

地下鉄 13 号線渋谷駅建設工事における既設大断面駅のアンダーピニング工事

Underpinning Project of the existing huge-section station for Subway Line No.13 Shibuya Station

高橋聡¹・今井龍雄²・吉田敬³・小川和久⁴

Satoshi Takahashi, Tatsuo Imai, Kei Yoshida and Kazuhisa Ogawa

¹正会員 東京地下鉄株式会社 渋谷工事事務所 (〒150-0002 東京都渋谷区渋谷二丁目 18-4)

E-mail: sat.takahashi@tokyometro.jp

²非会員 東京地下鉄株式会社 渋谷工事事務所 (〒150-0002 東京都渋谷区渋谷二丁目 18-4)

E-mail: ta.imai@tokyometro.jp

³非会員 東京地下鉄株式会社 渋谷工事事務所 (〒150-0002 東京都渋谷区渋谷二丁目 18-4)

⁴非会員 鹿島・アイサワ・三菱建設工事共同企業体 営団渋谷 JV 工事事務所 (〒150-0001

東京都渋谷区神宮前六丁目 19-18)

Currently, Tokyo Metro is building the 8.9-km Ikebukuro-to-Shibuya section of subway Line No.13, starting from Ikebukuro Station on the Yurakucho Line (New Line), and has completed the crossing work at many points intersecting existing subway lines during excavation of the station sections.

This paper reports on the large-scale underpinning work for the Subway Hanzomon Line that passes through Shibuya Station on Line No.13.

1. はじめに

東京地下鉄(株)は 1951 (昭和 26) 年の丸の内線建設工事着手以来、50 年以上の長きに亘り地下鉄建設を行ってきた。その技術の集大成として 2001 (平成 13) 年 6 月より、8 番目の建設路線である地下鉄 13 号線の平成 19 年度開業を目指し建設を開始した。13 号線は有楽町線の新線池袋を起点とし、明治通りを南下して新宿三丁目、明治神宮前を経て渋谷に至る、総延長 8.9Km の路線であり、途中 7 駅を建設する。(図-1、駅名は仮称) この路線は、池袋以西では有楽町線を経て、東武東上線および西武有楽町池袋線と、渋谷駅では平成 24 年度を目途に東急東横線と

相互直通運転を行なう予定であり、埼玉県南西部方面から都心を経由し横浜方面に至る広域的な鉄道の完成を目指している。また、当路線は池袋・新宿・渋谷の 3 副都心をはじめ既設鉄道駅と接続することにより鉄道利用者の利便性向上に資する鉄道ネットワークを形成する重要な路線であり、そのため多くの駅で既設地下鉄等との交差工事を行っている。本報告は其中で、渋谷駅建設工事における半蔵門線交差部既設大断面渋谷駅のアンダーピニング工事について報告する。

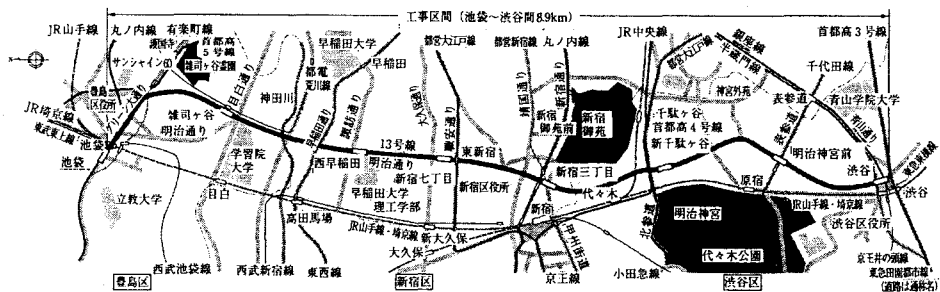


図-1 13 号線 (池袋～渋谷間) 平面図

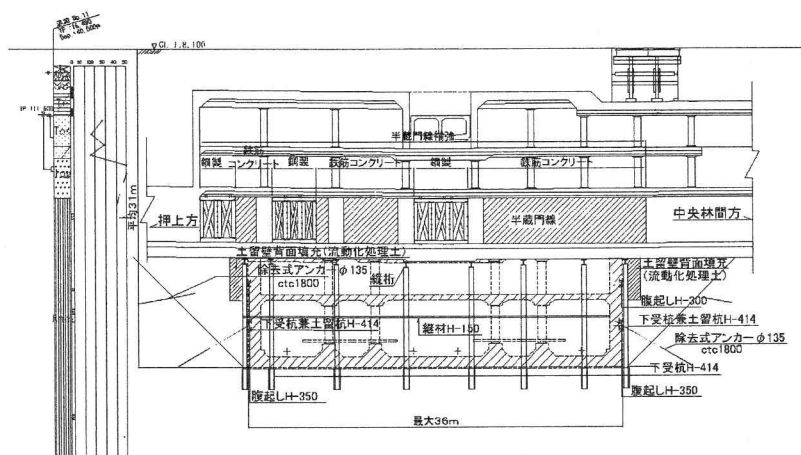


図-3 13号線交差点部横断面図

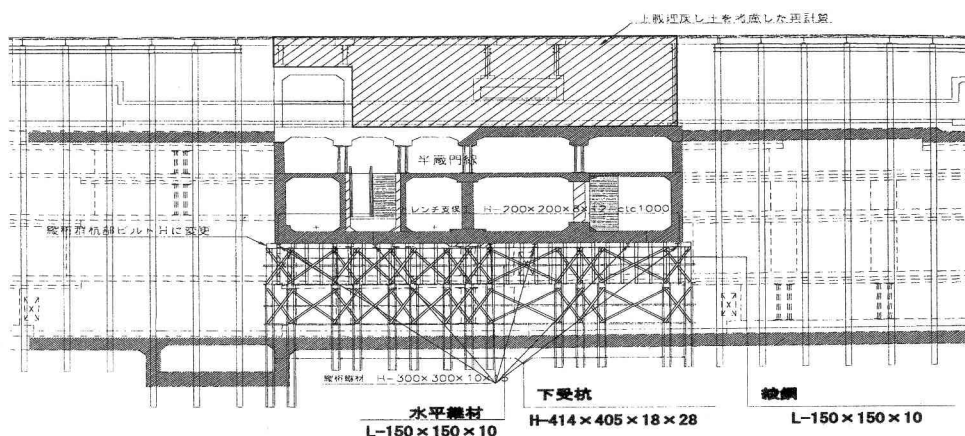


図-4 13号線交差点部縦断面図

(2) 既設構築の補強

東京地下鉄では、環境負荷低減と交通渋滞、騒音を減少させる目的から、交差点部分の施工法を見直し、路面覆い架設 1000 m²、掘削 4200m³の工事量を減らし、路面荷重と半蔵門線構築荷重を合わせた受替荷重 274,942KN に対しを下受支持杭のランクアップ (H-400→H-414) で対応した。半蔵門線は昭和 53 年 8 月の工事完成から 27 年が経過しており、アンダー

ピンング工事に先立ち 13 号線構築と直角交差となる範囲の半蔵門線軌道階部分について縦方向各桁・柱間に構築補強工事を行った。補強は影響範囲を含む構築内の柱・桁間を鉄筋コンクリート補強壁及び構築築造後撤去が必要な箇所には H 形鋼による鋼枠補強を採用し行なった。(図-5、-6 参照)

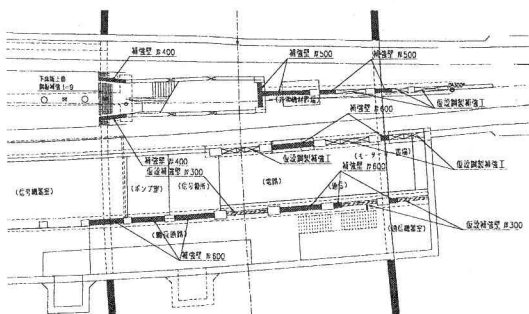


図-5 半蔵門線構築補強位置図

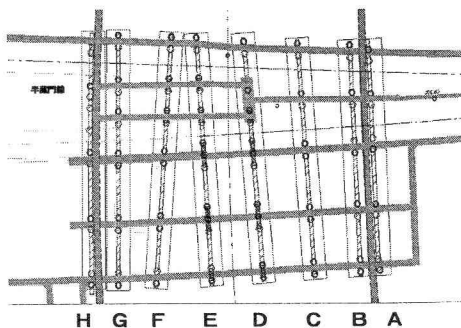


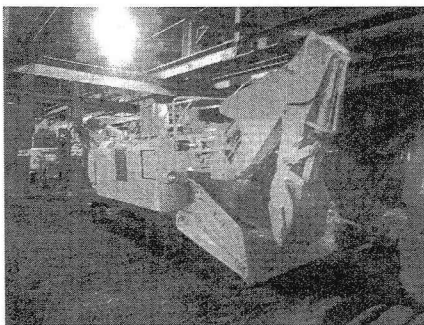
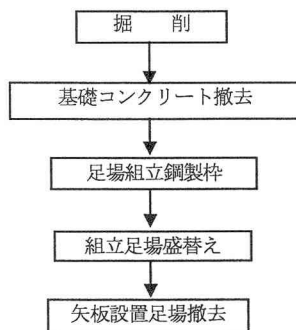
図-6 半蔵門線構築下導坑位置

4. 施工

(1) 導坑トレンチ掘削

下受け支持杭を施工するための導坑掘削（幅 2.5m、高さ 4.0m）は、13 号線の駅構造から半蔵門線表参道方より A～H の計 8 列（27m～31m）とし、自立性の高い土丹層の支持地盤で半蔵門線構造物に影響を与えない施工空間とした。期間は平成 16 年 12 月初から平成 17 年 3 月中旬までで、順序は下受状況や施工性・施工時期を考慮し、E, C, A, D, H, F, B, G の順で掘削を行った。

各導坑の掘削は渋谷駅掘削工事の進捗状況および作業条件から駅終点方の恵比寿側から、約 2m を 1 サイクルとし、先端アタッチメントをブレーカーまたはバケットにて削り掘削土を背面に搬出できるシャフローダー〔KL20〕（写真－1）を使用し、掘削残土はクロラダンプ（4 t）にて掘削開口まで運搬集土し、工事用地内の開口部より搬出した。1 サイクル終了後、基礎敷コンクリート、基礎敷砕石を撤去後、土留支保工（H-200×200）を 1.0m 間隔に架設し、側面を横矢板にて土留を行なう方法を採用した。導坑掘削の施工フローを下記に示す。



写真－1 シャフローダー〔KL20〕全体写真

(2) 仮受支持杭打設

作業は、導坑の狭隘な作業スペースでも施工可能な改良 BH 工法を採用した。一般的な BH 工法では、泥水を正循環させることで削孔汚泥を回収し、土質に応じた濃度の泥水を送ることで、孔壁内にマッドスクリーンを形成し、孔壁の安定を図っている。しかし、正循環の為、削孔底にはスライムが溜み易く、更に孔壁にベントナイトが付着している為、一般的に支持力に関する信頼性が低い工法であるため、本工事では営業線の受替支持杭として使用するため確実な支持力確保が必要であること、削孔対象土が土丹層のみであることから、事前に先端ビット改良の BH 杭（削孔ビット先端を二種類、2 回施工）の支持力確認試験を行い地山の特性を利用した改良 BH 工法にてスライム及びマッドスクリーンの完全除去を行なう施工を行い、受替後の支持杭沈下を抑制した。順序は導坑掘削の終了を待って行なっていくため、平成 17 年 1 月中旬より開始し平成 17 年 4 月中旬に終了した。

表－1 仮受支持杭施工数量表

導坑名	削孔径	芯材形状	削孔長	本数
A	φ 700	H-414×405×18×28	8.2m	19
B	φ 700	H-414×405×18×28	8.2m ～ 11.9m	12
C	φ 700	H-414×405×18×28		12
D	φ 700	H-414×405×18×28		12
E	φ 700	H-414×405×18×28		12
F	φ 700	H-414×405×18×28		12
G	φ 700	H-414×405×18×28	8.2m	12
H	φ 700	H-414×405×18×28		21

a) 改良 BH 工法の根入れ部分再削孔

硬質粘土層である土丹削孔用のビットは、図－7 に示す通りウィング状のビットである為、通常ビット長さに応じた余掘り部分が発生する。なお、ビット長さは削孔精度と関係し、ビル近接側杭等地上から東京礫層を抜く場合などには、ビット長さを長くして施工した。当該施工箇所は半蔵門下部の削孔で杭長が 8.0m

～12.0mと比較的短く均一層である為、ビット長を短くし、1次削孔終了後改造ビットに付け替え、先細り部分を削り取る。根入れ部分の再削孔を行なうことにより、根入れ部分のマッドスクリーンを除去する。

b) 削孔時のスライム管理

自立性の高い土丹層削孔では、著しく濃度の低い泥水で削孔ができるため、スライム量は砂質土削孔の時と比べると、少なく抑えることができる。再削孔時水のみで削孔し、スライムを更に取り除くことが出来た。

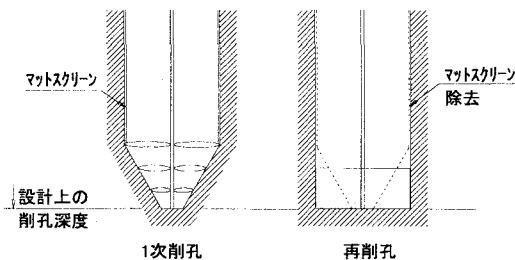


図-7 改良BH工法図

c) 削孔径の拡大

導坑内における杭材の建込みは空頭制限の為、杭を高所から建て込むことができない。削孔精度が求められる中、削孔機の自重が軽く、孔壁の穴曲がりの懸念もあり、削孔断面と杭芯が偏芯した場合、削孔断面内にモルタル欠損が懸念された。当該杭に対するモルタル注入パイプは、通常1本で行うところを杭材ウェブ両側に2本配置し、モルタルがより確実に充填できるよう対策を行なった。また、偏芯のケースにより、モルタル欠損部が生じる恐れがある為、杭材から決まる通常の削孔径(φ600)より大きな削孔径(φ700)とし、モルタル塊の先端・周面両面積を確保した。(図-8参照)

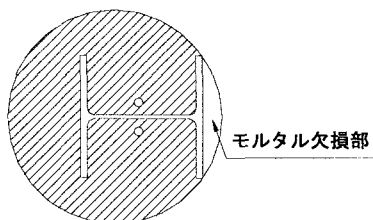


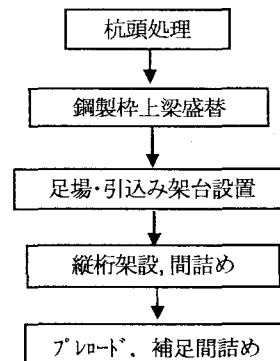
図-8 削孔径の拡大図

d) 仮受支持杭施工

施工は導坑掘削完了順序に従い始点方から行なう。導坑の内空高さが4mと低い為、削孔ロッドは1.5mを継いで行い、杭はL=1.8～2.5mの継ぎ杭を使用する方法で導坑両端のA、H導坑については支持杭と土留杭を兼用(削孔径φ700 芯材H-414)、中間のB～G導坑は支持杭(削孔径φ700 芯材H-414)とした。プラント設備は設置スペース及び維持管理の上で、路下GL-24mの導坑掘削底面と同じ施工基面上に設置し、各導坑へは、掘削作業に支障とならない配管・配線にした。狭隘なため、削孔完了後に削孔機を導坑外に移動し、6t吊钩クレーンを使用して芯材を導坑内に運搬し2.6t吊钩クレーンで吊込みながら高力ボルトにて締結する方法で行なった。注入は路上から路下のモルタルポンプへ一次圧送し、中間支持杭は根入れ2m分のモルタルを打設し、残り部分には流動化処理土を打設した。また、土留杭兼支持杭は削孔深さ全長に渡りモルタルを打設し、背面の緩みを抑制した。

(3) 半蔵門線仮受工

仮受替工のフローチャートを下記に示す。



a) 杭頭処理

導坑内にビティ足場を設置し、始点側坑口に縦桁引込み用架台を設置し、各導坑における半蔵門線構築高さに合わせて、仮受支持杭の頭部に所定長(3.8m)の杭材を継ぎ足し(高力ボルト継手)、仮受杭の頭部をバール切断し、トッププレート(PL-22*450*450)を溶接する。

(写真-2 中間支持杭)

b) 鋼製枠上梁盛替

縦桁架設に支障となる土留鋼製枠上梁 (H-200×200, L=2.4m) を半蔵門線構築下面から約 0.7m 下に盛替る。なお、盛替えに際してはパイプサポート等にて上梁下部の仮受けを行った。

c) 足場・引込み架台設置

足場・引込み架台設置は下受杭施工基面(構築下面 -4.0m) 上に、ヒッチ棒および単管を用いて作業足場の設置、足場は下受杭の両側に手摺足場間を設置。縦桁 (H-478×447×60×60, 鋼材補強板付) を杭頭上に引込むための引き込み架台を、始点側導坑口部に H 鋼およびサロコバントを用いて設置し、杭頭と盛替えた鋼製枠上梁にローラーを設置した。

d) 縦桁架設、間詰め

縦桁架設は、導坑口に設置した架台から杭頭上に、ローラーコンベアーとウインチで縦桁を端部まで引き込み添接プレートにて隣接桁および杭頭プレートとボルトにて固定。縦桁設置完了後はフラットジャッキ設置箇所を除く半蔵門線構築と縦桁との間に間詰め鋼製プレートおよびライナープレートを挿入した。(写真-3 縦桁挿入)

e) プレロード、補足間詰め

縦桁架設後のプレロードは、各導坑内の桁毎に受替用フラットジャッキ (FJ-120, FJ-170, FJ-250) を支持杭上の縦桁上と半蔵門線構築間にセットし、終車後のキ電停止を待って平成 17 年 2 月中旬より開始し平成 17 年 4 月中旬に終了した。受替は半蔵門線駅部構築下床を反力にして、プレロードを行い、沈下変位を促進させて仮受時の沈下を防止する方法で行なった。加圧作業により下受杭上にセットした鋼製間詰めと構築下床面に隙間が生じた場合は、鋼製ライナープレートを更に打込み、上載荷重を下受桁全面に分散させる方法をとった。なお、プレロード載荷時は半蔵門線構築に悪影響が生じないように、半蔵門線構築及び仮受杭の変位等を計測しながら行なった。

(写真-4 プレロード)

プレロード順序

①配置・配管

受桁上の所定の位置(支圧鋼板上)にフラットジャッキを配置し、連動配管の接続する。加圧器(水圧ポンプ)を連動配管に接続する。

②半蔵門線構築との間隙埋め

フラットジャッキ上面に鋼製プレートおよびライナープレートを使用し可能な限り間隙を埋める。また、横梁上の中間部に鋼板およびクサビ状鋼板を積層配置セットし間詰する。

③エア抜き

加圧器を操作し配管とフラットジャッキ内のエア抜きを行なう。また、フラットジャッキの位置の確認と修正を行なう。

④安定荷重の導入

加圧を開始し、安定荷重 (2N/mm²) に達するまで加圧を行なう。半蔵門線構築及び下受杭の変位計測を行い、計器を 0 設定にし、全てのストップバルブを閉じ準備作業を終了する。

⑤加圧作業

終車後キ電停止を確認し、導坑内の全てのフラットジャッキに同時に圧力導入を行ない、構造物の異常を監視しながら加圧ステップに沿って加圧を行なう。(加圧ステップ: 60%, 80%, 90%, 95%, 100%) 各ステップの圧力に達したら加圧作業を一旦止め、計測を行なう。同時に構造物に異常が発生していない事を確認する。ジャッキが支持杭の一番低い所定圧力に達したら加圧作業を一旦止め、該当個所のジャッキ注入側ストップバルブを閉じる。計測及び構造物の点検を行う。前項の作業を繰り返す。最大導入目標圧力まで順次加圧して行く。ただし、変状が一次管理値 (3.5mm) に達した場合は、その時点にて加圧作業を終了する。作業時間は 5 分間加圧し、その後 5 分間計測する。これをステップ毎に繰り返す。加圧終了後、1 時間沈下状況を確認し、動きが無ければ作業を終了する。

⑥間詰め

加圧作業により下受杭上にセットした鋼製間詰め

と構築下床面に隙間が発生した場合は、鋼製ライナープレートを更に打込み、上載荷重を下受桁全面に分散させる。

f) 樹脂注入

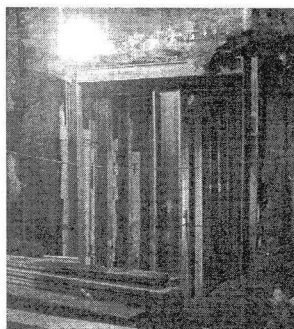
下受桁の動きが止まり、下受桁と構築間の間詰め作業が完了した後に、フラットジャッキ内の水を抜き樹脂に交換する注入を行う。施工手順は連動配管の加圧機器接続口からコンプレッサーによりエアを送り、配

g) 計測

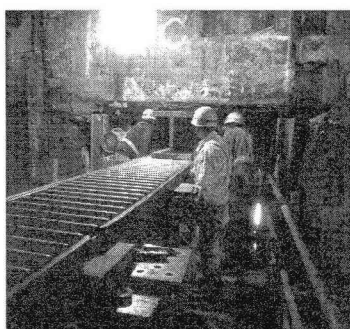
計測管理は現在を行っている計測システムを利用する。ただし、計測間隔を2分に設定して計測を行う。プレロード加圧作業時の管理基準は表－5のとおりとした。

表－5 プレロード加圧作業時管理基準

管理項目	管理値	備考
導入圧力	各ジャッキ毎に設定	変位管理基準値に達した時点で終了
躯体鉛直変位	一次管理値 3.5mm	半蔵門線軌道階設置各沈下計



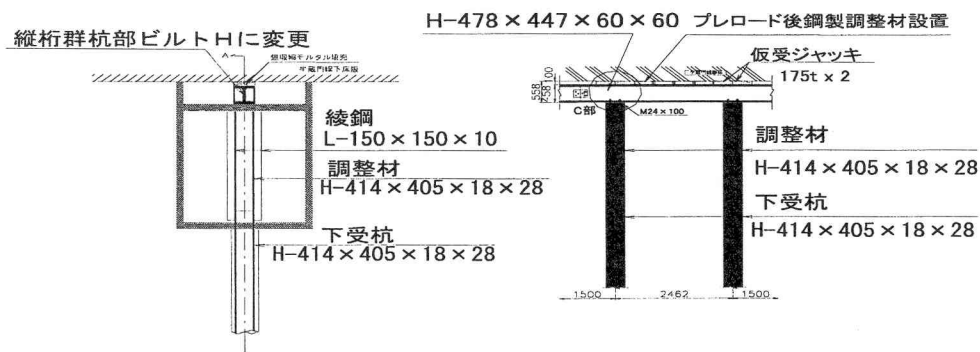
写真－2 中間支持杭



写真－3 縦桁挿入



写真－4 プレロード



図－9 仮受詳細図

(4) 抜き掘り掘削

抜き掘り掘削はプレロードが終了した隣接する導坑間から、導坑掘削で使用したシャフローダー

〔KL20〕および大型バックホウを使用し抜き掘りを行なった。抜き掘り掘削完了後、下受杭補強材と共に半蔵門線下即部に除去式アンカーを二段施工し、床付けまでの掘削を順次行なっていた。

5. 計測管理

計測管理は13号線渋谷駅工事に伴い、半蔵門線の運行に支障がないよう軌道階に計測機器を設置し行なった。機器は変状発生の事前予知と万一変化が発生した場合、直ちに対策が講じられるようその挙動について常時監視を行い、13号線と交差する半蔵門線構造物の保全と安全運行を確保する。計測データはNTT回線により計測室管理装置で管理を行なう。計器類のトラブルや異常に対応するため、また構造物縦断方向の変状確認のため、月1回の水準測量も合わせて行なっている。管理は、半蔵門線軌道位置に設置した水盛式沈下計にて自動計測を行い、管理基準値を一次管理値 $\pm 3.5\text{mm}$ 、二次管理値 $\pm 5\text{mm}$ に設定し、必要に応じて施工手順、施工方法の見直し等の対応を13号線開業まで行なうことにしている。

6. まとめ

工事は現在銀座線交差部を残し本線部の掘削を完了し、軌道階の構築を築造中で、今後半蔵門線構築を13号線構築で受け替える予定である。今回半蔵門線軌道階に設置したA・B線各8か所、計16か所の沈下計変位はプレロードにより13号線構築内の下受支持杭部（A・B線各4か所の計8か所）が $+0.3\text{mm}$ から $+3.5\text{mm}$ 、影響範囲部で $+0.1\text{mm}$ から $+2.7\text{mm}$ の隆起が見られたが、一次管理値（ $\pm 3.5\text{mm}$ ）内で納まった。また、樹脂注入に置換を行ったが変位は発生しなかった。その後の抜き掘り掘削以後の工事による沈下変位は 0.1mm から 1.0mm 程度であり、半蔵門線アンダーピニング工事は列車運行に支障を与えることなく床付け掘削まで終了した。今回用いたフラットジャッキ使用によるアンダーピニングは従来の油圧系ジャッキ使用に比べ経済的な受替方法の目的を果たすことができた。

これからも半蔵門線列車運行に支障ないよう日常の計測管理により13号線開業まで安全に工事を進めて行きたい。