

1-1-3 D0-Jet 工法を装備したシールド機からの探査・地盤改良・切断除去技術

東京都 下水道局 第二基幹施設再構築事務所

発表者 土屋 慎之介

執筆者 岩淵 亮太

1. はじめに

シールド工法は、トンネル構造のライフライン整備に必要不可欠な技術であり、都市部における非開削工法としての地位を確立している。一方、ライフラインの輻輳化により地下構造物や埋設物との近接施工、地中に残置された仮設構造物が都市部のシールド工事の大きな障害となるケースが増えている。特に地中深くに残置された鋼矢板や H 鋼材等、工事仮設用の鋼材は残置した位置・形状等の詳細な情報が不明なことが多い。その際、これまで、地上からの地盤改良による近接防護や、開削による支障物直接撤去、地盤改良の併用によりトンネル切羽から人力で撤去するなどの方法で対応を図ってきた。しかしながら、都市部では開削による支障物の除去が困難な状況が年々増大しており、坑内から対策を講じる工法が求められていた。

こうした課題をクリアするため、地上に影響を与えず、地中支障物を撤去する方法として、掘進機に超高圧ジェットシステムを搭載し、セメント系の地盤改良や支障物の切断除去を掘進機より施工可能とした「D0-Jet 工法」が開発された。当局工事においては、既に 27 件の施工実績があり、従来地上から行っていた「支障物探査」「地盤改良」「支障物の除去作業」のすべてが、地上を一切使用することなく掘進機より施工可能となった。

今回、第二田柄川幹線工事において、シールド通過位置に共同溝（東京電力、NTT、上水道が入溝）設置時の山留残置杭が確認され、シールド上部には既設田柄川幹線 $\square 5.0\text{m} \times 4.5\text{m} \sim \square 5.0\text{m} \times 5.5\text{m}$ が埋設されていることから、シールド機より支障物撤去等対策が可能な D0-Jet 工法を採用したので報告する。

2. 第二田柄川幹線工事の概要

練馬区の錦、北町、田柄等と板橋区の桜川、上板橋等の地域における雨水は、昭和 40 年代に整備された既設田柄川幹線を通じて石神井川に放流されている。

既設田柄川幹線は道路面から浅い位置に埋設されており、大雨時には幹線水位が上昇しやすく、平成 17 年 9 月の大雨では広範囲に渡って浸水被害が発生した。

これを契機に、田柄川幹線流域における浸水被害を軽減すべく、雨水排水能力を向上させるために既設田柄川幹線の増補幹線として、第二田柄川幹線が計画された。

第二田柄川幹線は、シールド全線において、既設田柄川幹線直下に位置し、板橋区桜川一丁目にある発進立坑から、練馬区田柄三丁目の到達立坑まで約 4.2 km、土かぶり約 10~20m、洪積層で礫混りシルト質砂が多く、N 値 20~50 の層を特殊泥土圧シールド工法（仕上り内径 3,500 mm）にて施工した。

大雨時に第二田柄川幹線に取水された雨水は、発進立坑に築造した人孔より田柄川幹線へふかし上げ方式で返水され、石神井川に放流される。

また幹線内に溜まった雨水は、晴天時に練馬区北町にある中間人孔に設置されているポンプ設備により田柄川幹線へ返水される構造となっている。

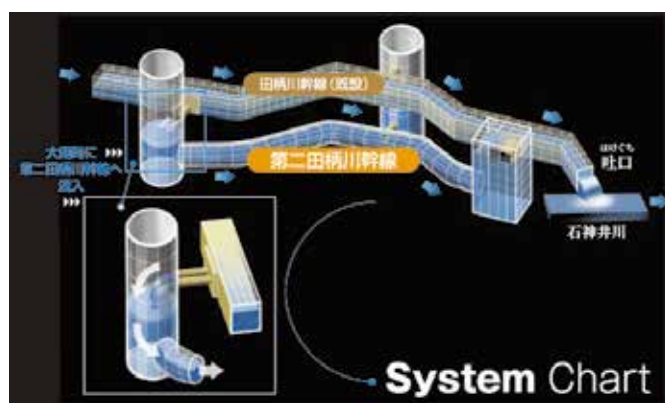


図-1 第二田柄川幹線構造図

3. D0-Jet 工法とは

D0-Jet (Double Object-Jet Method) 工法は、地上からの対策が困難な場合においても、安全・確実に支障物の切断除去および既設構造物の防護改良ができる工法である。シールド機や推進機に超高圧ジェットシステムを搭載することで、シールド機前方の支障物の探査、地盤改良および支障物の切断除去を可能とした工法である。D0-Jet 工法の基本機能としては、「前方探査」、「超高圧地盤改良」、「切断除去」により構成され、施工の目的に応じて単独での適用も可能である。

以下に D0-Jet 工法で使用する 3 つの基本機能の概要を示す。

① 前方探査

掘進中にトンネル断面内に地中支障物が出現した場合などに、障物の位置などを確認するため、カッターヘッドに装備したノズルから探査材（溶液型注入材・瞬結タイプ）を支障物に噴射し、その反射音を解析し、地中支障物の出現位置・材質・形状・寸法・範囲などを判定する機能である。

② 超高圧地盤改良

支障物の切断除去に先立ち、支障物切断箇所周辺地山のゆるみ防止のための地盤補強や、トンネル路線に近接する構造物防護のための地盤補強、トンネル路線の急曲線区間におけるカーブ外側の地盤反力強化、既設構造物（既設管や人孔など）との接合箇所の地盤補強などを目的とし、地盤改良材（セメントミルク等）を噴射して、現地盤を全置換して改良体を造成するものである。

③ 切断除去

カッターヘッドに装備した切断ノズルから切断材（アブレシブスラリー等）を噴射して支障物を搬出可能な大きさに切断し、切断した切断片をスクリーコンベヤーなどによってシールド機内に取込む機能である。

切断可能な支障物の材質は、鋼材、コンクリート、コンクリートと鋼材の複合材、木杭などである。

また、支障物切断除去後、切断した上部残置物が万が一沈下して新設管に影響を与えることを防止するため、掘進機外径より 30~300mm 大きく切断する。さらに、切断後、切断材には恒久性がないため、切断部に恒久性のあるセメント系の地盤改良材を噴射して固化させることで、切断した上部残置物の沈下を抑えることが可能となる。

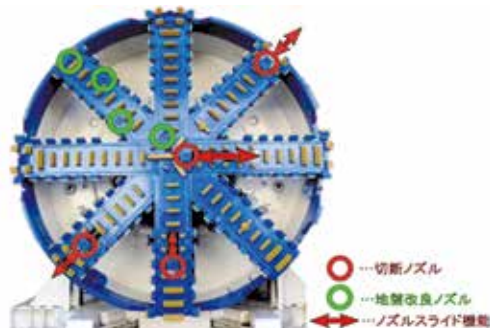


図-2 シールド面板構造

4. 工事内容

本工事では、既設田柄川幹線を伏せ越ししている共同溝の残置杭が支障となった。また、共同溝直下を通過する際のシールドとの離隔が 1.5m (0.4D) であることから、近接防護改良を行うこととした。

また、共同溝の手前まで掘進したところ、想定外の支障物に遭遇したため、支障物の前方探査、超高圧地盤改良、切断除去を行った。

①前方探査：掘進機のカッターヘッドに装備した超高圧噴射ノズルから探査材を 30~100MPa で噴射しながらカッターヘッドを回転させて全周を探査した。超高圧噴射ノズルは、探査材、地盤改良材、切断材を噴射するノズルで、2系統で送られてきた流体がミキシング室で混合され、掘進機のカッターヘッド等に装備したノズルから超高圧（最大 245MPa）で噴射される。

事前に地中支障物の位置が分かっているにもかかわらず、施工誤差等により支障物の位置は正確とは限らない。そのため、支障物に遭遇した際、正確な位置や大きさを判定し、支障物の撤去方法を決定することが必要となる。そこで、支障物の位置等を確認す

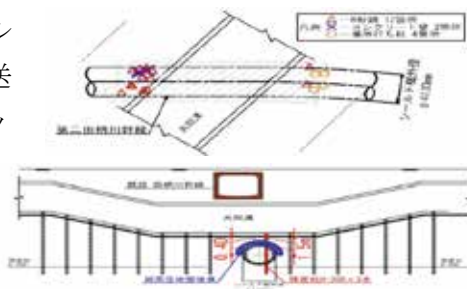


図-3 支障物詳細図

る機能として、探査材を噴射して物体(土粒子・残置支障物等)に当たった時に発生する反射音等の変化を計測し、支障物の形や大きさ、傾き、材質(鋼材、コンクリート、木材等)等を解析し、支障物が特定されるとともに、解析結果から、支障物周辺の地山のゆるみ防止のための地盤改良計画図と、支障物をシールド機内に取り込める大きさに切断するための切断計画図により切断除去の施工計画を作成した。

②パック注入：支障物周辺の地山のゆるみ防止及び共同溝等への影響を防止するための超高圧地盤改良に伴い、地盤改良材がシールド機のスキンプレート外周部に廻り込んで掘進機が固結し、掘進不能となることを防止するため、シールド機外周部にパック材(溶液型注入材・瞬結タイプ)をシールド機前胴部に設置されているパック注入孔から注入した。

③超高圧地盤改良：地盤改良計画図に基づき、カッターヘッドに装備した地盤改良ノズルから地盤改良材を噴射して改良体を造成する。これにより、切断時における地山や共同溝等地下埋設物への影響を最小限とした。地盤改良材は、早強セメントと珪酸ナトリウム溶液の混合材を使用することで、早期の硬化、早期強度の発現とブリージングを防止している。

④支障物切断除去：切断計画図に基づき、カッターヘッドに装備した切断ノズルから切断材を噴射し、支障物を掘進機から回収できる大きさに切断して坑外に回収した。支障物の切断形状においては、支障物の材質・形状や掘進機の構造条件等により変わるため、回収可能な大きさに切断できるよう、カッターヘッド内を放射状にノズルが移動できるノズル移動システムを装備している。これにより、掘進機の回転方向での切断と放射状の切断が可能となり、支障物を任意の大きさに切断することが可能となる。

⑤補足改良：支障物を切断後、シールド機外側の切断材で置換された範囲を恒久性のある地盤改良材に置換することで、将来的な地盤変位に対応した。

支障物に対しては上記①から⑤を繰り返し行い、当初計画の共同溝残置杭 H-300×3 本は出現しなかったが、想定外のコンクリート杭(φ400mm×2箇所)、場所打ち杭(φ900mm×2箇所)、H鋼杭(H-150×2箇所、H-300×9箇所、H-400×1箇所)、コンクリート壁2箇所の合計18箇所において切断除去を行った。また、共同溝の近接防護改良を行いながら掘進したことにより、共同溝とシールドとの離隔が約0.4D以下という条件の中で支障物が多数出現したが、変位量は±0.4mm程度と一次管理値である±5.0mmを大幅に下回り、FEM影響解析結果0.768mmの約半分の変位量であった。支障物が輻輳している条件下においても、超高圧ジェットによる地盤改良や切断除去の施工は、地盤・構造物に影響を与えることなく、坑内から安全に効率的に施工可能であり、国道地上部にも制約を発生させることなく工事を完了した。

5. 終わりに

本工事では、当初より想定されていた共同溝部において想定外の支障物が数多く出現したが、DO-Jet工法の前探査により支障物の特定が可能となり、確実に切断除去するとともに、強度のあるセメント系の防護改良が行えることにより、周辺地盤への影響も最小限に抑えることができた。

都市化が進む中、本工事のように施工環境などの制約により地上からの作業が困難である場合に対して、非開削で既設構造物の防護改良と想定外の支障物の切断除去が確実にできることで、事業のスピードアップにもつながる。

都市部特有の課題でもある想定外の事象にも、掘進機に当工法を標準装備することで、どのような事象にも的確に対応することが可能となり、当局事業の確実な推進の一翼を担うべき工法へと進化するものである。

問合わせ先：東京都下水道局 第二基幹施設再構築事務所 工事第二課 土屋 稔之介

TEL 03-3366-6979 E-mail Shinnosuke_Tsuchiya@member.metro.tokyo.jp