

ハイブリッドシステム工法による管路の施工事例 －長距離・急曲線対応型非開削工法

Case Study of Pipeline Construction by Hybrid System Method – A Non-Open-Cut Method for Long Distances and Sharp Curves

吉村充基* 末松康成* 上田隆司** 檜皮安弘**

Mitsuki Yoshimura Yasunari Suematsu Takashi Ueda Yasuhiro Hiwada

水道における基幹管路の更新事業において、開削工法の実施が困難な路線では、非開削工法により構築されたさや管内に水道管を布設する工法が一般的に用いられる。非開削工法のひとつである推進・シールド併用工法は急曲線や急勾配、長距離といった線形にも経済的な施工が可能であり、近年下水道事業などで普及しつつある。当社はこの推進・シールド併用工法を用いてさや管を構築し、シールド工法区間では持込工法、推進工法区間では押込工法または持込工法により、PN形ダクタイル鉄管をさや管内に布設するハイブリッドシステム工法を開発した。本工法を用いることにより、非開削工法における水道管布設をより経済的かつ効率的に実施できるようになった。既往研究では実験管路において本工法の実用性が確認されている。本稿で紹介する施工事例は最小曲線半径 $R=50$ mの急曲線、最大縦断勾配 $i=5.0$ %の勾配を含む総延長 $L=1.2$ kmの長距離管路のうち、巨礫が懸念された中での高難度な施工であったが、事前に実施したバッテリーカーの開発や掘進機のビット交換などにより問題なく施工できた。以下にその詳細を報告する。

In the replacement of trunk water pipelines, water pipes have been installed in sheath pipes constructed by non-open-cut methods on routes where traffic conditions prevent the installation of water pipes by the open-cut method. A combination method of the shield method and the pipe-jacking method, which is one non-open-cut method, allows economical construction of lines with sharp curves, steep gradients, and long distances, and has recently become popular in sewage projects. The hybrid system method has been developed for installing seismic type ductile iron pipes PN in sheath pipes constructed by the combination method using the carrying-pipe method in the shield section and the jacking-pipe method or the carrying-pipe method in the pipe-jacking section. This method enables more economical and efficient installation of water pipes by non-open-cut methods. In previous studies, the practicality of this method has been confirmed in experimental pipelines. This project was a long-distance pipeline with a total length of $L=1.2$ km, which includes a sharp curve with a minimum curve radius of $R=50$ m and a steep gradient with a maximum longitudinal gradient of $i=5.0$ %, and there were concerns about boulders. Due to the development of an electric bogie and the exchange of cutter bits on the shield machine, the construction was successful without any problems. This paper reports on the case study.

1 はじめに

水道における基幹管路を更新する際、幹線道路下や埋設物輻輳箇所などでは開削工法の採用が困難なため、非開削工法により構築されたさや管内に本管としてダクタイル鉄管を布設する工法が一般に用いられている。非開削工法は推進工法とシールド工法に大別され、これまで、急曲線を含む線形や長距離施工の場合は、線形の自由度が高いシールド工法が多数採用されてきた。しかし、シールド工法は比較的工期が長く、施工費が割高となることが多い。人口減少や節水機器の普及により水道使用量が減少し、料金収入が減少傾向にある昨今では、より安価な施工方法が求められている。

当社は、そのような状況下での非開削工法による水道管の布設工事を、より経済的かつ効率的に実施できるハイブリッドシステム工法を開発した。既往研究において、実験管路を用いた実証実験を行い、実用性を確認している^{1), 2), 3)}。本稿では、工法の概要と施工事例を報告する。

2 ハイブリッドシステム工法の概要

ハイブリッドシステム工法は、推進・シールド併用工法により構築されたさや管内に、さや管内配管用の耐震型ダクタイル鉄管であるPN形ダクタイル鉄管（以降、PN形管）を持込工法または押込工法で布設する工法である。本工法の概要と仕様をそれぞれ図1、表1に示す。

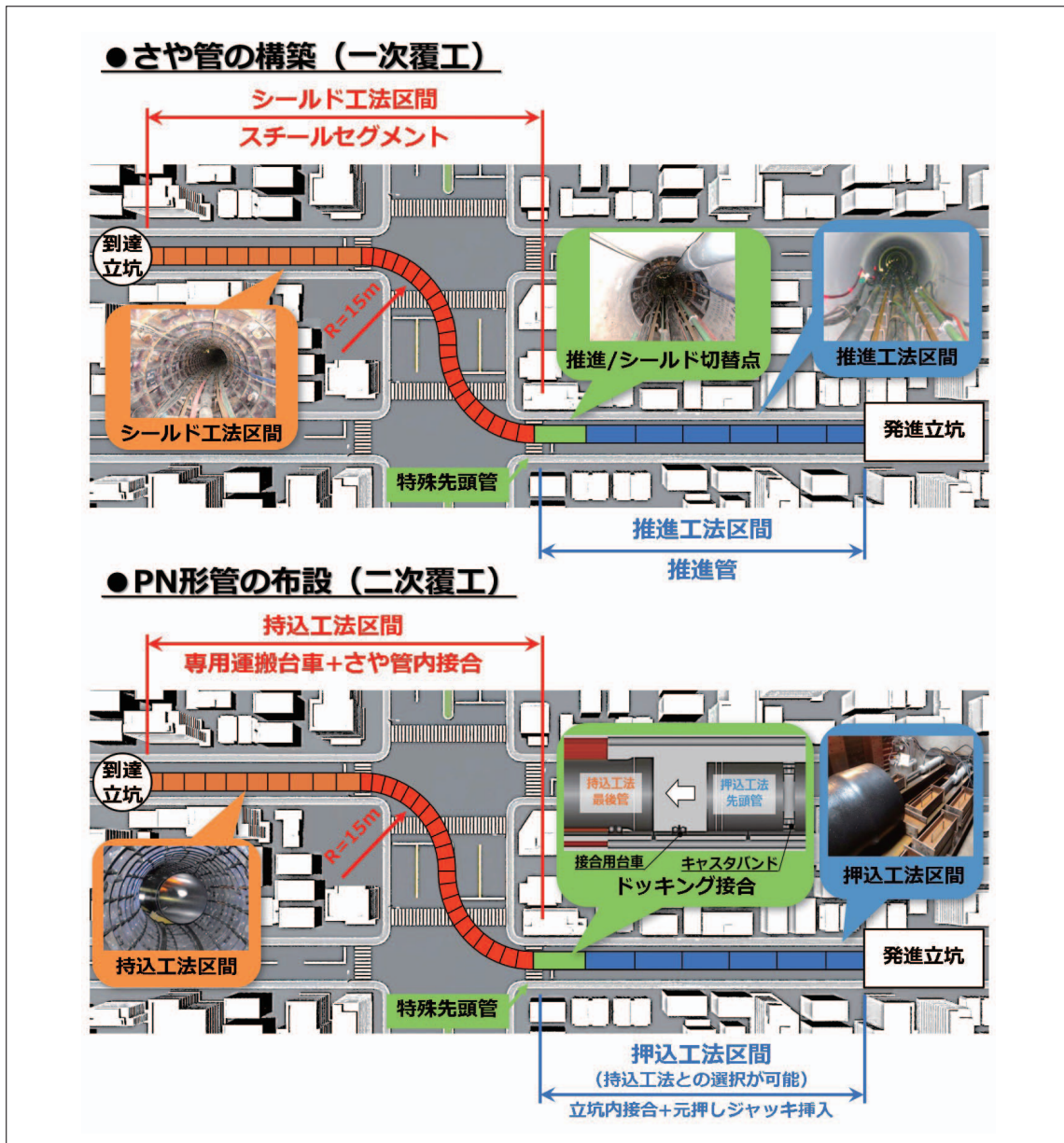


図1 ハイブリッドシステム工法の概要

表1 ハイブリッドシステム工法の仕様

本管	呼び径 700 ~ 1500 PN 形ダクタイル鉄管	
さや管	呼び径 1000 ~ 2000 推進・シールド併用工法	
さや管と本管の口径差	3口径差以上	
配管工法	シールド工法 区間 持込工法	推進工法区間 押込工法または持込工法 (押込工法は呼び径 800 以上)
許容施工距離	1,500 m	
曲線半径	R=15 m 以上	
勾配	5.0 % 以下	

2.1 さや管の構築 (一次覆工)

さや管構築 (一次覆工) は、推進・シールド併用工法で行う。発進立坑から急曲線部の手前まで、あるいは推進延長の限界までを日進量が大きく (表2)、セグメン

トに比べ安価なコンクリート管を用いる施工性、経済性に優れた推進工法で行う。その後、立坑を設けず土中にてセグメントを用いるシールド工法に切替えて急曲線、長距離の施工に対応するものである。

上記より、全体管路延長に対し発進立坑からの直線区間または緩曲線の占める割合が大きい管路では、推進工法区間が長くとれるため、特に経済的効果が期待できる。

表2 仕上がり内径1,350 mmにおける日進量 (推進工法 (泥濃式)、シールド工法) の比較⁴⁾

(単位: m/日)

推進工法 (泥濃式)	シールド工法
12.6	8.4

備考1 日進量は昼夜間施工 (1日16時間当り) としている。

2 いずれも直線区間での日進量である。

3 推進工法の日進量は砂質土・粘性土である。

4 セグメント (リング) 幅 0.75 m を使用した場合である。

図2に推進工法とシールド工法の切替えの施工手順を示す。掘進機と特殊先頭管をシールドジャッキで固定し、推進工法用コンクリート管（推進管）で推進工法区間の施工を行う。推進工法区間の施工完了後、特殊先頭管および推進管を反力にし、シールドジャッキにて掘進機

テール部と特殊先頭管との間にセグメント組立てスペースを確保する。セグメントは分割された状態で発進立坑から推進管の中を通り掘進機のテール部まで運搬する（図3）。セグメント組立てスペースでセグメントをリング状に組立ててシールド工法へ切替えが完了する。

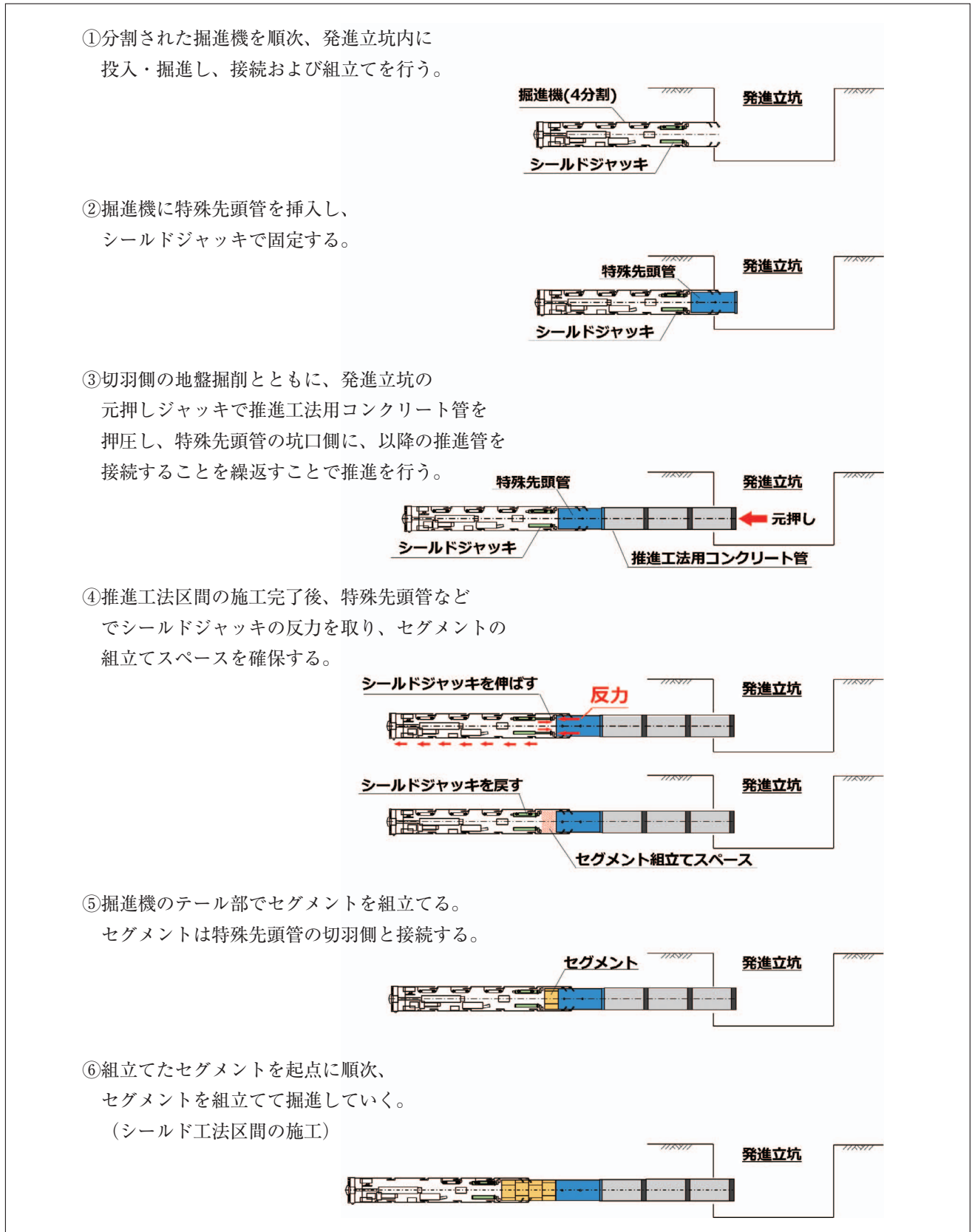


図2 推進工法とシールド工法の切替えの施工手順

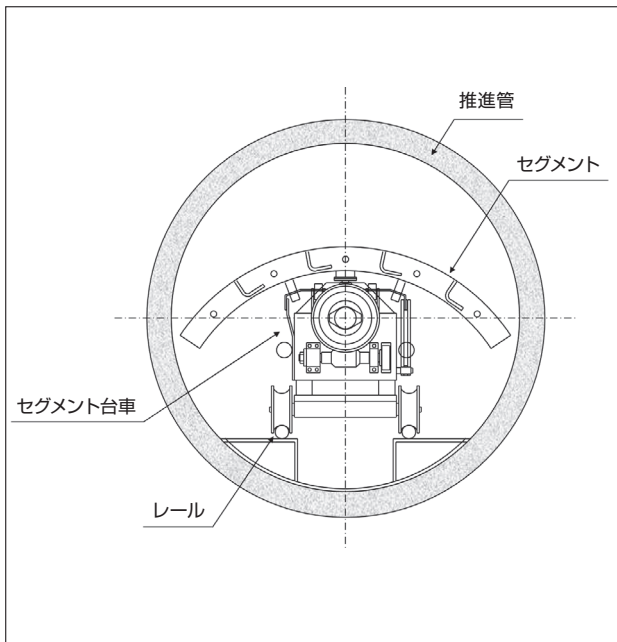


図3 推進管内でのセグメント運搬断面図

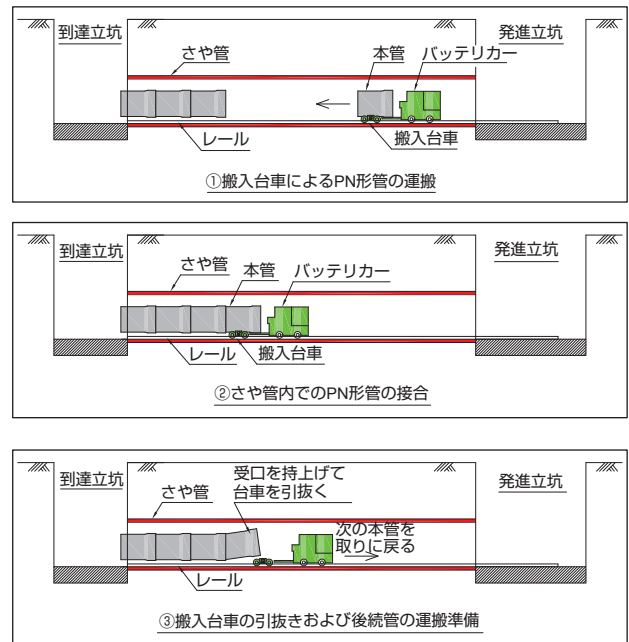


図4 持込工法の流れ

2.2 ダクタイル鉄管の布設（二次覆工）

本管布設（二次覆工）に使用するダクタイル鉄管は、管内面からの接合作業ができる呼び径 700 以上の PN 形管である。図 1 に示すように、到達立坑から特殊先頭管の位置までのシールド工法区間では持込工法で PN 形管を布設する。特殊先頭管の位置から発進立坑までの推進工法区間では施工速度が比較的速い押込工法に切替えて布設する。この場合、持込工法区間とのドッキング(2.2.3)を行うことで、さや管内の本管布設が完了する。なお、推進工法区間では押込方法と、シールド工法区間から継続して持込工法で布設する方法とのどちらかを経済性、施工性などを考慮して選択することが可能である。

2.2.1 持込工法

持込工法は、主にさや管構築におけるシールド工法区間に適用する。図 4 に示すように発進立坑から搬入台車を用いて PN 形管を 1 本ずつさや管内に持込み、到達立坑側から順次配管していく。押込工法 (2.2.2) のように管列をなした管全体を移動させるわけではないため、運搬距離が長い場合や途中で急曲線部を通過する必要がある場合においても狭隘なさや管内を円滑に通過させることができる。

呼び径 700 以上の PN 形管 (図 5) は接合時に受口外周側での作業が不要であることから、さや管口径を従来のシールド工法よりも小さくすることが可能である。例えば呼び径 800 の本管において、従来のシールド内配管用の耐震型ダクタイル鉄管である US 形管では受口外面での作業が必要のため、さや管口径は 1,650 mm であった。これに対して本工法では、さや管口径を 1,100 mm まで縮径することが可能となった (図 6)。

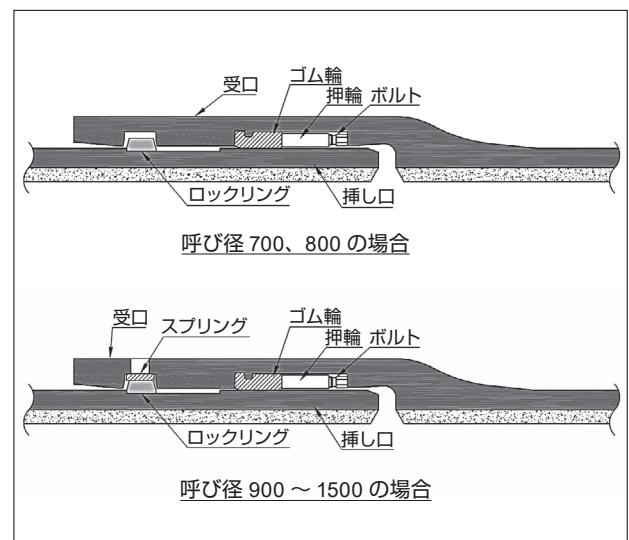


図5 PN形継手構造図（呼び径700～1500）

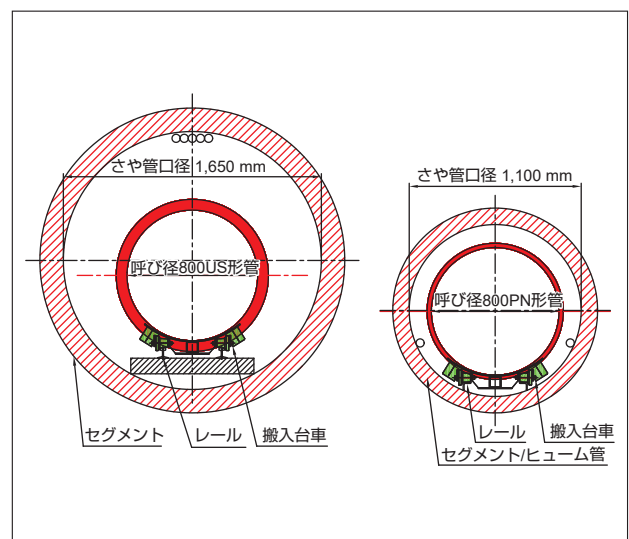


図6 従来のシールド工法とのさや管口径の比較

2.2.2 押込工法

押込工法は、図7に示すように発進立坑内で接合し、キャスターを取付けたPN形管の管列を油圧ジャッキで押込むことを繰り返して配管する。比較的広い作業スペースがある発進立坑内で継手接合を行うため、全てさや管内での作業となる持込工法に比べて作業性が良好である。また、さや管への本管の持込み作業が不要であることから、施工日数の短縮が図れる工法である。

押込工法は管列が急曲線部を通過する際、さや管の曲線線形に沿って、管の継手部が大きく屈曲すると考えられる（図8）。このため、押込工法は継手屈曲角が許容屈曲角を超えない範囲の曲線半径で適用され、超える場合は持込工法の適用となる。また、推進工法区間が短い場合などでは、上記に関わらず工期や経済性を考慮して持込工法を選択することも可能である。

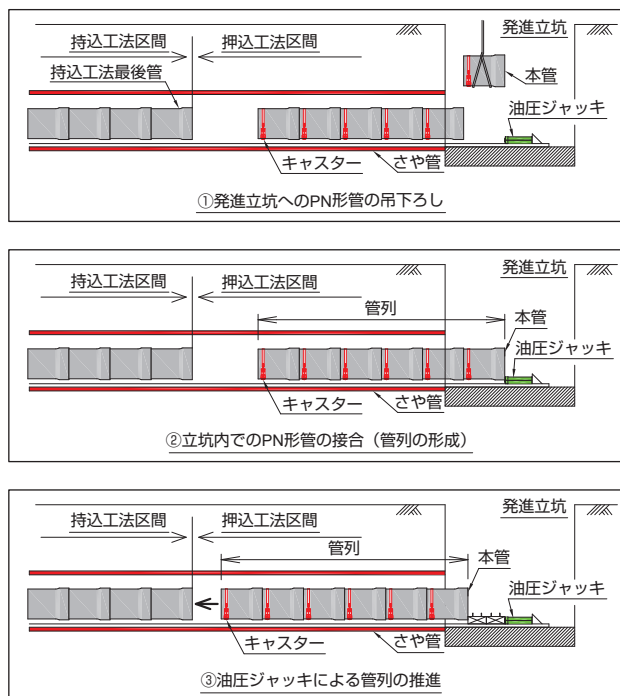


図7 押込工法の流れ

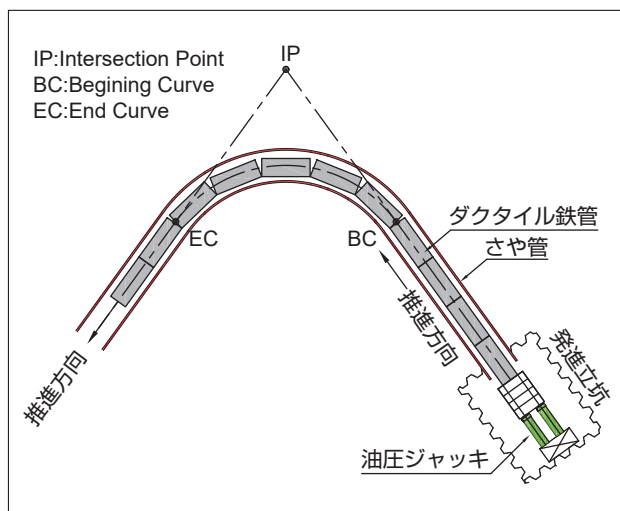


図8 急曲線部通過時におけるPN形管継手部の屈曲概念図（押込工法時）

2.2.3 ドッキング

持込工法と押込工法を併用した場合、図9に示すように、押込工法先頭管（H）と持込工法最後管（T）とのドッキングをさや管内で行う必要がある。本工法では、持込工法で使用したレールと2台の接合用台車を用いて、ドッキング時の心出し作業を確実かつ容易なものとしている。心出し完了後に押込工法で用いた油圧ジャッキで押込工法区間にある全ての管列を押込んで図9中の持込工法最後管（T）と押込工法先頭管（H）の管を接合することでドッキングが完了する。

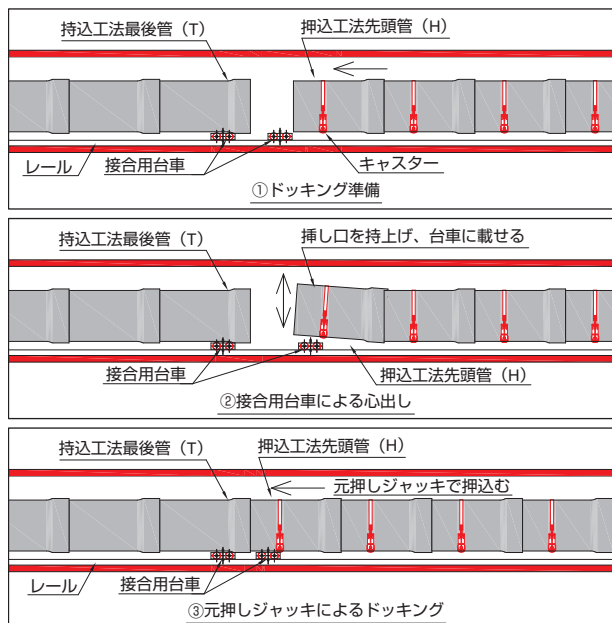


図9 持込工法と押込工法のドッキング

2.2.4 中込充填工

さや管と本管との隙間は、そのまま放置すると地中に空間を残すことになり、万一の場合に路面陥没や地下水流入による管路の腐食などを引起す恐れがある。このため、種々の充填材（エアミルク、エアモルタル、セメントベントナイトなど）を用いて、その隙間を充填する必要がある。

中込充填工は、一般的に二次覆工時に本管の布設と並行して行う。特に、注入可能延長、さや管口径と本管口径との差、工程などを考慮して、現場に適したものを計画、施工する必要がある。本管の布設および中込充填工が終われば二次覆工が完了する。

3 施工事例

3.1 工事概要

本事例は近畿地方のA市において、浄水場から市街中心部に配水する基幹管路の更新・耐震化が計画および実施されており、そのうちの約1.2 kmをハイブリッドシステム工法により施工したものである。工事概要図を図10、縦断図を図11に示す。

この工事では仕上がり内径1,100 mmのさや管（推進工法区間：約400 m、シールド工法区間：約800 m）内

に、呼び径 800 の PN 形管を持込工法により布設した。管路は、閑静な住宅街に位置し、中間立坑からの分岐管の他、曲線半径 $R=50 \sim 200$ m の平面曲線 12 箇所に加え、 $i=5.0$ % の下り勾配、 $i=2.8$ % の上り勾配を含む変化に富むものである。

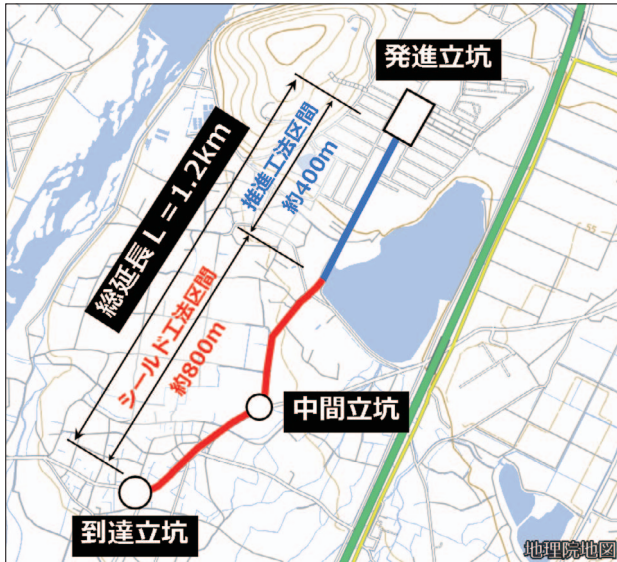


図10 工事概要図

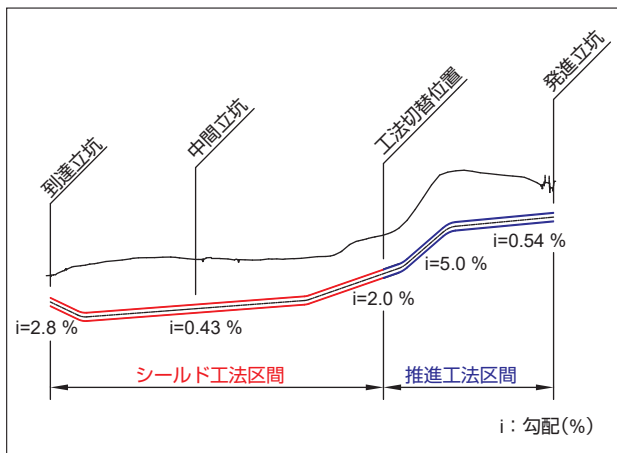


図11 縦断面図

3.2 さや管の構築（一次覆工）

当該管路の近傍には河川が位置し、礫、玉石が頻出した。特にシールド工法切替後、設計時に想定した最大径以上の巨礫、玉石の出現頻度が増えたため、追加ボーリング調査（大口径ボーリングを含む）を行い、最大礫径や礫率を再確認した（図12）。その後、それらを効率的に破碎できるよう、中間立坑到達時にビット交換を行った（図13）。シールド区間での日進量は、3～6 m/日（16 h）となった。さや管構築後の推進工法区間およびシールド工法区間におけるさや管内の状況を図14、15に示す。



図12 シールド工法区間において出現した巨礫



図13 ビット交換（ゲージ・インナーカッタ）

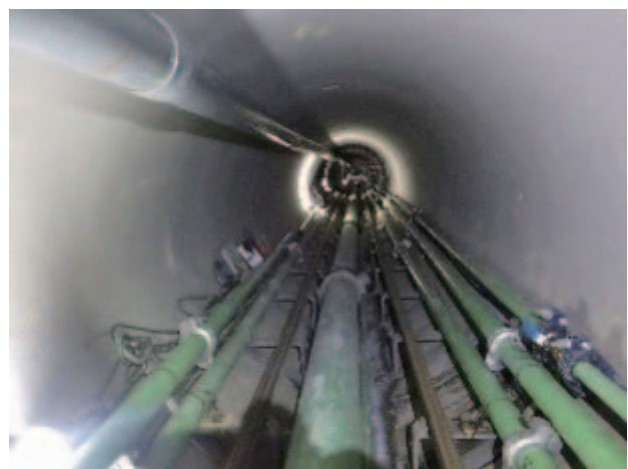


図14 推進工法区間のさや管内の状況



図15 シールド工法区間のさや管内の状況

3.3 PN形管の布設（二次覆工）

PN形管の布設は専用の搬入台車、接合治具を用いて行った。本工事の難所である*i*=5.0%の下り勾配に対応するため、バッテリーカーのモータやブレーキを強化したものを開発し、使用した。新旧モデルのバッテリーカーの写真と主な仕様の比較をそれぞれ図16、17および表3に示す。

また、一次覆工完了後の測量データを基にPN形管の管長や曲管位置などの再検討および模擬管による管運搬試験を二次覆工実施の前に行った。模擬管は呼び径800PN形直管（有効長6,000mm）を使用した。上記の検討や管運搬試験を行い、PN形管がさや管と接触することなく持込めることを確認した。

これらの結果、実際の施工において、*R*=50mの平面曲線部や*i*=5.0%の下り勾配部のような難易度が高いと予想していた区間であっても、問題なく施工することができた。PN形管のさや管内での運搬状況、PN形管の接合状況、および運搬台車引抜きのための管端部の吊上げ状況（推進工法区間、シールド工法区間）を、それぞれ図18～21に示す。



図16 開発したバッテリーカー（新モデル）

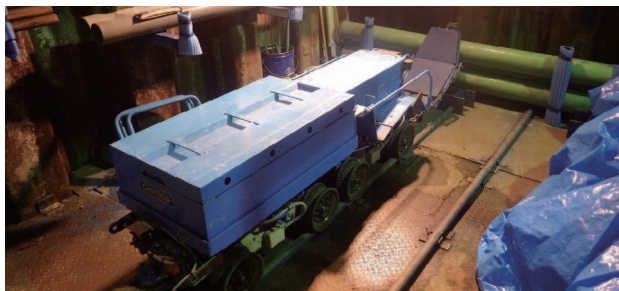


図17 従来のバッテリーカー（旧モデル）

表3 新旧バッテリーカーの仕様比較

項目	旧モデル	新モデル
モータ	2.00 kW × 1台	0.75 kW × 4台
車輪	4輪	8輪
速度制御	チョップパ制御	インバータ制御
牽引力*	1	2
曲線半径	<i>R</i> =10 m 以上	<i>R</i> =10 m 以上
縦断勾配	2.5 % 以下	5.0 % 以下

※牽引力は新モデルが旧モデルの2倍であることを示す。

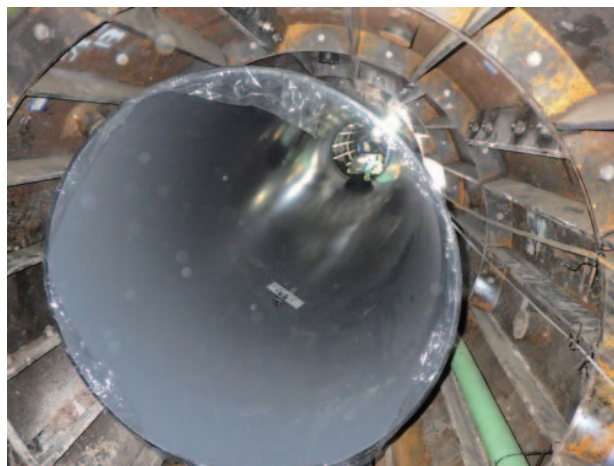


図18 さや管内でのPN形管の運搬状況



図19 PN形管の接合状況



図20 管端部吊上げ状況（推進工法区間）



図21 管端部吊上げ状況（シールド工法区間）

4 おわりに

本事例では施工総延長の内、推進工法区間が約 33 % を占めており、全線をシールド工法で施工する場合に比べて、トータルコストが削減できた。このように、発進立坑からある一定の区間を推進工法でさや管が構築でき得る施工条件において、ハイブリッドシステム工法のメリットが活かされる。

非開削工法による水道における基幹管路の更新は、住宅地や交通量の多い幹線道路などの制約により、厳しい線形条件での施工が求められている。本事例が経済的かつ効率的な管路更新・耐震化促進の一助となれば幸いである。

参考文献：

- 1) 森田：ハイブリッドシステム工法について、関西地方支部水道研究発表会概要集（2018）、pp.159-162
- 2) 藤田、高木、下保、森本：推進・シールド併用型非開削工法により構築されたさや管内への持ち込み配

管工法の実証試験、水道研究発表会講演集（2015）、pp.442-443

- 3) 藤田、高木、下保、森本：ハイブリッドシステム工法の開発、クリモト技報 No.66（2017）、pp.3-11
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局：下水道用設計標準歩掛表（2021）

執筆者：

吉村充基

2018年入社

ダクタイト鉄管の配管設計に従事



末松康成

1994年入社

ダクタイト鉄管の配管設計に従事



上田隆司

ハイブリッドシステム工法協会



檜皮安弘

ハイブリッドシステム工法協会

