

R-SWING工法による矩形断面トンネルの施工実績

鹿島建設(株) 正会員 ○諸橋 敏夫

鹿島建設(株) 非会員 坂根 英之

現在、新設ビルと地下鉄の駅を結ぶ地下連絡通路工事や鉄道・道路を立体交差化するアンダーパス工事のニーズは、増加傾向である。そのときに必要とされる地下通路やアンダーパス部の形状は、ほとんどが矩形断面である。しかし、これまで矩形断面の非開削工法としてシールド工法を採用した場合、伸縮カッタを用いて矩形に掘削するWAC工法・EX-MAC工法、任意の断面を掘削できるアポロカッタ工法等を適用してきた。ただし、いずれの工法も必要とされる完全な矩形ではなく、また、通常の泥土圧式シールド掘進機がベースのために、短距離や小断面のアンダーパス工事において、その合理性やコストパフォーマンスの面で問題になることがあった。そこで、このような矩形断面のアンダーパス工事にもっとも適応するR-SWING工法の泥土圧式トンネル掘進機（以下、R-SWINGマシン）を開発、現場に初適用し、無事完了したので報告する。



図1 WAC工法の
シールド掘進機



図2 EX-MAC工法の
シールド掘進機



図3 アポロカッタ工法の
シールド掘進機

1. R-SWING工法について

1.1 R-SWINGマシン仕様

(1) 適用地盤条件

アンダーパス工事は比較的深度の浅い場所での条件が多いため、マシンのコストダウンを図る上で以下のように適用地盤条件を設定した。

- ・ 適用地盤：N 値20 程度の粘性土・砂層
- ・ 土 被 り：5～10m程度
- ・ 地 下 水：0.1MPa 程度

(2) 適用寸法

適用寸法は、地下連絡通路から2車線道路トンネルをターゲットに以下のように設定した。（図4）

- ・ 形 状：矩形、・ 幅：最小4.6m ～ 最大9.2m、・ 高 さ：最小3.6m ～ 最大9.0m

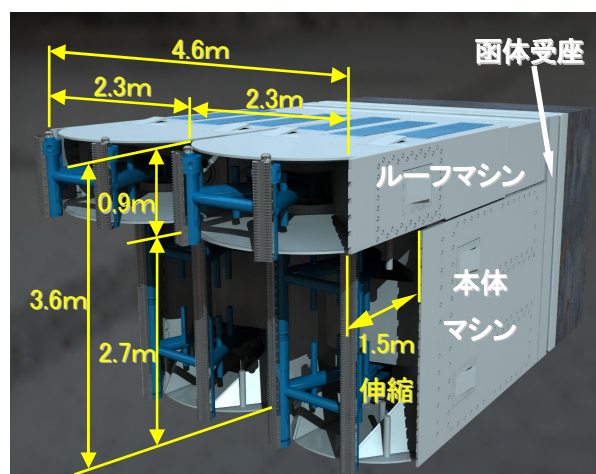


図4 R-SWINGマシン（基本型）

キーワード R-SWING工法、矩形断面、泥土圧推進工法、低土被り、地下連絡通路

連絡先 〒101-0062 東京都千代田区神田鍛冶町3-3松見ビル9階 TEL03-5298-5560

(3) R-SWINGマシンの基本構造

図4 は基本型のR-SWINGマシンの図である。前後に1.5m伸縮する高さ0.9mのルーフマシンを上部に、下部に基本高さ2.7mの本体マシンを配置する。掘削はワイパーのように左右に振れる揺動カッタ方式を採用し、揺動する際にセグメントに掛かる反力を打ち消すためにルーフマシン、本体マシンともに幅2.3mのマシンを左右2基セット配置している。また、ルーフマシン、本体マシン後方に配置した函体受座には姿勢制御を目的とした中折れ機構も装備している。ルーフマシン、本体マシンとも必要に応じ上下左右に結合することが出来る構造になっており、図5 のような大断面にも適用可能である。

1.2 R-SWINGマシンの特長

(1) 工法・セグメントの適応性

マシン前方はそのまま、後方の函体受座を変更することで推進工法からシールド工法への対応が可能である。また、鋼製セグメント、RCセグメントにも適用でき、あらゆる現場状況にも対応可能である。(図6)

(2) 地盤変状抑制と前方探査機構

先行掘進のために設けられた掘進方向に前後するルーフマシンが直上の地盤沈下および隆起抑制に寄与するだけでなく、埋設物などの探査機能としても活用でき、より安全に掘進することが可能である。

(3) マシンのユニット化

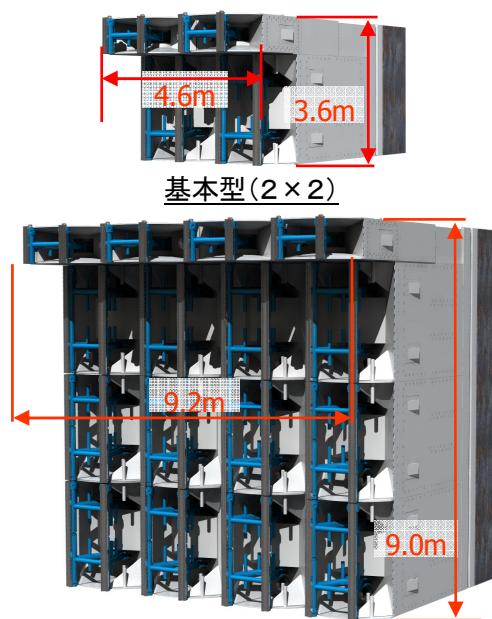
揺動カッタ方式の採用によって掘削機構が簡略化され、マシンの製造コストの低減が可能である。マシンはユニット化され、1つのユニットの幅を2.3mとして、トラックでの運搬を考慮したサイズとなっており、全てのユニット間をボルトでの結合としたことで、溶接作業が殆ど発生せず、作業環境に優しいとともに組立作業期間の短縮に寄与している。また、ユニット内の揺動カッタなどの可動部位もボルトやピン締結にして取り外せる構造としたことで、使用後のメンテナンスが容易である。

(4) 汎用性の高さ

特に小口径の円形の管渠・トンネル径は同様の寸法であることが多いため、推進機やシールド機は比較的転用し易い状況にある。しかしながら、一般的に矩形トンネルの場合、その用途によっては似たような大きさにはなるものの、現場ごとに微妙に幅・高さが異なるため、推進機やシールド機は殆ど単品生産である。その問題を解消するべくR-SWINGマシンでは基本型マシンにスペーサなどを挟み込むことにより寸法調整を容易にできる機構を持たせたことで、基本型マシンの汎用性を高め、転用することでのマシン費の大幅削減効果を見込んでいる。

(5) 地上発進・地上到達

技術の組合せ、今まで蓄積した当社の地上発進や低土被りでのシールド掘進実績をR-SWING工法にも



基本型(2×2)

最大拡張型(4×4)

図5 適用寸法

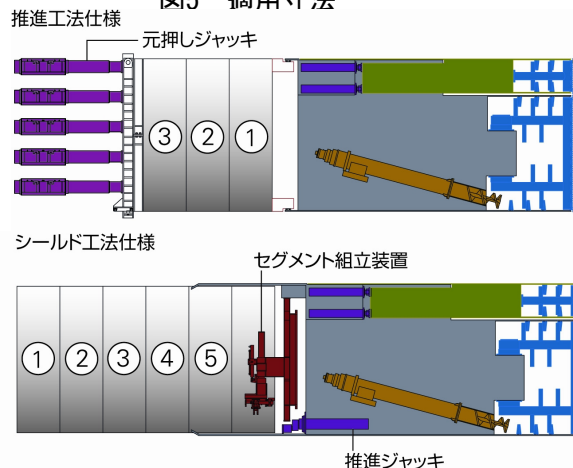


図6 推進・シールド工法の適用イメージ

応用することで、地上発進および地上到達が可能となり、現場のニーズに応じて立坑建造に要する工期・費用を大幅に低減可能である。

2. 施工実績

2.1 工事概要

本工事は、三井住友海上火災保険(株)神田駿河台三丁目計画にともない、三井住友海上駿河台ビル本館地下増築部と地下鉄千代田線新御茶ノ水駅通路部を地下連絡通路（延長約40m）で接続する工事である。（図7・図8）

現場周辺では、日中の交通量や人出が多く、周辺住民への配慮から振動・騒音の低減が必要な場所での施工であり、極力昼間の作業で対応可能な非開削工法が求められた。このうち、中間部の約26.5mをR-SWING工法（推進工法）を初適用し、無事に完了した。

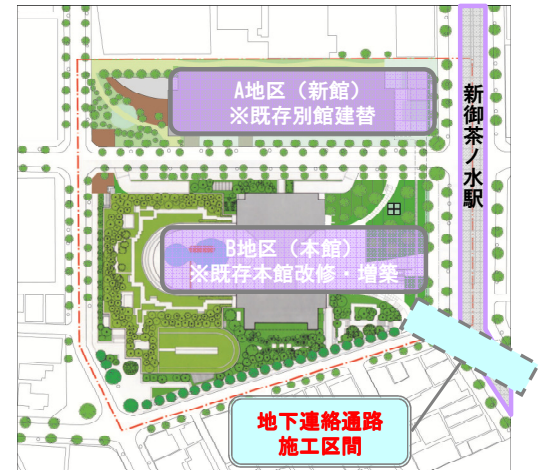


図7 施工場所平面位置図

- ・現場名：三井住友海上駿河台三丁目計画のうち新御茶ノ水駅連絡通路設置事業
- ・場所：東京都千代田区神田駿河台3-9,11 他
- ・発注者：三井住友海上火災保険株式会社
- ・施工監理：東京地下鉄株式会社
(請願工事)

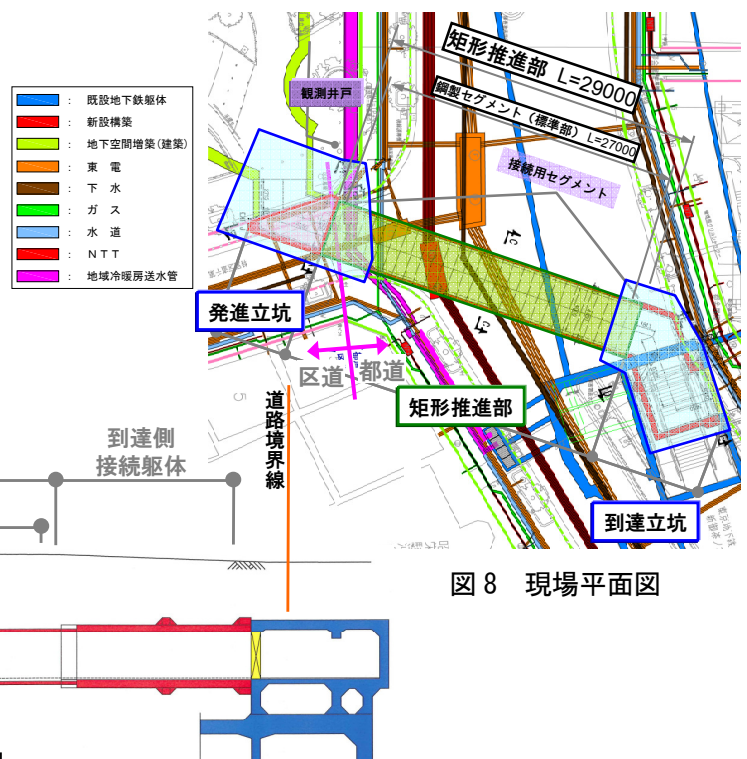


図8 現場平面図

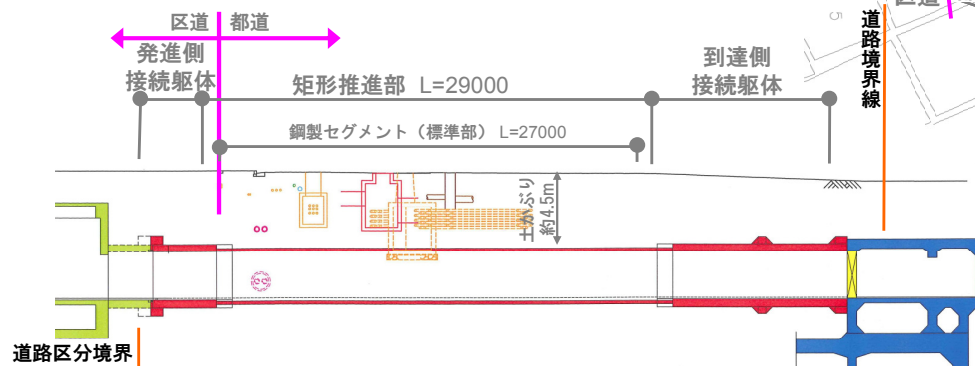


図9 現場縦断面図

2.2 諸元・土質条件

- ・トンネル内空寸法：幅4.45m×高さ3.2m
- ・セグメント：矩形鋼製，桁高200mm，L=1.0m
- ・掘削距離：L=26.5m
- ・平面線形：直線，縦断線形：水平
- ・掘削土層：細砂礫混じり砂層，地下水位以上
- ・N 値：3～20 程度



図10 R-SWING マシン全景（ルーフ伸張時）

2.3 R-SWINGマシン

本工事では、推進機として施工を行った。

形状寸法は、幅：4.85m、高さ：3.60m、全長：5.60mで、幅は、マシン基本形に対して250mm不足する。従って、マシン中央部に120mm、側面に65mmのスペーサを配置して、調整を行った。（図10・図11）

排土は、スクリーコンベヤを本体マシンに2基、ルーフマシンに1基装備し、合計3基で行った。また、マシン後部には、ジャッキを内蔵した函体受座を装備し、中折れ機構を持たせることで、方向修正できる構造とした。

2.4 セグメント

本工事では、鋼製セグメントを使用した。幅4,850mm、高さ3,600mm、桁高200mm・セグメント幅1,000mm、4分割で構成される。（図12）

2.5 推進設備概要

(1) 地上設備

土砂搬出部には、圧送ポンプから搬出された掘削土の土砂貯留設備、クラムショベル等の設備を配置し、その周囲には飛散養生用のシートを配置した。（図13）また、資機材搬出入用として、地上に移動式クレーンを配置し、セグメント等の資機材の搬入を行った。また、換気設備・電気設備等も地上に設置した。セグメントは、地上にて一時仮置きし、シール材を貼り付け後、発進立坑に投入組立を行った。

(2) 発進立坑設備

発進立坑部には、推進用後続設備・推進用ジャッキ設備・加泥注入設備・滑材注入設備等を設置した。（図14）

(3) 坑内設備

トンネル坑内の設備として掘削土搬出設備として圧送ポンプを設置した。

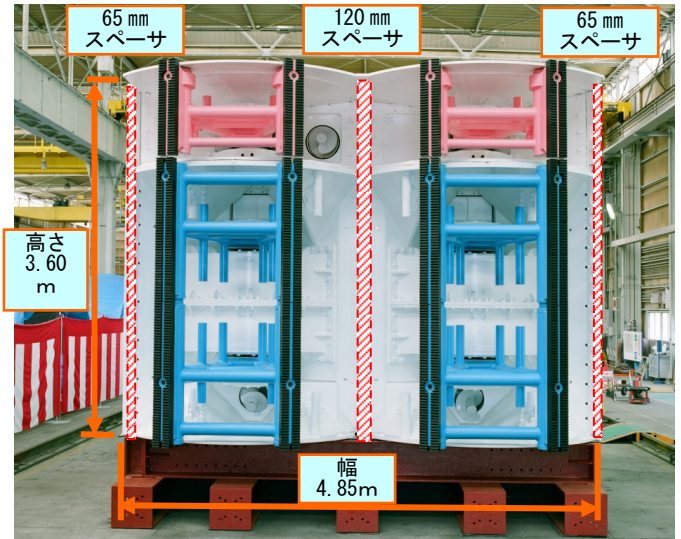


図 11 R-SWING マシン正面

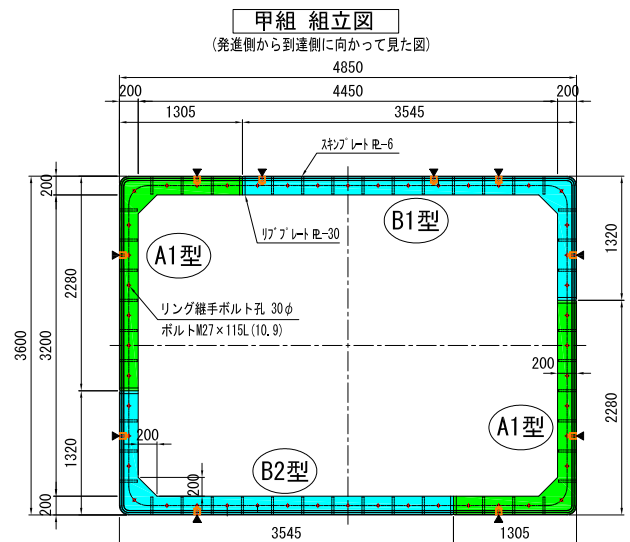


図 12 セグメント全体構造図



図 13 発進立坑汚泥搬出状況



図 14 発進立坑内設備配置状況

2.6 施工実績

(1) 掘進実績

[マシン組立・解体実績]

マシンをユニット化したことで、組立はマシン投入から10日で掘進可能な状況に、解体は全ユニット搬出を2.5日で完了することが出来た。

[掘進実績]

途中、軽微な掘進の不具合はあったものの、掘進時の適切な土圧管理とマシンの姿勢制御により、セグメント出来形および地表面変状も管理値以内に収まり、概ね5~10mm/minという速度で掘進することができた。

(2) 加泥注入管理

切羽の安定のためには、チャンバ内の塑性流動性の確保が重要である。今回通過土層が砂層および礫混じり砂層であるために高分子系増粘材を使用した。また、地下水位以上の掘進により逸水・逸泥が多く、揺動カタによる脱水も懸念されたために、高分子系吸水材も併用した。

(3) 排土管理

排土量管理は、土砂圧送配管に設置した電磁流量計による土砂圧送容積の計測及び残土搬出時のダンプ搬出容量とピット内の残量を集計し、排土量の管理を行った。

各計測による排土量の計測結果（計測土量/理論土量）は、ともに0.93であった。これは、地山への逸水・逸泥によるものが大きいと推察される。

(4) 姿勢制御

[ローリング対策]

R-SWINGマシンは、矩形断面であることから特にローリング対策が重要である。そのため、上下左右の各面に可動ソリ（フラップ）を計14基装備した。また、その可動ソリ部分に交換可能なスタビライザを設置可能な構造とし、推進中にその有効性を確認した。

[方向制御]

線形は、直線・水平であるが、推進中の微妙な方向制御は必要である。よって、以下の方法にて対応した。

- ・発進立坑の推進ジャッキを左右のブロックで制御し、特に初期推進時の平面方向性を管理した。
- ・マシンに装備した中折れ機構を使用して、上下左右の方向性を管理した。

以上より、当工事による線形管理結果としては、平面・縦断線形及びセグメント出来形ともに管理値に収める事が出来た。

(5) 路面変状計測

推進に並行して路面の変状計測を実施した。計測結果は、沈下管理値に収める事が出来た。

3. おわりに

今後、アンダーパス工事の社会的ニーズの増加とともに、その施工環境は、超低土被り、重要施設物や埋設物との超近接・より一層の低コスト化等、より一層厳しくなることが予想される。

それらの状況下において、R-SWING工法を採用いただき、地下連絡通路の施工で無事完了した実績は、今後の展開へ大きく寄与する。

今回の報告は、まだ1現場の施工実績である。各現場による施工条件は、千差万別であり、今後さらに施工実績を増やすことで、より信頼性の高い工法とすることが必須である。そのため、R-SWINGマシンの改良はもとより、掘進管理手法、セグメント等についても改良改善を実施していく。今後の展開を希望する。



図 15 トンネル内一次覆工完了状況