

22. 横型 2 連矩形掘進機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について

鹿島建設株式会社
鹿島建設株式会社
鹿島建設株式会社

品田 康二
○ 宇留島 千明
村上 謙介

1. はじめに

本工事は施設建築建物（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新設する工事であり、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、その条件に対する対応策について報告するものである。

2. 工事概要

工事名称：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

工事場所：東京都中央区銀座五丁目
8 番～9 番地先

施工者：鹿島建設株式会社

工期：2014 年 10 月 1 日
～2017 年 11 月 15 日（予定）

掘進延長：109m

2.1 掘進概要

掘進位置のイメージ図を図-1 に示す。

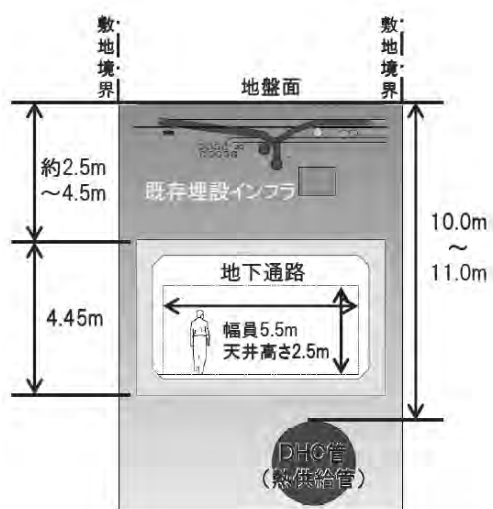


図-1 シールド掘削断面概要図

掘削対象土層はN値 16 程度の砂質土であり、上下に様々な既設地下埋設物があることから、土被りは最小 2.5mから最大 4.5mと低土被りの掘進となる。また、敷地境界との隔離はマシン外殻部から約 350mm 程度であり近接掘進となる。地下水位はG L-9.5m程度であるため、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・縦断線形は下り 4.0%から 1.0%へと変化する。上記から、非常に慎重な掘進・線形管理が必要となる。

2.2 セグメント概要

セグメントを図-2 に示す。

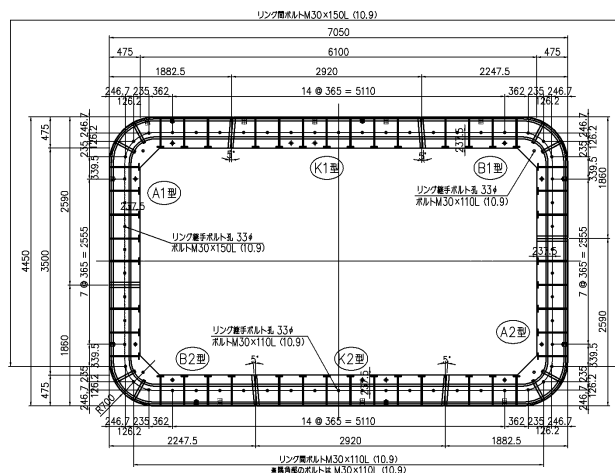


図-2 セグメント組立図

セグメントは 6 分割で構成され、幅 1,000mm、桁高 475mm の鋼製セグメントである。上下 2 カ所の K セグメントは半径方向挿入タイプである。重量は 1 ピース約 2 t でボルトナットにより締結する。

2.3 シールドマシン概要

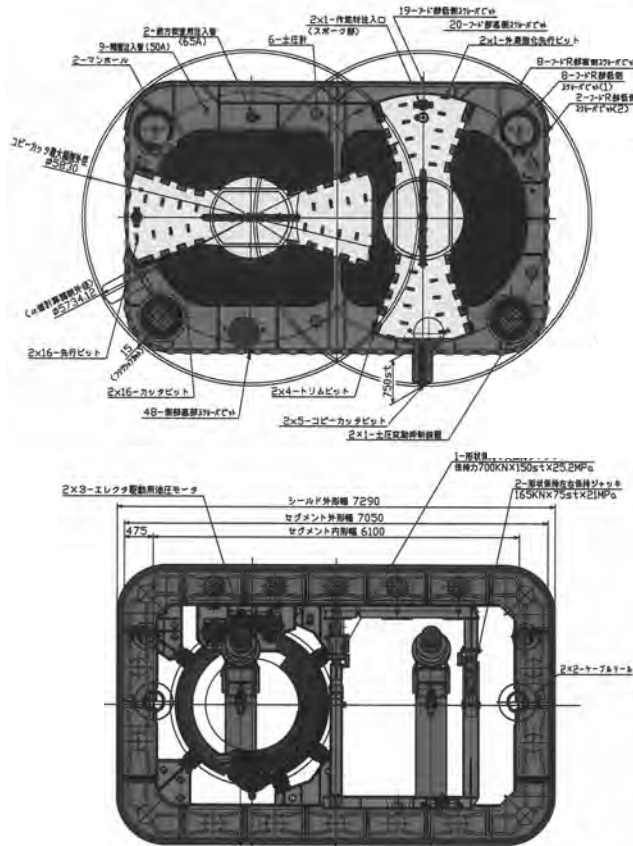
シールドマシンは泥土圧式で、カッタを 2 基装備し大型のコピーカッタで矩形隅角部の切削することで矩形断面を掘進する機構である。特徴は①低土被り掘進時、路面変状を抑制するためにスキンプレート上部にフードを装備、②余掘り充填用の注入孔を前胴上部に 8 カ所装備したことである。

セグメント組立用のエレクトは左右 2 基装備し、6 ピースのセグメントを左右交互に組立てること

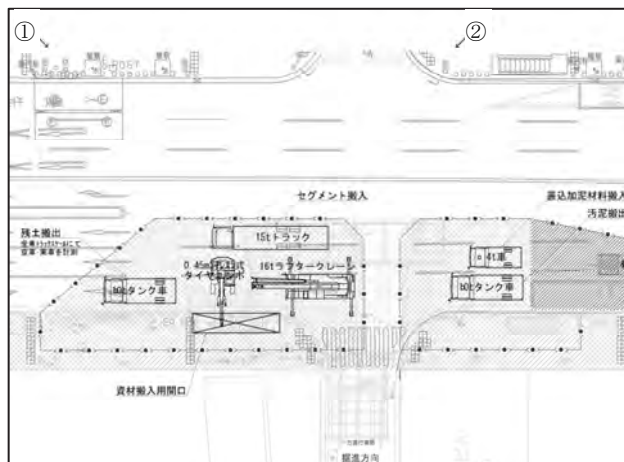
7.29m × 4.69m 泥土圧式シールドTBM加工機

工事名 銀座六丁目10地区第一種市街地再開発事業C18-5
公共施設整備工事のうち地下道掘削設置工事
および東電管部設置工事

発注者 銀座六丁目10地区市街地再開発公社
監理者 銀座六丁目地区市街地再開発設計施工共同体
施工者 熊鷹建設株式会社
製作者 日立造船株式会社

[illegible]

発進立坑は、非常に交通量の多い銀座4丁目交差点近傍晴海通りの歩車道の路下にある。常設作業帯設置の占用許可は下りなかったことから、通常地上に設置する様々な設備やセグメントのストックヤードなどが常時確保できない状況となり、夜間のみ作業帯の設置・撤去を繰り返し施工する必要があった。掘進時の作業基地となる作業帯内の重機配置を図-4に、夜間作業帯を設置している状況を写真-2, 3に示す。



- 104 -

3.2 狭隘な発進立坑とシールドマシンの組立て

発進立坑付近は複数の地下埋設物が存在する。そのため、資機材を搬出入する開口位置が限定された。また、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、元々狭隘な立坑がさらに狭くなった。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しかできないため、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、立坑内で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。

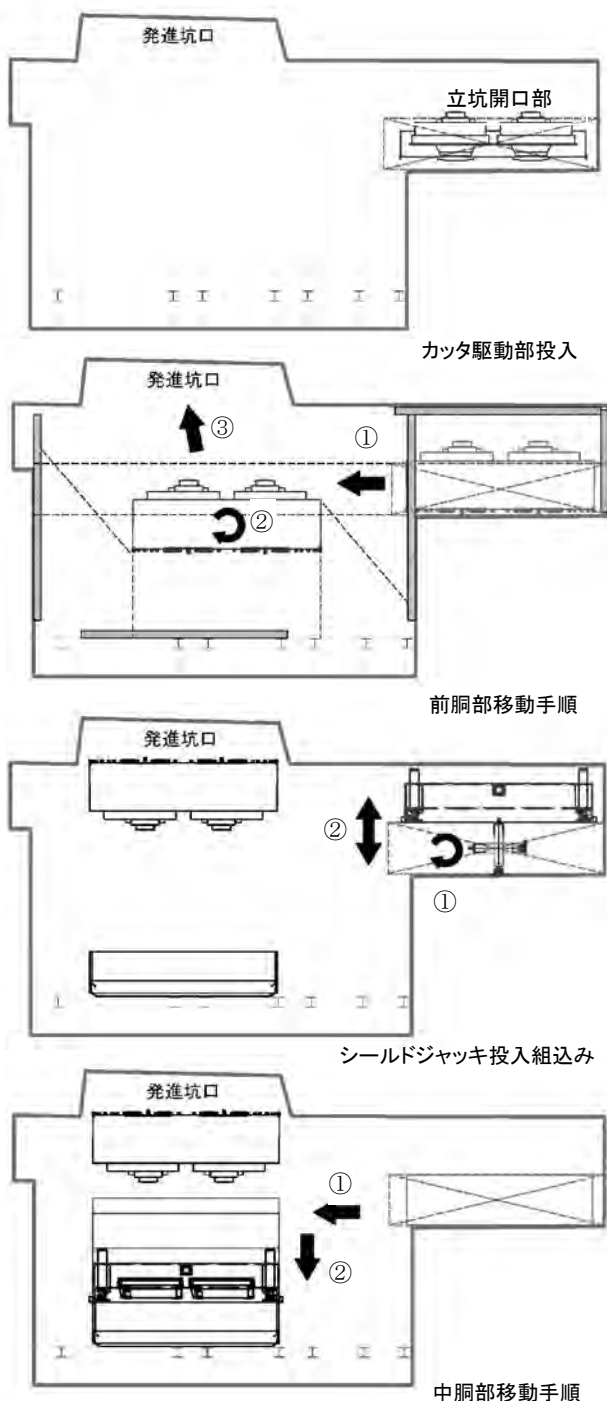


図-5 シールドマシン組立てイメージ図

シールドマシンの組立てイメージを図-5 に示す。また、組立て状況を写真-4～6 に示す。



写真-4 前胴下部投入状況



写真-5 前胴部回転状況



写真-6 中胴部横引き状況

3.3 掘進時の既設地下躯体への影響

既設地下躯体管理者と協議を行ったところ、図-6 に示すように地下1,2階の躯体へシールド掘進時の荷重をかけることができないことが判明した。そこで躯体に荷重をかけないようにするため、図-7 に示すようにスラブコンクリート・地盤改良体をグラウンドアンカーで一体化する構造に変更した。

反力枠の設計荷重は上段 6,000kN・下段 10,000kN とし、掘進時も最大推力を 16,000kN 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 4mm に対し、掘進時最大変位量は

3mm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。

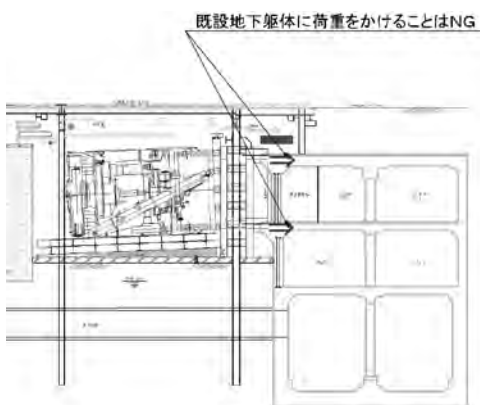


図-6 シールドマシン発進計画（当初）

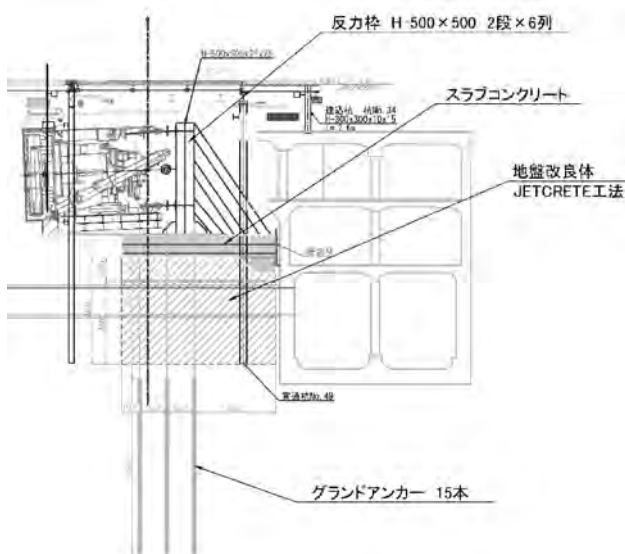


図-7 シールドマシン発進計画（変更後）

3.4 狭隘な発進立坑での掘進開始

発進立坑にてシールドマシンを組立て、後続台車を配置した状況を図-8に示す。通常の発進方法は仮組セグメントを組立てながらシールドマシンを押し出すが、立坑開口部から仮組用のセグメントを供給する空間がないため、通常の発進は困難であった。

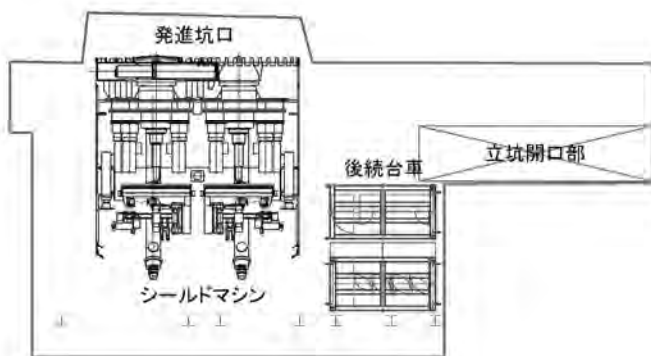


図-8 シールドマシン発進時状況図

そのため、図-9に示すように下部に仮押し用の鋼材及び仮押し用の反力棒を組立て、シールドマシンを仮押しした後にそれらを解体し図-7にある反力棒を組立て、掘進に伴い推力伝達用の鋼材を順次組立てながらシールドマシンを発進させた。推力伝達架台の最終形状を図-10・写真-7に示す。

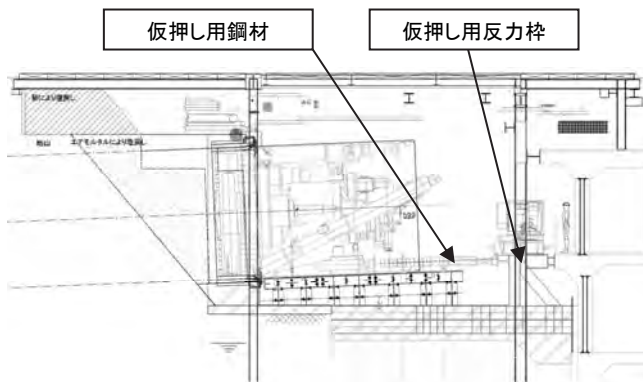


図-9 シールドマシン仮押し状況図

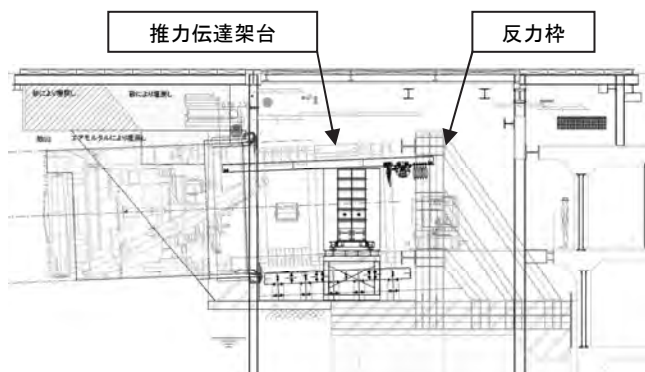


図-10 シールドマシン貫入状況図



写真-7 推力伝達架台設置状況

3.5 狭隘な発進立坑下での設備配置

通常地上に配置する設備も常設作業帯が無いために、立坑内に設置することを余儀なくされた。スペース的に裏込め注入・加泥注入設備は通常使用される自動練りプラントを設置することが困難であった。

そのため、裏込め注入プラントは、完全手動練りの設備を設置し、材料のセメントはセメント袋

で立坑内にストックした。プラントマンを2名配置し、人力にて材料をプラントへ投入して供給した。プラント関係の配置図を図-11に示す。

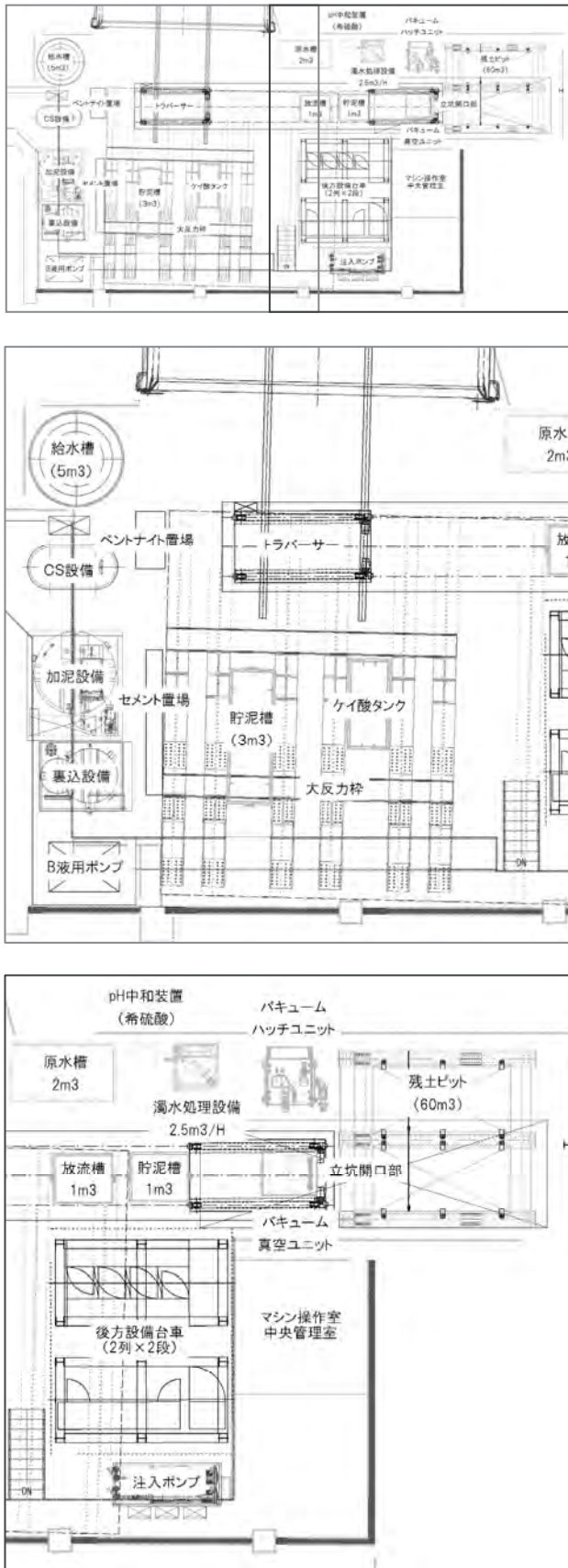


図-11 発進立坑内シールド関係設備配置図

3.6 低土被り・無水土層掘進での掘進管理

低土被り・無水土層での掘進であるために、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不具合の発生が懸念された。そのため以下のような対策を実施した。

(1) 切羽管理について

無水土層での掘進では、加泥材の逸泥によりチャンバー内が塑性流動化した状態にできず土圧バランスがくずれることが懸念された。

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。実績として配合 $3\text{kg}/\text{m}^3$ ・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 10cm 程度の状態で排土できた。

(2) 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、リアルタイムな排土量計測を実施した。

また、リングごとに比重計測し、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地上の無線式トラックスケールで重量計測し、排土量と実搬出量の相関も把握し、土砂取込みの過不足がないことを確認しながら掘進した。

(3) 路面変状管理について

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。裏込め注入はセグメントグラウトホールより即時に2系統で注入を行った。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。

(4) 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、上部にフードがあり、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での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が円滑に実施できるか課題があり、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があることを確認できた。そのため下側を掘り残すことで上下のシールドジャッキの選択でピッチングを制御できることが判明した。水平方向の制御は左右シールドジャッキの選択で実施した。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で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を選択という3つの対策を実施した。以上の対策より、水平・鉛直変位ともに管理値の±50mm以内で掘進を完了できた。

3.7 シールドマシンの解体搬出

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必要があった。そのため以下のような対策を実施した。

(1) 隔壁・排気浄化装置の設置について

ガス切断時の煙・異臭がGINZA SIXへ流入を防止するため、シールド坑内に鋼製隔壁を設置し、シールド坑内が負圧の状態を保つように強制排気させた。マシン近傍と発進坑口付近には150 m³/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2段構えに設置したこともあり、地上へ煙が排出されることは皆無であった。隔壁の設置状況と排気浄化装置の設置状況を写真-8・9に示す。

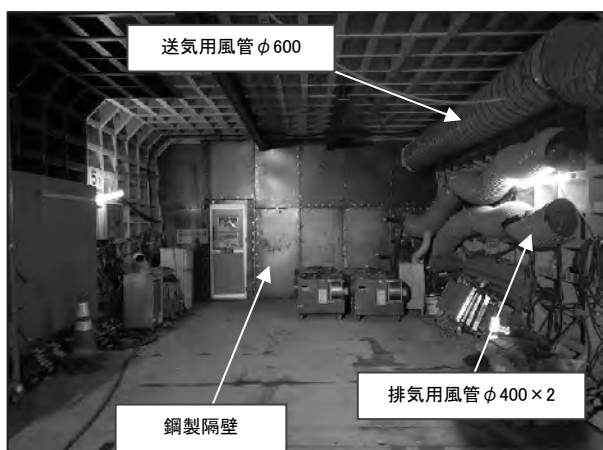


写真-8 鋼製隔壁設置状況（坑口付近）



写真-9 排気浄化装置設置状況（マシン近傍）

(2) 解体部材の仮置き・搬出について

ガス切断時はシールド坑内を常時負圧の状態にするためGINZA SIX側の隔壁は撤去できないことから、解体作業中は解体材の場外搬出ができず、

解体材を全て坑内に仮置きする必要があった。坑内に仮置きした状況を写真-10に示す。ガス切断完了後、隔壁を撤去した後にGINZA SIXより解体材を搬出した。GINZA SIX地下2階での解体材搬出状況を写真-11に示す。



写真-10 坑内に仮置きした解体材

- 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-11 解体材搬出状況

4. あとがき

様々な難条件の中、それぞれの対策を行うことで組立・発進・掘進・到達・解体搬出まで大きな問題なく完了することができた。

本報文が同工種の参考になれば幸いである。