

31. 矩形アンダーパス工事に特化した密閉式掘削機による 地下連絡通路の施工実績

—新御茶ノ水駅連絡出入口設置工事—

鹿島建設(株) ○ 諸橋 敏夫
鹿島建設(株) 坂根 英之

1. はじめに

近年、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が増加傾向にある。

これら地下通路やアンダーパス部形状は、矩形断面であることが多い。しかしこれまでは、非開削工法でシールド工法を採用した場合、回転式カッタに伸縮カッタ（オーバーカッタ）を用いて矩形に掘削する工法などが適用されてきたが、そのほとんどが完全な矩形（扁平矩形）にはなっていない。また、通常のシールド機をベースにした矩形マシン（写真-1）であるために、短距離や小断面のニーズが多いアンダーパス工事においては、その合理性やコストパフォーマンスが問題となることがあった。

そこで、完全な扁平矩形断面のアンダーパス工事に適応する R-SWING（Roof & SWING cutting）工法の泥土圧式トンネル掘進機（以下、R-SWINGマシン）を開発した。

2. R-SWING工法について

2.1 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施工が多いため、マシンのコストダウンを図るうえで、適用地盤条件を以下のように設定した。

- ・ 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

地下連絡通路から 2 車線道路トンネルを対象として、適用寸法を以下のように設定した。

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

(3) R-SWINGマシンの基本構造

図-1 に基本型 R-SWINGマシン外観を示す。

前後に 1.5m 伸縮する高さ 0.9m のルーフマシンを上部に、基本高さ 2.7m の本体マシンを下部に配置する。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た。ルーフマシン、本体マシンともに幅 2.3m のユニットを左右 2 セット配置し、左右のカッタを逆方向に揺動することでセグメントに掛かる反力を打ち消す構造とした。また、ルーフマシン、本体マシン後部の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た。

なお、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できる構造となっており、図-2 のような大断面にも適用可能である。

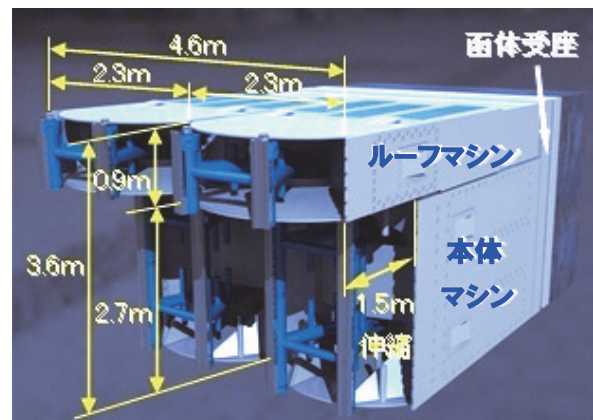


図-1 R-SWINGマシン（基本形）



写真-1 通常のシールド機ベースの矩形マシン例

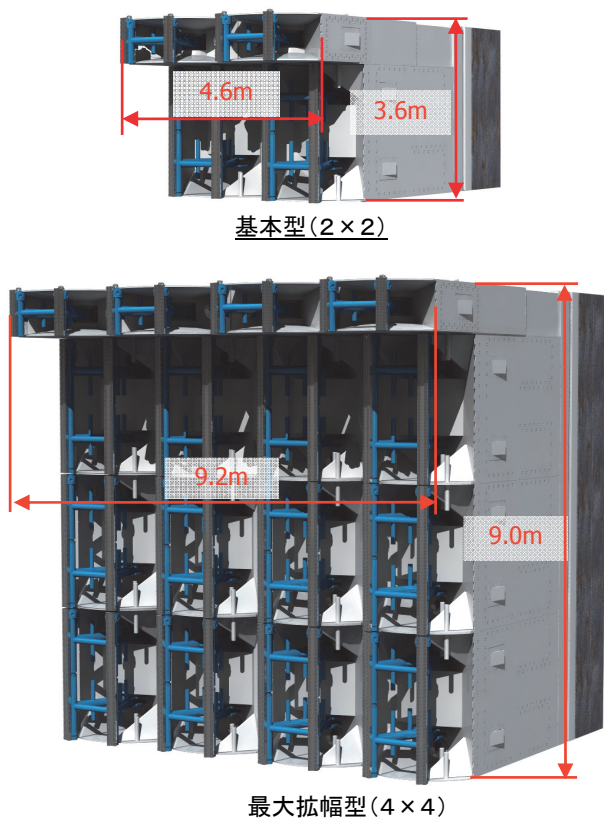


図-2 R-SWINGマシン適用断面範囲

2.2 R-SWINGマシンの特長

(1) 工法・セグメントの適応性

マシン前方の構造はそのまま、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対応可能である。

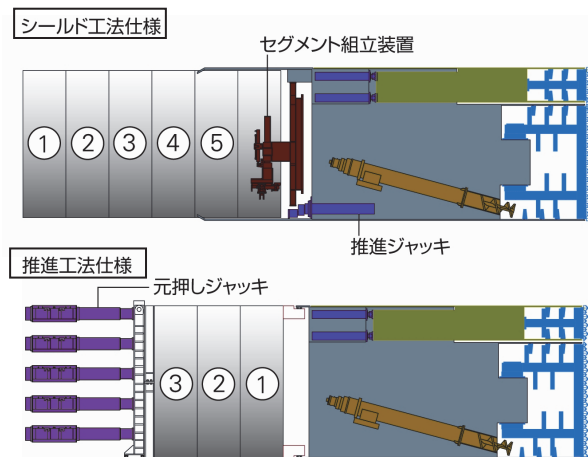


図-3 シールド・推進工法での適用イメージ

(2) 地盤変状抑制と前方探査機構

先行掘進のために設けたルーフマシンは掘進方向に伸縮する構造で、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となった。

(3) マシンのユニット化

油圧シリンダ駆動による揺動カタ方式の採用によって掘削機構を簡略化し、マシンの製造コストを大幅に低減した。またマシンをユニット化し、1つのユニットの幅は2.3mとトラックでの運搬を考慮したサイズとした。全てのユニット間をボルト結合としたことで溶接作業が殆ど発生しないため、作業環境が良好でかつ組立作業期間が短縮できた。また、ユニット内の揺動カタなどの可動部位もボルトやピン結合にして取り外せる構造としたことで、施工終了時のメンテナンスも容易となった。

(4) 優れた汎用性

小口径の円形管渠やトンネルの径は同じ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、一般的に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機となる。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み寸法調整が容易にできる構造としたことで汎用性が高まり、複数の工事に転用することでマシン費の大幅削減を見込むことができる。この寸法調整方法について以下に説明をする。

a) 幅の調整

基本型マシンの1つのユニット幅は2.3mとしているが、揺動カタは2.8mまで掘削幅が調整できるため、250mmまでのスペーサをマシン本体の両側に取付けることでマシン幅が調整可能である。左右2つのユニットでは最大1,000mmの拡張まで対応できる。また、それ以上拡張する場合は小型の揺動カタを設けたハーフマシンを追加することになる。

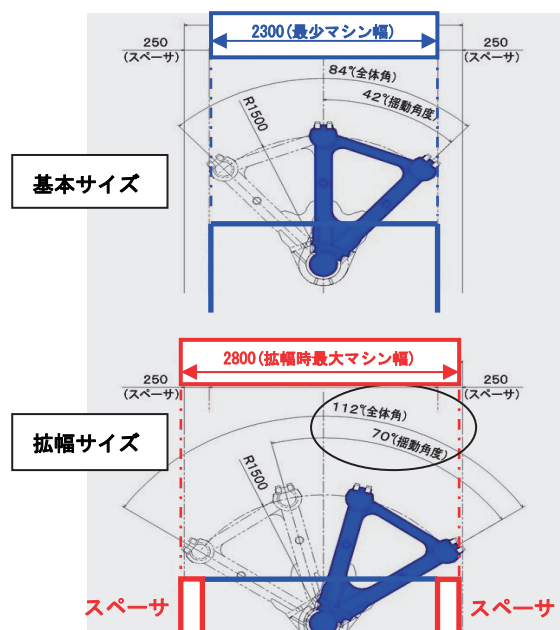


図-4 1ユニットの幅調整（平面図）

b)高さの調整

本体マシンの揺動カッタスポークはマシンの基本高さより上下0.5mずつ長くできるような強度と能力を備えているため、この部分を必要に応じて延伸させ、その隙間にスペーサを挟むことで高さの調整を可能としている（図-5）。

また、基本高さから1mを超えた場合には別途に掘削機構を設けた中間マシンをルーフマシンと本体マシンの間にに入れて対応する。

(5) 地上発進・地上到達技術の組合せ

これまで弊社がシールド工事で行った地上または低土被りでの発進・到達の技術をR-SWING工法にも適用できるよう配慮しており、地上発進および地上到達が可能で、現場のニーズに応じて立坑築造に要する工期・費用を大幅に低減可能である（図-6）。

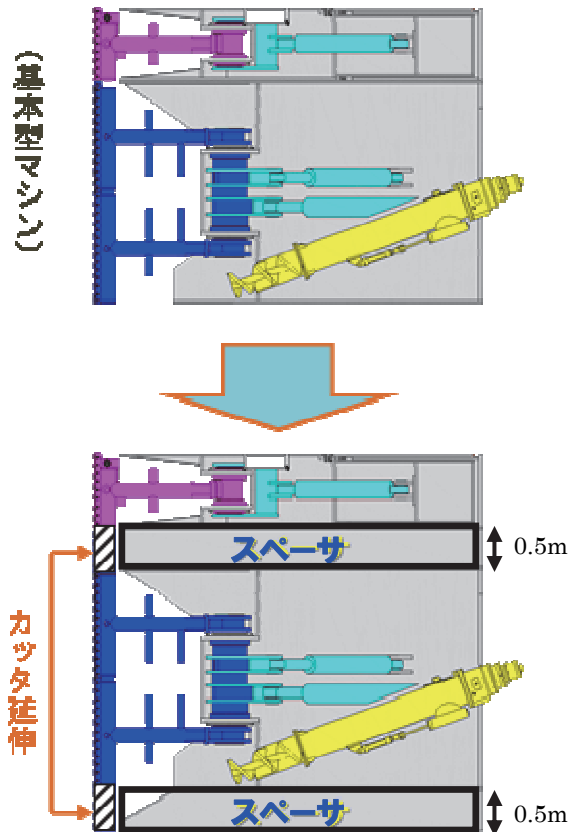


図-5 R-SWINGマシン高さ調整（側面図）

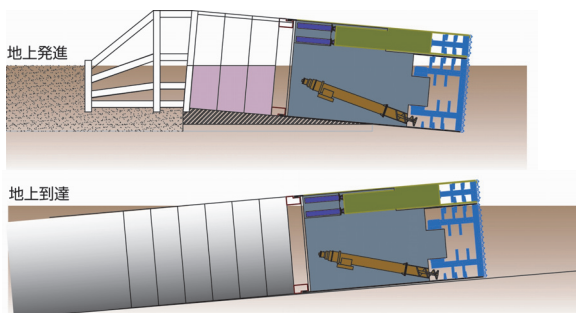


図-6 地上発進・地上到達イメージ

3. 施工実績

3.1 工事概要

本工事は、三井住友海上火災保険㈱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）で接続するものである。

現場周辺は、日中の交通量や人の往来が多く、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ということもあり、極力昼間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にR-SWING工法（推進機仕様）を初適用し、無事に完了した。

- ・現場名：三井住友海上駿河台三丁目計画の内 新御茶ノ水駅連絡通路設置工事
- ・工事場所：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-7 施工場所平面位置図



図-8 現場平面図

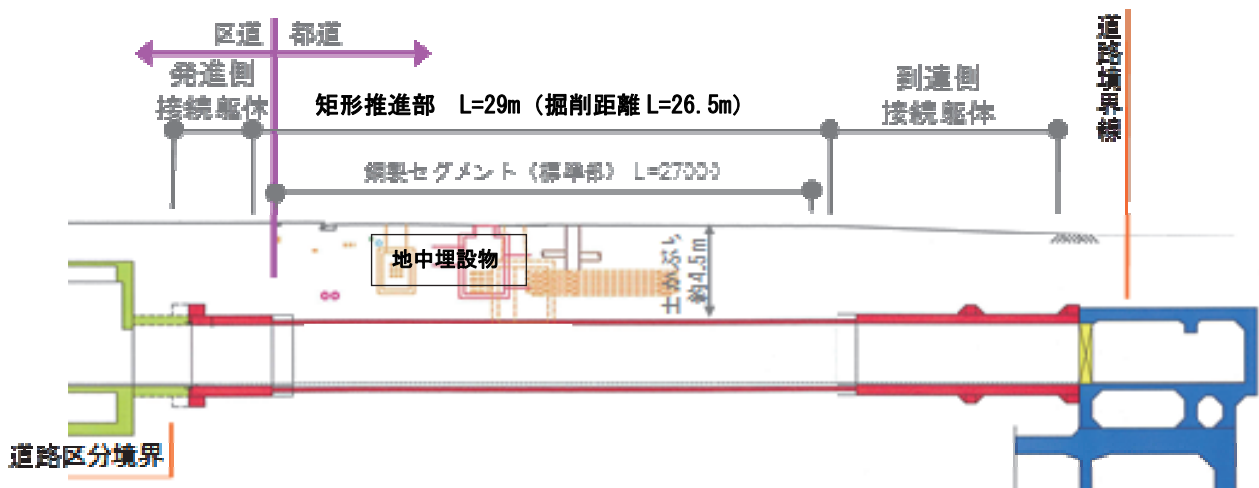


図-9 縦断面図

3.2 諸元・土質条件

- ・トンネル内空寸法：幅 4.45m×高さ 3.20m
- ・セグメント：矩形鋼製、桁高 200mm、L=1.0m
- ・矩形推進部：L=29m（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、地下水位以浅
- ・N 値：3～20 程度

3.3 R-SWINGマシン

本工事では、推進機として施工を行った。

推進機の必要寸法は、幅 4.85m、高さ 3.60m で、幅がマシンの基本型 4.6m に対して 250mm オーバーサイズとなる。従って、マシン中央部に 120mm、側面に 65mm のスペーサを取付けて拡幅した（写真-3）。

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。

3.4 セグメント

本工事では、鋼製セグメントを使用した。全体形状は、幅 4,850mm、高さ 3,600mm、桁高 200mm、セグメント幅 1,000mm で、これが 4 分割で構成される。

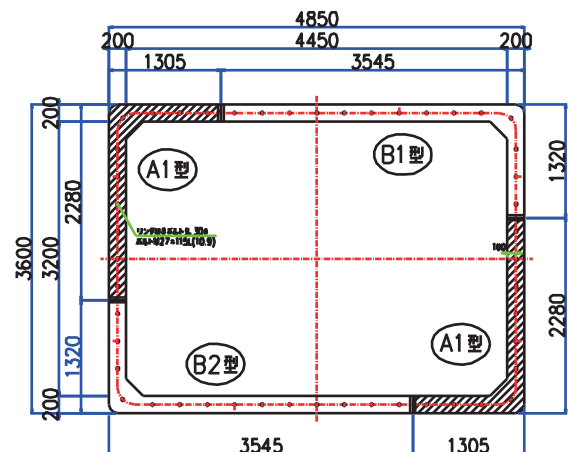


図-10 セグメント全体構造図



写真-2 R-SWINGマシン全景（ルーフ張出）

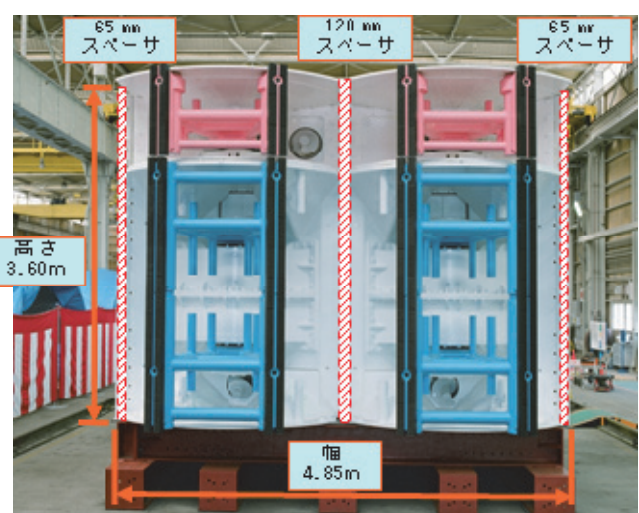


写真-3 R-SWINGマシン正面

3.5 推進付帯設備概要

(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。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。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、発進立坑に投入した。



写真-4 発進立坑汚泥搬出状況

(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。



写真-5 発進立坑内設備配置状況

(3) 坑内設備

トンネル坑内の掘削土搬出設備として圧送ポンプを設置した。

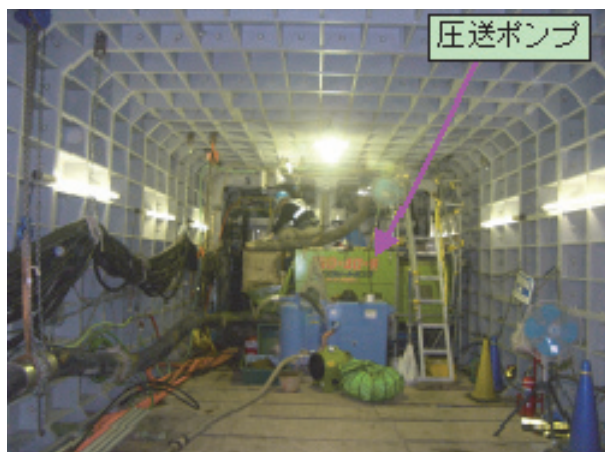


写真-6 坑内設備配置

3.6 施工実績

(1) 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までを2.5日で完了することができた。



写真-7 マシン引揚状況

(2) 掘進実績

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。

(3) 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、地下水位より浅の掘進であるため逸水・逸泥が多く、また揺動カットによる圧密脱水も懸念されたために、高分子系吸水材を併用した。

(4) 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て行った。

(5) 姿勢制御

a) 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、その可動ソリ部分はスタビライザに換装可能な構造とし、推進中にそれぞれの有効性を確認した。



写真-8 可動ソリ（フラップ）張出状況



写真-9 スタビライザ単体（仮置き状況）

b) 方向制御

線形は、直線・水平であるが、推進中の蛇行修正は必要である。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
- ・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

以上より、本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ことができた。

(6) 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ことができた。



写真-10 トンネル一次覆工完了状況

4. 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・重要施設や埋設物との超近接・より一層の低コスト化など、厳しくなることが予想される。

これらの状況の下、R-SWING工法の今回の施工実績が、今後のアンダーパス工事の進展に大きく寄与するものと考ええる。