

2-1-1 地下鉄都営新宿線駅舎下における支障杭切断・除去の施工実績

第一基幹施設再構築事務所 工事第一課 大和田 章文

1. はじめに

「東大島幹線及び南大島幹線」は、江東区の一部及び江戸川区の一部の雨水を收容する雨水幹線であり、小松川第二ポンプ所～大島ポンプ所間約2.0kmを泥土圧式シールドで施工する(図-1参照)。

本工事の特徴は、供用中の既設構造物直下をシールド掘進する際、D0-Jet工法を用いてシールド機内から、影響防止策として地盤改良を施工することと、残置支障杭を切断・除去することである。このD0-Jet工法を用いることにより、地上からの施工は必要なく、地下(シールド機)から地盤改良、支障物の切断・除去が可能となる。今回は、これらのうち支障物の切断・除去の実施について報告する。



図-1 全体平面図 (D0-Jet 工法施工位置)

2. 工事概要

2.1 全体工事概要

工事件名：東大島幹線及び南大島幹線その2工事、その3工事、その4工事

受注者：鹿島建設(株)

工事場所：江戸川区小松川一丁目～江東区大島六丁目

主な工事内容：特殊泥土圧式シールド工法(親子シールド)

親機外径φ7100mm、仕上り内径φ6000mm L=705.2m

子機外径φ5340mm 仕上り内径φ4500mm L=1364.75m

坑内超高圧地盤改良(D0-Jet地盤改良)、支障物切断・除去工(D0-Jet切断)

到達立坑(圧入オープンケーソン)掘削外径φ13.1m、刃先先端深度37.6m 1箇所

2.2 施工概要・施工条件

本シールド掘進土層は、下部有楽町層粘性土（Y1c2）であり、N値1～5、最大粘着力 $C=100\text{kN/m}^2$ 、鋭敏比が高く、間隙水圧は 220kN/m^2 程度の粘性土である。図-2にD0-Jet施工箇所周辺の状況と支障杭想定位位置図を示す。以下、干渉する支障物の概要について説明する。

本工事ではシールド掘削断面内に合計60本の残置支障物（PIP杭 $\phi 450\text{mm}$ 48本、PIP杭 $\phi 600\text{mm}$ 12本）が干渉すると想定されていた。また、支障杭の上部には供用中の既設構造物（都営新宿線大島駅、共同溝、既設大島幹線）が存在することから、地上からの支障物撤去は困難なため、シールド機内から支障物の撤去が可能なD0-Jet工法が適用された。

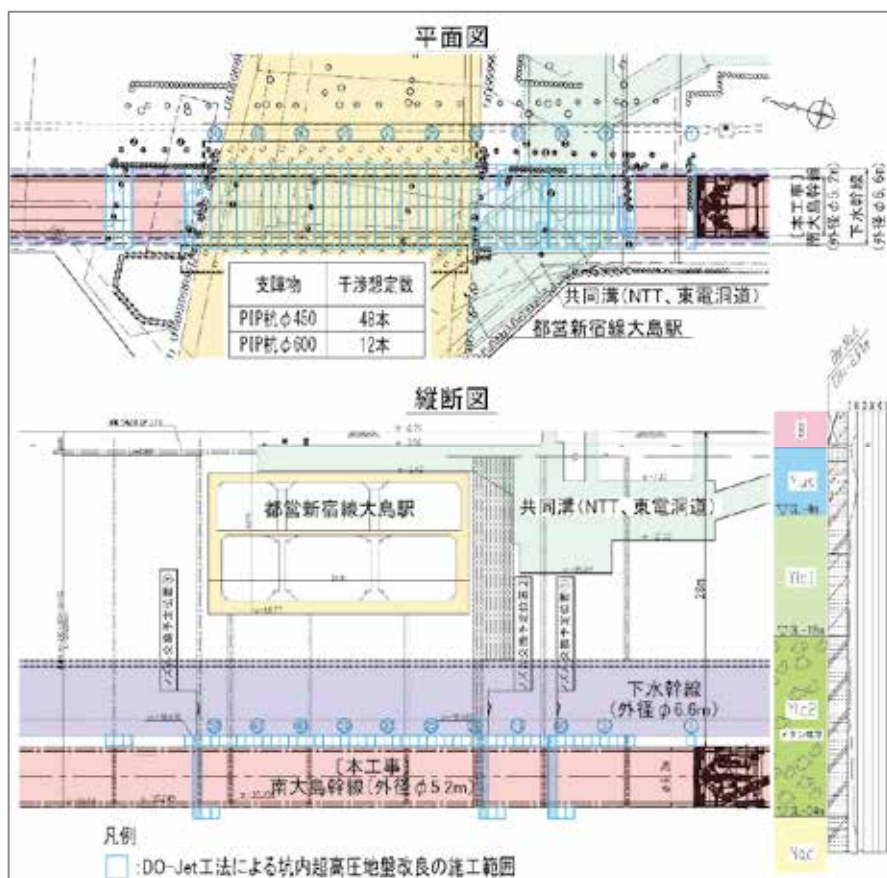


図-2 支障杭想定位位置図

3. D0-Jet 工法概要

3.1 D0-Jet 工法について

D0-Jet工法とは、シールド機に超高圧ジェットシステムを装備して「坑内超高圧地盤改良」と「障害物の切断・除去工」を行う工法である。写真-1に、本工事のシールド機における、D0-Jet噴射テスト状況を示す。

障害物の切断・除去工は、ケイ酸ナトリウム水と研磨材・硬化剤等を混合噴射することで、シールド機前方の残置支障物の切断を行う。なお、都営新宿線大島駅と共同溝通過時は、図-2に示すように、地上および既設構造物への影響抑制のため、支障杭の有無に関係なく1スパン800mmの地盤改良体を連続して築造する。



写真-1 D0-Jet 噴射テスト状況

3.2 D0-Jet工法による支障物切断・除去の施工計画

シールド掘進中に支障物に接触し、切断・除去するまでのD0-Jet工法の施工フローを図-3に示す。また、D0-Jet工法による支障物切断工の主要作業（図-3の囲い部）に関して、以下に施工計画を記す。

(1) 支障物の接触検知<STEP1>

支障物に接触し、カッタートルク上限値に達した場合、掘進を停止して前方探査に移行する。支障物と接触した場合、カッタービットの脱落が懸念されるため、カッタートルクの上限値を設定し、設定値を超えた場合は掘進を停止することとしている。

なお、上限値は最内周のビット（センターからの距離600mm）に許容荷重が作用する時のトルク「53kN-m」を使用し次式で管理する事とした。

「トルク上限値」＝「トルク基準値」＋53kN-m

※「トルク基準値」は、支障物が無い通常掘進の状態でのカッタートルク値

(2) 前方探査（切断・改良計画）<STEP2>

D0-Jet工法では支障物直前で超高圧ジェット水を噴射し、その反射音を前方探査システムにて解析を行って支障物の位置、大きさを特定する（図-4参照）。

なお、D0-Jet工法技術資料では前方探査にて検知可能な支障物との離隔は300mm程度とされている。

前方探査結果の一例を図-5に示す。図中の青い波形が前方探査による反射音の分布であり、対象物の材質により強弱で表現される。図-5の場合、支障物の位置（大きさ・幅）を赤枠の範囲内と想定した。

次に、前方探査結果を基に支障物の切断計画を策定する。切断計画では、シールド機面板に搭載された16個の切断ノズルのうち切断に使用するノズルを詳細に計画する。

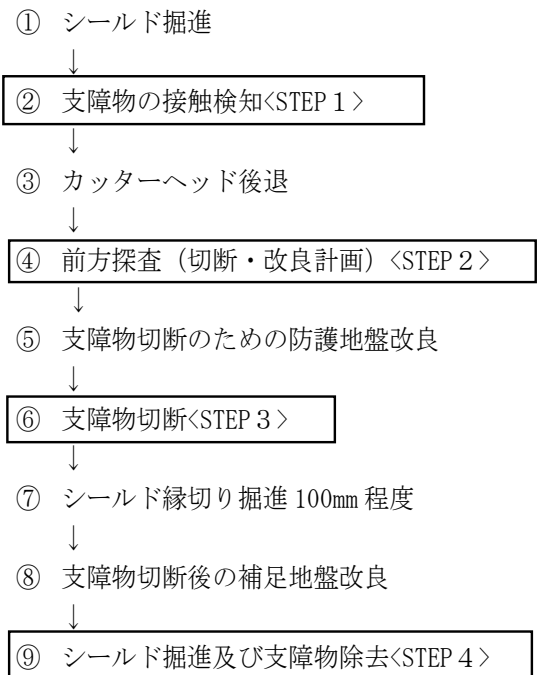


図-3 切断施工フロー

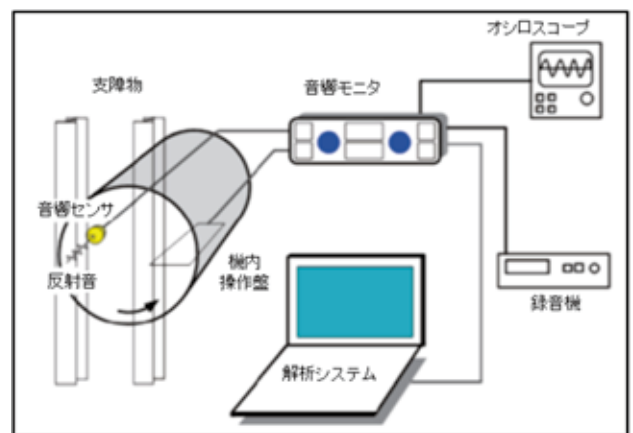


図-4 D0-Jet工法における前方探査システム

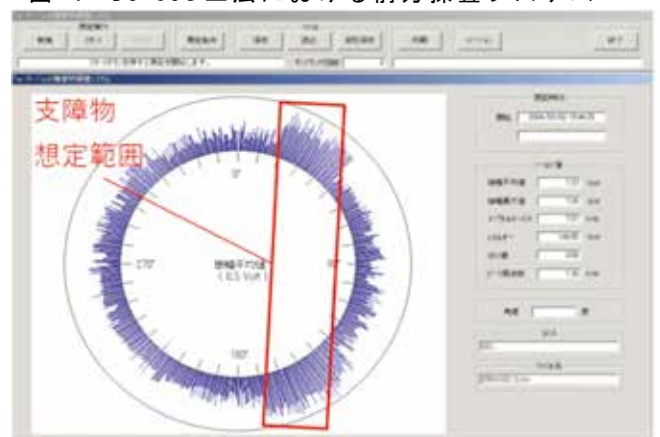


図-5 前方探査解析結果

(3) 支障物切断<STEP3>

本工事の対象支障物は、PIP杭である
(図-2 参照)。

DO-Jet 工法にてH形鋼や鋼矢板といった鋼材単体の切断実績はあるが、PIP 杭のようにモルタルに覆われた鋼製支障物を切断した実績は無く、本工事が初めての施工となる。

PIP杭切断時の概要図を図-6に示し、切断時の超高圧噴射方法及び使用材料を図-7に示す。

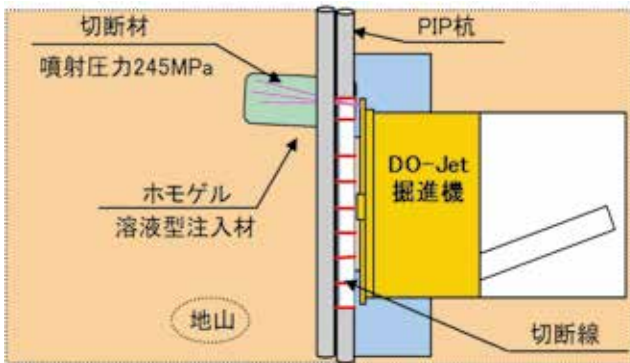


図-6 切断概要図

切断ノズルは、図-7 のように 2 液 (2 ライン) を混合ショットさせて超高圧で噴射する。各ラインの噴射量及び使用目的を表-1に示す。

PIP杭切断の前例が無いいため、H形鋼や鋼矢板の切断方法と同様に、網目状（切断片の大きさが400mm～550mm程度）に支障物を切断する計画とした。前方探査に基づいた支障物切断計画を図-8に示す（なお、シールド機の通過に備えて支障物は50mm以上のオーバーカットを行う）。また、技術資料によれば、「鋼材切断能力は、噴射ノズルを5mm/分のスピードで動かした場合、奥行き300mm先まで鋼材を切断可能」とされている。つまりPIP杭φ600（芯材H-400）は1回の噴射切断では完全に切断できない。そこで、1度切断した後には前進（300mm程度掘進）し、もう一度切断を行う計画とした（図-9参照）。

図-10に示すとおり、シールド機にはカッターフェイスに固定タイプと移動可能タイプの2種類の支障物切断ノズ

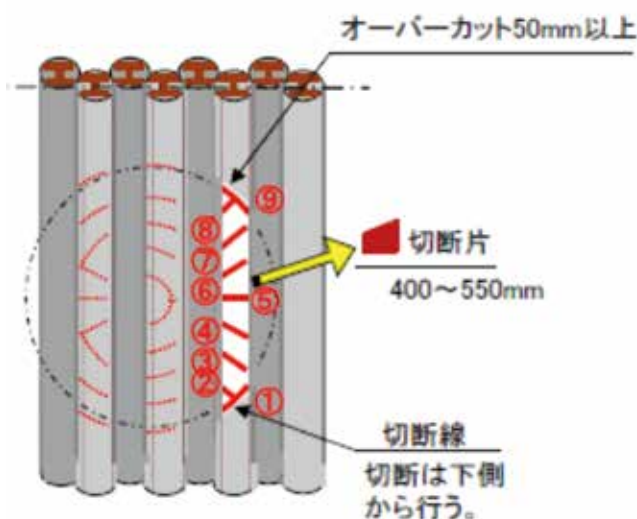


図-8 支障物切断順序イメージ図

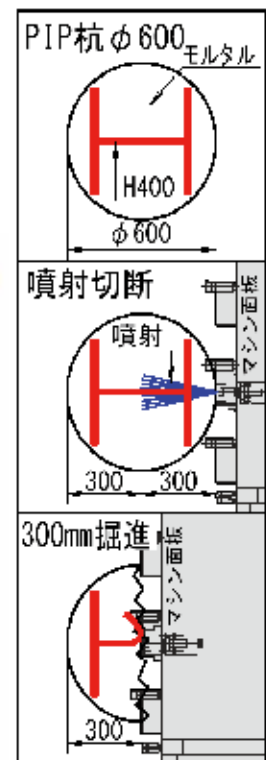


図-9 切断イメージ図

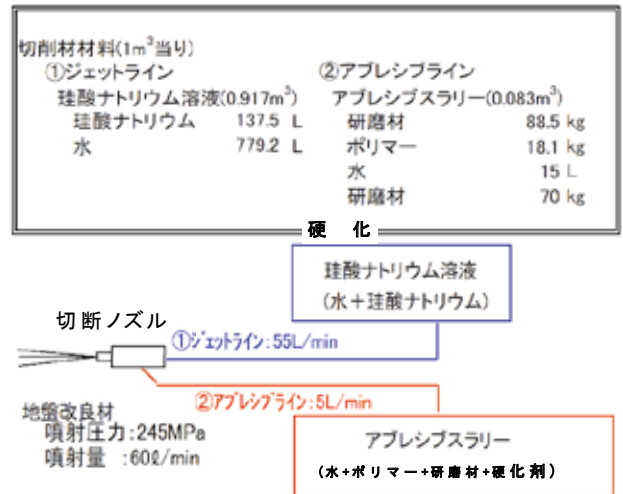


図-7 切断時の超高圧噴射方法及び使用材料
表-1 各ラインの噴射量及び使用目的

ライン名称	溶液噴射量	使用目的
ジェットライン	珪酸ナトリウム溶液 55L/分	土中でホモゲル化することで、地山の崩落を一時的に保護する目的
アブレシブライン	アブレシブスラリー (研磨材溶液) 5L/分	研磨材（ガーネット）により、支障物の切削性能を向上させる目的

ルを装備しており、固定ノズルは、噴射しながらカッター回転することで円周方向に切断する（図-8の①、⑨切断線）。移動ノズルは、伸縮ジャッキによりノズルを移動させ、放射方向に切断する（図-8の②～⑧切断線）。

基本的な切断順序は、切断片が下へ落ちても影響が無い様、下端から順に切断を行うよう計画した。

(4) シールド掘進及び支障物除去<STEP4>

図-11 に示すとおり、切断された支障物は掘進に伴い土砂と一緒にチャンバー内に取り込まれる。そこからスクリーコンベアを通り、圧送ポンプまで排出される。

しかし、切断された支障物の大きさ・形状によっては、スクリーコンベア内で支障物による閉塞が生じることが懸念された。

そこで、スクリーコンベア内に支障物が入り、リボンスクリュー先端部で閉塞した場合を想定し、取り出し蓋（600×600）を配備した。スライド機構付きのリボンスクリューを600mmスライドして、スクリーコンベア先端のゲートを閉め、チャンバー内土砂の流出を防いだ上、取り出し蓋を開け、支障物を排出する計画である。

また、支障物によりスクリーコンベアの途中で閉塞した場合も想定し、4箇所に注入口付の蓋（300×500）を配備した。



地盤改良用ノズル	15個	支障物切断用ノズル	16個
●移動可能タイプ	3個	●移動可能タイプ	9個
●固定タイプ	12個	●固定タイプ	7個
ノズル装備数量		合計31個	

図-10 シールド機面板に装備したノズル配置

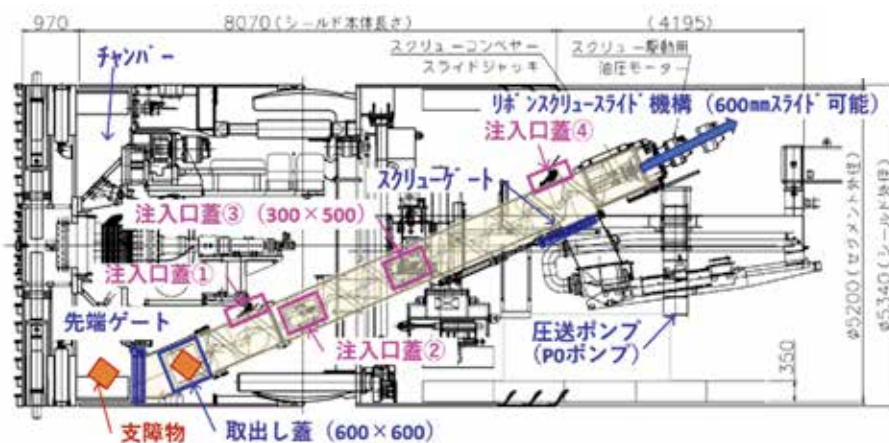


図-11 シールド機 支障物取り出し機構

4. 支障物切断計画

最初に出現した支障物において、切断施工後の掘進で、カッタートルクが許容値オーバー(1,605kN-m)となり掘進不能となった。その後、切断計画を見直して無事切断・除去を完了したので一連の施工実績について説明する。

前方探査の結果、図-12に示す範囲に支障物が存在することが想定されたが、支障物の種類(材質)、シールド機との離隔、支障物の傾斜等の詳細については明確な判断ができなかった。

設計図より、PIP杭φ600が壁状に配置されていると想定し、従来通り網の目状に切断片が420mm程度になる様、図-13に示すとおり切断を実施した。

切断完了後、掘進を進めるもカッタートルクが上限値を超えたことにより継続掘進は不能と判断した。

(上限管理値は、直前までの通常カッタートルクが1,552kN-m程度のため、 $1,552+53\text{kN-m}=1,605\text{kN-m}$ と設定)

現場では、切断実績がないPIP杭が対象であったため、モルタルに拘束されたH形鋼の切断抵抗が増大することでカッタートルクが上昇したものと判断した。そこで、切断片を細かくすることによるカッタートルク低減効果を期待し、図-13のとおり切断計画の見直しを行った。

見直した切断計画に基づいて支障物を細断した結果、カッタートルク上限値に達することなくシールド掘進(支障物除去)する事ができた。

PIP杭φ600の場合、1回の切断では完全に切断できない(奥行き300mm程度の切断能力)ため、施工計画に基づいて300mm掘進後に2回目の切断を実施することで、支障物切断除去し、掘進可能となる事が判明した。そのため、これ以降のPIP杭の切断方法は、従来(鋼材単体を切断する計画)と比較すると、細かく切断する事で、カッター回転による作用力(カッタートルク)を低減させる計画とした。

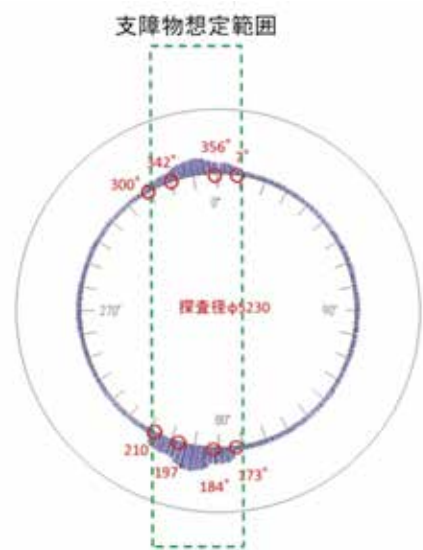


図-12 前方探査結果

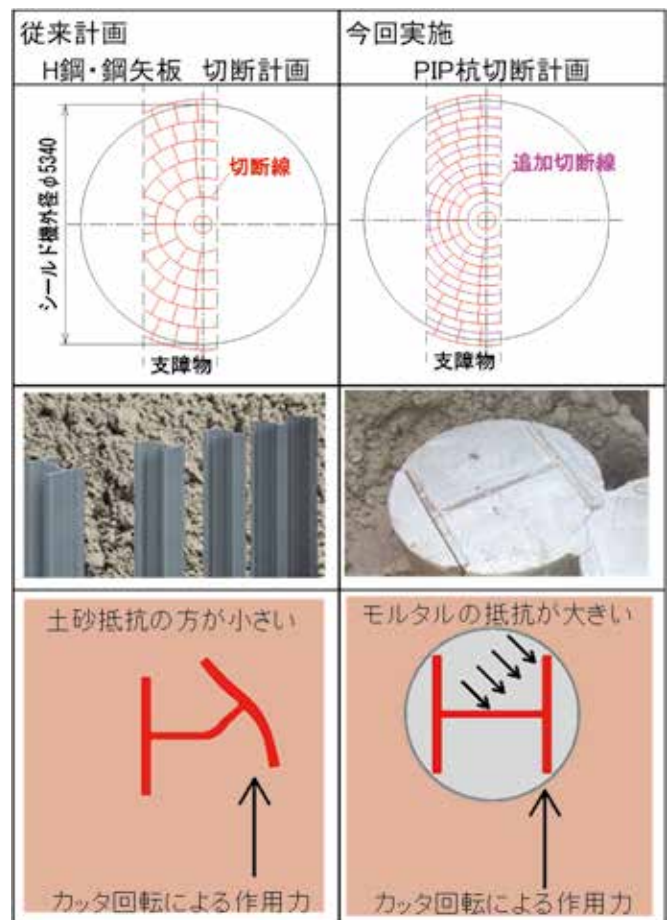


図-13 壁状支障物の見直し切断実績

5. 施工実績

5.1 D0-Jet 工法による支障物切断・除去実績

2017年6月24日にD0-Jet施工を開始し、2021年6月24日現在に至るまでの施工実績（支障物切断・除去実績）を図-14に示す。

また、D0-Jet施工範囲での施工日数（実績）を表-2に示す。

図-14に示した73m区間のD0-Jet施工範囲を1462日（暦日換算49ヵ月）かけて施工した。

表-2 D0-Jet 施工日数まとめ

工種	数量	稼働日数(2方/日)	歩掛	備考
D0-Jet工				
前方探査工	22回	40日	1.8日/回	
地盤改良工	1358本	407日	3.3本/日	
切断工	426m	263日	1.621m/日	
ノズル交換工	3回	124日	41日/回	
		913日		
本掘進	73m	79日	-	改良区間 17m×0.8m
休工期ほか		549日		
2017.6.24~2021.6.24		1,462日		

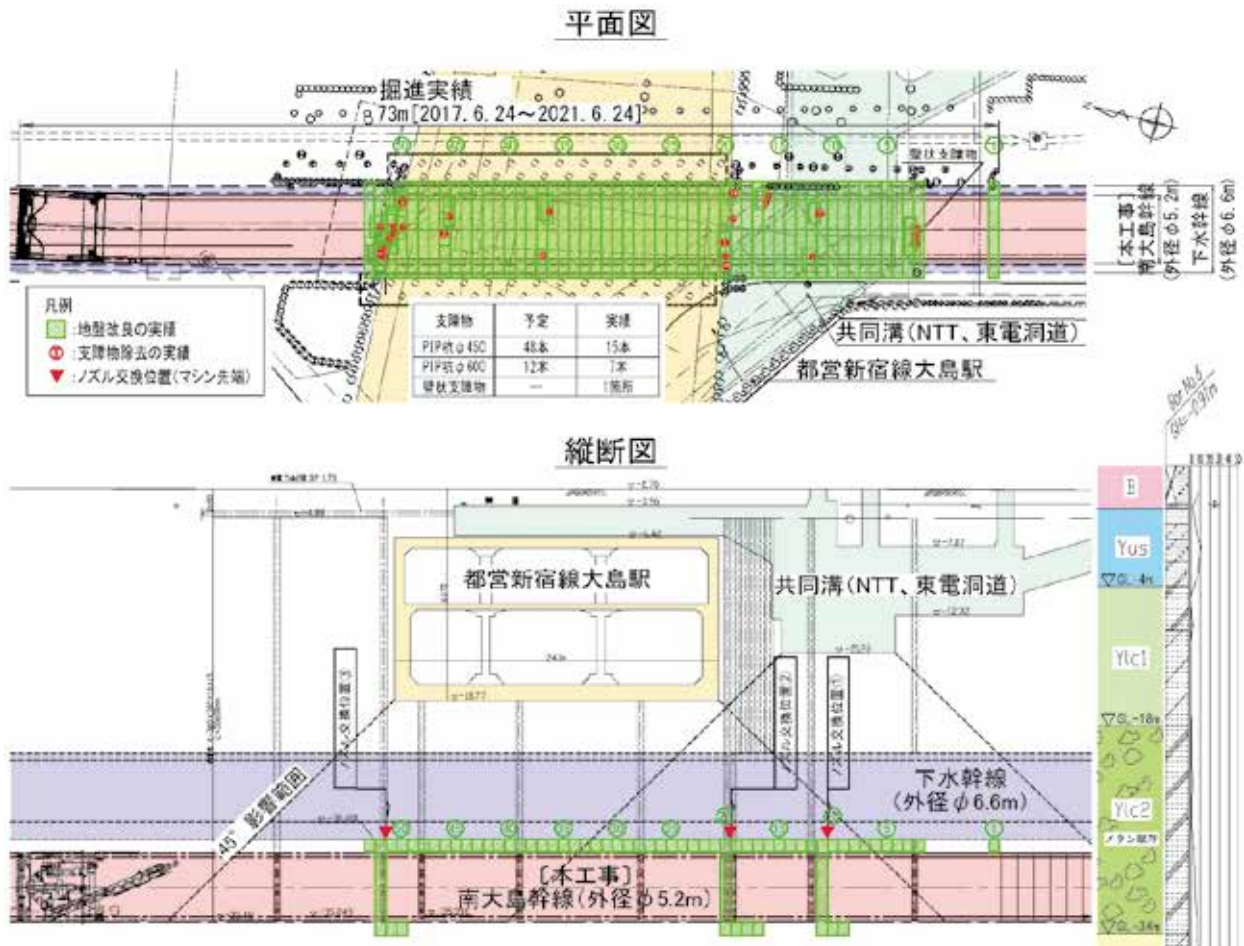


図-14 D0-Jet施工（支障物）実績図

5.2 PIP杭支障物の切断時間実績

一例として、PIP杭φ600(芯材H-400,切断線長2回合計39,329mm、切断線数61本)を切断した計画(実績)を図-15に示す。

この切断工に要した日数は「25日」、

「切断長1.573m/日」であった。

また、これまでの支障物累計切断延長と支障物切断に要した施工日数の集計を表-3に示す。これより、支障物切断工の歩掛り実績は「切断長1.621m/日」となる。

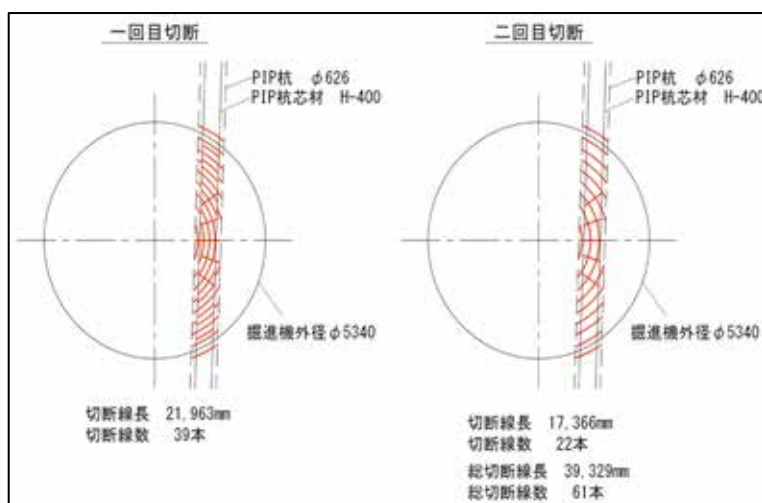


図-15 切断計画図

5.3 地上及び近接構造物への影響

近接構造物への影響を監視するため、都営新宿線大島駅構内には自動計測システム(沈下計)で常時計測すると共に、ホーム階の水準測量を月に1回行った。また、共同溝(東電・NTT洞道)についても自動計測システム(傾斜計・沈下計)で常時計測を行った。計測結果については、全て許容値内で完了した。

表-3 切断種類と切断延長(2017.6~2021.6)

支障物	数量	切断延長(m)	施工日数(日)	歩掛(m/日)
PIPφ400	15本	426.341	263	1.621
PIPφ600	7本			
壁状支障物	1カ所			

6. おわりに

都市部における下水道基幹施設の整備は、地下埋設物が輻輳するなど限られた地下空間での施工となることが多く、また、住民の方々の騒音・振動等に対する意識も高く、周辺環境に対しても十分な配慮が求められている。本工事では、D0-Jet工法を採用することで、地上からの作業(支障物撤去、地盤改良、ボーリング等)が無くなり、沿道住民への騒音・振動影響や交通影響を抑制することができた。