

「VASARAシールド工法」の開発（その5） ～ 中口径・高水圧下適用に向けた沈下抑止特殊充填材に関する要素実験 ～

鹿島建設(株) ○正会員 馬野 浩二 正会員 吉迫 和生
神尾 正博 正会員 上本 勝広
正会員 坂口 拓史 フェロー 五十嵐 寛昌

1. はじめに

従来は同一断面で施工されるシールド工法において、任意の場所で地盤改良を伴わずに部分的にトンネル内空（幅）を拡げる施工法として開発してきた「部分拡幅シールド工法（VASARA シールド工法）」は、拡幅掘削（余掘り）部の地山を保持して拡幅空間を確保することが施工法としての大きな特徴である。その重要な要素技術である地山保持・沈下抑止のための特殊充填材に関する実験内容について紹介する。

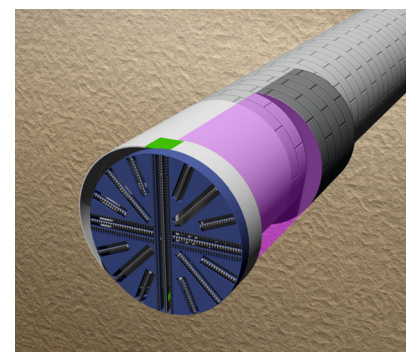


図-1 拡幅掘削部充填イメージ図
（紫：充填材）

2. 特殊充填材の特徴と適用実績

特殊充填材は、繊維を混合することでせん断抵抗力を向上させ、余掘り部地山に対する保持機能を有し、しかもマシンの円滑な姿勢制御を可能とする流動性も有する材料である。

VASARA シールド工法においては、拡幅掘進と同時にその余掘り空隙部に充填することで地山を保持（拡幅空間を確保）し、セグメント拡幅時には回収可能なこの材料を採用している。特殊充填材に求められる性能を下記に示す。

- ①拡幅のための余掘り部へ確実に充填可能な流動性能。
- ②余掘り部へ充填後、地山の緩み・崩壊を防止するための地山保持性能。
- ③セグメント拡幅時の材料回収のための流動性能。
- ④セグメント拡幅後におけるセグメント反力確保のための強度発現性能。

（※ただし、充填後～セグメント拡幅間は硬化が生じない流動性維持性能）

以上の性能を満たす沈下抑止特殊充填材として、これまでに数多くの実績を有する空隙充填材（珪酸塩鉱物を主成分とし、材料の安定性、せん断抵抗力の向上を目的としてポリマーと繊維（太さ2デニール、長さ2～6mm）を混合）

をベースに、特殊硬化材を添加することにより硬化時期・硬化後強度を任意に調整可能な材料を検討した¹⁾。本材料は、充填時・回収時には流動性能を保持しているが、セグメント拡幅後に硬化促進剤により固化させることが可能であり、固化後の一軸圧縮強度は1000～2000kN/m²以上の範囲で任意に設定が可能である。沈下抑止特殊充填材の配合および物性を表-1に示す。



写真-1 充填材回収状況
（実証施工時）

表-1 沈下抑止特殊充填材の配合および物性

配合	硬化材配合 W/C (%)	硬化材添加率 (%)	充填・回収時ベーンせん断強度 τ_v (kN/m ²)	硬化促進剤浸透後一軸圧縮強度 q_u (kN/m ²) (材齢28日)
1	50	13.9	7.1	2171
2	75	17.4	6.5	1717
3	100	20.7	5.9	1415

この特殊充填材は、一昨年度のVASARAシールド工法実証施工でも有効に機能しており、矩形大断面でのオーバーカット部や急曲線の余掘り部への適用による沈下抑止効果も実証済みである。

キーワード：部分拡幅、シールド工法、非開削工法、大深度地下、充填材、沈下抑止

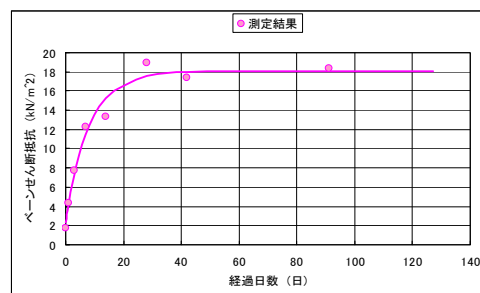
連絡先：〒107-88502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株) 土木設計本部 TEL 03-5561-2111

3. 特殊充填材に関する要素実験

VASARA シールド工法において特に要求される性能は前項で記したとおり、拡幅掘削時の充填およびセグメント拡幅時の回収が可能な「流動性の確保」と最終的に裏込め注入材相当の「強度を発現」することで、これら相反する性能に対して経時的な変化が求められる。また、余掘り部を確実に充填材に置換できているかどうかの確認手法も重要となる。そこで、これまで適用してきた結果を基に更なる性能向上を目的として種々の実験を行っている。このうちの一部を紹介する。なお、強度発現に関する検討は別稿¹⁾にて報告する。

(1) 拡幅掘進時の充填およびセグメント拡幅時に回収可能な流動性確認実験（図－2）

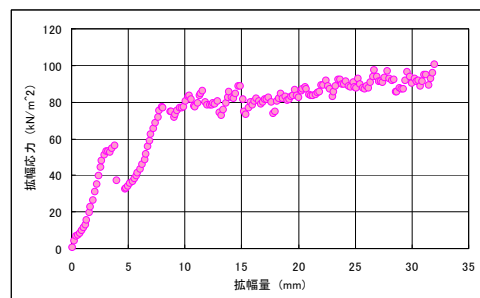
流動性に関しては、主にベーンせん断強さで評価する。これまでに実施してきたポンプ圧送試験などにより、ベーンせん断抵抗が約 20kN/m^2 以下の場合には充填および回収が十分可能であるとの結果を得ている。図－2 に強度発現を考慮した特殊充填材における製造時からのベーンせん断抵抗の変化を示す。日数が経過するに従ってベーンせん断抵抗が大きくなっている（硬くなっている）ことが判るが、40 日経過以降は約 18kN/m^2 で安定した状態となる。各種設定条件による調整は必要となるが、拡幅時まで流動性を確保し、かつ最終強度を発現する性能を両立可能な最適材料が確認できた。



図－2 充填材製造からの経過日数とベーンせん断抵抗の変化

(2) セグメント拡幅時の抵抗確認実験（図－3）

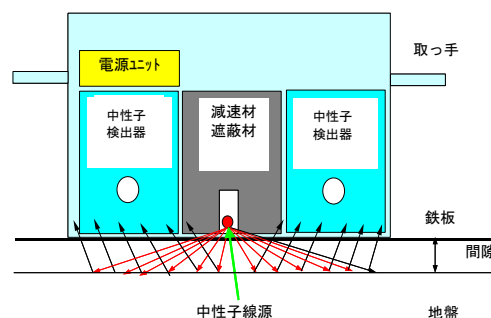
拡幅時の充填材回収にはセグメントに設置した回収孔を用いる。充填材の回収能力に応じた拡幅速度および拡幅量の管理により拡幅に伴う充填材の抵抗力は軽減可能であるが、ある程度の抵抗力がセグメント背面に作用するものと想定される。ここでは、想定拡幅速度（ 5mm/min ）での抵抗応力を計測（図－3）し、セグメントの設計に反映させた。



図－3 回収（拡幅抵抗）実験結果

(3) 中性子線を利用した充填状況確認実験（図－4）

特殊充填材は地山保持性能を有するが、余掘り空隙部に確実な充填がなされていなければ掘削地山が崩壊して拡幅不能となる。先の実証施工では坑内からサンプルを採取して異物混入や空隙がないことを確認していたが、今後の大断面・高水圧下での実施工を鑑みて、中性子線を利用した非破壊による充填状況評価への適用可能性を検討した。模擬地山と測定器の間隙に充填材、空気、泥水、水道水などを満たした状態で測定した結果、計測される中性子の量（計数比）が異なることが確認できた。適用への課題は残されているが、ひとつの可能性を見出した。



図－4 非破壊検査原理図

4. 今後の展開

各要素実験により、特殊充填材に関するブラッシュアップを図ることができた。今年度は、これを基にした中口径・高水圧下での実現場における試行を予定している。また、シールドマシン自体を拡幅する VASARA-S 工法に関する適用性検証も進めており、幅広いシールドトンネル部分拡幅のニーズに対応すべく、技術開発を継続していく。

参考文献

- 1) 五十嵐寛昌, 吉迫和生, 上本勝広, 青山要, 脇山哲也: 地山保持機能を有する沈下抑止特殊充填材に関する検討
土木学会第 61 回年次学術講演会, 2006.9 (第Ⅲ部門: 投稿中)
- 2) 杉山雅彦, 浅野裕輔, 真鍋智 他: 「VASARA シールド工法」の開発 (その 1～3)
～VASARA-S 工法の概要, VASARA-L 工法の概要, 部分拡幅実証実験～ 土木学会第 58 回年次学術講演会, 2003.9
- 3) 馬野浩二, 吉迫和生, 浅野裕輔 他: 「VASARA シールド工法」による非開削地中拡幅実績 (その 1～3)
～実証施工概要, 拡幅掘進と余掘り充填及び回収, セグメントの拡幅～ 土木学会第 60 回年次学術講演会, 2005.9