

「営業線直下における3連NATMの施工」

— 東急東横線反町駅地下工事 (その1) —

Construction of a triple-spectacle-shape tunnel beneath operating railway tracks

小林理志 1) 関 聡史 1)

Masayuki KOBAYASHI, Satoshi SEKI,

坂田真一 2) 松岡誠一 2) 藤井広志 2)

Shinichi SAKATA, Seiichi MATSUOKA, Hiroshi FUJII,

The underground railway project progresses to relocate the operating railway on the surface in Yokohama city of Metropolitan area. Especially in soft ground with shallow cover, tunnel is excavated by shotcreting method, and various auxiliary measures and monitoring control system are employed because of the need to secure operating track during the excavation. In this project, an approximately 2km long section near Yokohama station, is being relocated to underground railway to enable through train service with the new subway line. The construction of underground relocation is being performed by shotcreting method as selected by considering the topography, geology, depth of cover, and adjacent structures in each section. This paper describes construction of the urban tunnel just beneath operating railway.

Key Words: urban tunnel, soft ground, shallow covering

1. はじめに

近年大断面かつ低土被りの都市トンネルをNATMで施工する事例が増加しており、補助工法の発展ならびに計測・解析技術の進歩等により、その可能性は飛躍的に伸びてきている。東急東横線地下化工事は、東白楽～横浜間の約2kmに及ぶ区間を現在線の直下に構築し、「みなとみらい21線」と相互直通運転するために行うもので、東白楽駅付近から徐々に地下に入り、反町を地下駅とし、横浜地下駅で「みなとみらい21線」に接続する計画である。

当工事は、そのうちの反町駅部分における地下化工事(延長210m)であり、軌道仮受直下の立坑を発進基地として、渋谷側40mと横浜側140mにわたって3連めがねトンネルを吹付け工法で施工する。この地下化工事は、営業線直下に沿って土被り15m程度で平行に3径間のめがねトンネルを掘削するといった世界的に類の無い施工事例であり、地上部や地中には多くの重要構造物があることから、周辺構造物沈下等の影響が生じない配慮が不可欠であり、補助工法の活用はもとより、計測技術を駆使した万全の安全管理体制を敷いて施工した。

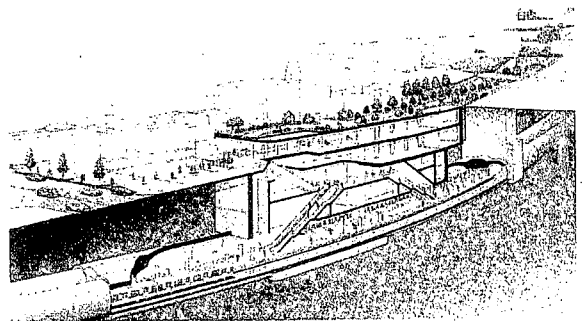


図-1 反町駅地下化イメージ図

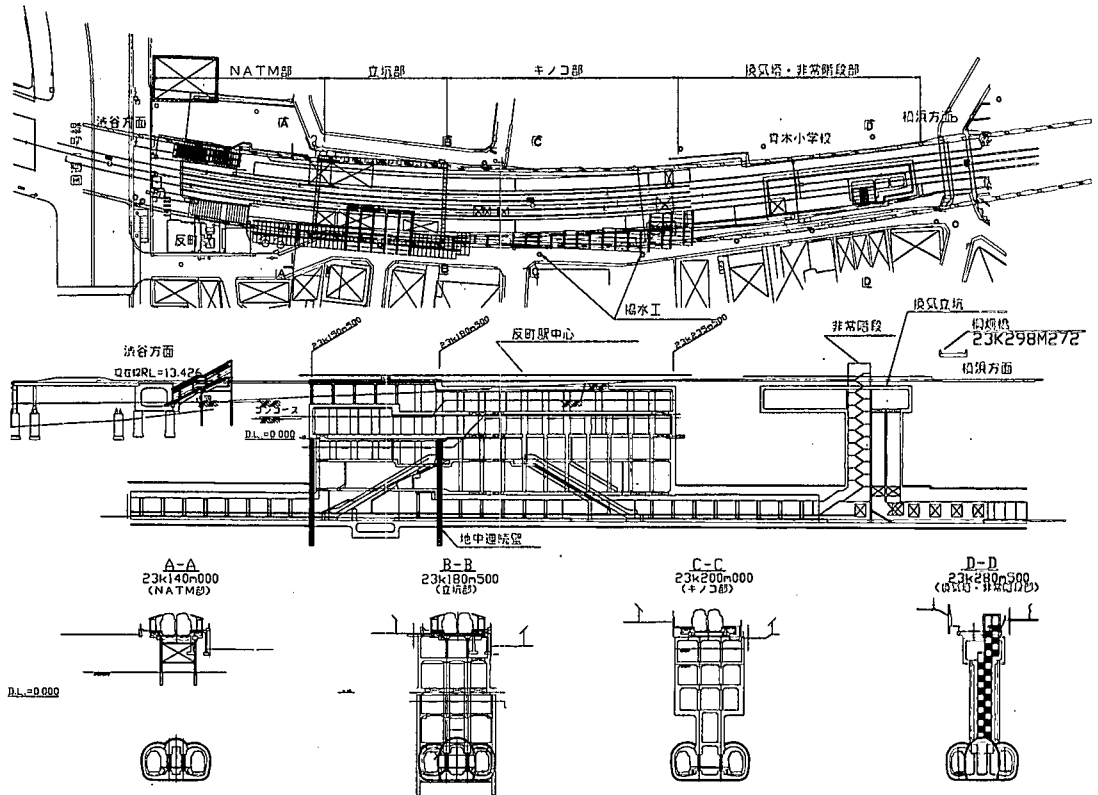
1) 正会員 東京急行電鉄㈱

2) 非会員 鹿島建設㈱

2. 地下駅部工事の概要

反町駅は、道路や民地に接しており、用地面で余裕がない。図－2 A-A断面に示すように3連めがねトンネルの断面は、中央坑部分が島式ホームとなり、その両側に付随する左右坑の部分を上下線が走行する構造である。

図－2に当該工事の平面図及び代表的な断面図を示し、以下、代表断面について、その概要を説明する。



図－2 反町駅計画図

① A－A断面(吹付け工法区間)

駅の最大幅員は18.5mと広いことから、トンネル断面を3分割して施工する。加背も各々の分割断面毎に上半・下半・インバートに分けて掘削した。施工順序は中央坑を掘削し、躯体を構築することで安定化させた後、左右坑の掘削を左右交互に掘削することで中央坑や上部軌道への影響を抑制するような施工方法・順序を採用した。

② B－B断面(開削部)

地下4階までを開削で施工するもので、鋼製地中連続壁を土留め壁とし、グラウンドアンカーと切梁を併用して掘削を行う。また、トンネル施工時は仮設備設置や土砂搬出用の立坑として使用した。

③ C－C断面(吹付け工法区間＋開削部)

地下3階までの駅施設開削部と地下4階のトンネル部が地中接合する区間で、トンネル掘削と開削の双方の影響を考慮しながら施工する。開削部の掘削によりリバウンド(浮き上がり)の発生やトンネル上部のグランドアーチの破壊によるトンネルへの荷重増加など不確定要素が懸念材料であった。

④ D－D断面(吹付け工法区間＋開削部)

となり、鉄筋籠を組み立てるスペースの確保が困難でかつその継手数が多くなり従来の鉄筋籠方式では施工効率が悪い。

また、コンクリートについては、エレメント全体にコンクリート充填させるため普通コンクリートでは困難であると判断し、高流動コンクリートを用いた。

4.2 連続掘削機の選定

連壁掘削機の選定は、上記施工空間の制約条件下で施工可能な機種を選定を行った。それぞれの検討対象機の施工性と今回工事の掘削・芯材建込みサイクルタイムの関係から、BMX-120を採用することとした。しかし、既存のままでは施工が不可能であるため、BMX-120掘削機とMDR-200台車の組み合わせに排泥ホースドラムを施工可能な幅に起こした(15°で約10cm縮小)構造に改造して採用した。またこの機種は、騒音の発生が大きい油圧ユニット部が掘削機本体に組み込まれているため地上部分の騒音が抑えられるという特徴も合わせ持っている。

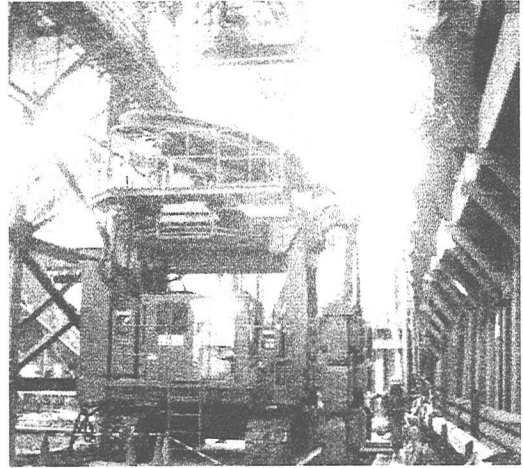
4.3 芯材建て込み機の選定

芯材であるNS-BOXは、H形で断面は800×800・L=55.1mで1条あたりの重さは16tである。このNS-BOXの継手箇所数を極力抑えるため、通常のクローラークレーンでは、ブームの長さや吊り代(NS-BOX一節の長さ)、作業空間に問題があると判断した。

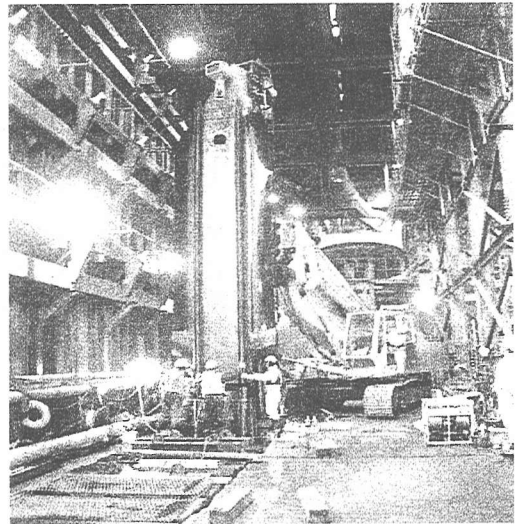
そこで、NS-BOX建込みに実績のある、FPオーガ杭打機を改造したFP建込み機を採用することとした。この機械を採用することにより、1条当たり11節、1節当たり最長で6.4mとすることが出来た。

5. 吹付け工法区間+開削部の施工

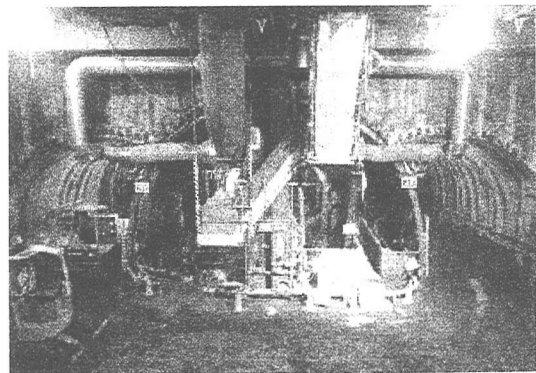
吹付け工法区間+開削部は駅施設開削部とトンネル部が地中接合する区間であり、その複雑な形状から慎重な設計検討と厳しい施工管理が要求された。本章では、当該区間の施工法ならびにトンネル補助工法について述べる。



写真－1 連壁掘削機



写真－2 芯材建て込み機



写真－3 坑口部

5.1 施工順序

図-5に施工順序図を示す。

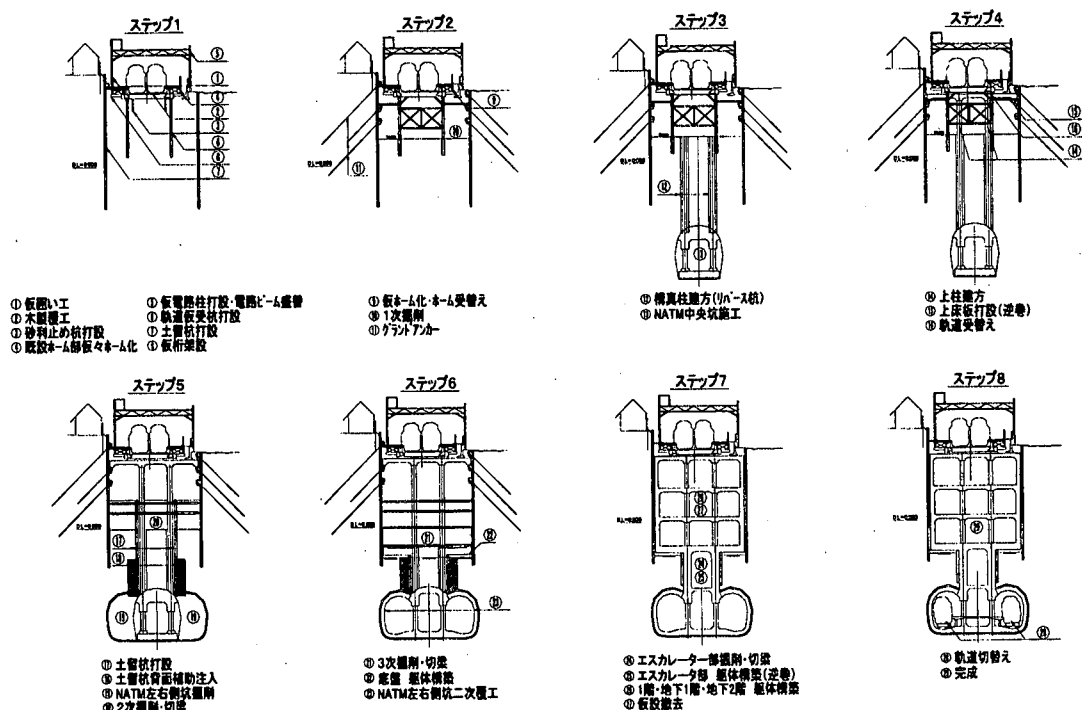


図-5 施工順序図

(1) ステップ1～2

最初に既設ホームを仮ホーム化し、軌道内より仮受け杭、ホーム外より土留杭を打設する。その後軌道下を掘削し、構真柱打設の施工空間を確保する。

(2) ステップ3～4

構真柱 (H-458×417×30×50) をリバース杭工法により打設する。その後吹付け工法により中央坑を掘削し、その内部にホーム部となる躯体を構築する。この時、構真柱の上下に底版とスラブをそれぞれ接続する。それにより、軌道下のスラブを構真柱を介して中央坑の底版で支える構造とし、軌道をそれに受け替える。

(3) ステップ5～6

エスカレーター部掘削用に土留杭及びその背面注入を上部開削部より行う。軌道部となる左右坑は吹付け工法により左右並行に掘削し、掘削完了後中央坑中壁を撤去して横断方向に貫通させる。上部の駅コンコース部は左右坑掘削完了後、順次掘り下げ底版を構築する。左右坑の覆工コンクリートも左右並行に施工する。

(4) ステップ7～8

エスカレーター部を掘削し、中央坑の天端に貫通する。その後、コンコース部及びエスカレーター部ともに、下から上へ順巻にて躯体を構築する。最後に軌道を切替えて、施工が完成する。

5.2 トンネル部の施工

開削およびトンネル掘削に伴う周辺構造物への影響を最小限に抑制するために各種の対策工を実施した。

(1) 地下水対策

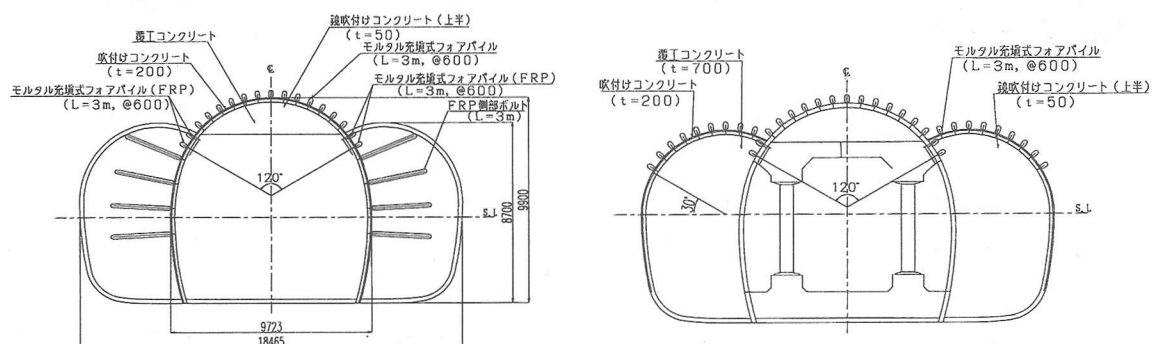
本工事で特に重要な対策であり、当初は薬液注入を予定していたが調査・試験を踏まえて揚水工法へ変更した。揚水井の施工は10～15m間隔でφ350～500mmの井戸を20本程度設けた。揚水量は当初600～800m³/日程度生じたが、

施工終盤では半分以下に減じた。揚水効果は明らかで、坑内の湧水はほとんど見られず、安定した掘削が可能になった。

(2) トンネル補助工法

トンネルは中央坑、左右坑とも上下半及びインバートに分割して早期閉合が図れるよう小さい断面で掘削した。施工は中央坑掘削後内部構築を完了させた後に左右坑の掘削と構築を行った。中央坑掘削時は3m長のフォアポーリングや上半仮インバートを実施しトンネル周辺地盤の緩みを抑制した。左右坑掘削時はフォアポーリングとともに、偏圧が作用しないように左右坑をほぼ同時に掘削することで軌道への影響を抑制しながら慎重に施工を進めた。

また、立坑より始点方では細砂層が優勢なため、湧水に伴う流砂現象で切羽が不安定になることが懸念されたが、掘削前に移動させていたディープウェルの効果により切羽からの湧水はほとんど見られなかった。互層部では局所的な湧水もあることから、鏡ボルト・鏡吹付け等の補助工法の併用により、切羽の安定化を促進すると共に中央坑には側部ボルトを用いて側圧対策とした。



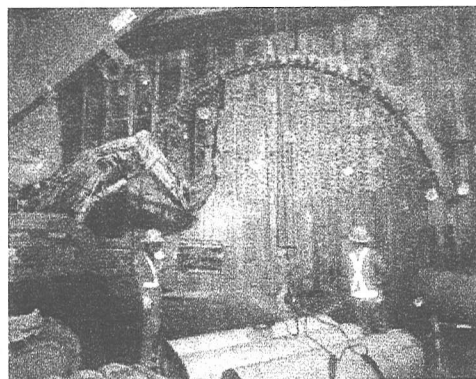
図ー6 トンネル支保工及び補助工法

(3) 発進時の施工

発進時はまず連壁を撤去する必要があるが、近隣への振動、騒音の抑制から以下の手順で施工を行った。

- ① 連壁芯材のフランジを切断。
- ② 油圧ジャンボにより $\phi 50\text{mm} \times L=800\text{mm}$ (芯材厚さ) の孔を200mm ピッチで穿孔。
- ③ 油圧割岩機にてコンクリートを割岩。
- ④ ブレーカ (900kg 級) にて破碎。
- ⑤ 背面のフランジを切断。

その後、パイプルーフ (AGF鋼管 $\phi 114.3\text{mm} \times 6.0 \sim 11.0\text{mm}$) を打設し、トンネル掘削を開始した。



写真ー4 連壁撤去状況

6. おわりに

本工事のような営業線直下でのNATM施工例は日本はもとより、世界においても類が無いと思われる。施工中における軌道の安全確保を大前提に情報化施工を駆使し、近接する住宅地への配慮や狭隘な場所での施工であるために設備・重機の選定配置に工夫をすることで、有害な変状及び不具合等も無く施工を行えた。

今後の都市再開発が見込まれる中、今まで困難とされてきた都市部・低土被り下でのNATMによる大断面化や断面形状の自由度が大きく広がり、地下空間への更なる可能性向上が確信できた工事である。

なお、本工事の計測に関しては別に掲載しているのでそれを参照されたい。