

地下鉄シールド駅の改修とホームデザイン

Refurbishment of an underground station constructed by the shield method and platform design

山村明義 * ・ 石坂利一 ** ・ 山崎隆司 ***

Akiyoshi YAMAMURA, Tosikazu ISHIZAKA and Ryuuji YAMAZAKI

Safety maintaining and managing underground structures over a long period of time is an important technical issue.

This manuscript will introduce a case study in which an underground station constructed by shield method was refurbished and the platform design of the same station was remodeled at the same time.

key words: underground station, shield method, ductile iron casting segment, refurbishment, platform design

1. はじめに

地下鉄は、東京地下鉄道(株) (現、帝都高速度交通営団 (以下、営団という)) により初めて、銀座線浅草～上野間 (2.2 km) を昭和2年に開業し、現在では全国9都市、約600kmの整備が進んでいる。

構造的には路面部からの開削工法による箱形トンネルが主であったが、近年では工事中の路面交通支障、輻輳する埋設物、トンネル敷設の深層化、施工技術の進歩などを背景に、シールドトンネルの割合が増えている。

この初めての地下鉄の生みの親と言えるのが、早川徳次東京地下鉄道(株)社長であった。早川は大正年間欧米に交通事情視察を行い、ロンドンの地下鉄網に圧倒され、路面電車を主体とする東京の交通混雑を解決するのは、地下鉄による交通整備しかないと確信し、幾多の困難を乗り越えて地下鉄の開業を成し遂げている。

このように欧米に遅れはしたものの、比較的早い時期から地下鉄という形で地下空間利用がなされてきたが、さらに本年、大深度地下利用法 (通称) の制定がなされ、電気、ガス、上下水道、道路、鉄道、河川等の事業を対象に地下空間利用の促進が求められている。

キーワード：地下鉄駅、シールド工法、ダクタイルセグメント、改修、ホームデザイン

*	正会員	帝都高速度交通営団	工務部	管理課
**	正会員	帝都高速度交通営団	工務部	機械工務区
***		帝都高速度交通営団	工務部	建築施設課

地下空間利用にあたっては、地下鉄で言えば既に南北線飯田橋駅～後楽園駅間において、地表面からの掘削深約45mに達し、大深度に匹敵する領域まで施工実績を上げており、運営上もノウハウを積重ねてきている。今後地下利用が拡大することを考慮すると、これまでの地下鉄の建設と維持管理において蓄積された技術の活用が必要になってくる。また多くの人が行き来する地下空間が快適に利用できるような内装デザインについても、一層の配慮が求められるようになってきた。

ここでは、地下空間利用の上で維持管理上、環境・心理上留意すべき事柄として、駅シールドトンネルの維持管理の一環として行った改修事例と、これに合わせて行った快適性を追求したホームデザインについて紹介する。

2. 駅シールドトンネルの概要

営団線における駅シールドトンネルは、並列した円形シールドトンネル内に各々のホームを設置して、シールド始端の立坑をコンコースとした東西線木場駅の「単線型駅シールド」工法から始まった。その後、円形シールドトンネルを2本並列に築造、さらに2本のトンネル間を切広げて接合し、島式ホームを設置する「かんざし桁式めがね型駅シールド」工法を千代田線新御茶ノ水駅で採用した。

なお、「単線型駅シールド」工法を採用した千代田線国会議事堂前駅では、お客様の利便性の向上を図るため、並列したシールドトンネルの離隔間に、上下線間のホーム連絡通路(幅員2.4m)を40m毎の間隔で設置した構造としている。

駅シールドの施工法は、その後のシールド機械の技術とシールドトンネルの施工技術の進展に伴い、その先進性と完成度を深め、高層ビルが沿道に林立した環境下での施工に際しても、地山の安定性・施工の信頼性等の保持を可能にした。単線シールドトンネルを2本並列に掘進して中間部の接合により、大断面トンネルに拡大して築造する「めがね型駅シールド」工法、その中間部の接合・切り広げをルーフシールド工法の併用で、より地下空間の拡大を可能にした「ルーフシールド併用めがね型駅シールド」工法がそれであり、有楽町線以降の建設で採用している。

「めがね型駅シールド」工法を採用している南北線永田町駅では、建設コストの縮減・工期短縮の観点から、並列する単線シールドトンネルを発進立坑から掘進して到達したシールド機を到達立坑でUターンさせて発進立坑道に向けて再度の掘進で2本の単線シールドトンネルを築造する工法とした。

さらに、「めがね型駅シールド」工法は、効率的な大断面の地下空間を築造する「3連型駅シールド」工法に発展し、南北線白金台に駅シールドトンネルを完成、平成12年9月に開業している。

営団のシールドトンネル一次覆工に用いるセグメントは、鉄筋コンクリート製セグメントを原則としているが、①高強度の耐力を要する区間、②欠円構造部位区間、③同一シールド内で内空断面の拡幅を要する区間では、ダクタイルセグメント(球状黒鉛鑄鉄製セグメント)を使用している。

駅シールドトンネルにおいては、「単線型駅シールド」区間で上記①の高強度の耐力、「めがね型駅シールド・3連型駅シールド」区間では上記②の欠円構造の理由によりダクタイルセグメントを使用としている。

3. 新御茶ノ水駅シールドトンネルの状況

新御茶ノ水駅は、学校街を中心としたお茶の水付近のお客様の利便と既設の中央線、総武線、地下鉄丸ノ内線との連絡を考慮してその位置を選定している。トンネル位置は神田川河底を横断するため非常に深いこと、地形起伏及び既設構築物の関係で開削工法での施工が至難であること、道路幅員が27mあり台地のふもと

で地質が安定した洪積層であること、他路線との連絡と地元のお客様を合わせると乗降客が相当多くなること等からシールド工法による大規模な駅築造工事に取り組むことになった経緯を持っている。当該シールドトンネル調査委員会において長期にわたる討議を重ねた結果、2本の単線シールドトンネルを駅部全長にわたり施工し、地下での切広げ接合で地下空間を拡大して幅員9mの島式ホームの「かんざし桁式メガネ型駅シールド」とする、当時では我が国で最初の画期的な工法が採用された。

また、地形の関係で始端の立坑をコンコースとし、このコンコースから斜坑を設け、長さ41mのエスカレーターで一気に立坑とは別の改札コンコースに連絡する構造とした。階段のない長大なエスカレーターのみ通路も前例がないので、これもこの駅の特色の一つである。

現在では、沿道両側には高層のオフィスビル等が林立した都心部でも有数のオフィス街・商業中心地に変貌し、新規に開業した地下鉄新宿線との連絡駅としての機能が付加されている。

ダクタイルセグメントは炭素-鉄合金からなる鑄鉄を用いている関係から、比較的化学作用の緩和な環境下でも発錆化および金属浸食化が起きやすいが、高強度を有することからセグメント材料に多用されている。「めがね型駅シールド」区間においては断面構造が欠円形状で構成されるため、駅シールドトンネルの一次覆工に適用使用されている。防錆処理として工場出荷時に重防食塗料（タールエポキシ系樹脂）が塗布されている。

当該駅シールドのダクタイルセグメントにおいて、内側表面の発錆と浸食の経年劣化進行度の追跡調査を実施している。

その調査結果は以下のとおりである。

①地山に接するスキンプレートの肉厚減量測定（トンネル完成後8年目の測定値を初期値として25年の経時変化による測定値を比較）では、最大値で-1.5mmの肉厚減量が許容範囲内ではあるが局所的に見られたものの、全般的には最大値で-0.4mm～-0.2mmの肉厚減少であることから、スキンプレートの肉厚変動によるトンネルの物理的な健全度評価に影響はない。

②採取した地下水（漏水）の水質試験（腐食性評価法(DIN)）の分析結果では、当該地下水には腐食性物質の含有量が少ない。

また、既設のホーム側壁用内装材の取外し後の目視観察より、セグメント内側表面には軽度の発錆及び腐食生成物が付着しているものの、表面は乾燥した状態で激しい発錆・浸食が認められないこともあり、本ダクタイルセグメントの疲労・腐食等による物理的なトンネル寿命への影響は無いものと判断した。

しかし、ダクタイルセグメント表面の錆化及び浸食化については、今後のトンネル内の環境変化によっては悪影響を受けることも考えられ、また既設の防錆塗膜（工場出荷時）が経年劣化により一部喪失、湿食を受けていることから、今後長期にわたってトンネルの健全性を維持していくために、ダクタイルセグメントの内側表面に防錆処理を行うこととした。

ダクタイルセグメント防錆処理の施工方法は当初、①下地処理、目地部の漏水処理後に重防食塗料による刷毛塗り塗布を行う防錆処理方法を探っていたが、新御茶ノ水駅では②下地処理、目地部の漏水処理後にコーキング材を更新する目地処理を行い、さらに無機厚膜型防食塗覆材による吹付け塗布を行う防錆処理方法を行うこととした。

セグメントボルトについては、漏水発生・湿気滞留等の環境下で、締結ボルト（頭部・ナットを含む）の腐食欠損を起こす場合もある。この場合は当該ボルトを、樹脂コーティング締結ボルト（ナット部を含み）に交換しているが、本駅シールドのトンネル内は湿度が低い乾燥状態に保たれ、空気の滞留もなく漏水発生の少ない、比較的良好な環境下であるためにセグメントボルトの健全性は保たれていた。

なお、このようにトンネル環境が比較的良好なのは、駅構内の換気設備の稼働が大きく影響しているものと考えられる。

4. 劣化変状対策

営業線のトンネルの維持管理には①深夜の列車運転休止時の短い作業時間、②トンネル内作業空間が狭隘③資材の搬入出などの作業基地が限定、④トンネル内の使用材料制約、などの制約条件がある。この条件を満足した上でさらに、構造物の機能向上や新たな機能付加が図れる効率的かつ合理的な維持管理手法の採用が要請されている。

4・1 施工手順

施工のフローを以下に示す。

①前処理作業

ケーブル等の施設物の移設・養生を行うとともに作業車（タイヤ式）が運行可能なように、軌条面に仮作業通路の設置を行う。次に既設のホーム側壁用内装材取外撤去を人力作業で行い、仮駅名看板の取付けを行う。

②下地処理

セグメント表面に固着した 1mm ～ 2mm 厚さの粗錆を、人力打撃とジェットタガネ（動力振動工具）の併用作業で錆落しを行う。粗錆落し終了後に、高分子剤（除錆・飛散防止）と防錆剤を添加した水を超高圧水噴射式洗浄機を用いて、超高圧洗浄（2,000kgf/cm²）によるケレン（第3級ケレン）を行う。

なお、高所作業は高所作業車（列車運行中はトンネル端部の仮留置スペースに格納）を用い、作業の安全と効率化を図った。

③目地処理

劣化した既設コーキングを振動ドリルを用いて撤去し、撤去跡のコーキング溝をディスクグラインダーでケレン清掃する。セグメント目地からの漏水発生部位にウレタン系吸水性薬液を用いて注入を行う。漏水の止水確認後に当該コーキング溝に水膨張性ゴムの止水材を挿入して止水工を完了する。コーキング溝に防錆プライマーを塗布してエポキシ系樹脂のコーキング材を充填して目地処理を完了する。

高所作業は、下地処理と同様、高所作業車からの作業とした。

④防錆材吹付塗装（3層塗布）

該当範囲の諸施設物に養生処理を施す。エアレス塗装機を用いて1層目の防錆材吹付塗装を行う。3層塗装で、吹付間隔が24時間以上という仕様なので、養生の設置・撤去は作業日毎となる。3層目の防錆材吹付塗装で完了する。

高所作業は、前工程と同様、高所作業車からの作業とした。

⑤新内装材取付

後述するように、ホーム側壁用の新内装材の取付設置を行う。

⑥跡片付け

軌条面に設置した仮作業通路の撤去を行い、ケーブル等の施設物の復旧を行う。

4・2 防錆材の選定

（a）防錆材の選定にあたっては、長期の防錆機能維持には膜厚を必要とする関係から、下記の条件を満たす材料の検討選定を行った。

①主剤が有機系の防錆材は、臭気・可燃性の問題があり、除外する。

②主剤は無機系の重防食塗料材で、緻密な防食厚膜の確保が可能な材質とすること。

- ③コンパクトな設備で吹き付け施工が可能であり、施工時に広範囲な拡散をしないこと。
- ④諸施設の養生が簡易であり、軌道・架線・駅施設に付着した際、その除去が簡易であること。
- ⑤被覆材として耐久性を有するとともに、ひび割れ・列車の振動により剥落しないこと。
- ⑥信号等の電気設備に悪影響を与えないこと。
- ⑦受注生産品でなく、市販品として長期の供給が可能な材料であること。

(b) 防錆材の選定試験

選定条件に適合した３種類の防錆材を選定し、室内試験で下記項目の性能試験を実施した。試験結果は、試験方法の違いにより数値上の差はあるが、性能的には差異がなく３種類の防錆材とも概ね良好であった。本施工での材料選定に先立ち、防錆材塗布の施工性・被覆塗膜表面の均等性、防錆材塗布の膜厚・はね返りの確認を行うため、隣接する単線シールドトンネルのダクトイルセグメント区間で前項の施工手順に基づいて各防錆材の試験施工を実施した。また、凹凸の多いダクトイルセグメントで当該施工法の適用可否の判定をすることとした。

表－１ 対象防錆材室内試験結果

品 名	圧膜型水系防食被覆材 A 品	重防食用表面被覆材 B 品	防食 [※] リマ-セメント系被覆材 C 品
混 合 比 率 (15kg 当り)	主 剤 6.6 kg 硬化剤 0.9 kg 微粉体 7.5 kg	(珪佐・セメント) 12.5 kg エマルジョン 2.5 kg	(短繊維・セメント) 13.3 kg エマルジョン 1.7 kg
圧 縮 試 験	3 3 kgf/cm ² (JIS A1172)	2 8 5 kgf/cm ² (JIS R5201)	5 7 2 kgf/cm ² (材令 2 8 日)
曲 げ 強 度	2 4 kgf/cm ² (JIS A1172)	9 8 kgf/cm ² (JIS R5201)	—
付 着 強 度	1 9 kgf/cm ² (JIS A6915)	2 4 kgf/cm ² (JIS A6203)	2 5 kgf/cm ² (材令 7 日)
対 衝 撃 性	1.3 kg・cm/cm ² (JIS A6911)	亀裂・割れ・剥離なし (落下衝撃鋼球2kg×高さ3m)	割れ・剥離なし (JIS K5400B)

(c) 試験施工の評価

- ①防錆材の外観上の色合い、美観、照度は、B品＞A品＞C品の順であるが大差はない。
- ②各防錆材とも仕上がり時の膜厚・付着状態は概ね良好であり、防錆材塗膜の浮き・ひび割れの発生は各材とも見られなかった。
- ③ダクトイルセグメントの形状が複雑なため、天井・隅角部位で防錆材が表面でつらら状を形成していたが小規模な発生であった。
- ④セグメント中子内部の吹付塗布時に、塗布材料のリバウンド・吹き溜まりの発生でセグメント表面全体での均一膜厚の確保は非常に難しいと考えられるが、凹凸の起伏が鈍い形状であり粉塵付着の影響は少ないものと判断した。防錆材のリバウンドは広範囲な拡散もなく、諸施設の養生も簡易な処置で可能なことが判明し、ほぼ予測の範囲で結果を得ることが出来た。

この結果を得て、凹凸形状の多いダクタイルセグメントで当該施工法の適用が可能と判断した。防錆材は機能特性・施工性から３種類の対象材料とも遜色はないが、トンネル内での使用条件から無機質・水系の材質とし、材料の継続的供給確保の観点から塗料系製造メーカーの商品に絞り込み「Ａ品」を選定した。

４・３ 施工結果

防錆材を選定し、前述の施工手順に従って平成９年３月～平成１０年１１月にかけて新御茶ノ水駅シールドのＡ線側（海側）のダクタイルセグメント改修工事を行った。施工結果は良好で、今後長期にわたってセグメントの健全性を確保することができたと判断しており、現在引続き反対線のＢ線側（山側）の工事を行っている。

５．ホームデザイン

５・１ リニューアルのコンセプト

駅は、終日様々なお客様にご利用頂く公共空間であり、内装デザインによりその印象は大きく変わってくる。また、地下空間から人間が受け取る閉塞感や暗さ、時間や方向の分かりにくさも内装デザインの工夫によって緩和され、快適性が向上するものと思われる。

新御茶ノ水駅は中央線、神田川河床をくぐるため駅が深く、いきおいホームから出入り口に至る距離が長くなり、お客様はその分長い時間地下空間にさらされることになる。従って内装デザインをリニューアルする上で次のコンセプトを設定した。

- ①閉塞感を取り除くため、新鮮な風の吹きわたる季節を感じる表現とする。
- ②江戸や明治の香りの残る街の歴史が伝わるような表現とする。
- ③「お茶の水」という神田川を象徴とした土地であることから、水面を意識した表現とする。
- ④季節の移ろいを感じる表現とする。
- ⑤方向性の視認できるデザインとする。

５・２ 基本デザイン

上記のコンセプトにより、駅内装に用いる基本の色調は、新しく生まれた雛鳥の色と言われるレモンイエローを用いて、新生感と光と暖かみを感じさせ、また光に照らされた水面の一瞬の瞬きを表現することとした。

また、ホーム壁面には１２のモザイク壁画を配して、一年・十二か月の季節の移ろいを、あるいは神田川の水面に移る日本の穏やかに移り変わる四季こもごもの変化を、戯れる光と水の流れが織りなす状況の変化として表現した。

５・３ モザイク壁画の月ごとのイメージ

基本デザインに基づき、文学の地にふさわしく、川面に移る四季折々の美しい「季語のイメージ」をモザイク壁画の絵パネルの中に表現した。

- １月（睦 月）：朱塗りの社殿が美しい神田神社。
- ２月（如 月）：川面に舞う雪。
- ３月（弥 生）：菜の花、たんぽぽ、神田川の春の土手。
- ４月（卯 月）：桜と元気な新入学生の勢い。

- 5月（皐 月）：木々の青葉が映って揺れる水面。
6月（水無月）：雨に潤う街並み。
7月（文 月）：初夏の風の動き。
8月（葉 月）：夏の陽射しに光り、揺れる水面。
9月（長 月）：鱗のように空に浮かぶ秋の雲。
10月（神無月）：紅葉する木々の色を受ける水面。
11月（霜 月）：風に舞い散る落ち葉の模様。
12月（師 走）：クリスマスに彩られた都会が映る水面。

6. おわりに

駅シールドトンネルの維持管理の一環として行った新御茶ノ水駅の改修工事は、高所作業車の活用を行いながら、超高压洗浄機を用いた錆の除去、止水材として水膨張性ゴムを使用した漏水防止工及びトンネル内の安全性と長期の耐久性を考慮して慎重な試験を経て選定した防錆材の効果により、ダクトイルセグメントの健全性を維持することができた。

また合わせて行った、乗降場の床、壁のリニューアルにより、歴史と地形が織りなす「お茶の水」という地域の特性を表現した新鮮なイメージの駅に生まれ変わることができた。これらにより「地下鉄駅」という地下空間をより長いスパンで安全かつ快適に利用頂けるような再生ができたと位置づけている。

現在、同駅構内の残りの工事を鋭意進めている段階であるが、このような施工事例を今後も積重ねながら、より効果的な地下空間の維持管理方法を確立していきたい。