

III-B 146 可塑性グラウトの長距離圧送特性と充填性

NTTアクセス網研究所 正会員 大竹 昌志
 同 上 正会員 小林 康雄
 株式会社 協和エクシオ ○ 正会員 大越 一朗

1. はじめに

近年、都市トンネル築造の主力であるシールド工法において、施工の合理化および高速化を目指した、現場打ちシールド工法（ECL工法）が注目されている。

NTTではライニング材料に高強度、早期強度発現、低収縮を特徴とする独自に開発したレジンモルタルを使用し、現場打ちシールド工法である、E-SH-M200-M2工法として実績を積んできた。

現在そのノウハウを、内径2.2mのトンネルであるとう道領域まで広げることが目的として、新たにレジンシールドシステムとして、開発検討を行っている。

本報告は施工規模拡大に対応した様々な技術開発のうち、現場打ちライニング工法に必要とされる裏込め注入システムの、特に裏込め材の開発結果についてまとめたものである。

2. レジンシールドシステムにおける裏込めの必要性

多くのECL工法はライニング材として、セメント系コンクリートを使用しており、施工サイクル、鉄筋の補強等の課題はあるものの、推進開始時に発生したテールボイドは、未硬化コンクリートをプレスジャッキで押し込むことにより充填できる側面を有している。

一方、レジンシールドシステムは強度発現が非常に早いレジンモルタルを使用しており、多くのメリットはあるものの、プレスジャッキによる加圧充填する方法は採用できず、推進後は必ずテールボイドが発生する。また打設されたライニングはグラウトホールが無い場合、シールドマシンテール部に同時裏込め注入管を設ける必要があり、そのためテールボイド量も増大する。（図-1）

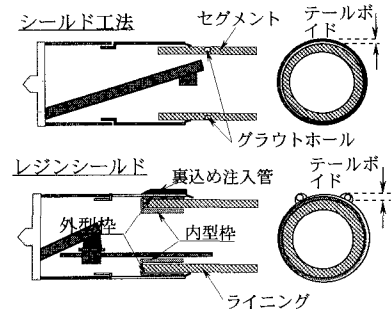


図-1 両工法のテールボイド比較

3. 裏込め材の現状の課題

同時注入方式は一般のシールド工法においても多く採用されていますが、同時注入管の確実な洗浄方法が確立されていないため、固結した裏込め材による閉塞が多発し、やむを得ずグラウトホールからの後方注入に切り替える例が多いのが現状である。その課題としては裏込め材の可使時間を長くできないことが挙げられる。

一方、裏込め材の可使時間を長くすることは容易でなく、そのため日々配管清掃が必要となり、施工の長距離化に伴い、清掃時間の増大、材料の歩留まりの悪化といった問題が発生している。

また、注入口が限定されるレジンシールドシステムでは、一般のシールド工法よりも、充填性の高い材料が求められている。

4. 裏込め材に対する要求条件

裏込め材に対して以下に示す要求条件が挙げられる。

- ①長距離圧送性：可使時間が長く、長距離圧送しても分離や固結を起こさないこと。
- ②高初期強度：早期に強度発現し（1時間強度：1kgf/cm²）、シールドマシン曲線掘進時の反力を地盤に伝達してライニングの横ズレを防止すること。
- ③可使時間：A液単体で7日以上
- ④充填性：シールドマシンテール部の注入管からでも、テールボイドの隅々まで行き渡ること。

表-1 1m³当たりの配合

A液（練り上がり900ℓ）				B液
主材 （微粒子シリカ・石灰系）	助材	安定剤 （遅延剤）	水	特殊水ガラス
300kg	90kg	5kg	749ℓ	100ℓ

5. 裏込め材の選定検討

4. に示す要求条件を満たす裏込め材として、スラグ系可塑性裏込め材を選定し、実験室レベルでの機能試験を実施した後、実際の施工に、より近い形態で本裏込め材の実用性を検証するべく長距離圧送実験を行った。配合を表-1に示す。

6. 検証実験

6. 1 検証項目

長距離圧送性、長距離圧送後および長期放置後の材料特性（一軸圧縮強度・ゲルタイム・ブリージング・粘性）の変化、充填性、配管内洗浄状況を検証する。

6. 2 検証方法

図-2に示す配管構成により裏込め材を圧送し、100m毎に設置した圧力計で圧力損失を測定することにより、長距離圧送性を確認した。

材料特性の変化は500m地点で採取したサンプルを比較し、A液混練後初日及び一週間後の材料特性を確認した。また充填性については図-3に示すとおり内部に障害物を設けた水中打設試験器に裏込め材を打設し、回り込み具合を目視により確認した。

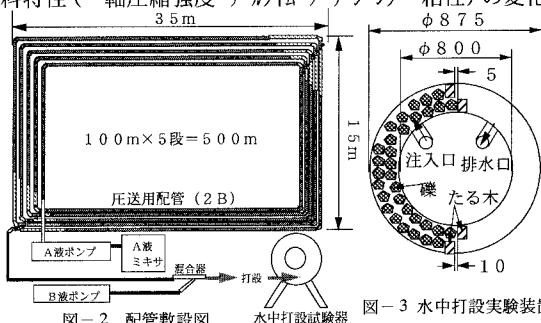


図-2 配管敷設図

図-3 水中打設実験装置

6. 3 検証結果

(1) 長距離圧送性：

図-4より500m先端での圧力損失は、日数の経過に係わらず3～3.5 kgf/cm²であった。配管抵抗の殆どは摩擦損失であり、これは配管長に比例することから、1000mの場合は8 kgf/cm²程度になるものと推定される。このことから、推進長1000m、地下水圧3 kgf/cm²程度の施工を想定した場合でも本裏込め材は通常使用する最大吐出圧20 kgf/cm²のポンプで十分圧送が可能と考えられる。

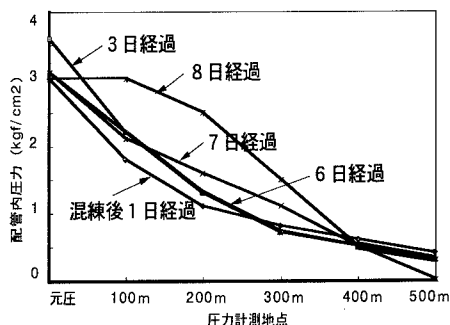


図-4 圧送距離と圧力損失の関係

(2) 材料特性の変化：

- ・一週間経過してもゲルタイムは3～4秒で変化がなかった。また、一軸圧縮強度についても変化は殆ど認められなかった。（表-2）
- ・ブリージング率は8%で収束し、粘性もPロートで10～11秒の範囲にあり、時間の経過による差はなかった。

(3) 充填性：

混合器を通過した裏込め材は瞬時にゲル化し、水中打設装置に注入された。

装置内ではゲル化しているにも関わらず、礫と1cmの隙間のたる木を通過し、水に希釈されることなく完全に充填できた。

装置を解体し、確認したところ、礫の隅々まで充填されており、未硬化部分も全くなかった。この結果は初日と一週間後で差が無く、一週間程度の練り置きでも本裏込め材が良好な充填性を維持しうることが確認された。（写真-1）

(4) 配管内洗浄状況：

一週間後に配管を100m毎に外して内部の状態を確認したが沈殿および付着は見られなかった。

6. 4 考察

本裏込め材は長距離圧送および時間の経過による劣化が極めて少なく、安定した充填性能を発揮することが確認された。良好な充填性は、本裏込め材のゲルの早さと、可塑性状の影響が大きいと考えられ、水中で希釈されにくく、一箇所からの注入でも障害物を通過しての充填が可能となった。

7. まとめ

裏込め材については、要求条件を満足する配合が確立できた。なお、既に開発済みの裏込め注入装置と併用することにより、現場打ちライニング工法における信頼性の高い裏込め注入システムを完成したといえる。さらに近年益々長距離、高深度化するシールド工法においても、本システムの適用は十分に可能と考えています。

今後は、シールドマシン実機搭載に向け、さらなる高機能化を図る予定である。

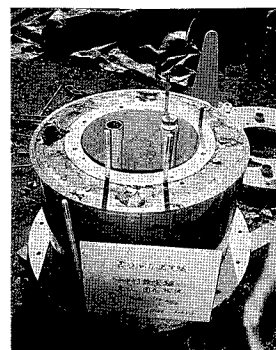


写真-1 充填性確認状況

表-2 圧送前後の一軸圧縮強度 (kg/cm²)

	圧送前	圧送後	基準値
一時間	1. 3 7	1. 4 0	1. 0 以上
7日	1 8. 5	1 9. 7	
28日	2 3. 9	2 7. 0	5. 0 以上