

駅間シールド機を使用した着脱式泥水三連型 駅シールド工法の開発

助川 禎*

地下鉄シールド駅建設工法に関し、駅間の複線シールド機の両側部に着脱式の側部シールド機を取付けることにより、複線シールド機を三連型シールド機に改造して駅部を築造し、その後、側部シールド機を取外し、再び複線シールド機として連続使用する泥水三連型駅シールド工法を開発した。本工法は、安全性、経済性から駅シールド工法の普及を促進するものと考えられる。

Key Words : three centered slurry shield, running shield

1. ま え が き

近年、都市部における地下空間利用の拡大に伴って、シールド工法が多用されている。これは都市部の多くが軟弱な地盤の沖積平野に発達していることと、既設の地下構造物が多数存在していることに起因している。

しかし、代表的な地下施設である地下鉄道では、駅部は開削工法によって施工している例が大半である。この理由として、次の事項が挙げられる。

- ① 駅部は客扱いのために地上との連絡設備が必要であり、必然的に開削工法によって施工することが必要な部分が存在する。
- ② 駅部にシールド工法を適用した過去の事例から、掘削深さが20~30mより浅いと、シールド工法は開削工法と比較して工事費が高くなる。

上記理由②については、施工延長が、200m程度の短距離であるにもかかわらず、駅シールド工法で施工する場合には専用のシールド機を使用しなければならないことが大きな原因となっている。

現在、シールド機が大きな問題を生じることなく掘進できる距離は、地盤にもよるが2~3km程度といわれている。したがって、駅部の施工ばかりでなく、各駅間で専用のシールド機を使用することは、きわめて不経済となる。そこで、全体工程から、考えている区間がクリティカルとならない場合に、開削部を通過させて駅間の複線シールド機を連続使用することができれば、工事費が割安となり、駅シールド工法の適用範囲を広めることができる。

このような観点から、駅間を施工するための複線シールド機を駅部の施工に連続して使用し、さらに次の駅間

にもこの複線シールド機を使用する工法を考えた。

本工法によれば、1機の複線シールド機を最大限有効活用し、後方設備も1カ所で済ませることができる。したがって、本工法は省資源工法であり、しかも従来の工法より相当経済的となる。

さらに、全てを泥水工法とすることができるので、駅部の施工で、かんざし桁工法や、ルーフシールド工法などを採用する従来の工法と比較して安全であり、また周辺地盤の変状も少なくすることができる¹⁾。

本文は、本工法の概要、問題点と解決方法、および従来の工法との経済比較などについて述べるものである。

なお、本工法は、営団地下鉄南北線白金台駅で採用され、現在、着工に向けて準備中である。

2. 従来のシールド駅と築造上の問題点

従来のシールド駅の基本形状を、施工されたものばかりではなく、考え方が公表されているものも含めてまとめると、図-1のようになる。

相対式ホームは、軌道およびホームを内包する駅部シールドトンネルを上下線分離して築造するものである。図(b)および(c)に示すように、駅間シールドトンネルの一部を駅として使用することも考えられるが、駅間の断面が必要以上に大きくなることから、図(a)に示したように駅部のみに大きな断面を使用する形式が採用されている。この場合、両端部に設けた立坑部を除いて上下線ホームを一体化し、共用することができないことから、乗降客の少ない駅に限定して使用される。

中間通路接続式は、相対式ホームの欠点を補うために考えられた形式で、上下線の駅部シールドトンネルを所々連絡して、相対式ホームに島式ホームの機能を付加したものである。

島式ホームは、多くの乗降客が利用する駅に適用できるように、上下線の駅部シールドトンネル間を掘削し、

* 正会員 帝都高速度交通営団建設本部副本部長
(〒110 台東区東上野3-19-6)

	両側端末立坑方式		中央立坑（または中央部斜坑）方式		摘要	
	(平面)	(断面)	(平面)	(断面)	凡例	
相対式ホーム	(a)		(b)		凡例 	
	実施例駅：(a)東西線木場駅・横浜市3号線高島町駅		(c)			
中間通路接続式	(d)		(f)			
	(e)		(g)			
	実施例駅：(d)千代田線国会議事堂前駅・JR総武線馬喰町駅		(f)			
島式ホーム	(h)					
	(i)					
	実施例駅：(h)有楽町線永田町駅・半蔵門線永田町駅・半蔵門線三越前駅 (i)千代田線新大塚/水戸駅					

図-1 シールド駅の基本形状

一体化した形式である。駅部シールドトンネル間の掘削には、かんざし桁工法やルーフシールド工法が使用される²⁾。

以上に示した従来のシールド駅の築造には、次に挙げる問題点がある。

- ① 駅部の短い区間に専用のシールド機を使用することになり、工事費が高くなる。駅部に専用のシールド機を使用しない場合には、駅間も駅部と同様に大きな断面とする必要があり、やはり工事費が高くなる。
- ② 中間通路接続式や島式ホームの切り広げは、薬液注入工法や凍結工法などの補助工法を併用した山岳工法やルーフシールド工法により施工することになるが、軟弱地盤や間隙水圧が高い場合には難工事となる。
- ③ 立坑構築後に、2本の駅部シールドトンネルを施工した後、中間部の切り広げをするので施工期間が長くなる。

3. 本工法の概要

本工法は、上述した従来のシールド駅の築造上の問題点を改善することを目的として、開発したものである。

本工法の手順を営団地下鉄南北線白金台駅を例にと

り、以下に示す(図-2)。

- ① 清正公前駅から発進した複線シールド機が、清正公前駅から白金台駅間の複線シールドトンネルを築造して、白金台駅終端立坑に到達する。
- ② 白金台駅終端立坑で、到達した複線シールド機の両側部に、白金台駅ホーム築造用の側部シールド機を取付け、泥水三連型シールド機に改造する(以下、三連型シールド機という)。
- ③ 白金台駅終端立坑から改造した三連型シールド機を白金台駅始端立坑に向けて発進させ、白金台駅の軌道部分とホーム部分を同時に築造する。
- ④ 白金台駅始端立坑に到達した三連型シールド機の側部シールド機を取外し、複線シールド機に復元する。
- ⑤ 復元した複線シールド機を白金台駅始端立坑から目黒駅に向けて発進させて、白金台駅から目黒駅間の複線シールドトンネルを築造して目黒駅終端立坑に到達する。

4. 三連型シールド機的设计

現在の道路幅に駅部を納めることを考えると、駅部の標準的な全幅は約16m程度に抑える必要があり、駅部の標準断面を図-3のように設計した。

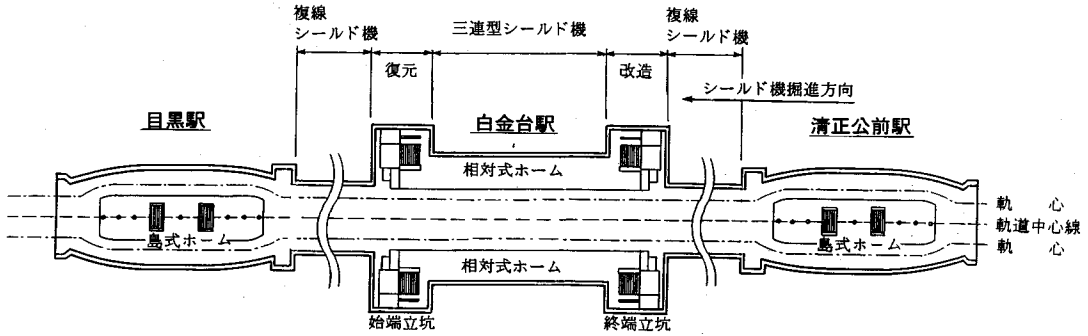


図-2 三連型駅シールド工法の施工順序

先に述べた施工順序に従って施工を進めるためには、復線シールド機は、途中の急曲線に対応できるように中折式とし、三連型シールド機的设计で、次の点に特別な配慮が必要である。

(1) 側部シールド機の着脱の方法

復線シールドトンネルを築造してきた復線シールド機の両側部にホーム部分築造用の側部シールド機を取付けることは、本工法の重要なポイントであり、以下の手順により、三連型シールド機に改造する(図-4参照)。

- ① 復線シールド機の前胴部の側部はめ込み部を取外す。
- ② 復線シールド機のテール部の一部をガス切断する。
- ③ 側部シールド機を復線シールド機に取付ける。この際、前胴部はボルト結合とし、後胴部は溶接接合とする。
- ④ ボルト接合部の止水を目的として、強度を期待しないシール溶接をする。
- ⑤ シールド機内部の配管、配線を接続する。

なお、三連型シールド機に改造するため、複数シールド機を容易に分割できるように、予め区切りを施してあるが、この部分からの地下水の漏水を防止するために、シール溶接をすることにした。

(2) 側部シールド機の掘削方式

従来の複円形シールド機での掘削方式は、一般的に面板の回転運動となっている。これは、掘削断面が小さいか、掘削地盤が軟らかく面板の支持方式としてセンターシャフト方式を採用できるか、各円の中心間隔が比較的広く、各円の中間支持点が重なり合うことがないため、中間支持方式を採用することができることによるものである。

しかし、ここでは以下の理由によって、側部シールド機的面板を回転運動とすることができなかつた(図-5参照)。

- ① 復線シールド機は、直径が約10mと大きく、途中で硬質地盤も掘進することになるので、中間支

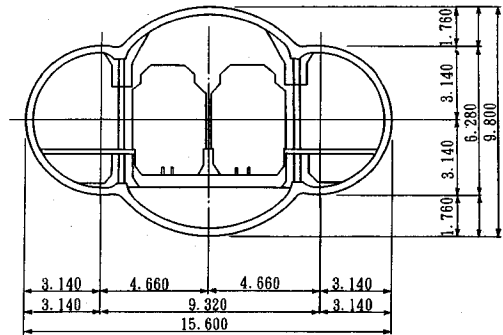


図-3 白金台駅の標準断面

持方式とする必要がある。

- ② 復線シールド機の中心と側部シールド機との中心間隔が狭いため、側部シールド機的面板を回転させると、側部シールド機的面板が復線シールド機の中間支持点と重なってしまう。

上記の問題点を解決する方法として、側部シールド機の掘削方式を一般の回転方式ではなく、揺動方式とすることにした。揺動方式を採用した複円形シールド機は、世界でも例がないことから、模型による種々の実験と、実際に使用されているシールド機を使用した現場施工試験を行い、揺動方式による掘削が可能であることを確認した³⁾。

(3) セグメントの組立方法

シールドトンネルは、セグメントを組立てトンネルの軀体とするものであり、一般の円形シールド機では旋回式エレクターを装備している。エレクターへのセグメントの供給は、既に完成したトンネルから台車によって行われる。

本工法で考えている三連型シールド機では、中央部が大きく側部は小さいので、セグメントの供給は全て中央部の空間を使用して行うこととした。中央部のセグメントの組立は、復線シールド機の旋回式エレクターによって行うこととした。側部のセグメントの組立は、復線シ

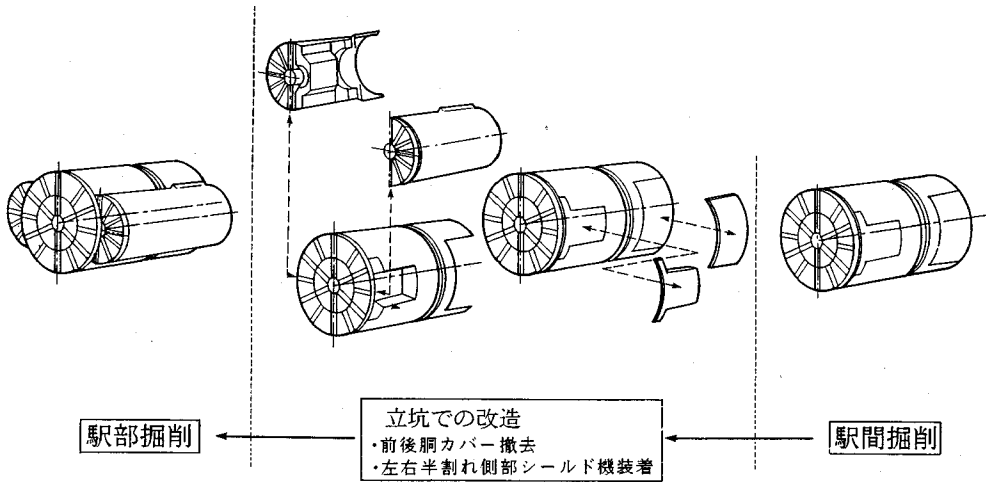


図-4 側部シールド機の着脱の方法

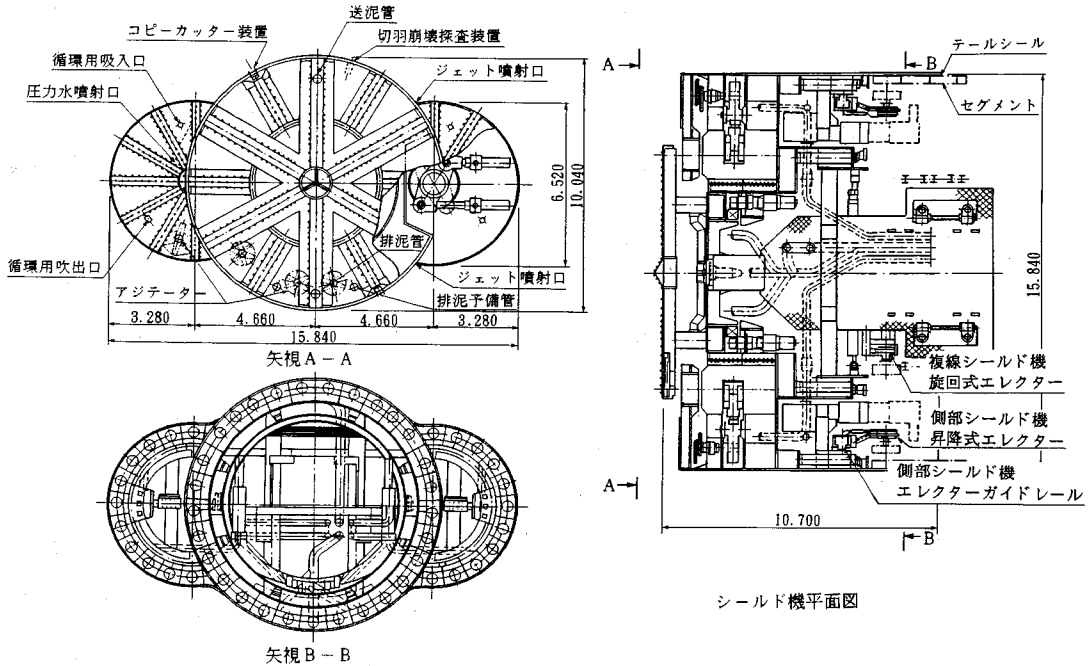


図-5 三連型シールド機の概要

シールド機の旋回式エレクターで行うことは機能上難点が多いので、側部シールド機にもエレクターを装備することにした。

側部シールド機のエレクターは作業空間の制約上、旋回式エレクターではなく、半円状にレールを取付け、レール上をエレクターが昇降する昇降式エレクターとした。

これらの装置を使用して、セグメントの組立は図-6

に示した手順で行うことにした。

5. トンネルおよび立坑の構造

(1) トンネルの構造

トンネルは、セグメントを組立て築造される一次覆工のみとし、駅として使用するために建築仕上げで内装を施すことにした。このため、トンネル構造としては、止水性が良好で、大きな耐力が期待できる材料であること

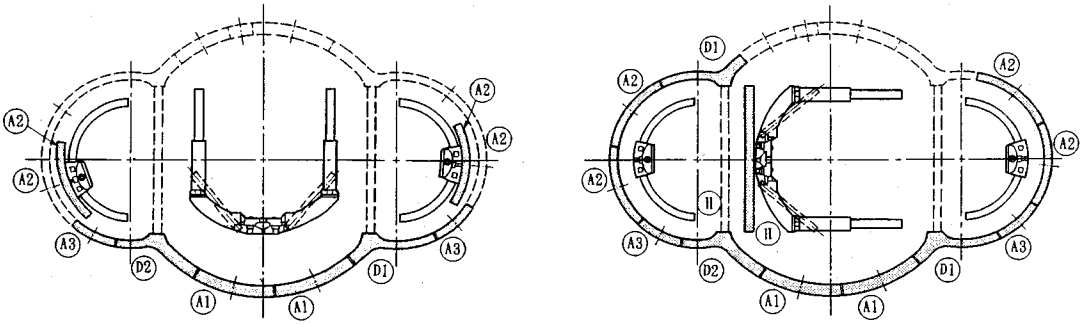


図-6 セグメントの組立方法

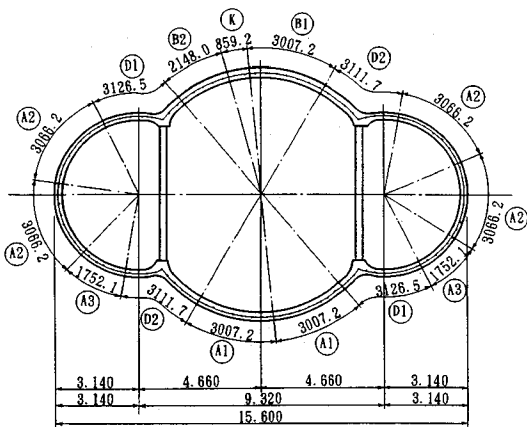


図-7 セグメントの分割

が必要なので、ダクタイルセグメントを使用することにした。また、柱の取付け部は応力が集中するので、セグメント継手を設けないことにした。このような考え方から、図-7に示すセグメント分割とした。

トンネル構造で最も苦心したのは、柱の構造である。柱は大きな軸力を受けるので、部材の中間に継手を設けることは力学上好ましくない。したがって、柱部材は1本の部材を使用することにして、若干の施工上の余裕をセグメントとの間に持たせることにした。また、この部分を従来のシールド駅のような柱構造にすると、セグメントと柱との間に梁を施工する必要があり、セグメントの組立完了後に、梁を施工する工程を設ける必要がある。大きな荷重を受ける中で、仮の柱を撤去して梁に荷重を受け替えることは、施工が難しいので、ここでは柱と梁からなる従来の構造に変えて、壁構造とすることにした。このような構造とすることができたのは、この駅がホームドアを採用することによるものである。

しかし、壁構造としても、ホームドア部分には開口を設ける必要があり、この部分には、従来のシールド駅に設けられるものよりは小さい梁を設けた。

(2) 立坑の構造

立坑が必要とする空間は、複線シールドトンネルを築造してきた複線シールド機を格納し、しかも複線シールド機に側部シールド機を取付けるための作業空間が必要である。この状態で、三連型シールド機の完成後は、立坑妻壁を取壊して発進することになる。

このような施工工程を考えると、通常のシールド施工で装備する立坑の規模と違い、以下の点に配慮する必要がある。

- ① 三連型シールド機の組立に必要な作業空間の確保
三連型シールド機の組立のために、横断方向の幅 23.2 m、高さ 14.0 m が必要になる。
- ② 路面覆工を支える上床版の支点的確保

上記の空間を確保すると、上床版のスパンは両側の側壁の間隔に等しく、約 23.2 m になる。この状態で上床版の上に埋め戻しを行うと、荷重が大きくなるので、三連型シールド機の通過後に、柱を築造して埋め戻しを行うことにする。この時点では、路面覆工の状態のままとする。このような対策を講じて、上床版には上床版自重と路面荷重が作用していて、耐力を超える応力が発生するので、対策が必要である。

- ③ 妻壁に三連型シールド機が通過できる開口の確保
妻壁には、幅 16.0 m、高さ 10.2 m の開口を確保する必要がある。

以上の要件を満たすように、立坑の構造を図-8に示すような構造とした。

6. 従来の工法との比較

従来の工法で施工される駅と、本工法で施工される駅の比較を試みる。比較は、次の3工法について考え、営団地下鉄南北線白金台駅を具体的な比較事例とした。比較項目は、駅としての使用性、工事費用、用地幅、および周辺環境に対する影響の5項目を考える。

a) 開削工法

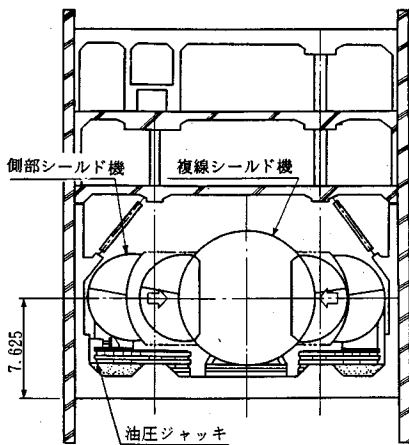


図-8 立坑の構造

表-1 工事費用の比較
(開削工法を100とした場合の比較)

項目	開削工法	従来の 駅シールド工法	三連型 駅シールド工法
開削部分	40	23	23
シールド部	駅間	60	51
	駅部	-	10
合計	100	106	84

b) 従来の駅シールド工法 (かんざし桁工法, ルーフシールド工法など)

c) 三連型駅シールド工法 (本工法)

(1) 駅としての使用性

開削工法によって施工する駅は, 階段の設置位置を自由に選定することができるので, 出改札口を1カ所に集中させることにより, 省力化が図れる。また, ホーム幅も必要性に応じて決定することができるので, 使用性は最も優れている。

かんざし桁工法やルーフシールド工法で施工される従来のシールド駅は, ホーム幅は十分な幅を確保することはできるものの, 階段設置位置はホーム端部に限定され, 出改札口が2カ所に分離される欠点がある。

一方, 三連型駅シールド工法で施工する駅は, 従来のシールド駅と同様に階段設置位置はホーム端部に限定され, しかもホーム形式が相対式となるために, 使用性が劣る。したがって, 三連型駅シールド工法は, 乗降客が比較的少ない中間駅に使用されるべきである。

(2) 工事費用

三連型駅シールド工法は, 複線シールド機を駅シールド機としても使用する工法であるから, 工事費用の比較は, 当該駅の両隣接駅およびそれらの駅間の複線シールドトンネルを含めた全体の工事費用で比較する必要がある。用地費用を含めないで, 純工事費用のみを比較して

表-2 工事期間の比較

項目	開削工法	従来の 駅シールド工法	三連型 駅シールド工法
隣接駅開削工事	40ヶ月	40ヶ月	40ヶ月
駅間シールド工事	15ヶ月	15ヶ月	12.5+12ヶ月
立坑工事	-	(30ヶ月)	(35ヶ月)
駅部シールド工事	-	24ヶ月	13ヶ月
合計	55ヶ月	79ヶ月	77.5ヶ月

表-3 用地幅の比較

施工方法	構築の全幅	用地幅
開削工法	17.0 m (ホーム幅 8.00 m)	17.5 m
従来の 駅シールド工法	18.5 m (ホーム幅 8.00 m)	19.4 m
三連型 駅シールド工法	15.6 m (ホーム幅 4.1 m+4.1 m)	16.5 m

表-4 三連型駅シールド工法の特徴

項目	内容
駅の使用性	階段設置位置はホーム端部に限定され, 相対式ホームとなることから使用性はやや劣る。
工事費用	シールド機および後方設備の数を減らすことができ, 省資源であり, 工事費用も安価である。
工事期間	駅部の工事期間が短く, 駅間を含めても従来の駅シールド工法より短くできる。
用地幅	最も狭い工事用地(用地幅16.5m)で施工できる。
周辺環境への影響	泥水工法によることのできるため, 最も影響が少ない。

表-1に示した。この表から, 三連型駅シールド工法は, 最も経済的であることがわかる。

(3) 工事期間

工事期間としては, 当該駅と両隣接駅およびそれらの駅間の複線シールドトンネルを含めた全体の工事期間を比較することにし, 各工法でクリティカルとなる工事期間を算定して表-2に示した。これによると, 開削工法による場合が最も短い。三連型駅シールド工法は, 開削工法よりは工事期間が長くなるが, 従来の駅シールド工法よりは, 駅シールド部で大幅に工事期間を短縮できるので, 全体の工事期間が短くできることがわかる。

(4) 用地幅

駅を施工するために必要な用地幅を比較して, 表-3に示した。この表では, 用地境界との離隔を, 開削工法で0.65 m, 駅シールド工法(従来の工法, 三連型駅シールド工法とも)で0.45 mとしたが, 三連型駅シールド工法が最も用地幅が狭いことがわかる。

(5) 周辺環境に対する影響

開削工法は, 土留め壁の変形によって, 周辺地盤にわずかながら変形を与える。また, かんざし桁工法やルーフシールド工法によって施工する従来の駅シールド工法は, 地下水位以下の施工となるために, 地下水位以下工

法や薬液注入工法などの補助工法を併用した山岳工法や圧気を使用した開放式シールド工法となる。このため、周辺地盤への影響を避けることが難しい。

これに比べると、三連型駅シールド工法は、泥水工法で施工が可能であることから、周辺地盤に与える影響は最も小さい。

7. 結論

地下鉄道の駅をシールド工法によって施工する場合には、従来はかんざし桁工法やルーフシールド工法によっていた。しかし、これらの工法は、駅の施工をするために専用のシールド機を使用していたので、工事費用が高くなった。また、縦桁を築造するためにシールド機断面が大きくなり、完成時の全構築幅は18.5m程度となる。

従来の駅シールド工法の欠点である工事費用が高いこと、掘削幅が広いことを解消するために、新しい工法として、複線シールド機を駅シールド機としても使用する三連型駅シールド工法を提案した。

本工法は、実験室における要素実験や、実際に使用されているシールド機を使った現場施工試験を行い、十分な可能性を確認したものである。

本工法の特徴は、以下ようになる。

- ① 階段設置位置はホーム端部に限定され、また相対式ホームとなることから駅としての使用性はやや劣る。
- ② シールド機および後方設備の数を減らすことができ、省資源の効果があり、工事費用も大幅に削減できる。
- ③ 1機のシールド機で長距離を掘進することになるが、駅シールド部を全断面一度に築造できること、改造にあたり側部シールド機を着脱可能にすることによって工事期間を短くできる。
- ④ 狭い工事用地（用地幅16.5m）で施工できる。
- ⑤ 全断面が泥水工法となるので、周辺環境に与える

影響が少ない。

これらをまとめると、表-4のようになる。

したがって、本工法は、次のような場合に使用することができ、周辺環境への影響が少ない、また安全で経済的な工法として、駅シールド工法の適用範囲を広めることができる。

- ① 乗降客の比較的少ない中間駅の場合
- ② 考えている工事区間の施工期間に余裕がある場合
- ③ 施工の用地幅が狭い場合

本工法による、営団地下鉄南北線白金台駅は、設計、施工計画が完了し、施工を持つばかりとなっている。初めての試みであるが、今後の実施工の中で本工法の技術をさらに高めて普及をはかっていきたい。

謝辞

本工法の開発にあたっては、帝都高速度交通営団内に設けられている「シールドトンネル調査委員会」（委員長 久保慶三郎東京大学名誉教授）の委員各位の熱心なご審議とご指導を頂いた。また、本文のとりまとめにあたり、中央大学の久野悟郎教授ならびに茨木龍雄教授から、貴重など助言を頂いた。ここに心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 猪瀬二郎・助川 禎・今井京平：Development of Three Centered Slurry Type Shield Method at Station by Effectively Using the Running Shield for Double Track Subway, I. T. A. 国際トンネル会議講演集, 1993.
- 2) 三好迪男・岡田郁生・鹿田住雄：新体系土木工学71トンネル(II), 土木学会, 1984. 2.
- 3) 助川 禎・中島 信・藤木育雄・中村信義・佐古井耕三：泥水式シールドの揺動掘進に関する実験的研究, トンネル工学研究発表会論文・報告集第3巻, 1993. 11.
- 4) 助川 禎・中島 信・藤木育雄・荻野竹敏・小泉 淳：3心円形シールドトンネルの設計法に関する研究トンネル工学研究発表会論文・報告集第3巻, 1993. 11.

(1993.6.24 受付)

DEVELOPMENT OF THE REMOVABLE THREE-CENTERED SLURRY SHIELD METHOD FOR STATION USING RUNNING SHIELD MACHINE

Tadashi SUKEGAWA

For the shield excavation method at subway stations, slurry type three-centered shield method was developed. In this method, a double-track running shield machine used between stations can also be used for the shield work at the station by providing small removable shield machines, one on each side, and used subsequently for the work between stations again when these small shield machines are removed. This method is expected to promote the use of the shield method at stations because of its safety and economy.