

凍結工法における凍土解凍充填の施工報告

東急建設株式会社 正会員 ○向井 良輔

堀 浩之 下村 義直

高松 伸行 藤井 貴裕

1. はじめに

隅田川幹線その 3 工事は、北千住駅を中心とする雨水領域約 293ha の浸水被害対策を目的として地下 40m に築造された「隅田川幹線」(仕上がり内径 4,750mm, 延長約 3.1km) の一部を拡幅する工事である。表 1 に工事概要を、図 1 に施工位置図を示す。本工事は、凍土造成に始まり、既設セグメントの撤去、凍土の掘削、拡幅セグメントの組立、凍土解凍等、技術的に難度の高い希少な工種が多く、大きな注目を浴びている。本稿では、凍土解凍による地盤沈下対策について報告する。

2. 大規模凍土の解凍と課題

凍結工法は、地中に埋設した凍結管に -30°C の冷却液（ブライン）を循環させて凍結管周囲の地盤を凍らせ、凍土を造成する地盤改良工法である．トンネル拡幅工事終了後には凍土を解凍するが、 $3,700\text{ m}^3$ の大規模な凍土を自然解凍した場合、解凍終了まで約 20 か月の期間を要する．そこで本工事では、凍結管に 60°C の温水（温ブライン）を流すことで解凍期間を 140 日間に短縮する「強制解凍」を行った．その際、最も懸念されたことカルの変形であった．

3. 沈下対策

地盤沈下とトンネルの変形を抑制するために、強制解凍工と並行して、解凍収縮により地盤中に生じた空隙へトンネル内部よりセメントベントナイト（以下CB）を充填する解凍土充填工を行うこととした。

(1) CB 充填量の算定

CB 充填量の算定は各地層条件ごとに行った。砂質土層、礫層は凍結時・解凍時とも、凍上沈下はほぼ生じないため充填対象外とし、以下の式を用いてシルト層、粘土層における充填量を算定した。

$$Q(m^3) = V(m^3) \times \lambda(\%)$$

ここに、Q：CB 充填量 (m³) V：CB 充填対象範囲の土量 (m³)

$$\lambda : \text{注入率} \quad (\%) = \text{間隙率}_n \times \text{填充率}_\alpha$$

粘性土に対する注入率は、間隙率 n および充填率 α に過去の類似条件地盤における注入工法の実績から得られた値を使用した。一方、シルト層については解凍収縮分の充填を行うものとし、解凍収縮率（過去の凍結工法の実績より）に散逸量を考慮した値を設定した。

表 1 工事概要

工事件名	隅田川幹線その3工事
発注者	東京都下水道局
施工者	東急建設(株)
主要工種	凍土造成 3,700m3 トンネル拡幅工 仕上り内径 4,750mm～8,790mm、拡幅延長 19.7m 拡幅セグメント 39R



图 1 施工位置平面图

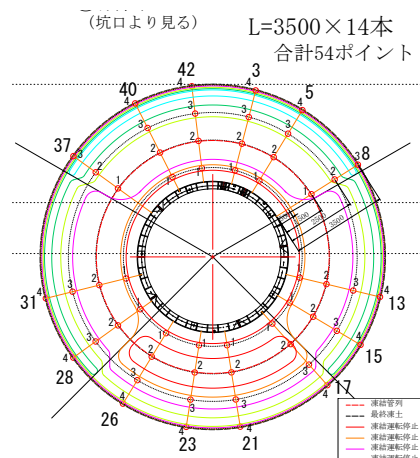


図2 解凍土充填位置

キーワード シールド，凍結工法，強制解凍，地中拡幅

連絡先 〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14 東急建設(株)土木事業本部 技術統括部 土木技術設計部

TEL 03-5466-532

上記の算定結果をもとに、解凍範囲に応じてCB充填断面・位置、削孔深度におけるCB充填量を計画した。ただし、日々の充填作業においては充填量に関わらず設定充填圧に達するまでCBを充填するものとし、CB充填の過程で地盤変位が生じた場合には、変位が生じた箇所の充填を重点的に行なうこととした。

(2) 解凍順序

強制解凍を行うにあたり、解凍範囲を上部、側部、下部の3ブロックに分割して段階的に解凍する計画とした。これは凍土全体を同時に解凍した場合、解凍の速度に見合った充填作業を行うことができず、周辺地盤の変位を生じてしまうことが懸念されたためである。また、拡幅セグメント周囲の凍土が融けることでセグメントが一時的に浮いた状態となり、沈下と浮力のバランスによってはトンネルが隆起することもあると考えられたが、これに対して下部を先行して解凍することで、解凍初期段階において、側部～上部の凍土により隆起方向の変位を拘束する効果も期待された。さらに、最初に解凍する下部の解凍範囲を狭める事でトンネル下部のCB充填を速やかに行い、解凍開始直後の沈下変位を抑制する計画とした。

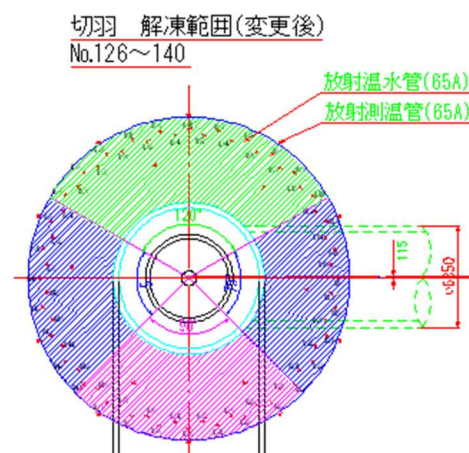


図2 解凍範囲ブロック分け

4. 施工結果

強制解凍開始直後から層別沈下計は沈下傾向を示し、側部強制解凍開始後はその傾向が強まった。これは、側部解凍運転開始後にトンネル内部温度が上昇し、セグメントに接する凍土の解凍が計画以上に促進されたこと、側部の解凍により側部凍土の強度が低下し、側部凍土が支持していた上方地盤および凍土が沈下したことが原因と考えられる。

よって、層別沈下計の値が収束するまで上部に関しては解凍を行わず、CB充填のみを行った。また、CB充填範囲を当初計画の凍土内部から変更し、上部凍土を貫通して凍土外側まで充填を行ったことが地盤の沈下抑制に効果を示し、層別沈下計の値が収束傾向となった。

5. まとめ

強制解凍工・解凍土充填工は日々変動する各計測値を監視し、その時々状況に応じて施工しなければならなかったため、図3に示す管理システムを構築し、計測値をリアルタイム表示して瞬時にCB充填箇所を判断したり、異常時に即座に対応できる体制を整えた。各計測機器や図3の施工管理システムでトンネルの変位を常に監視していたことで、上部の解凍開始を調整する等の対応を迅速にとることができた。また、計画段階で下部強制解凍範囲を狭め重点的に下部の充填を行ったことや、凍土の外側まで充填を行う、等の対応により、沈下を管理値以内に収めることが出来た。

こうした困難な条件下で、多少の変位は生じながらも管理値以内に収めて無事故で終え、今後の同様の工事にも生かせる数多くの知見を得ることができた。

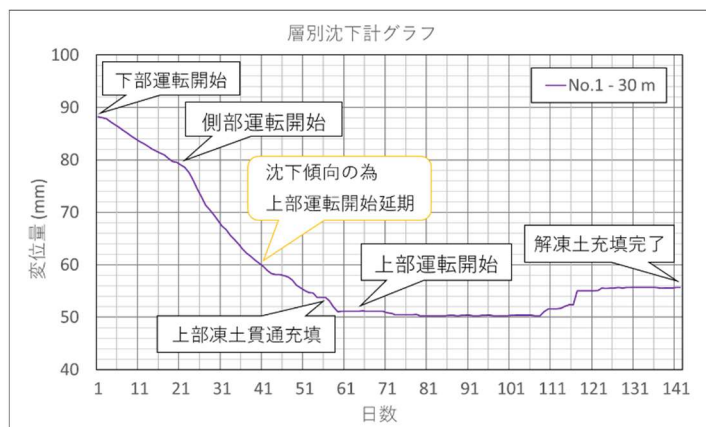


図3 層別沈下計グラフ



図3 変位計測モニター（青：上部変位，赤：下部変位）