

# 部分拡幅シールド工法(VASARAシールド工法)の開発 —非開削による大規模地下空間構築技術—

神尾正博・浅野裕輔・杉山雅彦

近年、都市部の地下におけるシールドトンネルでは、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。

本報文では、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\*)」の工法概要と実証施工の実績について紹介する。

キーワード：シールド工法、非開削工法、部分拡幅、大深度地下利用、高速施工、コスト縮減

## 1. はじめに

シールド工法で構築する地下トンネルは、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、分野で多く存在している。

例えば、地下道路トンネルの非常駐車帯やランプ合流部、地下鉄トンネルの駅部や渡り線部、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他に、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上げを行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箇所ですべて安全かつ経済的に非開削でトンネルの部分拡幅が行える合理的な工法としてVASARAシールド工法を開発した。

## 2. 工法概要

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

併用した施工方法と比べて、大幅な工期短縮と安全性の向上を図ることができる。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、事業コストの大幅な縮減や建設廃棄物、建設資材の削減も可能となる合理的な施工技術である(図-1)。

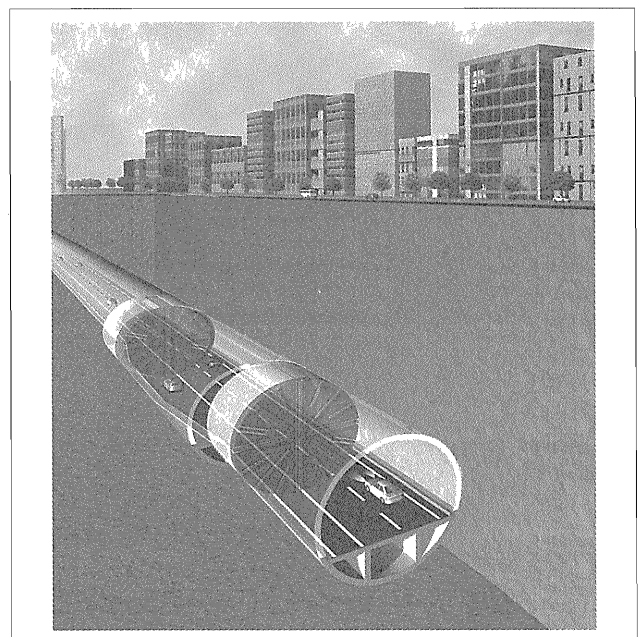


図-1 工法適用イメージ(非常駐車帯)

本工法には、セグメントのみを拡幅する①「VASARA-L工法」と、シールドマシンを拡幅する②「VASARA-S工法」の2方式があり、トンネルの用途や規模、条件に応じて、より合理的な施工方法

\*1) 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)

の選択が可能となっている。

### (1) VASARA-L 工法 (L: Lining の頭文字)

シールドマシンのテール内で一般部と同様に拡幅用セグメントを円形状に組立て、シールドマシンのテール通過後にセグメントを外側に押し出して拡幅部分を形成する方式である (図-2)。

拡幅される部分の地山は、オーバーカッタ機構を用いて余掘り (拡幅掘削) し、余掘り箇所には特殊充填材を注入して地山の崩落、地表面沈下を抑止する。

拡幅部に使用するセグメントは、スライド機構を有した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を必要としないため、

- ① 拡幅量が小さい
- ② 拡幅箇所が少ない (1~2 箇所程度)
- 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 machine 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

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を拡幅して、掘進と同時に拡幅部分を形成する方式である (図-3)。

シールドマシンと同期して拡幅、縮幅する拡幅区間の両端 (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、それ以外の拡幅区間では楕円形状の固定式セグメントとなり、特殊セグメントが最小限で済む反面、シールドマシンは拡幅に伴う特殊機構を必要とするため、

- ① 拡幅量が多い
  - ② 拡幅箇所が多い (3 箇所以上)
  - 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. 施工手順

VASARA シールド工法の施工は、

- ① 拡幅掘削工
- ② セグメント組立て工
- 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)。

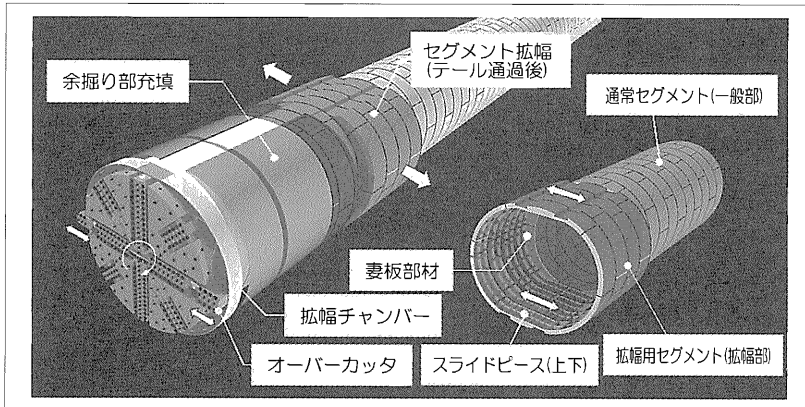


図-2 VASARA-L 工法

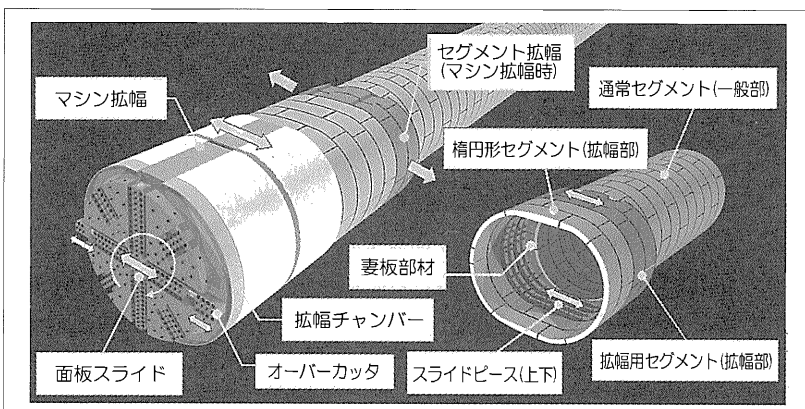


図-3 VASARA-S 工法

### (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構 (伸縮スポーク又はコピーカッタ) 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、サブカッタ機構や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込む機構として拡幅チャンバを装備する。

また、余掘り掘削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充填注入し、地山の崩落や地表面の沈下を抑止する。

### (2) セグメント組立て工

シールドマシンのテール部が拡幅掘削された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 (拡幅前の状態) で組立てる。

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。

S 工法の場合は、拡幅区間の始端

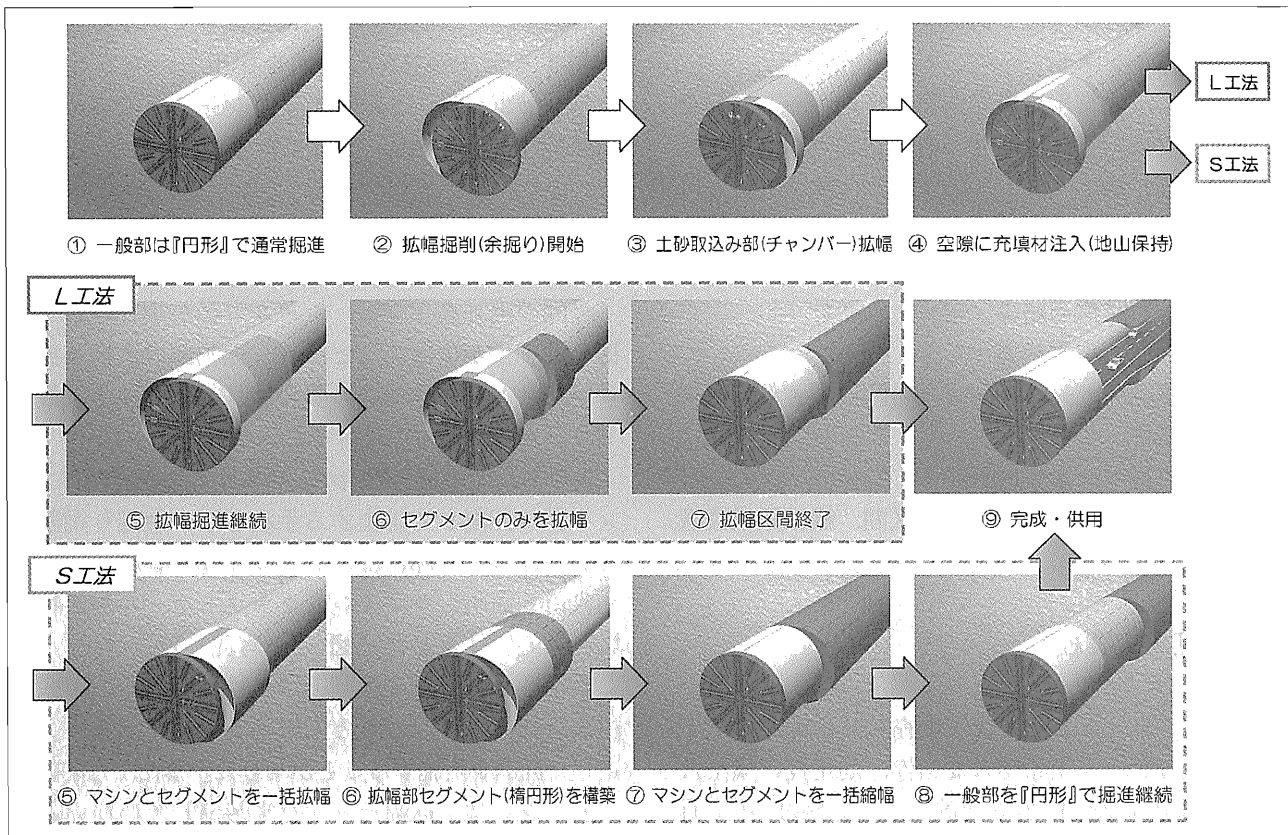


図-4 施工ステップ図

2～3 リングで拡幅用セグメントを使用し、マシン拡幅後の拡幅区間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)で組立てた後に、シールドマシンを一括して円形に縮幅して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「鉛直支保部材」と左右への押出し機構を有する「拡幅装置」を坑内に設置し、セグメントを地山側に順次押出していく。このとき、余掘り部の特殊充填材をセグメントに設けた回収孔から坑内へ排出(回収)する。

S工法の場合は上述のとおり、拡幅区間の両端部でのみ、シールドマシンと連動してセグメントを拡幅、縮幅するが、両端部以外の拡幅区間ではスライド機構のない楕円形セグメントを通常どおり組立てるため拡幅作業を伴わない。

## 4. 工法の特長

VASARA シールド工法は、補助工法を用いずに地中で任意に部分拡幅が可能となるため、様々な利点、

効用を有する工法である。以下に VASARA シールド工法の主な特長を列記する。

- ① 補助工法を併用せずに非開削で拡幅部分を構築することが可能。
- ② シールド掘進施工と並行して拡幅施工を行うことが可能。
- ③ 拡幅部以外の一般部を必要最小限の円形断面とすることが可能。
- ④ 繰返して何回でも拡幅、縮幅が可能。
- 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。
- 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。
- ⑦ マシン入替え用の立坑が不要となり、事業費の縮減が可能。
- ⑧ シールドマシンの大規模な改造や特殊機能の追加がほとんど不要(VASARA-L)。
- ⑨ 楕円形セグメントで構成される拡幅区間では、曲線施工にも適応可能(VASARA-S)。

## 5. 適用用途

VASARA シールド工法は、以下のトンネル用途へ適用することで、従来工法に比べてより合理的な施工

の実現を図ることが可能である。

(a) 道路トンネル

非常駐車帯，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

(b) 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

(c) 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

(d) 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

6. 実証施工実績

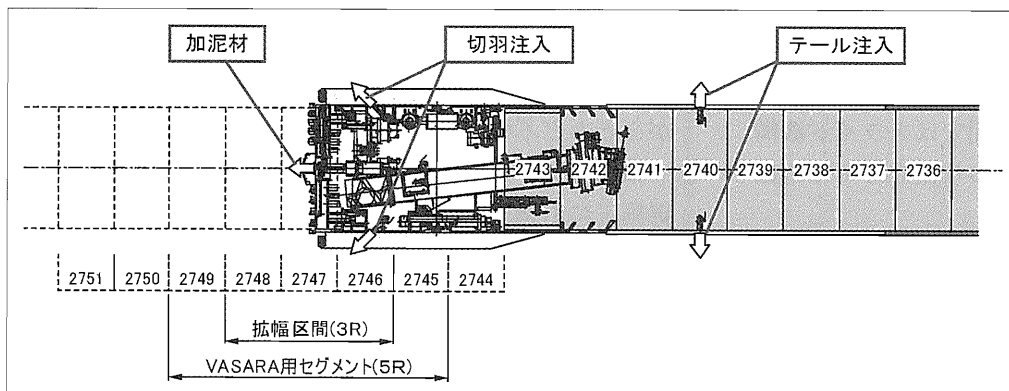
VASARA シールド工法は，現在も技術開発中の工法技術であるが，工法原理の妥当性，適用性の検証及び今後の開発課題の抽出を目的として，2005年2月に実施工現場での実証施工を完了している。その概要を以下に記す。

(1) 施工概要

今回の実証施工では，シールドマシンのテール内で円形状に組立てた拡幅用セグメント（3リング=3.0

表一 施工諸元（工法適用範囲のみ）

施 工 場 所	滋賀県草津市
施 工 期 間	2005年1~2月（実働12日間）
シールド工法	泥土圧式シールド工法
マシン外径	φ2,280 mm
覆工（鋼製）	外径φ2,150 mm，内径φ2,000 mm
拡 幅 量	300 mm（左右各150 mm）
拡 幅 率	15%（300 mm/2,000 mm）
拡幅リング数	3リング（=3.0 m）



図一五 拡幅掘進状況図（平面図）

m) をマシン通過後に外側に押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φ2,280 mm の泥土圧式シールドで実施した。当該範囲の施工諸元を表一に示す。

(2) 施工結果と確認事項

(a) 拡幅掘削及び余掘り充填

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185 mm）で行った。

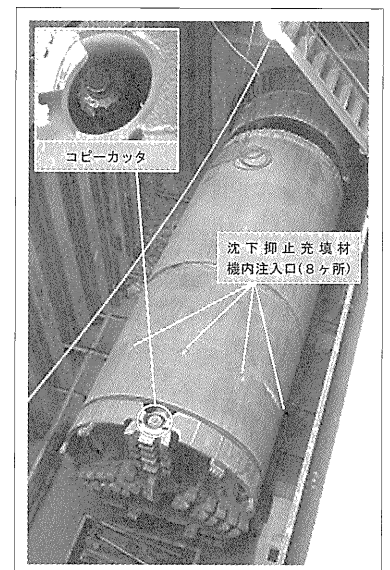
掘削した土砂は，機内から注入する特殊充填材でチャンバ側へ押出して排土する手法とし，余掘り掘削箇所とテールボイド部には，シールドマシンに設けた機内注入口8箇所とセグメントグラウトホールから特殊充填材を充填注入した（図一5，写真一1）。

当初懸念された姿勢制御は，特殊充填材の徹底した注入管理により，通常と同様のジャッキパターンで安定した掘進を実施することができた。また，今回のシールドマシンは，拡幅チャンバを装備していない通常の仕様としたため，掘削土砂の確実な排土と充填置換における不具合が懸念されたが，拡幅前に実施した余掘り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，余掘り掘削部の排土と充填置換に関しても良好な施工結果が得られた。

(b) 特殊充填材による地山保持効果

当該区間は，土被り3 m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の影響が懸念された。

特殊充填材による地山保持機能を確認するため，地



写真一 シールドマシン（到達後）

表面変位計側及びシールド直上 50 cm での地中内変位計側を実施したが、特殊充填材の注入管理を徹底することで、懸念された影響は発現することなく十分な地山保持効果が確認された。

(c) 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、上下にスライドピースを配置し、左右水平方向に 150 mm ずつ可動する構造とした。機械加工による高い製作精度と組立て精度が要求された製品であり、実施工における許容精度と機能の確保が懸念された。

組立て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現、

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(図-6、写真-2)。

7. 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を得ることができた。

今後も、適用実績を積重ねながら、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、引続き技術開発を推進していく所存である。 **JCMA**

《参考文献》

- 1) 馬野, 永森, 中川, 本田, 染谷, 波多腰, 杉山:「VASARA シールド工法」による非開削地中拡幅実績(その1), 土木学会第60回年次学術講演会, 2005.9
- 2) 吉迫, 神尾, 永谷, 小野, 橋本:「VASARA シールド工法」による非開削地中拡幅実績(その2), 土木学会第60回年次学術講演会, 2005.9
- 3) 坂口, 白井, 市田, 深澤, 浅野, 阿部:「VASARA シールド工法」による非開削地中拡幅実績(その3), 土木学会第60回年次学術講演会, 2005.9
- 4) 鹿島建設:部分拡幅シールド工法(VASARA シールド工法), 建設の施工企画, 2005年9月号, p.52, 2005.9
- 5) 神尾, 浅野, 杉山:部分拡幅シールド工法(VASARA シールド工法), 建設機械, 2005年11月号, pp.1-7, 2005.11
- 6) 神尾, 浅野, 杉山:部分拡幅シールド工法(VASARA シールド工法)の開発, 平成17年度建設施工と建設機械シンポジウム, 2005.11

【筆者紹介】

神尾 正博(かんお まさひろ)  
鹿島建設株式会社  
機械部  
技術グループ  
課長



浅野 裕輔(あさの ゆうすけ)  
石川島建材工業株式会社  
セグメント事業本部  
技術部  
開発グループ  
課長代理



杉山 雅彦(すぎやま まさひこ)  
三菱重工株式会社  
神戸造船所  
地下建機事業ユニット  
設計課  
担当課長

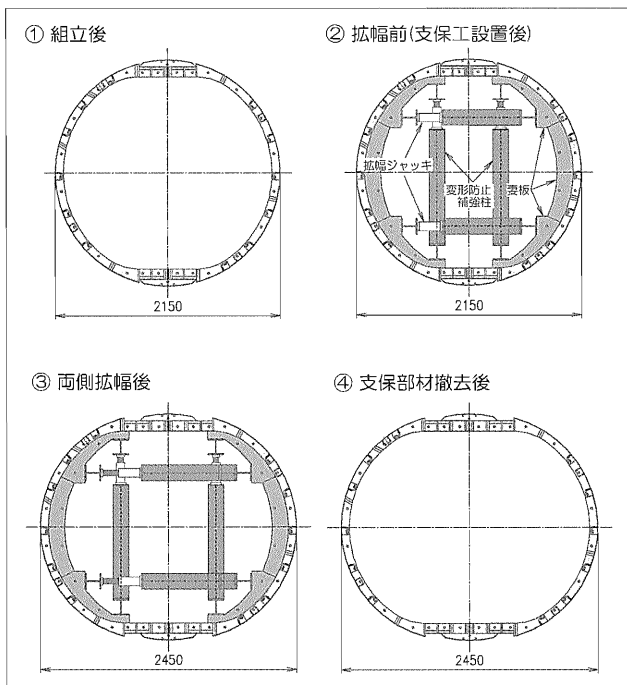


図-6 セグメント拡幅手順

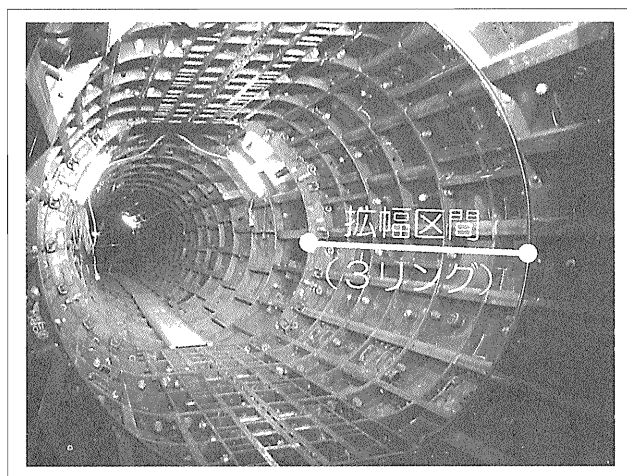


写真-2 拡幅施工後の坑内状況