

都市内での浅層大断面非開削トンネル —MMST工法—

池田 信哉

首都高速道路で開発したMMST工法は高速道路のような大断面トンネル建設を土被りの浅い条件でも非開削で行える外殻先行工法である。外殻は複数の矩形シールドトンネルを繋ぎ合せて構築する。繋ぎ合せる接続部にはスライド鋼板を圧入し薬液注入で周囲地盤を固結しておく。本報文はこのようなMMST工法の概要を述べ、この工法で使用した建設機械のうち基幹的特徴を持つ矩形シールド掘進機およびスライド鋼板圧入機について紹介するものである。
キーワード：道路トンネル、浅層大断面、非開削トンネル、外殻先行工法、矩形シールド掘進機、スライド鋼板圧入機

1. はじめに

インフラストラクチャの過密都市内での高速道路建設の主要ロケーションは従来の地上（高架構造）から地下（トンネル構造）へ移ってすでに久しい。さらに現存の道路交通を始めとするインフラストラクチャ機能や環境を施工中においても維持しながら進めるといような社会要求とも相まって、都市内のトンネル建設はできるだけ非開削工法で行うことを余儀なくされている。

このような中、首都高速道路株式会社では大断面トンネルを土被りの浅い条件でも非開削で行えるMMST工法（Multi-Micro Shield Tunneling Method）を開発した。本工法は現在、首都高速川崎縦貫線において施工中である。

2. MMST工法の概要

MMST工法は、複数の小断面矩形シールドにより掘削した後、それらを相互に接続してトンネル躯体外側（外殻）を先行構築し、内部土砂を掘削して大断面トンネルを構築する工法である。

外殻を構築したのち、内部土砂を掘削し、中床版および中壁を構築してトンネル全体を完成させる（図-1）。

（1）本工法の特徴

本工法は開削工法や従来のシールド工法と比較する

と以下のような特徴がある。

- ① 単体矩形シールドは小断面なので、土被りの浅いところでも大きなトンネルを非開削で構築可能

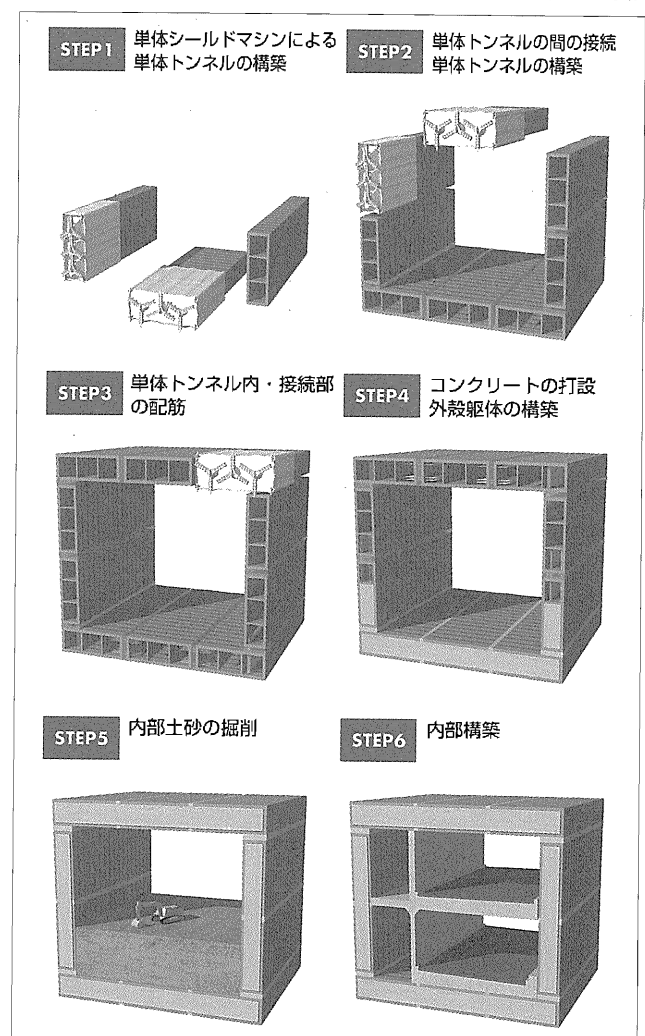


図-1 MMST工法施工手順

(図-2)。

- ② 矩形断面のトンネルなので、円形の大断面トンネルに比べて余剰の少ない合理的な断面を確保可能(図-2)。
- ③ 単体トンネル間隔を調整することでトンネルの断面形状をある程度変化させることが可能。
- ④ 内部土砂は汎用掘削機械で掘削するため産業廃棄物となる泥水または泥土の量を減少させることが可能。

首都高速川崎縦貫線での工事では、内空最大高さ18m、最大幅23mの大断面トンネルを最小土被り5mという浅層で実現している。

(2) 構造の特徴

トンネル構造は、鋼・コンクリート合成構造(一般部①)とRC構造(接続部②)の複合構造というMMST工法特有の構造形式を有している(図-3)。

隣接する鋼殻間を繋ぐ接続部は、接続部鉄筋を主鉄筋としたRC構造である。

(3) 鋼殻の構造概要

主桁は3本で構成し、縦リブはコンクリート打設時の充填性を良くするため、シールドジャッキの能力を上げて本数を減らし間隔を大きめに設定している。設

計では単体トンネル掘削(仮設)時に配置される鋼殻を極力利用し、外殻部の躯体(本設)に主桁を主鋼材として取込みコストダウンを図っている(図-4)。

(4) 単体トンネル間の接続部施工法

隣接する単体シールドにおいて、鋼殻の外側にあらか

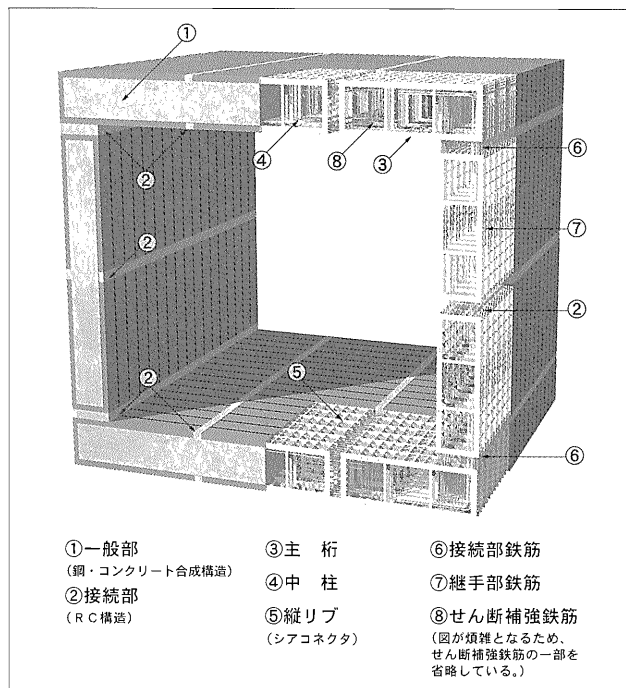


図-3 MMST工法構造概要

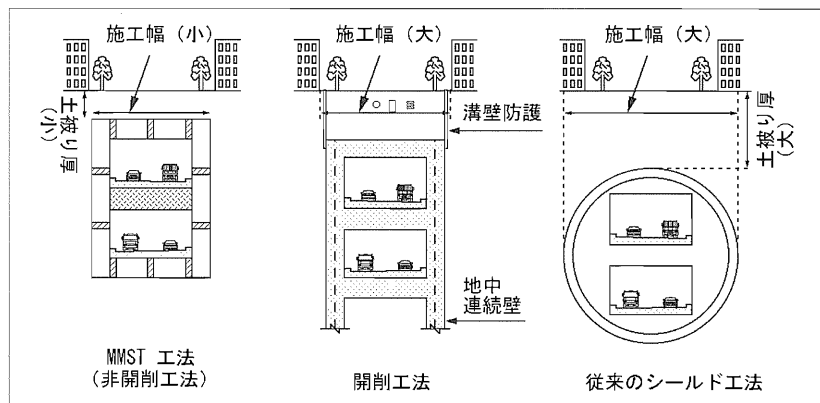


図-2 在来工法との比較

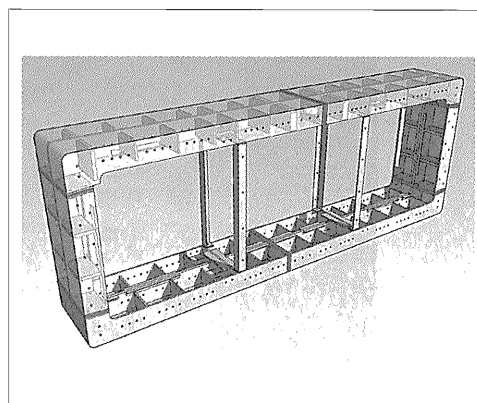


図-4 単体シールドの鋼殻

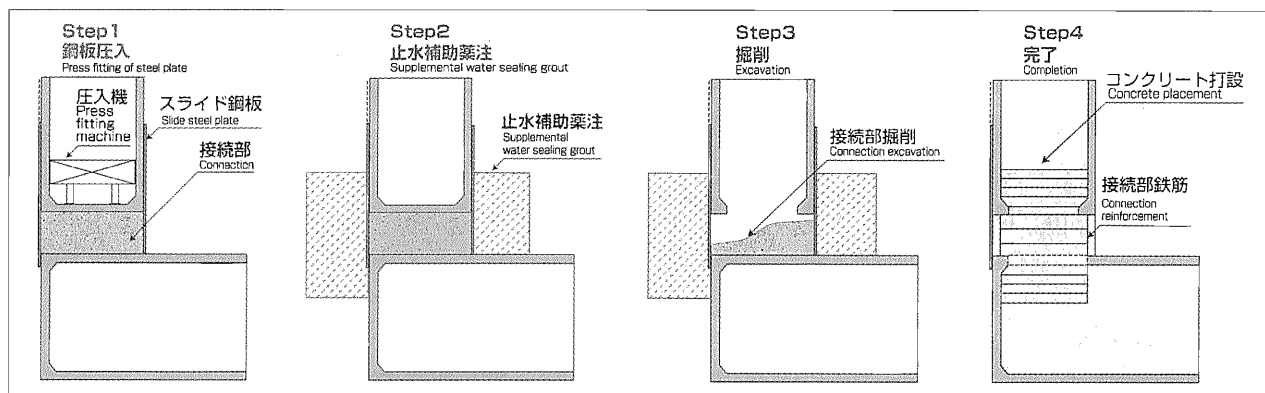


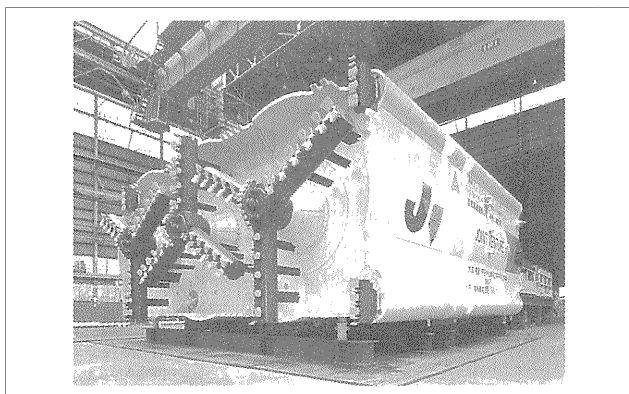
図-5 単体トンネルの接続方法

じめ装備しておいたスライド鋼板を隣接鋼殻側へ圧入し、接続部の一次的地山安定を図る。二次的地山安定として止水補助注入による地盤改良を行う。

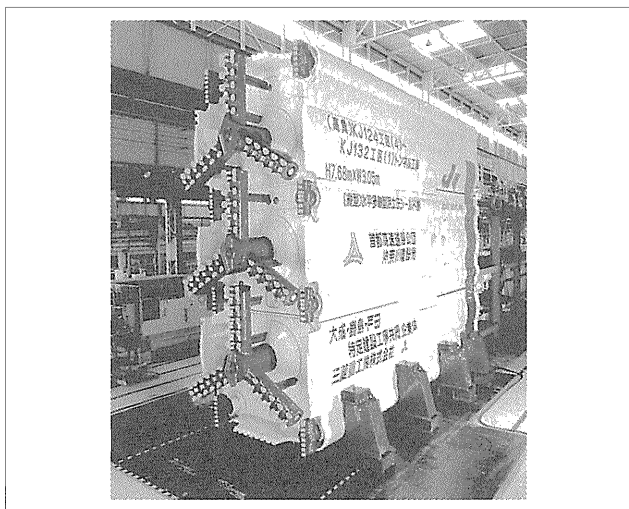
鋼殻の一部スキンプレート等を撤去し、シールド間の土砂掘削を行い配筋およびコンクリート打設によりシールド同士を接続する（図—5）。

3. 矩形シールド掘進機

MMST トンネル工事における単体シールドの施工にあたり、縦型シールド機と横型シールド機の2種類を使用した（写真—1、写真—2）。



写真—1 横型シールド掘進機



写真—2 縦型シールド掘進機

横型シールド掘削機は縦 3.90 m、横 8.80 m、長さ 10.09 m、重量 670 t であり、縦型シールド掘削機は縦 7.85 m、横 3.19 m、長さ 9.72 m、重量 547 t である。

(1) 矩形シールド機の仕様

(a) 掘削機構

泥土圧シールド方式を採用することにより、土被り

の浅い掘進並びに軟弱シルト層から砂礫層に至るまで幅広い土質に対応する。切羽内に取りこまれた切削土砂は加泥材の注入により塑性流動化し不透水性を高め切羽の安定を図っている。

矩形断面の掘削方法は、メインカッタでの掘残し部をコーナ及びサブカッタとコピーカッタの自動制御により切削する機構としている。したがってコピーカッタストロークは縦型 310 mm、横型 425 mm と円形のものに比べてかなり長い。このメインカッタは縦型・横型共に同一平面上に3連配置し、そのトルク、速度、位置を同時に制御して回転することにより切羽の安定・切削抵抗のバランスを向上させている。

(b) 排土機構

チャンバ内に取り込んだ掘削土砂を塑性流動化させ、機内までスクリーコンベヤで送りだした後、ポンプ圧送により地上の土砂ホップまで送る。

加泥材はベントナイト溶液にポリマー系安定剤を添加したものをを使用した。掘削地山に対する注入量は15～25%とし、排土量とともにモニタリングしながら管理した。

(c) 裏込め注入装置

掘削時に発生する鋼殻と地山との間のテールボイドは矩形シールドであるため、円形シールドに比べて大きく、最大で 450 mm となっている。

テールボイドに対しては、マシンテールからの同時裏込め注入工法を採用した。注入材料としては施工実績の多い可塑状裏込め材を使用した。材料特性は、ゲル化タイムが 15 秒程度、長期強度で $q_u = 2 \text{ N/mm}^2$ 以上（28 日一軸圧縮強度）である。

注入は圧力により制御し、注入量をテールボイド量に対し 130% で管理した。

(d) 掘進管理表示システム

シールド掘進施工に関わる様々なデータ、すなわち掘進速度、切羽土圧、裏込め注入圧・量、排土量などをリアルタイムでマシンオペレータ室及び中央監視室で表示記録し、掘進管理性能向上に役立てた。

(2) シールド機姿勢制御

ピッチング、ヨーイング、ローリング修正に対し迅速な対応を取るために、シールド機は各種姿勢制御装置を装備している。特にローリングについては、矩形シールドはマシンローリングが直接シールドに影響するため、機能の充実を図った（図—6、表—1）。

(3) 鋼殻組立て機構

鋼殻の1リングの分割数を6ピースと少なくして強

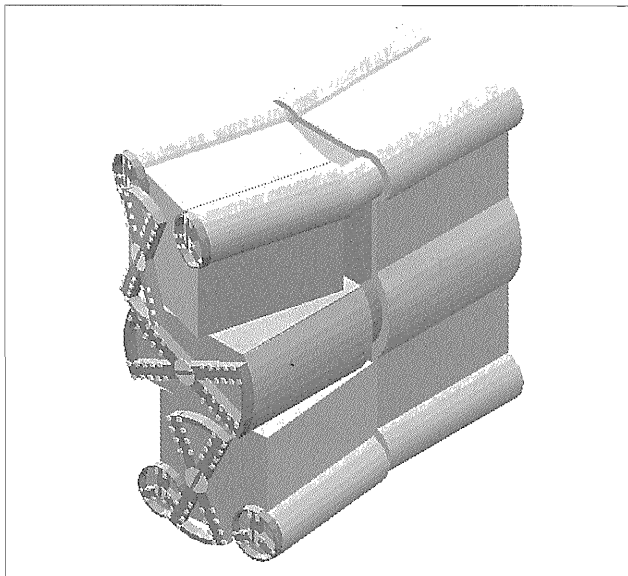


図-6 縦型シールド掘進機姿勢制御イメージ図

表-1 横型シールド掘進機の姿勢制御

制御装置	制御項目	ピッチング (側面図)	ヨーイング (平面図)	ローリング (正面図)
オーバーカット コピークット	移動方向側の 地山を余掘り する			
カーブ用 中折れ装置	前胴・後胴間 を折り曲げる ことにより断面 曲線・平面 曲線への姿勢 制御を行う			—
ローリング 修正用 中折れ装置	前胴の両端が 上下に折れる	—	—	
カット 回転方向	土の抵抗によ りカットの回 転方向と逆方 向にマシンが 回転する	—	—	

度上の弱点となる継ぎ手箇所を減らしている。そのため、狭隘な切羽での長尺ピースの供給搬送・組立てが出来るように工夫した。縦型シールドでの組立て手順(図-7)を示すと、

① 立坑より運搬台車で搬送した鋼殻を切羽手前で搬送台車へ乗せ替え、エレクタで把持できる位置まで

送り出す。

②～④ エレクタの向きを縦横に旋回及び上下に移動して所定の位置に組立てる。

上部の鋼殻組立て作業時には上段可動デッキを張出して足場としている。

(4) シールド施工能率

2005年8月初旬に、10本の単体シールドトンネルの掘進施工がすべて完了したところである。

施工では、発進到達防護の地盤改良部以外においては、横型・縦型ともに初期掘進では日進4リング弱、本掘進では日進7リング強という進捗結果であった。

4. スライド鋼板圧入機

板厚 25 mm, 幅 1,180 mm, 長さ 1,970~2,840 mm のスライド鋼板を、単体シールド坑内から隣接する鋼殻側へ最大 1,800 mm 圧入するため、専用の圧入機を用いた(写真-3, 図-8)。

(1) 主な仕様

(a) 圧入機構

スライド鋼板にピン穴を設け圧入機からの圧入力を伝達する機構としている。圧入ジャッキストロークには限界があるため、所定の圧入長さまで盛替えて施工できるように鋼板にはピン穴を約 220 mm 間隔で設けた(図-9)。

圧入力を算定した結果、最大 2,100 kN 必要であることから、次のような能力を有するものとした。

- ・圧入能力：常用 2,450 kN
最大 3,000 kN

- ・引抜き能力：1,200 kN
- ・圧入・引抜き速度：75 mm/min
- ・圧入ストローク：280 mm/回

(b) 圧入機移動機構

圧入機の移動機構はソリと油圧ジャッキによるスライディング方式とし、走行速度は 2 m/min となつて

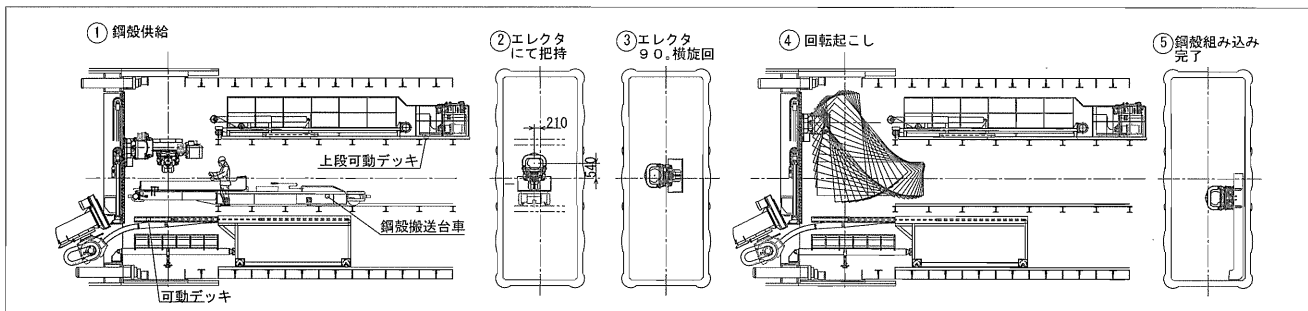


図-7 鋼殻組立て手順

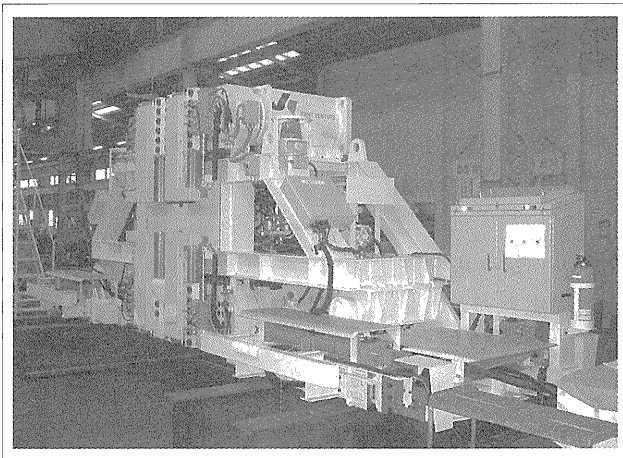


写真-3 スライド鋼板圧入機

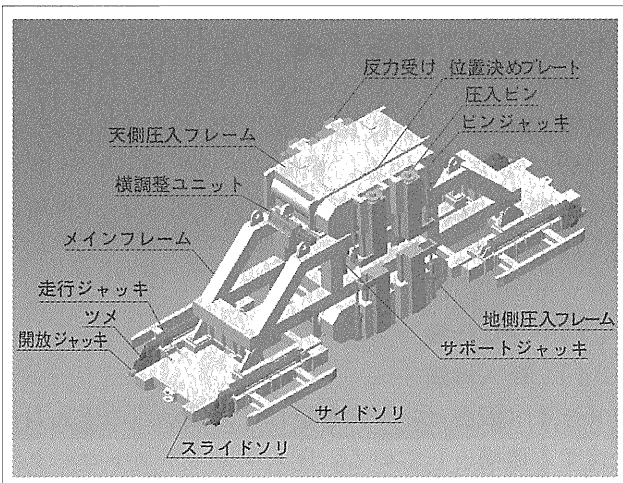


図-8 スライド鋼板圧入機の機構

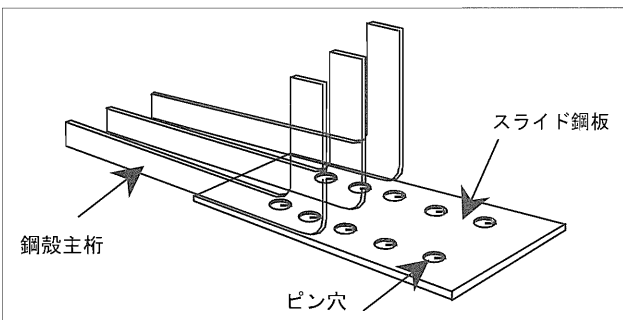


図-9 スライド鋼板

いる。

(2) 反力受けおよび機械位置制御方法

圧入反力は鋼殻の主桁から反力受けジャッキにより確実に取れるようにした。圧入機の位置調整は鋼殻主桁に対して制御することで可能となるよう、鋼殻製作時点の主桁とピン穴位置を規格設定した。

(3) 圧入施工能率

施工中のシールド掘進を後から追う形でスライド鋼板圧入を行い、今年9月初旬には10箇所すべての圧入を終了している。

施工能率としては、日進16リング強の進捗結果であった。

5. おわりに

本工事は現在、外殻構築の底版部までが終り、現在は側壁部を施工中である(図-1のstep 4)。

本報文はMMST工法で使用した建設機械のうち、シールド掘進機とスライド鋼板圧入機のための紹介を行った。その他、接続部の鋼殻を自動で切断するものや、外殻構築のコンクリート打設などでもできるだけ機械化を進めており、効率的な施工を行っている。

今後、外殻構築が終了すれば20万m³にもおよぶ内部掘削や、スペースの限られた坑内で行う躯体構築が控えている。更なる機械化を含めた検討により、効率的な施工を目指しているところである。

また、本工法の施工実績を分析整理しておき、今後のインフラストラクチャ過密都市内での同種工事に寄与していきたい。

J C M A

【筆者紹介】

池田 信哉 (いけだ しんや)
 首都高速道路株式会社
 神奈川建設局
 工事第二グループ
 総括マネージャー

