

シンガポールにおける初の凍結施工 その2 -SCL トンネル施工-

大成建設(株) 国際支店	正会員	多田 博光
大成建設(株) 国際支店	正会員	○山名 陵太
(株)精研 凍結本部	正会員	小椋 浩
(株)精研 凍結本部		塩田 仁己

1. はじめに

シンガポールでは初の凍結工であったため、まず施工体制の確立が必要であった。現地業者との協力のもと、必要な資機材は日本から輸入し、現地調達品と合わせ凍結プラント・ブライン配管・凍結管打設を完了させた。トンネル掘削では、前方の凍結工の効果確認のため探針削孔を行いながら慎重に掘削を進めた。施工断面図を図1に示す。本報では、プラント設置から凍結管埋設・ブライン配管工および SCL (Sprayed Concrete Lining) トンネル工の詳細、また施工に伴う既設営業線(南北線)の事前予測変位と実際の計測結果の比較について報告する。

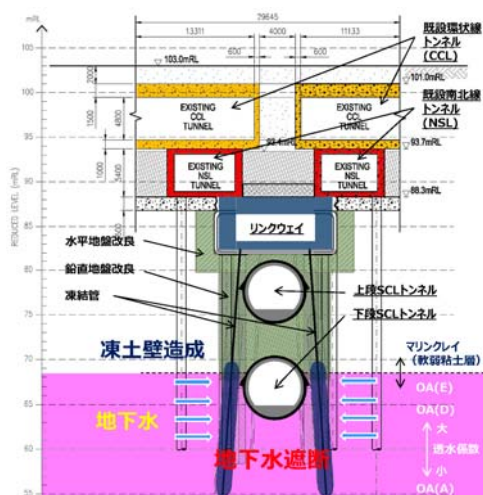


図1 施工断面図

2. 凍結設備工

160kWの冷凍機を3台使用し凍土壁造成を行ったが、維持管理中は2台だけ稼働させ、1台は緊急時用としてスタンバイさせた。また、冷凍機(95dB)の夜間の騒音対策としてプラント周りに防音壁を設置した。凍結プラントの写真を図2に示す。

リンクウェイの内空高さが4mしかなく、26mの凍結管および測温管を埋設するために、標準長さ2.75mの凍結管を用意し、10本を溶接しながら接続し所定の深さまで建込んだ。凍結管埋設については、未経験の現地業者と共に事前に日本の同様な

施工現場を見学し、実際の施工計画に反映させた。



図2 凍結プラント

ブライン配管については地上の凍結プラントから縦配管により立坑開口部を通して路下のリンクウェイまで2系統×2本(送りと返り)のラインを設置した。図3にリンクウェイ内のブライン配管と凍結管の接続状況を示す。



図3 ブライン配管と凍結管の接続

3. SCL トンネル工

測温データからの凍土壁造成確認および坑口からの探針削孔による地下水確認後、下段トンネル掘削を開始した。掘削開始時(凍結開始59日目)の凍土温度分布図を図4に示す。

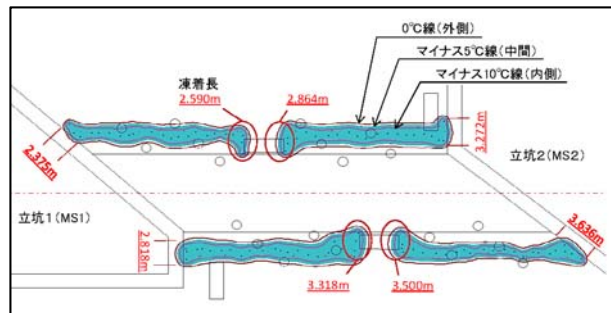


図4 凍土温度分布図(59日目)

キーワード 凍結工法, シンガポール, 凍土, 凍上, SCL トンネル

〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設株式会社 国際支店土木部 TEL.(03)3348-1111 (代表)

施工手順は、下段トンネルの掘削・一次覆工、凍結解除、その後に上段トンネルの掘削・一次覆工と下段トンネルの二次覆工を並行して実施、最後に上段トンネルの二次覆工を行った。トンネル掘削は、発注者要求事項で掘削進捗 6m 以内の一次覆工閉合が指定されたため、加背割は上半・下半の2分割のミニベンチカット工法を採用した。掘削中は上下段トンネルともに掘進 6m 毎に切羽から前方探針削孔 (10m×3 本) を行い、地下水の有無を確認しながら慎重に掘削を進めた。掘削後、切羽は吹付コンクリートによる 50mm の仮吹きを行い切羽安定を確保した。トンネル線形が立坑連壁に対して斜めになっているため、坑口から一般部 (全円部) 間の三角形部分のトンネル支保は H 形鋼 (UB125×125) を採用し、一般部は主筋 25mm のラティスガーダと 10mm のメッシュ筋 (網目 100×100) を併用した。全体平面図を図 5 に示す。

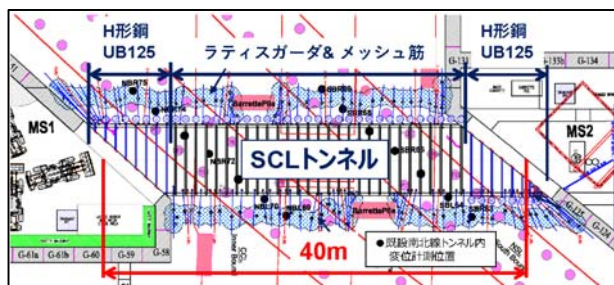


図 5 トンネル掘削全体平面図

一般部は上半両裾を拡幅掘削し、沈下抑制対策を行った。H 形鋼支保工の設置間隔は 0.8m~1.0m、ラティスガーダの設置間隔は 1.0m とした。掘削外径は下段トンネルが 7.0m、上段トンネルが 7.1m、一次覆工厚は両者ともに 300mm である。

また、上下段トンネルともに、既設南北線の RC 基礎杭 16 本 (直径 1m、表面厚さ 8mm の鋼板巻き) が掘削断面に干渉するため、これらを撤去する必要があった。杭上部は既にリンクウェイ施工時に既設トンネル躯体から切り離されている¹⁾ものの、はつり撤去中に切羽および天端の崩壊が懸念されたため、鋼板切断撤去後慎重にブレーカーにてはつり撤去した。特に上段トンネルはリンクウェイまでの土被りが小さいため、はつり撤去前に天端補強として 100mm の RC 仮吹きを施し崩壊防止対策を行った。図 7 に杭撤去状況写真を示す。



図 7 既設杭撤去状況

4. 既設南北線トンネル変位

凍結開始から凍土壁造成後、下段トンネル掘削後、凍土壁解凍後、上段トンネル掘削後の各施工段階における凍上変位および解凍沈下について事前予測解析値および実際の計測値を表 1 のように整理した。実際の計測値は、既設トンネル内に設置したプリズムを計測会社がトータルステーションにて自動計測した結果である。

表 1 事前予測値と実際の計測値

項目	凍土造成後	下段トンネル掘削後	凍土解凍後	上段トンネル掘削後
事前予測解析値	+7.0mm (↑)	+7.0mm (↑)	-5.0mm (↓)	-7.0mm (↓)
実際の計測値	-0.2mm (↓)	-1.1mm (↓)	-1.2mm (↓)	-1.9mm (↓)

事前予測解析では、凍結凍上および解凍沈下、そしてトンネル掘削の影響が顕著に現れる結果であった。予測解析値と実際の計測値の乖離の理由としては以下が考えられる。

- 1) 室内試験で得られた凍上率が実際にはもっと低かったと考える。室内試験では自由給排水にて実施されるが、それに対して地盤中では給排水が予想より制限された。
- 2) JGP 改良体の間隙率が高く、凍結膨張による変位が間隙部分に吸収された。
- 3) 解析モデルでは、鉛直凍結工を一樣な鉛直に配置された板状にモデル化したため、凍上変位が大きく出た。実際の凍土壁の形状は、上下先端部では先細りしており、かつ斜め方向を向いていることから、地盤変状上向き成分は鉛直板状モデルに比較して小さな値になった。
- 4) 解凍沈下では、既設トンネルは杭支持されていることから解析予測に比べて、実際の挙動においては杭基礎が沈下抑制に想定以上に寄与した。
- 5) 上部マリンクレイ JGP 改良体が想定以上に変位抑制に寄与した。

5. まとめ

シンガポールで初の凍結工の施工であったが、準備期間、凍土造成期間、トンネル掘削中の凍土維持管理期間、撤去期間を含む全期間に渡って、現地業者との協力のもと無事に工事を完了させることができた。本工事が止水効果に高い信頼性がある凍結工のシンガポール、また他の東南アジア諸国での普及に繋がれば幸いである。

参考文献

- 1) 橋田, 多田, 竹田: 地下鉄営業線直下での駅舎とトンネルの施工の解析と実挙動, トンネルと地下, Vol148, No6, 2017