

# 凍結工法によるシールドトンネルの拡幅と CIM による施工管理の高度化

東急建設株式会社

正会員 ○堀 浩之

下村 義直

正会員 高松 伸行

正会員 田中 悠一

## 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約410haの流域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」(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、図2~図3に拡幅部の平面図と横断面図を示す。

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等、技術的に難易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、主要工種とCIMの取組について報告する。

## 2. 大規模凍結工

### (1) 凍結工法の概要

凍結工法は、地中に埋設した凍結管内部に-30℃の冷却液(ブライン)を循環し、凍結管周囲の地盤を凍らせ、非常に高い止水性と岩石にも匹敵する圧縮強度を兼ね備えた凍土を造成する地盤改良工法である。本工事では、過去20年間の凍結工の国内実績(竣工案件)において最大級の3,700m<sup>3</sup>にも及ぶ凍土を造成した。

### (2) 施工上の課題と対策

隅田川幹線は、拡幅部直上に都道や鉄道営業線、地中埋設物等の多数の重要構造物を抱えている。凍土の過剰成長による地盤隆起や強制解凍時の地盤沈下に対しては、温水循環や地盤内注入等の対策を講じる計画であったが、周辺構造物に対し想定外の影響が及ぶおそれがあった。

そのため、軌道をはじめとする各種鉄道構造物の変位計測にトータルステーションによる自動測量を導入し、地中には層別沈下計を設置して変位を常時計測する等して、周辺構造物に対する影響監視を強化した。

### (3) 施工結果

凍土造成中は、凍土の成長速度の違いに起因するトンネル縦断線形の湾曲に悩まされた。この原因の一つとして凍結範囲内におけるシルト層の偏在が考えられる。一般にシルト層は他の土層と比べて凍結膨張率が高いことが知られている<sup>1)</sup>。本工事では、シルト分を多く含むトンネル下部の地盤の凍上性が高かったものと推測される。

表1 工事概要

工 事 名	隅田川幹線その3工事
発 注 者	東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所
施 工 者	東急建設(株)
主 要 工 種	凍土造成 3,700 m <sup>3</sup> トンネル拡幅工 仕上がり内径 4,750mm~8,790mm, 延長 19.7m



図1 施工位置図

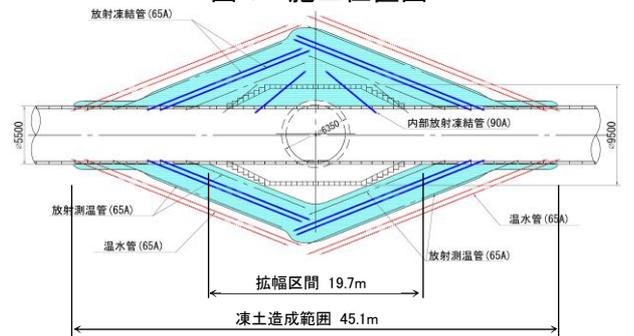


図2 拡幅部平面図

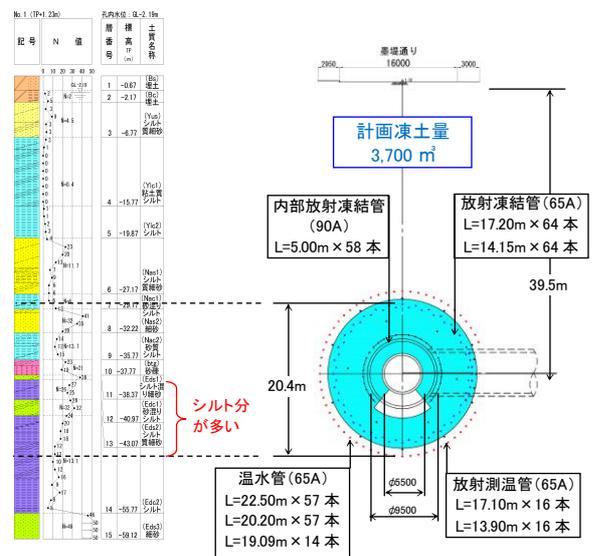


図3 拡幅部横断面図

キーワード シールド, 地中拡幅, 凍結工法, CIM

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

T E L 03-5466-5322

地表面の凍上量は最大で 8mm 程度であり、事前の FEM 解析による想定と概ね一致していた。凍土造成完了時点では各種構造物の隆起量が一次管理値に漸近していたが、その後は大きな変化はない。

### 3. トンネル拡幅工

#### (1) 施工概要

凍土造成完了後、延長 19.7m の拡幅区間において、外径 5.5m の既設セグメントの撤去、背面地山の掘削、最大外径 9.5m の拡幅セグメントの組立及び裏込め注入を 1 サイクルとするトンネル拡幅工を現在施工中である。拡幅セグメントの組立にはハンドリング機・高所作業車を、背面地山の掘削には油圧式切削機・バックホウ等を使用している。

#### (2) 施工計画上の課題と対策

狭隘な空間で逐次重機を入れ替えながら作業を行う必要があるため、接触事故等がないよう綿密な重機配置計画を立てる必要があった。また、セグメント組立では、計 7 箇所可動部を有するハンドリング機をどのように操作すれば所定の位置にセグメントを運べるかを 2D 図面上で検討するには限界があった。

そこで、3D シミュレーションソフトを用いて、トンネル内での重機配置と、作業時の安全確保のための作業員配置について検討した(図 4 参照)。さらに、PC 画面上で可動部を操作できる重機モデルを構築することにより、拡幅セグメント組立作業の際の重機の動きを把握し、作業手順書の作成に活用することができた。

#### (3) 進捗状況

平成 29 年 3 月 27 日現在、全 39 リングの拡幅セグメントの組立の内、およそ 3 分の 1 に当たる 13 リングまでの施工を完了している。砂礫層の凍土掘削が難航したものの、拡幅工事に起因する凍土温度の上昇、地盤変状などは観測されておらず、順調に工事を進めている。

### 4. CIM による施工管理の高度化

本工事では、地上・地中・坑内に各種計測機器を設置し、約 1500 点にも及ぶ計測データを監視しながら施工を行っている。これらの膨大な数の計測データを個別にグラフ化して傾向を読み取る従来の管理手法では、データ間の重要な関係性を見落とししたり、異常に気づかず判断が遅れる可能性があった。

こうした課題を解決すべく、CIM (Construction Information Modeling/Management) を導入した 2 種類の施工管理システムを構築した。1 つ目が、全計測データを単一の 3D 空間内に集約し計測値を色で通知するシステム(図 5 参照)、2 つ目が、本来見ることできない凍土の形状を地中温度データと理論式を使って推定し表示するシステム(図 6 参照)である。CIM の活用により、計測データを視覚的・直感的に管理し、データの相関性や異常を位置情報と関連付けて容易かつ迅速に把握できるようになった。

### 5. 今後の課題

既設セグメントの解体作業では、凍土とセグメントの凍着部の剥離により、坑内に出水して地盤沈下に至る可能性がある。外気温の上昇に伴い坑内への送気温度の上昇が見込まれるため、凍土の安定を損なわないよう坑内温度の維持に努めるとともに、引続き各所の計測値における異常の有無を監視する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 石原研而 (2014)『第 2 版 土質力学』丸善出版株式会社, p. 43-p. 51



図 4 重機シミュレーション

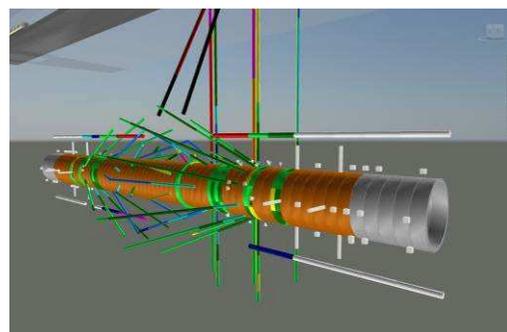


図 5 計測データの見える化

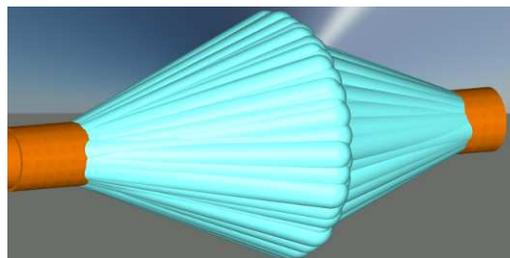


図 6 凍土造成過程の見える化