

地下鉄駅舎部におけるパイプルーフによる大深度非開削工事について

辻雅行¹・岡功¹・亀川信²・角野叔昭³

¹東京地下鉄株式会社 建設部 早稲田工事事務所（〒169-0075 東京都新宿区高田馬場 1-1-5）

²株式会社鴻池組 東京本店 土木技術部（〒136-8880 東京都江東区南砂2-7-5）

³株式会社鴻池組 東京本店 地下鉄13号線工事事務所（〒169-0072 東京都新宿区大久保2-5-23）

近年大都市での地下鉄工事は重要ライフライン等大規模地下埋設物下や既設路線下に交差して計画される場合が多い。そのため、大深度化が進み工事の難易度が増している。本報告は交通量の多い交差点部において、大型地下埋設物の布設状況から開削工事では施工できないため、非開削工事により施工した結果について報告するものである。

非開削部は大深度にてパイプルーフを施工し、パイプルーフ下部は仮受杭を打設しながら38mの深度まで掘削する工事で、地下埋設物や地上交通への影響が懸念されたが、無事完了することができた。

キーワード：大深度，非開削，パイプルーフ，仮受杭

1. はじめに

副都心線（地下鉄13号線）は、池袋から渋谷間の8.9kmを平成20年6月開業に向け建設中である。当工事の東新宿駅（新宿七丁目一および二工区）は、大江戸線との連絡駅で大久保通り交差点と職安通り交差点間の明治通りに位置する（図-1参照）。当駅は急行追い越し車線を設けることから、ホームを上下2層構造とし、ホーム両端には分岐器を有するため、平均掘削深さ37m、延長373mの大規模開削駅となった。

新宿七丁目一工区内の大久保交差点部は、図-2に示すようにNTT洞道・東京電力洞道および下水幹線等の大型ライフラインが埋設されている。そのため、これらの地下埋設物が支障となり土留め壁の打設スペースが確保できないことから、開削工法にて施工することが困難となった。したがって大久保交差点部は、パイプルーフを用いた非開削工法により施工した。本稿では、大深度での施工となったパイプルーフを用いた非開削工事の施工結果について報告する。



図-1 施工位置図

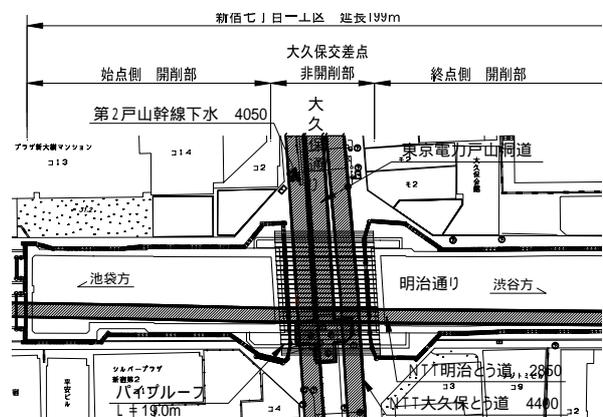


図-2 平面図

2. 地質概要

当該工区の地質は上位より、表土、関東ローム層（N値5前後）、段丘礫層（N値20前後）、東京層（N値10～50）、上総層群（N値50以上）が分布し、粘性土は硬く、砂質土は極めて締まった状態である。図-3に土質柱状図を示す。

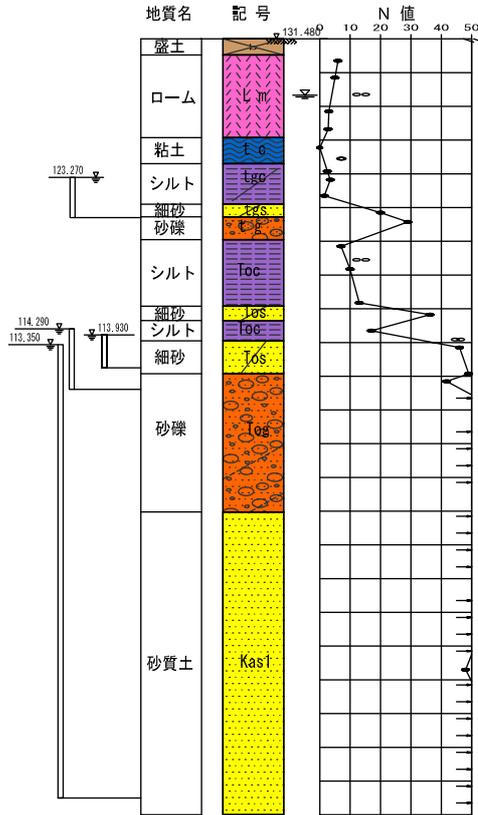


図-3 土質柱状図

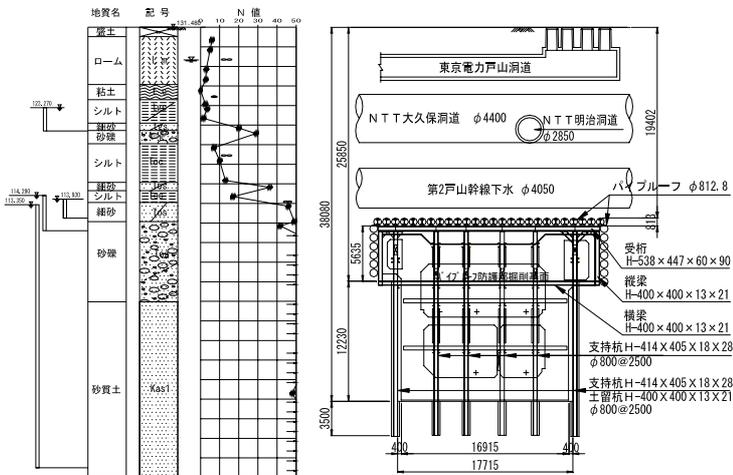


図-5 横断面図

3. 施工手順

(1)概要

大久保交差点の延長約16mの非開削区間は、地下埋設物下方の土被り19m位置でパイプーフを施工し、それを路下で打設する仮受杭で支持しながら掘削する。掘削完了後、躯体構築を行う。非開削部の詳細について、図-4に平面図、図-5に横断面図および図-6に縦断面図をそれぞれ示す。

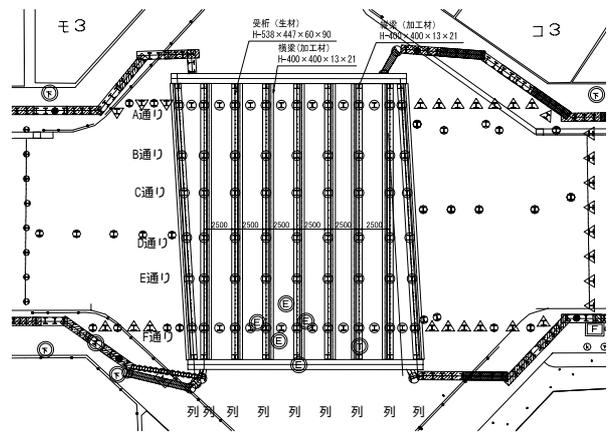


図-4 平面図

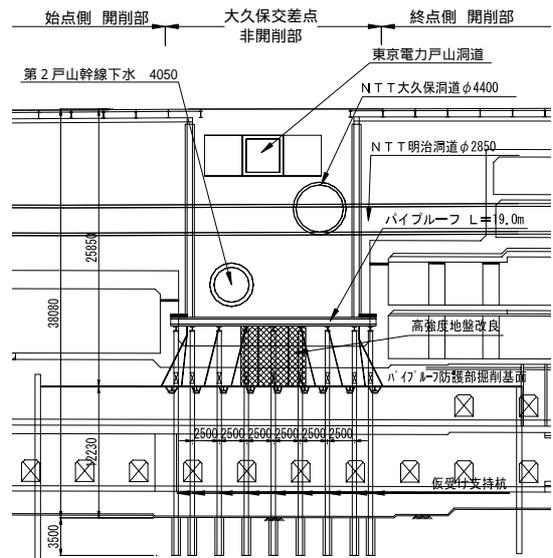


図-6 縦断面図

(2) 施工手順

図-7に施工手順図を示す。

立坑掘削

交差点の両側のパイプルーフの施工基地となる立坑を開削工法により掘削する。

パイプルーフ

立坑内から仮受け時に屋根の役割を果たす水平パイプルーフ26本および垂直パイプルーフ13本を打設する。工法詳細については後述する。

パイプルーフ防護部の掘削及び仮受杭打設

パイプルーフにて防護した箇所（水平パイプルーフ下部5.6m）を奥行き2.5mごとに立坑両側から順次掘削する。掘削に伴い路下にて仮受杭（TBH杭）

の打設，受桁設置，およびジャッキアップを行ってパイプルーフ上部全体の荷重を支持させる。併せて側面の土留め杭を打設する。

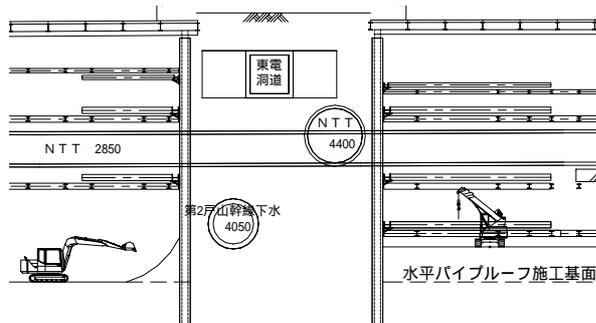
本体掘削

仮受杭打設完了後，パイプルーフ下方を鋼製切梁支保工を順次架設して，床付けまで掘削を行う。

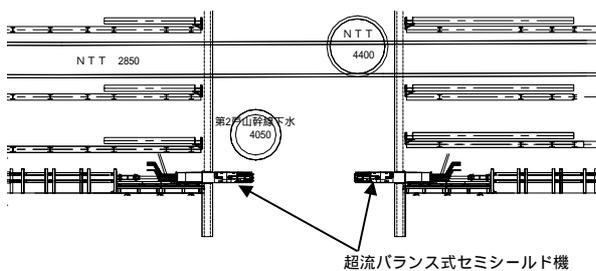
本体構築

床付け掘削完了後，駅舎部本体構築を順巻きにて施工する。

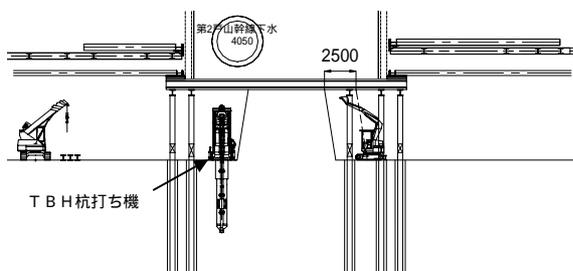
立坑掘削



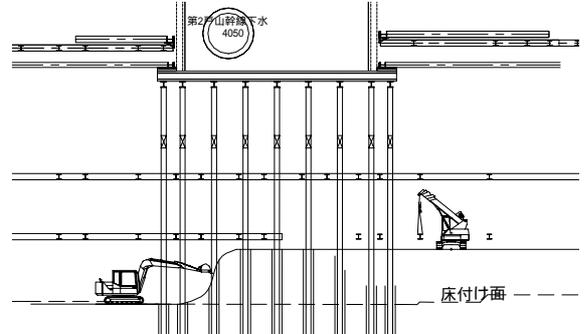
パイプルーフ



パイプルーフ防護部の掘削及び支持杭打設



本体掘削



本体構築

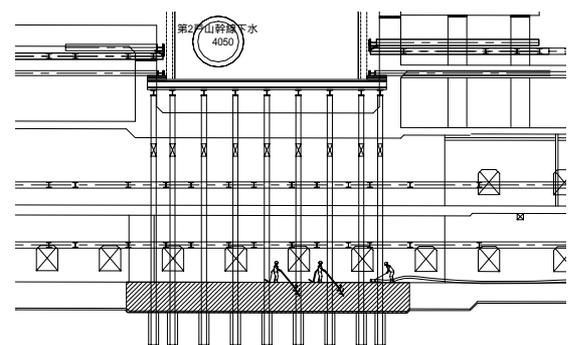


図-7 施工手順図

4. 施工上の課題と対策

(1) パイプルーフ施工

重要地下埋設部直下で滞水量の豊富な東京砂礫層にパイプルーフを施工するため、掘進時の地山崩壊による地下埋設物の変状や路面沈下等の影響が懸念された。またパイプルーフ掘進時の地下水の坑内流入も想定された。そのため、地盤のゆるみ範囲を最小限に抑え、地下水流入の防止可能な工法として超流バランスセミシールド工法（泥濃式推進工法）を採用した。掘進機を写真-1に、パイプルーフの施工状況を写真-2に示す。また、パイプルーフ掘進時の補助工法として発進・到達防護として立坑内からの薬液注入、パイプルーフ掘進範囲にも同様に薬液注入を行い、地盤のゆるみと地下水流入を防止した。



写真-1 掘進機



写真-2 パイプルーフ

(2) パイプルーフ部材

防護部の掘削時に発生するパイプルーフ変位、仮受杭軸力および埋設物への影響等を事前に検討した結果、当初設計部材では埋設物の許容沈下量を越えるという問題が生じた。そのため、パイプルーフ部材は高剛性の部材に変更した。

- ・当初計画 水平鋼管 812.8mm t=12mm (モルタル充填)
- ・変更計画 水平鋼管 812.8mm t=22mm (モルタル充填) + 芯材 H-488 × 300を鋼管内に挿入

解析手法はパイプルーフを梁、地盤を弾性床、支持杭を弾性支承とする弾塑性梁バネモデルに上載荷重を作用させて、掘削順序及び地盤の塑性化を考慮した逐次応力解析により行った。図-8に解析モデルを示す。

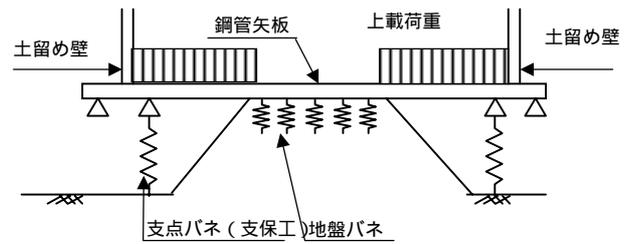


図-8 解析モデル

(3) 仮受杭

パイプルーフに作用する全体荷重が約130,000kN (13,000tf)であり、支持杭1本当たりの最大分担荷重が仮受け時で5000kN、仮受け完了後で3000kNと大きな荷重となるため、確実に支持が可能な仮受杭の施工法が要求された。また、削孔地盤が最大礫径250mmの東京礫層を含むため、杭先端に礫の残留が生じ仮受け後に杭の沈下の恐れが考えられた。そのため、杭先端処理に優位なTBH杭を採用することで支持力を確実に確保し、荷重載荷時の杭沈下量の低減を図った。写真-3に仮受杭の施工状況を示す。



写真-3 仮受杭 (TBH) 杭施工状況

(4) 仮受杭の軸力導入方法

仮受杭は、施工時および仮受け完了時において確実にパイプルーフ上部の荷重を支持させる必要がある。そのため、仮受杭の軸力導入方法が課題となり、以下の対策を行った。軸力導入は受桁1列設置毎に予め載荷（初期プレロード）を行い、仮受杭設置完了後に全体の荷重調整（調整プレロード）を行うこととした。

a) 初期プレロード

受桁設置後、死荷重の100%以上を初期プレロード時に導入し、ジャッキの安全ナットは締めずに、荷重の計測を施工中に監視できるようにした。

荷重の載荷方法は、将来作用する荷重を先行して履歴荷重として段階的に載荷を行い、杭の沈下量、パイプルーフの挙動に異常がないか確認した後、プレロード荷重（設計プレロード値）まで除荷することとした。図-9に初期プレロード載荷ステップを示す。

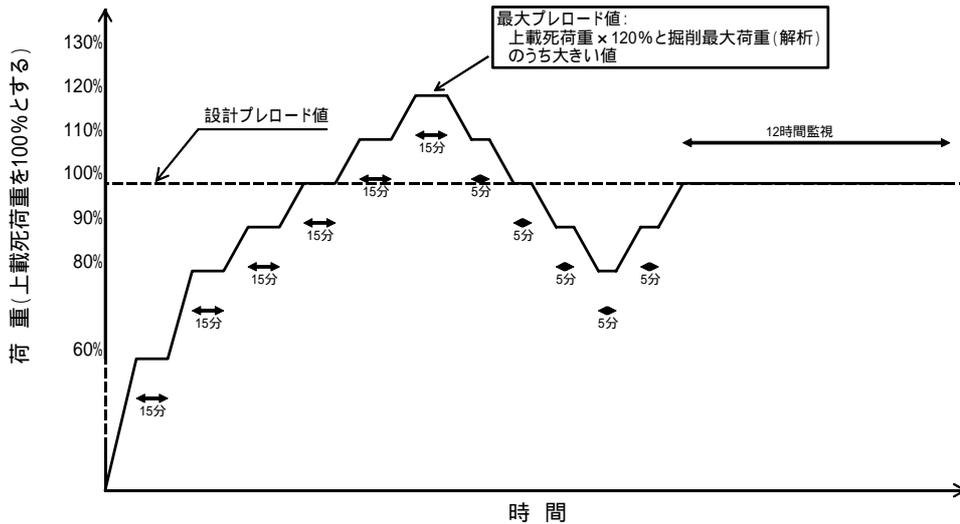


図-9 初期プレロード荷重ステップ

b) 調整プレロード

全ての受桁設置後、既に初期プレロードが荷重されている受桁の荷重にバラツキが生じている場合は、荷重バランスの調整を行い各仮受杭に作用する荷重の均等化を図った。

調整プレロード荷重の設定は、各杭のプレロード荷重の合計まで荷重することとした。

(5) 掘削時の支持力確保

掘削により減少する周面摩擦抵抗力が杭根入れ部に移行して沈下が生じると考えられた。そのため、打設した杭を用いて鉛直荷重試験を行い、杭の支持力及び周面摩擦抵抗の分布状況を確認し、杭根入れ部へ移行する増加荷重を推定した。

以下に鉛直荷重試験結果について記す。

a) 支持力特性

多サイクル試験より、最大6000kNの荷重を荷重した結果、5000kN以上の荷重に対して若干の変化がみられたが、第1限界抵抗力には至っていないと考えられたため、極限支持力は概ね6000kN以上、許容支持力は5000kN以上と判断した。

b) 周面摩擦抵抗力

杭に設置したひずみ計により軸力を測定した結果を図-10に示す。ひずみ計を床付け深さに設置していないが、分布状況から考察すると、仮受け完了後の荷重3000kNを荷重時で、床付け付近において2500kN程度の荷重が伝達されており、床付け掘削による根入れ部の増加荷重は500kN程度と推定された。

(6) 両側掘削

平成20年6月開通に向け、工程を短縮する必要があった。そのため、当初計画の片側立坑からの掘削

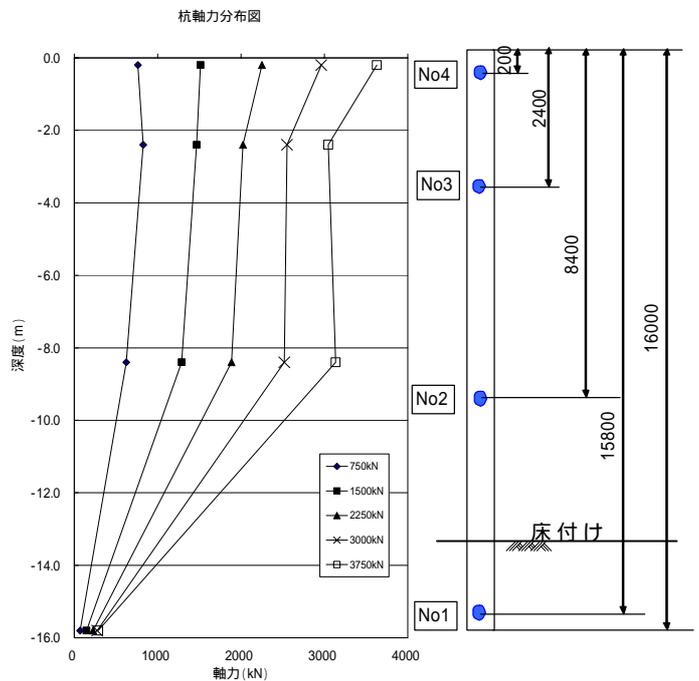


図-10 杭軸力分布図

を両側立坑からの掘削へと変更した。両側掘削ではパイプルーフの沈下が片側掘削に比べて大きくなるため、パイプルーフ中央部に設計強度 $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ ($10.0\text{kgf}/\text{cm}^2$)の薬液注入による高強度地盤改良を行うことにより、パイプルーフの沈下抑制を図った。

5. 計測管理結果

施工中に各埋設物と仮受け防護部材の変状を把握するため、各種計測器を取付け、予測値との比較を行いながら施工した。計測管理項目を表-1に示す。

表-1 計測管理項目

対象		計測項目	計測方法
埋設物	NTT大久保洞道 および明治洞道	ひずみおよび 内空変位	洞道内に光ファイバーによるひずみ計を設置
	第2戸山幹線下水	沈下	下水管に沈下棒を設置し、路上において下水管天端変位量を水準測量
	東京電力戸山洞道	沈下	洞道内に入坑し、下床高さを水準測量
仮受け防護	水平パイプルーフ	沈下	パイプルーフ鋼管内に圧力式沈下計を設置
	支持杭ジャッキ	ジャッキ圧力	ジャッキの油圧ケーブルに圧力変換器を設置
	支持杭	軸力	支持杭にひずみ計を設置。計測されたひずみを軸力に換算
沈下		支持杭に電子スタッフを設置して、自動レベルによる水準測量	



写真-4 パイプルーフ防護部仮受け完了時

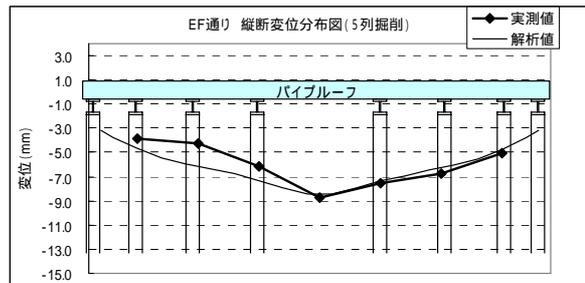


図-11 パイプルーフ防護部最終掘削時沈下量

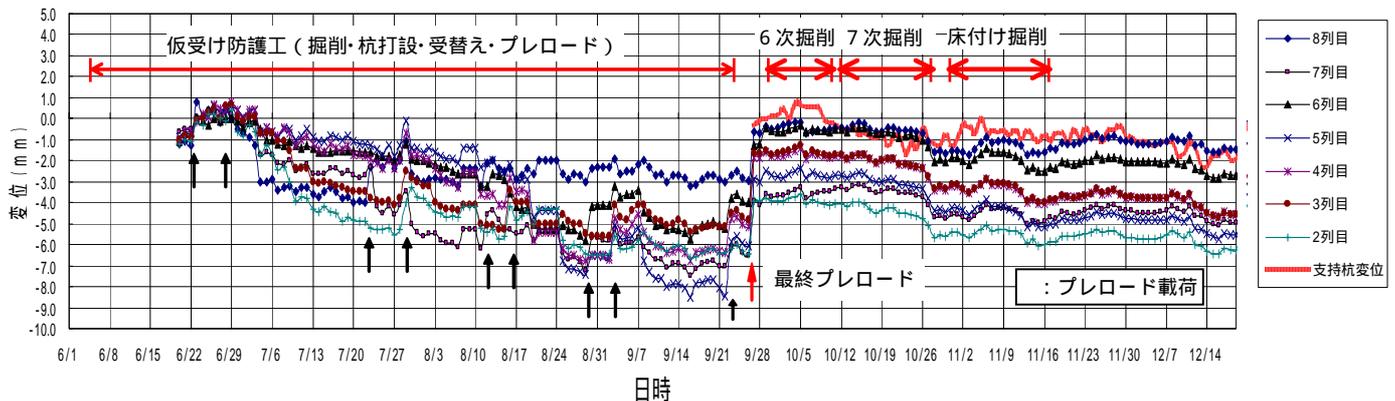


図-12 パイプルーフ圧力式沈下計及び支持杭電子スタッフ経時変化

(1)各埋設物の計測結果

パイプルーフ施工時には埋設物へ変状の影響が認められたものの、その後の仮受け時および床付け掘削時には、パイプルーフ等の防護工が有効に作用し、変位がほとんど増大することはなく、管理値内で掘削を完了することができた。

(2)パイプルーフ沈下量

a) 仮受けのためのパイプルーフ防護部掘削時

パイプルーフは、掘削時最大8.5mmの沈下予測値に対して最大約9mmの沈下を示したが(図-11参照)、最終プレロード完了時には最大約4mmであった。写真-4に仮受け完了時の施工状況を示す。

b) 床付け掘削時

パイプルーフは、5mm程度の沈下増分予測値に対して、約2mmの増加を示し、最終沈下量の最大値は約6mmであった。

c) 支持杭の沈下量

パイプルーフの沈下と類似した動きを示し、最終プレロード完了時を初期値とし、床付け掘削においては、約2mmの増加を示した。図-12にパイプルーフ圧力式沈下計及び支持杭電子スタッフの経時変化グラフを示す。

6. おわりに

本工事は平成19年3月現在、躯体構築もほぼ完成した。今回紹介した都市部の大深度でパイプルーフを用いた非開削工法が、今後の大深度地下構造物の施工に際しての参考になれば幸いである。