

道路トンネル拡幅区間における曲線パイプルーフ工事の施工実績 RESULTS OF NEWLY DEVELOPED CURVE STEEL PIPE ROOFING FOR BROADEN PART OF HIGHWAY TUNNEL

深山 大介¹・山内 貴宏²・林 昇³・澤木 康守⁴・河本 武士⁵

Daisuke MIYAMA, Takahiro YAMAUCHI, Noboru HAYASHI, Yasumori SAWAKI, Takeshi KAWAMOTO

Due to the severe traffic control restrictions, non-open cut tunnel excavation has been conducted for ramp construction which is a part of the Second Central toll-way Loop, Shinjuku Line, Tokyo Metropolitan Expressway Co., Tokyo Japan. The earth and ground water support structures for the horizontal tunneling are composed of long-span straight steel pipe roofing as the top supports and newly developed curved steel pipe roofing (812mm dia.) as the bottom supports. This paper describes the performance records of the curved steel pipe driving by the TBM and its alignment and quality control method.

Key Words: steel pipe roofing, non-open cut excavation, shield tunnel, TBM

1. はじめに

地下空間の有効活用は大きな社会的ニーズの一つであり、都市内における道路建設においては、周辺環境や地上構造物等と与える影響が少ないシールド工法が多く採用されつつある。シールド工法により道路トンネルを建設する場合は、出入口や連結路と本線トンネルの分合流部の拡幅構造とその構築工法が大きな技術的課題である。

首都高速中央環状新宿線(以下新宿線)は、主要幹線道路の直下に延長10kmの往復4車線の道路トンネルを建設中であり、そのうちシールドトンネル区間は約7kmである。シールドトンネル区間には5箇所の分合流部があり、それらは切開き工法を用いて構築している。切開き工法とは、併設シールドトンネル完成後に、シールドトンネル間の地山を掘削して併設シールドトンネルと一体化した拡幅部躯体を構築する工法である。切開き工法には、開削工法と非開削工法がある。開削切開き工法は、地表面からの土留め壁施工と掘削工事を伴うものであるが、本線を含めたトンネル全幅を開削工法により構築する場合と比較して、掘削規模が小さくなり街路交通や地下埋設物への影響を抑えられるという利点がある(図-1)。しかし、地表面付近利用状況等により土留め壁施工等の地上作業が困難な場合には、非開削切開き工法を用いて分合流部を構築する必要がある。

キーワード：曲線パイプルーフ工法、非開削切開き、シールドトンネル、泥水式掘進工法

1 正会員 首都高速道路株式会社 東京建設局 設計第一グループ

2 正会員 首都高速道路株式会社 東京建設局 新宿工事グループ

3 正会員 鹿島建設株式会社 東京土木支店、 4 正会員 鉄建建設株式会社 東京支店

5 正会員 大成建設株式会社 東京支店

本稿は、移設困難な大型ライフラインが多数埋設されている主要幹線道路と大型交差点直下(南側区間 84m)と、地下横断道路および橋梁架設工事の施工ヤード直下(北側区間 46m)において施工している非開削切開き工法による道路拡幅部構築(図-2、3)のうち、主に、シールドトンネルの下方を支保する曲線パイプルーフの施工実績について紹介する。

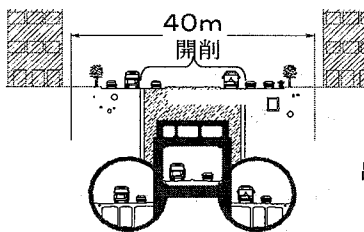


図-1 開削切り開き工法横断面図

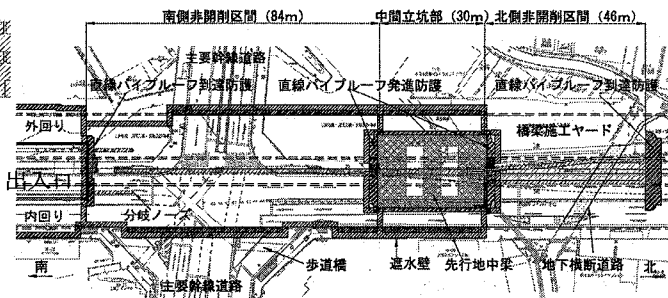


図-2 全体平面図

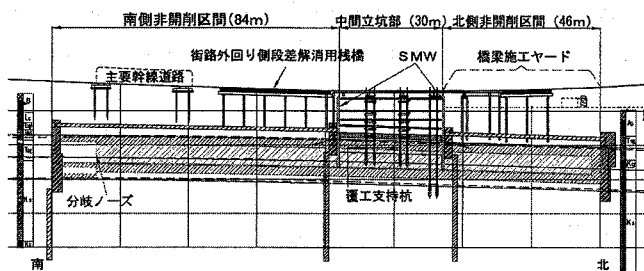


図-3 全体縦断面図

2. 地盤および構造概要

(1) 地盤条件

当該区間の土質は、地表から約6~10mは関東ローム層(B)もしくは腐植土層(Ap)、その下に洪積層である東京礫層(Tog)および上総層群(Kc, Ks)が堆積している。切開きを行うトンネル躯体は安定した洪積層の中に位置する。また、地下水位はGL-10.0m程度である(図-3)。

(2) 構造概要

新宿線の切開き対象区間におけるシールド覆工体は、切開き時の溶断・切削性および分合流部躯体との一体化を考慮し、鋼製セグメントを採用している。当該工区(セグメント外径12.83m)の鋼製セグメント形状寸法は幅1.2m、主桁全高532mmである。

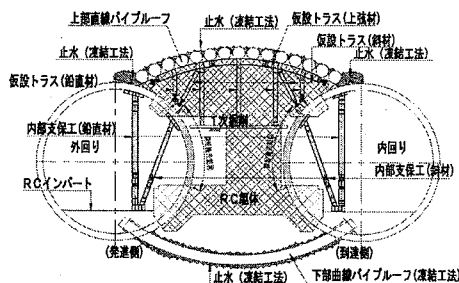


図-4 北側非開削区間断面図

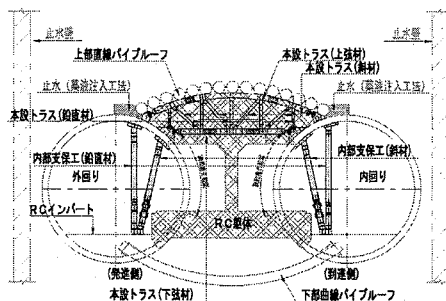


図-5 南側非開削区間断面図

北側と南側の区間の間に位置する中間立坑部(19.5m×30m)の拡幅構造は、開削切開き工法により構築する。この立坑は南側と北側の非開削区間に直線パイプルーフを施工するための発進立坑となるとともに、非開削区間への作業開口としての役割を有する。直線パイプルーフは南北工区端に向けて打設し、高圧噴射攪拌工法により造成された地盤改良体に到達させる。

非開削区間は、シールドトンネル間上部にφ1016mmの直線パイプルーフを支持するトラス状の支保工を各セグメントリング(@1.2m)に接合する。下部には、シールド間掘削に伴うセグメント鋼殻の変形を抑制する地中梁としての機能を主目的として太径の曲線パイプルーフ(φ812.8mm)を施工する。出入口の躯体は、RC構造を基本としており、掘削支保完了後に支保工を巻き込んで逆巻き工法により構築する。これは、本線シールド工事のセグメント運搬等の構内作業を維持しながら施工できるように計画しているためである。

北側区間のトンネル上方には厚さ3m程度の腐植土層(Ap)が存在するため、シールド間掘削時の地下水低下に伴う地表面沈下等の地盤変状の発生が懸念される。そこで、凍結工法の採用により地下水位の変動を抑制する(図-4)。一方、南側区間はAp層が存在しないことから、シールドトンネルの外側に薬液注入工法による止水壁を難透水層(Kc)まで造成し、シールド間掘削時は止水壁内の地下水位を低下させる。また、南側区間は、北側区間と比較して工事区間延長が長いので、出入口部の上部躯体を全てRC構造とした場合、非開削構造特有の非常に密な配筋となり、その作業に日数を要する。そこで、上部躯体をトラス構造とすることにより工程短縮を図る。(図-5)。

3. 曲線パイプルーフ工概要

(1) 曲線パイプルーフ工の概要

図-6 に出入口トンネル部の概要図を示す。

曲線パイプルーフの施工は、新規開発の掘進機(掘削外径φ845mm)を用い、外回りシールドトンネル側から内回りシールドトンネル側に向かって掘進する。外回りの鋼製セグメント(幅1.20m)主桁間から下方に向けて発進し、曲率半径R=16.0mの円弧を描きながら到達側の内回りの鋼製セグメント(幅1.20m)の主桁間に到達させる¹⁾。掘進距離は19.20mで設置する。パイプルーフ鋼管は外径φ812.8mmであり、厚さはt=18.0mmおよび22.0mmの曲線鋼管である。曲線鋼管の製作は、精度確保の必要性から許容値を通常より厳しくし、加工は高周波加工で製作した。

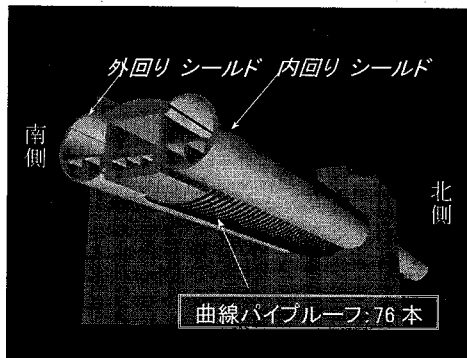


図-6 富ヶ谷出入口部概要図

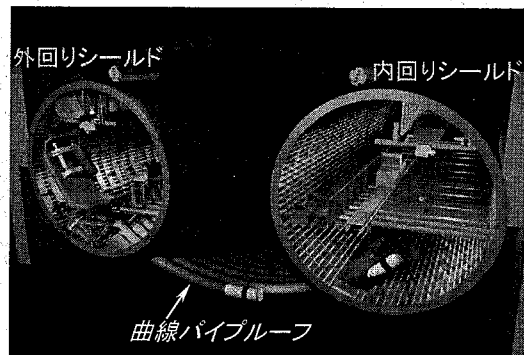
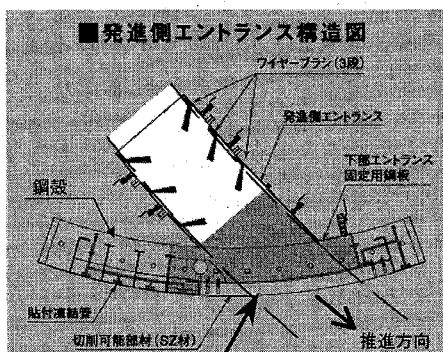


図-7 曲線パイプルーフ施工イメージ

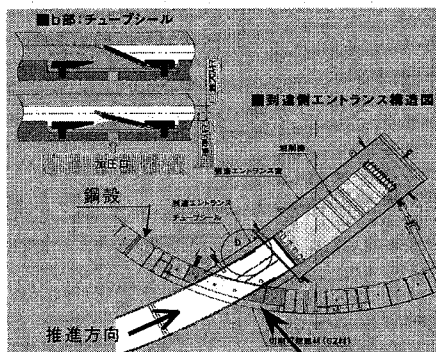
図-7に曲線パイプルーフの施工イメージ図を示す。曲線パイプルーフの掘削対象土層はでシルト混じり細砂でありN値50以上の固結度の高いKs層（上総層）であり水圧は $1.2\sim 1.5\text{ kg f / c m}^2$ 程度である。曲線パイプルーフの推進は泥水式であり、掘削土砂は流体輸送により地上部の一次振動篩にて分離搬出される。

鋼製セグメントの発進・到達部分には新しく開発した切削可能部材SZ材（ガラス繊維強化プラスチック製）を鋼製セグメント内に組み込み、地盤改良を省略した。止水構造は、発進部にワイヤーブラシを3段設置し 6.0 kg f / c m^2 までの被圧に耐える構造とし、到達側はチューブシールを採用して対応した²⁾。（図-8、図-9）。



発進側切削可能部材SZ材

図-8 発進側エントランス構造図



到達側切削可能部材SZ材

図-9 到達側エントランス構造図

(2) 掘進制御と計測方法

曲線パイプルーフの掘進制御と制御のための計測方法は鹿島・大成・鉄建・コマツ地下建機の4社による共同開発実証実験を行って詳細検討を行い(写真-1)、3次元絶対位置の把握による高精度な手法を確立した。実証実験では地山内で $R=16.0\text{ m}$ の曲率半径を持つ掘進機に中折れ機構により上下左右 $\pm 3.0^\circ$ まで揺動可能な機構を持たせ、揺動による推進時の方向制御が可能かどうかの検証を行った。また、掘進機および

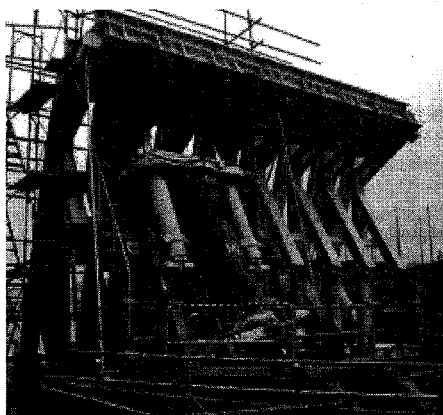
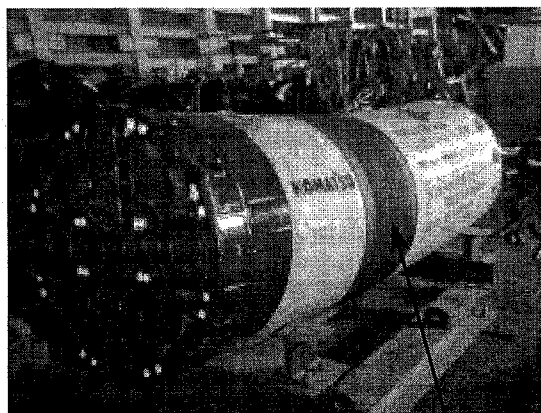


写真-1 曲線パイプルーフ実証実験



中折れ部

写真-2 曲線パイプルーフ掘進機

および鋼管のローリング防止のための押し輪部の把持機構及び制御装置、異常時の引抜機構等も組み入れた。これらの結果から、掘進機の位置が正確に測定できれば、方向制御が十分に可能なことを確認した。(写真-2)

計測方法は図-10 に示すとおり、自動視準式光波測距器（GDM=ジオジメーター）の連成による縦断急曲線に対応した計測システム（ATS=Auto Target System）を採用した³⁾。ATS計測ではまず①外回り及び内回りシールドトンネル間を貫通させた坑内閉合トラバース測量により発進および到達位置を3次元座標系で確定する。その後、②座標計算により曲線パイプルーフの計画線を算出する。その上で、③外回りシールドトンネル内の2点の3次元既知点より1台目のGDMの位置を確定し、6台の連成計測から掘進機に設置した最終のエンドターゲット（RMT）の位置を確定し掘進機先端部を特定する。これにより $R=16.0\text{m}$ の曲率半径で25m以上先の掘進機先端位置を数mm以内の誤差で計測できる。

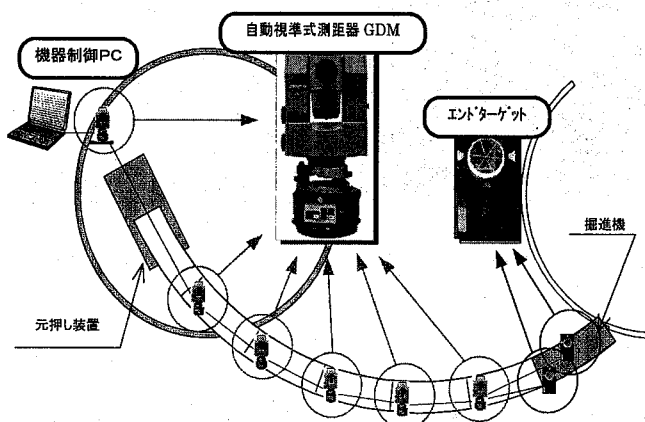
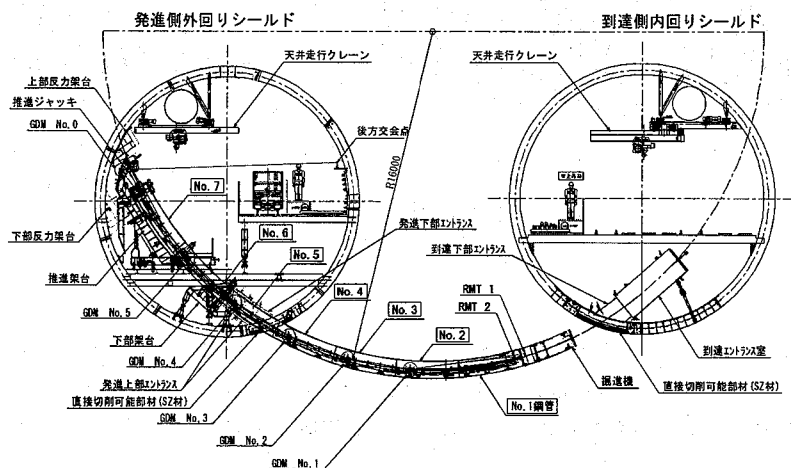


図-10 ATS計測概要図

実際の計測状況を図-11 に示す。発進側の外回りシールドトンネル側から掘進し1ピース3.06mの鋼管を溶接しながら推進を行う。鋼管は7本のピースが構造体となり8本目で所定位置まで押し込む。計測機器は押し輪の最後部にGDM1台、また2ピース目鋼管から6ピース目鋼管の中に1台ずつ設置され、最大6基のGDMと2基のRMTの設置により計測を行う。



計測の結果は、現場にて表示し、図-12および図-13のとおり掘進機先端部、掘進機中折れ部、掘進機後胴部の計画線からのズレを実測値として表示する。そのデータに加え後続の鋼管位置を考慮して、掘進機先端位置の方向、中折れ角を修正して掘進機の掘進方向を制御、内回りシールドの最終計画位置に正確に到達させる。

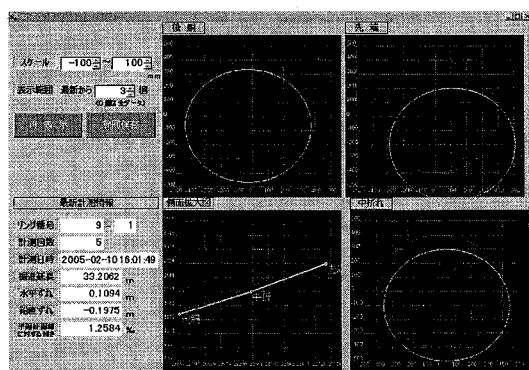


図-12 計測結果画面（計画線からのずれ量）

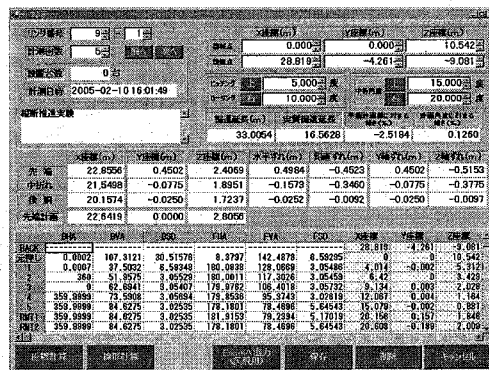


図-13 計測結果画面（先端位置）

4. 曲線パイプルーフ工施工実績

曲線パイプルーフは合計 76 本であり、施工は 3 台の掘進機で同時に行い、1 号機 27 本、2 号機 24 本、3 号機 25 本の分担で行う。2006 年 2 月から施工を開始し、現在 60 本が完了している。（図-14）

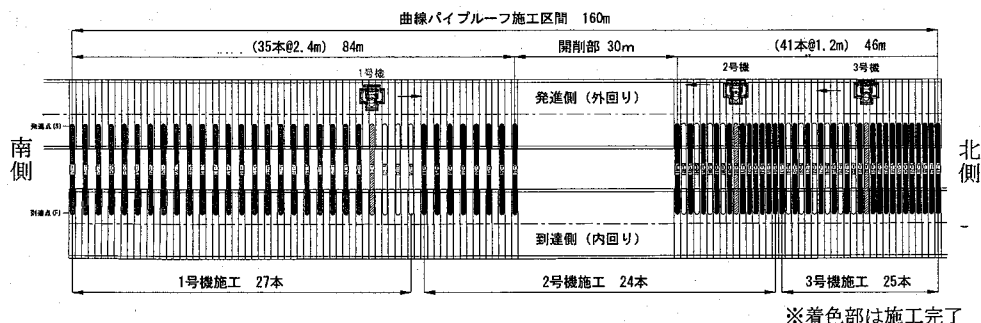


図-14 掘進機 3 セット施工分担図

(1) 施工サイクル

このような太径曲線パイプルーフの施工は前例がないことから、試行錯誤の連続であった。1 サイクル当りの施工日数は計画時点の 4.6 日（昼夜連続 20 時間）に対し、実施工では当初大幅にオーバーしていたが、現在 5.9 日程度となっている。今後も施工サイクルの改善のため掘進機や発進・到達部の改善により工期短縮を図って行きたいと考えている。（図-15）

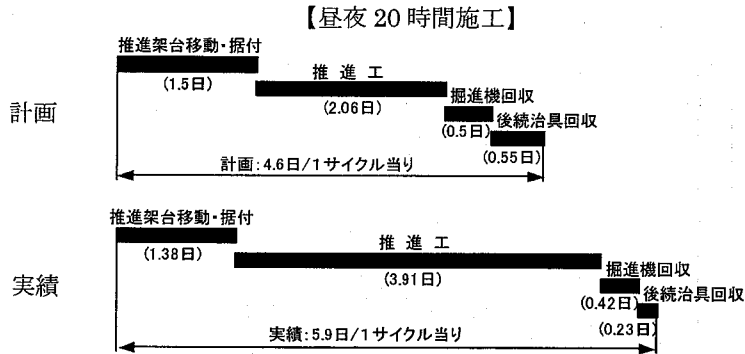


図-15 掘進施工サイクル図

(2) 施工精度

曲線パイプルーフは、外回りシールドトンネルの鋼製セグメント主桁間より発進し、内回りシールドトンネル鋼製セグメント主桁間に到達させる。鋼製セグメントと掘進機のクリアランスは最も狭い箇所での有効主桁間の幅が 1,010mm、掘進機外径 $\phi 845\text{mm}$ であり片側 82.5mm となる。また高さ方向は上下約 100mm のクリアランスしか許容できないため、非常に高い到達精度が必要である。当工事では精度確保するために、ATS 計測で掘進機の現在位置を正確に把握し、計画線からの離れを算出して掘進機の揺動にて姿勢制御を行って施工しているが、精度を確保するために考慮すべき要因として以下の事項が挙げられる。

- a) ATS 計測による計測誤差 ($\pm 10\text{mm}$ 以内)
- b) 掘進機架台据付誤差
- c) 鋼管製作誤差
- d) 掘進中の姿勢制御誤差等

実際の精度は、上記誤差を考慮して到達精度の管理値を上下左右共に $\pm 50\text{mm}$ として、目標としたが慎重な施工により良好な結果が得られた。以下に現時点までの到達精度のヒストグラムを示す。(図-16、図-17、写真-3)

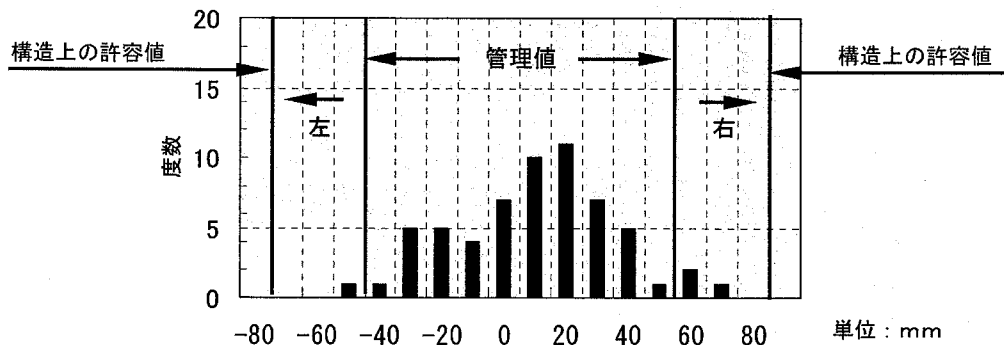


図-16 到達精度 (左右方向ズレ量) ヒストグラム

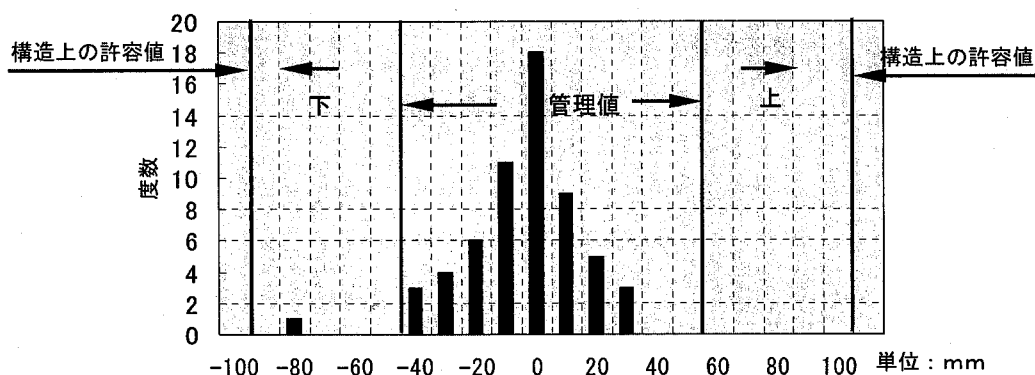


図-17 到達精度（上下方向ズレ量）ヒストグラム

5. 結論

ヒストグラムで管理値オーバーしたものがあるが、原因は掘進機揺動ジャッキの油圧系の故障により、圧力が上がらず、揺動が掛けられなかったことによる。この油圧系の故障は到達近傍で起きたため、鋼製セグメントの最も厳しい到達セグメント部通過後であり揺動運転なしで、主桁内に入ることを確認して掘進させた結果である。以上より、ATS 計測の結果を検討し、掘進機揺動による姿勢制御することにより目標精度を確保できることが確認出来た。今回の実績から、今まで施工が困難だと考えられていた高精度の推進工法に新しく展望が開けたのもと考えている。

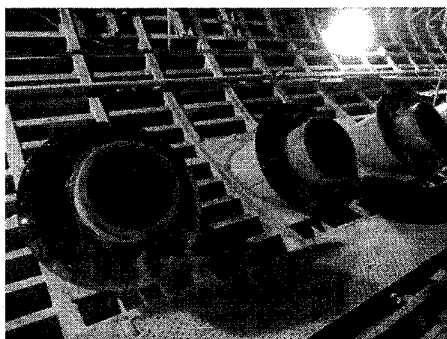


写真-3 到達部施工完了状況

【参考文献】

- 1) 平成 16 年度土木学会内 59 回年次学術講演会；太径曲線パイプルーフ工法による非開削大断面地下空間構築工法（その 1） 6-128
- 2) 平成 17 年度土木学会内 60 回年次学術講演会；太径曲線パイプルーフ工法による非開削大断面地下空間構築工法（その 4）～発進・到達部切削可能部材設置セグメントの実大規模止水実験～ 6-062
- 3) 平成 18 年度土木学会内 61 回年次学術講演会；太径曲線パイプルーフ工法による非開削大断面地下空間構築工法（その 8）～自動視準式 ATS を用いた掘進機位置計測実証実験～ 6-199