

矩形断面シールドの模型実験

坪井 広美*
Hiromi Tsuboi

廣川 文明**
Fumiaki Hirokawa

宇津木 薫***
Kaoru Utsugi

1. はじめに

近年、シールド工法の技術開発は自動化・大断面化・大深度化等の分野でめざましいものがある。そのうちの1つとして断面の多様化があり、MFシールド・DOT工法等複円型シールドについては実用化ができるまで技術が確立されている。しかし、断面の有効利用の観点では正方形等、矩形が有効であることも多い。

そこで、断面の有効利用による工費の低減を目的とした矩形シールド掘進機の開発に取り組んだ。

今回は、 $\square 552\text{mm} \times 502\text{mm}$ の泥水式シールド実験機を製作し模型実験を行ったので、概要および問題点を報告する。

2. 実験概要

2-1 実験装置

矩形シールド実験機を Photo 1 に示す。この実験機

は掘進方向に対して直角な軸を持つドラムカッタ($\phi 450\text{mm}$)を用いて矩形断面掘削を可能とする。

実験装置概要を Fig. 1 に示す。

2-2 実験条件

模擬地盤土質、泥水特性の実験条件を Table 1, Table 2 に示す。

2-3 実験方法

模型実験は次の I, IIに分けて行った。

実験 I : 開発する矩形シールド機は泥水式であるが、バルクヘッドを除去し、開放状態で掘削を行い、ドラムカッタによる掘削土砂の取り込みおよびカッタへの土砂の付着状況を確認する。

実験 II : 実験 I でドラムカッタの掘削能力を把握したあと、泥水式として、掘進速度や模擬地盤を

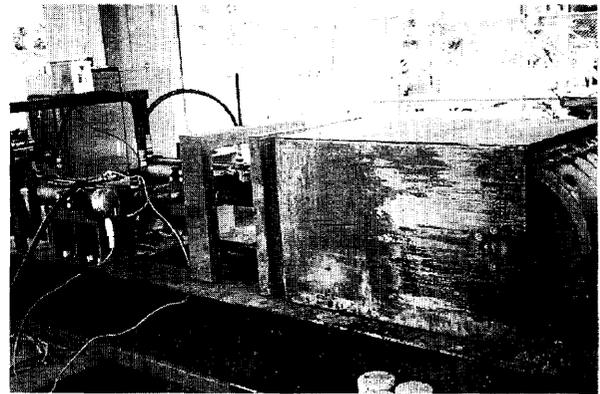


Photo 1 矩形シールド実験機

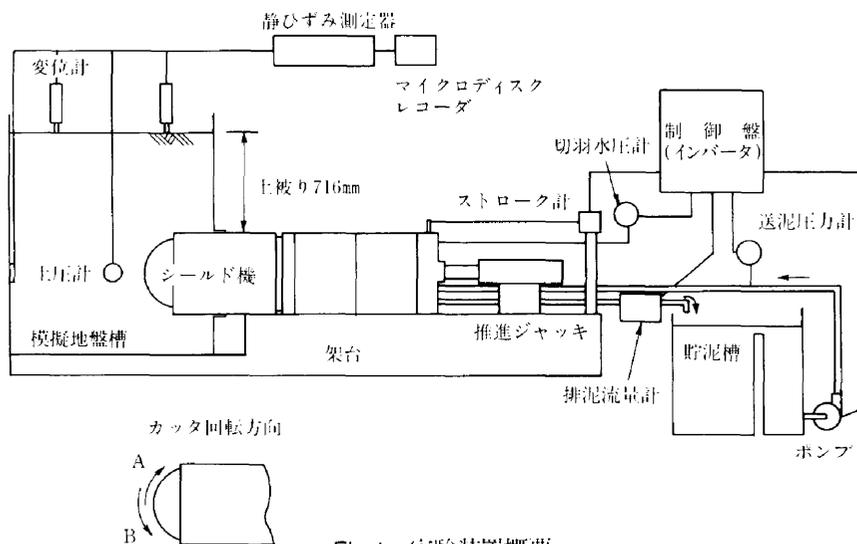


Fig.1 実験装置概要

*技術研究所土木技術課

**技術研究所地質研究課係長

***機材部平塚製作所

変化させて掘削性能を確認する。
管理および測定項目を以下に示す。

<管理項目>

- ①カッタ回転方向 ②カッタ回転数
- ③掘進速度 ④掘進距離

⑤切羽水圧

⑦送泥比重

<測定項目>

①カッタ圧力

③蛇行量

⑤地表面変位置

⑥送泥圧力

⑧排泥流量

②推進圧力

④ピッチングおよびローリング量

⑥土槽内土圧

Table 1 実験条件(模擬地盤)

	砂質土	砂 (水締め)	粘土混砂
湿潤密度 γ (g/cm ³)	1.78	2.68	1.63
含水比 w (%)	20.0	17.1	18.0
一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm ²)	1.4		1.0

3. 実験結果

実験結果を Table 3, Table 4 に示す。

3-1 ドラムカッタへの土砂付着状況

ドラムカッタへの土砂付着が成長していくと、カッタ圧力が上昇し掘削は不可能となる。

実験 I : A 回転については砂地盤(水締め)以外の地

Table 2 実験条件(泥水)

材料及び配合(水に対する重量比)		比重	ファンネル粘性 (sec)	濾過水量 3kgf/cm ² , 30分 (cc)
ベントナイト	粘土			
11%	5%	1.09	33.5	16.0

Table 3 実験 I (開放型) 結果

実験No.	模擬地盤	カッタ 回転方向	掘進速度 (cm/min)	カッタ 回転数 (rpm)	カッタ 圧力 (kgf/cm ²)	推 力 (kgf)	掘削距離 (cm)	備 考
I-1	砂質土地盤	A	1.0	10.0	40~60	1021~5027	5.0~10.5	土砂付着によりカッター停止
I-2		A	1.0	15.0	70~100	1021~6032	7.0~27.0	"
I-3		B	1.0	15.0	50		58.0	
I-4	砂地盤 (水締め)	A	1.0	10.0	30	804	30.5	
I-5		A	1.0	15.0	60	804	27.0	
I-6		A	5.0	10.0	40	1206	16.5	
I-7		A	5.0	15.0	60	1005	13.0	
I-8	粘土混じり	A	1.0	15.0	60	3016	20.5	土砂付着によりカッター停止
I-9	砂地盤	A	5.0	15.0	70	4524	20.5	"

Table 4 実験 II (泥水型) 結果

実験No.	模擬地盤	カッタ 回転方向	掘進速度 (cm/min)	カッタ 回転数 (rpm)	切羽水圧 (kgf/cm ²)	送泥流量 (ℓ/min)	カッタ 圧力 (kgf/cm ²)	推 力 (kgf)	掘削距離 (cm)
II-1	砂質土地盤	A	2.0	15.0	0.2	115.0	70	3016	45.0まで掘削確認
II-2		A	2.0	15.0	0.2	100.0	60	3519	26.0 "
II-3	砂地盤 (水締め)	A	4.0	15.0	0.17	105.0	70	1005	44.0 "
II-4		A	6.0	15.0	0.17	105.0	70	2011	10.0 "
II-5	粘土混じり	A	3.0	15.0	0.22	100.0	70	2513	42.5 "
II-6	砂地盤	A	3.0	15.0	0.22	100.0	70	2513	34.5 "

盤では全て付着により掘削不能に至る。砂質土地盤のみ B 回転で掘削を行ったが、58 cm掘削を行っても掘削不能には至らず、B 回転の方がカッタへの土砂付着の成長速度が遅く排土効率も良いといえる。

実験 II：A 回転で実験したにもかかわらず、全ての地盤でも付着は見られず良好に掘削できた。これは、泥水による洗浄効果が現れているといえる。なお、(II-5)、(II-6)の粘土混じり砂地盤には約 7%の細粒分が含まれている。

3-2 掘削条件による掘削能力の相違

(1) 回転数

円形シールドのカッタ回転速度(周速) 17~20m/min にドラムの回転速度を合わせると、ドラム径 $\phi 450$ mm から約 14rpm となる。そこで、10rpm、15rpm と 2 パターンで掘削した。

実験 I：回転数以外の条件が同じである (I-1) と (I-2) を比較すると、掘削不能となるまでの距離は、10rpm で 5.0~10.5cm であるのに対して、15rpm では 7.0~27.0cm と若干長くなる。

実験 II：実験 I の結果から回転数は 15rpm で一定としたため、回転数の違いによる掘削能力の差異は確認していない。

(2) 掘削速度

実験機は付着が生じず排土が完全であれば、理論上、回転数 15rpm で掘削速度 4.0cm/min が可能な構造となっている。

実験 I：砂地盤(水締め)以外では、掘進速度にかかわらず土砂の付着が顕著で、掘進不可能であった。

実験 II：いずれの地盤でも回転数は 15rpm で一定として掘削を行った。砂質土地盤では 2.0cm/min、砂地盤で 4.0 および 6.0cm/min、粘土混じり砂地盤で 3.0cm/min の掘削速度で実験を行ったが、全て土砂の付着もなく良好に掘削できた。

(3) 回転方向

前述 3-1 に示すとおり。

3-3 カッタ側面の未切削部分について

当実験機ではカッタサイドのドラムカッタ軸受け部分が未切削となる。そこで、実験後のこの部分の状況を観察してみた。

実験 I：排土が悪く、掘削土砂がかなり圧密されてい

た。

実験 II：泥水による洗浄効果によって圧密はされていないが、やはり排土は悪い。

4. まとめ

今回の模型実験では、掘削距離が 1 m 程度のため定量的に判断するのは難しいが、条件を種々変えて実施したことで定性的であるが掘削能力の把握ができた。

矩形シールド機の掘削特性を総括すると次のようになる。

- (1) ドラムカッタ方式は掘削能力が、排土効率により著しく影響される。つまり、カッタービットおよびフェースに土砂付着が生じ易く、最終的にカッタービットの高さまで成長すると掘削は不可能になる。このため、回転数、掘進速度、送排泥流量等土砂付着に関係する因子について土砂付着を進行させない最適条件を確認する必要がある。
- (2) ビットの形状、高さおよび配置は土砂の付着および取込み量に大きく影響するので慎重に検討する必要がある。
- (3) 開放型よりも泥水型の方が、土砂付着の防止から有効である。しかし、地山の粒度組成によっては付着を助長するおそれがあるので、送排泥流量および泥水特性の検討が必要となる。
- (4) カッタ軸受け部は構造上未切削となり、土砂の圧密を進行させ推力およびカッタートルクを上げる結果となり易いので、オーバーカッタ等により掘削する必要がある。

以上、解決すべき課題は多いが、改良等を加え早期完成を目指す所存である。

なお、蛇行量・ピッチング量の把握、蛇行修正を目的に現在、 $L=3.5$ m の掘削を行っている。今回の実験の詳細も含め次回報告したいと考える。