

ハイブリッドシステム工法の開発

Development of Hybrid System Method

藤田弘司* 高木啓介* 下保哲二* 森本皓一*
Hiroshi Fujita Keisuke Takagi Tetsuji Shitabo Koichi Morimoto

昨今、大規模水道事業体においては大口径管の更新事業が本格化してきている。大口径管の水道管布設工事においては、道路交通事情などにより、開削による水道管の布設が困難な場合が多く、非開削工法（シールド工法、推進工法）で構築されたさや管内に水道管（ダクタイル鉄管）を布設する内挿工法が一般的である。さや管を布設する非開削工法にはそれぞれ長所・短所があり、シールド工法は線形の自由度が高い反面、工期が長くなる。一方、推進工法は、施工速度は速いが急曲線には不向きである。近年、これら両者の利点を活かした推進・シールド併用工法が開発されている。当社は、このさや管構築工法を活用し、シールド区間のさや管内には持込工法で、推進区間のさや管内には押込工法で水道本管を布設することによりコスト縮減が可能な工法を開発した。レベルおよび5%のこう配をつけた実験管路において管搬送、継手接合等の実証試験を行った。その結果、本工法の良い施工性およびコスト縮減の可能性が確認されたので以下に報告する。

Nowadays, water supply utilities have been updating large-diameter pipelines in earnest. When the large-diameter pipelines are installed, because of traffic conditions and other factors, they often can't be installed by the open-cut method easily. And generally, an insertion method is utilized in which water pipes (ductile iron pipes) are carried in sheath pipes which are installed by non-open-cut methods (shield method or pipe-jacking method). Each of the non-open-cut methods to install sheath pipes has advantages and disadvantages. With the shield method, there is a high degree of flexibility with respect to the shape of the lines, but the installation work takes a long time. On the other hand, the pipe-jacking method can be carried out rapidly, but it is not suitable for curved lines. In recent years, a combination of the shield method and the pipe-jacking method has been developed, utilizing the advantages of both of them. By utilizing this method to install sheath pipes, we have developed a method of installation in which we can cut down the costs for laying pipelines, which are installed using the carrying method from the shield method and using the push-in method from the pipe-jacking method. We did demonstration experiments about feeding in ductile pipes and joining couplers in our experimental pipes in a level position and on a 5% gradient. As a result, the satisfactory workability and the cost-cutting resulting from this installation method have been confirmed, and we report on this below.

1 はじめに

水道の基幹管路の老朽化に伴い、更新が必要な管路が増加している。交通事情などの理由によって開削による工事を行うことができない場合、非開削工法によってさや管を構築し、その中にダクタイル鉄管を布設する工事が一般的に行われている。しかし、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ことから、より安価な施工方法が求められている。

今回、シールド工法による水道管の布設をより経済的に行いたいとの要望に応えるべく、さや管構築には推進・シールド工法を併用したハイブリッド工法を採用し、本管布設には持込・押込工法を併用したハイブリッド工法を採用したダブルハイブリッド工法として「ハイブリッドシステム工法」の開発を行った。以下に工法の概要と、工法の実用性について行った実証試験について報告する。

2 さや管の構築方法について

さや管構築は、推進・シールド併用型非開削工法で行う。この工法は、図1に示すような交差点の通過など、急曲線を含む線形に適している。発進立坑から急曲線部あるいは推進限界距離までを推進工法で効率よく施工し、急曲線部や推進限界距離からはシールド工法に切り替えて施工する。表1に示す推進工法とシールド工法それぞれのメリットを組み合わせた経済的なハイブリッド工法である。本工法の仕様を表2に示す。

3 本管の施工方法について

本管の布設方法は、図1に示すようにシールド工法区間を持込工法で配管した後に、推進工法区間では押込工法に切り替えて配管するハイブリッド工法である。

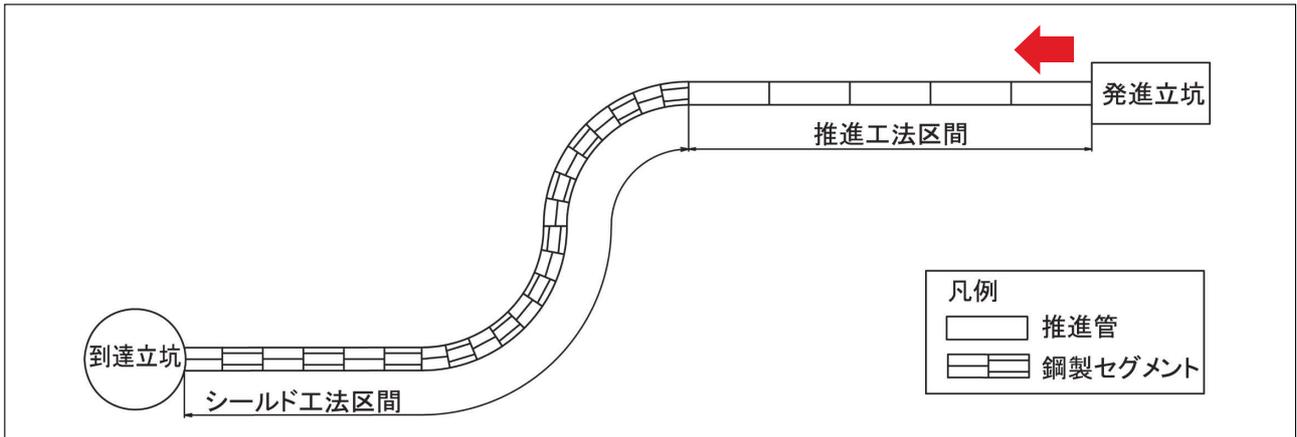


図1 本工法に適したさや管の線形例 (平面図)

表1 推進工法とシールド工法の特徴

	推進工法	シールド工法
工法概要	掘進機と推進管の管列を元押しジャッキで押し込み、掘削と同時に推進管を圧入してトンネルを構築する。	掘進機を内蔵のジャッキで押し進め掘削する。掘進機後部内のスペースでセグメントをリング状に組み立ててトンネルを構築する。掘進とセグメントの組み立てを交互に繰り返す。
メリット	比較的工期が短く、安価に施工できる。	線形が急曲線でも対応でき、長距離施工が可能である。
デメリット	急曲線や長距離施工に向いていない。	比較的工期が長く、施工費が高価になる。

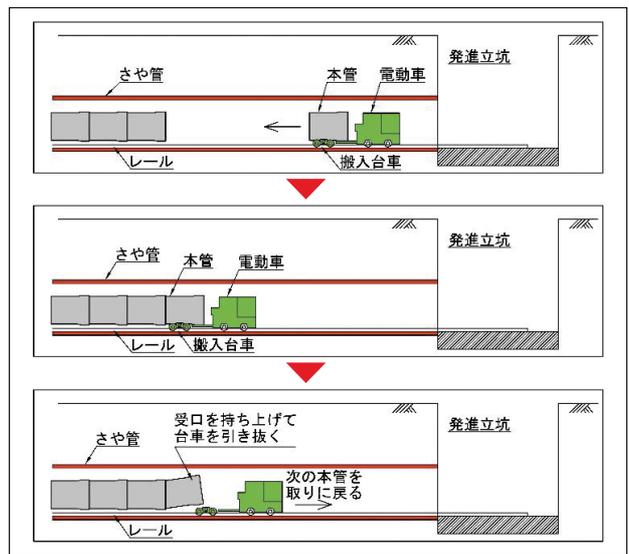


図2 持込工法の施工の流れ

表2 本工法の仕様

本管	呼び径 700 ~ 1500 PN 形 (CP 方式)、PN 形ダクタイル鉄管
さや管	呼び径 1000 ~ 2000 推進・シールド工法併用工法
さや管と本管の呼び径差	3 口径以上
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
施工可能距離	1,500m
最小曲線半径	15m
こう配	5%以下

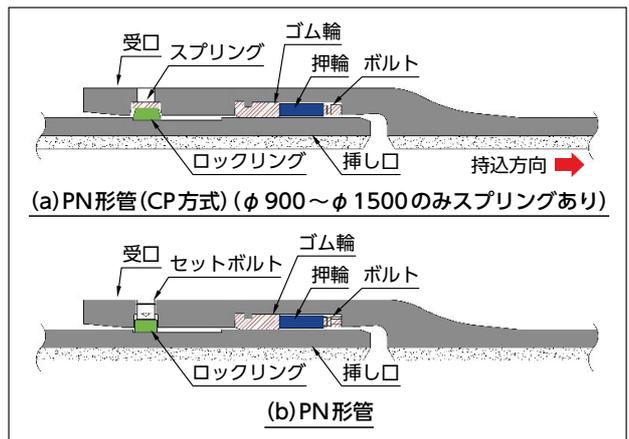


図3 配管に使用するダクタイル鉄管 (耐震管)

3.1 持込工法

持込工法は、さや管のシールド工法区間に適用する。図2に示すように管を1本ずつさや管内に持ち込んで継手を接合することを繰り返して配管を行う。運搬に使用するレールと台車の高さを低くしたこと、および使用する管継手 PN 形 (CP 方式) (図3 (a)) がさや管内の作

業だけで接合を行えることから、さや管径を従来よりも小さくすることができた。例えば、図4に示すように本管の呼び径を 800 とした場合と比較すると、従来から実施している US 形管のシールド内配管工法では、さや管が呼び径 1650 であった。これに対して本工法では、さや管を呼び径 1100 に縮径することが可能となった。

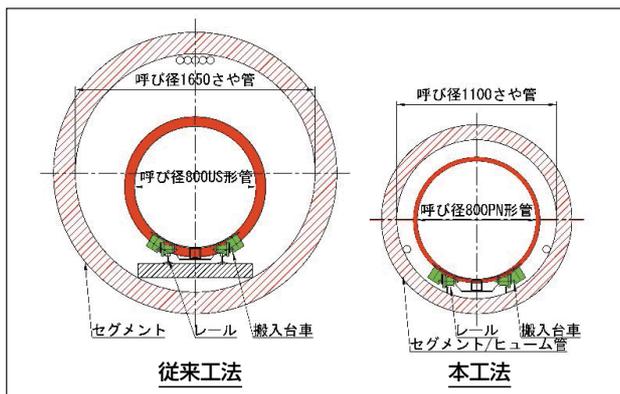


図4 従来工法とのさや管径の比較例

3.2 押込工法

押込工法は、さや管推進工法区間に適用する。図5に示すように発進立坑内で接合し、油圧ジャッキでキャスターを取付けた本管を押し込むことを繰り返して配管する。使用する管は、図3(b)に示すPN形管である。この継手は、受口外面からロックリングをセットボルトで押さえるのでロックリングが挿し口溝に嵌合し、推進力の伝達が可能となっている。作業スペースを比較的広くとれる発進立坑内で継手接合を行うため、さや管内での作業と比べて作業性が良いこと、および管の運搬時間が不要なことから、持込工法に比べて施工性が良く、施工日数の短縮が図れる工法である。なお、推進工法区間が短い場合など、すべての本管を持込工法で配管することも可能である。

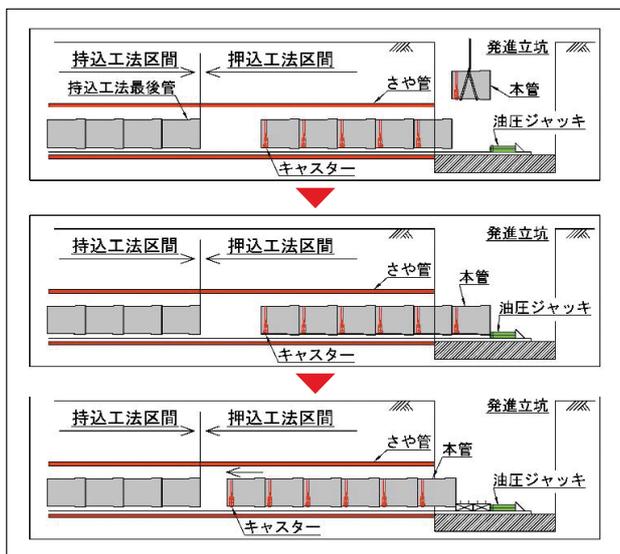


図5 押込工法の施工の流れ

3.3 ドッキング

押込工法先頭管と持込工法最後管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、図6に示すように、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芯出し作業を容易かつ確実なものとした。芯出し完了後に押込工法の油圧ジャッキで押し込み、施工を完了する。

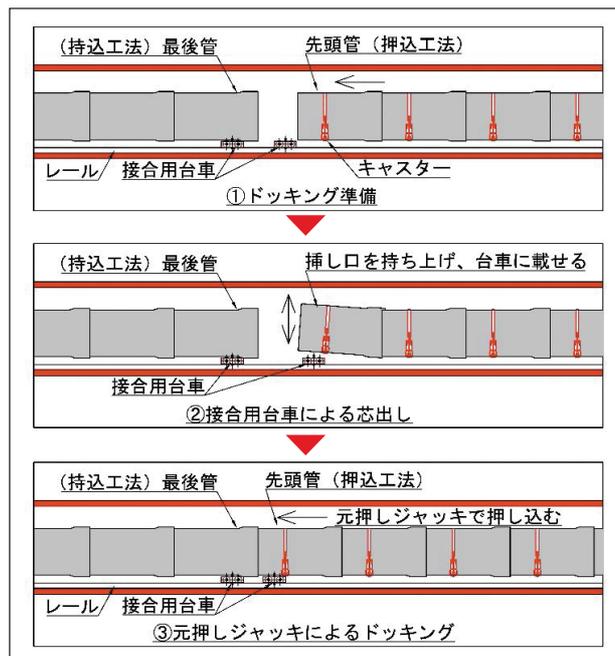


図6 最終のドッキング方法

4 実証試験

本工法の実用性を実証するために、本管を呼び径800(押込工法併用が可能な口径のうち、最もさや管が小さく、作業の難易度が高いと考えられる口径)とし、さや管を本管より3口径大きな呼び径1100として本管の運搬および継手接合に関する試験を行った。

また、呼び径が大きくなった場合の確認として、本管を呼び径1350とした継手接合試験を行った。

4.1 急曲線部通過試験(本管:呼び径800)

4.1.1 試験条件

1) 本管: 呼び径800PN形(CP方式)

4m直管、11 1/4°曲管

2) さや管: 呼び径1100ヒューム管、銅製セグメント

さや管は、交差点部の通過を想定して図7に示すR=15mの急曲線部を含む線形とした。なお、急曲線部の銅製セグメントの内径は、本管の通過性を向上させるためできるだけ大きなものとし、シールドマシン内でのセグメントの組み立て作業を考慮して内径1,140mmとした。

4.1.2 試験結果

表3に試験結果を示す。搬入台車に乗せた4m直管および11 1/4°曲管が通過できることを確認した。曲管の屈曲方向は、さや管と同方向と逆方向の2パターンで実施した。図8～図13に試験の状況を示す。

表3 急曲線部通過試験結果

供試管	4m直管	11 1/4°曲管 (正曲り)	11 1/4°曲管 (逆曲り)
通過可否	可能	可能	可能
さや管と本管との最小隙間	6cm	9cm	7cm

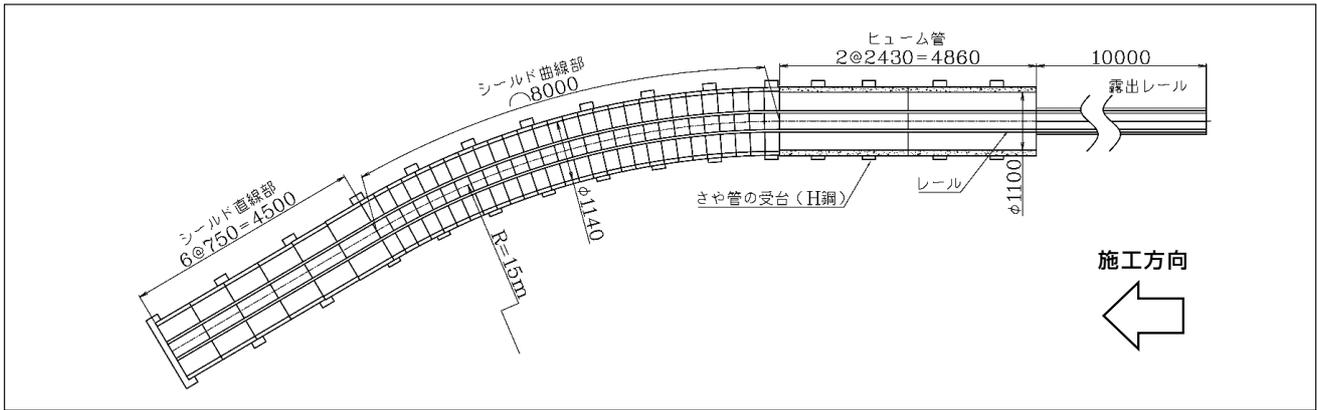


図7 R=15mの急曲線部を含むさや管の平面図



図8 急曲線部通過試験状況 (全景)



図9 急曲線部内部状況

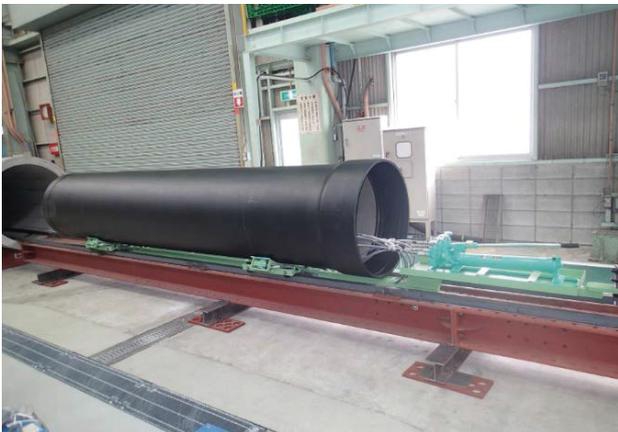


図10 直管運搬状況



図11 11 1/4° 曲管運搬状況

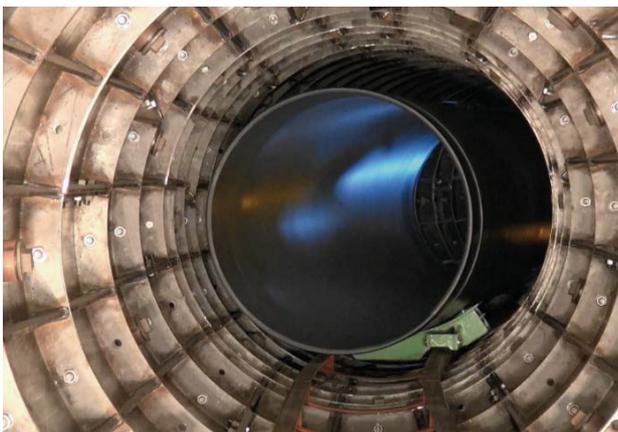


図12 直管の急曲線部通過状況



図13 曲管 (さや管と逆曲り) の急曲線部通過状況

4.2 持込工法による継手接合試験（本管：呼び径 800）

本工法は、従来工法と比べてさや管と本管の隙間が小さいため、さや管内で問題なく継手接合が可能であるのかを図 14 に示す施工手順で確認した。持込工法のさや管は、施工方法が異なるため、鋼製セグメントとヒューム管の両方で行った。また、地形や既存埋設物を回避することを想定し、さや管線形のこう配を最大±5%と設定した。

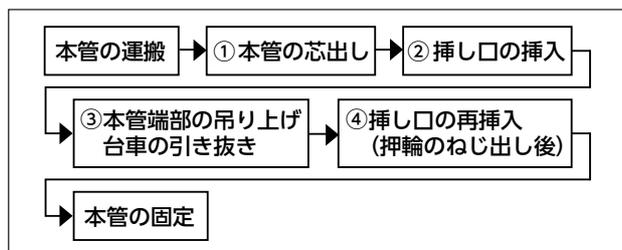


図 14 持込工法の施工手順

4.2.1 試験条件

- 1) さや管こう配：水平状態の場合
 - a) 本管：呼び径 800PN 形（CP 方式）
4 m 直管、11 1/4° 曲管
 - b) さや管：呼び径 1100 ヒューム管、鋼製セグメント
試験は、前述した 4.1 項の図 7 に示すさや管のヒューム管部と鋼製セグメント部でそれぞれ実施した。
- 2) さや管こう配：±5%の場合
 - a) 本管：呼び径 800PN 形（CP 方式）4 m 直管
 - b) さや管：鋼製セグメント
+5%のこう配をつけたさや管を図 15 に示す。



図 15 5%上りこう配をつけた鋼製セグメント

4.2.2 確認項目

試験の際には、図 14 に示す作業工程のうち、①～③の各作業が行えるかを確認した。

- ①本管の芯出し
- ②挿し口の挿入
- ③本管端部の吊り上げ
- ④挿し口の再挿入（押輪のねじ出し後）

4.2.3 試験結果

表 4 に試験結果を示す。すべての条件で継手接合が可能であった。なお、こう配のある条件下での確認試験は、直管と曲管の継手接合に必要な作業ができるか供試管を直管として確認した。各作業の確認結果については、以下に示す。

表 4 継手接合試験結果

本管	さや管	鋼製セグメント*	ヒューム管
直管		可能	可能
曲管		可能	可能

※：±5%のこう配のある条件下でも継手接合に必要な作業を行えることを確認した。

1) 本管の芯出し

搬入台車に備え付けの油圧ジャッキを調整して、芯出しを行うことができた。

2) 挿し口の挿入（再挿入）

図 16 および図 17 に示すようにレールに固定する反力装置と一体となった油圧ジャッキ×2台によって挿し口を挿入（再挿入）することができた。

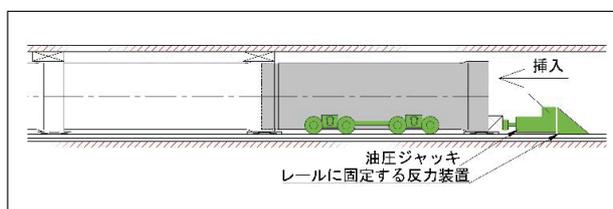


図 16 挿し口挿入作業の模式図



図 17 油圧ジャッキによる挿し口の挿入状況

3) 管端の吊り上げ、台車の引き抜き

a) 鋼製セグメント内

図 18 および図 19 に示すようにクランプをセグメントに固定してレバブロックで管端を吊り上げ、搬入台車を引き抜くことができた。

b) ヒューム管内

図 20 に示すように組立て式の吊り上げ治具をヒューム管内に固定してレバブロックで管端を吊り上げ、搬入台車を引き抜くことができた。

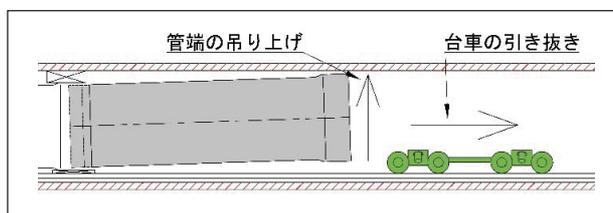


図 18 管端吊り上げ作業の模式図

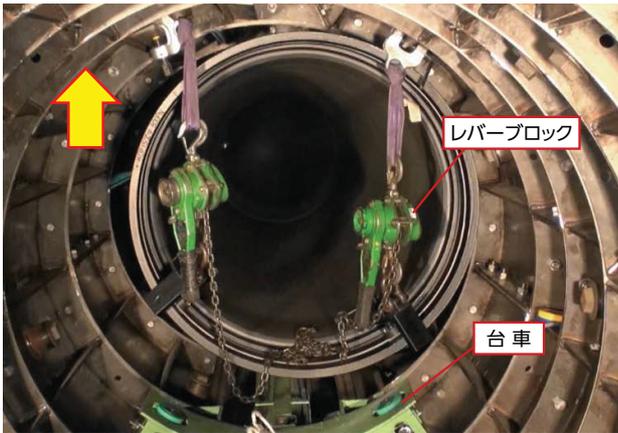


図19 鋼製セグメント内での管端吊り上げ、台車引き抜き状況

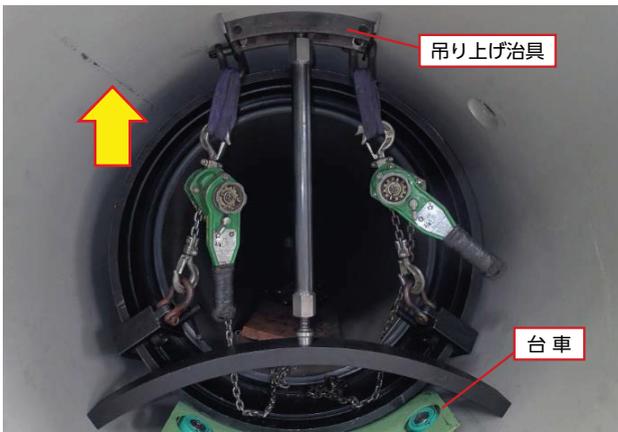


図20 ヒューム管内での管端吊り上げ、台車引き抜き状況

4.3 ドッキング模擬試験

持込工法最後管と押込工法先頭管の最終のドッキングを模擬して図21に示す試験を行った。

4.3.1 試験条件

1) 持込工法最後管

ヒューム管内に持込工法最後管に見立てた供試管を接合用台車に載せて据え付けた。

2) 押込工法先頭管

押込工法先頭管に見立て、サドルバンド・キャストを取付けた供試管に対して以下の作業を行った。

- ①最終のドッキング位置まで供試管を押し込む。
- ②挿し口を持ち上げ、その下に接合用台車を押し込む。
- ③挿し口を下げて接合用台車に載せる。(芯出し完了)
- ④油圧ジャッキで挿し口を受口に押し込む。
- ⑤通常の手順で継手接合を行う。

3) 先頭管の偏心量

- (a) 偏心量 0mm
- (b) 偏心量 40mm

先頭管が偏心していない場合と、40mm偏心（水平方向）した場合とで試験を行った。偏心した場合の試験条件は、押込工法の本管のガイドとなるレールの偏心量を20mmと想定し、安全率2を掛けて設定した。

4.3.2 試験結果

先頭管が偏心していない場合と40mm偏心した場合、どちらの場合でもドッキングを行えることを確認した。

本工法では、持込工法と押込工法を併用するため、最終のドッキングをさや管内で行う必要がある。ドッキング直前に作業スペースがなくなることから、芯出し作業が課題であったが、レールと2台の接合用台車を用いる芯出し方法を確立することができ、課題を解決することができた。

図22～図26にドッキング模擬試験の状況を示す。

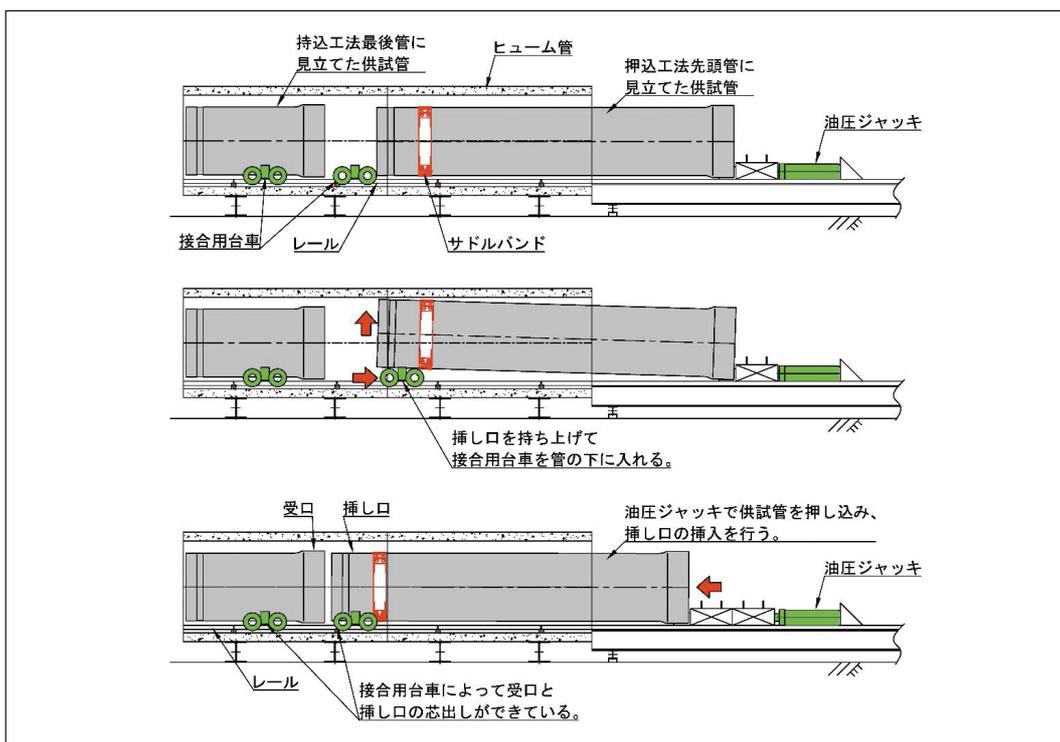


図21 ドッキングの模擬試験の方法



図22 ドッキングの模擬試験状況 (全景)



図26 受口を40mm偏心させたドッキングの模擬試験状況



図23 接合相手の受口内面から見た挿し口の状況



図24 挿し口内面から見た挿し口持ち上げ状況

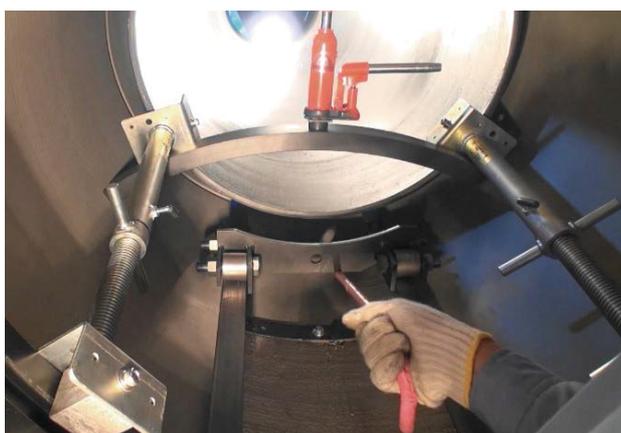


図25 挿し口管底部への接合用台車挿入状況

4.4 持込工法による継手接合模擬試験 (本管：呼び径 1350)

本管の口径が大きくなると、挿し口の挿入力や搬入台車引き抜き時の受口吊り上げ荷重が大きくなる。本管呼び径 800 で確立した施工方法を適用できるかを確認するために当社で製造実績のある PN 形管の最大口径である呼び径 1350 を本管とし、施工治具を使う部分のさや管を呼び径 1800 模擬セグメントとした継手接合の模擬試験を行った。

4.4.1 試験条件

- 1) 本管：呼び径 1350PN 形管 (CP 方式)
4 m直管、11 1/4° 曲管
- 2) さや管：呼び径 1800 鋼製模擬セグメント
直線、曲線

4.4.2 試験結果

試験結果を表 5 に示し、試験状況を図 27～図 32 に示す。挿し口の挿入作業および搬入台車の引抜きに必要な管端吊り上げ作業を行うことができ、直管、曲管とも継手接合が可能であった。ただし、直管は、レールに固定する反力装置と一体となった 19.6kN 油圧ジャッキ 2 台で挿入できたが (図 29)、曲管の場合、大きな挿入力を必要としたため、H 鋼 (100 × 100) をレールに固定して反力受けとし、98.1kN ジャーナルジャッキ 1 台で挿入する必要があった (図 30)。大口径の場合の出力の大きなジャッキで施工することとした。

表5 呼び径1350継手接合可否試験

供試管	4 m直管	11 1/4° 曲管
継手接合可否	可能	可能



図27 直管継手接合試験状況 (全景)



図28 曲管継手接合試験状況 (全景)



図29 直管の挿し口挿入状況

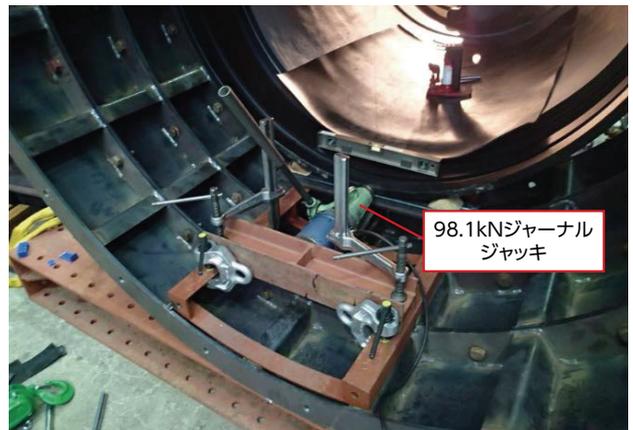


図30 曲管の挿し口挿入状況

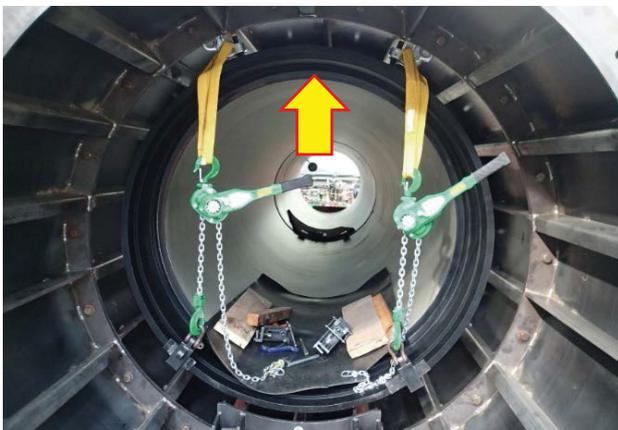


図31 レバブロックによる直管の吊り上げ状況

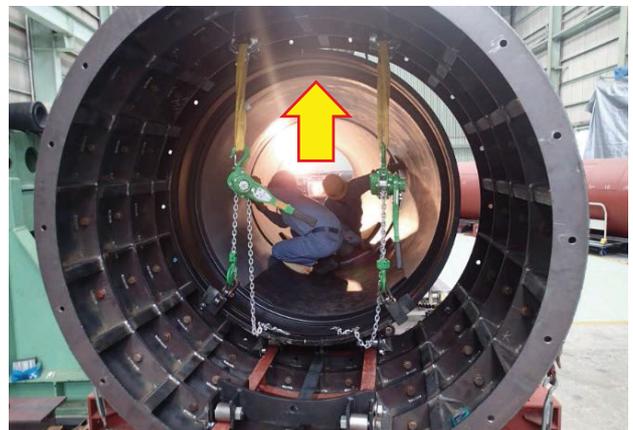


図32 レバブロックによる曲管の吊り上げ状況

5 試験結果のまとめ

本管を呼び径 800 とし、さや管を本管より 3 口径大きな呼び径 1100 として実施した実証試験結果の結果を 5.1 ~ 5.3 にまとめる。持込工法でさや管内に直管、曲管を持ち込み、さや管内に配管できることを確認した。また、押込工法を併用した場合の最終のドッキング作業をさや管内で行えることを確認した。

また、本管を呼び径 1350 とした試験結果を 5.4 にまとめる。呼び径 800 で確立した施工方法を大口径にも適用できることを確認した。

5.1 急曲線部通過試験 (本管：呼び径 800)

4 m 直管、11 1/4° 曲管とも曲線半径 R=15 m の急曲線部を含むさや管を通過させることができた。

5.2 継手接合試験 (本管：呼び径 800)

さや管が鋼製セグメント、ヒューム管の場合、それぞれ直管、曲管の継手接合が可能であった。また、± 5% のこう配下でも継手接合に必要な作業が行うことができた。

5.3 ドッキング模擬試験（本管：呼び径 800）

持込工法と押込工法を併用した場合を模擬し、最終のドッキングを行うことができた。

5.4 持込工法による継手接合模擬試験（本管：呼び径 1350）

当社で製造する最大呼び径の直管および曲管を供試管とし、さや管内での継手接合を模擬した試験を行った。

呼び径 800 で確立した施工方法で継手接合に必要な挿し口の挿入と管端の吊り上げ作業ができることを確認した。

6 日進量の検討

持込工法および押込工法で本管 1 本を布設するときの 1 サイクル当たりの施工時間を検討した。結果を表 6 に示す。施工時間は、実測した継手接合、サドルバンド取り付け、専用発進台による 4 m 分の挿入に要する各時間と、想定した準備工、管吊降ろし、坑内運搬、台車返送の各時間のうち、持込工法、押込工法それぞれに関係する作業の時間を足し合わせて算出した。表 6 に示す 1 サイクル当たりの時間を用いて昼夜間作業の場合の日進量を計算したものを表 7 に示す。押込工法の施工性がよく、持込工法の 1.5 倍以上の日進量を見込めることが確認できたため、コスト縮減が可能であると考えられる。

表6 1 サイクル当たりの施工時間（呼び径800）

作業	工法	持込工法	押込工法
準備工 管吊降ろし		11分	11分
坑内運搬*		8分	-
継手接合		50分	30分
サドルバンド取付		-	5分
台車返送*		8分	-
さや管への挿入		-	2分
合計		77分	48分

※：台車移動距離は、平均 500 m とした。

表7 日進量の検討結果

項目	工法	持込工法	押込工法
1 サイクル当たりの 施工時間		77分	48分
1 日の施工本数 (昼夜間作業)		10本	17本
日進量 (4 m 管使用)		40 m	68 m

7 おわりに

本開発のハイブリッドシステム工法は、さや管および本管布設のダブルハイブリッド方式を用いることで工期短縮を図り、さらにさや管径を従来工法に比べて小さくすることで、より経済性に優れたさや管構築を目指したものである。

種々の実証試験によって本工法の実用性の高さを十分確認することができ、さや管全体をシールド工法で構築した中に、すべて持込工法で水道本管を布設する従来工法より経済性を向上させることが可能となった。

本工法を老朽化した水道管路の更新に役立てていただければ幸いである。

執筆者：

藤田弘司

1995 年入社

ダクタイト鉄管の配管設計および
研究開発に従事



高木啓介

1989 年入社

ダクタイト鉄管の配管設計および
研究開発に従事



下保哲二

1992 年入社

ダクタイト鉄管の研究開発に従事



森本皓一

2012 年入社

ダクタイト鉄管の研究開発に従事

