

国内最大級！大深度で 3,700 m³ に及ぶ凍結工法

田中 悠一

東京都下水道局により計画された隅田川幹線整備事業のうち、隅田川幹線における地中接合部の拡幅を目的とした「隅田川幹線その3工事」は、下水道工事では国内最大級の3,700 m³もの地盤凍結を行い、造成した凍土の内側でトンネルを拡幅する極めて事例の少ない難工事であった。周辺の重要構造物への影響を抑制するために種々の対策を講じて施工に臨んだ結果、地盤凍結工で生じた地盤変状は事前の予測を下回り、周辺への影響はほとんど生じなかった。また、トンネル拡幅工では、凍土の融解や地山の崩落を発生させることなく、無事故・無災害で工事を完遂することができた。

キーワード：凍結工法、地中拡幅、非開削、シールド、下水道

1. はじめに

荒川と隅田川に挟まれた東京都足立区千住地区は、既存の下水道施設の能力不足から浸水被害が多く発生していた。この状況を解決すべく東京都下水道局により計画された「隅田川幹線整備事業」は、当該地区の雨水排除能力を増強させる浸水対策事業であった。千住地区の総面積410 haの約70%に当たる293 haに降り注ぐ雨水を收容する「隅田川幹線」を築造する本事業

は、隅田川幹線工事、隅田川幹線その2工事、隅田川幹線その3工事、および隅田川幹線その4工事で構成されていた。隅田川幹線整備事業における各工事の施工位置図を図-1に示す。

本稿では、国内最大級の3,700 m³もの凍土を造成し、地下40 mを超える大深度地下でトンネルの地中拡幅を行った極めて事例の少ない難工事「隅田川幹線その3工事」について、その内容を概説する。



図-1 隅田川幹線整備事業の施工位置図

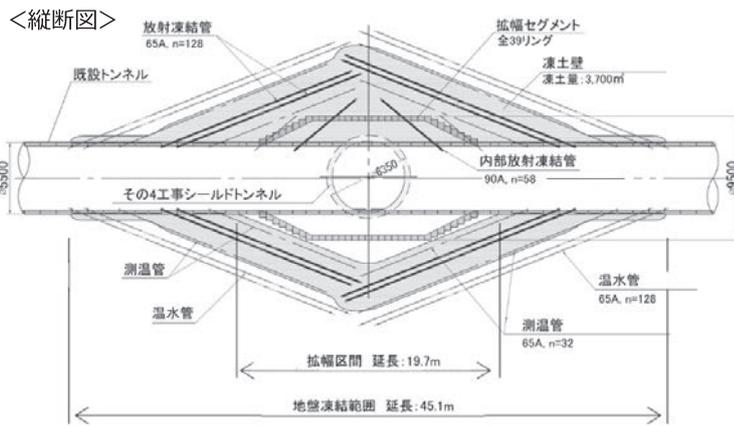
2. 工事概要

表一に工事概要を、図一に施工断面図を、図一三に本工事の施工フローをそれぞれ示す。本工事の拡幅部直上には、都道墨堤通りの他に京成電鉄の軌道や鉄道施設物が存在し、路下には多数の埋設物が転

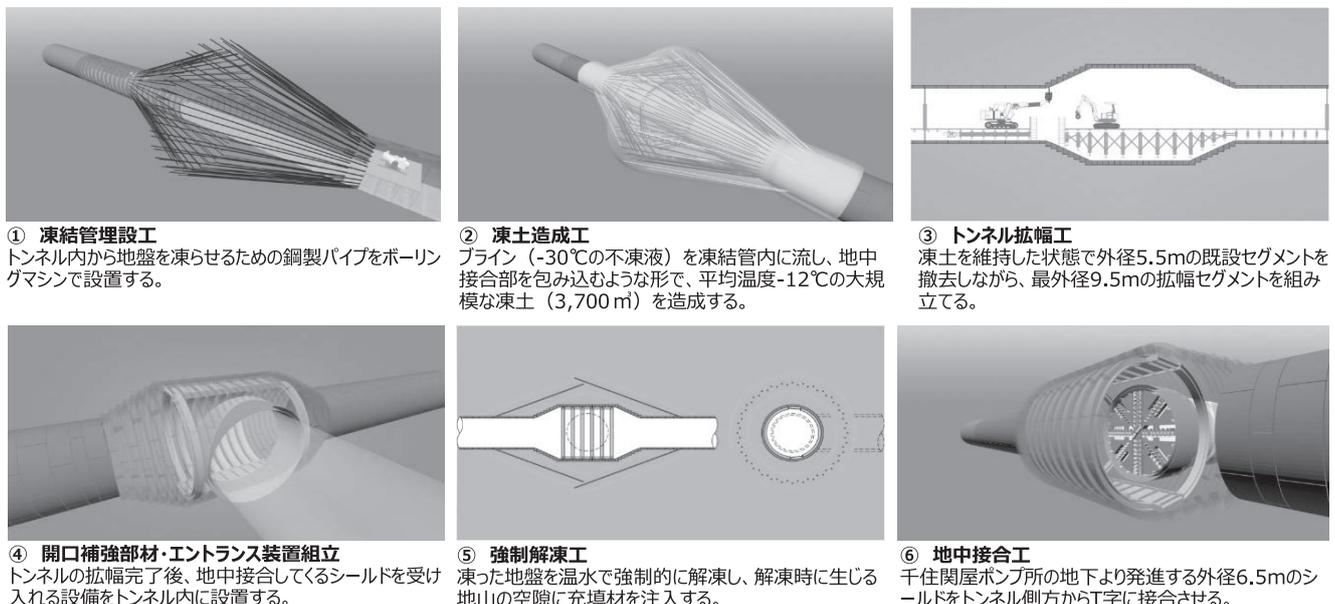
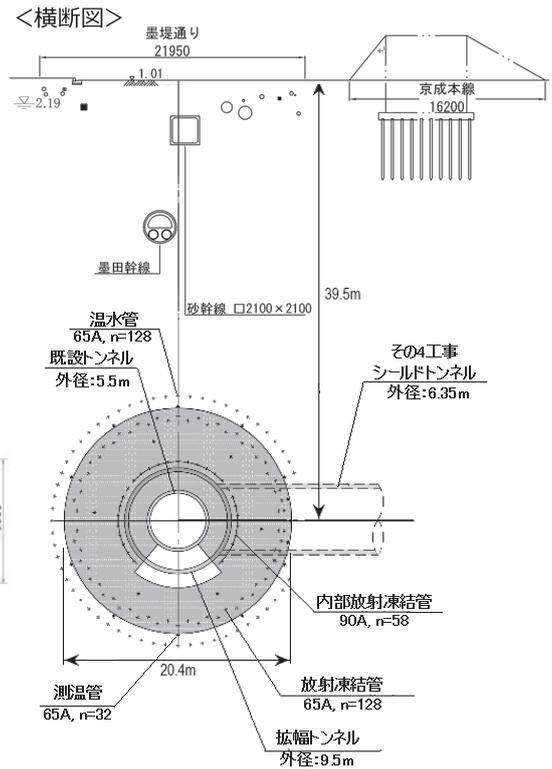
じていた。これに加え、拡幅部は高い土水圧の作用する地下40mに位置し、開削工法で地上から拡幅するのは極めて困難であった。ゆえに、非開削の地中拡幅が採用され、拡幅時の地山の崩落と地下水の坑内流入を確実に防ぐことができる地盤改良工法として凍結工法を採用された。本工事の計画凍土量は3,700m³であり、これは国内の下水道工事においては最大規模である。

表一 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)
工期	2014年5月26日～2019年3月25日
主要工種	地盤凍結： 凍土造成 3,700 m ³ トンネル地中拡幅： 仕上り内径 4,750 mm～8,790 mm 拡幅延長 19.7 m 拡幅用セグメント 39 リング



図一 施工断面図



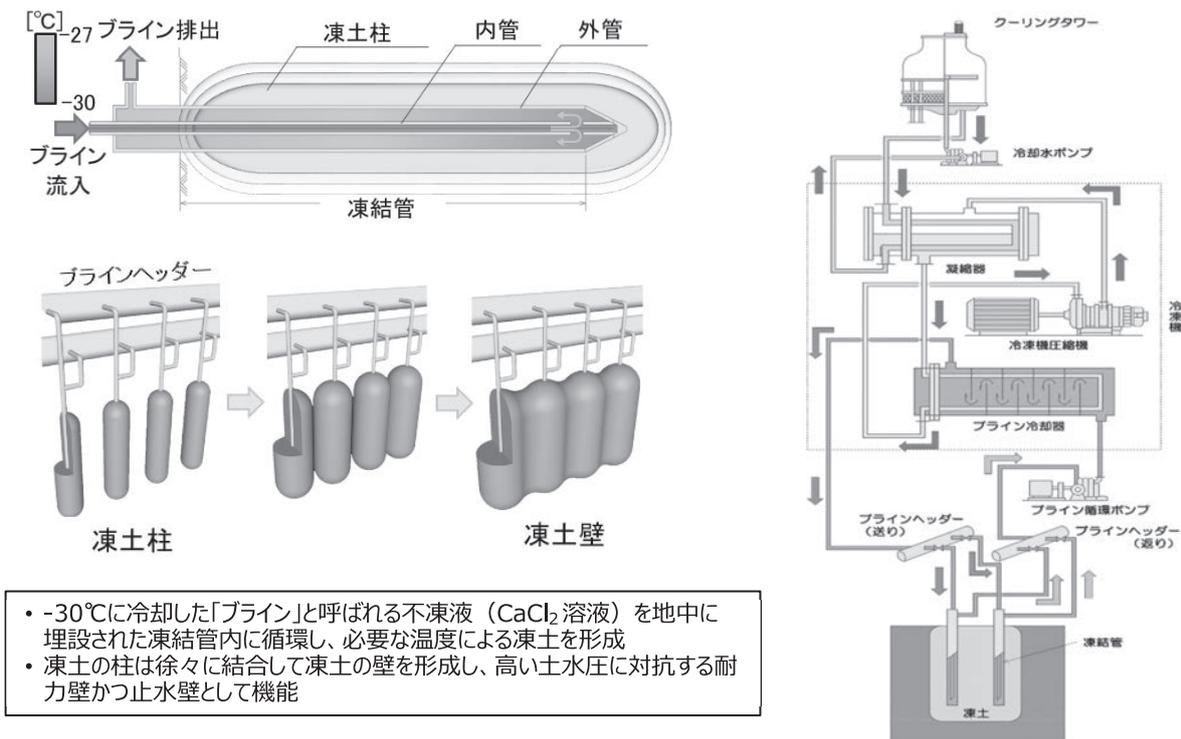
図一三 施工フロー

3. 地盤の大規模凍結

凍結工法の概念図を図一4に示す。本工事の凍結対象地盤の多くは凍結膨張率の大きい粘性土層であり、凍土造成時に発生する凍上現象への対策が求められていた。そこで、本工事では国内初となる全周放射状の温水管を凍結管の外側に配置し(図一2参照)、温水の循環による凍土の過剰成長の抑止を試みた。この結果、地表面の凍上量を最大で11mmに抑え、交通インフラへの影響はほとんど生じなかった。凍土造

成時の坑内の様子を写真一1に示す。

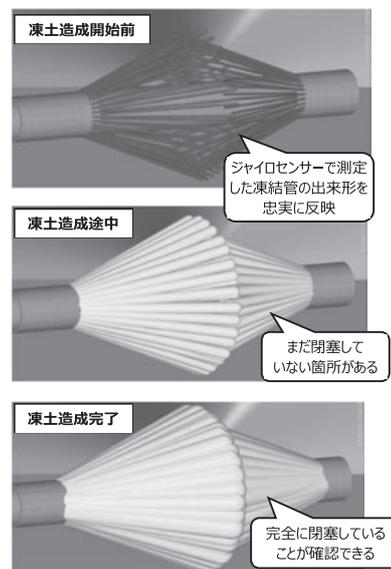
また、造成した凍土が隙間の無い双円錐状の凍土壁を形成していることを確認するため、地中の温度データより推定した凍土厚に基づき凍土を三次元モデル化してリアルタイム表示するシステム(図一5参照)を開発し、施工管理の高度化を図った。これにより、従来使用してきた凍土の推定断面図よりも容易に凍土の三次元形状が把握でき、凍土の未造成区間を迅速に特定できるようになった。



図一4 凍結工法の概念図



写真一1 凍土造成時のトンネル坑内



図一5 凍土可視化システム

4. トンネルの地中拡幅

凍土の造成が完了した後、隅田川幹線その2工事で施工したシールドトンネルのセグメントを1リングずつ撤去し、背面の凍土を掘削して拡幅用のセグメントに組み替える作業を順次繰り返すことで、延長19.7mにわたって外径5.5mから最大外径9.5mまでトンネルを拡幅した(図-6, 7参照)。

狭隘な坑内で凍結設備等との接触を防止し効率的にセグメントの組み替えを行うため、地上での模擬実験に加え、三次元的な視点で重機に支障する範囲を確認

しなければならなかったため、実際と同じ可動部を有する重機モデルを操作できる三次元重機シミュレーターを制作・導入し、作業計画に役立てた(図-8参照)。この結果、極めて事例の少ない特殊性を有する本作業において、全39リングの拡幅用セグメントの組立を無事故・無災害で完遂することができた。写真-2に地中拡幅時の坑内の様子を示す。

5. 凍土の強制解凍

トンネルの拡幅工事およびエントランス装置の設置

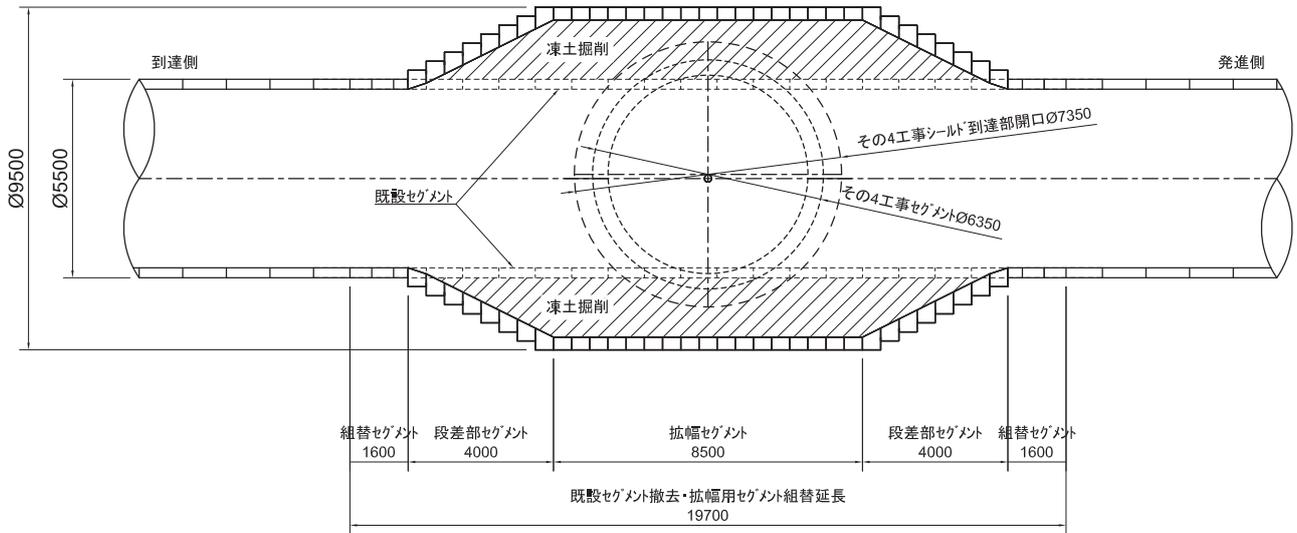


図-6 拡幅用セグメントの割付(拡幅部縦断面図)

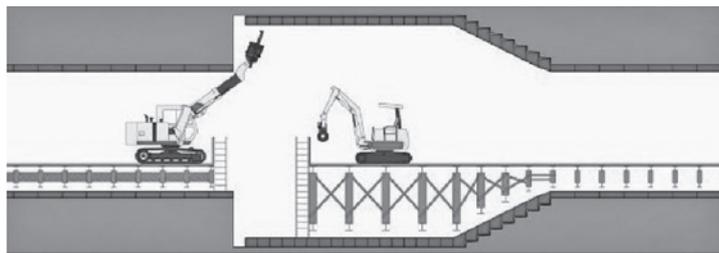


図-7 地中拡幅作業イメージ



図-8 模擬実験(左)と三次元重機シミュレーター(右)



写真-2 地中拡幅時の坑内の様子

が完了した後、温水の循環によって凍土を強制的に解凍した。この強制解凍時に発生する解凍沈下現象への対策として、解凍範囲のブロック分け、解凍完了箇所に対するセメントベントナイトの即時かつ適量注入等を実施した（写真—3、図—9 参照）。



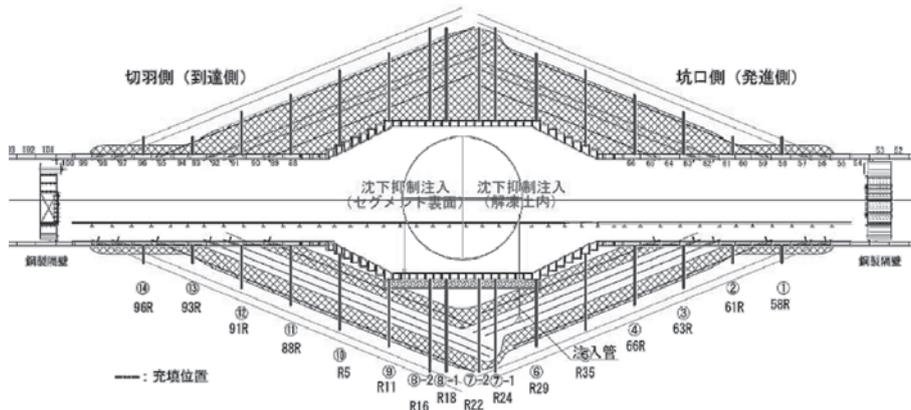
写真—3 セメントベントナイト充填状況

6. 大規模計測モニタリング

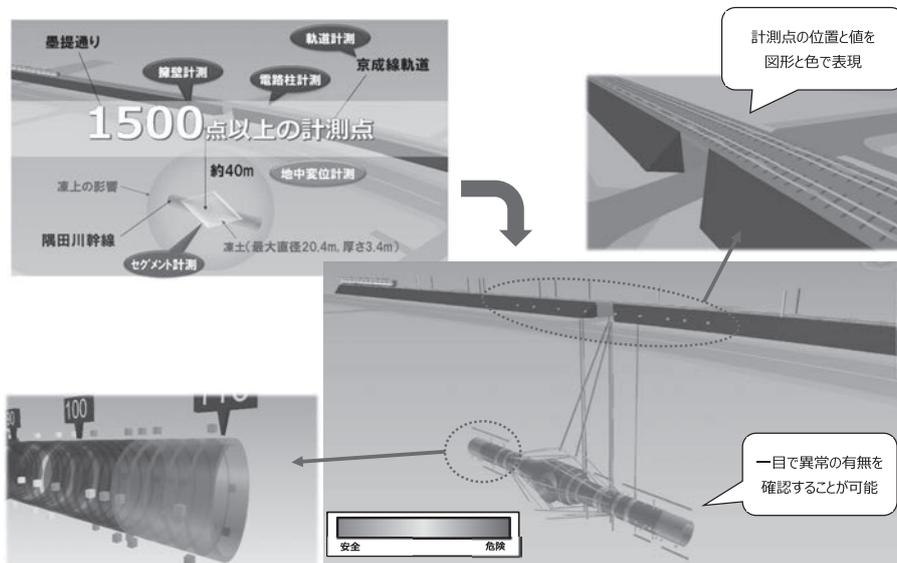
一連の工程において、周辺地盤および近接構造物への影響をモニタリングする計測データは 1,500 点という膨大な点数であったが、施工エリアの三次元モデル上に各計測点の位置と警戒レベルを色付きの 3D オブジェクトで表示する管理システムを開発・導入することで、全計測点を一つのモニターで一元管理し、現場の異常を瞬時に察知することができる体制を整えた（図—10 参照）。

7. おわりに

隅田川幹線その3工事は、2016年5月に凍結設備の稼働を開始し、約3年後の2019年3月に竣工を迎えた（写真—4 参照）。地下40mの厳しい施工条件下において非開削でトンネルを拡幅するという極めて前例の少ない難工事であったが、大きなトラブルに見



図—9 凍土強制解凍施工概要図



図—10 大規模計測モニタリングシステム



写真—4 隅田川幹線その3工事完了時



写真—5 二次覆工（隅田川幹線その4工事）完了時

舞われることなく、また、周辺構造物にほとんど影響を与えることなく、この工学的挑戦を完遂することができた（写真—5参照）。社内外の有識者の知識と経験を結集し、課題をひとつひとつ乗り越えた末に勝ち取った非常に価値のある成功であったと筆者は感じている。本稿が同種工事における課題解決の一助になれば幸甚である。

JCMA

【筆者紹介】

田中 悠一（たなか ゆういち）
東急建設㈱
国際事業部
エンジニアリングマネージャー

