

10. 揺動式シールド機の開発

鴻池組 岡本 義雄 伊藤 克彦
三菱重工業 安田 勉

まえがき

日本の多くの都市は、軟弱でかつ地下水位の高い沖積地盤上に発達している。そのため、軟弱な地盤にトンネルを築造する工法としてシールド工法が短期間のうちに著しい発展をとげてきた。特にシールド機においてその発展はめざましく、従来の開放型の手掘りシールドにかわって、閉塞型のブラインドシールド、泥水加圧式シールド、土圧式シールド等が開発され、実用化されている。開放型シールドは、圧気内作業による作業環境の劣悪化、噴発、及び酸欠空気等の発生を伴うほか、軟弱な地下水位の高い砂質地盤では、薬注工法等の補助工法も併用せざるをえず、これらは、建設公害の発生、及び施工費の高騰等につながる様である。これらの問題を解決すべく各種の閉塞型シールドが開発されてきたが、現在の閉塞型シールドにおいても、地盤への適応性や掘削土砂の処理等に問題があり、更に改善しなければならない事項も多い。すなわち、ブラインドシールドにおいては、隔壁を地山に直接密着させるため切羽の安定は確実であるが、軟弱な粘性土地盤しか適応できないこと、泥水加圧式シールドにおいては、泥水処理プラントを設置する必要がある、都市部においては一般に広大な立坑用地の確保が困難であること、及び土圧式シールドにおいては、広汎な地盤土質への適応性が低く、補助工法なしでは掘進が困難な場合がしばしば発生する等の問題をかかえているようである。

こうした背景のもとに、鴻池組と三菱重工業は共同して、軟弱地盤を対象とした現在の閉塞型シールドに比較して、より経済的かつ安全性の高い新型式のシールド機「揺動式シールド機」を開発した。以下その紹介とともにその実験工事について報告する。

1. 揺動式シールドとは

揺動式シールドとは、ブラインドシールドの一種である。従来ブラインドシールドの適用地盤は、軟弱な粘性土に限られていたが、ブラインド面盤を揺動させることによって、その適用地盤を大幅に広げ、完全な砂質土層に対してもブラインド施工を可能としたものである。ブラインド工法であるため切羽の安定は、

$$(\text{シールドの推力}) = (\text{切羽土圧} + \text{水圧})$$

を保持することによって計ることができ

従来補助工法なしでは施工が非常に困難とされていた地下水位の高い沖積軟弱地盤に対して特に優れた安全性と経済性を発揮する画期的な工法である。その基本構造を図-1に示す。見方をかえると、

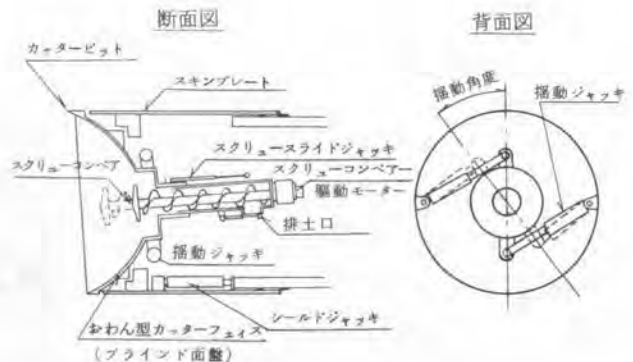


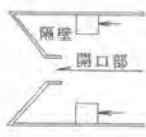
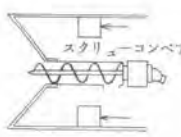
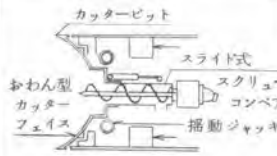
図-1 揺動式シールド基本構造図

泥水加圧式シールドがちょうどリバーズ機を横向きにしたものと考えられる様に、揺動式シールドは、ベント機を横向きにしたものとも考えることができる。

2. 揺動式シールドへの発想の過程

ブラインドシールドより揺動式シールドへの発想の過程を表-1に示す。

表-1 揺動式シールドへの発想の過程

	1. ブラインドシールド	2 機械式ブラインドシールド	3 揺動式シールド
構造図			
掘削機構	推力により隔壁を地山に押しつけ、開口部付近で地山を塑性流動化させ開口部より取り込む。	ブラインドシールド開口部へスクリューコンベアを取り付け、推進力により塑性流動化した切羽地山を機械的に取り込む。	1.カッタービットによる地山との縁切り 2.揺動により地山を剪断破壊し塑性流動化させる。 3.スライド式スクリューコンベアで掘削排土
特長	開口率10%程度が切羽安定上限度である。 従って、極めて流入抵抗が小さい土質、すなわち砂分を含まない、軟弱粘性土のみ適用が可能である。	スクリューコンベアにより通常のブラインドシールドの開口率を実質的に増加させブラインドシールドの適用土質を拡大したものの。	推力及びかわん型カッターフェイスの揺動により、地山を二次元的に剪断破壊するため、地山の流入抵抗を極めて小さくすることができる。又、スライド式スクリューコンベアによって、土質に適合した先端位置をとることができるため、適用土質は幅広いものとなる。

こうした発想のもとに考案した揺動式シールドの実用化に先立ち、その揺動の効果を確認するため模型実験機を製作し、実験工事を行なった。

3. 実験工事の概要

3-1 実験装置と方法

実験装置は、直径72cmの模型実験機を、直径4.9mの実験土槽内に約2.0m貫入できるものとした。(写真-1、図-2参照)対象地盤は、沖積軟弱地盤を想定し、砂、粘性土、砂-粘性土互層の3種類とした。粒度特性は、砂の場合、砂分95%、均等係数は2.8、粘性土の場合粘土-シルト分98%であった。地盤の締固めは、砂の場合、パイプレーターを使用し、粘性土の場合、荷重を載荷し圧密させた。シールドの土被りは、1Dに



写真-1 実験装置全景写真

掘進不能となる。カッターフェースを揺動させた場合(写真-4)は、前方の地表面はほとんど変状がみられず、シールド先端部分に切羽のセン断破壤土が盛り上がるのみで掘進を続行することができる。

実験 II

切羽下部の地山に着色礫を埋め込み、土砂の流入径路を観察した。(図-4) 切羽面の着色礫の分布状態を写真-5に示す。揺動により切羽下部の土砂は、切羽上部へ上昇しているのが観察される。

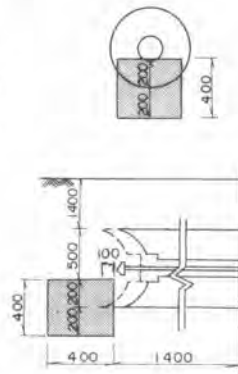


図-4



写真-5

3-3 掘削機構の理論的考察

切羽面の応力状態は、鉛直応力、水平応力及び揺動によって与えられるセン断応力の三者によって表現することができる。この状態をモールの応力円で表わしたものが図-5である。すなわち切羽地山にセン断力を与えることによって、主動状態よりは大きな水平力で受働状態よりは小さな水平力で切羽地山を塑性流動化して掘進できることがわかる。図-6は、縦軸に水平応力を、横軸に地山変位をとって地山の状態を表現したものであるが、自然状態に近い推力(静止土圧)を用い、揺動セン断力により切羽部のみの塑性流動化を計ることによって、地山全体としては比較的安定した状態を保持したまま、シールド掘進が可能となることを示すものである。

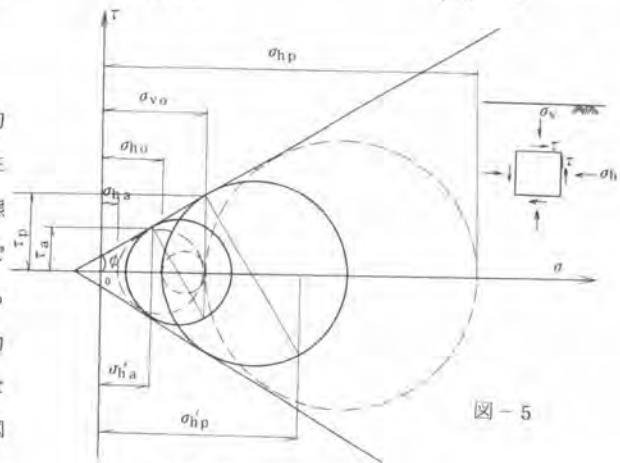


図-5

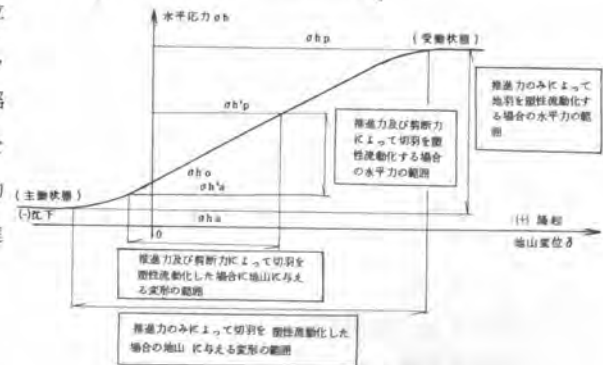


図-6

まとめ

切羽の土砂は、砂質土の場合、カッターフェースの揺動によって塑性流動化し、切羽下部の土砂は上昇して切羽上部の土砂と混合し

カッターフェース内に充満して切羽の安定を保ちつつスクリーコンベアへ取込まれる。また粘性土の場合、ブラインドシールド的な状態で取込まれることがわかった。

- ここに、 $\sigma_{h a}$: 推進力のみによる場合の主動水平応力
 $\sigma_{h p}$: 推進力のみによる場合の受働水平応力
 $\sigma_{h a'}$: 推進力に剪断力を組み合せた場合の主動水平応力
 $\sigma_{h p'}$: 推進力に剪断力を組み合せた場合の受働水平応力
 $\sigma_{h a}$: 自然状態の水平応力