

液化窒素を使用した凍結工法によるシールドトンネルの切開き施工

首都高速道路(株)	東京建設局	正会員	○石田 高啓
鹿島建設(株)	東京土木支店	正会員	米沢 実
鹿島建設(株)	東京土木支店	正会員	栗田 学

1. はじめに

首都高速中央環状品川線は、中央環状線（全長約 47km）の南側に位置し、延長約 9.4km のうち約 8.4km がトンネル構造となっている。トンネルは外径 12.3m のシールドトンネルで、北行きトンネルと南行きトンネルが離隔約 3m で近接した双設トンネルとなっている。

トンネル防災計画上、緊急時に緊急車両等が事故現場に素早く到着できるよう、双設トンネルを接続するＵターン路を６箇所構築する。Ｕターン路構築のため、セグメントを切開く際の補助工法として、凍結工法を採用しているが、凍土造成に時間を要した箇所については、部分的に液化窒素を使用して凍土造成の効率化を図った。

2. Uターン路の施工概要

Uターン路は、緊急車両が通り抜けできるよう高さ約5.5m、幅約8mの内空を必要とし、大断面の切開きとなることから、トンネル内部に鉛直内部支保工を設置し、掘削上部には曲線パイプルーフを施工後、鋼管内部に凍結管を挿入して止水目的の凍土アーチを構築した。周辺のボーリング調査から砂層が卓越するも泥岩と細かく互層を形成していると考えられたことから、側部（棲部）に低圧浸透薬液注入とフォアパイルによる肌落ち防止を行い、掘削下部は、凍土により閉合した。また、水みちとなる可能性が高いセグメント界面からの出水を防ぐため、額縁状の貼り付け凍結を追加した。掘削は上半より先進導坑を設け、下方に切り広げ、躯体は底版より順巻き施工を行った。

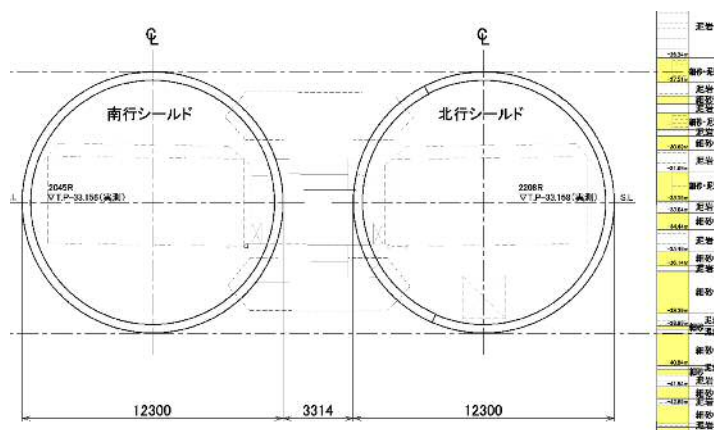


圖-1 地質狀況圖

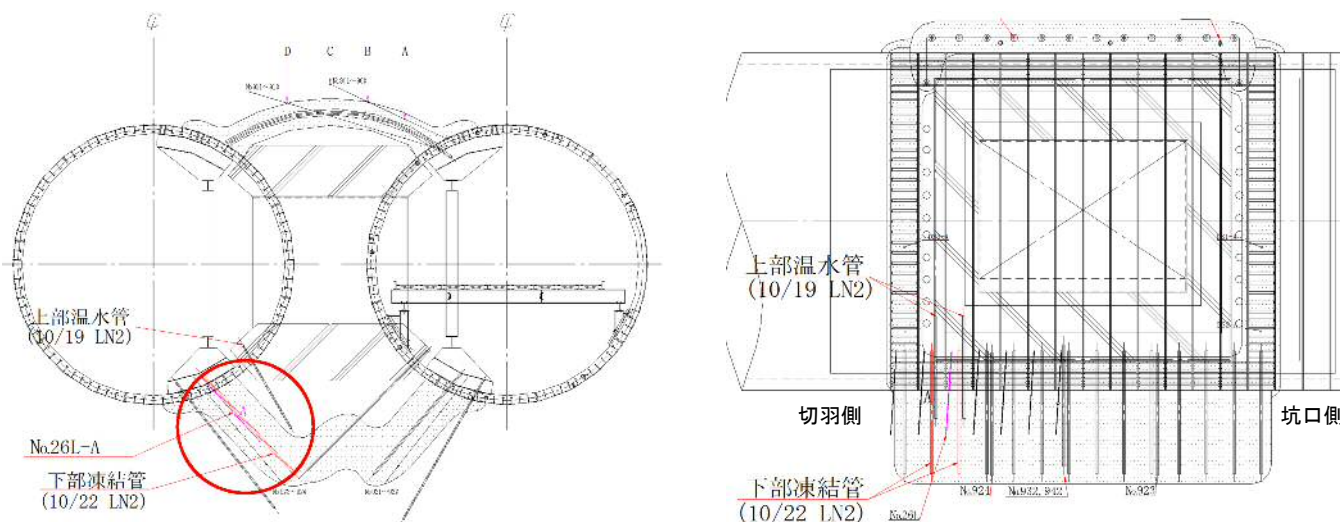


図-2 凍結計画図

キーワード 道路トンネル, 切開き, 凍結工法, Uターン路

連絡先 〒141-0032 東京都品川区大崎 5 丁目 4-3 首都高速道路(株) 東京建設局品川線工事事務所

TEL 03-3779-5106

3. 凍結工法による止水対策

本工事では、管サイズ 80A～100A の凍結管を 1.0m ピッチで配置することを基本とし、ブライン温度を造成時 -30°C 、維持運転時 -20°C として計画をした。

事前の解析では、土の容積含水率を $P=0.5\text{m}^3/\text{m}^3$ 、初期地中温度を $\theta_{\infty}=18^{\circ}\text{C}$ 、土の凍結温度を $\theta_f=0^{\circ}\text{C}$ とし、隣接する凍結管の凍土が繋がるまでは単管凍結理論¹⁾を、その後、凍土壁が形成された後は、凍結管列の平均温度を冷却温度とした平板凍結理論²⁾を用いて計算した。その結果、20 日

程度で所定の凍土厚 (1.2m) を造成できる計画であつが、凍土造成が進まなかったため、冷凍機を増設しブライン温度を更に下げ、凍土造成範囲を抑制するために設置した温水管にブライン液を循環させるなど工夫を行った。しかしながら切羽側の下部凍結部の一部で温度が下がらず、湧水確認でも透水係数が目標値に達しない状況であつた。

4. 液化窒素による凍結効果

凍土の目標温度を -5°C と設定したが、詳細な地山の凍結温度を計測するため測温管を増設した。湧水チェックの際、湧水があると地下水が流動し地山温度が上昇するが、測温管 26L-A の地点で温度上昇が確認され、未凍土範囲を特定した。すでに凍結期間が2ヶ月経過し工程上、猶予がなかったこと、また範囲も限定されていることから液化窒素による凍結を実施した。

既存設備では窒素が気化するときの圧力を管理することが困難なため、ブライン液に置き換えることはできず、凍結管を切断し液化窒素を流し込む方式を採用した。まず、周辺の潜熱を取り除くため、上部温水管に液化窒素を投入し、26L-A の温度勾配の変化を確認した。次に未凍土範囲直近の下部凍結管に液体窒素を投入した。26L-A は凍結管との最短距離約 30cm の位置にあるが、液化窒素投入後 90 分程度は、温度変化がほとんどなかった。これは、投入直後はすぐに気化してしまうため凍結管に -196°C の液体が満たされるのに時間がかかることと潜熱の影響のためである。その後は、4 時間で約 10°C ほど、急速に凍土温度が低下した。液化窒素の目標温度に達したら、湧水チェックで湧水がないことを確認し、ブライン液による凍結に切り替えた。

5. おわりに

施工現場では、大量の窒素ガスが蔓延するので、送気ファンを設置し酸欠に注意した。また、液化窒素を充填した管が霜などの影響で閉塞すると気化膨張により爆発するため、監視を強化して作業にあたった。1 日の施工で 200kg の液体窒素ポンペを 18 本消費した。工期短縮効果としては、1 週間程度あったと考えており、局所的な凍土造成に、液化窒素を用いるのは有効である。ただし、液体窒素を入れた凍結管の半数が急冷により破損したため、引き続き同じ鋼管を用いてブライン液を循環させる場合は、留意が必要である。今回は、破損して 80A の外管に、新たな凍結管として 50A の内管を挿入することで対処した。

参考文献

- 1) 高志勤, 和田正八郎: 土壌凍結工法について [I], 「冷凍」第 36 巻, 第 48 号, 1961
- 2) 戸部暢, 秋元攻: 凍土内温度分布計算式とその応用, 「冷凍」第 54 巻, 第 622 号, 1979 他

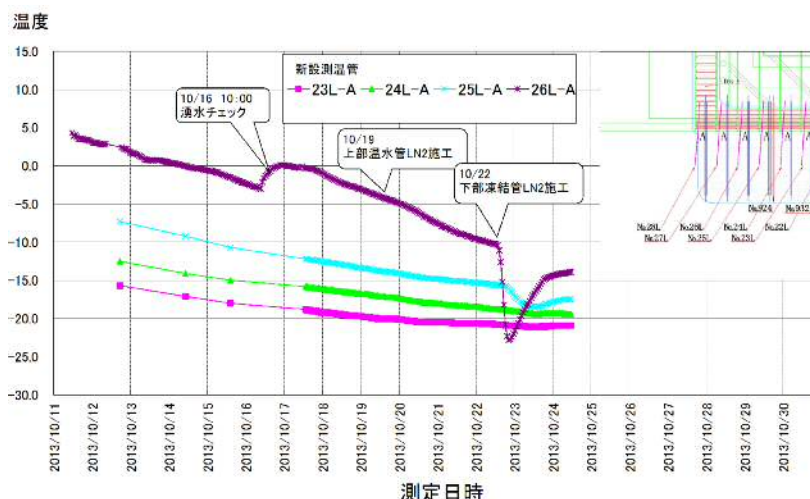


図-3 測温管温度グラフ

表-1 液化窒素投入工程

	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
ブライン循環														
ブライン回収・頭部切断														
LN2循環			9:00開始 (目標温度 -20.0°C)											
湧水チェック														
凍結管再加工														