

車両基地直下にパイプルーフで道路トンネルを 施工

Under a vehicle base, we used a pipe roof method and constructed a road tunnel.

藤本 繁¹, 藤田 雄一², 佐藤 真丞³, 山村 学⁴, 高橋 幸久⁵
Shigeru Fujimoto, Yuichi Fujita, Sinsuke Satoh, Manabu Yamamura, Yukihiisa
Takahashi

- ¹ 東京地下鉄株式会社 鉄道本部 工務部 改良工事事務所長 (〒110-0015東京都台東区東上野5-6-3)
- ² 東京地下鉄株式会社 鉄道本部 工務部 改良工事事務所 工事第一課長 (同上)
- ³ 東京地下鉄株式会社 鉄道本部 工務部 改良工事事務所 工事第一課 (同上)
- ⁴ 大成・西松建設工事共同企業体 現場代理人 (大成建設株式会社東京支店〒163-6009東京都新宿区西新宿6-8-1新宿オークタワー)
- ⁵ 大成・西松建設工事共同企業体 監理技術者 (同上)

We used a pipe roof method under a vehicle base and constructed a road tunnel. (Length of a pipe roof is 95m). Distance to a pipe roof and an earth surface has only 2.5m. In addition, in the place executing the work in a pipe roof of the top surface, there were many hindrance things. (For example, it is a lump of concrete). Furthermore, the ground doing excavating has very weak strength. Subsidence of orbit was expected. Security of orbit of a train is the most important. Therefore, steps to prevent transformation of the ground were necessary. We took various measures. Here, we report those examples.

Key Words : pipe roof, the ground which has weak strength, prevent subsidence of orbit, an automatic measurement by HyPoS, a long distance ground improvement by MJS

1. はじめに

補助第258号線は、東京都足立区鹿浜五丁目から同区大谷田五丁目を結ぶ延長 8,290mの都市計画道路で環状7号線の北側約 500mに位置している。その整備目的は、環状7号線のバイパス効果と、平成17年8月24日に開通したつくばエクスプレスへのアクセス道路ならびに道路ネットワークの形成である。

本事業の主体は足立区であるが、東京地下鉄(株)の千代田線綾瀬車両基地の直下を横断することから、この区間の 228mについては、足立区から東京地下鉄が施工を依頼されている。本区間のトンネル構造はRC二層一径間ラーメン構造で、上層階は歩行者及び自転車道、下層階は2車線の自動車専用道路である。

施工方法は車両基地幅が95m程もあること、躯体との土かぶり小さいことから、開削工法ではなく、門型パイプルーフ工法を選定した。

本稿ではパイプルーフ工ならびにパイプルーフ施工後の掘削から構築築造までの施工の中で特徴的な

工事について報告するものである。

2. 工事概要

全体工事概要を以下に示す。

工事名 : 補助第258号線綾瀬車両基地立体交差一工区土木工事

工事場所 : 東京都足立区谷中四丁目四番地東京メトロ綾瀬車両基地内

工期 : 平成14年6月1日～平成18年6月30日(49ヶ月)

発注者 : 東京地下鉄株式会社

施工者 : 大成・西松建設工事共同企業体

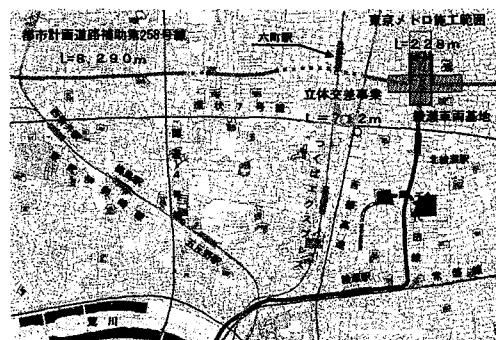


図-1 施工場所位置図

構造形式 : 二層一径間ボックスカルバート
 主要工事数量 :
 工事区間延長 126.4m
 パイプルーフ工 $\phi 812.8 \times 12$ L=97.5m 46本
 掘削 25,513m³
 TBH杭、BH杭(軌道および坑内施工) 143本
 高圧噴射地盤改良(SJM、MJS) 15,763m³
 薬液注入工 1,349m³
 鉄筋コンクリート 7,513m³
 計測管理 1式
 (断面W=10.9m、H=11.0m)

図-1に施工場所位置図、図-2に全体計画図、図-3に非開削部標準断面図を示す。

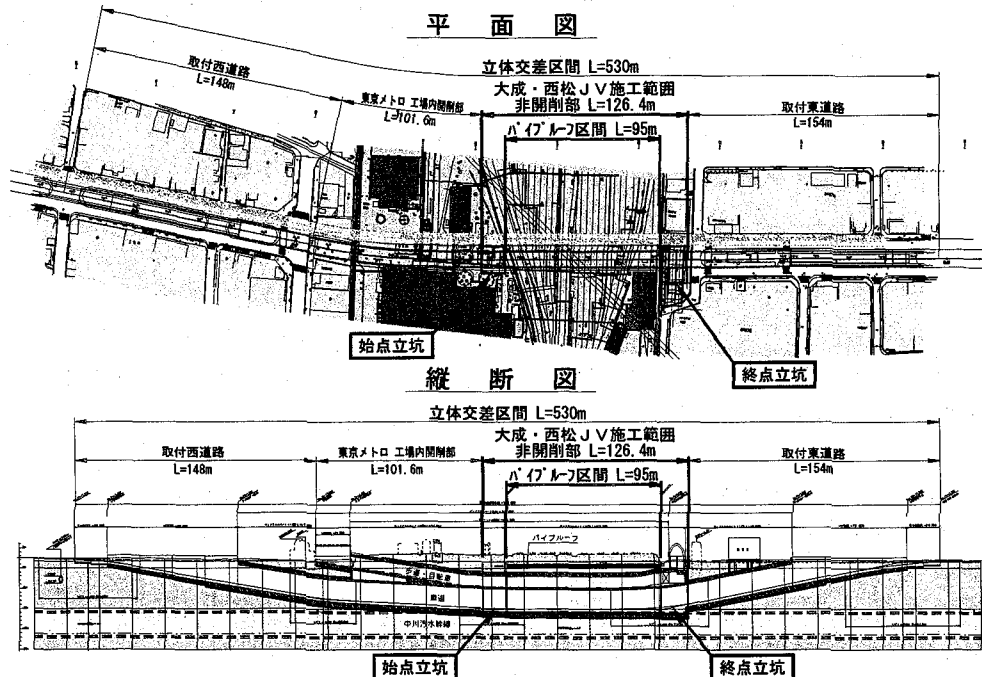


図-2 全体計画図

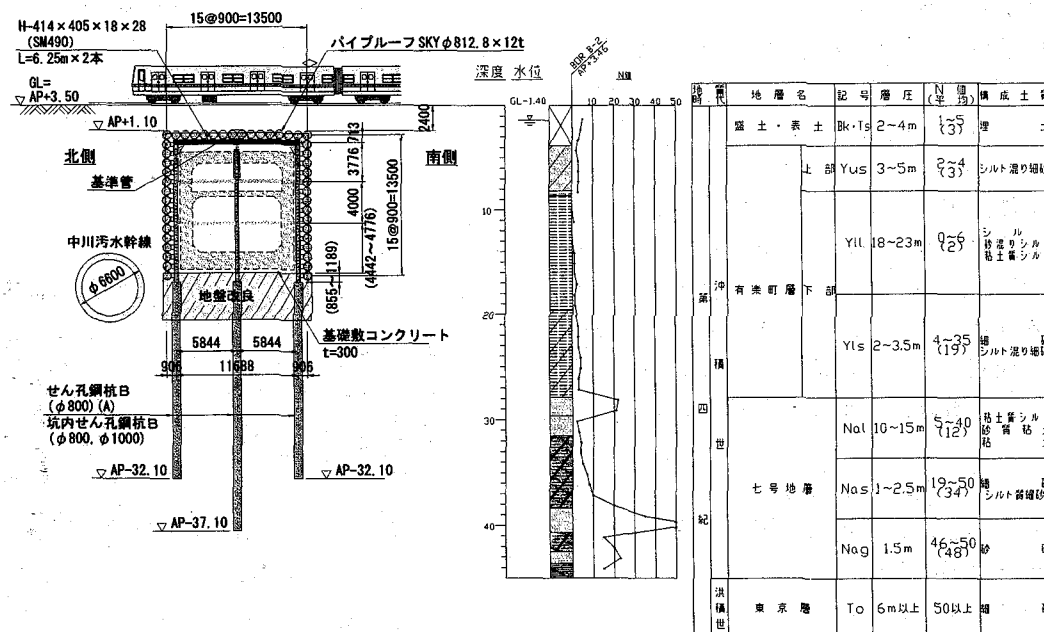


図-3 非開削部標準断面図及び地質構成図

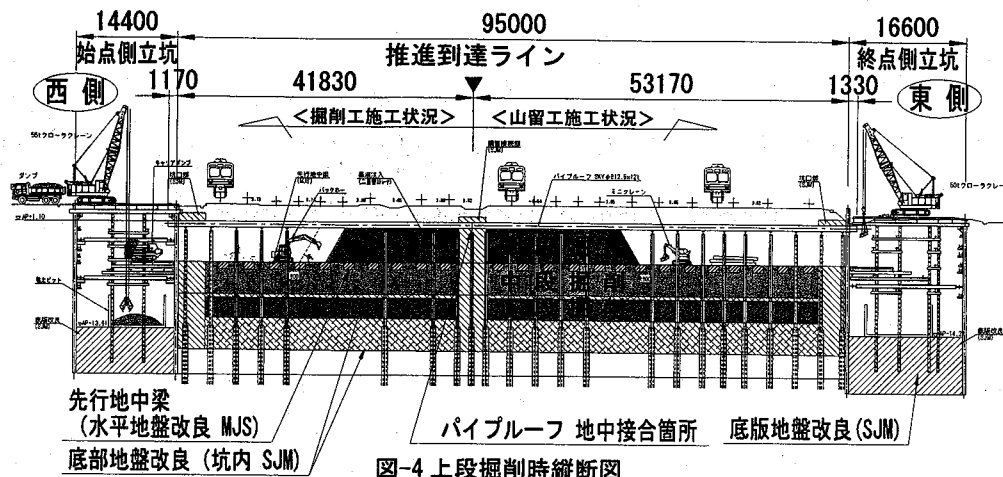


図-4 上段掘削時縦断面図

次に立坑を利用し横坑掘削を行い掘削完了後に躯体を築造することになるが、軟弱地盤であることから様々な工夫を行った。

それらについて以下に報告する。図-4 に上段掘削時縦断面図、図-5 に掘削横断面図を示す。

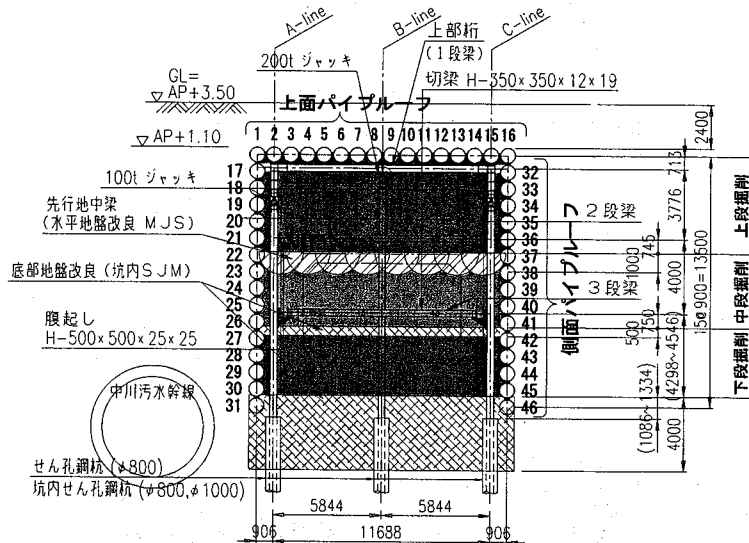


図-5 掘削横断面図

5. 施工順序

図-6 にパイプルーフ工以降の施工フローチャートを示すが、軟弱地盤区域における軌道直下での工事であることから、以下①～⑥の対策を行った。

- ①パイプルーフ工の基準管はダブルチューブ形式の人力掘削にて推進した。
- ②全断面（約 13m×13m）を一度に掘削せず 3 段（上段、中段、下段）に分割して掘削した。
- ③坑内掘削によるパイプルーフの変形を少なくするため、上段掘削に先立ち水平方向地盤改良を MJS 工法（メトロジェットシステム：高圧噴射攪拌工法）にて行った。
- ④軌道の安全並びに上段掘削時の切羽の安定のため薬液注入で地盤改良を行った。

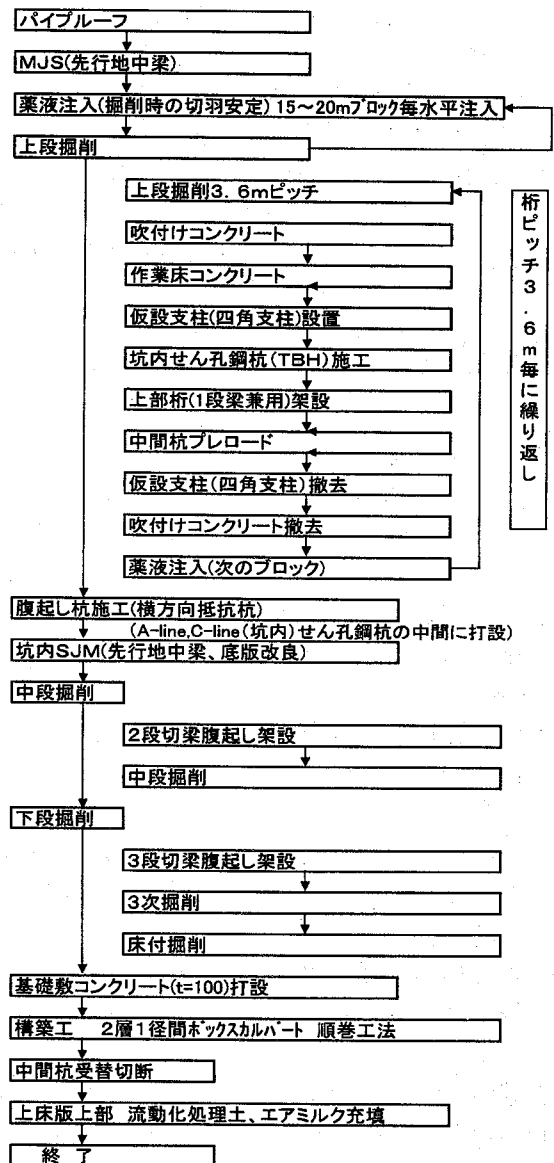


図-6 施工フローチャート

- ⑤3.6m毎に坑内にて支持杭を打設しパイプルーフ受桁を架設しながら上段掘削を行った。
- ⑥ヒービング防止のため上段掘削完了後、坑内で底部改良を SJM 工法（スーパージェットミディ：高圧噴射攪拌工法）にて行った。

6. パイプルーフの施工

(1) 施工概要

綾瀬車両基地軌道直下に非開削工法にて延長 95 m の道路トンネルを施工するため、両端に発進立坑を設け、パイプルーフを推進し、中間部の地中にて接合した。

このパイプルーフは、パイプ（鋼管）内に挿入したカッター付アースオーガーで掘削しながら、小さな推力で鋼管を地中に圧入し掘進する工法を採用した。

発進基地となる立坑は、パイプルーフの施工に合わせ掘り下がることとし、掘削は床付まで 6 回に分けて行った。

パイプは 9 m 鋼管を標準とし現場溶接で接合しながら掘進するが、事前調査により No. 1～16、No. 17 及び No. 32 管の施工では障害物の混在が判明していたので、パイプルーフの推進が不能となった場合にはオーガーを引き抜いて人力により障害物を除去することから、6 m 管を採用することとした。

なお、基準管は全体の精度に影響するため、2 本連結管（ダブルチューブ）の人力掘削とし終点方立坑から片押し（95m）で推進した。

(2) 工事内容

使用鋼管 $\phi 812.8\text{mm}$ $t=12\text{mm}$

列数 46 列（上面 16 列、側面 30 列、門型）

推進長 $95.0\text{m} \times 46 \text{列} = 4370\text{m}$

（鋼管長 $97.5\text{m} \times 46 \text{列} = 4485\text{m}$ ）

工期 H15.6.3～H16.4.3

(3) 基準管

当工事の基準管施工の特徴として以下の 4 つがある。

（写真-1、図-7 参照）

① 人力掘削であり、刃口にて方向修正が可能である（パイプルーフ全体の精度に大きく影響を与える）

② 片押しであるので一般管接合部位置で目違いが生じにくい

③ 鋼管を 2 本連結管（ダブルチューブ）とすることで、鋼管の剛性が高まり、変形による施工誤差が小さくなる

④ 鋼管内での人力掘削の作業スペースがシングル管に比べ大きくなり、上面パイプルーフ施工部地質状況の把握と支障物撤去作業が容易になる

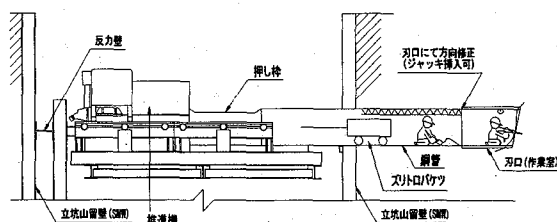


図-7 基準管施工状況図

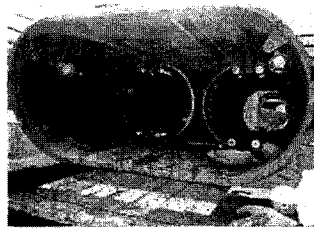


写真-1 基準管刃口

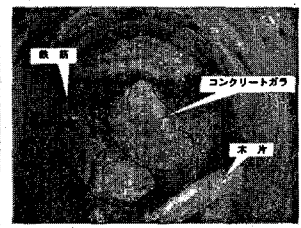


写真-3 鋼管内支障物

a) 基準管の精度

推進中の鋼管は自重により下方向に曲がりやすいのでやや上に凸な曲線を描くように施工した。

入口に対する出口の精度は、目標値 $\pm 100\text{mm}$ に対し上に $+21\text{mm}$ 、北に $+30\text{mm}$ であり、 $1/2594$ （ $= 36.6/95000$ ）という高精度で掘削することができた。精度監理が比較的困難とされるパイプルーフにおいて、2 本連結管（ダブルチューブ）の基準管は非常に有効な手法であった。

(4) 一般管

一般管施工では、支障物混入層であっても、施工速度を速めるため、オーガー掘削にて行った。写真-2 に上面パイプルーフ施工状況を示す。

支障物がオーガーの羽根の間を搬送できれば人頭大の塊も取り込むことはできたが、形状によってはトルク及び推力に異常値を示し、推進が困難となった。この場合は、オーガーを全て引き抜き、鋼管内に作業員が入り、支障物をピック等で小割し、ズリトロ台車にて鋼管外に搬出した（写真-3 参照）。

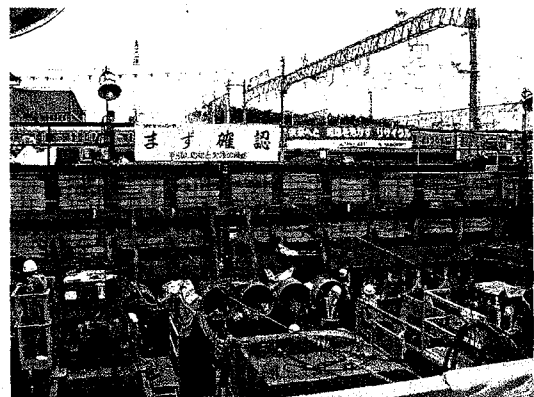


写真-2 上面パイプルーフ施工状況

(5) 鋼管外周裏込注入

地山の緩みによる沈下防止を目的として鋼管内から裏込注入を行うことにした。人力掘削の場合は掘進速度が遅いので毎方作業終了時に固結滑材を注入して沈下をおさえ、推進完了時（一本終了毎）に急結 CB（セメントベントナイト）による裏込注入を行った。

急結 CB はすぐにゲル状になるが、強度の発現が緩やかなため、次の管の推進を妨げることがないこ

とから、地山を緩めている時間が短縮でき、軌道沈下の抑制には有効であった。

(6) 分岐部の補強

分岐部は、転換不良が生じると重大な事故が発生する可能性があり、軌道内でもっとも留意すべき箇所である。局所的な沈下変形を極力抑えるため、軌道補強工事桁（H150×150×7×10）をUボルトにより枕木に取り付け、分岐部の剛性を高める補強を行った。（写真-4）

(7) 軌道整備

軌道変位管理基準値を表-1に示す。

表-1 軌道変位 管理基準		
1次管理値	2次管理値	管理基準値
7mm	9mm	11mm

パイプルーフ施工時は、軌道の沈下が局所的に発生した。その対応として、道床のバラスト補充や突き固めにより軌道整備を行なった。特に上面パイプルーフ施工時は週に1回程度の頻度で局所的に軌道整備を行った。軌道整備状況を写真-5に示す。



写真-4 分岐部分の軌道補強工事桁による補強



写真-5 軌道整備状況

7. 長距離MJS工法の施工

(1) MJSの概要

図-8にMJS工の全体平面図を、図-9に断面図を示す。門型パイプルーフの内部を掘削する際の横方向変形防止のための先行地中梁を施工するものであり、立坑から水平方向に半円形の改良体を8本連ねて1本の梁とするもので、50mを超える長距離水平方向削孔を行い精度良く改良体を井桁構造（切梁腹起こし構造）に配置することを要求された。

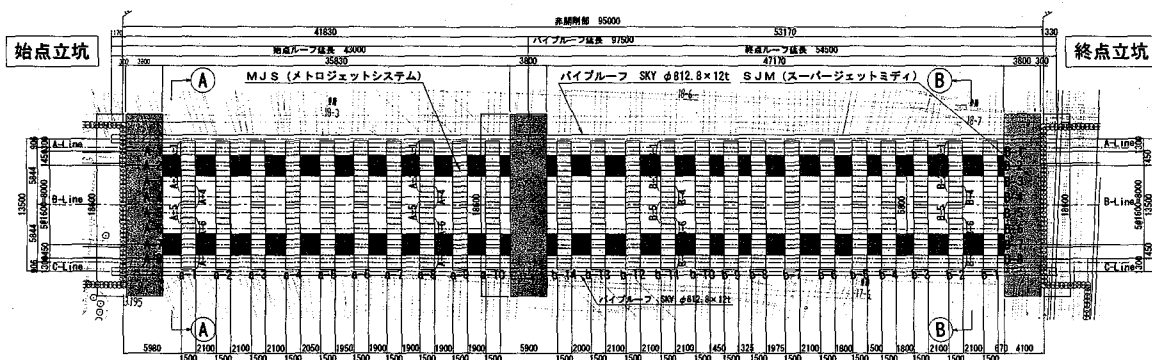


図-8 パイプルーフ施工に伴う沈下状況図

(2) MJS工法の特徴

MJSは造成管と排泥管を1本の管の中にまとめることにより水平方向施工が可能となった。写真-6に管（多孔管）の断面を示す

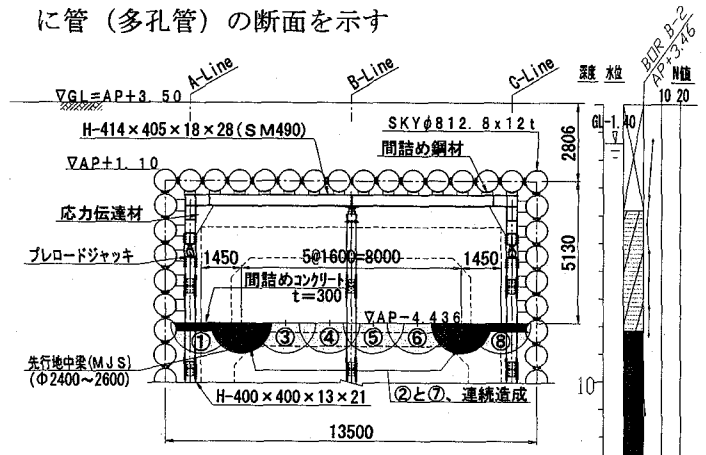


図-9 断面図

施工時の地盤変状（沈下、隆起等）を抑えるために地盤内圧力を多孔管先端に取り付けた地内圧センサーにて常時管理し、それに基づいて排泥量の調整吸引を行った。写真-7に施工状況を示す。

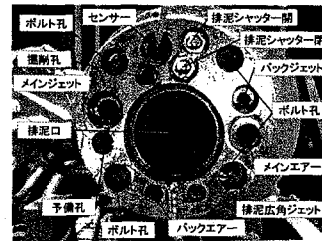


写真-6 多孔管断面図

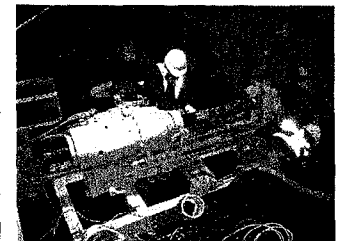


写真-7 施工状況

(3) 先行地中梁の施工精度

8本の改良体を水平に連ねて先行地中梁を形成するが、地中梁1本当たり水平軸力50tfに対応する必要断面は巾×厚=1.5m×0.7mとなるが、そのためには8本中1本でも精度が悪いと地中梁として無効になるので、削孔精度を高めることが重要である。

(4) 施工精度の測定

削孔精度の計測はジャイロオンライン、デジタルオンラインを用いて行った。写真-8 にジャイロオンライン挿入状況を示す。

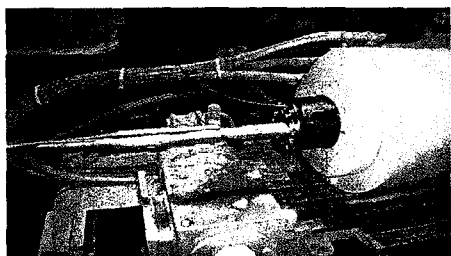


写真-8 ジャイロオンライン挿入状況(排泥口を利用)

ジャイロオンラインは機械式ジャイロを内蔵しており、水平方向、鉛直方向を精度 $\pm 0.1^\circ$ (1/500) で計測することができる。

一方、デジタルオンラインは加速度計を内蔵しており、精度は $\pm 0.02^\circ$ (1/2500)、再現性は高いが、鉛直方向のみの計測となる。

当現場では水平方向はジャイロオンライン、上下方向はデジタルオンライン（3m ピッチ）で測定しながら掘削した。

(5) 精度確保

削孔中に生じる穴曲がりを補正するため、拡張ビットは試行錯誤の結果、最終的に写真-9、図-10のような形状にした。多孔管先端に装着した拡張ビットを修正の方向に向け揺動回転により、削孔し補正した。図-11 にビットの揺動と方向修正のイメージ図を示す。削孔精度を計測し、所定の精度が確保できなかった場合は、固化材（LW）にて穴埋めし、再削孔した。

±1/250 (±20cm) を管理目標値としたが、実施工では±10cm を満足できた。

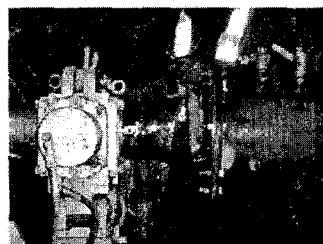


写真 9. 拡張ビット先端

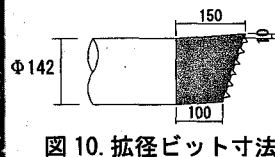


図 10. 拡張ビット寸法

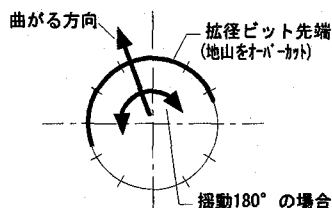


図-11 ビットの揺動と曲がる方向

8. 薬液注入

(1) パイプルーフ先受け地山の補強

上段掘削時（図-12 参照）には上部桁とパイプ
ルーフ先受地山法肩までの距離が 8.1m（切羽（法
面）角度は 60° ）となり、先受地山に作用する上
載荷重が 6.1t/m^2 と大きいため、滑り破壊の可能
性があった。よって、薬液注入を行い、この先受
地山（緩い砂質土である有楽町層上部 Yus 層）を粘
着力 5.0t/m^2 以上に補強する必要があった。

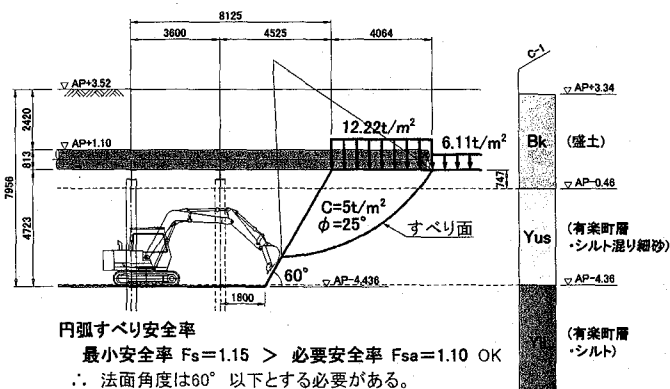


図-12 法面安定（円弧すべり）

(2) 注入材の種類

試験施工の結果、この砂層の粘着力 5.0t/m^2 を確保するためには、有機系の注入材で注入率 30% 程度が必要となった。複相式の注入工法で瞬結：中結＝1：2～1：4 を採用した。その仕様は以下の通り。

溶液型有機系瞬結タイプ

標準ゲルタイム 10 秒±3 秒 (20℃)

溶液型有機系中結タイプ

標準ゲルタイム 10 分程度 (20℃)

図-13 に注入断面を示す。

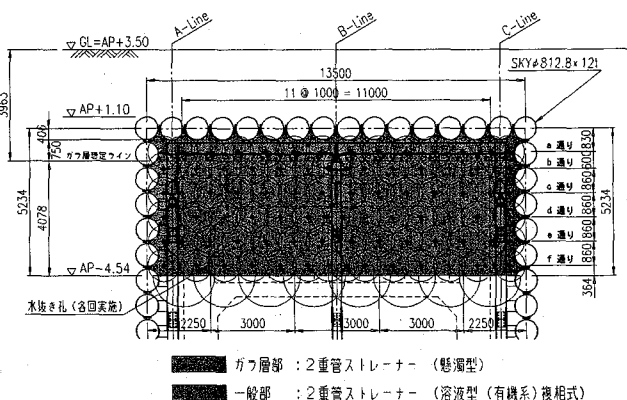


图-13 注入断面

(3) 複相式薬液注入状況

注入に当たっては軌道面の安全確保を第一に施工したが、薬液注入の圧力により軌道が隆起し1次管理値（軌道高低7mm）を超えることも多く、

注入速度や量を制限（注入量 16L/分×4 箇所を 8L/分×2 箇所に変更等あるいは施工中断）せざるを得なかった。強度不足の場合は横坑上段掘削において何らかの補助工法を行い対応することとし、次の箇所の注入に進んだ結果、最終的には平均 21%の注入量となった。

実際の掘削時の切羽は薬液注入の効果により安定しており、肌落ち、すべり破壊等の兆候はなく、補助工法は必要なかった。

9. 吹付けコンクリート

パイプルーフ下端にガラ層があること及び列車通過時のパイプルーフの振動等を考慮して、肌落ち防止のため吹付コンクリート工（ $t=5\text{cm}$ ）を行った。

10. 仮設支柱

切羽前面での杭打ち作業の安全確保のため、仮設支柱（四角支柱）を上パイプ一本毎に 1 支柱架設した。（写真-10 参照）

11. 坑内 TBH 杭

パイプルーフ荷重を受ける支持杭を 1 断面（3.6 m ピッチ）当り 3 本を TBH 工法（坑内せん孔鋼杭、A および C-line は $\phi 800$ 、 $L=32\text{m}$ 、B-line は $\phi 1000$ 、 $L=36\text{m}$ ）にて施工した。内空 4.7m の中で施工するため、H 型鋼材 3.0m の継杭となった。写真-10 に坑内 TBH 杭施工状況を示す。

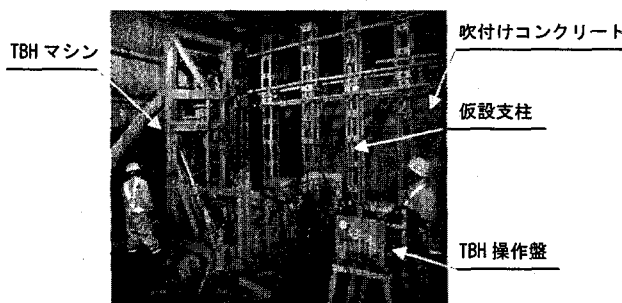


写真-10 坑内 TBH 杭施工状況

12. 上部桁架設時プレロード

パイプルーフ変形防止、軌道沈下の抑制を目的とし、上部桁架設時にプレロードを実施した。A および C-line 杭は 100 tf ジャッキ、B-line 杭は 200 tf ジャッキを用いた。

なお、通常プレロードジャッキ部はピン結合で設計されることが多い。しかし、この現場では支保工としての耐力確保のため、杭と上部桁とは剛結合（ラーメン構造）とする必要があるため、A、C-line 杭はプレロード後、カバープレート进行现场溶接して箱型とし、曲げモーメントおよびせん断力を伝達できる構造に補強した。

写真-11 にカバープレート取り付け後の上部桁架設状況を示す。

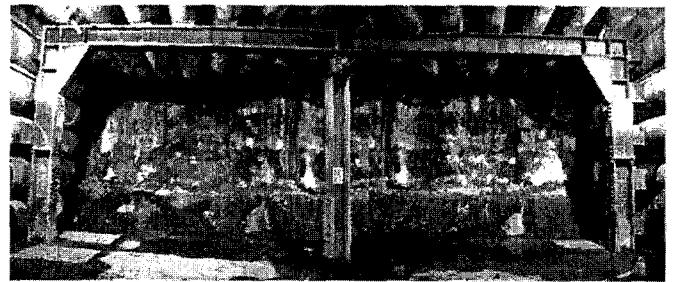


写真-11 上部桁架設状況（合成写真）

13. 底部地盤改良（坑内 SJM）の施工

図-14、写真-12 に坑内 SJM の施工状況を示す。内空高さが少ないため排泥ピットが確保できないこと及び工期短縮のため、坑内 SJM は、口元管を工夫し、排泥はノッチタンクを介して直接排泥車に積み込めるようにした。写真-13 に口元管を示す。

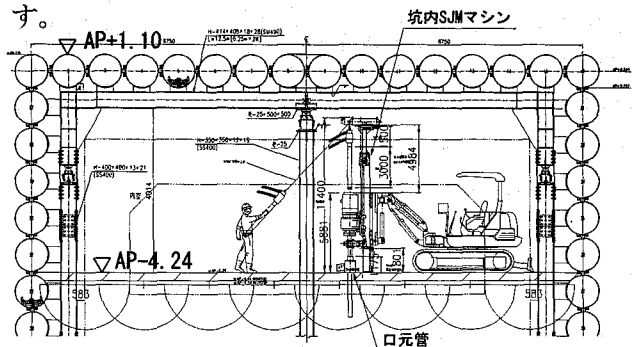


図-14 坑内 SJM の施工



写真-12 坑内 SJM の施工状況

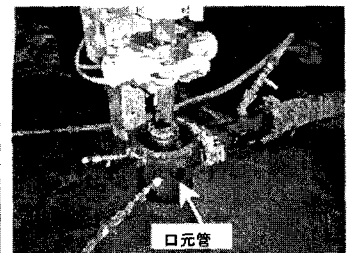


写真-13 口元管

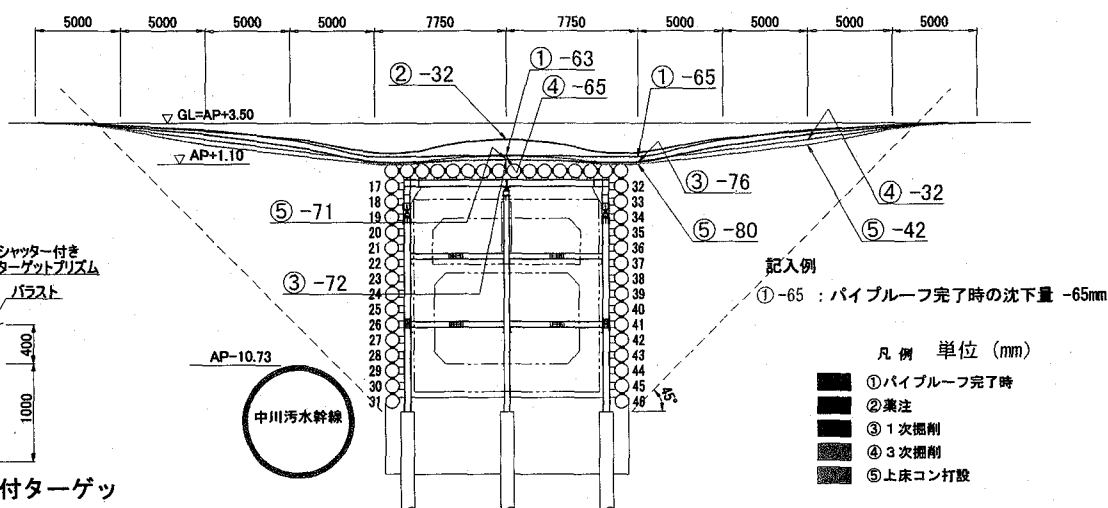
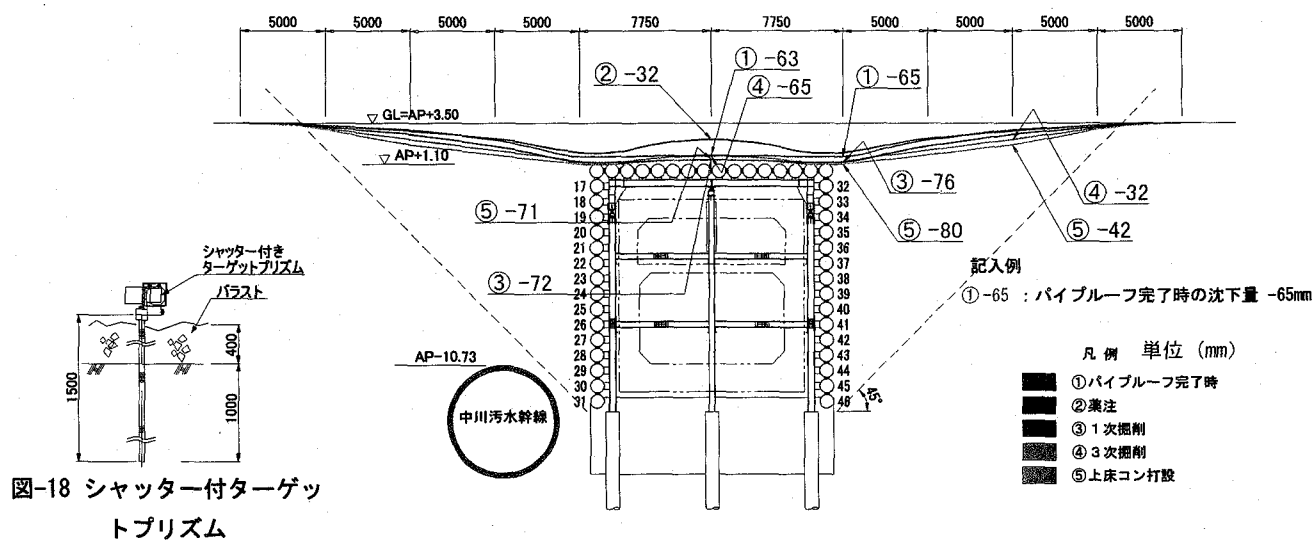
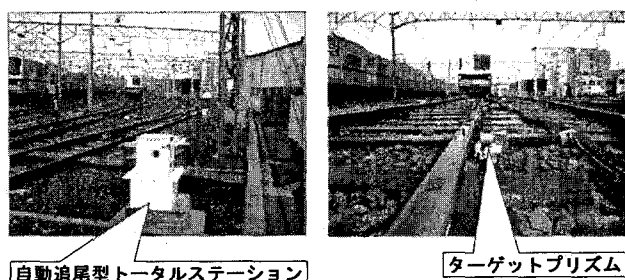
底部地盤改良の施工に併せ、中段と下段掘削の境界に $t=500$ の地盤改良を行った。これにより、2 次掘削時の重機通路が確保できたこと、また、先行地中梁として有効に働き 3 段梁をあと施工で掘り進むことができたことから、工期を大幅に短縮できた。

14. 掘削完了

95m の横坑掘削は、平成 16 年 6 月に SMW 切断開始（かがみ切り）を開始し、平成 17 年 5 月に基礎敷コンクリート打設するまでの約 1 年を要した。写真-14 に掘削完了状況を示す。



15. パイプルーフ工法に伴う路面の沈下状況



パイプルーフから構築（軌道下）完成までの 33 か月の間（H15.6 月～H18.2 月）、施工影響範囲の軌道および路床に約 130 箇所を選定し、その測定点にターゲットプリズム（写真-15、図-18）を設置し、自動追尾型の測定器（トータルステーション 2 台）および座標演算コントローラー（ハイボス：Hyper Positioning System 2 台）を用いて 24 時間の自動計測を行った。

パイプルーフ工以降の軌道上の計測点の変位データを平均化して地表横断面の沈下状況を表現したものが図-19 である。小土被りのトンネル施工における地表面沈下の貴重なデータが得られた。

パイプルーフ工により沈下し、薬液注入では隆起し、上段掘削ではパイプルーフの変形に伴い沈下した様子がよくわかる。

中段掘削時、下段掘削時にも沈下は除々に進行し、鉄筋コンクリート施工時の切梁撤去時にも見られたが、N 値 0~2 程度の軟弱な有楽町層下部 (Yul) の影響と思われる。

16. 謝辭

車両基地直下の小土かぶりの道路トンネル築造において、周辺に大きな影響を与えず、無事故で施工できたことは、足立区、東京地下鉄、地下鉄メンテナンス、大成・西松建設工事共同企業体が一丸となって課題に取り組み対処したたまものであり、皆様のご尽力に厚く感謝する次第である。