

## 34. スイングドラム型矩形シールド機 (SDRシールド機)の開発

西松建設(株)：\* 椋木 淳二

日立造船(株)：糸永 洋

### 1. はじめに

従来、シールド機は円形が常識とされていた。複雑な地質条件に対応するための密閉型機械シールド機は、その掘削、切羽保持機構が円形以外では難しいとされていたからである。

しかし、トンネルの断面形状はその本来の使用目的に適したものが望ましいことは言うまでもない。用途に応じ、不要断面を減らし、掘削断面積を小さくすることにより、経済的なトンネルを施工できる工法の開発が急務となっている。

このような要望に応え、西松建設(株)、日立造船(株)は共同で、縦型、横型と任意の断面形状で小断面から大断面まで掘削可能な密閉型機械式のスイングドラム型矩形シールド機 (Swing Drum Rectangular シールド機；以下SDRシールド機と略)を開発した。

以下にその概要を述べる。

### 2. SDRシールド機

SDRシールド機の基本概念はパルクヘッドの前面で、ある巾を持った比較的小径のドラムカッターを回転させながら上下にスイングさせることにより、矩形断面を築造する土圧式シールド機である。図-1参照

ドラムカッターについては自由断面掘削機(カッターローダ等)で既に実績があり、カッター・ツースはスパイラル状に配置するなど工夫を凝らし、土砂の付着を防止する。掘削された土砂はパルクヘッド内に充満され、切羽を保持しながら下部のスクリーコンベアより排出される。ドラムカッターの回転はスイングアーム軸を通して行われる。アームとカッターの取付部をスキューにし、かつカッター端面の形状をコーン状にすることにより、掘削不能部分をなくし、上下にスイングしたときに余掘りを行わず所定の断面を掘削可能となるようにした。図-2参照

スイングアームには攪拌羽根がついており、チャンパー内での掘削土の混練、攪拌効果高めるとともに、スクリーコンベアへのかき寄せ、送り込み効果をあわせて持っている。曲線施工は、左右のコーンドラムにオーバカットを出すことにより、必要な余掘りを行うとともに中折れ機構を設けている。

SDRシールド機の製作図を図-3に示す。

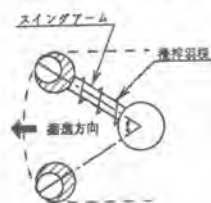


図-1 SDRシールド機  
概念図

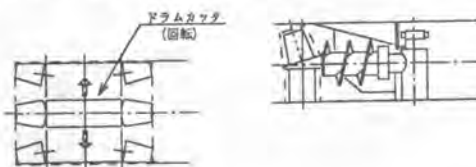


図-2 ドラムカッター

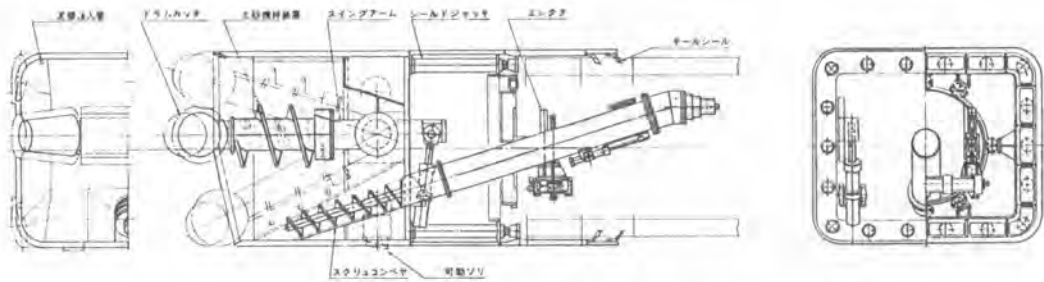


図-3 SDRシールド機全体図

SDRシールド機はその構造上から以下の特長を持っている。

① 円形、複円形シールド機にくらべ、無駄な断面がなく最小限の占有面積となる。…図-4参照

② カッタードラムの中とスイングアームの長さ、揺動角度を変えることにより、小断面トンネルから大断面トンネルまで縦型、横型と使用目的に応じた断面形状が選択できる。

③ オープンメカ、土圧式、泥水式と地質条件に応じた機種が可能である。

④ コーンカッターからオーバカットティースを出すことにより左右のオーバカットが容易にでき、曲線の施工性がよい。

⑤ 無駄な断面がなく合理的な形状のため、占有巾の減少による用地買収の低減や掘削断面積の減少により工事費の低減など経済性に優れている。

このほか、機械的には掘削断面にくらべて小さなドラムカッターを駆動させるため、構造がシンプルで所要動力も小さくてすむ、などの特長も持っている。

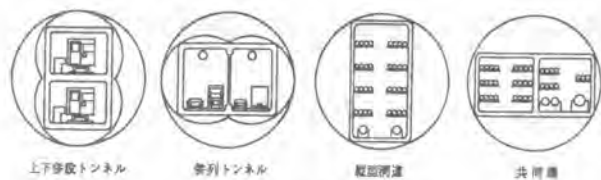


図-4 断面比較図

### 3. 要素実験およびその結果

SDRシールド機の開発にあたり、土砂の混練性（チャンパー内でのスイングアームの挙動、攪拌、および排土特性）の検討、最適なスイング機構の確認、および最適な運転条件の選定のため要素実験を行った。

要素実験装置はSDRシールド機の大きさを仕上がり内矩2.5m×2.0mと想定し、その1/6にスケールダウンしたもの

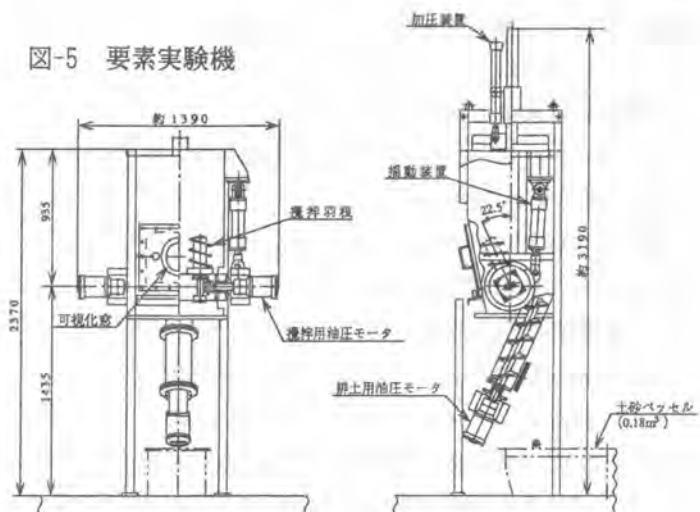


図-5 要素実験機

でチャンバー、スイングアーム、土砂排土用スクリーコンベア、プレスジャッキ(加圧板)よりなっている。実際の掘進状態を再現するためスイング速度、攪拌羽根回転数、プレスジャッキ速度、スクリーコンベア回転数は可変とした。図-5参照

実験土砂は(川砂+粘土+水〔無着色水、着色水〕)とし、水量を調整してスランプ値1~2cmを目標に作成した。配合は「泥土加圧シールド工法協会」の基準にしたがい、乾燥重量比で川砂:粘土=7:3とした。

川 砂	粘 土	砂	含水比	スランプ値
71.3kg	29.0kg	16.7kg	21.2%	1.7cm

表-1 土砂配合例

実験に用いた土砂の配合例を表-1に示す。

実験パラメータは運転条件、掘削条件を表-2に示す。アームタイプは3種類について実験を行った。図-6参照

パラメータ		備 考
運 転 条 件	載荷板速度	可変
	排土スクリー回転数	可変
掘 削 条 件	スイング速度	可変
	アームタイプ	タイプA-C
	攪拌翼回転数	可変

Type A : スクリュータイプ

Type B : パドルタイプ

Type C : 丸棒タイプ

表-2 実験パラメータ

実験は無負荷状態での運転で諸数値を確認したあと、実験土砂を詰め、無排土の状態で攪拌回転数、スイング速度を変化させチャンバー内での挙動を把握したのちに攪拌回転数、スイング速度を一定にし、加圧板により加圧しながら排土した。表-3参照

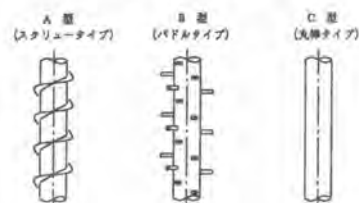


図-6 アームタイプ

実験装置には、チャンバー(土砂タンク)内のスイングアームおよび攪拌羽根の挙動や負荷特性並びに土の状態(動き)を計測するために各種センサおよび土圧計を取り付けた。

	スイング(回)	攪拌回転(rps)	揺動速度(mm/min)
無 排 土	3	40	115
	3	40	154
	3	0	154
	3	0	115
排 土	-	40	154

また、本実験装置にて実機のチャンバー内の状態を模擬するために、土砂タンク上部に加圧板を取り付け、実機とほぼ同じ掘進速度で押し土砂の流れを作り出している。計測項目を表-4に示す。

表-3 実験方法

実験結果は次のとおりである。

○ スイングアームの形状による機械的負荷特性

無排土状態でのスイングトルクは、攪拌羽根が回転している場合にはA・B型はほぼ同じで、C型が大きな値を示している。また、どの型の場合もスイングアームがタンク壁面に近づくにつれ、スイングトルクが大きくな

系	測定項目
スイングアーム	スイングトルク、速度、ストローク、スイングアームラスト
攪拌羽根	回転数、トルク
排 土	排土スクリー回転数、ホップ開度、排土量
プレスジャッキ	圧力、速度、ストローク
タ ン ク	可視化窓、土圧

表-4 計測項目

っている。この傾向はC型の場合に特に顕著である。これはスイングアームが壁面に移動するにつれ、排土されない土砂が圧密され、負荷が大きくなるものと考えられる。

攪拌トルクは、B型が最も大きな値を示し、A、C型の順になっている。攪拌羽根の回転がなくなると、どの型ともスイングトルクは回転している場合にくらべ大きくなる。

無排土状態と排土状態とを比較すると、A型は排土している方がスイングトルクは小さくなっているが、攪拌トルクは若干大きくなっている。B型はスイングトルクの値はほとんど変わらないが、攪拌トルクは排土をしない場合にくらべ大きくなっている。C型はスイングトルクは排土がない場合とほとんど変わらないが、排土が進むにつれて、負荷特性にアンバランスが発生している。

○ 土砂の混練・排土特性

土圧計の挙動、目視状況から土砂混練・排土特性を考察した。

スクリー、パドルとも回転時の土圧は丸棒に比べ小さく安定しているため、攪拌・混練効果が表れているといえる。アームの揺動速度による違いはない。

A型は排土スクリーよりの着色土の出が最も早く、これは攪拌スクリーの送り込み効果のあらわれである。

○ まとめ 表-5参照

一次解析のデータからスイングアーム機構の

基本仕様をまとめた。

攪拌羽根の形状については、Aタイプが最も適している。その理由は次のとおりである。

- ・目視による混練性はAが最も良。
- ・スイングトルクは、 $A < B < C$
- ・攪拌トルクは、 $A < B$
- ・側面土圧の変化の幅は、 $A \approx B < C$
- ・底面土圧の変化の幅は、 $A \approx B < C$

スイング速度については4cm/分と3cm/分を比べてもスイングトルクに変化は見られない。

スイングトルクおよび攪拌トルクについては、現段階では定量的に把握できないが、さらに詳細な二次解析・検討を行い、その結果を実機設計に利用できると考えられる。

スイングアームのタイプ		A (スクリー)	B (パドル)	C (丸棒)	
土砂の混練性		○	△	×	着色砂の排土スクリー出口にて確認
トルク	攪拌	中	大	小	$C < A < B$
	スクリー	小	大	—	$A < B$
	排土無	小	中	大	$A < B < C$
	排土有	小	中	大	$A < B < C$
土圧	側面(窓側)	小	小	大	
	側面(排土側)	中	小	大	
	タンク底面	大	小	大	
問題点	トルクの揺動	小	中	大	
	羽根への土砂付着	少	多	—	
	タンク底面への土砂付着	有	有	有	
	土圧の揺動	小	小	大	

表-5 実験結果のまとめ

5. おわりに

要素実験を通じ密閉型機械式(土圧式)SDRシールド機の開発に対し、多くの貴重なデータを得た。次のステップとしては、今年度中に仕上がり内矩2.5m×2.0mに対応するSDRシールド機を製作し、実証実験を進める予定である。

本シールド機の開発にあたり、多くの人より貴重な御助言をいただいた。紙上を借りて厚く感謝する次第である。