

論文 Original Paper

北海道胆振東部地震におけるレジェンドパイプ工法を用いた
液状化・地すべり対策の事例分析橋本 隆雄*¹・橋ヶ谷 直之*²Case Analysis of Liquefaction and Landslide Countermeasures
Using the Legend Pipe Construction Method in
the Hokkaido Eastern Iburi EarthquakeTakao Hashimoto*¹ and Naoyuki Hashigaya*²

Abstract: The Legend Pipe construction method was adopted as a new technology issue for improving productivity at construction sites using new construction methods in the 2018 construction technology research and development system of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. This was researched and developed using the subsidy of “Technological development for effective liquefaction and landslide countermeasures using underground water drainage works”. In this construction method, small pipes with an outer diameter of 310mm are installed by the jacking method in places where the groundwater level is high, effectively lowering the groundwater and suppressing landslides and liquefaction. In this paper, a case study of liquefaction and landslide countermeasures using the legend pipe construction method during the Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, and identification is analyzed.

Key words: Liquefaction, Landslide, Jacking method, Groundwater

1. はじめに

本技術は、集排水管と推進工法による地下水位低下工法で、液状化及び地すべり対策として活用する技術である。近年、地球温暖化に伴う気候変動の影響から各地でゲリラ豪雨や線状降水帯による集中豪雨が頻発し、山間部から住宅地にかけて大規模な地すべりが発生している。

一方、東日本大震災をはじめとする大地震が日本各地で多発し、各地の沿岸部や埋立地などでは液状化現象が発生し、インフラ設備や個人住宅等に大きな被害が生じている。また液状化現象が起きた際に多く見られるマンホール等の地下構造物の地上への突出は、緊急輸送路の通行に支障をきたす恐れがある。こうした現象は平常時においても定常的に低下させておくことで未然に防ぐことが可能である。地すべり及び液状化現象は、災害が発生した事後よりも事前に行うことで人命や資産、社会インフラが守られ国土の強靱化に繋がると考えられる。

そこで地盤の地下水を下げる手段として、推進工法の

技術を活用し、集水性
能・強度・メンテナンス
性能に優れた集排水管
(MPDパイプ) 写真-1、
図-1を組み合わせ、経
済的で効果的な地下水位
低下工法『レジェンドパ
イプ工法』が開発され



写真-1 MPDパイプ

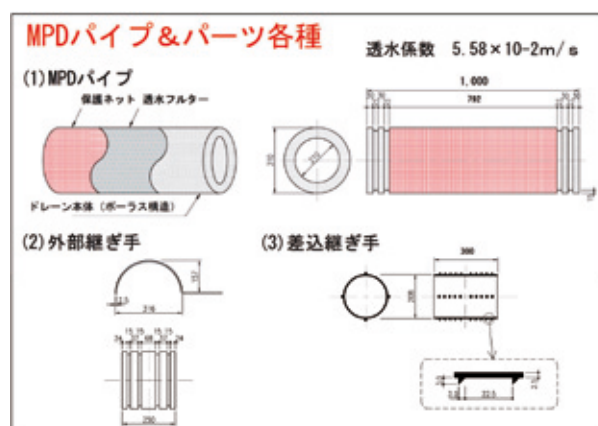


図-1 MPDパイプ詳細図

*¹ 国士舘大学理工学部, 特任教授*² アサヒエンジニアリング株式会社, 取締役営業部長

た。本工法はこれまでに国内で約7kmの施工実績を有し、本論文では、工法の概要、北海道胆振東部地震で被災した北広島市、札幌市の施工事例に関しての分析を行った。結果を以下に述べる。

2. 工法の概要

2.1 技術開発

i. 広範囲な地盤土質に対応

レジェンドパイプ工法は推進方式において泥水式を採用し、地下水位の高い地盤に対応可能である。また様々な土質に対応するため写真-2の礫破碎ビットを新たに開発した。これにより、道路下及び地すべり地盤において切土・盛土に関わらず推進施工が可能となった。

ii. 長距離推進

従来工法は圧入方式のため排土方法の特性上、最大距離を50mとしていた。そこで、本工法では泥水式を採用し排土方法を流体輸送式とすることで100mまでの長距離施工を可能とした。表-1は従来技術との比較である。

iii. 掘進機のリターン機能

従来の推進工法は発進立坑から掘進機を発進させた

後、到達立坑から掘進機を回収する必要がある。本工法は掘進機にリターン機能を持たせ、到達立坑で掘進機を回収することなく、掘進機を発進立坑側に引き戻し回収することが可能である。これにより到達側が狭小な道路で立坑が築造出来ない場合や集水井からの地下水排除工（横ボーリング）の施工が可能となった。リターン型掘進機は目的の位置に到達すると、前面のカッターが写真-3のように内側に格納し、同時に鋼管内側の上部からシャッターが写真-4のように降りてくる。鋼管前面が閉塞され、土砂や地下水の流入が起きないことで掘進機は推進管内を後進し発進立坑側で回収することが出来る。



写真-3 掘進機格納状況



写真-2 礫・玉石対応ビット



写真-4 掘進機格納完了

表-1 従来技術との比較

項目	詳細	従来技術	新技術 (レジェンドパイプ工法)
適用範囲		液状化対策	液状化対策、地すべり対策 暗渠排水対策等
適用土質	土質・N値	粘土質 0≦N≦15 砂質土 1≦N≦30 砂礫土	粘土質 1≦N≦40 砂質土 1≦N≦50 砂礫土 粗石混り土
	礫混入率	20~30%以下	50%以下
	最大礫径	60mm以下	250mm以下
	一軸圧縮強度	-	150KN/m ² 以下
最大推進延長	被水圧	20KN/m ² 以下	100KN/m ² 以下
	帯水砂層 粗石混り土	50m程度 -	100m (※80m) 70m (※50m)
必要立坑寸法	発進立坑 (両発進)	φ2500mm	φ2000mm
	到達立坑 (両到達)	φ1800mm	φ1200mm (※無しでも可能)

※はリターン型

2.2 技術の適用範囲

本技術の適用範囲は、従来の復興としての液状化対策、地すべり対策から事前防災としての活用が可能となり、多方面に広がっている。

- ・緊急輸送道路、下水道、宅地、ガスタンク、河川堤防、港湾等の液状化対策工事
- ・地すべり、大規模盛土滑动崩落対策工事
- ・洪水、地下貯留対策、校庭、グラウンド、公園、農地の暗渠排水対策工事

地下水位低下工法による液状化対策、地すべり対策の一般的な考え方を図-2、図-3に示す。

2.3 施工手順

本工法の施工手順は到達立坑から掘進機を回収する標準型と、到達立坑無しで掘進機を発進立坑側に引戻して回収するリターン型に分けられる。

i. 施工手順（標準型）

標準型の施工手順は図-4の通りである。詳細を下記

に示す。

- ①発進立坑に推進装置、掘進機をセットする。
- ②推進用鋼管内に送排泥管をセットし、推進用鋼管を接続する。
- ③掘進機の方向修正を行いながら順次推進する。
- ④②～③の作業を繰り返し、掘進機を到達立坑に到達させる。
- ⑤掘進機を回収しケーシング、ケーブル等の管内設備を発進側へ撤去する。
- ⑥写真-5のように集排水管を推進管内に挿入する。

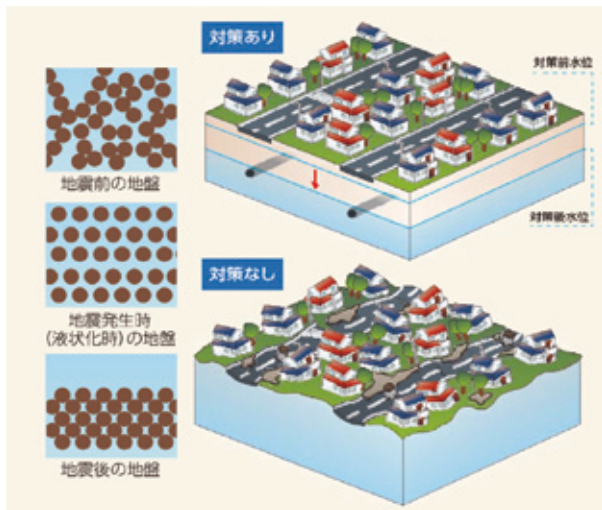


図-2 液状化対策

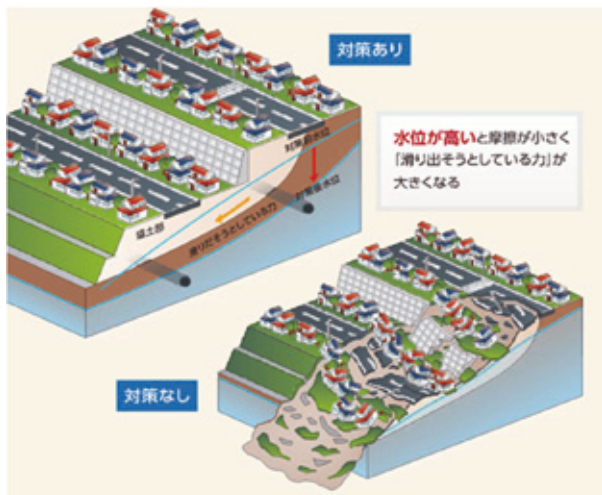


図-3 地すべり対策

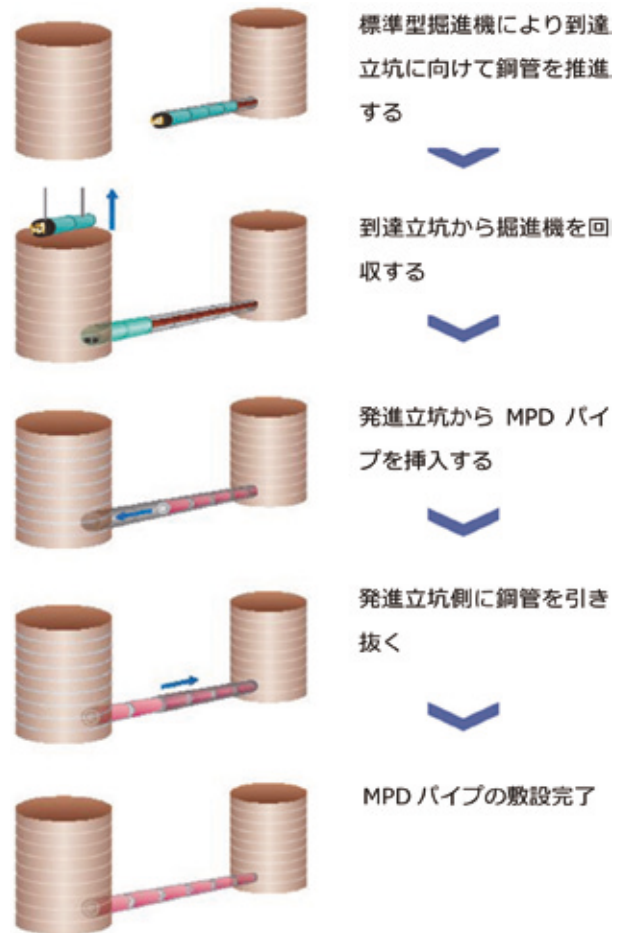


図-4 施工手順（標準型）



写真-5 MPDパイプ挿入

- ⑦写真-6のように推進用鋼管を引き抜く。
- ⑧発進立坑内の推進装置を撤去する。
- ⑨鋼管引抜き後、端部管にセットした止水プラグを開放し、集排水および水替えを行う。

ii. 施工手順 (リターン型)

リターン型の施工手順は図-5の通りである。リターン型掘進機は目的の位置に到達すると前面のカッターが内



写真-6 推進用鋼管引抜き

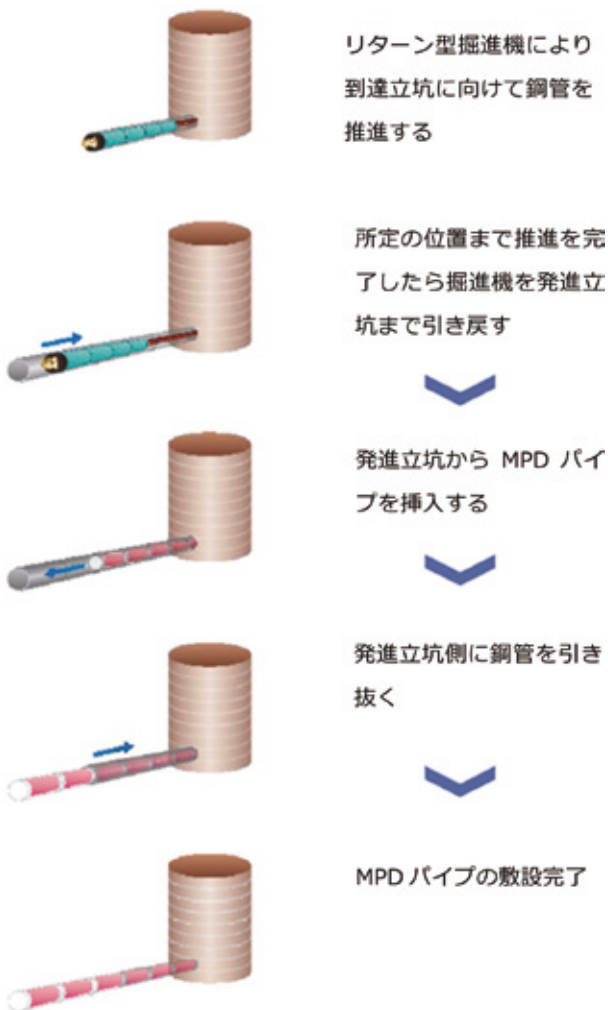


図-5 施工手順 (リターン型)

側に格納し、前面をシャッターで塞いだ後、推進管内を後進し発進立坑側で回収する。掘進機引抜き以降の施工手順は標準型と同じである。

3. 施工事例

3.1 北海道胆振東部地震の概要

平成30年9月6日3時7分、北海道胆振地方中東部においてマグニチュード6.7の地震が発生し、厚真町で震度7、札幌市で震度6弱を観測した。厚真町では山腹から大規模に土砂が崩れたことにより、民家において多数の被害が発生した。住家被害については、震源地周辺や人口が多い札幌市を中心に発生し、地震の影響で札幌市内の各地で多数の水道管の破裂や地盤沈下が発生し、特に札幌市南東部の丘陵地帯に位置する清田区等の住宅街で数十の民家が損壊した。同市内は火山灰質の砂質土により谷を埋め立てた盛土造成地で、台風第21号の影響により地下水位が高かったところ、地震動により地下水位以下の土の層が液状化し、標高の低い箇所から噴出したことにより住宅被害が拡大したと考えられる。

3.2 液状化対策工事の問題点と対策および効果

【工事名】令和4年度 防災・安全交付金事業 清田区清田中央地区地下水位低下工事その1

【発注者】札幌市建設局土木部工事課

【施工場所】札幌市清田区中央地内

【工事概要】450m, 8スパン

【施工時期】令和4年6月～9月

北海道胆振東部地震により札幌市内では広範囲に渡り液状化現象が発生した。図-6の札幌市清田区清田中央地区はもともと沢地形の谷埋め盛土からなる地形で、地下水位が高く、緩い盛土地盤が多くを占め、2～5°程度の傾斜地に宅地を開発した地域である。図-7縦断図より主な土質は盛土、沖積有機質土、火山灰質砂質土、地



図-6 現場位置図

下水位はGL-1~2mである。また流末は既設ボックスカルバートへの接続となる。

i. 問題点

- ① 施工場所は盛土地域ということもあり、試掘時に一部コンクリート殻や流木が出現した。掘進機は密閉型のため殻や流木に遭遇すると面板が閉塞して施工不能となる可能性がある。
- ② 施工場所は住宅街であるため一般車両及び歩行者が頻繁に通行する。工事施工中は立坑設備、推進設備が立坑近くに数多く並ぶため交通障害を引き起こす可能性がある。

ii. 対策

- ① 対策としてコンクリート殻が出現した場合、コアボーリングにて地上より撤去もしくは到達側から鋼製さや管ボーリング方式にて殻の取壊し、回収、撤去を行った。
- ② 立坑は自走型のケーシング立坑機、覆工板は円形型を採用し、施工時間の短縮、道路の早期解放を図った。またプラント設備は写真-7のように作業終了後に移動可能な車上式（トラック荷台にプラント設置）を採用した。

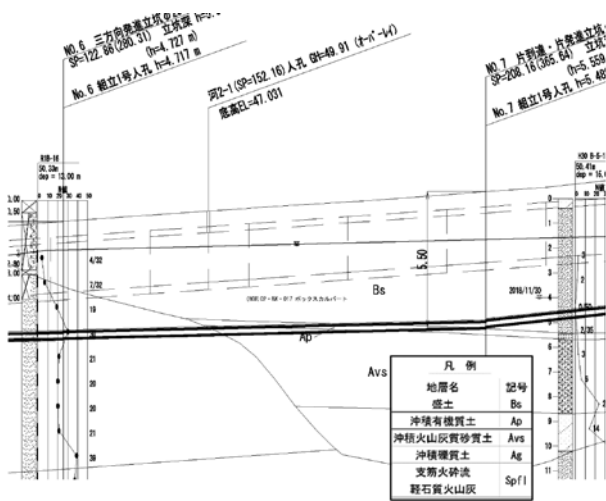


図-7 縦断面図



写真-7 現場状況（車上プラント）

iii. 効果

以上の対策を行った結果、現場は全スパンにおいて推進精度も規格内に収まり、工程も遅滞なく工事は無事完成した。施工後は札幌市の管理のもと地下水位低下が図られ図-8、図-9の観測データ報告（地下水コンター図）

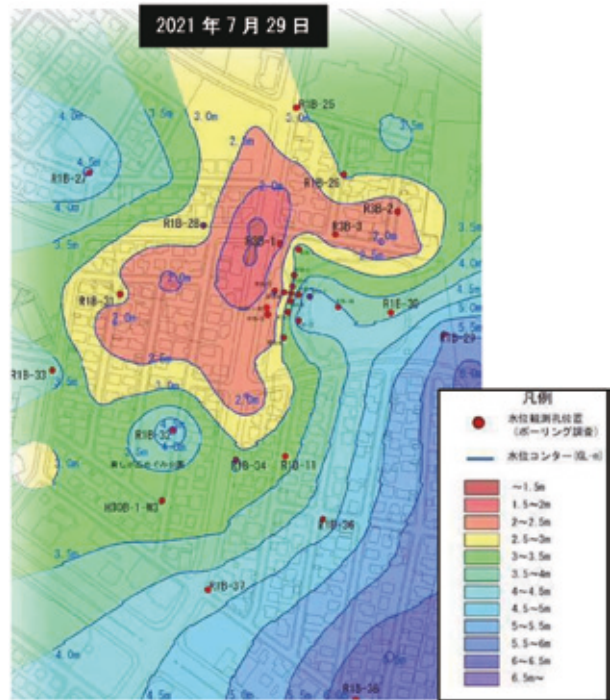


図-8 地下水コンター図（地下水低下前）

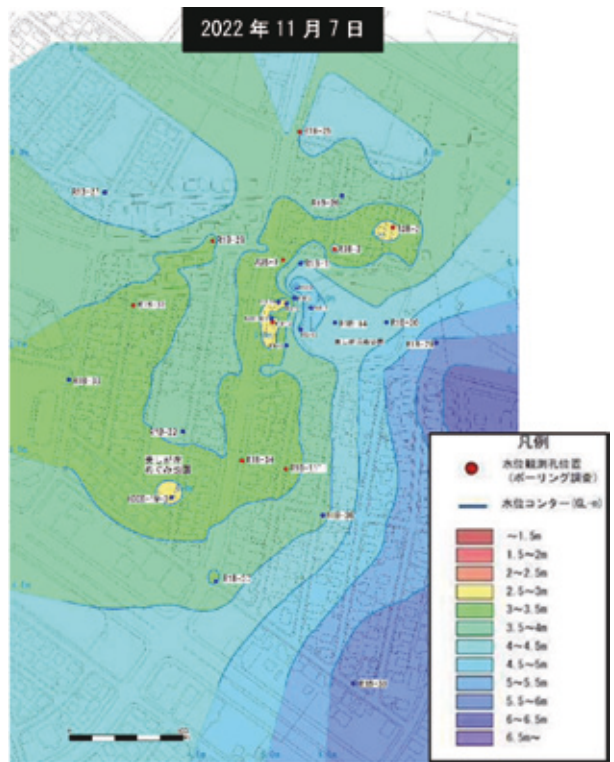


図-9 地下水コンター図（地下水低下後）

から地下水は1年3か月で約3m低下し、液状化対策として機能しているが分かった。

3.3 地すべり対策の問題点と対策および効果

【工事名】令和2年度 大曲並木地区地下水位低下工事

【発注者】北広島市建設部都市整備課

【工事概要】45.75m, 1スパン

【施工時期】令和2年6月～9月

北広島市大曲地区では、震度5弱を観測し大曲川に面した28戸の宅地が大被害を生じた。台風21号の豪雨により集水地形であった谷沿いの住宅地の地下水位が上昇し、地盤を緩めた可能性が高い。工事は2つの工区に分けて発注され1工区はL=45.75m, 1スパンと試験施工を兼ねた発注であった。写真-9、写真-10は1工区の発進立坑でφ2500mmのライナープレート、到達は立坑兼



写真-9 現場状況



写真-8 北広島市大曲地区



写真-10 施工状況

用型2号人孔、土質はN値10～20前後の軽石混り火山灰土が主体、土被りは約4mであった。

i. 問題点

発進立坑付近の管路位置の高さは地山であるが到達付近では盛土に変化する。掘進機は軟らかい土層へ逃げていく傾向があるため、土層の変化が激しい地形の場合、精度が大きく逸脱する可能性がある。

ii. 対策

掘進機が精度を逸脱し、軟らかい土層へ進まないようにその反対方向に掘進機の方向修正を掛けながら施工を行った。特に掘進機の下側が弱い層の場合、掘進機が自沈するため、掘進の速度を100mm/min以上（通常より30%増）を保持しながら施工した。

iii. 効果

途中精度の維持は困難を極めたが到達時の精度は左5mm, 上18mmと規格値(±50mm)内におさめることが出来た。工程は問題もなく順調に推移し、鋼管引抜き後は写真-11のように勢いよく立坑坑口部から地下水位が流れ出た。1工区、2工区は連続施工とし、令和2年6月から施工が開始され令和2年11月に無事完了した。北海道で初の地下水位低下工法による液状化対策工事ということで施工期間中、現場には多くの自治体が見学に

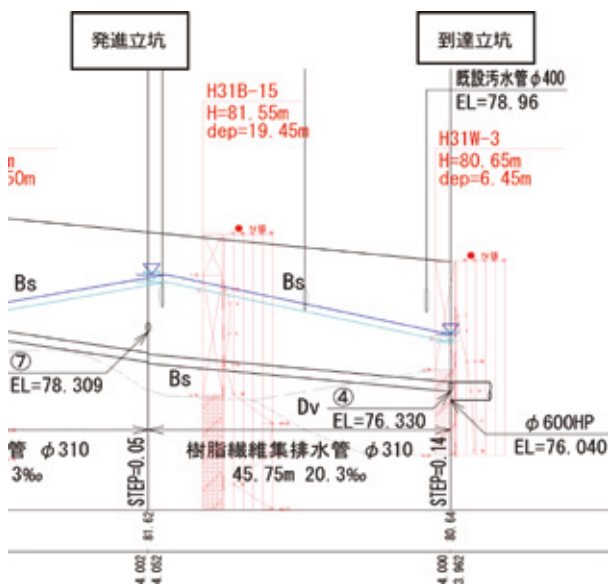


図-10 断面図



写真-11 施工完了（排水状況）



写真-12 洗浄状況（美しが丘地区）

訪れた。

3.4 管洗浄の試験施工

【工事名】 令和4年度 美しが丘暗渠排水管維持管理業務

【発注者】 札幌市建設局土木部工事課

【施工場所】 札幌市清田区美しが丘地内

【工事概要】 管洗浄 L=59.0m

【施工時期】 令和4年6月

札幌市では令和2年度より清田区美しが丘をはじめ約4kmに渡り、レジェンドパイプ工法による集排水管の敷設工事が行われた。そこで敷設箇所の計画的な調査、清掃方法を確認するために図-11、写真-12において管洗浄の試験施工が実施された。作業内容は以下の通りである。

i. 作業内容

- ①集排水量測定
- ②TVカメラによる着手前映像録画（写真-13）
- ③一次洗浄（写真-14）
- ④一次洗浄後のカメラ録画（写真-14）
- ⑤二次洗浄
- ⑥二次洗浄後のカメラ録画（写真-15）
- ⑦三次洗浄
- ⑧三次洗浄後のカメラ録画（写真-16）
- ⑨集排水量測定（洗浄後）

洗浄の仕様は表-4の協会案を採用し、各々の目的に

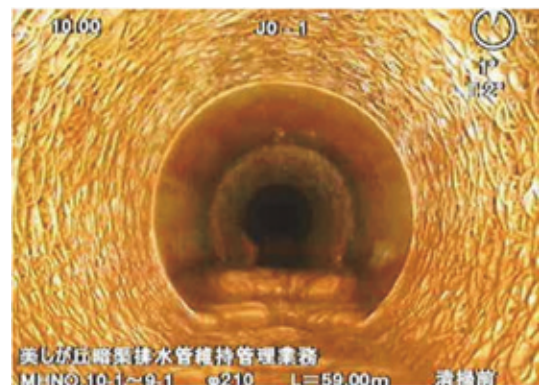


写真-13 カメラ録画（洗浄前）

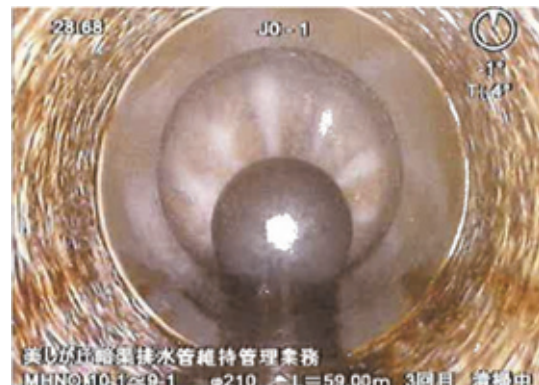


写真-14 カメラ録画（一次洗浄後）

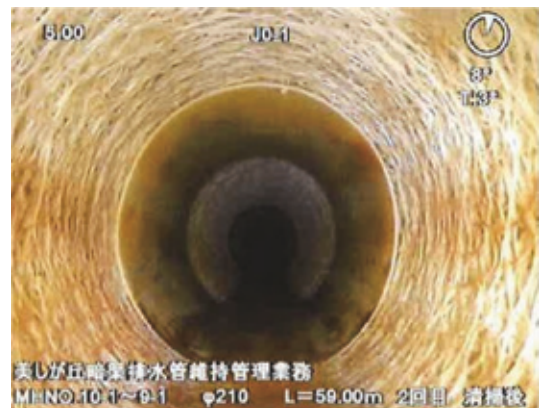


写真-15 カメラ録画（二次洗浄後）



図-11 作業配置図

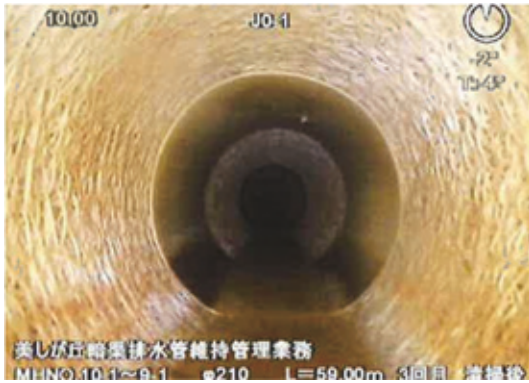


写真-16 カメラ録画（三次洗浄後）

表-4 洗浄仕様

	使用ノズル	吐出圧力	洗浄ホースの巻取り速度	目的
一次洗浄	ロイヤル	10MPa	10m/min	表面の汚れを落とす
二次洗浄	ブルドック	10MPa	5m/min	管内部の汚れを落とす
三次洗浄	ロイヤル	10MPa	10m/min	管内に堆積した汚れをかき出す

合わせ、使用ノズル、吐出圧力、洗浄ホースの戻り速度を変え3回の異なった仕様で洗浄を行った。

ii. 試験結果

洗浄後1分当たりの排水量は洗浄前4,152mlに対して洗浄後10,282mlとなり排水能力は約2.5倍に増加した。集排水管が敷設されている路線の全てが同じ状況でないため、事前にTVカメラ調査にて現状を調査する必要があるが、写真-14, 15, 16より三次洗浄まで行うことにより汚れは大幅に除去され、排水能力も格段に向上した。

4. まとめ

レジェンドパイプ工法を用いた施工事例の分析から一定の研究成果と同時に施工に関する課題も生まれた。

4.1 研究成果

研究成果については以下のとおりである。

- ①盛土層、地山層が混在する地盤においても精度が逸脱することなく施工可能である。
- ②1スパン90mの長距離スパンにおいても安定した推進施工、鋼管の引抜き作業が可能である。
- ③地下水は1年3ヵ月で約3m低下し液状化対策として機能している。
- ④管内で目詰まりが生じていても、洗浄を行うことで排水効果は回復する。

4.2 施工に関する課題

施工に関する課題については以下の通りである。

- ①土層にコンクリート殻やゴミなどが含まれる人工地盤において障害物を取り込みながら精度よく推進施工できる推進機の研究開発を行う。
- ②1スパン100m以上の施工が出来る施工システムの開発を行い立坑数の減少、交通規制の縮小、工期短縮から工事全体のコストダウンを図る。
- ③目詰まり、汚れが発生しにくい集排水管の開発、シルト分は通しやすく、砂分を通しにくい不織布性能の開発を行う。

今後はこれらの課題を克服し更なる研究開発に努めていきたい。

謝辞：当該工法の開発資金は、国土交通省の平成30年度建設技術研究開発制度において新工法を活用した建設現場の生産性向上に関する技術の新規課題として採択された「研究開発名：新工法・新材料を活用した地下水排除工を用いた効果的な液状化・地すべり対策に関する技術開発」の助成金を活用して行ったものである。

参考文献

- 1) 国土交通省：市街地液状化対策推進ガイドライン第5章地下水位低下工法，2019.6
https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_fr_000005.html
- 2) 橋本 隆雄，橋ヶ谷 直之，金子 恵太，清水 敏孝：レジェンドパイプ工法を用いた地下水位低下の実験による効果検証，2020.11. 国土館大学理工学部紀要，No.14, p.121-137, 2021, 3