

凍結時の補強と計測による既設構造物への影響抑制

大豊建設(株) 正会員 ○濱ノ園剛

1. はじめに

東京都では地域の安全を守り、都民の安心で快適な生活を支えるため、降雨強度 50mm/hr、雨水流出係数 80% 相当に対応する雨水幹線やポンプ所などの整備を進めている。江東幹線工事は江東区のほぼ中央に位置する木場公園内の発進立坑より流末となる江東ポンプ所手前までの約 4.3km に内径 6.0m の雨水管を建設するものである。本線のシールド工事は泥水式シールド工法で施工し、平成 29 年度に完了している。本工事はこの江東幹線と既設幹線との接続工 1 箇所を施工するものである。本稿では、凍結工法を補助地盤改良とした刃口推進により施工した既設幹線との接続工における問題点と対策について述べる。

2. 接続工概要

本工事は接続工は大深度（土被り約 30m）大口径（推進管外径 $\phi 3.506\text{m}$ ）の刃口推進であった。この補助地盤改良として当初は大口径（ $\phi 5.1\text{m}$ ）の特殊高圧噴射攪拌杭工が設計されていた。しかし、土質に高圧噴射攪拌杭工の適用範囲を超える N 値 18 の硬質粘性土層が確認され、地上の状況から試験施工も困難であったため、高圧噴射攪拌杭工から凍結工法へ設計変更を行った（図-1）。凍結工法は、地中に建て込んだ凍結管内に冷媒を循環させ、凍結管周囲の地盤を凍らせて強固な改良体を造成する工法である。土質を選ばず確実な改良が可能で大深度では最も安全性の高い工法と言える。

本工事では工期・施工性より地球環境に優しい液化二酸化炭素を冷媒とした新しい CO₂ 方式の凍結工法=ICECRETE 工法を採用した。従来のブライン方式との比較図を図-2 に示す。工法の基本システムは同じだが、循環させる冷媒に違いがある。従来のブライン方式では地盤を冷やす二次冷媒にブライン（不凍液）を使用し、二次冷媒を冷やす一次冷媒にフロンを使用する。一方、CO₂ 方式では二次冷媒に液化二酸化炭素、一次冷媒にアンモニアを使用する。ブライン方式では

-30℃までであった冷媒温度を-45℃まで下げられる、代替フロンを使用しないため地球温暖化防止に寄与する、といった特徴がある。

3. 凍結工法による問題点

水分は凍ると体積が約 9%膨張し、凍結時はこの水分の体積膨張により凍結膨張圧が発生する（図-3）。凍結膨張圧は地盤の細粒含有率が大きく影響し、一般に砂質土より粘性土の方が大きくなる。砂質土の場合、間隙が大きく圧力が分散

するため、その影響は小さいが、粘性土は間隙が小さいため、影響が大きくなる。今回の凍結においては粘性土が主体であったため、想定された凍結膨張圧が大きく、既設構造物（シールド）への影響が懸念された。

キーワード：凍結工法、ICECRETE 工法、既設構造物補強、自動計測、刃口推進、補助地盤改良

連絡先 〒104-9289 東京都中央区新川 1-24-4 大豊建設株式会社 東京土木支店

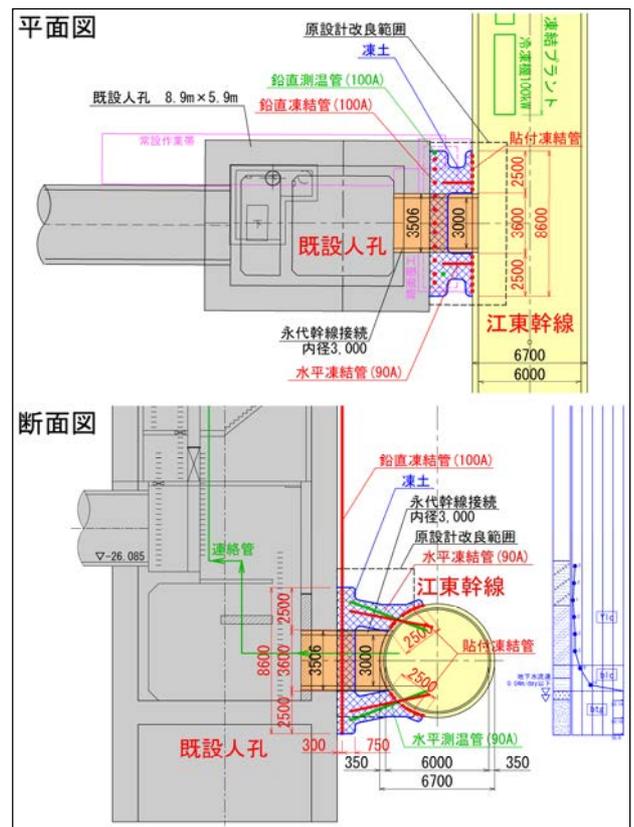


図-1 凍結計画図

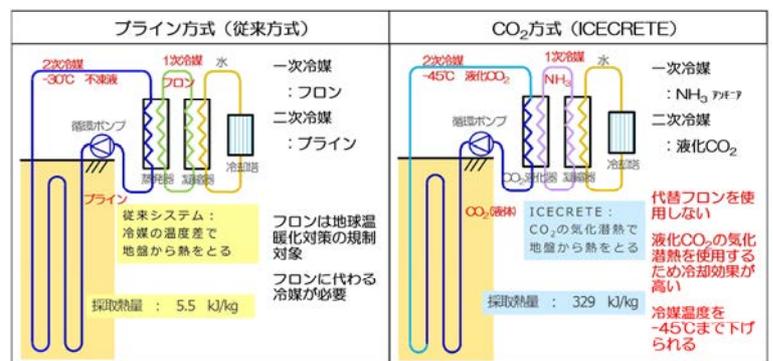


図-2 凍結工法比較図

4. 問題点に対する対策と考察

凍結膨張圧に対する既設構造物の照査を行ったところ許容値を超過したため、既設構造物の補強を行った。凍結膨張圧を補強材のみで負担するように考え、補強材の構造・間隔を決定した。セグメントに沿ってリング材を配置し、リング材を水平材と鉛直材でおさえる構造とした（図-4）。次にFEM解析で凍結膨張圧によるシールドの変位量を算出し（図-5）、その変位量をもとにシールド軸方向の検討、セグメント継手の照査を行い、凍結膨張圧の影響範囲を想定し、補強材の設置範囲を決定した（図-6）。

補強材が期待した効果を発揮し、既設構造物の健全性が確保されていることを確認するため、凍結運転期間中、既設構造物と補強材の計測（ひずみ・応力、目開き、変位）を行った（写真-1）。計測は自動計測とし、24時間連続で行い計測管理を行った。

シールドの水平方向変位の計測結果を図-7に示す。凍土造成期間中に増加し、推進施工時はほぼ横ばいである。凍結管撤去時に凍結運転を順次停止していく段階で減少傾向を示し、凍結運転完全停止時にはほぼ元の値に収束している。水平変位は最大で22.4mmと事前検討値の25.6mmと同程度まで上昇したが、最終的には約3mmまで減少している。これらの結果から、補強材が有効に機能し、既設構造物の健全性は確保されたと考える。セグメントやボルト等の点検結果にも異常は見られなかった。一方、補強材のひずみ・応力については、最大でも事前検討値の5割程度までしか上昇しなかった。軟弱地盤であったため凍結膨張圧がシールドの変形と移動に分散したためと考えられる。硬質地盤であれば移動はほぼなく、全て変形に影響するため、ひずみ・応力も検討値と同程度まで上昇していたと考える。凍結工法では応力も重要であるが、変形や移動も重要な検討項目である。今回のように移動が大きいと凍着切れが発生する危険性も考えられる。本工の補強は多少過剰であったと思われるが、既設構造物には永久構造物としての品質確保が求められるため、安全率を高めに見込んだことは妥当であったと考える。

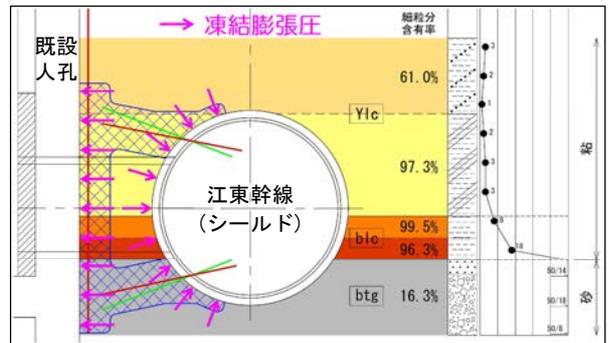


図-3 凍結膨張圧想定図

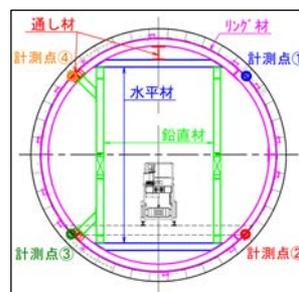


図-4 補強断面図



写真-1 補強材・計測器設置状況

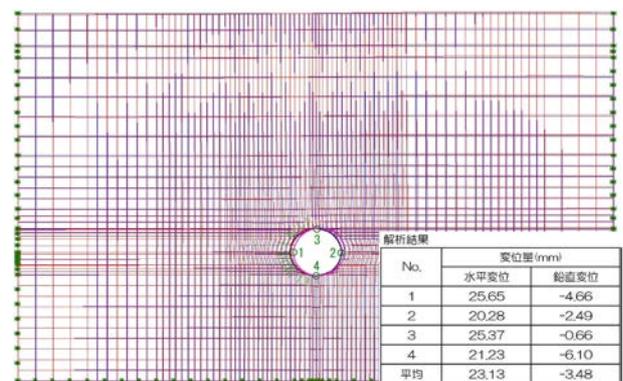


図-5 FEM解析による変位予測図

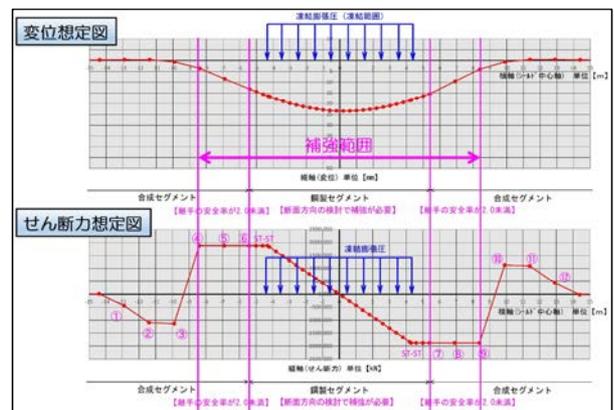


図-6 シールド軸方向検討結果図

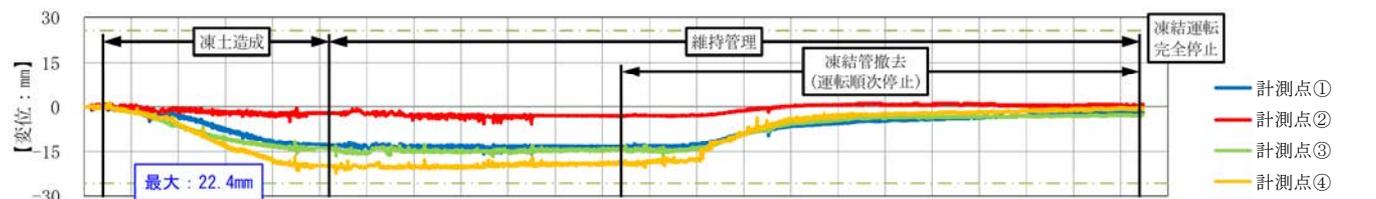


図-7 水平方向変位計測結果

※計測点は図-4 参照

5. おわりに

大深度での大口径刃口推進において、凍結工法を採用し、詳細な事前検討及び対策を実施することで、周辺への影響を最小限に抑え、安全かつ迅速に接続することができた。本稿が今後の同種工の参考になれば幸いである。