + 0.015 \delta) + k' (2n \cdot Z \cdot r + \mu \cdot X \cdot n \cdot r) \quad (3)$$

ここに、 P_c : 切削抵抗 (kgf)

k : 土の比抵抗 (kgf/cm²) (=1.0kgf/cm²)

b : ドラムカッターの幅 (cm) (=101cm)

t_c : 1回転当たりの切り込み深さ (cm) (=1.9cm)

δ : 切削角度 (deg) (=30deg)

k' : 土の破断応力 (kgf/cm²) (=10.0kgf/cm²)

n : ツメの数 (=1)

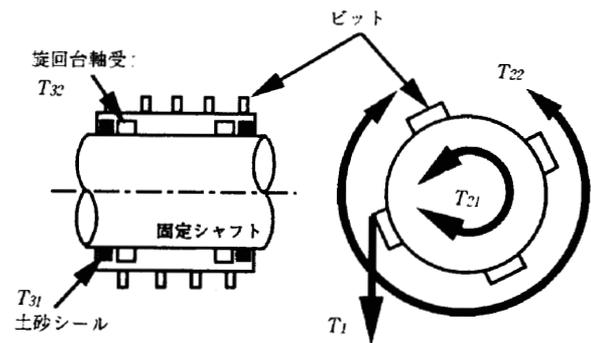
Z, X : 刃先磨耗線の縦軸, 横軸の投影長さ (cm) ($Z=0.5\text{cm}, X=2.0\text{cm}$)

r : ドラムカッター中心からビット先端までの長さ (cm) (=60cm)

μ : 土とカッターの摩擦係数 (=0.3)

表-1 潜熱蓄熱材および潜熱蓄熱槽の性能

土質	砂質土
土盛り	10 m
地下水位	GL-4.0 m
土の単位体積重量	1.8 tf/m ³ (水中0.8 tf/m ³)
内部摩擦角	30°
N値	10 ~ 20
粘着力	0 kgf/cm ²
地盤反力係数	2.0 kgf/cm ²
最大礫径	φ100 mm
上載荷重	1.0 tf/m ²



ドラムカッター

図-1. ドラムカッタートルク概念図

(2) T_2 (掘削土の摩擦抵抗によるトルク)

$$T_2 \text{ (tf}\cdot\text{m)} = T_{21} + T_{22} \quad (4)$$

ここに、 T_{21} : カッター側面の摩擦抵抗によるトルク (tf·m)

T_{22} : カッター外周面の摩擦抵抗によるトルク (tf·m)

$$T_{21} = \int_0^r 2 \pi r \cdot dr \cdot Ph \cdot \mu l \cdot r \quad (5)$$

$$T_{22} = Ph \cdot 2 \pi r \cdot b l \cdot \mu l \cdot r \quad (6)$$

ここに、 Ph : 水平土圧 (tf/m²) (=1.0tf/m²; 実験条件)

r : ドラムカッターの半径 (m) (=0.5m)

$b l$: ドラムカッターの幅 (m) (=1.01m)

μl : 掘削土と鋼の摩擦係数 (=0.2)

(3) T_3 (機械および駆動抵抗によるトルク)

$$T_3 \text{ (tf}\cdot\text{m)} = T_{31} + T_{32} \quad (7)$$

ここに、 T_{31} : 土砂シールの摩擦抵抗によるトルク

T_{32} : 機械の摩擦抵抗によるトルク

$$T31 = \mu_0 \cdot \pi \cdot e \cdot n \cdot d^2 \cdot 10^{-5} / 2 \quad (8)$$

$$T32 = (Wr + Wt) \cdot \mu b \cdot Db / 2 \quad (9)$$

ここに、 μ_0 : 土砂シールと金属の摩擦係数 (=0.1)
 e : 土砂シールの変形係数 (=4.4kgf/cm²)
 n : 土砂シールの段数 (=6)
 d : 土砂シールの接触面直径(cm)=(74.5cm)
 Wr : 旋回台軸受にかかるラジアル荷重 (tf)
 (=4.3tf)
 Wt : 旋回台軸受にかかるスラスト荷重 (tf)
 (=1.0tf)
 μb : 旋回台軸受の摩擦係数 (=0.05)
 Db : 旋回台軸受の直径 (m) (=0.592m)

2-3 スイングトルク

SDRシールドのスイングトルクは、ドラムカッタ正転(下方から上方への切削)の場合、スイングアーム上昇時(ST1)と下降時(ST2)について、図-2に示すスイングに対する負荷要因の作用方向から、それぞれ式(10)、(11)で表すことができる。

$$ST1 \text{ (tf} \cdot \text{m)} = Tsc + Tsw + Tsm + Tsf \quad (10)$$

$$ST2 \text{ (tf} \cdot \text{m)} = Tsm - Tsc - Tsw + Tsf \quad (11)$$

ここに、 Tsc : カッタの切削反力によるトルク (tf·m)
 Tsw : 自重によるトルク (tf·m)
 Tsm : 掘削土の抵抗によるトルク (tf·m)
 Tsf : 機械および駆動抵抗によるトルク (tf·m)

各項の設計式は以下のとおりである。

(1) Tsc (カッタの切削反力によるトルク)

$$Tsc \text{ (tf} \cdot \text{m)} = F1 \cdot (L1 + L2) \quad (12)$$

$$F1 = (T1 + T2) / L2 \quad (13)$$

ここに、 $F1$: カッタの切削反力 (tf)

$T1$: 地山の切削抵抗によるカッタトルク (tf·m) (=0.71tf·m)

$T2$: 掘削土の摩擦抵抗によるカッタトルク (tf·m) (=0.825tf·m)

$L1$: スイング中心からドラムカッタ中心までの長さ (m) (=2.3m)

$L2$: ドラムカッタ中心からビット先端までの長さ (m) (=0.6m)

(2) Tsw (自重によるトルク)

$$Tsw \text{ (tf} \cdot \text{m)} = w \cdot L3 \quad (14)$$

ここに、 w : ドラムカッタを含むスイングアームの自重 (tf) (=6.8tf)

$L3$: スイング中心からドラムカッタを含むスイングアームの重心までの長さ (m) (=1.7m)

(3) Tsm (掘削土の抵抗によるトルク)

掘削土の抵抗によるトルク (Tsm) は、スイングアームが掘削土で充満されたチャンパ内で上下動することによる掘削土の抵抗によるトルクであり、SDRシールドに特有な負荷である。このトルクは、実証機の1/6スケール要素実験では、スイング速度にかかわらず一定であるという結果を得た。したがって、スイングアームの掘削土の抵抗によるトルクは、スイングアームの投影面積に比例する¹⁾とし、式(15)で表すことができる。なお、スイングトルク係数は、土砂攪拌羽根やドラムカッタなどの回転部分と、アーム軸部などの非回転部に分け、それぞれ求めた。

$$Tsm \text{ (tf} \cdot \text{m)} = \alpha \sum (ai \cdot Li) + \alpha' \sum (a'i \cdot L'i) \quad (15)$$

ここに、 α : 回転部に対するスイングトルク係数

α' : 非回転部に対するスイングトルク係数

$\sum (ai \cdot Li)$: 各スイングアーム回転部における平面投影面積 ai (m²)とスイング軸中心から ai の図心までの長さ Li (m)の積の総和 (tf·m) (=3.15tf·m)

$\sum (a'i \cdot L'i)$: 各スイングアーム非回転部における平面投影面積 $a'i$ (m²)とスイング軸中心から $a'i$ の図心までの長さ $L'i$ (m)の積の総和 (tf·m) (=0.641tf·m)

また、要素実験から得たスイングトルク係数は、 $\alpha = 3.4$ 、 $\alpha' = 12.1$ である。

(4) Tsf (機械および駆動抵抗によるトルク)

$$Tsf \text{ (tf} \cdot \text{m)} = Tsf1 + Tsf2 \quad (16)$$

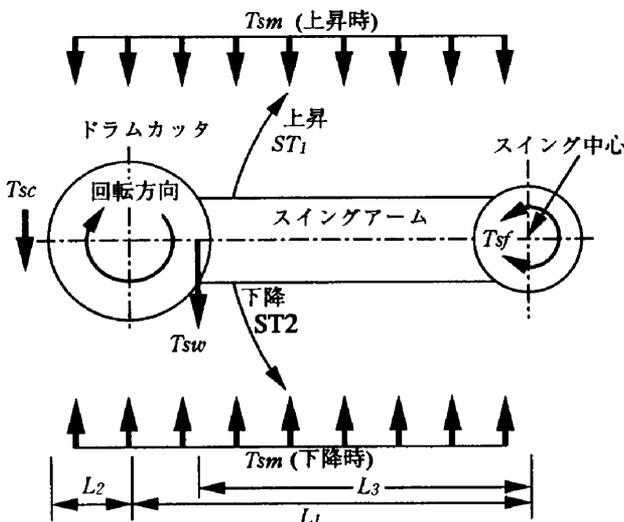


図-2 スイングトルク概念図

ここに、 T_{sf1} ：シール（Oリング）の摩擦抵抗によるトルク

T_{sf2} ：機械の摩擦抵抗によるトルク

$$T_{sf1} = \mu_0 \cdot \pi \cdot e_0 \cdot n \cdot d^2 \cdot 10^{-5} / 2 \quad (17)$$

$$T_{sf2} = (Wr + Wt) \cdot \mu b \cdot Db / 2 \quad (18)$$

ここに、 μ_0 ：シールと金属の摩擦係数 (=0.1)

e_0 ：シールの変形係数 (=8.8kgf/cm²)

n ：シールの段数 (=4)

d ：シールの接触面直径 (cm) (=43.2cm)

Wr ：旋回台軸受にかかるラジアル荷重 (tf) (=25.0tf)

Wt ：旋回台軸受にかかるスラスト荷重 (tf) (=1.0tf)

μb ：旋回台軸受の摩擦係数 (=0.05)

Db ：旋回台軸受の直径 (m) (=0.50m)

2-4 土砂攪拌羽根トルク

S DRシールドの土砂攪拌羽根トルク (T_m) は、式 (19) で表される (図-3 参照)。

$$T_m \text{ (tf} \cdot \text{m)} = T_{m1} + T_{m2} \quad (19)$$

ここに、 T_{m1} ：掘削土の抵抗によるトルク (tf·m)

T_{m2} ：機械および駆動抵抗によるトルク (tf·m)

各項の設計式は以下のとおりである。

(1) T_{m1} (掘削土の抵抗によるトルク)

掘削土の抵抗によるトルク (T_{m1}) は、要素実験結果では、羽根径の3乗に比例することから、式 (20) で表す。なお、攪拌羽根トルク係数 β の値は要素実験装置と実証機の攪拌羽根形状が相似であることから、要素実験で得た $\beta = 0.8$ を用いることとする。

$$T_{m1} \text{ (tf} \cdot \text{m)} = \beta d^3 \quad (20)$$

ここに、 β ：攪拌羽根トルク係数 (=0.8)

d ：攪拌羽根の径 (m) (=0.9m)

(2) T_{m2} (機械および駆動抵抗によるトルク)

$$T_{m2} \text{ (tf} \cdot \text{m)} = T_{m21} + T_{m22} \quad (21)$$

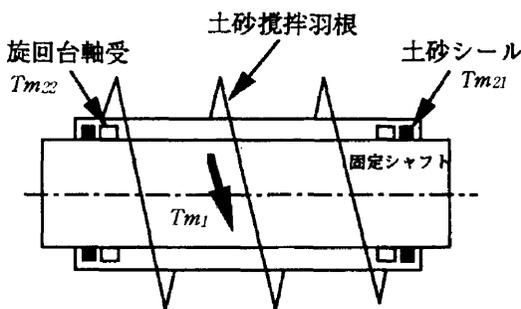


図-3 土砂攪拌羽根概要図

ここに、 T_{m21} ：土砂シールの摩擦抵抗によるトルク

T_{m22} ：機械の摩擦抵抗によるトルク

$$T_{m21} = \mu_0 \cdot \pi \cdot e \cdot n \cdot d^2 \cdot 10^{-5} / 2 \quad (22)$$

$$T_{m22} = (Wr + Wt) \cdot \mu b \cdot Db / 2 \quad (23)$$

ここに、 μ_0 ：土砂シールと金属の摩擦係数 (=0.1)

e ：土砂シールの変形係数 (=4.4kgf/cm²)

n ：土砂シールの段数 (=6)

d ：土砂シールの接触面直径 (cm) (=52cm)

Wr ：旋回台軸受にかかるラジアル荷重 (tf) (=8.05tf)

Wt ：旋回台軸受にかかるスラスト荷重 (tf) (=1.0tf)

μb ：旋回台軸受の摩擦係数 (=0.05)

Db ：旋回台軸受の直径 (m) (=0.592m)

2-5 設計値

以上の設計式から算定した実証機の掘削能力に関する設計値を表-2にまとめる。

表-2 各トルクの設計値

カッタトルク T_c				(tf·m)	
地山の切削抵抗によるトルク T_1		0.710		1.414	
掘削土の摩擦抵抗によるトルク T_2	カッタ側面の摩擦抵抗 T_{21}	0.079	0.396		
	カッタ外面の摩擦抵抗 T_{22}	0.317			
機械および駆動抵抗によるトルク T_3	土砂シールの摩擦抵抗 T_{31}	0.230	0.308		
	機械の摩擦抵抗 T_{32}	0.078			
スイングトルク ST				(tf·m)	
カッタの切削反力によるトルク T_{sc}		7.4		上昇時 ST1	37.9
自重によるトルク T_{sm}		11.6			
掘削土の抵抗によるトルク T_{sm}		18.5		下降時 ST2	-0.07
機械および駆動抵抗によるトルク T_{sf}	シールの摩擦抵抗 T_{sf1}	0.10	0.43		
	機械の摩擦抵抗 T_{sf2}	0.325			
土砂攪拌羽根トルク T_m				(tf·m)	
掘削土の抵抗によるトルク T_{m1}		0.583		0.963	
機械および駆動抵抗によるトルク T_{m2}	土砂シールの摩擦抵抗 T_{m21}	0.112	0.380		
	機械の摩擦抵抗 T_{m22}	0.268			

§ 3. SDRシールド実証機負荷実験

3-1 目的

実証機負荷実験は、以下の目的で行った。

- ①スイングトルク、ドラムカッタトルクおよび土砂攪拌羽根トルクの掘削能力設計法の妥当性の確認。
- ②要素実験から得たスイングトルク係数 (α, α')、攪拌羽根トルク係数 (β) の実証機への適用性の確認。

3-2 実験方法

(1) 実験概要

実験は、チャンバ内に掘削土が充満している状態で、ドラムカッタ、スイングアームなどの掘削機構のみを運転し、スイングジャッキの油圧およびドラムカッタ、土砂攪拌羽根の油圧モータ圧力を計測するものである。実施と同様なチャンバ状態の再現は、SDRシールドの前面に組み立てた土槽の中に、作泥土材を含む塑性流動化した掘削土を充填することにより行う。実験設備と配置を図-4、写真-2に示す。

また、作泥土材を注入し、その効果を定性的に確認する。なお、注入する作泥土材の量は泥土加圧シールド工法協会「泥土加圧シールド工法技術・積算資料1990」を参考とした。

(2) 実験用掘削土

実験対象土は2種類とした。一つは泥土加圧シールド工場の施工現場から排出された作泥土材を含んだ土砂を、含水比、スランプ値が要素実験と同一になるように調整したシルト混じり砂質土である。もう一つはこの調整した土に碎石(礫径13~80mm)を礫率最大30%まで計測ケースごとに徐々に添加した礫混じり砂質土である。実験に用いた掘削土の土質および粒度分布を表-3、図-5にそれぞれ示す。

なお、土槽への充填は、0.4m³バックホーにて土槽上部から土を自然落下させ、転圧等の締め固めは行わなかった。

(3) 計測

スイング起動から停止まで15分間を1サイクルとして計測をNo.1から67まで行った。このうち、計測No.1から10が掘削土の充填前に行った無負荷実験(1)、計測No.11から37がシルト混じり砂質土を充填した状態で行った負荷実験、続く計測No.38から40が無負荷実験(2)、計測No.41から67が礫混じり砂質土を充填した状態で行った負荷実験である。

各作動油圧などの機械負荷および、カッタ回転数などの運転制御項目の計測は5秒ごとに行った。

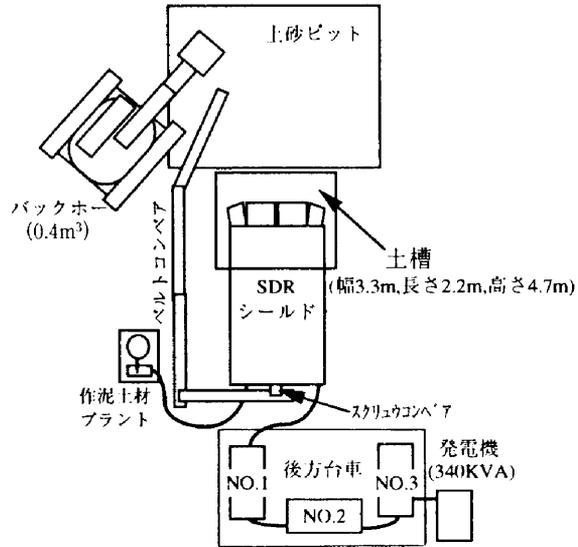


図-4 実験設備と配置

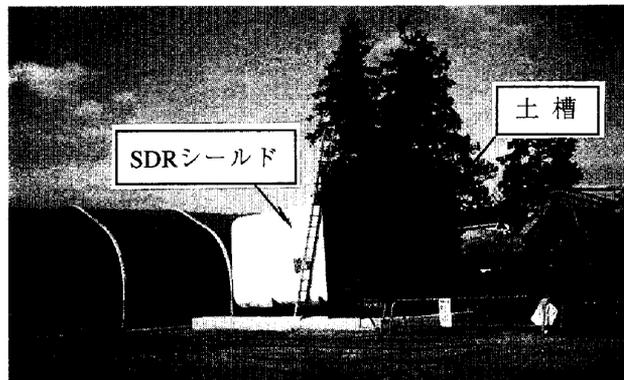


写真-2 実験状況

表-3 実験用土砂

土質	シルト混じり砂質土	礫混じり砂質土(礫率30%)
含水比	31.1%	21.8%
均等係数	1.10	2.19
細粒分(75μm未満)	21.7%	1.8%
砂分(75μm~2mm)	78.8%	62%
礫分(2mm~75mm)	1.5%	30%
スタンプ	1~2cm	1~2cm

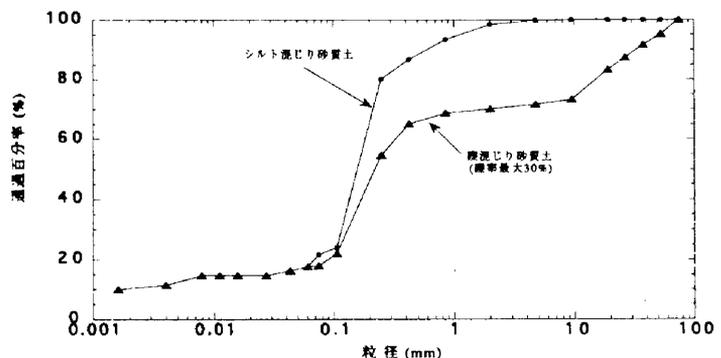


図-5 粒度分布

§ 4. 掘削能力設計法の検討

以下、計測した各作動油圧をトルクに換算した実験結果を示し、スイングトルク、ドラムカッタトルクおよび土砂攪拌羽根トルクの掘削能力設計法について検討する。実験結果は、設計値とともに計測No.内の最大最小の範囲と計測No.内の平均値をプロットする。

また、最後に作泥土材注入効果とチャンノ内への礫混入の影響について記述する。

4-1 ドラムカッタトルク

ドラムカッタトルクの設計式 (1) において、土砂の切削抵抗によるトルク ($T1$) は、今回の実験では地山の切削を行わないので0となる。そこで、土砂の充填前に行った無負荷条件で計測される機械および駆動抵抗によるトルク ($T3$) および、土砂を充填した状態で行った負荷実験の計測値からこの $T3$ を差し引いた、掘削土の摩擦抵抗によるトルク ($T2$) に関し、それぞれ検討する。

(1) $T2$ (掘削土の摩擦抵抗によるトルク)

掘削土の摩擦抵抗によるトルク ($T2$) の実験結果を図-6に示す。 $T2$ の設計値は、 $0.396\text{tf}\cdot\text{m}$ ($3.89\text{kN}\cdot\text{m}$) である。

シルト混じり砂質土での平均計測値は、約 $1.5\text{tf}\cdot\text{m}$ ($14.7\text{kN}\cdot\text{m}$) で、設計値に対してかなり大きい結果となった。

これは、カッタ外周面の摩擦抵抗によるトルク ($T22$) の設計式 (6) において、ドラムカッタが上下にスイングすることによる掘削土砂のドラムカッタへの押し付け力とドラムカッタ外周面のカッタビット部の抵抗によるトルクが増加したためである。これらを考慮すると、 $T22$ は式 (24) となる。

$$T22 = \gamma \cdot \{ (Ph \cdot 2\pi r) + P \cdot b \cdot r \} \quad (24)$$

ここに、 γ : カッタビットを考慮した、ドラムカッタ外周面の摩擦抵抗係数

Ph : 水平土圧 (tf/m^2) ($=1.0\text{tf}/\text{m}^2$: 実験条件)

P : スイングによる掘削土への押し付け力 (tf/m) ($=5.93\text{tf}/\text{m}$: 実験条件)

r : ドラムカッタの半径 (m) ($=0.5\text{m}$)

b : ドラムカッタの幅 (m) ($=1.01\text{m}$)

今回の実験条件におけるスイングによる掘削土への押し付け力による反力 (P) をコーン指数の実測値をもとに算出し、 $T2$ の平均計測値 $1.5\text{tf}\cdot\text{m}$ ($14.7\text{kN}\cdot\text{m}$) から、カッタビットを考慮したドラムカッタ外周面の摩擦抵抗係数 γ を逆算すると、 $\gamma=0.33$ であった。

今後は、設計式 (24) および γ については再度検証する必要がある。

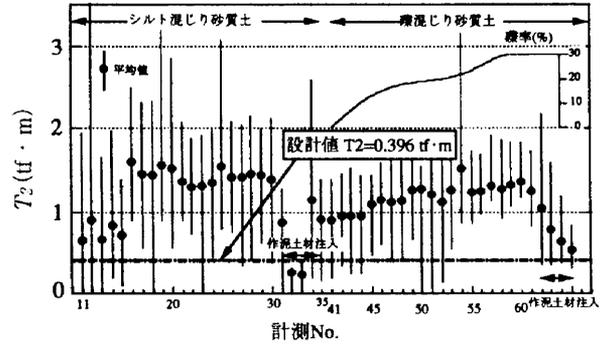


図-6 掘削土の摩擦抵抗によるトルク ($T2$)

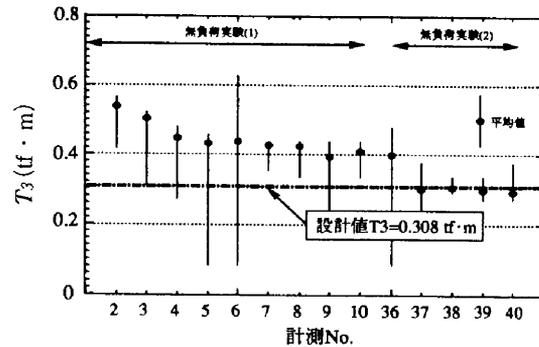


図-7 機械および駆動抵抗によるトルク ($T3$)

(2) $T3$ (機械および駆動抵抗によるトルク)

機械および駆動抵抗によるトルク ($T3$) の実験結果を図-7に示す。設計値は、 $0.308\text{tf}\cdot\text{m}$ ($3.02\text{kN}\cdot\text{m}$) である。

平均計測値は、実験開始時の初期摩擦のため大きいのが、徐々に減少して設計値に漸近している。このように、実験結果は、駆動開始時の機械の初期抵抗が消散したあとは設計値と合致しており、設計法の妥当性が確認された。

4-2 スイングトルク

スイングトルクの設計式 (10), (11) における各項についてそれぞれ検討する。

カッタの切削反力によるトルク (Tsc) は、今回の実験条件では地山の切削を行わないために0となる。また、自重によるトルク (Tsw) と機械および駆動抵抗によるトルク (Tsf) は、無負荷条件でのスイングアーム下降時に所定のスイング速度を確保するための背圧が作用することから、個々の実験値を検出できない。したがって、掘削土の抵抗によるトルク (Tsm) のみについて設計値と実験結果を比較検討する。

この項は、負荷実験のスイングアーム上昇時のスイングトルク計測値 ($ST1$) と無負荷条件のスイングアーム上昇時のスイングトルク計測値 ($ST3=Tsw+Tsf$) から式 (25) で表わすことができる。

$$Tsm (\text{tf}\cdot\text{m}) = ST1 - ST3 \quad (25)$$

(1) T_{sm} (掘削土の抵抗によるトルク)

掘削土の抵抗によるトルク (T_{sm}) の実験結果を図-8に示す。

要素実験と同一土砂であるシルト混じり砂質土実験における平均計測値は、13.9tf・m (136.2kN・m)であった。一方、要素実験で求めた係数 (α , α') を用いて式(15)で予測した設計値は、18.5tf・m (181.3kN・m)と計測値より約30%大きかった。このことから、掘削土の抵抗によるトルク (T_{sm}) は、要素実験でシングルトルク係数を得ることにより、安全側で予測することが可能であるといえる。

4-3 土砂攪拌羽根トルク

土砂攪拌羽根トルクの設計式 (19) の各項について、土砂充填前の無負荷条件での結果から機械および駆動抵抗によるトルク (T_{m2}) を、土砂充填後の負荷実験の結果から T_{m2} を差し引くことにより、掘削土の抵抗によるトルク (T_{m1}) についてそれぞれ検討する。

(1) T_{m1} (掘削土の抵抗によるトルク)

掘削土の抵抗によるトルク (T_{m1}) の実験結果を図-9に示す。

要素実験と同一土砂であるシルト混じり砂質土実験における平均計測値は、0.731tf・m (7.16kN・m)であった。一方、要素実験で求めた係数 (β) を用いて式(20)で予測した設計値は、0.583tf・m (5.71kN・m)であり、計測値より約25%小さかった。したがって、式(20)から土砂攪拌羽根の掘削土の抵抗によるトルク (T_{m1}) を推定することができるといえるが、土砂攪拌トルク係数 (β) については、要素実験で得た値よりも大きくする必要があるといえる。

(2) T_{m2} (機械および駆動抵抗によるトルク)

機械および駆動抵抗によるトルク (T_{m2}) の実験結果を図-10に示す。設計値は、0.380tf・m (3.72kN・m)である。

機械の初期摩擦と考えられるトルクが消散した後は、設計値とよく対応する。したがって、 T_{m2} については設計法の妥当性が確認される。

4-4 作泥土材の注入効果と礫の影響

(1) 作泥土材注入効果

SDRシールド実証機の作泥土材注入口は、チャンバ上部に5カ所、下部に2カ所、両側面に1箇所づつ計9箇所装備する¹⁾。作泥土材注入に伴い、各負荷いづれも大幅に低減し、注入効果は大きいことが確認できる。

(2) チャンバ内への礫混入の影響

礫地盤掘削時のチャンバ内への礫混入による掘削機構への影響を把握するために、チャンバ内のシルト混じり

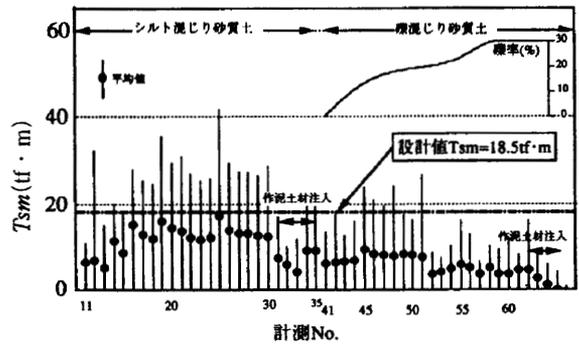


図-8 掘削土の抵抗によるトルク (T_{sm})

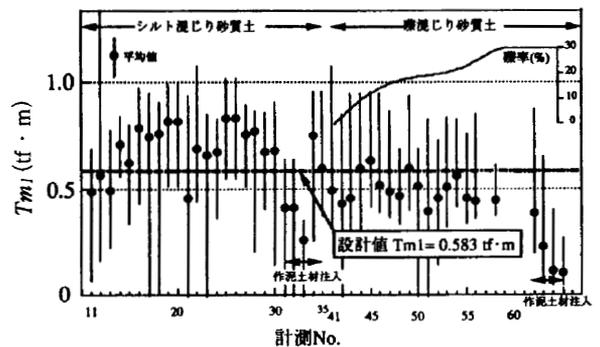


図-9 掘削土の抵抗によるトルク (T_{m1})

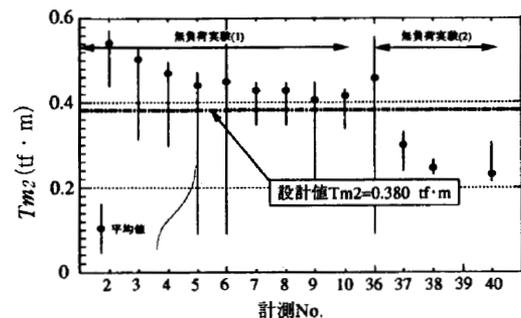


図-10 機械および駆動抵抗によるトルク (T_{m2})

砂質土に礫を最大30%まで添加した実験を行った。その結果、掘削土の抵抗に起因するシングルトルク (T_{sm})、土砂攪拌羽根トルク (T_{m1}) および掘削土の摩擦抵抗に起因するカッタトルク (T_2) とともに礫混入による負荷の増大はなかった。今回の土砂では、礫混入により粒度組成が悪化するため、逆に負荷が低減する傾向があった。

したがって、今回の実験条件の範囲では、チャンバ内への礫混入に伴う掘削能力の割り増しを考慮する必要はないが、地山の切削時に発生する切削反力に起因するカッタトルク (T_1) とカッタの切削反力によるシングルトルク (T_{sc}) については、地山強度を踏まえて慎重に設定する必要がある。

§ 5. まとめ

今回、SDRシールドのスイングドラム型掘削機構の掘削能力の設計法について、実証機の負荷実験を通して検討した。本研究で得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- ①ドラムカッタトルクのうち、機械および駆動抵抗によるトルク ($T3$) については設計式の妥当性が確認できた。しかし、掘削土の摩擦抵抗によるトルク ($T2$) についてはスイングによるドラムカッタ押し付け力とカッタビットの抵抗を考慮した新しい設計式を提案したが、その妥当性を再度検証する必要がある。
- ②スイングトルクのうち、スイングアームの抵抗によるトルク (Tsm) の設計式の妥当性が確認できた。また、要素実験でスイングトルク係数 (α, α') を得ることにより約30%安全側でトルクを予測することが可能である。
- ③土砂攪拌トルクの、土砂の抵抗によるトルク ($Tm1$)

および機械および駆動抵抗によるトルク ($Tm2$) の設計式の妥当性が確認できた。しかし、要素実験で求めた土砂攪拌トルク係数 (β) を用いた設計値は、実験結果に対して約25%小さな結果となった。

今後は、各係数について対象土質における要素実験値と実測値との関係を明らかにする必要がある。

さらに、実地盤の掘削を行うことにより全体的な機械能力のバランスを図るとともに、施工性に関わる項目を中心にさらに研究を重ねていく予定である。

参考文献

- 1) 坪井 他：矩形断面シールド工法の開発（その2），西松建設技報,vol.16,pp.17～24,1993
- 2) 坪井 他：スイングドラム型矩形断面（SDR）シールドの開発（その1）-開発経緯と実機設計-,土木学会第47回年次学術講演会,第Ⅵ部,pp.178～179,1992
- 3) 例えば 矢野：シールド工法,鹿島出版会,1980