

DO-Jet工法による既設下水道幹線直下での幹線防護と基礎杭切断の連続施工

一柳 満¹・佐藤 文雄²

¹ 大日本土木株式会社 東京支店土木工部部 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-16-6)

² 大日本土木株式会社 土木本部土木技術部 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-16-6)

近年、都心部での工事では、様々な地中構造物が輻輳し施工方法の制限を受ける。また、古くから様々なインフラ工事が繰り返された結果、地中に存置された鋼矢板やH鋼などがその後の工事に重大な障害を及ぼしている。このような背景を鑑みシールド・推進など非開削での管路構築において、シールド機内から地盤改良および超高圧ジェット水を噴射させて支障物撤去を可能とするDO-Jet工法が開発された。本稿では、新宿区住吉町・片町付近の下水道再構築工事に際して、住宅が密集・密接する狭隘な道路下で既設管渠直下でのDO-Jet工法による国内初となる地盤改良・杭切断の連続施工事例の概要と適用効果を各種変位計測結果と共に報告する。

キーワード: DO-Jet工法, 地中障害物

1. DO-Jet工法の概要

本工法は、シールド工法または推進工法の掘進機に、超高圧ジェットシステムを掘進機製作時に搭載し、地中障害物の撤去や地盤改良などを行う工法である。超高圧ジェットシステムは、「前方探査システム」・「超高圧地盤改良システム」・「切断・除去システム」から構成する。システム搭載したDO-Jet掘進機を写真-1に示す。

(1) 前方探査システム

超高圧ノズルから100MPaの超高圧ジェット水を噴射し、障害物との反射音を音響センサで測定し、地中障害物の位置、材質、形状、寸法、範囲等を総合的に判定し、地盤改良計画と地中障害物の切断計画を立案する。前方探査の概念図を図-1に示す。



写真-1 DO-Jet掘進機

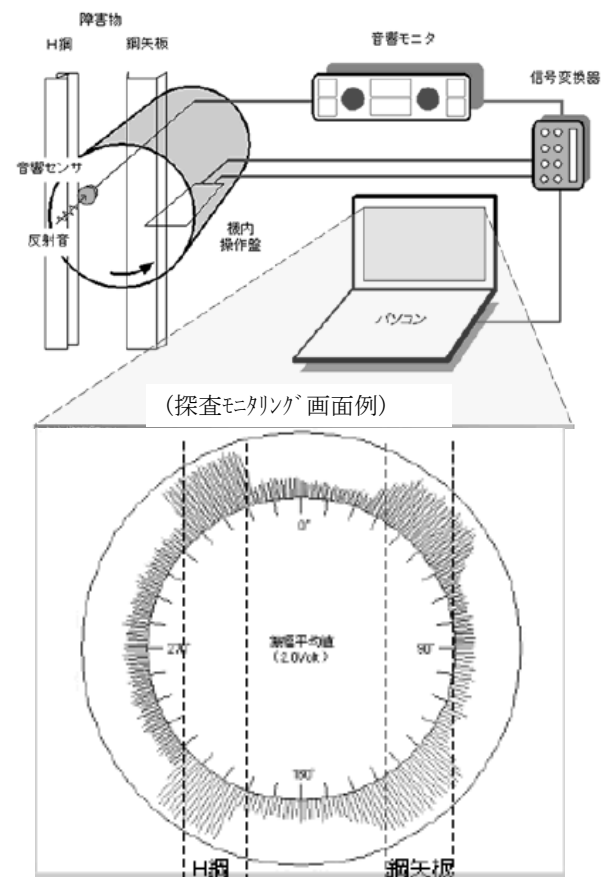


図-1 前方探査概念図¹⁾

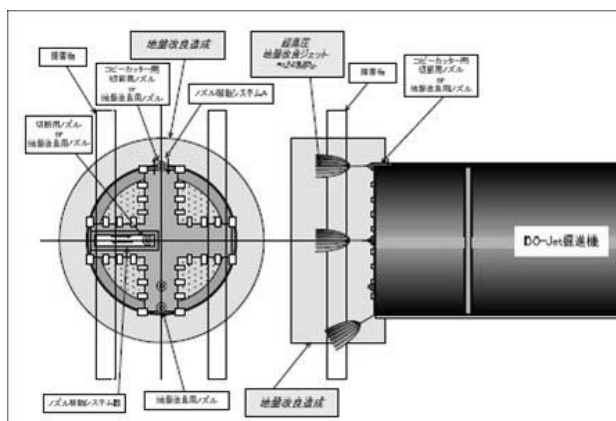


図-2 超高压地盤改良付帯掘進機概要

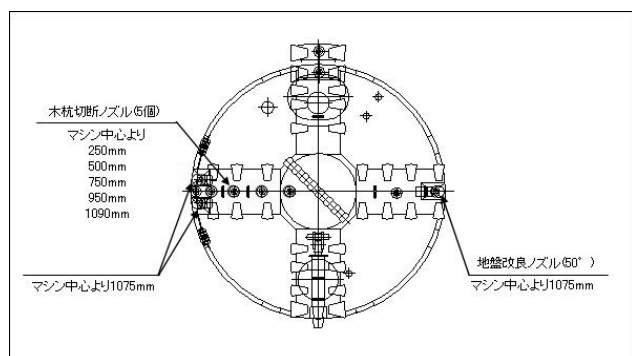


図-3 超高压噴射ノズル配置概要図(例)

(2) 超高压地盤改良システム

超高压地盤改良システムは、本工法における主要根幹技術で、周辺地盤の安定や既設構造物防護を目的に、シールド機内から地盤改良材を超高压ジェット(Max 245MPa)で噴射して地盤改良(置換)を行うシステムである。地盤改良材はセメントミルクと珪酸ナトリウム溶液の混合剤を標準とします。図-2 に超高压地盤改良システムを付帯する掘進機概要を示す。また、超高压噴射ノズル配置概要を図-3に示す。

(3) 切断・除去システム

切断・除去システムは、前方探査システムで作成した切断計画に基づき、超高压ジェット水(溶液型注入材)とアブレイブスラリー(研磨材)の混合液を245MPaで噴射、地中障害物を切断し、坑外に搬出する。超高压噴射ノズルは、シールド口径や障害物の状況に応じて計画配置するが、基本的にはコピカッタ部(外周)と面盤部(内周)に配置する切断ノズルは、外周部から内周部への移動と面盤の回転により地中障害物を任意の大きさに切断することが可能である。

(4) 工法の優位性

DO-Jet工法は、前記3システムを具備することで、障害物の調査・地中障害物切断撤去・障害物撤去に要する地盤改良等の各作業を非開削で施工可能なことが最大の特徴かつ従来技術に対する優位性となる。具体的には、地上路面での作業が無くなり、交通渋滞・騒音など周辺環境への影響が大幅に低減される。また、機械(超高压ジェットシステム)による地中障害物撤去が主体となり、切羽前面での危険を伴う人力作業が無くなることから、安全性も大幅な向上が見込める工法である。

2. DO-Jet工法の施工事例

新宿区住吉町および片町付近を走る市ヶ谷幹線は、戦時中に大谷石を用いて築造された合流式の下水道管渠で、築造から60年を経て、老朽化ならびに近年の降雨量変化に伴う雨水対策として再構築事業が急がれている。

本工事は、既設市ヶ谷幹線管渠の老朽化対策及び能力増を図るため、再構築工事(増補管渠布設)を既設矩形管渠直下に特殊泥土圧シールド工法によりφ1,650mmの管渠を築造するものである。既設市ヶ谷幹線矩形渠に対する防護の地盤改良と矩形渠・基礎松杭の切断・除去については狭隘道路上からの施工が困難との観点から、シールド機内から施工が可能なDO-Jet工法が採用された。

(1) 工事概要

工事名称：新宿区住吉町、片町付近再構築工事、その4工事

発注者：東京都下水道局

施工者：大日本土木株式会社

工期：平成18年7月～平成20年10月

工事数量：

- ・特殊泥土圧シールド工法：シールド外径φ2,280mm、仕上り内径φ1,650mm
- ・延長：L=254.1+194.3=448.4m
- ・その他：立坑、人孔 1式

DO-Jet工法施工数量：

- ・既設水路防護地盤改良：①再構築工事 121回
②その4工事 91回
- ・既設水路基礎松杭切断：①再構築工事 840本
②その4工事 639本

工事路線概要・地質縦断を図-4 に示す。

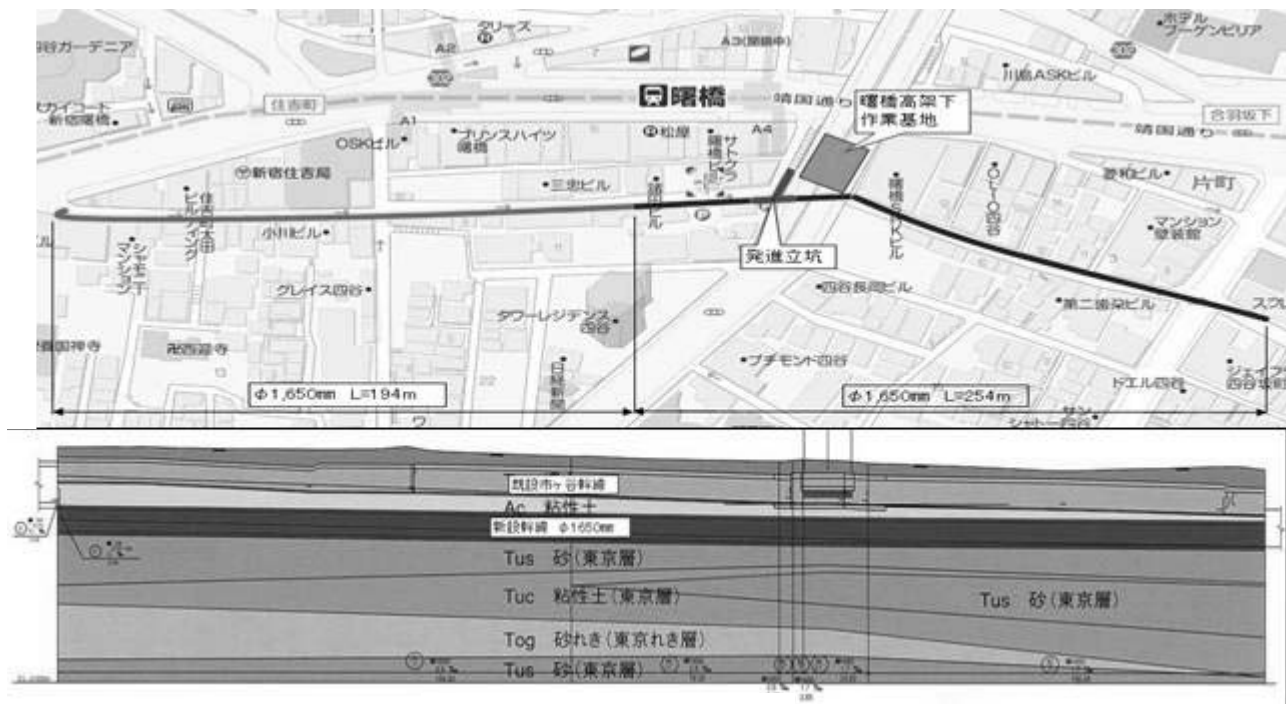


図-4 路線概要・地質縦断

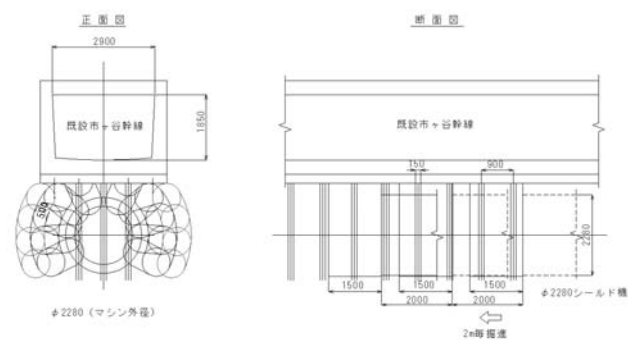


図-5 標準断面

DO-Jet工法の施工対象土質は、N値1～20のシルト混り粘土、シルト質細砂である。

(2) DO-Jet工法施工概要

当該工事における工法適用の標準断面、側面を図-5に示す。

既設管渠と再構築管渠との直上離隔は最小26cm、既設管渠の基礎松杭(φ150)は全線に渡り@90cmで配置されている。地盤改良は、L=1.5m/スパン、掘進長2.0mとし、改良径φ800mm、18本で既設管渠の防護を図る。

(3) 掘進施工サイクル

地盤改良と松杭切断・掘進の施工サイクルは2m/日とし、発進から到達までの全区間を繰返し施工する。施工サイクルを表-1に示す。また、地盤改良、松杭切断・掘進の模式図を図-6、図-7に示す。

表-1 掘進施工サイクル

日時	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
掘進・切断工												
地盤改良工						9.3h						
洗浄工									3h			
養生工												
日時	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
掘進・切断工					3h							
地盤改良工					2.0m/日		9.3h					
洗浄工										3h		
養生工						14.7h						
日時	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
掘進・切断工					3h							
地盤改良工					2.0m/日		9.3h					
洗浄工										3h		
養生工						12h						

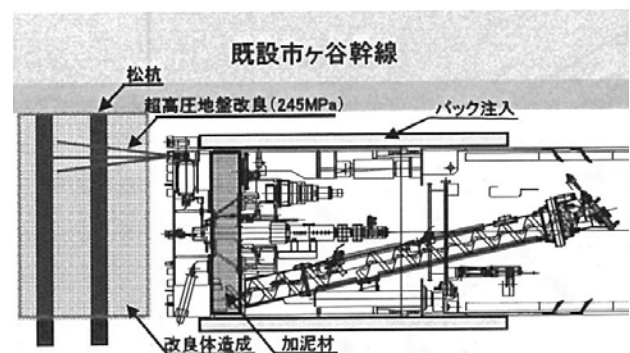


図-6 地盤改良模式図

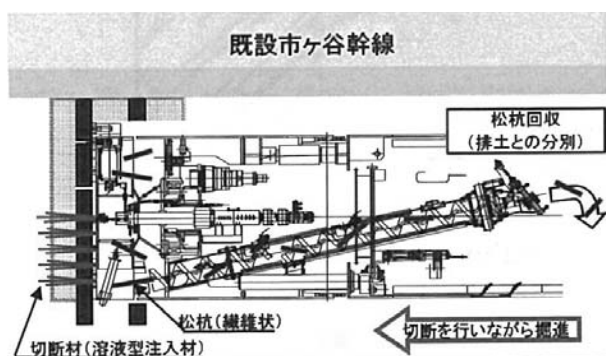


図-7 切断・掘進模式図

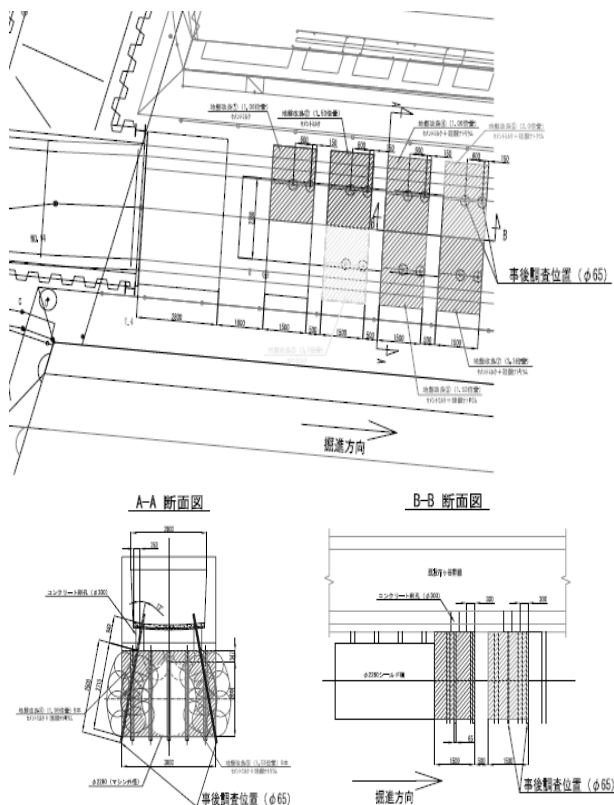


図-8 試験施工概要図

(4) 試験施工

本工事は、既往のDO-Jet工法の実績には無い「シールド掘進全線にわたる地盤改良・杭切断の連続施工」であったことから、施工に先立ち実施した各種地盤改良実験の結果から7つの配合について、発進直後の4スパンに試験施工区間を設けて、強度・出来形について検証し、配合等の地盤改良仕様を設定した。試験施工の概要を図-8に示す。

試験の結果、No.7配合の表-2に示す(セメントミルク+珪酸ナトリウム、噴射量割増係数：2.30倍)が強度・出来形共に所要値を満足した。尚、強度確認はマシン先端から750mm、1350mm位置でコア採取し強度・出来形を確認した。表-3、表-4に各位置で

表-2 改良材の設定標準配合(1m³当たり)

セメントミルク(0.56m ³)			ジェット水(0.44)	
水	早強セメント	減水剤	水	珪酸ナトリウム
365.12ℓ	591.92kg	9.52kg	396ℓ	44ℓ

表-3 一軸圧縮強度試験結果(750mm位置)

No.	12時間	3日	7日
1	470 kN/mm ²	1020 kN/mm ²	1560 kN/mm ²
2	450 kN/mm ²	1100 kN/mm ²	1550 kN/mm ²
3	490 kN/mm ²	1060 kN/mm ²	1540 kN/mm ²
平均	470 kN/mm ²	1060 kN/mm ²	1550 kN/mm ²

表-4 一軸圧縮強度試験結果(1350mm位置)

No.	12時間	3日	7日
1	460 kN/mm ²	1010 kN/mm ²	1540 kN/mm ²
2	470 kN/mm ²	1030 kN/mm ²	1530 kN/mm ²
3	450 kN/mm ²	1020 kN/mm ²	1520 kN/mm ²
平均	460 kN/mm ²	1020 kN/mm ²	1530 kN/mm ²



写真-2 コア採取状況



写真-3 試験状況

の試験結果と写真-2に採取コアの状況、写真-3に圧縮試験状況を示す。(掘進時に必要な12時間強度は450kN/mm²)

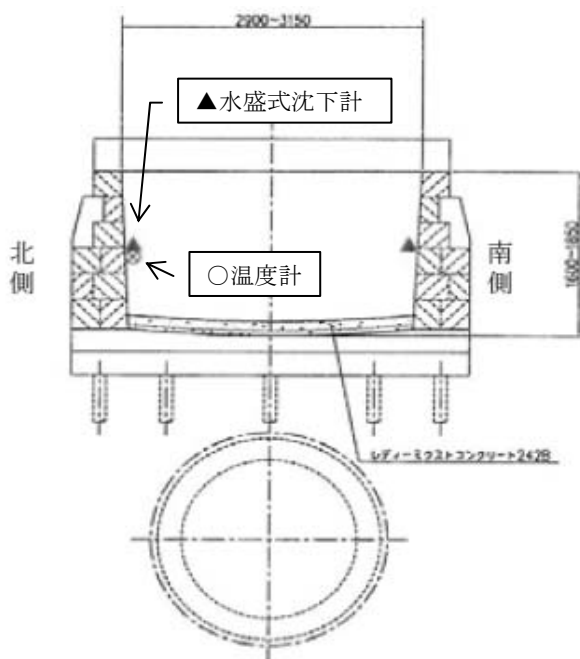


図-9 計器配置断面

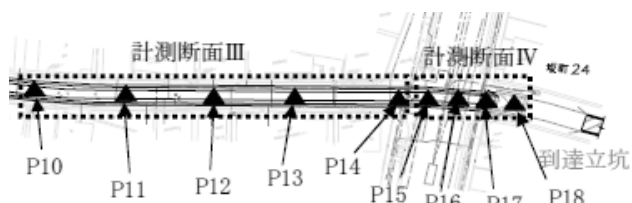


図-10 管渠変位測定位置図(下流側到達付近抜粋)

表-5 計測断面Ⅲ(測定例)

北側壁	P10N	P11N	P12N	P13N	P14N
変位(mm)	1.7	1.2	-0.8	-1.6	-1.1
南側壁	P10S	P11S	P12S	P13S	P14S
変位(mm)	3.4	3.5	1.9	1.8	-1.5

表-6 計測断面Ⅳ(測定例)

北側壁	P15N	P16N	P17N	P18N
変位(mm)	-4.4	-3.2	-0.9	-1.2
南側壁	P15S	P16S	P17S	P18S
変位(mm)	-3.7	-1.1	-0.5	-0.7

(5) 近接構造物の変位計測

当該工事では、直上の既設市ヶ谷幹線はもとより水道管(φ100)、ガス管(φ100)が近接して埋設し、また発進立坑も曙橋に近接して配置していることから、路面沈下、ガス管沈下棒測定、既設市ヶ谷幹線には、管渠内壁に水盛式沈下計、曙橋高架部には傾斜計・沈下計を配置して変位計測を実施し施工の安全性ならびにDO-Jet工法の近接構造物に対する効果検証を実施した。下流側路線における既設市ヶ谷幹線への計器配置断面を図-9、測定位置図(到

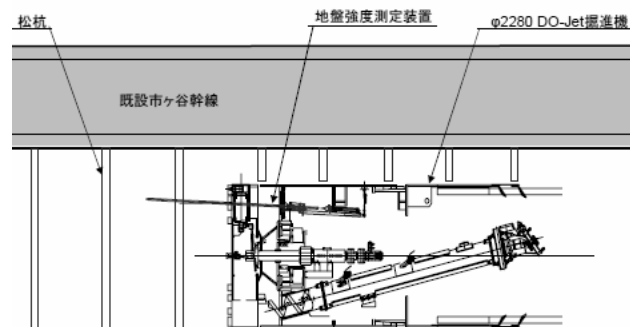


図-11 地盤強度測定概要図

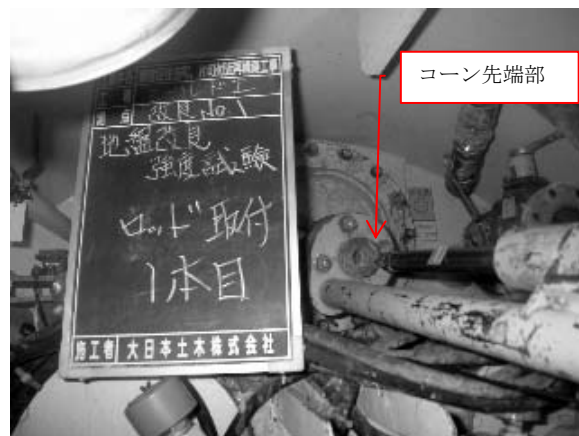


写真-4 測定用コーンロッドセット状況



写真-5 強度測定

達付近抜粋)を図-10に示す。計測結果(抜粋)を表-5、表-6に示す。他の計測工を含め全て管理値内を確認し、近接構造物に対するDO-Jet工法の高い安全性が実証された。

(6) 機内からの改良体強度確認

改良体12時間養生後の強度確認のため、サイクル毎にシールド機内から地盤強度測定装置にて強度測定を実施した。図-11に測定概要、写真-4、写真-5に測定状況を示す。

本測定は、コーンの貫入抵抗値を元に一軸圧縮強

表-7 改良体強度測定結果(改良No.61)

項 目		地盤改良前						地盤改良後	許容値
		250mm 地点	500mm 地点	750mm 地点	1000mm 地点	1250mm 地点	1500mm 地点		
測定位置 (掘進機面盤からの距離)	F								
測定値(kN)	F	0.63	0.74	0.81	0.87	0.93	1.01	5.51	5.09
支持力(kN/m ²)	qc	891.09	1046.68	1145.69	1230.55	1315.42	1428.57	7793.49	7199.43
N値	N	2	3	3	3	3	4	20	18
一軸圧縮強度 (kN/m ²)	qu	50	75	75	75	75	100	500	450



写真-6 松杭片回収状況

度に換算する。地盤改良前後の測定結果(改良No.61 施工時抜粋)を表-7に示す。

3. おわりに

地下埋設物が輻輳する都市部での地下工事では、度々障害物に遭遇し、その都度障害物の撤去方法・工程調整・関係機関協議などに頭を悩ませる。本工法が開発されたことにより「障害物探査～地盤改良～松杭切断・除去(写真-6)」に至る一連の作業を地



写真-7 DO-Jet シールド到達状況

上作業を無くし、すべてシールド機内から施工可能となった。着手当初は大変厳しい目を向けられていた本工事であったが、地上作業を一切行わないDO-Jet工法の採用と、東京都下水道局関係各位のご理解ならびに開発者でもある(株)東京都下水道サービス各位の貴重なアドバイス、地元自治会のご協力により無事到達することができた。(写真-7) 実績の少ない工法適用ゆえさまざまな難問にも遭遇しましたが、工事関係者との検討・協議を重ね課題を克服、無事竣工できたことで微力ながら本工法のステップアップに寄与できたものと考えている。幸いにして、本工法による別途工事にも携わる機会が得られたので、別の機会に報告したいと考えている。

参考文献

- 1) Do-Jet 工法研究会: DO-Jet 工法技術資料, 2008