

地盤凍結工法における温水管を用いた凍土成長の抑制とその効果

(株)精研	正会員	○大畝 丈広		富田 一隆
		東急建設株式会社	正会員	堀 浩之
		東急建設株式会社		下村 義直
		東急建設株式会社	正会員	高松 伸行

1. はじめに

隅田川幹線その3工事は、都道墨提通り直下の外径φ5,500mm シールドトンネル（土被り 36.8m）とその側面に到達するシールド機（セグメント外径φ6,350mm）を地中接合させるため、接合部のセグメントを事前に地中拡幅する工事である。本稿では地中拡幅工事を施工する際に、補助工法として採用された地盤凍結工法において、凍土範囲の外側の地中に埋設した温水管を用いた拡幅作業期間中の凍土成長抑制方法とその効果について報告する。

2. 凍結工法概要

凍結防護工事は地中拡幅部（長さ 19.7m, 最大拡幅径 ϕ 9,500mm）周囲に土留壁として厚さ 3.4m の凍土壁を造成する計画であった。図 1 に示すように拡幅部直上には各種ライフラインが埋設されており、地上は都道墨提通りと接合部直上から約 20m 離れた位置に京成本線が通っている。凍土壁は拡幅区間の両端部のトンネル坑内より放射状に埋設した凍結管により造成した。凍結範囲の地盤の多くは細粒分を含み、その一部を室内試験した結果凍結膨張性を示すことを確認していたため、地盤の凍結膨張による地下埋設物と公共施設への影響が懸念された。さらに凍土造成完了後、地中拡幅工事に約 1 年を要しその間凍結運転を継続する必要があったため、地中拡幅工事中の凍土成長の抑制を行い余分な凍土を造成しないことで、地表面への凍結膨張の影響を低減することが求められた。

3. 凍土成長の抑制方法の計画

凍土成長の抑制方法は、①凍結管内に循環するブライン温度を高くする方法、②凍結管を間引いて運転する方法、③温水管を凍土外に埋設して温水管内に温水循環を行う方法の3種類に大別される。その効果の大きさは①≒②<③となるが、①～②の方法では凍土の成長速度は抑制できるが凍土の成長を止めることができない。本工事では、より確実な効果を得るために③の方法が採用された。温水管の配置は図2のように凍結管列の外側かつ凍結管列と平行になるよう放射状に埋設した。温水管運転時の凍結面の位置を把握するために温水管列と凍結管列間の測温管内に測温素子を設置した。凍土厚みは拡幅部外周から半径方向に3.4m以上確保する必要があるため、凍結管列から平行に1.9m離れた位置で凍結面を平衡状態にするように温水循環を行った。

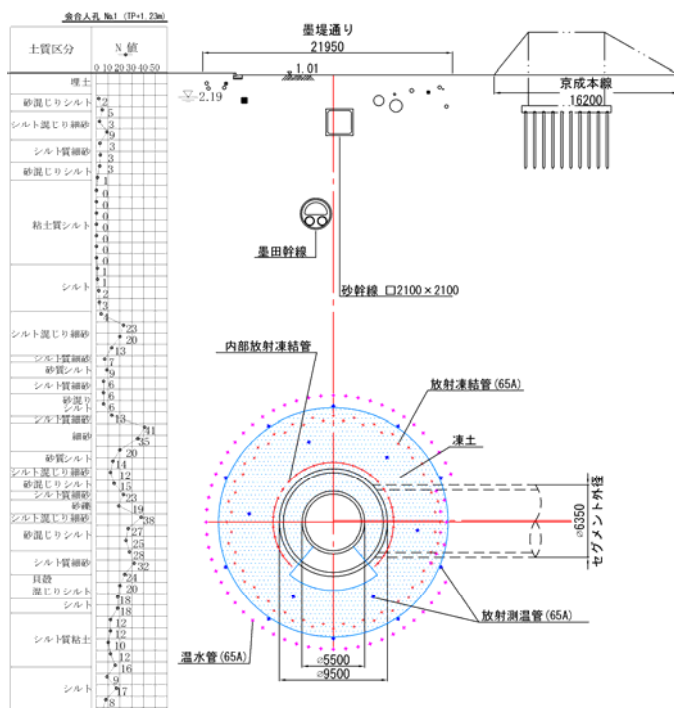


図 1 縦断面図(A-A 断面)

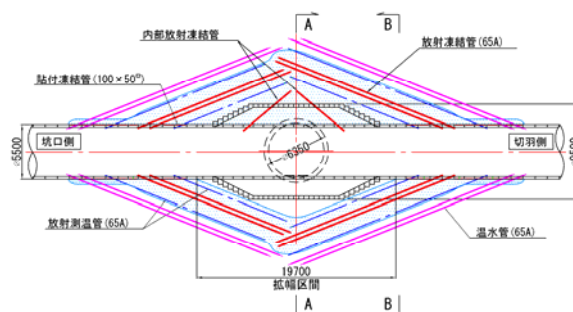


図 2 横断面

キーワード 地盤凍結工法、凍結膨張、凍土、温水管、凍土対策

連絡先 〒112-0002 東京都文京区小石川 1-15-17 (株)精研 TEL03-5689-2351 FAX03-5689-2361

循環させる温水温度の設定は以下に示す方法で決定した。本計画では図3に示すように加熱面を温水管列、冷却面を凍結管列とみなした定常状態の円筒熱伝導モデルを想定し、加熱面の温度を決定した。凍土の熱伝導率を k_1 、未凍土の熱伝導率を k_2 、凍結面の温度 θ_f （氷点）とし、熱平衡時には加熱面から凍結面へ移動する熱量 q_1 と凍結面から冷却面へ移動する熱量 q_2 が等しくなることから加熱面平均温度 θ_h は式1で表すことができる。

$$\theta_h = \frac{k_1 \cdot \ln(b/R) \cdot (-\theta_c)}{k_2 \cdot \ln(R/a)} \quad \dots \text{式1 (加熱面半径 } b, \text{ 凍結面半径 } R, \text{ 加熱面半径 } a, \text{ 冷却面平均温度 } \theta_c)$$

熱面半径 a 、冷却面平均温度 θ_c)

式1に本工事の条件に即した各数値を入力した結果、加熱面平均温度を+13.7℃と設定した。

図3 解析モデル

4. 凍土成長抑制結果と地表面凍上変位への影響

上記の加熱面平均温度を満足させるように、温水循環時の伝熱損失を考慮し循環温度を+5℃～+15℃の幅で運転を行った。測温管による測温結果を基に熱解析¹⁾した拡幅工事開始前と、開始から約7ヶ月後の凍土成長予想の比較を図4と図5に示す。時間経過に対して凍土量はほとんど増加しておらず概ね計画通りの位置で凍結面の平衡状態を保てたといえる。なお、図5に温水運転を行わず前項の凍土成長抑制方法①、②を実施した場合に予測される凍結面の位置から、温水運転を行うことでの凍土成長抑制方法の優位性が確認できた。

次に凍結運転開始から凍土造成完了を経て拡幅工事開始後の拡幅部直上の地表面の変位測量結果と、計画時の凍上予想量および温水運転のない場合の凍上予想量を比較したグラフを図6に示す。なお凍上量の予想は三次元凍上変位計算法²⁾でおこなった。凍結運転開始から造成完了までの測量結果は、勾配および凍上量ともに予想とほぼ合致している。また温水運転開始後の変位量は概ね一定で予測値とほぼ合致している。温水運転を行わない場合との比較から、温水運転により凍上変位を低減できることが示され、凍上対策として効果的であると考えらる。

5. まとめ

温水管による凍土成長抑制により、地下埋設物および公共施設への凍結膨張の影響が低減され、拡幅工事を無事完了することができた。この抑制方法は凍結維持期間が長期間であるほど効果的であることもわかった。今後は、凍結維持期間が短期間である工事や温水管の埋設工程および埋設位置の確保ができない工事において、施工性と凍土成長抑制の効率をバランスよく組み合わせた抑制方法を、今回の実績を踏まえ確立させていきたい。

参考文献 1)松岡ら：地盤の凍結・解凍予測のための三次元非定常熱伝導解析 土木学会論文集 C(地圏工学), Vol.71, No.2, 125-135, 2015. 2) 戸部ら：凍上変位計算法(三次元)、土木学会第34回年次学術講演会概要集(企)-123, PP.243-244, 1979年8月

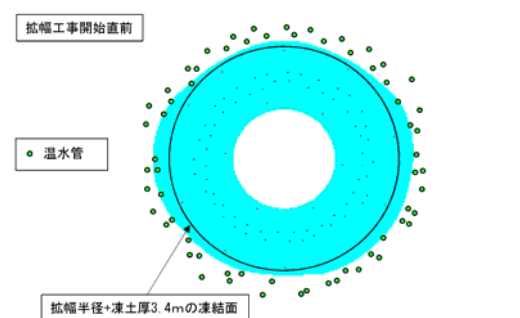
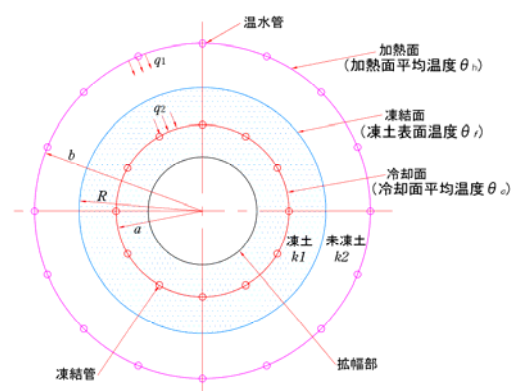


図4 拡幅工事開始前の凍土予想図(B-B断面)

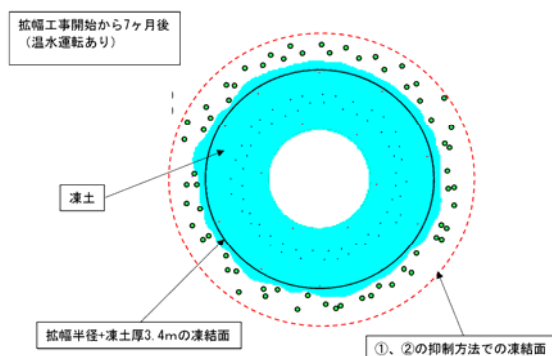


図5 温水運転後の凍土予想図(B-B断面)

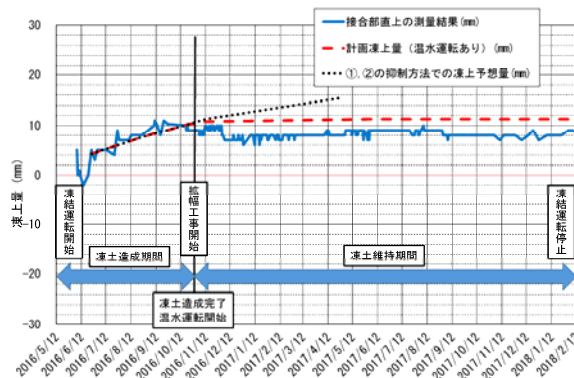


図6 凍上量比較グラフ(A-A断面)