

## 高地下水流速下における凍結工法によるシールドトンネルの接続事例

前田建設工業株式会社 正会員 松尾琢夫

前田建設工業株式会社 正会員 ○及川照靖

## 1. はじめに

本稿は、神奈川県川崎市の臨海部に位置する大師河原排水区および大師臨港排水区の浸水対策、合流改善を目的として実施中の大師河原貯留管計画を構成する工事のうち、既設の大師河原貯留管とニューマチックケーソン工法により構築された到達立坑を凍結工法により接続した事例を報告するものである。当地は東京湾に繋がる水江運河から直線距離で約 350m に位置しており、地下水塩分濃度が高いことに加え、地下水の挙動が複雑であり凍結工実施に際して補助工法でその制御を図る必要があった。

## 2. 工事概要

既設の大師河原貯留管は、 $\phi 6.15\text{m}$  の泥土圧式シールド機により築造された外径  $\phi 6.0\text{m}$ 、仕上り内径  $\phi 5.0\text{m}$  のトンネルであり、川崎市入江崎水処理センター内の到達立坑の手前約 4.123m に停止していた。凍土は、トンネル内より埋設した放射凍結管 45 本、地上部より埋設した鉛直凍結管 26 本、マシン内および換気用の鋼管シャフト内に設置した貼付凍結管により、掘削径  $\phi 6.35\text{m}$ 、造成凍土厚 2.6m として造成を行った。地盤温度は、トンネル内および到達立坑側より埋設した放射・水平測温管 14 本と、地上部より埋設した鉛直測温管 4 本により監視した。また、到達立坑側より温水管 6 本を掘削範囲内へ埋設し、掘削範囲内への凍土の成長を防ぐことで工程短縮を図った。凍結装置は、200 型凍結ユニット(モーター出力 160kW)を使用した。

## 3. 地下水流向流速の把握と対策工

## 3.1 凍結対象地盤の地下水流向流速

凍土造成範囲は概ね粘性土より構成される地盤であったが、到達立坑際の凍着部分上下端深度には細砂層が介在しており、ニューマチックケーソン工法により施工された到達立坑際や既設シールドマシンに接続する換気シャフト周囲に存在する地盤の緩み箇所地下水流が卓越する状態が想定された。そこで施工前調査として、単孔式加熱型流向流速計により地下水流向流速を把握した。調査結果は図 3 に示す通りであり、平面図上でのトンネル CL より上部において地下水流速が卓越する状況が確認され、凍土造成に係る限界流速  $0.53\text{m/day}$  を超過しており、造成時に凍結閉合しない状況が想定された。

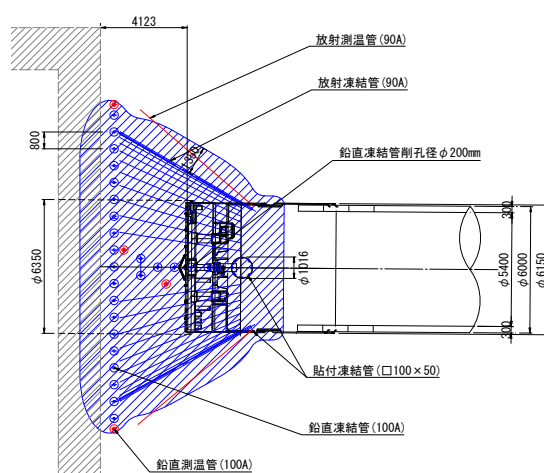


図 1 凍結工平面図

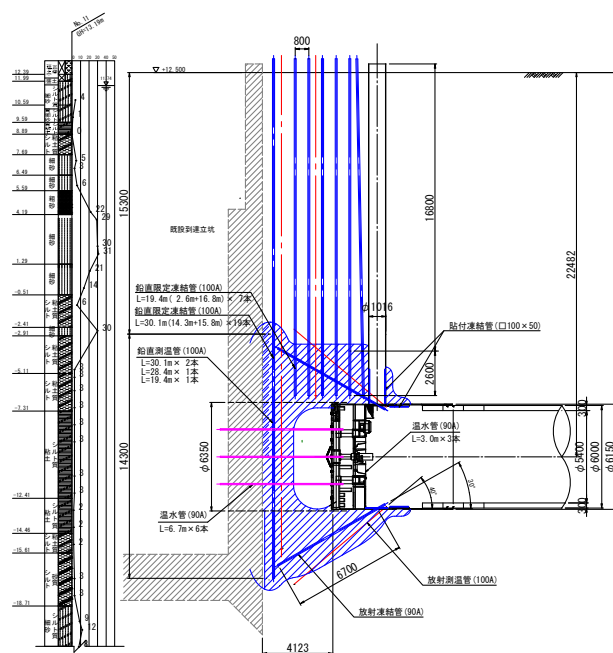


図 2 凍結工断面図

キーワード： 凍結工法，地下水流，シールドトンネル，薬液注入，地盤沈下，粘性土

連絡先： 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2 前田建設工業株式会社土木設計部 TEL 03-5276-5166

### 3.2 薬液注入工による地下水対策工

地下水対策工として、図4に示すように薬液注入により地盤中に遮水壁を設置し、地下水流を凍土造成範囲から迂回させる方針を立てた。併せて、前記した到達立坑際および換気シャフト際に想定される緩み箇所へ充填注入を行う計画とした。注入材は遮水壁部については凍土造成範囲外であるため、水ガラス系の注入材を選定し、空隙充填部については凍土造成範囲内となるため、セメント系の注入材とし、空隙の大きさを考慮し可塑性および水中分離抵抗性に優れた注入材とした。薬液注入工完了後の凍土造成範囲内における地下水流速は0.42m/dayまで低下しており、対策工実施前の最大流速4.42m/dayからの大幅な低下が確認され、また、前述の限界流速0.53m/dayを満足したため、凍結工の施工が可能と判断した。

## 4. 凍結接続工

### 4.1 凍土造成工

薬液注入工による対策工実施後の凍土造成は、計画通り90日間で完了した。造成中に测温管1箇所の1測点において温度低下が他の箇所と比較し遅延する箇所が認められたが、ブライン温度の低下によりリカバーできる範囲内であった。

### 4.2 凍結維持運転

凍結維持運転の全期間において、凍土の状態は地下水流の影響を受けずに安定しており、ブライン温度の低下など特段の対策を施すことなく施工を完了できた。施工時に特に留意した点は、マシン溶断撤去時の温度管理、出水時の対策としてのトンネル内への鋼製止水隔壁の設置および施工時の運用、一次覆工における鋼製セグメントの全周溶接および到達坑口部への止水処理である。なお、凍結接続工全期間に亘って、坑内にはwi-fi通信環境を整備し、地上部とのモバイルでの連絡体制および施工箇所でのリアルタイムの地盤温度確認体制を確保した。

### 4.3 強制解凍充填工

温水循環による強制解凍中の充填工は、トンネル上部および側部は地上部よりボーリングマシンで、トンネル下部は鋼製セグメントよりハンドオーガーで充填を実施した。充填材については、ブリージング量を低減させるため、施工性を確保できる範囲でセメントとベントナイトの配合割合、粒度をパラメータとして試験練りを実施し、適正配合を決定した。充填注入を実施しない場合の地上部および鋼製セグメントの沈下量予測値は地表面で約53mm、鋼製セグメント部で約273mmであったが、実施工における充填注入完了後の最大沈下量は地表面で18mm、鋼製セグメント部で0mmであった。

## 5. おわりに

地下水流速が大きい環境下での凍結工の施工であったが、薬液注入による地下水対策工と凍結接続時における出水対策の実施により、順調に施工を完了することができた。今後実施される同種工事に本稿が一端でも寄与することができれば幸甚である。

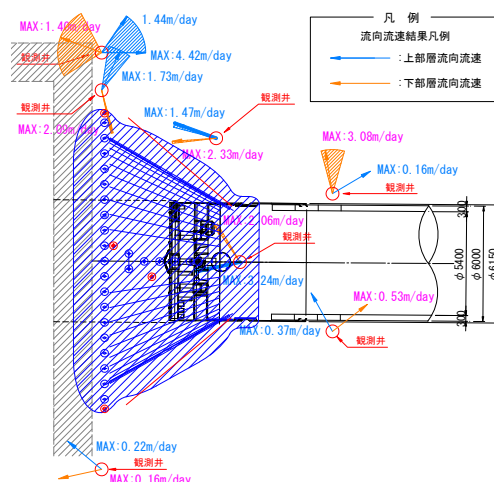


図3 地下水流の状況

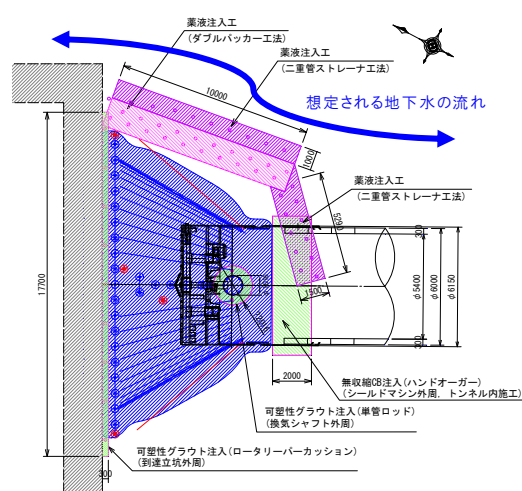


図4 地下水対策としての薬液注入範囲図

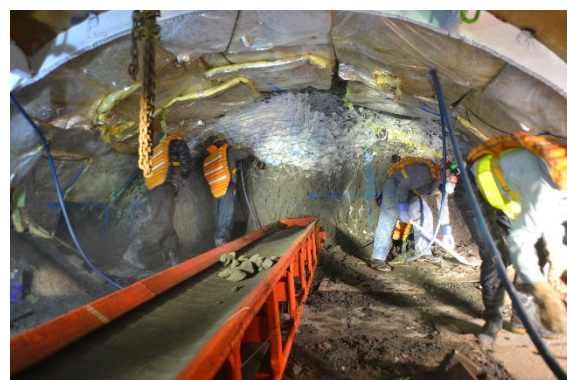


写真3 凍土掘削状況