

横型 2 連矩形掘進機を使用した EX-MAC 工法による地下通路の施工実績

難条件下における矩形シールドの施工実績

宇留島 千 明

観光客の絶えることのない和光の時計台でも有名な銀座四丁目交差点、その路下には東京メトロ銀座駅があり隣の東銀座駅とは既設地下通路によって連絡されている。今回銀座六丁目の再開発事業により建設される大型商業施設 GINZA SIX と既設地下通路を接続し歩行者専用の地下通路を新設し、銀座という非常に特殊な施工環境において、特有の様々な問題を克服して地下通路は供用を開始したので、ここにその問題に対して施した対策について実績を報告する。

キーワード：EX-MAC 工法、矩形、泥土圧、マシン組立、発進反力、姿勢制御、解体搬出

1. はじめに

本工事は、新設建築建物（GINZA SIX）と晴海通りの既設地下通路を結ぶ歩行者専用の地下通路をあづま通りの直下に非開削工法（シールド工法）により新設する工事である。あづま通りの地下に非開削工法（シールド工法）により構築する。銀座の中心という施工場所特有の様々な難条件ではあったが、無事に矩形トンネルの構築を完了した。本報文は、工事实績とその難条件に対する対応策について報告するものである。

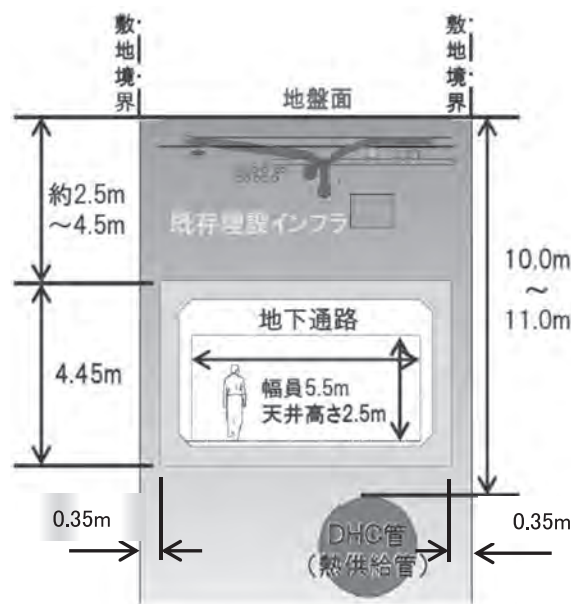
2. 全体工事概要

(1) 工事概要

掘削対象土層は N 値 16 程度の砂質土である。図—1 に示すように上下に様々な既設地下埋設物があることから、土被りは最低 2.5 m から最大 4.5 m の低土被りの掘進となり、また、敷地境界との離隔はマシン外殻部から約 350 mm 程度の近接掘進となる。地下水位は GL-9.5 m 程度のため、発進から到達まで無水区間の掘進となる。平面線形は直線であり縦断線形は下り 4.0% から 1.0% へと変化する。上記の条件から、非常に慎重な掘進・線形管理を必要とする。

地下通路の概要図を図—2、縦断線形図を図—3 に示す。

工 事 名：銀座六丁目 10 地区第一種市街地再開発事業に伴う公共施設整備工事のうち地下連絡通路整備工事および東電管路移設等工事
企 業 者：銀座六丁目 10 地区市街地再開発組合



図—1 掘削断面概要図

工事場所：東京都中央区銀座5丁目8番～9番地先
セグメント外径：W 7,050 mm × H 4,450 mm
シールド機外径：W 7,290 mm × H 4,690 mm
工 期：2014年10月1日～2018年2月20日
施 工 者：鹿島建設(株)
掘進延長：109 m

3. 基本計画

(1) セグメント

セグメントは6分割で構成され、幅 1,000 mm、桁高 475 mm の鋼製セグメントであり、上下 2 カ所の K



写真一 シールドマシン

(4) 立坑設備計画

銀座の中心という土地柄により、地下には埋設物が無数に存在する。そのため、発進立坑は非常に狭隘な空間となり開口部も設置できる箇所は限定された。掘進距離は109 mと短いことから、後続台車は発進から到達まで立坑内に配置した。プラントの設置空間も限られたことから、裏込め注入設備は手動による手練

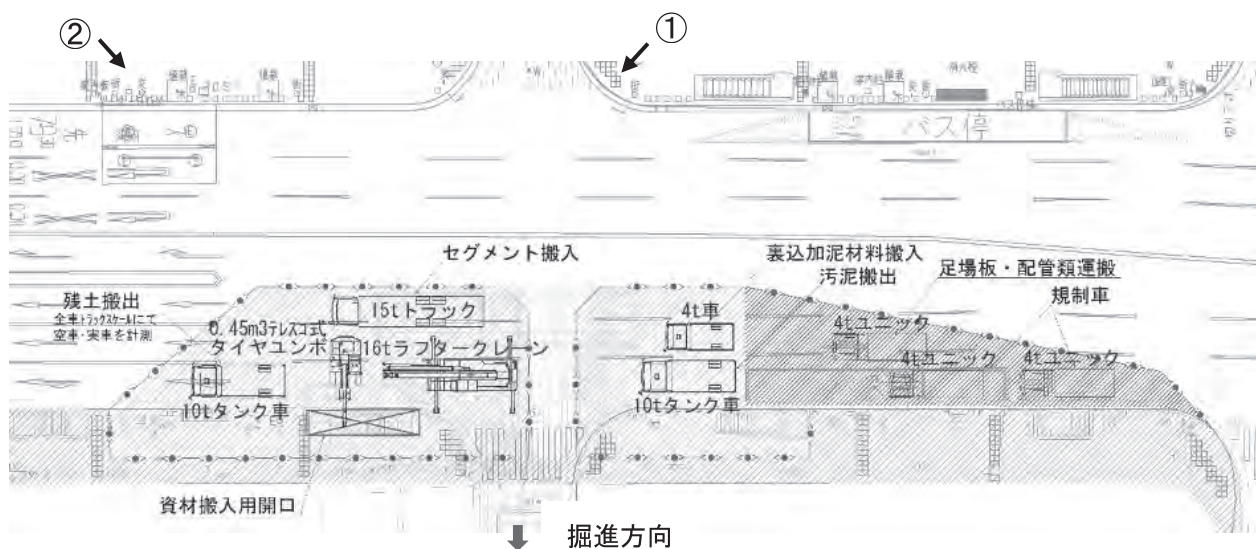
りプラントを設置した。セグメントの供給は開口部からトラバーサを経て坑内の搬送装置によって切羽へ供給した。排土は切羽から連動制御したポータブルベルコンから立坑下に設置した土砂ピットまで排土し、立坑下からの排土は地上に配置したテレスコ式タイヤショベルにてタンク車に直接積み込み汚泥として搬出した。

(5) 坑内設備計画

掘進距離は短いことから、発進から到達まで初期掘進スタイルを堅持し後続台車は立坑内に残置して油圧ホース・ケーブルを延長しながら掘進を行った。坑口から見て右側にベルトコンベア・中心にセグメント搬送装置・左側に油圧ホース類を配置した。坑内の状況を写真一4, 5に示す。

(6) シールドマシン解体・搬出計画

シールドマシンの解体はGINZA SIX 開業後とな



図一 5 夜間作業帯設置時の地上重機配置図



写真二 夜間作業帯設置状況 (①より見る)



写真三 夜間作業帯設置状況 (②より見る)



写真—4 坑内状況（坑口より見る）



写真—6 シールドマシン解体状況



写真—5 坑内セグメント仮置き状況



写真—7 解体材坑内仮置き状況

り、到達立坑は地下2階の食品売り場の近傍に位置した。また、全体工程の関係から解体した部材は発進立坑からの搬出は出来ないことから、やむを得ずGINZA SIXの地下2階から搬出することとなった。そのため、解体材は一時シールド坑内に仮置きしガス切断完了後にGINZA SIXの地下2階からフォークリフト（2.5t）を使用して坑内を搬送し、GINZA SIXの地下2階にてトラックへ積み込み、場外へ搬出した。解体状況・坑内仮置き状況を写真—6、7に示す。

4. 施工上の問題点と解決策

(1) 狭隘な発進立坑におけるシールドマシンの組立て

資機材を搬出入する開口位置は限定された上に、シールド掘進に必要な注入設備などを路下に設置するため、元々狭隘な立坑はさらに狭くなり、シールドマシンの投入を含め、各プラント類の設置は詳細な検討を重ねて施工した。揚重作業は立坑開口部でのみ可能なため、シールドマシンの組立作業は分割されたマシンを開口部から投入し、立坑内において横移動や回転作業を幾度も繰り返した。このため組立て作業に通常の約2倍の時間を要した。シールドマシンの組立てイ

メージを図—6に示す。また、組立て状況を写真—8～10に示す。

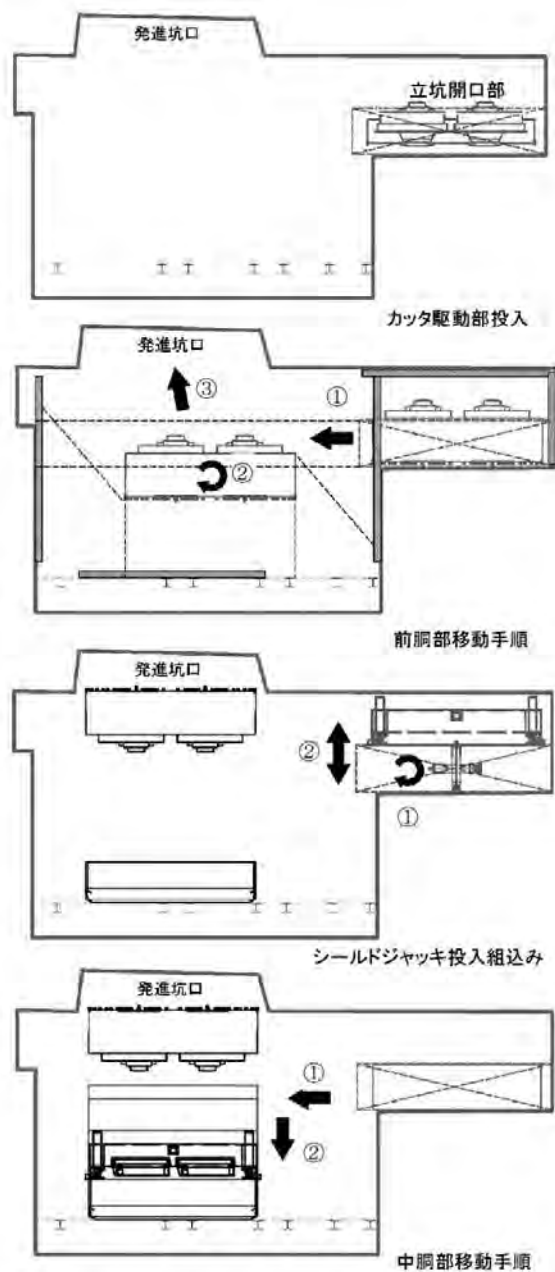
(2) 掘進時の既設地下通路への影響

既設地下通路管理者と協議を行ったところ、既設地下通路1、2階の躯体にシールド掘進時の荷重をかけてはいけないとの結果に至った。そこで地下通路に荷重をかけないようにするため、スラブコンクリート・地盤改良体をグラウンドアンカーによって一体化する構造に変更した。当初計画を図—7、変更後を図—8に示す。

反力枠の設計荷重は上段6,000 kN、下段10,000 kNとし、掘進時も最大推力を16,000 kNに制限して施工した。その結果、反力枠の水平方向の変位量は設計4 mmに対し、掘進時最大変位量は3 mmであった。また、地下躯体1、2、3階全てのフロアにおいて特に影響なく掘進を完了した。

(3) 低土被り・無水土層における掘進管理

低土被り・無水土層における掘進のために、フリクションカットのための余掘りによる路面沈下や土砂取込みの過不足による路面の変状、敷地境界からの注入材の漏えいなどの不具合発生を懸念した。そのため以



図一六 シールドマシン組立てイメージ図



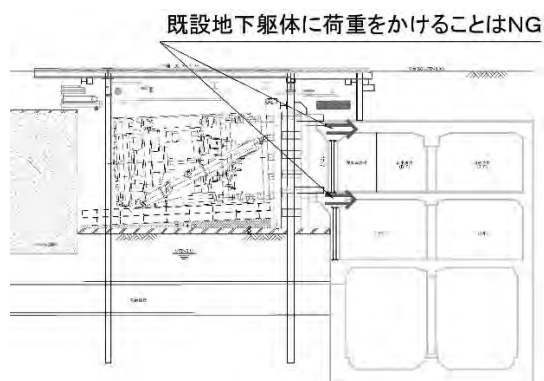
写真一八 前胴部投入状況



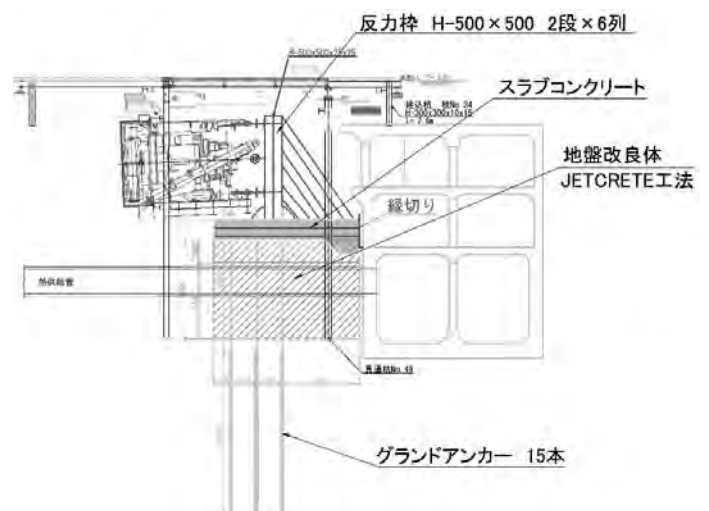
写真一九 前胴部回転状況



写真一〇 中胴部横引き状況



図一七 シールドマシン発進計画（当初）



図一八 シールドマシン発進計画（変更後）

下のような対策を実施した。

(a) 切羽管理について

無水土層における掘進では、加泥材の逸泥によりチャンバー内を塑性流動化した状態にできず土圧バランスのくずれを懸念した。事前のテーブルテストの結果から、加泥材は高吸水性樹脂の入った高分子系の加泥材を採用した。実績により、配合 3 kg/m^3 、注入率 30% 程度の添加によって土圧制御も可能となり、スランプ 10 cm 程度の状態により排土することができた。

(b) 排土量管理について

切羽からの排土は、ポータブルのベルトコンベアを連動制御し使用した。立坑部に設置したベルトコンベアにはベルトスケール・レーザースキャナを装備し、リアルタイムの排土量計測とリングごとに比重を計測し、容積・重量の相関を把握して排土量管理を実施した。現場から搬出する土砂の重量については、全車両に対して無線式トラックスケールによって重量計測のうえ、排土量と実搬出量の相関を把握して、土砂取込みに過不足のないことを確認しながら掘進した。

(c) 路面変状管理について

フリクションカットのための余掘りによる沈下抑制対策として、粘土系の高粘性な可塑状充填材をシールドマシン前胴部から注入しながら掘進した。裏込め注入は即時にセグメントグラウトホールより 2 系統によって注入を行った。路面変状管理は、掘進箇所直上をリアルタイムに計測し、掘進中の路面変状度合いを確認して余掘り充填材・裏込め材の注入率を随時変更しながら掘進した。

(d) シールドマシンの姿勢制御について

本工事のシールドマシンは、低土被り掘進時、路面変状を抑制するための上部フードにより、上部をオーバーカットできない構造であった。そのため、勾配変化点におけるピッチング制御や蛇行修正時の方向制御、ローリング発生時の姿勢制御を円滑に実施できるのか課題があり、シールドマシンにテンションジャッキを装備するなどの対策を実施した。掘進の初期段階でシールドマシンは下を向きやすい傾向のあることを確認した。そのため下側を故意に掘り残すことで上下のシールドジャッキの選択によってピッチングを制御することが判明した。水平方向の制御は左右シールドジャッキの選択によって実施した。ローリングは主に余掘り充填材の注入反力から発生したと考えられ、対策としては、①シールドジャッキの選択によって偏芯モーメントを発生させる②左右カッタの掘り残し量に変化をつける③余掘り充填材注入箇所の選択という 3 つの対策を実施した。

以上のような対策を施しながら掘進した結果、水平・鉛直変位ともに管理値の $\pm 50 \text{ mm}$ 以内、また路面変状についても各埋設企業者と協議した管理値内に納めて掘進を完了することができた。

(4) GINZA SIX 開業後のシールドマシンの解体搬出

(a) ガス切断時の煙・異臭対策について

工事全体工程により、シールドマシンの解体材は到達立坑からの搬出となり、グランドオープン後の GINZA SIX の地下 2 階から場外へ搬出することとなった。そのため、ガス切断時の煙・異臭を GINZA SIX に流入するのを防止するため、シールド坑内に銅製隔壁を設置し、シールド坑内は常時負圧の状態を保つように強制排気した。マシン近傍と発進坑口付近には $150 \text{ m}^3/\text{min}$ の処理能力を持つ排気浄化装置を各 2 台設置し、煙の浄化を行い発進立坑側へと排気した。排気浄化装置を二段構えに設置したこともあり、地上への煙排出は皆無であった。異臭については解体作業中坑内に常時消臭剤を散布しながら施工したことによって、GINZA SIX 及び近隣関係者・一般歩行者からの苦情も全く無く解体作業を完了することができた。銅製隔壁の設置状況を写真— 11、排気浄化装置の設置状況を写真— 12 に示す。



写真— 11 銅製隔壁設置状況



写真— 12 排気浄化装置設置状況

①ターンテーブル架台上へ
フォークリフトにて降ろす。



②ターンテーブルのピンを抜き、
回転させる準備をする。



③ターンテーブルを回転させ、
ピンを挿しなおす。



④ターンテーブル架台ごと人力
で押出す。



⑤EPS上で再度ターンテーブルを
回転させ、荷取りする。



⑥フォークリフトにてトラックに
積み込む。



写真—13 自動ドア部通過要領

(b) GINZA SIX 地下2階からの解体部材搬出につ
いて

シールドマシン解体材は、ガス切断作業完了まで全
てシールド坑内に一時仮置きした。ガス切断完了後は
夜間作業にて地下2階の昼間供用されているオフィス
エレベータホールを通過し車寄せから解体材を搬出す
る必要があった。GINZA SIX 躯体スラブの強度から
1ピースは2t以下と制限されるとともに、大きさは
車寄せへの自動ドア部を通過するため2m×1mま
でにガス切断を行った。GINZA SIX 施設に損傷を与
えることの無いように、床面の養生を十分に行った上
に自動ドア通過部にはターンテーブル付の専用架台を
設置し解体材を場外へ搬出した。解体材の搬出時の自
動ドア部通過時の要領を写真—13に示す。



写真—14 完成した地下通路

本報文によって、今後の同工種の参考になるならば
幸いである。

JCM A

5. おわりに

銀座の中心という特殊な施工場所による特有の難し
い施工条件について、徹底した事前検討と十分な対策
を行うことによって組立・発進・掘進・到達・解体搬
出まで大きな問題もなく完了したことにより、地下通
路は2017年12月20日に供用を開始した。



【筆者紹介】

宇留島 千明（うるしま ちあき）

鹿島建設㈱

関東支店 土木部特定プロジェクトグループ
次長