

JCMA 報告

平成 29 年度 日本建設機械施工大賞 受賞業績（その 4）

大賞部門 優秀賞

地下連絡通路における揺動型矩形推進機の施工実績

鹿島建設(株)

業務内容

大都市圏の再開発プロジェクト等においては、歩行者の利便性向上のため、建築物と駅を地下でつなぐ連絡通路のニーズが高まっている。これらの建設工事にあたっては、従来の開削工法では地上に交通規制が多く発生することや、地下埋設物の移設や防護が必要となるなど様々な問題がある。また、短い距離のシールド工法などの非開削工法では、シールド機製作コストが割高になってしまうことや、円形シールドでは小土被りへの適用が難しいことなどの問題がある。

そこで、多様な矩形断面に適用し、転用によるコスト低減が可能となる、矩形断面揺動型掘進機（以下 R-SWING 機）を用いた R-SWING 工法を開発して、2 例目となる地下通路に適用した。

本業績は、新日比谷計画開発ビル建設に伴う日比谷駅において、千代田線バリアフリー 1 ルート及び日比谷線と千代田線との乗換ルートを整備するとともに、既設出入口を撤去し地下鉄に接続する通路及び出入口を、R-SWING 工法により新設した施工実績である。

(1) R-SWING 工法の適用範囲

R-SWING 工法の適用範囲を表 1 に示す。

表 1 R-SWING 工法の適用範囲

地盤条件	土質	粘性土、砂質土
	N 値	20 以下
	土被り	5 ～ 10 m 程度
	地下水压	0.1 MPa 程度
適用寸法	形状	矩形
	幅	4.6 ～ 9.2 m
	高さ	3.6 ～ 9.0 m

(2) R-SWING 機の基本構成

基本型 R-SWING 機の概要図を図 1 に示す。

一般的な地下通路内空を満足し、掘削時の地表面変状を抑制する目的で、幅 2.3 m、高さ 0.9 m のルーフマシンを上部に、高さ 2.7 m の本体マシンを下部に配置するユニットを基本とする。

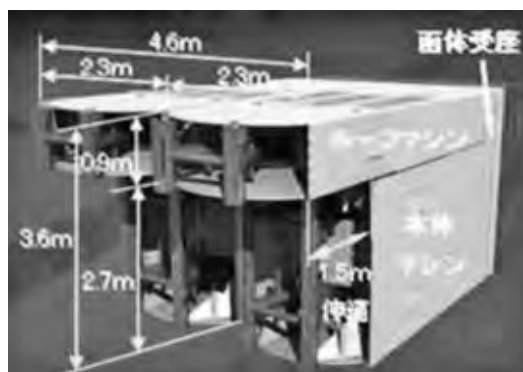


図 1 基本形 R-SWING 機



図 2 最大拡幅機（4 × 4）

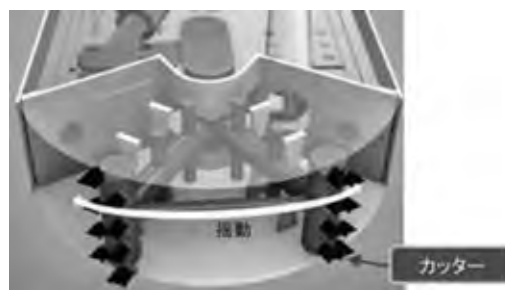


図 3 揺動カッター方式

ユニットは必要に応じてブロックの様に結合可能な構造で、大断面施工も対応可能である（図 2）。

掘削機構は、揺動カッター方式（図 3）を採用しており、函体受座には、姿勢制御を目的とした中折れ機構を装備している。

揺動カッター方式は、切削性、掘削土砂攪拌機能、掘削反力による矩形推進機の挙動、周辺地盤への影響を確認するため、実物大のルーフマシンを製作し推進する実証実験（図—4）により詳細仕様を決定した。



図—4 ルーフマシン推進実験

(3) R-SWING 機の特長

可動式ルーフを装備し、前方に 1.5 m 突き出した状態での掘削が可能で、地盤沈下抑制に有効である。また、各ユニット間をボルトのみで結合出来る機構とすることで、組立・解体作業を簡素化した。

(4) 適用工事の概要および工事諸元・土質条件

現場名：（仮称）新日比谷計画事業と日比谷線及び千代田線日比谷駅鉄道施設整備等に伴うその 2 土木工事

工事場所：東京都千代田区有楽町 1 丁目地先（図—5, 6）

事業主：三井不動産(株)

発注者：東京地下鉄(株)

トンネル掘削寸法：幅 7.25 m × 高さ 4.275 m × 延長 42 m
セグメント：六面鋼殻合成、桁高 350 mm、幅 = 1,000 mm

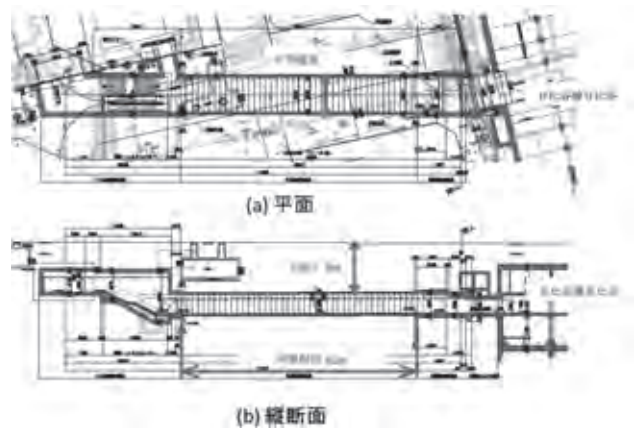
平面線形：直線、縦断線形：3%

掘削土層：粘土質シルト・粘土

N 値：0 ～ 3 程度



図—5 現場位置図



図—6 地下通路平面・縦断面

(5) 日比谷地下通路への適応

①推進機構成

今回の R-SWING 機は、地下連絡通路形状寸法が幅 7.250 m、高さ 4.275 m であるため、大きさを調整する必要があった（図—7）。



図—7 R-SWING 機スパーサ配置図

そこで、基本型のルーフマシン（幅 2.300 m × 高さ 0.915 m）と、本体マシン（幅 2.300 m × 高さ 2.710 m）を 3 連とし、幅は各ユニット間、高さはルーフマシンと本体マシン間にそれぞれスパーサを設置し調整した。

また、スパーサ部はカッターの延長及び揺動角度を調整することにより掘削断面を確保した（図—8）。



図—8 3連 R-SWING 機全景写真

なお、左右のルーフマシンと本体マシンは他現場で使用したものを整備し転用した。

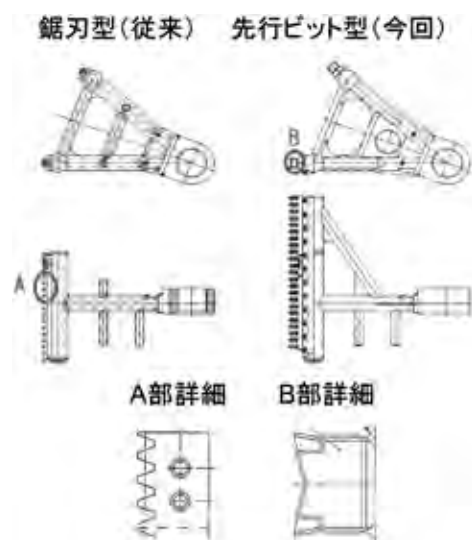
②切削ビット

既設人孔防護及び発進時防護として採用した改良地盤（高圧噴射攪拌工法）を掘削する距離は、発進から10 m 及び到達防護の3 m と合わせて13 m と全掘進延長（40 m）の33%を占め、掘削抵抗値の低減が求められたため、カッター切削実験を実施した（図—9）。

切削実験では、カッタービット切削実験装置を使用し、一軸圧縮強度が $5 \cdot 10 \cdot 15 \text{ N/mm}^2$ の供試体を切込み深さ4・8 mm、可動速度6 cm/secで切削し、それぞれの切削抵抗を測定・比較した。実験の結果から、当初の鋸刃型から切削性の優れる先行ビット型（超硬チップ入り）とし（図—10）、施工時の切削抵抗と最大推進速度を表—2のように規定した。



図—9 カッター切削実験



図—10 カッタービット変更図

表—2 切削抵抗と最大掘進速度

強度	切込抵抗	切削抵抗	掘進速度
5N	21.8mm	7.2kN	30.7mm/min
10N	20.8mm	14.1kN	29.3mm/min
15N	16.0mm	35.7kN	2.5mm/min

③セグメント

セグメントは、耐力が高く桁高を小さくすることが可能であり二次覆工を省略できる、六面鋼殻合成セグメントを採用した（図—11）。

種別：六面鋼殻合成セグメント

外径：幅 7,250 mm × 高 4,275 mm

内径：幅 6,550 mm × 高 3,575 mm

幅：1,000 mm, 桁高：350 mm

重量：24.4 t/Ring（6 分割）



図—11 セグメント

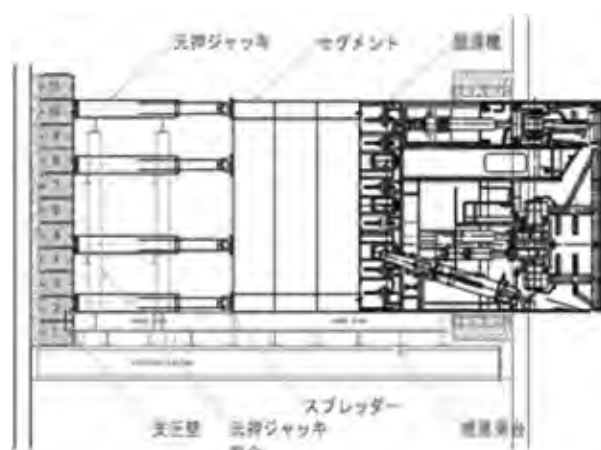
④元押し装置

推進工法とは、推進管に掘進機を取り付け後方の油圧ジャッキで押し進めて、地中に管を埋設する工法である。従来は、油圧ジャッキと推進管の間に押輪を設置し、少ない油圧ジャッキで推進管全体を押す構造が一般的である。

今回、大断面の推進工となるため、元押し装置をシールド機の推進装置を参考に改造し、押輪を無くし、多くの油圧ジャッキを配置することにより施工性及び安全性の向上を図った（図—12）。

油圧ジャッキ：2,430 kN × 1,900 st × 16 本

総推力：38,880 kN, 伸速度：20 mm/min



図—12 機器配置図

技術的効果

(1) R-SWING 機組立実績

本工事の発進立坑は路上に位置しているため、路下へのR-SWING機の投入は地下埋設物が支障となり、所定の位置にセットすることができない。そのため、建築工事の用地を一部借用し、投入立坑を設けて地下で発進立坑まで横引きする計画とした。各ブロックの投入は100tクローラークレーンを使用し、立坑下で本体マシン、スペーサBOX、ルーフマシン及びスペーサを1連毎に組付け、横移動させ所定の位置にセットした（図—13）。



図—13 R-SWING 機横引状況

組立は発進基地開口制約により横引き作業等の付帯作業が発生したが、全てボルト結合とし溶接作業を省略できたため、組立施工期間が24方（夜間作業）と同規模のシールド機と比べ50%短縮することができた（図—14）。



図—14 R-SWING 機接合状況

(2) セグメント組立実績

セグメント組立は、マシンの組立と同様に建築ヤード内の投入開口から荷卸しのうねトラバースにて横移動し、路下に設置した4.8t天井クレーンにて組立を行った。

セグメント組立には、1リング（6ピース）当り150分の時間を要した。

新しい推進管を接続する際、油圧ジャッキを締め組立スペースを作る必要がある。このとき全ジャッキを締めるため、既設推進管がバックリングする可能性があることから、今回は6分割のセグメントを組む際、必要な部分の油圧ジャッキのみを締めることで、バックリングを防止することができた。

セグメント全6ピースを1ピース每天井クレーンで組立を行うが、1ピース組立毎に油圧ジャッキを押し当てる為、セグメントの傾きなどがなく組立精度が向上した（図—15）。



図—15 セグメント組立状況

(3) 掘進実績

純掘進速度（カッターが揺動している時の元押し装置のジャッキ速度）は、発進及び到達防護の地盤改良体内の掘進において平均4.3 mm/min、最大5.8 mm/min、地山においては平均8.4 mm/min、最大10.5 mm/minで掘進することができた（図—16）。純掘進速度の違いは、揺動ジャッキの装備圧力を超えないように、元押し装置のジャッキ速度を調整することで、ピットの切込量を調整し、揺動ジャッキの圧力管理を行ったためである。

元押し推力は、所要推力として計画値の25,088 kNに対して装備推力38,880 kNの元押し装置を準備した。実績としては、約22,500 kN（装備推力の約58%）の推力で所定



図—16 推進状況

の位置まで推進することができた。

初期の方向修正は、油圧ジャッキを選択することで、個々に作動させることができるため、容易に行うことができた。

従来掘進機と元押し装置は個々に運転操作するが、今回

は連動運転の機構を追加し、どちらかにトラブルが発生してもすぐに停止させることで、掘進機の過度の地山押し付けや排土過多などのトラブルを未然に防いだ。

お断り

この JCMA 報告は、受賞した原文とは一部異なる表現をしています。

