

25. 部分拡幅シールド工法（VASARAシールド工法）の開発

鹿島建設(株)：○神尾 正博
石川島建材工業(株)： 浅野 裕輔
三菱重工業(株)： 杉山 雅彦

1. はじめに

本稿では、従来は同一断面で施工されていたシールド工法において、任意の場所で補助工法を併用せずに部分的にトンネル内空（トンネル幅）を大きくする施工技術として新たに開発した「部分拡幅シールド工法（VASARAシールド工法[※]）」の工法概要と実施工現場での適用実績について報告する。

2. 開発の背景

近年、シールド工法による都市部の地下空間構築においては、トンネルの大深度化、長距離化に対する需要が益々増加する傾向にある。また、都市部の市街地では建設用地の確保が困難な状況にあり、施工時の周辺環境への配慮の観点からも、非開削工法による地下開発の必要性が増大している。

シールドトンネルは、発進立坑から到達立坑までを同一断面で構築するのが一般的であるが、部分的に断面を拡大したいというニーズは、種々のトンネル用途・規模・分野で多く存在する。

例えば、地下道路トンネルの非常駐車帯やランプ部、地下鉄トンネルの駅部、共同溝や電力洞道のケーブル接続部、小口径長距離トンネル施工時の物流搬送における離合部等の特殊部では部分的に拡幅空間が必要となる。

これに対して従来は、全線を最大必要断面に合わせた口径としたり、当該箇所両端に立坑を構築したりするほか、当該箇所周辺に薬液注入や凍土造成等の大規模な地盤改良を施してトンネル内部から切り拡げを行なう等の施工方法で対処していた。

こうした背景のもと、補助工法を併用せずに任意の

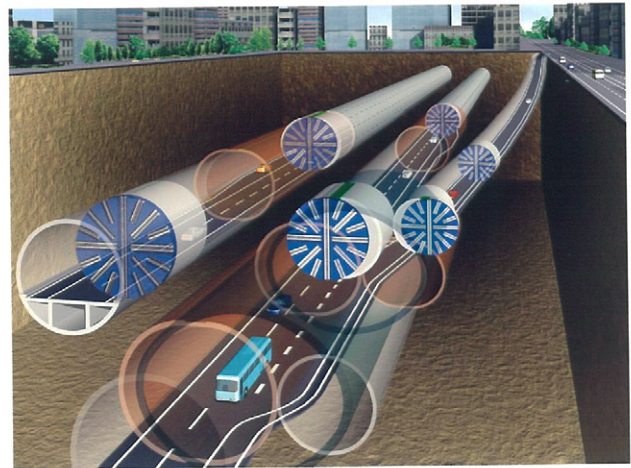


図-1 工法適用イメージ

箇所です安全かつ経済的に非開削でトンネルの部分拡幅が行なえる合理的な工法として、VASARAシールド工法を開発した。

3. VASARAシールド工法

3-1. 工法の概要

VASARAシールド工法は、全ての部分拡幅作業がトンネル坑内で可能な工法であり、従来の補助工法を併用した工法と比べて、大幅な工期短縮と安全性の向上が図れる。また、全線を最大断面で掘進する方法に比べて、一般部のトンネル断面を縮小できることから大幅な事業コストの縮減や建設廃棄物・建設資材の削減も可能となる合理的な施工技術である。

本工法には、(1) VASARA-L工法 と (2) VASARA-S工法の2方式があり、トンネルの用途や規模に応じて、より合理的な施工方法の選択が可能である。

※ VASARA（バサラ）シールド工法

= Variable width（可変幅）+ Saving space（省スペース）+ Rapid construction（迅速施工）

(1) VASARA-L工法 (L : Liningの頭文字)

マシンテール内で一般部と同様に拡幅用セグメントを円形で組み立て、シールドマシンのテールを抜けた後でセグメントを外側に押し出して拡幅部分を形成する方法である。(図-2)

拡幅される部分の地山は、オーバーカット機構や面板スライド機構を使用して余掘り掘削(拡幅掘削)する。余掘り部には特殊充填材を注入して地山の崩落を防止する。

拡幅部のセグメントはスライド機構を有する特殊な

構造となるが、シールドマシンには特殊機構や大規模な改造が不要なため、

- ① 拡幅量が小さい
- ② 拡幅箇所が1~2ヵ所程度
- ③ 拡幅延長が短い
- ④ 小口径シールド

等の施工条件に適した方式である。

(2) VASARA-S工法 (S : Shieldの頭文字)

シールドマシン外筒部(スキンプレート)の一部が

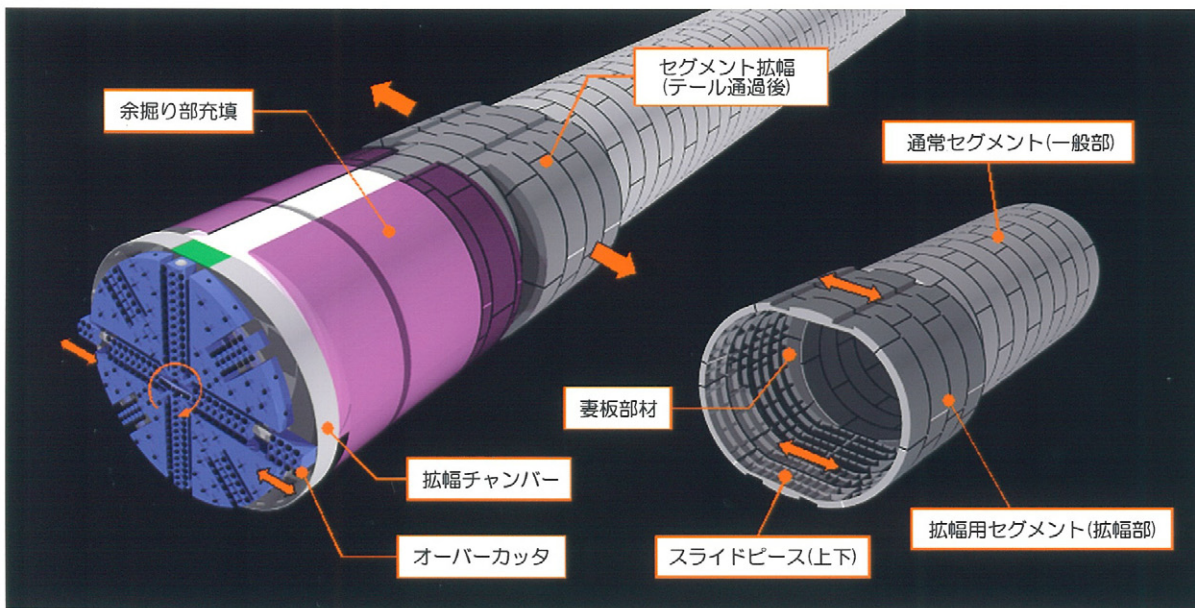


図-2 VASARA-L工法

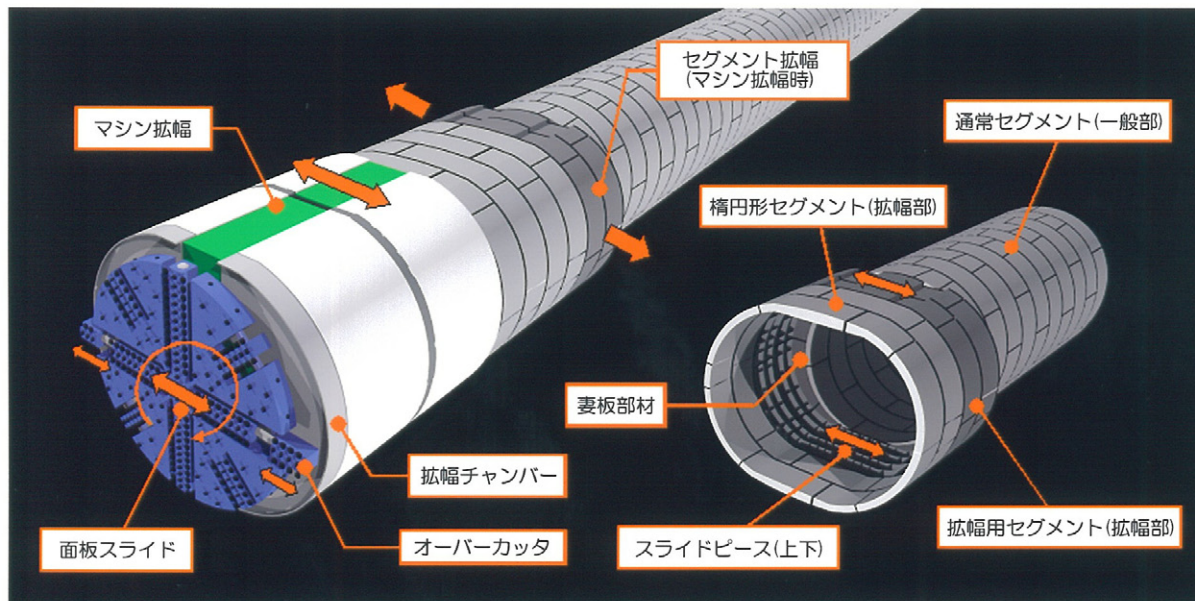


図-3 VASARA-S工法

S工法の場合は、拡幅区間の始端2～3リングで拡幅用セグメントを使用し、以後の拡幅部ではスライド機構のない楕円形セグメントを使用する。拡幅区間の終端部では、逆の要領で拡幅セグメントを楕円形（拡幅状態）で組み立てた後に、シールドマシンと一括して円形に縮幅し、通常掘進に移行する。

(3) セグメント拡幅工

L工法の場合は、シールドマシンのテール部通過後に、土水圧によるセグメントの変形を防止する鉛直支保工及び左右への押し出し機構を有する拡幅装置を坑内に設置し、セグメント自体を地山側に順次押し出していく。この時、余掘り部に充填した特殊充填材は、セグメントの押し出しと同時にセグメントに設けた回収孔から坑内へ排出（回収）される。

S工法の場合は上述のとおり、拡幅区間の両端部でのみ、シールドマシンの拡幅装置を用いてセグメントも拡幅し、両端部以外の拡幅区間では楕円形セグメントを組み立てる。

3-3. 工法の特長

VASARAシールド工法の主な特長は、以下のとおりである。

- ① 補助工法を併用せず、非開削で拡幅部分を構築することができる。
- ② シールド掘進施工と並行して拡幅施工を行なうことができる。
- ③ 拡幅部以外の一般部は、通常どおり必要最小限の円形断面とすることができる。
- ④ シールド延長上で繰り返し何回でも拡幅及び縮幅することができる。
- ⑤ 場所ごとの必要断面に応じた任意の拡幅量に対応可能である。
- ⑥ 「泥水式」・「泥土圧式」のいずれのシールド工法にも対応可能である。
- ⑦ マシン入れ替え用の立坑が不要となり、事業費の縮減が可能である。
- ⑧ シールドマシンの大規模な改造や特殊機構の追加がほとんど不要である。（VASARA-L）
- ⑨ 拡幅機構を有する特殊セグメントは、拡幅区間の

前後のみであり、拡幅区間での曲線施工にも適応可能である。（VASARA-S）

3-4. 適用用途

VASARAシールド工法は、その特長により以下のトンネル用途への適用が可能である。

- ① 道路トンネル
非常駐車帯や非常用設備設置箇所、地下ランプ接合部、曲線部での内空拡大区間（視距空間確保、車線拡幅、カント等）等
- ② 地下鉄トンネル
駅舎端部、渡り線・引込み線等の路線合流部、機械設備設置箇所、避難通路等
- ③ 共同溝・電力洞道
ケーブル接続部、分岐トンネルの開口補強部、機械設備設置箇所等
- ④ 小口径トンネル
長距離施工時の坑内搬送車離合区間、機械設備設置箇所等

4. 実証施工実績

4-1. 施工概要

VASARAシールド工法の適用性の検証及び今後の技術開発における課題抽出を目的として、実施工現場での実証施工を行なった。（図-5）

今回の実証施工は、シールドマシンのテール内で円形状に組み立てた拡幅用セグメント（3リング）を、マシン通過後に外側に押し広げてトンネル内空を拡幅する「VASARA-L工法」を採用し、シールドマシン外径φ2,280mmの泥土圧式シールドで実施した。

表-1 施工諸元（工法適用範囲のみ）

施 工 場 所	滋賀県草津市
シールド工法	泥土圧式シールド工法
マ シ ン 外 径	φ2,280mm
覆 工（鋼 製）	外径φ2,150mm 内径φ2,000mm
拡 幅 工 法	VASARA-L工法
拡 幅 量	300mm（左右各150mm）
拡 幅 率	15%（300mm/2000mm）
拡幅リング数	3リング（=3.0m）

ラップした構造となっており、拡幅箇所ではシールドマシン外筒部を拡幅して、掘進と同時に拡幅部を形成する方法である。(図-3)

シールドマシンと同期して拡幅・縮幅する必要のある拡幅区間の両端(断面変化箇所)では、L工法と同様にスライド機構を有した特殊セグメントを用いるが、それ以外の拡幅部は可動機構のない楕円形状となるため拡幅区間での曲線施工にも適応でき、

- ① 拡幅量が多い
- ② 拡幅箇所が多い
- ③ 拡幅延長が長い
- ④ 大断面シールド

等の施工条件に適した方式である。

3-2. 施工手順

VASARAシールド工法の施工は、(1)拡幅掘削工 (2)セグメント組立工 (3)セグメント拡幅工に大別される以下の作業により構成される。(図-4)

(1) 拡幅掘削工

拡幅区間をシールドマシンのオーバーカッタ機能(伸縮スポーク又はコピーカッタを使用)で必要量・必要範囲だけ余掘り掘削する。拡幅量(余掘り量)が大きい場合には、面板スライド機構を併用した掘削機構を用いる。余掘り部の掘削土砂を取り込む機構としては、拡幅チャンバーを装備する。

また、余掘り部へは掘進と同時にシールドマシン機内から、流動性・遅硬性・非希釈性・非浸透性の性状を有する特殊充填材を注入し、掘削した地山の崩落・沈下を防止する。

(2) セグメント組立工

シールドマシンのテール部が拡幅掘削位置に達した時点で、スライド機構を有した拡幅用セグメントを円形(拡幅前状態)で組み立てる。

L工法の場合は、拡幅区間の全リングに拡幅用セグメントを使用する。

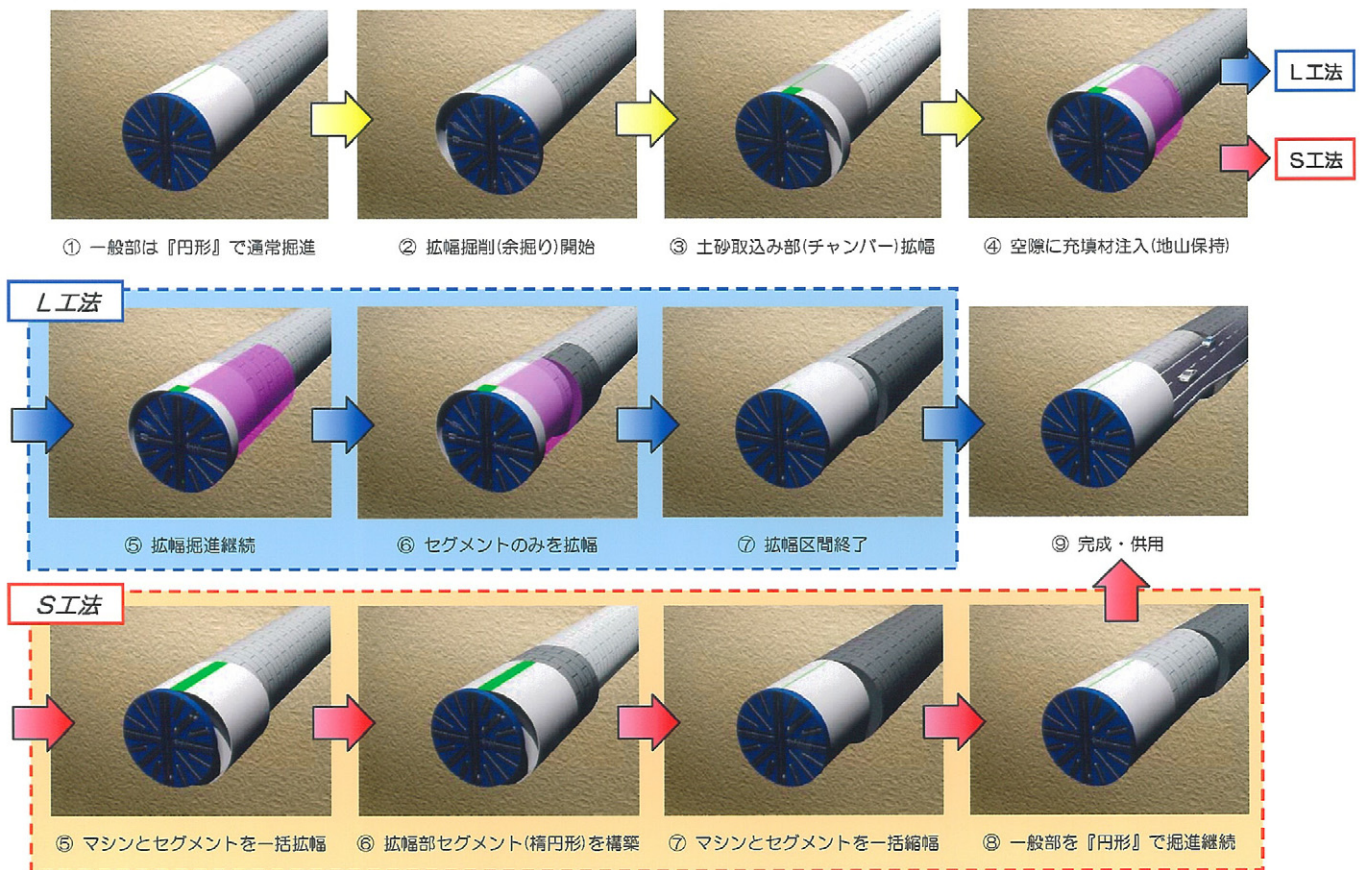


図-4 施工ステップ図

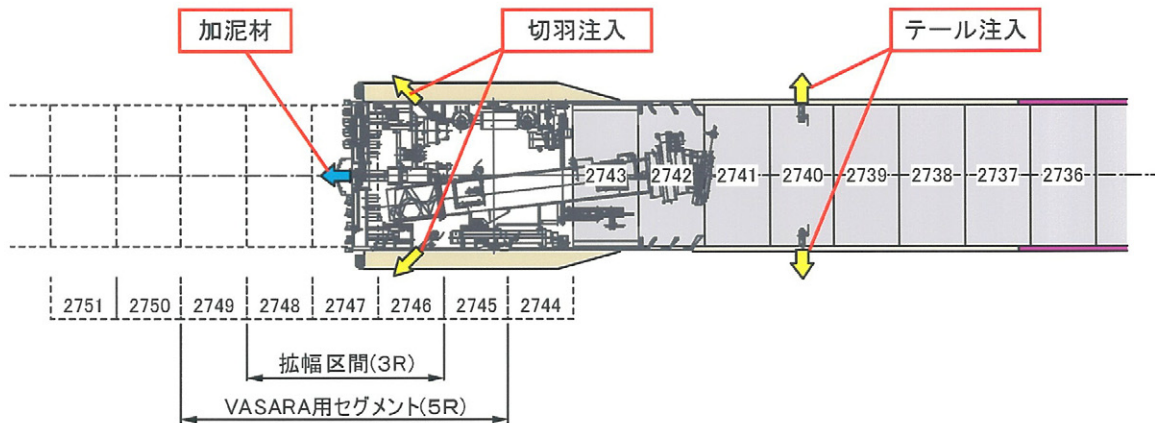


図-5 拡幅掘進状況図（平面図）

(1) 拡幅掘削工

今回の実証施工では、シールド径が小さいことや余掘り掘削量が少ないことから、拡幅部の余掘り掘削をロングストローク対応の強化型コピーカッタ（最大ストローク 185mm）で行ない、掘削した土砂は機内から注入する特殊充填材でチャンバー側へ押し出して排土する手法で実施した。

拡幅掘削による余掘り箇所とテールボイド部には、地山の崩落・沈下抑止対策として、シールドマシンに設けた注入口8ヶ所とセグメントグラウトホールから特殊充填材を充填注入した。（写真-1）

(2) 拡幅用セグメント

今回使用したVASARA用セグメントは、拡幅機構を有する特殊セグメント3リングとその前後に設置する調整用セグメントの計5リングである。

拡幅用セグメントは、上下にスライドピースを配置しており、左右水平方向に150mmずつ可動する機構とした。（図-6）

また、各リングの主桁内面には拡幅前に妻板部材を取り付け、スライドによって生じるリング間妻部の止水部材とした。

(3) セグメント拡幅工

拡幅に先立って、鉛直方向の変形抑止のための補強柱（鉛直部材）と拡幅のための水平部材・拡幅用ジャッキを坑内に設置した。

セグメントの拡幅作業は、左右片側ずつを3リング

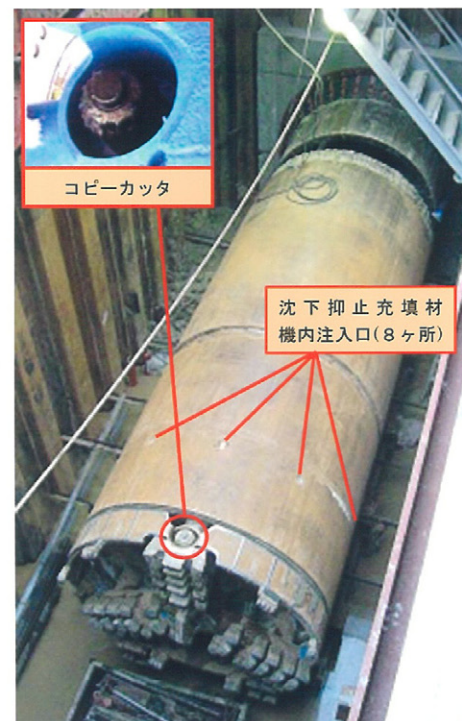


写真-1 シールドマシン（到達後）

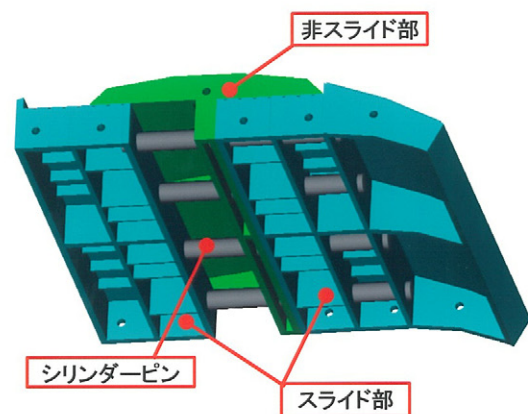


図-6 スライドピース概念図

同時に押し出す手法を用い、セグメントの拡幅と同時に余掘り部に充填注入した特殊充填材を坑内へ回収しながら実施した。(図-7)

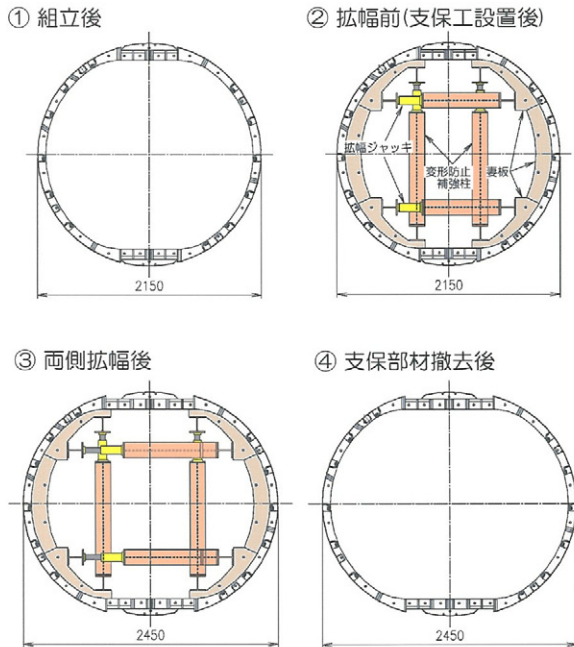


図-7 セグメント拡幅手順

4-2. 施工結果と確認事項

(1) 拡幅掘削及び余掘り充填

当初、拡幅掘進時の姿勢制御と線形確保が懸念されたが、特殊充填材の注入箇所・注入圧の管理・調整により、通常と同様のジャッキパターンにより安定した掘進を実施することができた。

また、余掘り掘削箇所のサンプリングにより、特殊充填材が概ね均一に充填置換されていることが確認されており、余掘り掘削部の排土と充填置換に関しても良好な結果が得られた。

(2) 特殊充填材による地山保持効果

特殊充填材による地山保持機能を確認するため、地表面変位計測及びシールドトンネル直上 50cm の位置での地中内変位計測を実施した。

当該区間は、土被り 3m 程度 (1.5D) の低土被り施工であったため、拡幅掘削による地表面沈下やセグメント拡幅に伴う隆起等、周辺地盤への影響が懸念された。しかしながら、特殊充填材の注入量及び注入

圧管理により、こうした影響を発現することなく十分な地山保持効果が確認された。

(3) セグメント拡幅機能

拡幅箇所を使用したスライド機構を有する特殊セグメントは、機械加工による高い製作精度と組立精度が要求された製品であり、実施工においてその確保が懸念された。

組立作業に若干の時間を要したものの、拡幅に伴うセグメントの競りや変形、過大な押し出し力の発生、充填材回収時の噴発等もなく、良好な施工状況であった。また、拡幅完了後の変状もなく、セグメントの拡幅機構・止水機構及び拡幅設備・拡幅要領の妥当性が確認された。

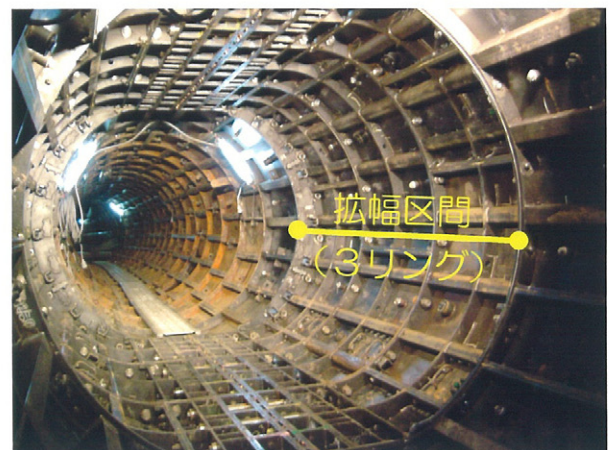


写真-2 拡幅施工後の坑内状況

5. おわりに

実際の施工現場における適用により、補助工法を併用しない非開削での地中拡幅工法として、実現性及び有効性を確認するとともに、今後の実用化に向けた施工方法と管理手法に関する様々な知見が得られた。

VASARAシールド工法は、必要な箇所のみを任意に拡幅でき(一般部の断面縮小化)、拡幅部を迅速に構築する(高速施工)ことが可能な工法である。

今後も、適用実績を積み重ねながら、施工性・安全性・経済性に優れた合理的な工法技術として確立すべく、引き続き技術開発を推進していく所存である。