

# 大断面分割シールド工法による (仮称)外苑東通り地下通路整備工事 —都市再生における地下立体交差「ハーモニカ工法」—

湯口 正樹・門脇 直樹・岩元 篤史

鉄道や道路の地下立体交差を非開削工法で施工する場合、シールド工法を除く従来工法では直線施工しかできず、また距離も50~100mと短いものに制約されていた。一方、操車場の横断や、鉄道横断部の前後の道路などから数百mを地下立体交差で施工するには大断面のシールド工法に限定せざるを得なかった。そこで大断面を小断面に分割し、1台の掘削機械で複数の断面を繰返し掘削することにより、掘削機械を小型化し、セグメントを薄肉化する工法を採用することで全体の工事費を抑えることが可能となる。本報文では、東京都港区の(仮称)外苑東通り地下通路整備工事における「ハーモニカ工法」の施工記録について紹介する。

キーワード：大断面、アンダーパス、非開削トンネル、矩形断面、分割シールド、曲線施工、地下立体交差

## 1. はじめに

東京都港区では(仮称)外苑東通り地下通路整備工事が進められている。本工事は、都市再生交通拠点整備事業の一環として、東京都港区に建設される「東京ミッドタウン」周辺の広範囲な歩行者地下ネットワー

ク形成を目的として地下通路の施工を行うものである。

市街地における地下通路の建設は、通常土留め杭の打設から路下の掘削、構築作業までの大半を夜間工事で行わざるを得ない。そのため、路上における作業帯の設置期間が長くなり、工事期間中の道路渋滞や地域住民等とのトラブル等を余儀なくされていた。

本工事においては、地下埋設物が多数存在し、構築

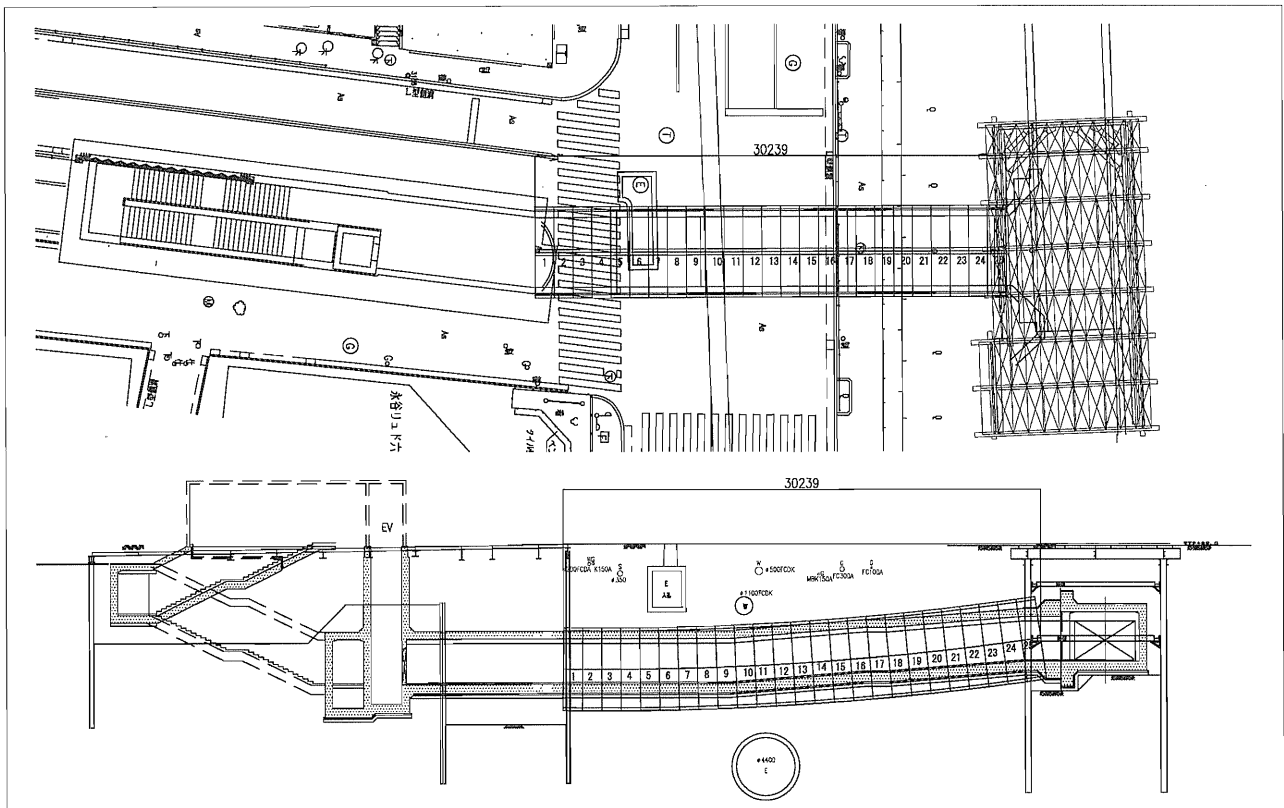


図-1 工事概要図

躯体の断面形状が均一区間である星条旗通り連絡通路の中の約 30 m (4 分割断面) 区間 (図一1) と、六本木駅連絡通路の中の約 40 m (6 分割断面) 区間において「ハーモニカ工法」を採用する。また、これに使用する推進機は、密閉型の土圧式推進機で、全路線同一のものにて施工を行うものである。

ハーモニカ工法ではまず、大断面トンネルの掘削に際し、全体をおよそ 3~4 m の箱型で格子状に等分割し、それぞれのトンネルを小型の矩形掘進機で、隣りあうトンネルに接しながら地中にブロックを積上げるように掘進することにより、大断面のトンネルを掘削する。

引続いて、トンネルの覆工に使用した鋼製セグメント (鋼殻) を外側の型枠として代用し、掘削された空間の内部に躯体を構築する。さらに養生後に、トンネル内空断面内に残置された鋼殻を撤去し、表面を仕上げることによって完成する工法である。

本報文では、(仮称) 外苑通り地下通路整備工事において、先行して施工した星条旗通り連絡通路の約 30 m 区間の推進に関する実施工の記録について報告するものである。

## 2. 施工条件

### (1) 線形計画

星条旗通り連絡通路は、主要幹線道路下を横断して築造するもので、路下には地中埋設物が複数存在する。構築する地下通路の上部には電力煉瓦人孔及び  $\phi 1,100$  mm の水道管、下部には  $\phi 4,400$  mm の電力洞道が存在している。そのため地下通路の縦断線形は、それらの地下埋設物を避けて縦断線形を半径約 190 m の単曲線で計画した (図一1)。

### (2) 地質条件

本工事地域の地層は東京都大深度地下地盤図によると山の手台地に相当する層序からなっている。地表面より、表土 (有機質ローム層厚 1 m 程度)、ローム層 (5~6 m)、凝灰質粘性土層 (4 m 程度)、新期段丘堆積層、東京層群から構成されている。また、地下水位は GL-15.92 m と深く、今回の施工位置に深に存在する。

## 3. 推進機

今回の工事で使用した推進機は、カッタヘッドを油圧ジャッキ駆動により左右に揺動させることで掘削を

表一1 矩形推進機仕様

■シールド本体			
外 径	矩形 2,950×2,670 mm		
機 長	3,375 mm		
全 長	3,980 mm		
方向修正ジャッキ	800 mm×35 MPa×65 stmm×8 本		
ローリング修正ジャッキ A	400 mm×30 MPa×100 stmm×2 本		
ローリング修正ジャッキ B	1,000 mm×70 MPa×50 stmm×2 本		
油圧パワーユニット	油圧ポンプ	8.3 L/min×35 MPa	
	電動機	5.5 kW×4 P×440 V	
	台 数	1 台	
■カッタ			
形 式	センタシャフト支持・スポーク型		
トルク	最大 438~548 kN・m		
回 転 数	2.4 rpm		
カッタ揺動ジャッキ	840 mm×35 MPa×440 stmm×2 本		
コピーカッタジャッキ	200 mm×21 MPa×360 stmm×1 本		
油圧パワーユニット	用 途	カッタ揺動系	コピー系
	油圧ポンプ	45 L/min×35 MPa	40 L/min×21 MPa
	電動機	30 kW×4 P×440 V	18.5 kW×4 P×440 V
	台 数	2 台	1 台
■スクリュコンベヤ			
形 式	軸付きスクリュ形式		
トラフ内径×ピッチ	$\phi 419$ mm×350 mm		
排 土 能 力	(100%) 38.7 m <sup>3</sup> /h		
トルク×回転数	11,700 N・m×0~16 rpm		
駆動油圧モータ	2,980 N・m×25 MPa×1 台		
ゲートジャッキ	110 mm×21 MPa×350 stmm×2 本		
油圧パワーユニット	用 途	回転系	ゲート系
	油圧ポンプ	46 L/min×25 MPa	40 L/min×21 MPa
	電動機	30 kW×4 P×440 V	11 kW×4 P×440 V
	台 数	1 台	1 台

行う掘削機構を採用している。また、従来の油圧モータによる駆動形式と比べて経済的である。表一1 に推進機の仕様を示す。

本工事で使用した推進機の特徴を以下に列挙する。

- ①カッタヘッド外周に全方向性の切削に対応するために円錐ビットを装着した。
- ②4 角の隅角部において、粘性土の圧密固着を防止するために、高圧洗浄ノズルを装備した。
- ③推進時のローリング修正のために、可動ソリによる修正装置及び掘進機内部においても油圧修正ジャッキを装備した。
- ④推進後に到達立坑にて解体、発進立坑へトンネル内を引戻し可能な構造とした。

## 4. 鋼殻 (セグメント)

本工事で使用したセグメントは、4 断面全て同一の基本寸法にて製作したが、鋼殻の隣接部においては、

施工段階における離れ防止のために、ガイド材として先行鋼殻には凹レール、後続鋼殻には凸レールを装備した。鋼殻の配置断面図を図-2に示す。

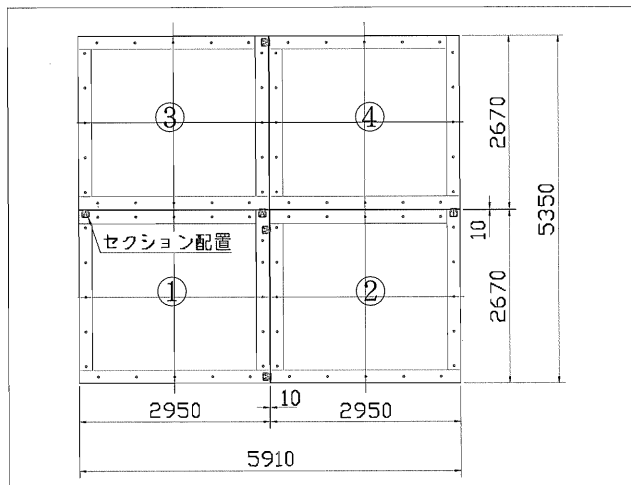


図-2 鋼殻配置断面図

ガイド材は、各函体の推進において施工誤差（水平、鉛直、ローリング）が発生するため、誤差を吸収し継手部における競りを考慮した特殊なガイドレール材を製作した。鋼殻の1函当りの長さは、縦断線形（約200 mR）を考慮して約1,250 mmに定め、全てテーパを設けた。また、鋼殻は1函を一体ものとして工場にて製作し、現場搬入を行った（図-3）。

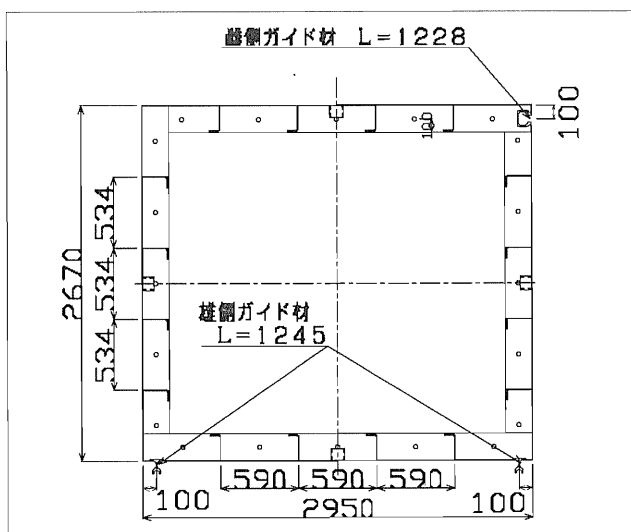


図-3 鋼殻一般構造図

## 5. 施 工

### (1) 推進用設備

主な推進工事用機械設備を図-4に示す。

- ①元押しジャッキ設備（1,500 kN-2,900 mm×4本）
- ②排泥設備（75 kW 真空ポンプ、φ125 mm 管）

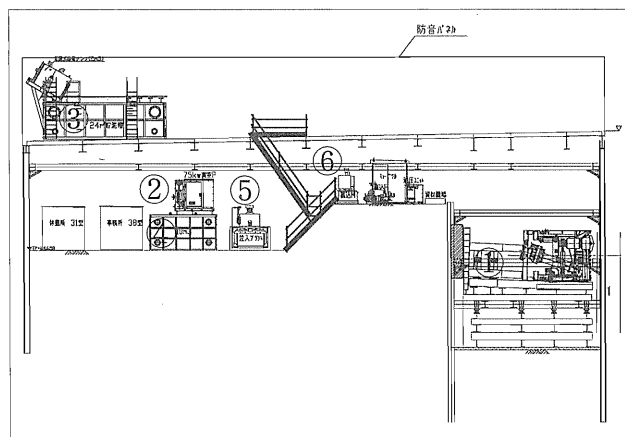


図-4 推進用設備配置図

- ③土砂ピット（24 m<sup>3</sup> 水槽×1基）
- ④清水、排水槽（10 m<sup>3</sup> 水槽×3基）
- ⑤作泥プラント
- ⑥裏込め注入プラント

### (2) 施工手順

今回のハーモニカ工法は、図-2の施工順序にて推進を行った。以下に施工手順ステップを示す。

- ①発進立坑築造
- ②下段支圧壁コンクリート施工
- ③各種推進用機械設備設置
- ④下段発進架台設置
- ⑤発進坑ロリング設置
- ⑥推進機組立て
- ⑦推進（写真-1）
- ⑧到達架台設置
- ⑨推進機到達・押出し
- ⑩推進機解体搬出
- ⑪裏込め注入
- ⑫下段発進架台盛替え

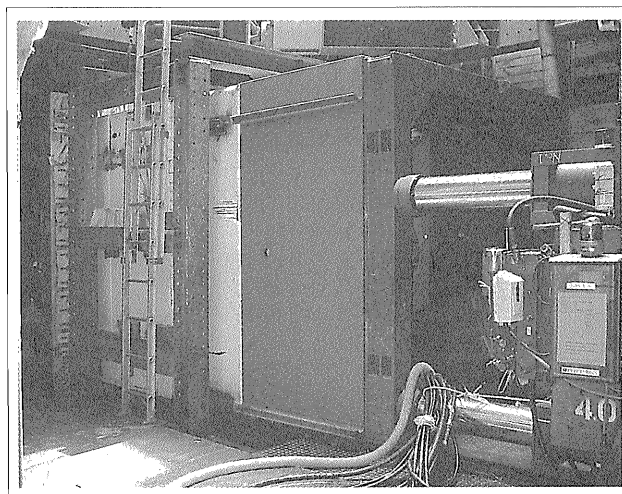


写真-1 2 函体目推進状況

- ⑬以降, ⑤～⑪で下段推進
- ⑭上段支圧壁コンクリート施工
- ⑮上段発進架台設置及び山留め盛替え
- ⑯以降, ⑤～⑪で上段推進
- ⑰継手部止水注入
- ⑱推進設備解体撤去

(3) 掘進管理

掘進にあたっては、表—2 に示す管理項目にて管理値を定め掘進を行った。

表—2 掘進管理値

項目	管理値	設定根拠
カッタージャッキ圧	14 MPa	装備圧力の40%
排土量	12.8 m <sup>3</sup>	地山体積+地山ふけ量+加泥材
切羽土圧	30 kPa	静止土圧+予備圧
元押しジャッキ総推力	250 kN	計画推力の70%とした
掘進精度(上下)	±40 mm	構築最外周位置より決定
掘進精度(左右)	±70 mm	構築最外周位置より決定

第1回目の推進は、その掘進精度が後続の推進に影響を及ぼす基準となるため、1 函の推進 (L≒1,250 mm あたり) で4 回の水準測量を実施した。また、平面位置測量も1 函毎に実施した。

(4) 加泥材

掘削断面の土質は、関東ローム層及び凝灰質粘土層の非常に粘着力の高い土質である。加泥材には、掘削土のチャンバ内における付着を防止し、塑性流動化を促進するために浸透剤と分散剤を併用した作泥材を選定し、地山体積容量の約30% 添加して掘削を行った。

(5) 裏込め注入工

従来推進工法における裏込め注入は、推進完了後にセメント系の裏込め材を推進中に充填した滑材と置換

える方式で行われていた。しかし、今回のハーモニカ工法では推進完了後も隣接したセグメントにて推進を行うため、先行函体(鋼殻)に装備した凹レール内部及び鋼殻外周に裏込め材の充填される可能性があり、裏込め材の影響で後続函体の推進に悪影響を及ぼす可能性がある。そこで、今回は2 液性の一軸圧縮強度0.2 N/mm<sup>2</sup> の滑材兼充填材を推進中に注入し、推進完了後に2 次注入を行うことにより施工を行った(写真—2)。

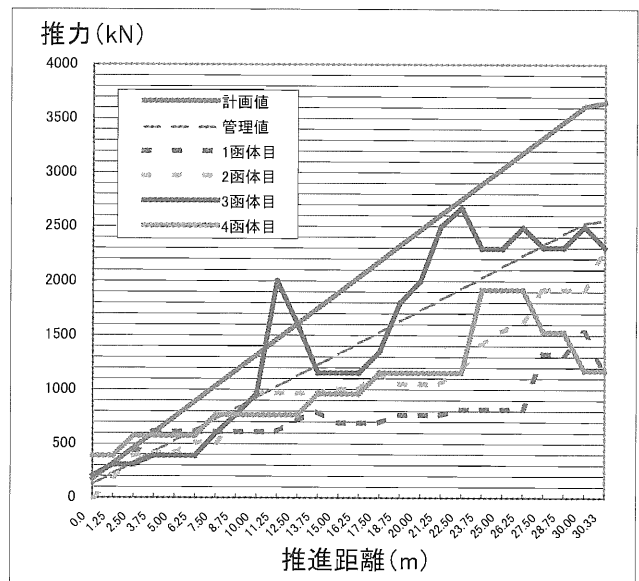
(6) 継手部止水注入工

全ての函体推進完了後、将来の漏水防止のために函体間の継手(ガイド材)部の洗浄を行い、その後止水充填材を注入した。この止水材には、躯体構築後の残置鋼殻の切断撤去時における止水材の劣化及び有害ガスの発生を防ぐためにアクリル系の材料を採用した。

6. 施工結果

(1) 推力データ

図—5 に推進距離と推力の関係を示した。推力については全函体の推進において推進距離に伴い推力の上昇が見られるのがわかる。また、一部の値を除いて全ての函体は計画値以下で推進されている。ここで、推力の変動が大きい部分については、前述した裏込め注入を行った直後の推進時に発生している。



図—5 推進距離—推力関係図



写真—2 4 函体推進完了状況

また、本来ならば、函体間の接する面が最大の2 箇所となる4 函体目の推進において、一番推力が上がるはずであるが、2 函体目の推進の推力データとさほど

変わらない結果となっている。これは、ガイド材との競りによる推力の上昇はさほど影響されないことや、精度良く曲線推進管理が行えた結果と判断する。

(2) 出来形データ

水平・鉛直変位とも管理基準値以内の精度で掘進を完了した。図-6より、水平位置は1函体目の推進出来形の影響が後続推進函体の全てにおいて現れていることが確認できる。

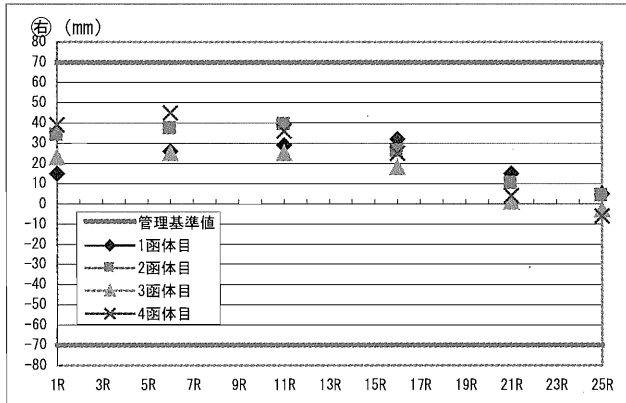


図-6 水平変位量

また、図-7より、鉛直位置は下部函体の推進出来形が上部函体に影響していることがわかる。したがって、ガイド材の余裕分の設定により後続函体の出来形は大きく影響されるものと考えられる。即ち1函体目(基準函)の掘進が全体の掘進出来型精度に大きく影響していることが分かった。

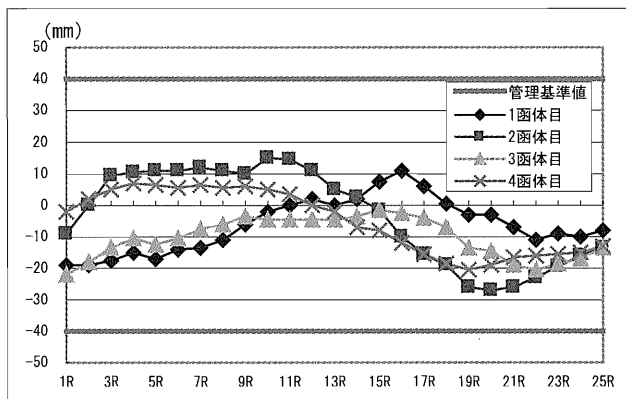


図-7 鉛直変位量

7. おわりに

現在施工中の、(仮称)外苑東通り地下通路整備工事では先行して行っている星条旗通り連絡通路の4断面ハーモニカ区間において、ハーモニカ鋼殻内部の躯体の工事中であり、躯体の完成は平成18年早々を予定している。また、後行で施工する六本木駅連絡通路の6断面のハーモニカ区間は、同様に平成18年早々の発進に向けて立坑の築造及び発進の準備中である。今回の星条旗通り連絡通路での掘進データを詳細に解析し、次回施工する六本木駅連絡通路のハーモニカ推進工事に活かす予定である。

紙幅の都合で本報文には言及しなかったが、星条旗通り連絡通路の掘進では鋼殻の主桁及び縦リブに歪みゲージを設置し自動計測を行っている。現在データ解析中であるが、今後のハーモニカ工法における鋼殻設計に当たっての貴重なデータを提供するものとなることが期待されている。

今回、無事に4函体の推進工事が到達できたことは関係各位のご指導、ご鞭撻のお陰であり、感謝いたします。



【筆者紹介】

湯口 正樹 (ゆぐち まさき)  
大成建設株式会社  
(仮称)外苑東通り地下通路整備工事六本木作業所  
工事次長



門脇 直樹 (かどわき なおき)  
大成建設株式会社  
(仮称)外苑東通り地下通路整備工事六本木作業所  
課長代理



岩元 篤史 (いのもと あつし)  
大成建設株式会社  
(仮称)外苑東通り地下通路整備工事六本木作業所  
工事主任

