

泥水圧式シールド通過に伴う地下鉄躯体への防護対策工の選定について

首都高速道路公団 正会員 ○石原 陽介
首都高速道路公団 正会員 角田 浩
首都高速道路公団 正会員 小西 由人

1. はじめに

首都高速中央環状新宿線は、東京都目黒区青葉台四丁目を起点に山手通り（環状6号線）をトンネル構造で北上し、板橋区熊野町を終点とする延長約11kmの自動車専用道路である。このうち、中野区東中野から新宿区中井までの延長約570mの区間においては、掘削外径 $\phi 11.420\text{m}$ （セグメント外径 $\phi 11.220\text{m}$ ）の泥水式シールド工法にて往復する並設トンネルである。本工事では、上落合二丁目交差点位置において、シールドマシンが営団地下鉄東西線落合駅直下を最小離隔5.365mで下越しする計画となっている。本稿は、シールド通過時における地下鉄躯体への防護対策工の選定に関する報告である。

2. 近接概要

東西線近接位置平面図を図-1に、断面図を図-2に示す。本シールドトンネルは、東西線下横断面において、NTTとう道（ $\phi 4,450$ ）、都営地下鉄大江戸線（ $\phi 5,400$ ）とも近接した施工となる。地質構成は、上位より関東ローム層（Lm）、武蔵野礫層（Mg）、東京層礫（Tug）、東京礫層（Tog）、江戸川層粘性土層（Edc）、江戸川層砂質土層（Eds）が堆積している。

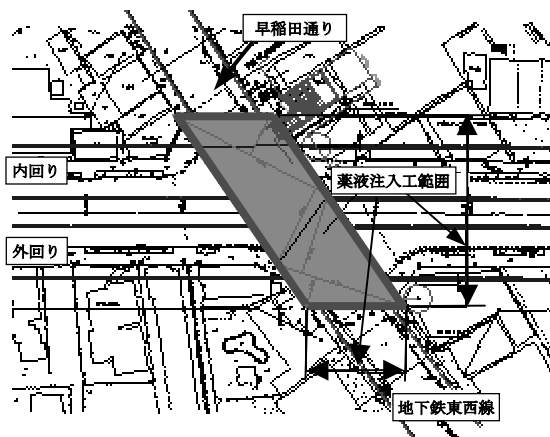


図-1 東西線近接位置平面図

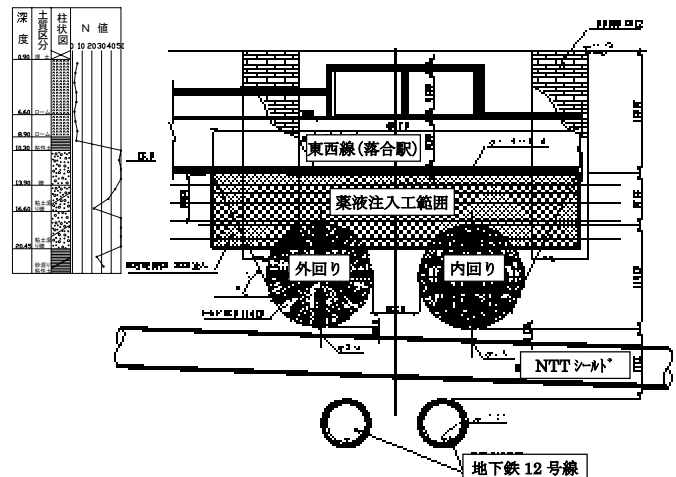


図-2 東西線近接位置断面図

3. 防護工の選定について

本シールド通過に伴い、東西線への影響解析を、2次元弾性FEM解析及び、弾性床土上の梁による解析にて行った結果、東西線躯体の沈下量は、最大5.56mmとなり、営団の許容沈下量である5.0mm以上の沈下が予測されるため、東西線の防護工が必要であると判断した。そこで、東西線の沈下を抑制するための防護工の一次選定を行うため、以下の3ケースに大別し、本工事への適用性・工費・工期等を検討して工法の選定を行った。

- ①地盤改良により地盤強度を増加させて地盤沈下を抑制する方法（薬液注入工法、高圧噴射攪拌工法）
- ②先受けにより地盤沈下を抑制する方法（パイプルーフ＋薬液注入工法）
- ③東西線躯体を直接支持する方法（アンダーピニング工法）

この結果、東西線の防護工は、施工条件、改良特性、工期・工費に優れた①の方法を採用することとした。次に、防護工の二次選定を施工方法により以下の4つに分別し選定を行った。薬液注入工の施工方法としては、キーワード シールド工法、近接施工、都市内高速道路、トンネル、防護工

①シールド機内より注入する方法、②地下鉄構内より鉛直に施工する方法、③地下鉄側部に設置した立坑から水平注入する方法があり、高圧噴射攪拌工法については、④地下鉄構内より鉛直に施工する方法のみ考えられる。また、改良範囲である土層は礫層である。シールド機内から注入を行う場合、シールド機前方の改良を行いながら掘進することになり、工事全体の工程に大きく影響を及ぼす。さらに、隣接工区との工程調整の結果、長期間にわたりシールドが地下鉄躯体下方に停止するため、地下鉄への影響の増加が懸念される。一方、地下鉄構内より注入する方法は、地下鉄運行中における作業が不可能であるため、工期が増大するという問題点がある。そこで、本工事では、東西線側部に立坑（φ6000mm 深礎工）を2基設置し、立坑からの水平注入により施工を行うことにした。水平注入することにより、注入管の削孔本数を減じることができ、工期短縮が図れる利点もある。

最後に薬液注入工法に関して、ダブルパッカー工法、二重管ストレーナ工法及び、ダブルパッカー工法に一部改良を加えた工法（以下、改良ダブルパッカー工法と称す）の3つを比較した。比較表を表1に示す。

表－1 薬液注入工法に関する比較表

	ダブルパッカー工法	二重管ストレーナ工法	改良ダブルパッカー工法
概要	・ケーシングにより注入予定深度下部まで削孔を行い、ケーシング内に注入用外管を挿入した後ケーシングを引抜く。 ・外管と地山との間の空隙をセメントベントナイトで充填し、管周囲のシールを行う。 ・注入は注入用外管の内に注入用パイプを挿入して行う。	・二重管ロッドを用いて注入予定深度まで削孔を行い、削孔完了後、二重管ロッドの内管、外管に各々送液し、先端部で合流させることにより、瞬結性注入材として注入する工法である。	・ダブルパッカー方式のスリーブグラウトに加え、注入区間上下に特殊なスリーブパッカーを形成し、注入薬液の逸脱を防止する。特殊スリーブパッカーは、対象地盤に注入材を均等に注入する役目を持っている。
長所	・長いゲルタイムの薬液を緩速注入することにより、より均質な改良を可能にする。 ・低い圧力で注入できるため、重要構造物の直下や埋設物に非常に近接した位置での注入では、それらに対する影響を少なく抑えることが可能である。	・非常に短いゲルタイムの薬液を注入するため、注入材の逸脱が少なく、希釈に対しても強い。 ・ダブルパッカー工法、改良ダブルパッカー工法に比べ経済性に優れる。	・大きな注入速度で薬液を地盤に注入できるため、大型改良体の造成が可能であり、ダブルパッカーに比べて削孔本数を減らすことが可能である。 ・低い圧力で注入できるため、重要構造物の直下や埋設物に非常に近接した位置での注入では、それらに対する影響を少なく抑えることが可能である。
短所	・二重管ストレーナ注入工法に比べて工期に劣る	・ダブルパッカー工法、改良ダブルパッカー工法に比べて注入圧が高いため、注入時に地下鉄構造物を隆起させる可能性が高い。	・二重管ストレーナ注入工法に比べて工期に劣る
判定	△ ・地下鉄構造物を隆起させる危険性が低く、確実な注入が可能である。	× ・注入圧により地下鉄構造物を隆起させる危険性がある。	○ ・地下鉄構造物を隆起させる危険性が低く、確実な注入が可能である。また、ダブルパッカー工法より削孔本数が少ないことから、工期工費共に優れる。

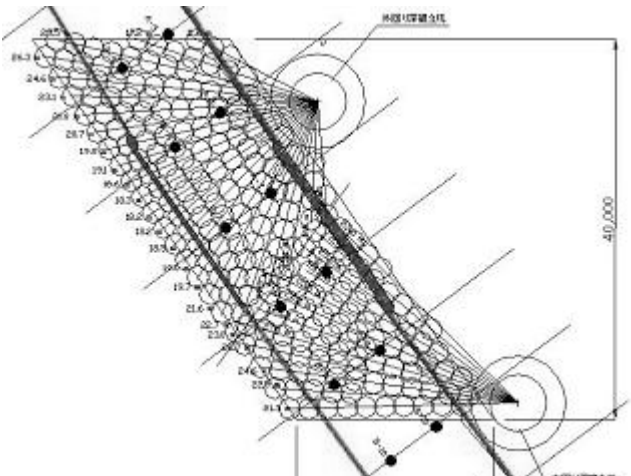
以上の比較より、地下鉄躯体に及ぼす影響が一番少なくなかつ、経済性に優れていることから、本工事では改良ダブルパッカー工法を採用した。図－3に改良ダブルパッカー工法の施工図を示す。

4. まとめ

本工事における東西線交差部の、防護工の選定の結果、当該施工条件に十分配慮し、工期・工費に優れ、対象構造物への影響が最も小さくなる深礎立坑からの水平薬液注入工法（改良ダブルパッカー工法）を選択するとともに、慎重な掘進管理を行うものとする。ただし、土質の不均一性、予想外の地下埋設物の出現、その他予期しない要因により、東西線の沈下量が許容値を超えた場合には、以下のような対応を行う計画である。

①シールド通過中については、シールド機内に装備している注入管（2B×12本×2列）より地山に2次注入を行う。

②シールド通過後に後続沈下が生じた場合は、セグメント頂部に設けたグラウトホールより裏込め材の補足注入を行う。また、シールド通過時に生じた沈下に対しても、シールド通過後セグメントグラウトホールより地山に2次注入を行う。



図－3 改良ダブルパッカー工範囲 平面図