

23. 大口径(11.22mΦ)泥水加圧シールドの概要

日立造船(株) 平田 昌三

1. まえがき

泥水加圧シールドとしては世界最大口径の11.22mのシールドが、本年8月に延長1,280mの貯水トンネルを大阪市の都市計画道路・木津川～平野線の地下22mに掘り終えた。この地下トンネルは大阪市南東部を浸水のない住みよい街とするために、都市河川緊急整備事業の一環として豪雨時に雨水を一時貯留するのに使用される。

このシールドは、大口径で大負荷のもとで洪積粘性土、洪積砂礫質土を掘削するため、マシンの製作、運搬、組立が容易で、かつ精度の確保できる新構造を採用し、耐久性、保守性にすぐれた新技術が適用されている。

本文は、シールドマシンの耐久性・信頼性を確保した新構造、新技術を紹介するものである。

2. 施工条件、機械仕様

シールドの工場完成状態を写真-1に示し、図-1にその断面を示す。

(1) 施工条件

土被り：22～23m，地下水：0L-4m

施工延長：1,280m

曲線：R=600m×2，R=200m×1

セグメント：外径 ϕ 11.0m×50cm厚

土質：洪積粘性土（N値20以上）

洪積砂質土（N値50以上）

洪積砂礫質土（ ϕ ）

(2) マシン仕様、能力

表-1に示す。

(3) マシンの特長

カッタの軸受構造は、高トルク、高推力に有利な円筒コロ軸受の2点支持方式を採用

カッタの回転土砂シールは、高水圧保持性に優れた高圧リップシールのカセット式シールボックス構造の採用

カッタビットは耐摩耗性にすぐれたスーパービットの採用

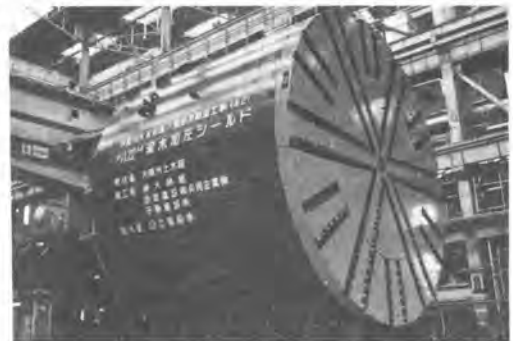


写真-1 ϕ 11.22mシールド外観

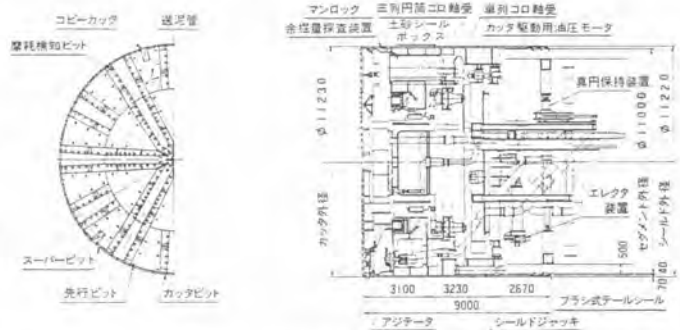


図-1 ϕ 11.22m 泥水加圧シールド全体図

表-1 マシンの仕様、能力

シールド仕様		エレクタ仕様		カッタ仕様		アジテータ仕様	
外径	φ11220mm	吊上げ力	23 TON	カッタトルク	2130t・m	掘削機	φ1200mm 4台
機長	3000mm	押込力	34 TON	カッタ回転数	0.45 rpm	回転数	50rpm
掘進速度	3.9cm/min	掘削速度	0-0.7rpm	駆動用油圧モータ	8t・m×210kgf/cm ² 18台	トルク	800 kgf・m
総推力	10800 TON-f	加圧用油圧モータ	1000kgf・m×210kgf/cm ² 4台	コピカッタ	30t×1000t×250kgf/cm ² 3本	駆動用油圧モータ	800kgf・m×210kgf/cm ² 4台
単位掘削力	109.2tf/m ²	押込ジャッキ	17t×200t×140kgf/cm ² 2本	油圧ポンプ	180l/min×210kgf/cm ² 18台	油圧ポンプ	132l/min×210kgf/cm ² 4台
シールドジャッキ	300t×1200t×330kgf/cm ² 3本	スライドジャッキ	17t×400t×140kgf/cm ² 3本	電動機	75kW×4P×60Hz 18台	電動機	55kW×4P×60Hz 4台
油圧ポンプ	70l/min×300kgf/cm ² 2台	油圧ポンプ	180l/min×210kgf/cm ² 1台	油タンク	6000ℓ	油タンク	シールドジャッキ用専用
電動機	45kW×4P×60Hz 2台	電動機	75kW×4P×60Hz 1台				
油タンク	4000ℓ	油タンク	シールドジャッキ用専用				

切羽の余掘・崩壊を早期に発見する余掘量探査装置の採用

掘削施工管理はコンピュータを用

いたリアルタイム情報処理システムの採用

ビットの摩耗検知、マシン要素の運転状況の予防保全システムの採用

3. 新構造

(1) カッタの支持構造

カッタ支持構造には、(I)センターシャフト方式、(II)周辺支持方式、(III)中間支持方式などがある。表-2に、これらをφ10m以上のシールドについて比較を示す。

カッタ支持構造は、大形で高負荷に耐えるものとするため、中間支持方式を採用し、さらに、バルクヘッドも一体で回転する中空軸回転方式とした。

中空軸回転方式で、バルクヘッドが一体で回転すると、中心部バルクヘッドとカッタ回転部との間の回転土砂シールが不必要になり、それだけ信頼性が向上し、バルクヘッドに作用する水圧をスラスト軸受で集中的に支持することができる。

(2) カッタ軸受構造

カッタ軸受構造の比較を表-3に示す。カッタ軸受構造は高負荷を安全に精度よく支持するために、特殊円筒コロ軸受を2個使用した2点支持方式を採用した。1個は前後方向のスラスト荷重とラジアル荷重を、他の1個はラジアル荷重を支持し、大形のカタを堅固に精度よく支持できる。

一般のラジアルメタル軸受とスラストロー軸受方式を本シールドに採用した場合と、特殊円筒コロ軸受を採用した場合との比較では、特殊円筒コロ軸受は、軸受スキマが微小となるため、カッタの芯振れ量は約1/50程度となり、カッタが高精度で円滑に回転できることになる。

表-2 超大口径シールドのカッター支持構造の適用性

	センターシャフト方式	周辺支持方式	中間支持方式
形式			
構造面	○軸の曲げや傾り、センターシャフトの剛性等で構造的問題が多い。	○回転軸受部の直径が大きくなり、軸受部のオリフィスや受部に伴う土砂シールへの影響が大。 ○分割数が多く、現地組立における高精度確保が難しい。	○従来のφ7m級の周辺支持構造で、かつセンターシャフト方式の構造を有し、軸受構造、シールド構造とも信頼性が高い。

表-3 超大口径シールドの軸受構造の比較

	スベリ軸受	スベリ軸受・ロー軸受組合せ	ころがり軸受(2列型コロ軸受)
構造			
材料	焼結合金材料 (オイルレス・バッドメタル)	オイルレス・バッドメタル ロータ及び軸受鋼、合金鋼軸受(オイルレスメタル)	鋼 種類:クロムシリコン鋼
加工		オイルレス・バッドメタル	○: 減速機・クロム鋼軸受鋼 ◎: 保持器; 高力鋼鋼
負荷	大荷重・衝撃荷重に達し、一般にころがり軸受よりも許容負荷は過る。	ラジアル軸受は、左記と同様であるが、スラスト荷重を複数の単体ロー軸受で支持するため、荷重を均等に分散させる必要がある。	単列のころがり軸受は、衝撃荷重下でやがやがするが、それぞれの荷重に対応する3列のころがり軸受を組合せた2列型コロ軸受は、大荷重にも耐える。
特長			
注			

(3) カッタ回転部の土砂シール

回転部の土砂シールは、マシンの大形化、高水圧、長距離掘削に対して信頼性・耐久性を確保するために、比較的小径の1ヶ所集中型で、プリアSEMBリー方式のシールボックス構造とした。

シールドは、ウレタンゴム製の高圧多段リップシールを、断面が凹凸のはめこみ式のシールボックスに複数段装備し、シールド全幅（シールド段数の全幅）を変えることなく、コンパクトに配置でき、マシン全体の構造がブロック化組立の可能なものとなった。（図-2 参照）

新形式のシールド構造では、(1)リップシール装置面及び摺動面の機械加工精度が向上し、(2)取付、組立等の芯出し作業が容易で組合せ精度が高く、(3)小スペース、小断面でシールド装備段数が多くでき、(4)潤滑管理が向上するなど、耐久性、信頼性の高いものとなっている。

(4) 分割構造

シールド本体及び後方設備を含めた総重量約1,650 tonを製作、運搬、現地組立を考慮して45 ton以下に分割し、総数72ブロックで運搬した。

図-3にシールド本体の主要構造の分割構造を示す。密閉機械掘りシールドの心臓部を構成する軸受と回転部の土砂シールドは、相互に関連性があり、軸受の性能を発揮させるためには、土砂シールドが完全に泥水や土砂の浸入を防止しなければならない。最適な土砂シールドを採用しても軸受の回転精度が維持されなければシールド性能が発揮されないことになる。

回転部の組立精度を確保するために、軸受及びシールドはできるだけ一体構造で組立てるように小形で強固な構造とした。さらに軸受と回転土砂シールドは共通の軸受ブロックで一体化して組立てる新しい構造を採用した。

組立接合面は機械加工をし、ボルト接合した組立精度の向上、組立工程の短縮、作業の安全性の確保などを目的として、大形工作機械を駆使したブロック組立方式を採用した。

接合ボルトは油圧式プリテンション治具を用いて、規定の張力が発生するように品質管理されている。

(5) 耐久性のある構造

長距離掘削できるように、耐久性のある構造を採用している。

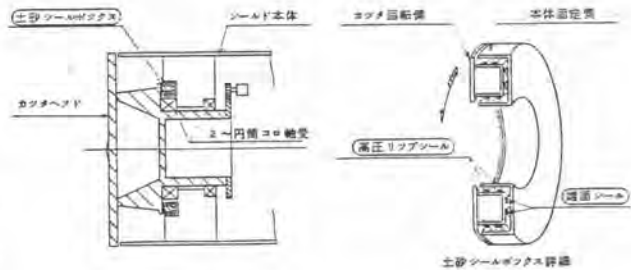


図-2 カッタ回転部の土砂シールド

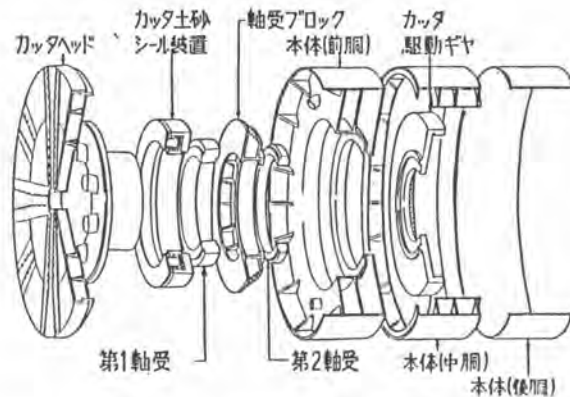


図-3 シールドの分割構造

カッタビットの配置は、洪積粘性土、砂質土、砂礫質土など硬い地山を掘削するために、慎重に検討した。

普通ビットの配置は次のように3段階に、切削摺動距離に応じて分類した。

外周部 ($D \sim 0.63D$) : 4条切削

中央部 ($0.63D \sim 0.35D$) : 3条切削

中心部 ($0.35D$ 以内) : 2条切削

但し D : シールド外径

カッタ最外周部には、オール超硬合金のスーパービットを24個配置し、耐摩性の向上を図った。

カッタの外周面には、カッタヘッドの摩耗対策用の埋込ビットを取付けた。

先行ビットを普通ビットに先行して配置し、普通ビットの耐久性の向上を図った。

機械要素の耐久性を考慮して、軸受及び回転部土砂シールの給油状態、運転状態がチェックできる構造を採用し、耐久性維持にも配慮した。カッタヘッド駆動部には熱処理したベニオンとギヤーを用いたトルクを円滑に伝達するようにした。

4. 新技術

シールドの機能、性能を支配する機械要素の異常や掘削地山の異常を早期にキャッチし、迅速に対応できる予防保全技術を取入れ、検知の自動化とフィードバックシステム化を図った。(表-4 参照)

(1)カッタビットの摩耗検知として、ビットの摩耗量を3段階(5割, 10割, 15割)に検知し、取替時期を予知する。

(2)軸受の異常検知として、軸受の給油溜めに温度センサーを取付け、給油温度の急変をキャッチし、給油不足や過負荷運転を把握する。

(3)回転土砂シールの異常検知として、リップシールの潤滑油の温度を検知する温度センサーにより、シールの給油、運転状態を検知する。




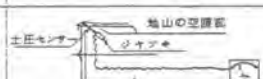
(4)地山余掘量検知として シールドクラウン部にセンサーを設け、崩落空隙量を探查する。

(5)カッタ前面の異常土圧検知として、カッタの回転時の土圧変化で地山土圧の異常をキャッチする。

5. あとがき

掘削が完了した段階で、設計時の各構造・技術を見ると、なかには、不必要なもの、不完全なものが見受けられるが、設計検討が妥当であったと思っている。性能については、所期の能力を発揮し満足すべき評価を得ている。このシールドの新構造は、さらに13m~16mクラスに展開が可能になったことが明らかになった。最後に、種々ご指導、ご助言をいただいた関係各位に感謝の意を表します。

表-4 異常検知装置

項目	説明	略 図
カッタビットの摩耗検知	ビットの内部に電圧センサーを組込み、電圧値でビットの摩耗割合を3段階に表示した。	
軸受の異常検知	軸受に温度センサーを取付け、温度の急激な変化で過負荷運転や、給油不足を把握する。	
土砂シールの異常検知	リップシールに温度センサーを組込み、シールの潤滑油温度をコンピュータに送り、温度低下で泥水の浸入をキャッチする。	
地山の余掘量検査	シールド本体から地山に土圧センサーをジョッキで押し出し、土圧変化とストロークで、地山の空掘量を探查する。	
カッタ前面の異常土圧検知	カッタ前面に土圧センサーを取付け、カッタ回転時の土圧変化で異常負荷をキャッチする。	