

40. 同時裏込め注入冷却システム

佐藤工業㈱：芝草 正彦，*工 義典
㈱立花マテリアル：藤本 勇一

1.はじめに

現在、シールド工事では、シールドテール部の地山を早期に安定させるために、同時裏込め注入設備の使用が増加している。年々改良が加えられている同時注入管だが、現在多く使用されている可塑状裏込め材は、短時間に固まる特性があり、注入管内で固化、閉塞し注入が不可能になるトラブルがしばしば発生する。現在、完全な解消法はなく、閉塞の防止策として、シールド掘進の1リング毎に注入管内を清水で洗浄して注入材を排出している。その結果、シールド施工中は多数回の洗浄排出を必要とし、作業工数が多く、同時裏込め注入の作業が繁雑となる。また、洗浄には大量の洗浄水を要し、その排水はトンネル坑内に流れ込むために、排水処理および坑内清掃の困難性とコスト増大を招いている。同時裏込め注入冷却システムは、注入材の温度を低温に保つことにより強度発現速度や注入管への付着力を抑制し、洗浄排出作業の削減や注入管の閉塞を防止するために開発されたシステムである。

本報告では、今回開発された同時裏込め注入冷却システム及び現場での適用について述べる。

2.システム概要

2-1 システムの構成

同時裏込め注入冷却システムは、同時裏込め注

入管と裏込め注入プラントおよび冷却装置から構成される。図1に、本システム構成を示す。

2-1-1 同時裏込め注入管

開発した同時裏込め注入管は基本的に従来と同様に注入と洗浄機能を持つが、注入管を2重構造とした。注入管は、内管に注入材、内管と外管の間に冷媒（以下：ブライン）が通過できる構造で、注入材の温度を測定するセンサを装備している。このセンサにより、同時裏込め注入作業を停止している間、管内の注入材を一定の冷温に保つようにブラインの流れを制御している。同時裏込め注入管を図2に示す。

2-1-2 冷却装置

冷却装置は、同時裏込め注入管2本を同時に冷却できる程度の能力を持っており、ブラインタンクと、ブライン循環ポンプおよびブライン液を冷却する冷却ユニット等から構成される。表1に冷却装置の仕様を示す。

2-2 システムの特徴

- (1) 注入材の温度を0℃程度に冷却制御することにより、強度発現速度を低下させ、6～8時間程度、同時裏込め注入管の閉塞を防止することができる。

従来行なっている1リング毎の注入管の洗浄回数・洗浄水・廃棄注入材等が大幅に減少し省力化・コスト低減を

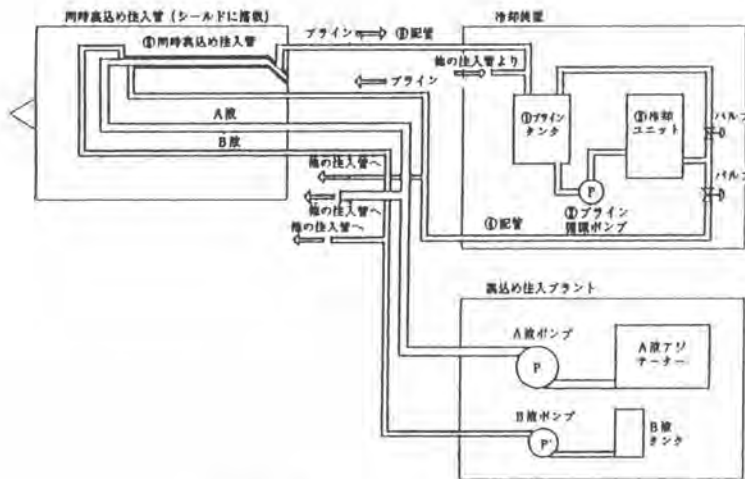


図1 同時注入冷却システムの構成

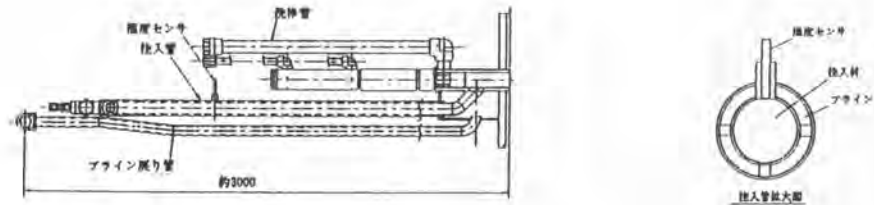


図2 同時裏込め注入管及び断面図

表1 冷却装置の仕様

項目	仕様
寸法	W1000 × D2000 × H1420 (mm)
温度制御範囲	-10℃～50℃
冷却ユニット能力	4800W (5600kcal/h)
ラインタンク容量	100l
ライン循環ポンプ吐出量	100l/min
電動ボールバルブ	32A
温度センサー	シースイチ熱電対

※寸法・冷却ユニット能力はφ6.44 シールドにおけるものである

図ることができる。

- (2) 注入管の洗浄排水処理に伴う産業廃棄物が従来の5%と大幅に低減できる。
- (3) 冷却装置はコンパクトなユニットでシールド後続台車に容易に搭載でき、転用が可能である。
- (4) 注入管内で注入材が閉塞した場合、注入管内の注入材を凍結したのち解凍することにより、閉塞・固化した注入材を回収することができる。

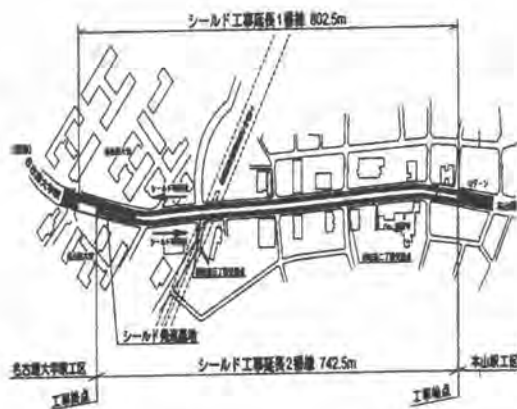


図3 工事平面図

3.現場での適用

3-1 工事概要

本工事は、名古屋市の高速度鉄道第4号線大曾根～名古屋大学間の内、名古屋大学駅を発進立坑として、本山駅に向かって（2番線）掘進し到達後、反転Uターンして再度名古屋大学に向かって（1番線）再掘進する単線断面併設トンネル工事である。（図3参照）

- (1) 工事件名：高速度鉄道第4号線四谷通工区
土木工事
- (2) 発注者：名古屋市交通局
- (3) 工事場所：名古屋市千種区四谷通一丁目1
6番
- (4) 工期：H09.01.09～H12.02.08
- (5) 施工者：佐藤・青木・村本特別共同企業体
- (6) 工事内容

- 1) シールド工事：土圧式（気泡式）
掘削径Φ6,440mm
- 2) 掘削延長：1番線 L=802.5m
2番線 L=742.5m

(7) 地質概要

シールド掘進部の土質は第三紀の矢田川累

層であり、砂質土・砂礫（Ps層）および粘性土（Pe層）の互層である。色調は単灰色を呈し、N値は7～50以上、透水系数は $1.4 \times 10^{-2} \text{cm/sec} \sim 1.0 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ である。

3-2 施工方法

本システムを適用するため、冷却装置はシールドマシン後続台車に搭載し、シールドマシンの掘削に伴う裏込め注入に連動して作動する様に自動制御で行った。また、今回の2番線の適用に当たっては、実施工への初適用であることを考慮し、片番終了時には洗浄を実施することで運用した。冷却装置の後続台車間位置を図4に、写真1には搭載された冷却装置を示す。

また、本システムの施工手順を図5のフローによって示す。

3-3 施工実績

当現場では、残土搬出をズリ鋼車（3両編成×3バッテリー）で実施している。このため、1リング掘進中にも、鋼車（バッテリー）入替時に掘進停止が必要となる。したがって、従来の同時注入方式ではリング間の掘進停止に加えて、鋼車入替時の掘進停止に対しても、注入管の洗浄作業が必要となる。これに対して、本システムを適用することにより、注入管洗浄作業の削減を図ったものである。図6は、2月3日の片番での同時注入管内の注入材温度、ブライン温度、坑内環境温度を時系列的にグラフ化し、注入材の注入圧を合わせてプロットしたものである。尚、データのサンプリング間隔は、温度計測が10秒毎、注入圧は3秒毎である。次に、冷却システム稼動時における裏込め注入圧と流量について着目し、片番でのリング毎の注入開始30秒間における注入圧と流量の関係を図7に、また、2番線掘進到達後に

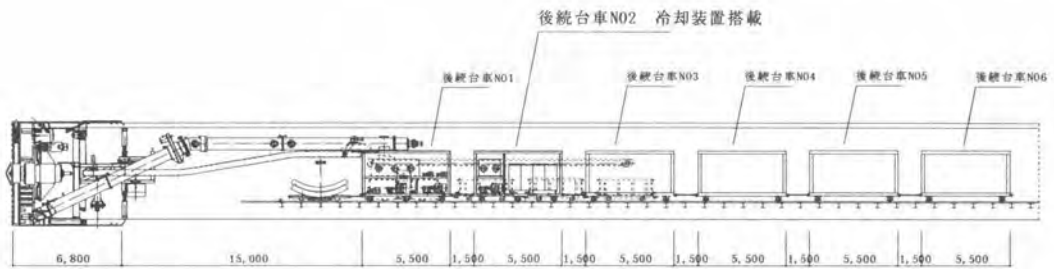
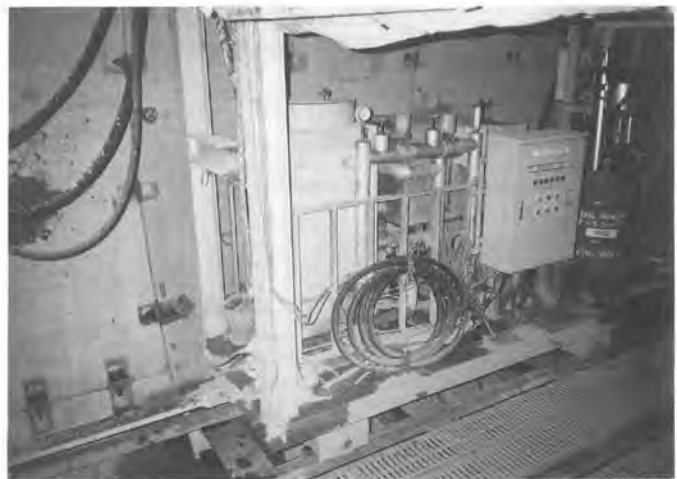


図4 冷却装置搭載位置

写真1 冷却装置（後続台車）



※1、※2の時のプラインの接続経路は図1より下記の様になる。

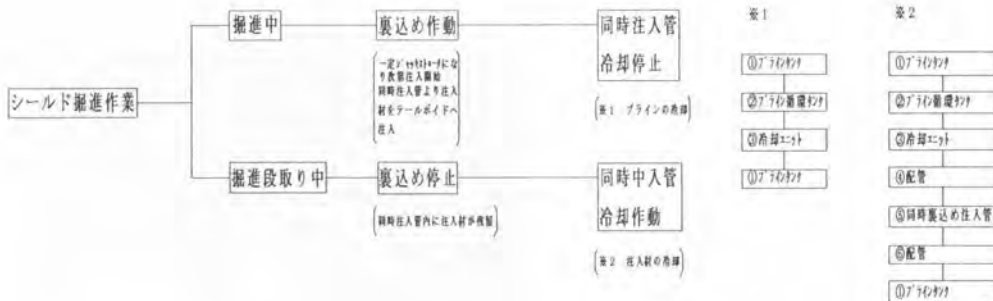


図5 冷却システム施工フロー

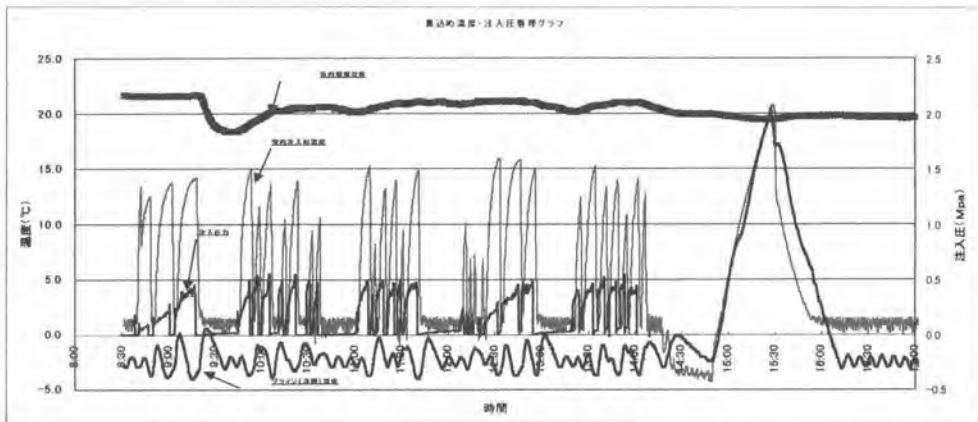
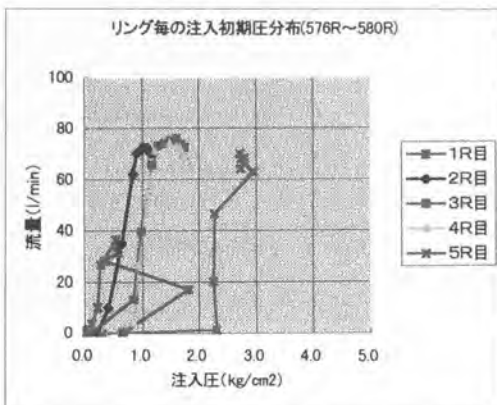


図6 裏込め温度管理グラフ (2月3日)

A. 2月3日 片番 (昼勤)



B. 2月4日 片番 (昼勤)

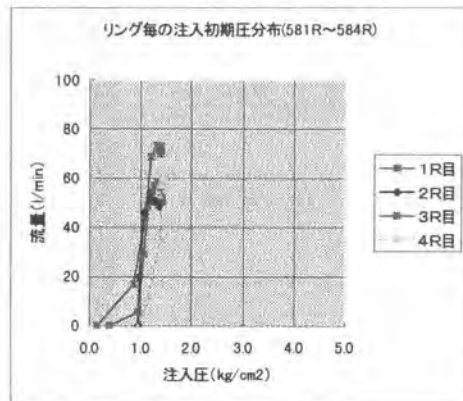


図7 裏込め注入圧—流量分布

同時裏込め注入管内の状況をカメラで撮影を行なった時の映像を写真2に示す。

管理グラフから、裏込め停止後の同時注入管内の注入材温度は 0°C ~ 2°C の範囲で確実に保冷されていることがわかる。片番終了時の洗浄作業前に実施した閉塞予防のための、凍結→解凍→排出作業においても管理グラフから、凍結時の温度は設定とした -4°C 以下で凍結され、解凍後は坑内環境温度まで戻った後排出されている。

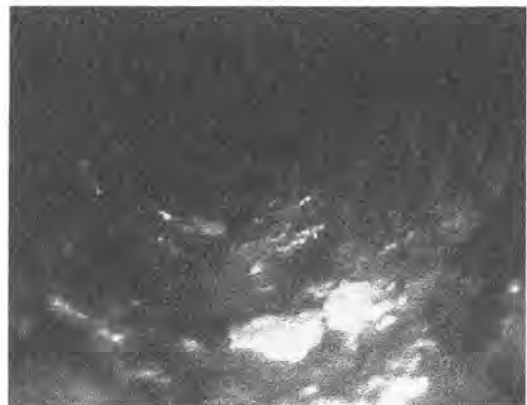


写真2 同時裏込め注入管内

次にリング間に着目し、冷却後の再注入圧について見ると、管内が洗浄状態（前回の作業終了後に洗浄）にある掘進作業開始時1R目の初期注入圧はほとんど無負荷であり、これは図7の初期注入圧（30秒間）のグラフAからみても確認できる。図6において2R目以降（約30分の冷却保持後）の初期注入圧についても極端な圧力上昇や差異は見られない。ただし、図7のグラフAの最終リング5R目では、わずかに注入開始30秒間の注入圧が他より高くなっていることが確認できるが、先に述べた閉塞予防のための、凍結→解凍→排出作業を行なうことによって5R目の圧高が回避されたことが図7のグラフBによって確認できる。

2番線到達後に同時裏込め注入管内をカメラで撮影した結果、管内には注入材の付着がほとんどないことを確認した。

4.おわりに

今回、本システムの実施工への適用は初めてであったが、以下のような結果を得ることが出来た。

- (1) 裏込め停止中の同時注入管内における注入材の温度は、0℃～2℃の範囲で確実に制御できることを確認した。
- (2) リング間に冷却をしてもリングを重ねるにつれ、多少の圧高を生じる可能性はあるが、本システムの機能（凍結→解凍）を使用することにより解消できることが確認できた。
- (3) 本システムの適用による洗浄の省略で、排水処理費の低減、作業工程の簡素化および材料ロスを低減することができた。

以上より、本システムの有効性を確認することができた。

今後の課題としては、

- ① 現在掘進中の1番線における成果の検証。
 - ② 片番終了後の洗浄を止めても注入管の閉塞は回避できるか。
- 上記の結果については機会をみて報告したいと思う。