

37. 増径式シールド工法

西松建設㈱：*小寺 直人
川崎重工業㈱：真鍋 尚男

1. はじめに

地下埋設物への影響などを考慮し最適空間で断面の異なるトンネルを築造する場合、従来親子シールドなどの様に大断面より施工を行い到達立坑で小断面のシールド機の発進を行う工法がとられた。しかし本工事では発進立坑が共通していること、大断面の到達立坑が既設の下水人孔でシールド機の引き上げが不可能なことを考慮し1台のシールド機で小断面より施工できるよう増径式シールド工法を採用した。シールド機の増径改造方法も工期の短縮やコストの低減を目標にスキンプレート以外を共有できるよう様々な工夫をし、現場で組立可能な簡便で本来の性能を損なわないものとした。工夫点として小断面のシールド機のジャッキをそのまま再使用できるよう大偏心に耐えうるジャッキの使用、エレクターの再利用を可能とする2段階伸縮エレクター、また軟弱地盤のため、増径後の中折れ球面部増大による地盤沈下への影響を最小限に抑えるためのバネ板の取り付けなどがあげられる。

本工事での改造の結果を報告する。

2. 開発の目標

- (1) 小断面のシールド機の転用物を最大限使用しコストの低減を図る。
- (2) 改造は簡便に現場にて行えるものとし工期の短縮を図る。
- (3) 増径改造後のシールド機の寸法・性能も従来基準を満たすものとする。

3. シールド機仕様

本工事で使用したシールド機と工事概要を以下に示す。

工事件名：墨田区錦糸二、四丁目付近再構築工事

発注者：東京都下水道局

	小断面シールド機	大断面シールド機
工法	： 泥土圧シールド工法	： 泥土圧シールド工法
シールド機外径	： $\phi 2490$	： $\phi 2890$
線路延長	： 462.00m	： 529.40m
曲線半径	： $R=20m$	： $R=13m$
土質	： シルト、砂	： シルト、砂
土被り	： 3.5～4.6m	： 3.5～4.6m

小断面 (φ2490) シールド機仕様 (中折れ型)

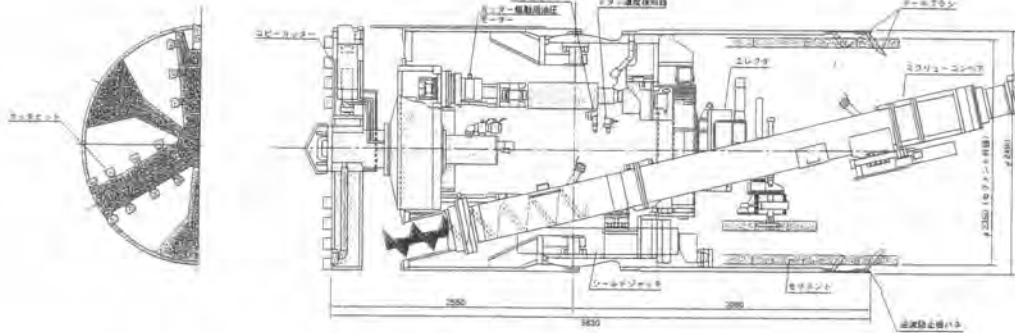


図1

大断面 (φ2890) シールド機仕様 (中折れ型)

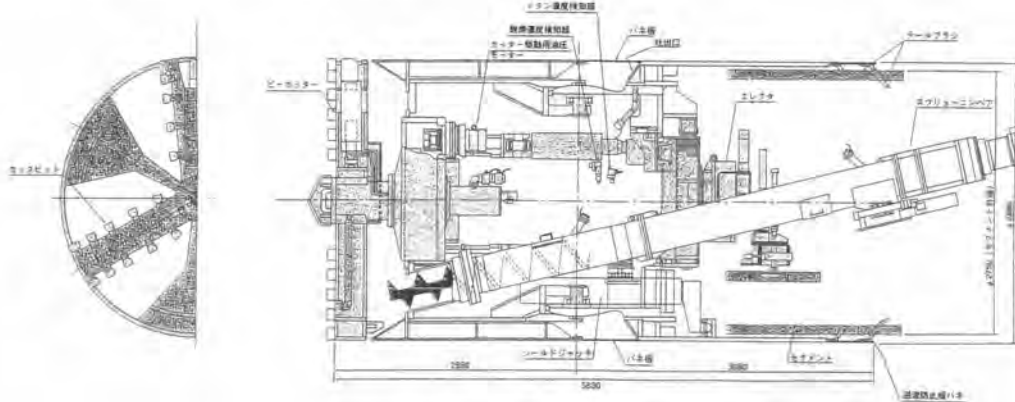


図2

■小シールド機仕様

シールド本体要目	
外 径	φ2490mm
全 長	5630mm
シールドジャッキ	80X1150X220kg/cm ² X8本
中折れジャッキ	125X320X350kg/cm ² X4本
中折れ角度	右8°,上下±1°
最小曲線半径	右 R20m
仕 上 内 径	φ1650mm
コピカッタージャッキ	6X180X140kg/cm ² X1本

スクリュウコンベヤ要目	
スクリュウ羽根外径	φ320mm, P320mm
回 転 数	0~19.5r.p.m
回 転 ト ル ク	常用1051kg-m, 最大1577kg-m
油圧モータ型式	MX750X1台

カッタードラム要目	
型 式	全断面掘削正逆回転方式
回 転 数	0~2.05r.p.m
掘削トルク	36.8t-m
カッター	超硬チップ付カッター
油圧モータ型式	ME175-SS1905X6台

エレベータ要目	
型 式	リングドラム式
押 込 力	2000kg
吊 荷 重	150kg
回 転 数	1.5~3.0r.p.m
伸縮ストローク	MAX430mm
掘削ストローク	前100mm 後100mm
油圧モータ型式	ME600A X1台

■大シールド機仕様

シールド本体要目	
外 径	φ2890mm
全 長	5630mm
シールドジャッキ	80X1150X220kg/cm ² X8本
中折れジャッキ	125X320X350kg/cm ² X4本
中折れ角度	左13.5°,上下±1°
最小曲線半径	左 R13m
仕 上 内 径	φ2000mm
コピカッタージャッキ	6X210X140kg/cm ² X1本

図3

4. 増径手順概要

増径を行うにあたって大断面シールドのスキンプレートを前胴、後胴それぞれ上下2分割に製作しておく。小断面シールドの掘進が完了した後スクリーコンベアー、エレクターを解体し到達立坑内に前胴を押し出し、後胴をジャッキスプレッダー位置で切断し再度発進立坑内へ運んで増径改造を行う。

- ①大断面シールド機の前胴下部、後胴下部を発進架台上へ設置しておく。
- ②到達立坑から引き上げた小断面シールド機の前胴を①で設置したスキンプレートの中に投入しボルト締結を行う。
- ③カッターデスクフレームを増径分継ぎ足し面版を拡大する。(溶接)
- ④解体したスクリーコンベアー、エレクターとジャッキスプレッダーを取り付ける。
- ⑤大断面シールド機の前胴上部、後胴上部を組み合わせその後溶接し完成。

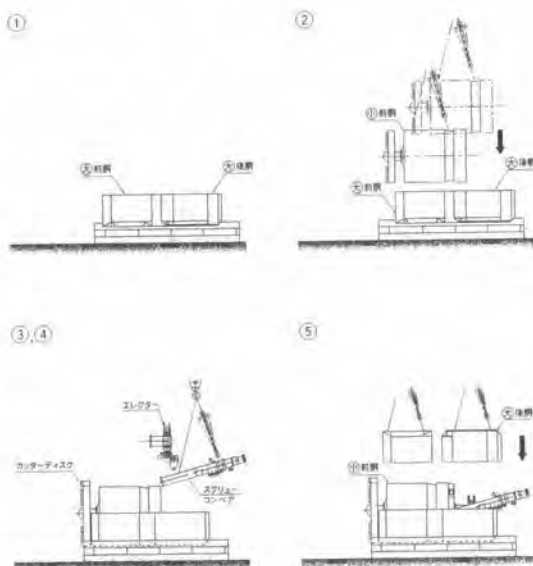


図4 増径手順



写真1 小断面シールド引き上げ



写真2 増径改造状況

5. 偏心ジャッキ性能試験

(1) 適用

本シールドジャッキは増径後も解体せず同じ位置で使用するため380mmという従来に無い大きな偏心アームを使用することとなる。このような大偏心状況下で全ストロークにわたって異常なく作動することを確認するため以下の試験を行った。

(2) ジャッキ要目

推力 : 80tf
 内径 : $\phi 215\text{mm}$
 ロッド径 : $\phi 190\text{mm}$
 ストローク : 1150mm
 使用圧力 : 220kg/cm^2
 偏心量 : 380mm

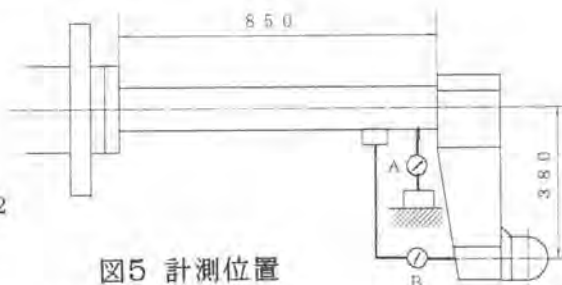


図5 計測位置

(3) 試験要領

図5に示すようA、Bの二箇所計測をおこなった。5.(2)の要目の試験ジャッキと同要目のカウンタージャッキ（偏心量0mm）の2本のジャッキを用い試験ジャッキの推力をカウンタージャッキで受けながら全ストロークを作動させ各推力時のジャッキの作動、変形量を計測した。

(4) 試験結果

(a) 作動試験

無負荷及び各推力においてスムーズに作動した。

(b) 変形量の計測

各推力におけるピンロッド及び偏心アームの変形量は下記の通りであった。

変形量(mm)計測結果

圧力(kg/cm ²)	推力(tonf)	A(ピンロッド)	B(偏心アーム)
① 50	18.1	0.20	
② 100	36.4	0.40	
③ 180	65.5	0.70	
④ 220	80.0	0.83	2.05

図6 変形量計測結果

6. 2段伸縮式エレクター

伸縮ジャッキを2段に取り付け小断面では1段目のジャッキを縮めた状態で2段目のジャッキを伸縮させ。大断面では両方のジャッキを使用し異なる2つの径のセグメント組立に対応させた。

7. 中折れ球面部

増径と共に中折れ球面部が増大するため地盤の沈下の可能性、及び土砂等のかみこみなどにより中折れ機能への影響が懸念される。そのため増径後バネ板を全周に取り付け内部を充填することとした。内部充填材にはテールグリースを使用した。

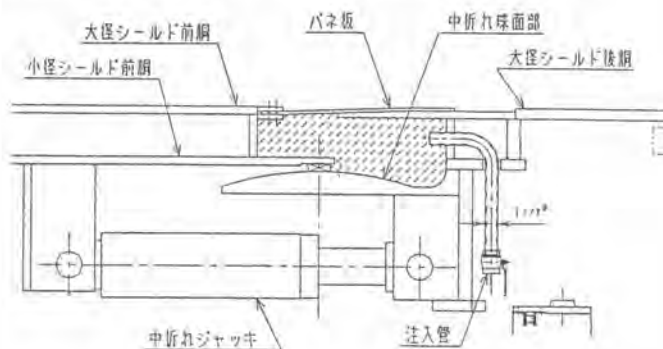
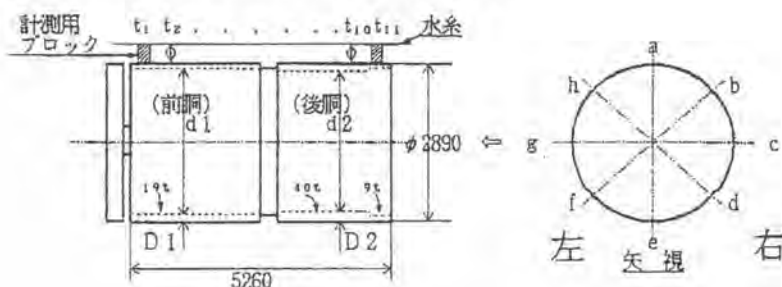


図7 中折れ球面部詳細

8. 増径後シールド機寸法検査

増径後のシールド機の寸法検査結果を以下に示す。



(1) 本体軸方向の曲がり計測(真円度)

許容値: ±9mm 計測ピッチ 500mm

計測位置	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8
a	0	+1	+1	0	+1	+2	0	0
d	+2	+1	+1	0	-2	-2	-3	0
f	+2	+3	+3	+1	0	-1	0	0

(2) 真円度計測(内径)

計測位置	d2	
基準値	φ2890=10	
検査結果	a-e	2812
検査結果	c-g	2812

(3) 本体長さ計測

計測位置	c	g
基準値	5260 ± 16	
検査結果	5255	5260

図8

9. 実施工程

増径改造の実施工程を以下に示す。

項 目 / 日 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
段取り工事・足場	■													
大径シールド機外胴下半設置		■												
小径シールド機スクリーコンペアー解体			■											
小径シールド機エレクター解体			■											
小径シールド機前胴切断				■										
小径シールド機吊ビース溶接				■										
小径シールド機引き上げ・投入					■									
大径シールド機スクリーコンペアー組立						■								
大径シールド機エレクター組み立て						■								
大径シールド機外胴上半投入							■							
大径シールド機上下半溶接								■						
カッターデスク拡大									■					
中折れ球面部パネ板取り付け										■				
タッチアップ											■			
寸法検査												■		

図9 実施工程表

10. 施工結果

今回の増径改造ではスキンプレートとスプレッター以外はすべて小断面シールド機からの転用品であったが、改造後も通常のシールド機と同様に使用することができ、大偏心ジャッキおよび2段階伸縮エレクター共に正常に機能することができた。増径後の外観寸法も従来基準を満たすことができた。工程的にも当初予定より短縮でき成果があったと思われる。また中折れ球面部のパネ板について沈下量などは地質、裏込注入量など様々な要因で変化するものなので一概に対比させることはできないが中折れの機構的には全く問題はなかった。

11. まとめ

従来の親子シールドなどとは逆に小断面から大断面への異径掘進の施工が可能なのが本工事で立証することができた。このような工法では直径差が大きければ大きいほど掘削土量の減量、セグメントの小型化が図れコストの低減につながると思われる。また環境という側面からも産業廃棄物の減少、地域環境への影響の減少に貢献できる。今回の増径は400mmであったが、さらに直径差のあるシールド機を転用によって改造するこの検証、また改造を簡略化したくさんの工事でこの工法の採用の推進が今後の課題であろう。