

シールド機チャンバー内泥水凍結について

東京都第三建設事務所 工事第二課 正会員 向山 公人, 伊藤 孝 石川 幸宏
 大成・鹿島・大林・京急建設共同企業体 正会員 ○ファムトゥン ラム 田中 敦 首藤 亜矢

1. はじめに

東京都発注の環状七号線地下広域調節池（石神井川区間）工事において、泥水式シールド機で立坑のRC壁を直接切削（全断面）して発進した。その際、最外周ビットが損傷・脱落したため、深度50mのシールド機のチャンバー内からビットを交換した。土中においてビット交換をするために、凍結工法により有効厚さ1.5mの凍土壁造成を行った。本稿では、このうちチャンバー内にある限られた範囲の泥水を効果的に凍結させた施工について報告する。

2. 泥水凍結工法の概要と課題

本工事は、まず止水目的として地上から薬液注入工を行い、その後、カッター前面の耐力壁として凍結工法による凍土壁造成を行った（図-1）。この時、地山の土水圧を受ける凍土壁をビット先端のみで支持する状態の場合は支点箇所が凍土が圧壊する可能性がある。従って、荷重をシールド機面板の全体で受けられるようにカッター面板部と凍土壁が一体となる構造にする必要があった。

また、地上から建て込んだ鉛直凍結管からの冷却エネルギーによって、泥水を面板部と一体化して凍結させるために、約1か月間チャンバー内で泥水を静置する必要があった。しかし、通常の泥水は時間の経過とともに粘土分が沈降するため、希薄な泥水が対流を起こしてしまい凍結ができない。もしくは想定以上に時間がかかってしまい、工程遅延が生じる懸念があった。そこで、カッター面板部の泥水を凍結させるために以下の対策を行った。

3. 施工前の取組

泥水が分離しにくく、熱対流の影響を軽減させることが課題であり、これを解決するため、以下の①・②・③の実験を事前に行った。

① ブリージング量の低減・熱対流の軽減

ブリージング量の低減および熱対流を軽減するために、泥水に増粘剤を添加した。添加する増粘剤の種類、最適量を決定するために実験を行った。水溶性高分子固化剤、水溶性高分子作泥剤、有機合成ポリマー作泥剤の計3種類の増粘剤を4~12kg/m³の添加濃度で泥水と混合した。各々の粘度測定結果と3日程度静置した状態でのブリージング量を比較し、最適な増粘剤（水溶性高分子作泥材）を決定した（写真-1）。

② 必要強度達成時の温度把握（一軸圧縮試験）

増粘剤を4~12kg/m³の濃度で、泥水と混合して3種類の供試体を作成した。それらを-3℃、-5℃、-7℃、-10℃の4温度帯で一軸圧縮試験を行った（図-2）。その結果から必要強度を得られる凍土の設計温度を-3℃に設定した。また、濃度による強度の差は大きくなかったため、添加濃度は4kg/m³に決定した。

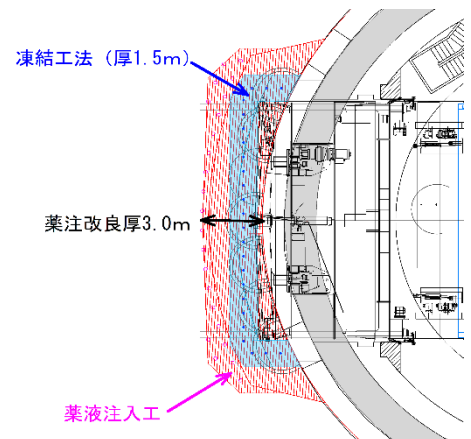


図-1 薬液注入工・凍結工範囲図



写真-1 ブリージング実験

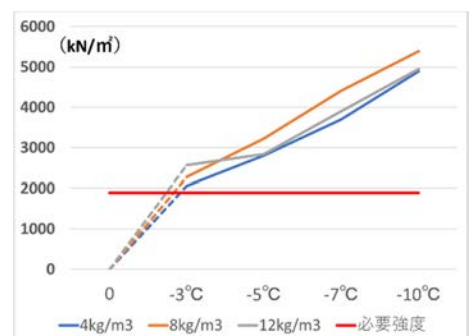


図-2 一軸圧縮試験結果

キーワード： 土中、ビット交換、泥水改良、熱対流、増粘剤

連絡先： 〒163-6008 東京都新宿区西新宿 6-8-1 大成建設(株)東京支店 TEL 03-3348-1111（大代表）

③ 熱対流の影響の確認

実施工では、シールド機前面の鉛直凍結管から水平方向に凍結が進行するため、その状態でも熱対流を起こさずに泥水が凍結することを確認する必要があった。そこで、①②で選定した増粘剤・添加濃度で泥水と混合し、1m³水槽にて凍結実験を行った（図-3）。また、対照実験として、清水での凍結実験を行った。同一深度で、水平方向 200mm 間隔で計測した温度データを図-4、5 に示す。データより、増粘剤を添加した泥水は、鉛直凍結管からの水平距離によって温度差が生じた。清水では、0℃付近までは水平距離に関わらず温度が低下し、0℃以下は距離によって温度差が生じた。このことから、増粘剤を添加した泥水は、熱対流の影響を受けずに面的に凍結することが確認できた。

4. 泥水凍結のための施工時の工夫

実験を踏まえ、実際の施工時は以下の（ア）・（イ）の工夫を行った。

（ア）増粘剤と泥水を均一に混合するために流体ポンプを使用

チャンバー内約 250 m³の泥水を、流体ポンプを用いて循環させながら、注入ポンプにて増粘剤を添加した。面板部やビット周りの泥水を置換するために、同時にカッターを回転させることで、均一に泥水を混合・置換することができた。

（イ）面板部まで凍結したことを確認するための測温管設置、温度シミュレーション実施

シールド機隔壁の 2B バルブの 7 か所から、面板部に測温管（鋼管）を挿入した。次に、測温管内に測温素子を設置し（図-6）、泥水の温度を常時計測し、面板部からチャンバー内の凍結状況をリアルタイムで把握した。測温結果よりシミュレーションを実施し、凍土成長予測を図面化して設計温度達成までの日数を確認した。

5. 施工時の凍土造成状況を踏まえた追加対策

チャンバー内の泥水は温度の低下が一樣ではなく、上半部に比べ下半部の方が遅い傾向がみられた。これは、シールド機前面の上半部が砂礫層、下半部が固結シルト層に面しており、土質が温度低下と関係があることを示していた。また、最上部の泥水は熱対流していることにより凍結の成長が進んでいなかったため、凍結促進対策として上部の分離した泥水を増粘剤が添加された泥水に置き換えた。さらに、上部には熱対流が起こらないようにチャンバーの内部に水平凍結管を挿入し、隔壁に貼付凍結管を設置した（図-7）。

6. まとめ

測温管の計測結果から、凍土壁から面板部の方向へ順次泥水が凍結することを確認できた。通常、凍結工法を行うと、広大な凍結範囲と長期の凍土造成期間も必要なことから、地上の占用などの社会的影響が大きくなる。今回のような泥水凍結工法を行うと、凍結範囲が限定的で、社会的影響を比較的小さくすることができた。

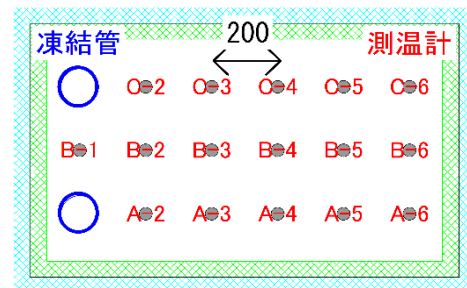


図-3 凍結実験モデル（平面図）

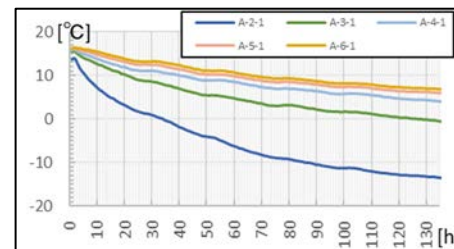


図-4 泥水凍結実験 温度グラフ

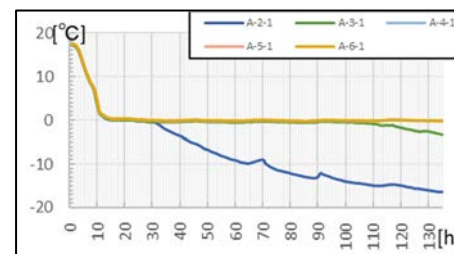


図-5 清水凍結実験 温度グラフ

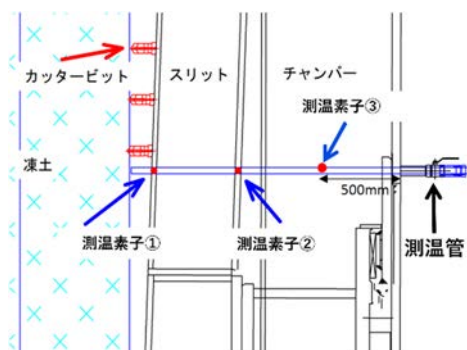


図-6 測温管挿入断面図

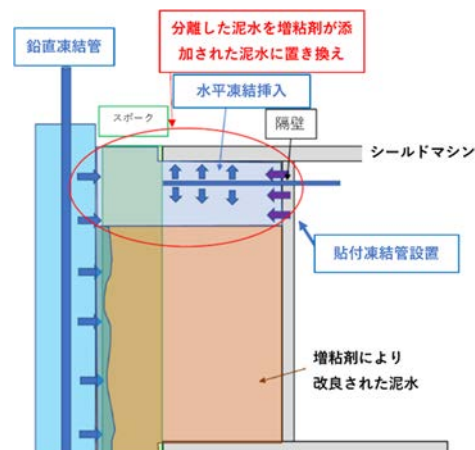


図-7 チャンバー内上部凍結促進対策図