

凍結工法を併用した換気所ダクト接続工事（その2）－掘削と変位－

東京都第二建設事務所 品川線建設事務所 水谷正史 石塚洋一（現 都市整備局） 信貴敬三
熊谷・京急建設共同企業体 正会員 ○山口武士
（株）熊谷組 土木事業本部 正会員 手塚 仁 正会員 中出 剛

1. はじめに

中目黒換気所ダクト接続工事では、既設の換気所から本線シールドの上部に3本、下部に1本の横坑トンネルを構築する。このうち上部横坑の上半部に高い被圧水位を有し流動化しやすい砂層（Kcs層）が分布していることから、補助工法として高い止水効果が得られる凍結工法などの地盤改良工を採用した。¹⁾ここでは、上部横坑掘削時の状況及び変位計測結果などを報告する。

2. 横坑トンネル概要

横坑トンネルは都市部主要幹線下に構築されるため、施工時の止水性確保が必要であった。掘削方式はNATM機械掘削工法であるが、施工時の横坑トンネル内への導水を懸念してロックボルトの無い構造となっている。表-1に横坑のトンネル諸元を、図-1に補助工法概要図を示す。施工は以下の手順により行った。

STEP1：地上からダブルパッカー工法により横坑内施工基地外周（図中緑色部）を、シールド内から低圧浸透注入工法により横坑下半部～避難連絡坑底部までの領域外周（図中赤色部）を止水する。

STEP2：横坑内施工基地からトンネル上半部を、本線シールド内からトンネル棲部を凍結工法（図中青色部）により止水する。

STEP3：横坑トンネルを掘削する。

表-1 トンネル諸元

掘削工法	全断面及び補助ベンチカット工法
掘削方式	機械掘削（500kg級ブレード、バックホウ）
延長	L=26.9m～36.6m
断面	内径φ5,000～5,700mm（掘削断面は円形・馬蹄形）
支保	鋼製支保工（H-100、H-125@1.0m） 吹付コンクリート（1次5cm+金網+2次10cm） （ウォータータイト構造につきロックボルトなし）
地山等級	D I

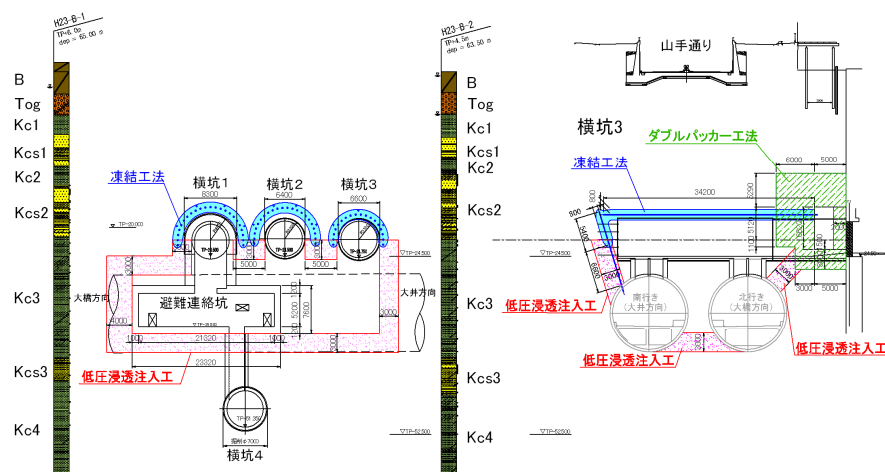


図-1 補助工法概要図

3. 横坑トンネル掘削状況

掘削時は砂層と泥岩との境界部から多少の湧水とともに若干の砂の流出が認められたが、流砂現象までには至らず掘削に支障をきたすことはなかった。トンネル外周部に凍土による止水ゾーンが形成されたことで、地下水の流入抑制効果が発揮されたと思われる。当初、掘削地山自体は押し出しもなく補助工法の効果により安定していたが、凍土の成長に起因した凍結膨張圧によるトンネル内空方向への押し出しが確認され、上部3本のトンネルA計測の一次管理値（水平測線 19～32mm）を越えたことから、早期のインバート併合、馬蹄形部ではストラットの設置、及び凍結運転調整により内空変位抑制に努めた。

また、掘削面には凍土が露出するため、吹付コンクリートのセメント量を1割増強の405kg/m³、吹付厚を5cm増の20cmとして設計吹付厚の部分が凍害の影響を受けないようにした。



写真-1 凍結工法と横坑掘削状況

キーワード：凍結工法，都市NATM，流砂現象

連絡先：〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 ・TEL 03-3235-8622 ・FAX 03-3266-8525

4. 計測結果

計測は通常のトンネルA計測，地表面沈下測定その他，凍土膨張圧及び施工による本線シールドへの影響を確認するために本線シールドにおいて鉛直沈下測定，セグメント応力測定，内空変位測定を行った．また，凍結管に併設して測温管を配置し，凍土成長状況を確認している．

セグメント応力測定位置を図-2に，施工に伴うセグメント応力の経時変化を図-3に示す．凍土造成時には，横坑上部からの凍土圧が徐々に地山を介して本線シールドに載荷し，特にシールド肩部（②，③）における応力が増加したが，いずれも一次管理値（282N/mm²）以内に収まっている．また，その後の横坑掘削時には上載土が徐荷されることで，これらの応力度が減少していく挙動が確認された．なお，地下水位については，観測井戸による測定では大きな変化はみられなかった．

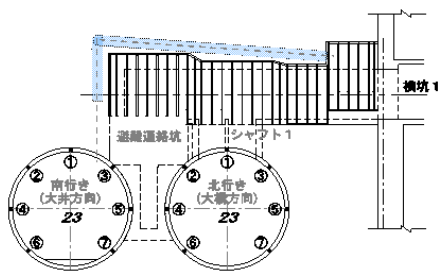


図-2 本線シールド内ひずみ計配置図

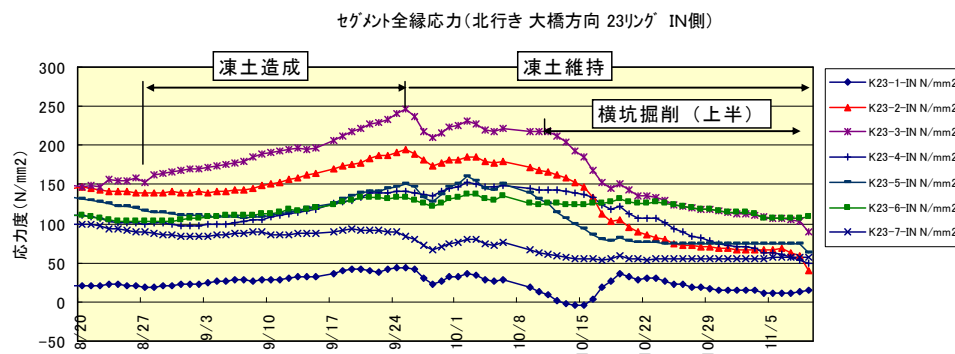


図-3 本線シールドセグメント応力経時変化

図-4に横坑施工期間における凍結領域の温度経時変化を示す．凍結運転開始から1ヶ月程度で全測温点の温度が0℃を下回り，凍土が造成されていることが確認された．

また，凍土造成完了時における測温管温度により算定された凍土造成厚の想定断面図を図-5に示す．横坑トンネル上半部全域において目標とした凍土厚（0.8m）を有しており，期待した止水効果が発揮されたものと考えられる．

5. まとめ

凍結工法を実施しトンネル掘削を行った結果，予想された湧水を抑制でき問題なく施工を進めることができた．また，本線シールドに対して凍土による影響は想定していたよりも少なかったと言える．

凍結工法は高い止水効果を期待できるが，対象地山の地質・地下水状況，凍結管の削孔精度及び凍土造成後～凍土維持期間における運転管理に留意が必要であると考えられる．NATMの補助工法として採用する場合には，吹付コンクリートの強度発現，凍結解除後の二次覆工への影響についても留意する必要がある．

現在，本線シールドと横坑を連結する鉛直ダクトを掘削・構築しているが，引続き計測工を実施しながら慎重に施工を進める所存である．

【参考文献】1) 水谷ら：凍結工法を併用した換気所ダクト接続工事（その1）－補助工法の検討－，第69回土木学会年次講演会概要集，2013．

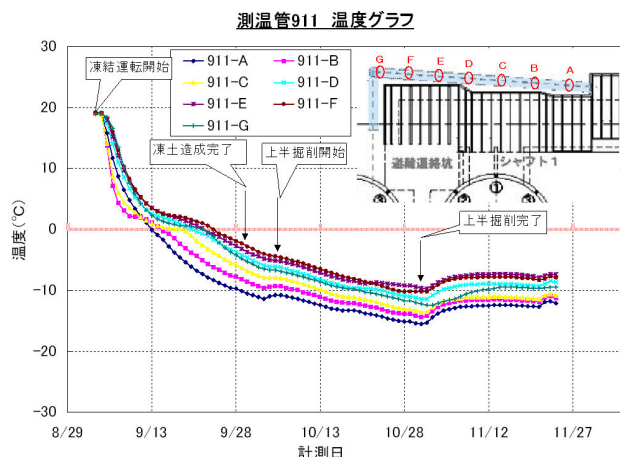


図-4 測温管温度経時変化

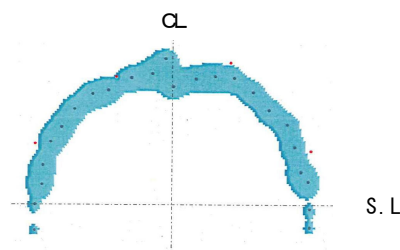


図-5 凍土造成状況想定図