

インテリジェント非開削工法 (供給管取り出し技術)の開発

Development of Intelligent Horizontal Directional Drilling
Technique (Service Pipe Connection Technique, etc.)

小宮道継* Michitsugu Komiya
石部文和* Fumikazu Ishibe
木村洋一** Yoichi Kimura
福田 徹** Toru Fukuda
香川理人** Rihito Kagawa
下江 治*** Osamu Shimoe

ガス導管にかかわる保安レベルを向上させるため、経済産業省が社団法人日本ガス協会に委託し、開発を実施しているガス導管漏えい対策開発事業のなかで、当社は「インテリジェント非開削工法（供給管取り出し技術）の開発」を受託し開発に取り組んでいる。本工法は、民有地側に設置した推進機から道路に埋設されている本支管まで道路を開削せず掘り進み、ポリエチレン製供給管を地上より遠隔で接合するものである。

Hitachi Metals Ltd. has been entrusted with the “development of intelligent horizontal directional drilling techniques” (service pipe connection techniques, etc.), as a part of Japan Gas Association’s “Development project to countermeasure gas-pipeline leakage”, as commissioned by the Ministry of Economy, Industry, and Trade Affairs, in order to upgrade the safety level of gas pipelines. This intelligent technology uses a propulsion machine set on private land, that digs down to the buried gas mains under the road, and connects a polyethylene service pipe to retrieve gas from the mains, by remote control from the surface.

① 緒 言

1.1 背 景

従来より都市ガス配管における供給管取り出しの非開削工法は、道路に埋設された本支管近傍に推進機設置用のピットを掘り、この道路側ピット内から引き込み家庭側に掘進した推進ヘッド先端に供給管を接続し、推進ヘッドを引き戻すことによって供給管を本支管のところまで引き込み、エレクトロフュージョン継手などを用いて接続作業を行う方法が実施されている^{1), 2)}。この方法では推進機を設置し、本支管と供給管の接続作業をするための比較的大きなピットを道路に掘削する必要がある。また方向修正機能を有していない推進工具を使用する場合は、引き込み側にも縦孔を掘削しなければならないといった課題があった。そこで、引き込み側の地上に設置した小型推進機から発進して、道路に埋設された本支管まで掘削し、この掘削孔から供給管と接続装置を送り込み、遠隔操作にて本支管と接続する工法を考案し、開発中である。これまでに主要な要素技術の開発を終え、本年度は一連の工程を実験して、装置としての完成度を高めることに取り組んでいる。本報告では、開発工法の内容を紹介する。

なお本開発は、経済産業省が（社）日本ガス協会に委託し、技術開発を実施している「ガス導管漏えい対策技術開発事業」（事業期間：平成10年度～15年度）成果の一部である。

1.2 非開削工法の目標仕様

表1に開発工法の目標仕様を示す。

表1 開発工法目標

Table 1 Targeted scope of specifications.

項 目	目 標 仕 様
適用本支管（PE管）	呼び 75A, 100A, 150A, 200A
適用供給管（PE管）	呼び30A, 50A
最大施工延長	10m程度
推進（作業）条件	民有地側地上から推進、管接合などの作業を実施
推進機の寸法、質量	・寸法：1m ³ 程度 ・質量：作業員2名で運べる質量（50kg程度）。ただし、組立パーツで検討

開発期間では主な適用対象を150A本支管と30A供給管に限定して要素技術の開発、評価実験を行ってきた。

② 非開削工法のイメージ

図1に開発工法のイメージを示す。引き込み側地上から掘進して、地中空間で供給管の本支管への接合を実現するためには、以下のような課題がある。

- ・本支管の接続位置に対し高精度に位置の合った掘削孔を形成すること。
- ・地中の限られた空間で接合が行えること
- ・本支管表面が汚れていても接合可能であること（ガ

* 日立金属株式会社 桑名工場

** 日立金属株式会社 生産システム研究所

*** 日立金属株式会社 先端エレクトロニクス研究所

* Kuwana Works, Hitachi Metals, Ltd.

** Production System Laboratory, Hitachi Metals, Ltd.

*** Advanced Electronics Research Laboratory, Hitachi Metals, Ltd.

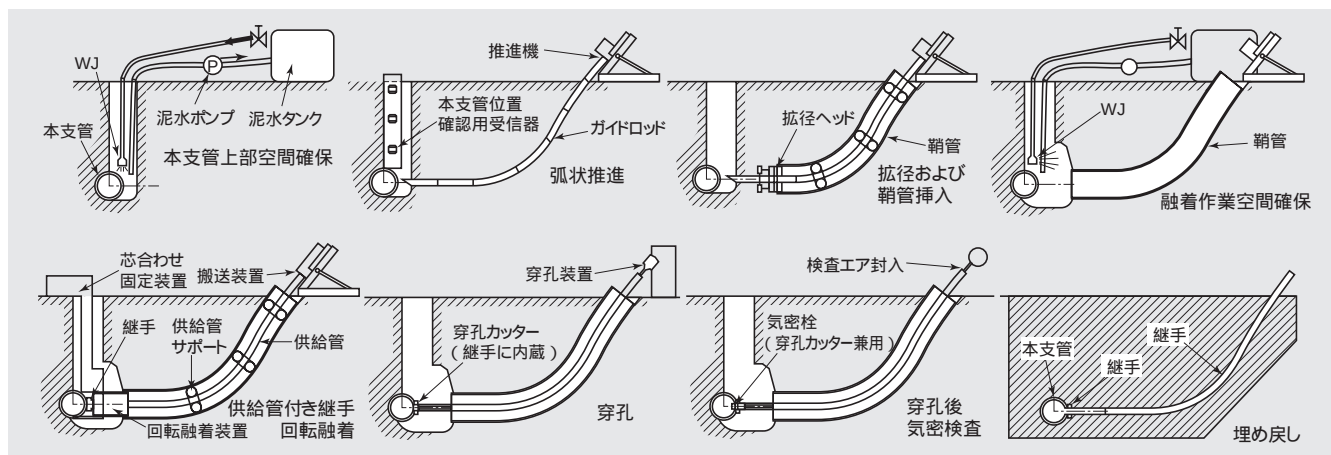


図1 開発工法の作業工程

Fig. 1 Developed method process flow.

リエチレン管での融着接合方式では、管表面の清浄作業が接合強度に大きな影響を与えるため）

これらの課題を解決するため、掘削は方向修正が比較的容易な小口径ドリルの誘導推進を行った後、接続装置の送り込みに必要な口径に拡大する2工程で行うこととした。また、接合方式は、回転により摩擦熱を発生させて融着する方式を採用した。

以下イメージ図の工法実現のため取り組んできた要素技術を述べる。

③ 小孔掘削・本支管付近空間生成技術

本支管上部にオーガと方向調整可能なウォータージェットを用いて小口径（200mm程度）の縦小孔を開ける。本小孔は本支管の正確な深度確認、推進ドリルを誘導するための受信器の設置、および回転融着装置の芯合わせ固定装置の挿入に利用する。ウォータージェットノズルには土や砂などの異物のつまりにくい構造のものを選定した。図2にオーガによる縦小孔の掘削状況と、巡回型放水ノズルによる本支管付近の掘削状況を示す。

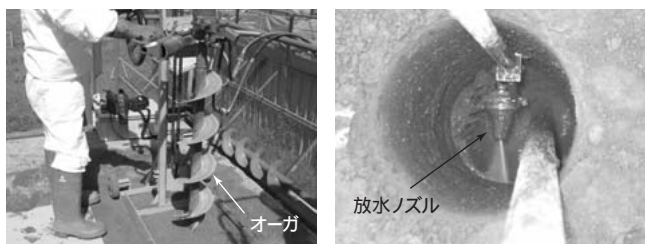


図2 オーガと放水ノズルによる縦小孔掘削状況

Fig. 2 Vertical excavation with auger and waterjet.

④ 弧状推進技術

4.1 推進機

図3に試作した推進機を示す。主な特長を下記する。

- ・小口径ドリル誘導推進と拡張推進の2つの掘削工程に対応可能な構造とした。
- ・アルミ合金を多用して軽量化するとともに、地上推進を可能とする固定機構を装備した。
- ・設置面積を小さくし、油圧配管脱着の容易化を図るため、比例電磁弁を採用してバルブと配管を推進機

と一体化するとともに遠隔操作化を図った。

4.2 推進ヘッドと推進ロッド

図3に小口径ドリル推進用の推進ヘッドと推進ロッドの外観を示す。推進ヘッドは推進方向を修正できるように、先端は傾斜構造をしている。また、位置検知用の小型発信器が内蔵可能な構造になっている。弧状推進時の曲率半径と推進抵抗を小さくするため、極力小型化を図った。外径は50mm、全長は370mmであり、土質に応じて先端の面板を交換できる構造とした。

推進ロッドは短尺のユニットを交互に直交するピンで接続した構造により、任意の方向に曲ることができる。外径は44mm、1本の長さは422mmであり、推進距離に応じて連結して用いる。推進ロッドは、拡張掘削時には拡張ヘッドの摺（しゅう）動ガイドとなるだけでなく、拡張ヘッドに回転トルクを伝達する役割を担う。そのため表面に面取り加工を施し、連結部は接続しても面取り部の位相が一致する構造にした。



図3 推進機および推進ヘッドと推進ロッド

Fig. 3 Drilling machine, bore head, and bore rod.

⑤ 本支管への誘導システム

5.1 誘導システムの構成

推進機には推進計画線と計測した実推進軌跡を表示し、作業者の推進操作を支援する機能を装備している。

目標最大推進距離10mにわたって推進ヘッドの位置を精度良く検出するため、開発工法では図4に示した構成の誘導システムを構築した。

推進ヘッドには傾斜角と回転角のセンサを備え、その情報を交流磁界に重畳送信する発信器を内蔵している。推進初期には、推進機側受信器で受信したヘッドの傾きと変位センサの推進量を積算して推進ヘッドの位置を求

める。推進ヘッドが本支管に接近してからは、本支管側3軸コイル受信器の検出値で本支管からの距離、接近方向を推定して推進ヘッドを誘導するものである。以下に内容を詳述する。

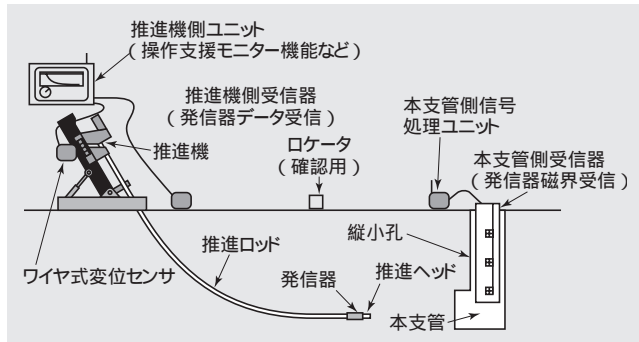


図4 誘導システムの構成

Fig. 4 Guiding system configuration.

5.2 本支管側信号処理ユニット

図5に本支管側信号処理ユニットの構成を示す。本支管上縦小孔に設置する本支管側受信器とデータ処理装置から成る。発信器が発する磁界を3個の3軸コイルで検出し、9個のコイルの検出電圧から最小自乗法を使って推進ヘッドの位置を計算する。

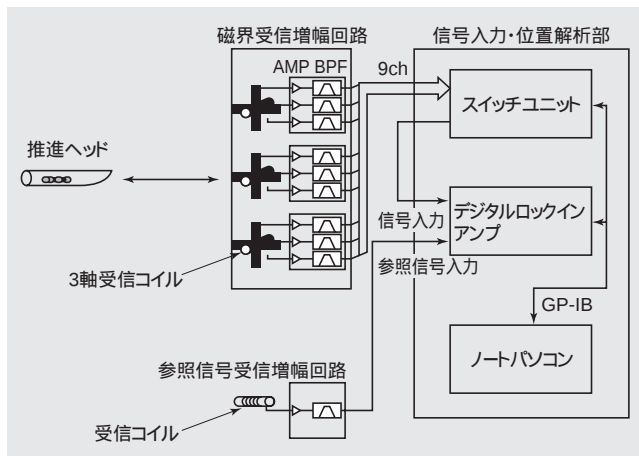


図5 本支管側信号処理ユニットの構成

Fig. 5 Configuration of signal processing unit on gas main site.

また、データの精度向上を図るとともに外来電磁雑音の影響を低減する磁界受信増幅回路を組み込んだ。さらに微小信号の検知を可能とするため、ロックインアンプを採用した。

5.3 推進機側ユニット

推進機側ユニットは、推進機に装着した変位センサと推進ヘッド内発信器のセンサデータを受信解析する受信器、およびこれらのデータを収集するコンピュータで構成される。推進作業時には、推進ヘッドの軌跡を計算し、作業者の方向修正操作を支援する。また、本支管側信号処理ユニットが推定した推進ヘッドの位置データを取得し、モニター表示する。図6に推進作業中のコンピュータの表示画面を例示した。

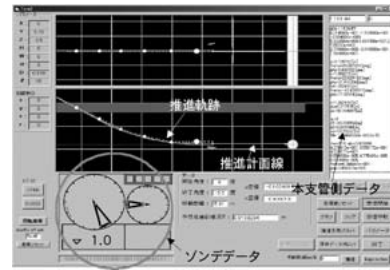


図6 推進操作支援のモニター画面

Fig. 6 Monitor to assist in propulsion control.

6 拡径推進技術

図7に拡径工具の構造を示す。拡径工具は先端の拡径ヘッド、拡径ヘッドに推進機からの推力を伝達する押し具で構成される。

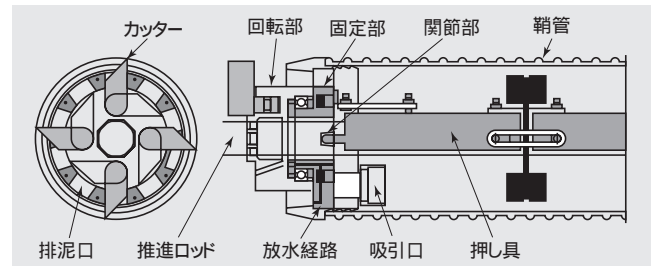


図7 拡径工具の構造

Fig. 7 Structure of boring tool.

拡径ヘッドは回転駆動力を推進ロッドから受け、推進ロッドをガイドにして摺動する機構とした。拡径ヘッド前面には噴流水の放水口と回転刃（カッター）を有しており、回転刃と噴流水で泥状化した土を吸引排出することで掘削孔を拡大する。また、拡径ヘッドは前進時に鞘（さや）管を引き込みながら掘進する。拡径後には引き込んだ鞘管を地中に残して推進ロッドや拡径工具を回収するため、回転刃は回転方向に応じて拡大、縮径する構造になっている。

図8に拡径ヘッドと押し具の推進機への装着状況を示す。拡径された空間での推進ロッドの回転振れを抑制するため、押し具の連結部には鞘管内面を利用して推進ロッドを支持するリング状アタッチメントを設けている。

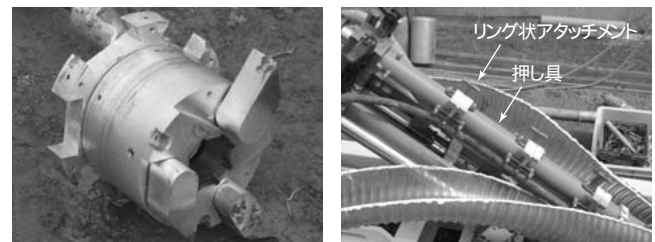


図8 拡径ヘッドと押し具の装着状況

Fig. 8 Installed boring head and thrust tool.

7 回転融着技術

7.1 回転融着の基本工程

図9に基本工程を示す。継手を回転させながら、融着対象管に押しつけることで、摩擦熱を発生させる。熱が発生するまでは、接触面が少しずつ削り取られることにより管表面の汚れや酸化膜が除去される。そして摩擦熱が発生して、溶融層が生成され、溶融層がある程度広が

ったところで、回転を停止させ、加圧保持して冷却する。

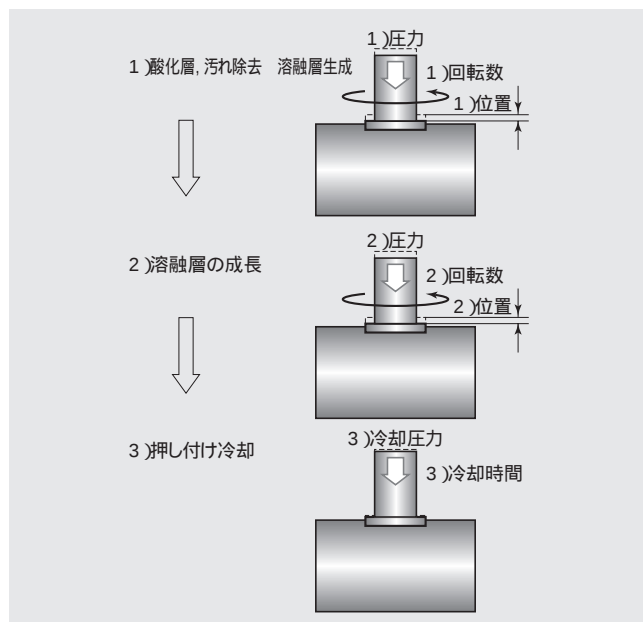


図9 回転融着の基本工程
Fig. 9 Rotational fusion process.

7.2 回転融着用継手および融着制御条件

遠隔での接合のため、供給管も一緒に回転させる必要があり、回転数は実験により最大300rpmとした。

最適継手形状と融着条件を決定するため、タグチメソッドを用いた。タグチメソッドは、多くの特性の評価値に対するバラツキの影響をSN比という1つの値で表現でき、変動要因を組み合わせた直交表を用いて、それぞれの因子の影響を一度に調べることができ、評価の時間短縮と定量化ができる。

第1段階として継手形状と融着条件の組み合わせでの評価を行った。図10に示すように継手形状に関する因子を3つ、融着条件に関する因子を5つ設定し、タグチメソッドに従った条件の組み合わせで評価実験を行った。評価はポリエチレン管の寿命評価方法として広く用いられ、信頼性の高い熱間内圧クリープ試験での漏れ発生までの時間でいった。SN比の計算は、強度と安定性の評価ができる望大特性で計算を行った。第1段階では、この結果をもとに継手形状を決めた。

第2段階ではより安定した融着条件を求めることを主眼として、溶融層生成、溶融層成長、冷却の3ステップ

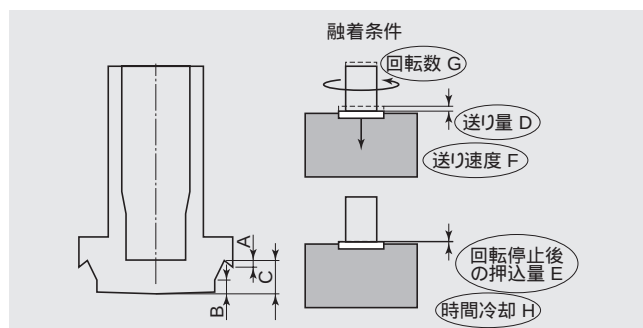


図10 第1段階での形状と融着条件の因子
Fig. 10 Shape and fusion factors during step 1.

プでの融着制御条件で、評価実験を行い、最適な融着条件の組み合わせを決めた。

本評価結果より開発した継手を図11に示す。



図11 開発した継手の外観
Fig. 11 External appearance of fitting.

8 回転融着装置

8.1 基本構想（概念設計）

地中に回転融着できる装置を持ち込みが可能で、地上から遠隔で操作を行えること、および地中への送り込みや形成された空間の内径や曲がり半径を考慮して、設計条件を以下のように定めた。

- ・ 内径φ165mmの鞘管内を通過できるサイズ
- ・ 回転に必要なトルクは、種々の実験より15Nm
- ・ 回転融着中の押し付け力を発生させる構造
- ・ 回転融着完了後、装置を地上に引き戻せること
- ・ 本支管に対して、芯合わせおよび固定できること

これらの条件を考慮して検討した結果、遠隔回転融着装置は図12に示すような基本構造とした。また、本支管との芯合わせ固定装置の構想図を図13に示す。

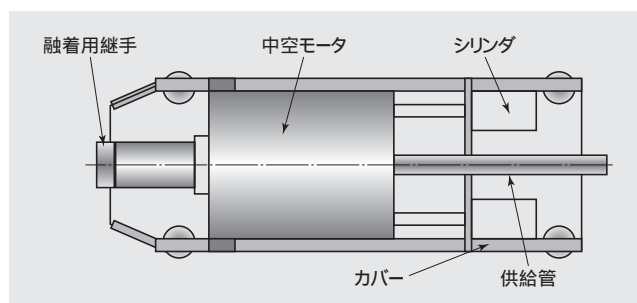


図12 遠隔回転融着装置の基本構造図
Fig. 12 Structure of remote-control rotational fusion equipment.

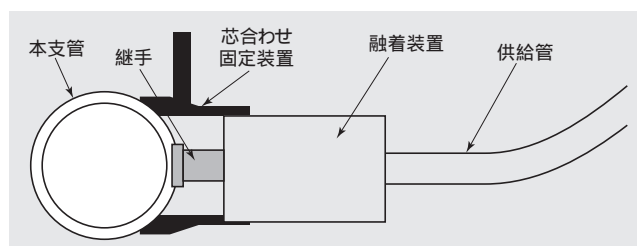


図13 芯合わせ固定装置の構想図
Fig. 13 Conceptual sketch of axial-alignment fixture.

8.2 詳細設計

回転融着中の押し付け力を得る機構には、空間的な制約と発生力から、空圧シリンダを使用することとした。シリンダを3個、押し込み量測定用変位センサを1個、モータ後部に配置した。

回転機構には、空間的な制約から供給管に対して、同心円で回転可能な構造として、中空軸を用いた。またモ

ータは、遠隔での操作と回転数の制御性から電気式モータとした。

モータの仕様を以下に示す。

- ・モータ最大外径：φ150mm
- ・中空軸径：φ50mm
- ・モータ長さ：200mm程度
- ・回転数：最大300rpm（可変）
- ・トルク：15Nm以上
- ・防水構造

回転融着用継手とモータ回転軸の接続は、モータからの回転力を継手に伝達でき、かつ、融着完了後は、遠隔で容易に取り外せる構造でなければならない。そこで、回転軸先端にピンを取り付け、継手鐐（つば）部には、このピンが差し込める穴を設けた。この穴とピンが勘合することにより回転力を伝達し、融着完了後には、回転軸を引き戻すことのみで、継手との切り離しができるようにした。また、鞘管内の搬送中に供給管が押され回転融着用継手が、ピンからはずれないようにするため、回転融着装置後端部に供給管をクランプする機構も追加した。

回転融着を行うためには、継手部を回転させながら、押し付けを行う必要がある。このため、モータハウジング部にガイド溝を設け、スライドが可能な構造とした。図14に遠隔回転融着装置の外観写真を示す。

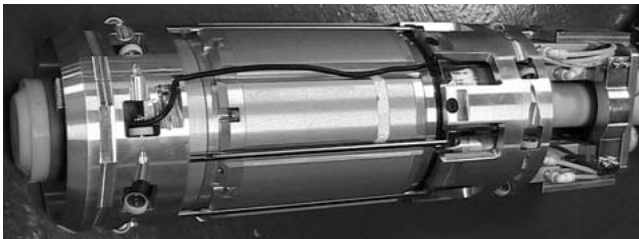


図14 遠隔回転融着装置の外観

Fig. 14 External appearance of remote-controllable rotational fusion equipment.

8.3 芯合わせ固定装置

本支管付近へ形成された孔は、本支管の軸心に対して、法線方向になることは難しく、地中に送り込んだ遠隔回転融着装置を本支管へ芯合わせして接合することは容易ではない。この問題を解決するため、遠隔回転融着装置を地中で把持して、本支管に対して自由に移動でき、かつ、遠隔回転融着装置を固定する機構（芯合わせ固定装置）を開発した。

地上部から本支管へ形成する孔径はできる限り小さく

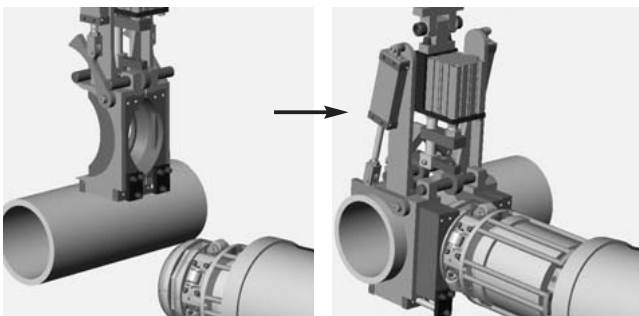


図15 芯合わせ固定装置の動作イメージ

Fig. 15 Axial-alignment fixture in motion.

する必要がある。芯合わせ固定装置は、リンク機構で把持部の開閉ができ、挿入、引き戻しの際は縮径する構造にし、φ200mmの孔を通過できるようにした。図15に動作イメージを示す。位置合わせでは、芯ずれ量が40mm程度までは、補正可能である。

また、遠隔回転融着装置の送り込みには、供給管の回転をローラで支持し、ロッド接続ができる治具を連結して、送り込みおよび引き戻しが可能な搬送装置も開発した。

9 評価実験

開発した各要素技術の装置、機器を使用して一連の工程を実験し、工法の評価を行っている。以下にその一例を示す。

9.1 実験条件・内容

図16に実験土槽での実験状況を示す。土質は十分突き固めた粘性土であり、硬度はNd値で9～21である。接続対象の本支管は呼び径150AのPE管である。表2に実験条件を示した。

表2 実験条件

Table 2 Experimental conditions.

項 目	条 件
本支管までの水平距離	3.73m
本支管の深さ	0.99m
推進機の進入角度	35度



図16 実験場全景

Fig. 16 Test-site.

9.2 推進ロッド弧状推進

図17に実験状況を示す。推進ヘッドの誘導は開発した誘導システムと、補助に地表から発信器の位置、深さを計測するロケータを使用して行った。

推進軌跡から計算した最小曲率半径は2.2mであった。本支管到達深度は1.01mで目標より25mm下方であり、芯合わせ固定装置の補正可能範囲の精度で誘導ができた。

9.3 拡張および鞘管引き込み

前記推進ロッドに拡張ヘッドを装着して鞘管引き込み拡張推進を行った。鞘管は内径165mm、外径184mmの塩化ビニル製ホースを軸方向に半割切断したものである。地中への進入に合わせ、鋼製バンドで締結した。

図18に実験状況と、拡張推進完了後に拡張ヘッドや推進ロッド類を回収して鞘管が地中に残った状況を示した。

掘削完了後、回転式放水ノズルを用いて本支管付近の空間を拡大する作業を行った。

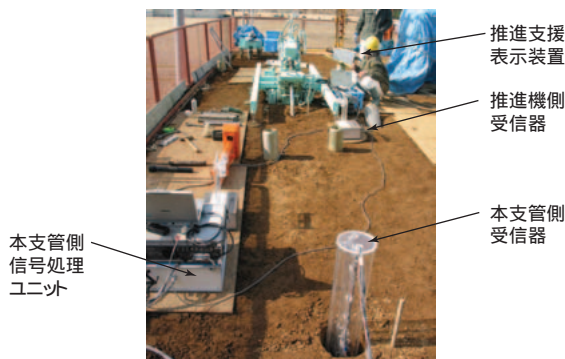


図17 推進ロッドの推進状況
Fig. 17 Propulsion rod in motion.



図18 鞘管引き込み拡張推進の状況と敷設した鞘管
Fig. 18 Sheath pipe in boring, propulsion, and laid conditions.

9.4 融着接合

本支管および鞘管と本支管付近の空間に、供給管付き継手をセットした遠隔回転融着装置を挿入して、本支管に対し芯合わせおよび固定を行い、融着接合を行った。図19に芯合わせと融着中の状況、および融着後の接合状況を示す。本作業において地中に埋設した本支管は泥が付着したままである。

融着接合後、土槽より取り出して熱管内圧クリープ試験などにより評価試験を行い、接合性能を満足することを確認している。

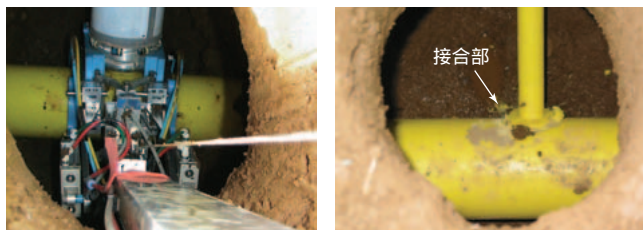


図19 回転融着中と融着後の接合部の状況
Fig. 19 Joint conditions during and after rotational fusion.

10 結 言

本開発では、引き込み家庭側から遠隔回転融着法を使用して道路下の本支管に接続する供給管取り出し非開削工法を考案し、試作評価した。その結果、本工法を用いれば、遠隔でかつ地中での融着が可能であることが確認できた。今後はフィールド試験やテスト施工を通して、回転融着技術のさらなる向上を図っていく。

（社）日本ガス協会のガス導管漏洩対策技術開発特別委員会メンバーの東京工業大学 渡邊隆名誉教授、東京大学 新井民夫教授、国土館大学 金成英夫教授、電気通

信大学 荒井郁男教授、（社）日本下水道管渠推進技術協会 石橋信利前常務理事には、本開発を行うにあたり有益なご指導を賜った。

また、（社）日本ガス協会 中内啓雅氏、中島浩氏、飯塚健二氏、ワーキングメンバーとして参加しておられる、東京ガス株式会社 若狭匡輔氏、猪股渉氏、大阪ガス株式会社 森崎弘康氏、東邦ガス株式会社 深津彰省氏、西部ガス株式会社 泉泰則氏には有益な助言をいただいた。

参考文献

- 1) 福島, 猪股: “東京ガスにおける非開削技術への取り組み”, アーバンインフラ・テクノロジー推進会議技術研究発表論文集9th (1998), p.129
- 2) 淵元: “ガス供給管非開削敷設・入替工法 (SPモール工法) の開発”, 配管・装置・プラント技術, 37 (1997), 6, p.4
- 3) 矢野宏: おはなし品質工学, 日本規格協会, p111
- 4) JIS K6775 ガス用ポリエチレン管継手, 日本規格協会



小宮道継
Michitsugu Komiya
日立金属株式会社 桑名工場



石部文和
Fumikazu Ishibe
日立金属株式会社 桑名工場



木村洋一
Yoichi Kimura
日立金属株式会社 生産システム研究所



福田 徹
Toru Fukuda
日立金属株式会社 生産システム研究所



香川理人
Rihito Kagawa
日立金属株式会社 生産システム研究所



下江 治
Osamu Shimoe
日立金属株式会社 先端エレクトロニクス研究所