

大幅に適用領域を拡大したリバーサースエースシステム “領域拡大した技術と新たな領域拡大に向けた取組み”

キーワード

改築推進、回転破碎、既設管充填式、鋼製カラー、塩ビ管推進、曲線推進

武村 秀

TAKEMURA Hiizu

エースモール工法協会
(アイレック技建(株)・本誌編集委員)



1. はじめに

リバーサースエースシステムは、切削破碎推進工法（既設管充填式）圧送排土方式に分類される改築推進工法で、既設管に大きなたまりや段差及び抜けがあっても当初の線形通りに新設管を敷設できることから、再構築工事及び東日本大震災の復旧工事を中心に幅広く採用されている。

本システムは、下水道管路等の新管敷設で実績があるエースモール工法の固有技術をベースに平成15年頃に開発を着手し、既設の鉄筋コンクリート管の鉄筋を効率的に破碎するための特殊カッタヘッドの開発を中心に、技術資料及び積算資料を編纂・制定し平成18年にリバーサースエースシステム研究会を発足して導入を図った。

平成25年7月現在の施工実績は、53区間、約2.7kmの推進延長となっており、震災復旧工事は2.0kmで、現在も宮城県を中心に施工中である。改築推進装置を写真-1に示す。



写真-1 システム

本稿では、今年度から既設管種等の標準適用領域を拡大した技術内容とその施工事例、現場の課題に対する特殊施工事例、新たな領域拡大に向けた開発の取組みについて説明する。

2. リバーサースエースシステムの適用領域拡大

2-1 リバーサースエースシステムの特長

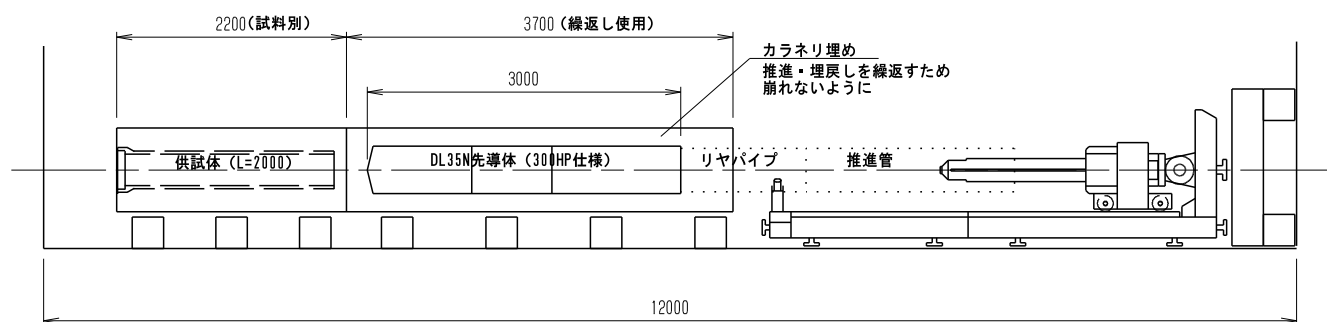
リバーサースエースシステムの主な特長を以下に示す。

- ・既設管の口径によらず、新設管の口径を呼び径700まで拡大することが可能である。
- ・既設管の上下方向のたまり、逆勾配、継手のズレ等があっても修復することが可能である。
- ・鉄筋コンクリート管、塩化ビニル管、ポリエチレン管、陶管等の幅広い管種の改築推進が可能である。
- ・既設マンホールの通過が可能で、最大150m程度までの改築推進が可能である。

2-2 適用既設管種の拡大

平成18年の導入時の適用既設管種は、鉄筋コンクリート管、塩化ビニル管、陶管で共に開削用に限定していたが、平成21年にSUSカラー継手の推進管まで適用を拡大した。しかし、日本下水道協会規格(JSWS A-6)以前の鉄筋コンクリート管の接合は、鋼製カラーとゴム輪となっており、従来の特殊カッタヘッドでは破碎が不可能であった。また、開削用鉄筋コンクリート管であっても写真-2に示すように既設管周辺をコンクリート（無筋）で巻き付けてある場合は、極端な能率低下に陥る場合もあった。

従来の特殊カッタヘッドはギア型の形状をしたタイ



図－1 実験概要図



写真－2 巻きコンクリート



写真－4 実験実施状況



写真－3 磨耗したギア型カッタヘッド

で、鉄筋の破断には効果的であったが、鋼製カラーやコンクリート塊を破碎するには適しておらず、写真－3に示すように磨耗が激しく、推進能率が極端に低下する状況であった。そのため、これらの課題をクリアするためのカッタヘッドの改良が必要不可欠であった。

改良に当っては、鉄筋の破断能力を維持しつつ鋼製カラーの破碎能力の強化、巻きコンクリート（無筋）

の破碎効率の向上、カッタヘッドの耐磨耗性の向上、推進能率の向上を目的に特殊カッタヘッドの改良に取り組んだ。

まずは、鋼製カラーで接続した鉄筋コンクリート管を供試体として地上で改築推進機により破碎、切削を行い、最適な特殊カッタヘッドの選定を行った。図－1に実験概要図と写真－4に実験の状況を示す。

特殊カッタヘッドのビットをギアタイプからコーンタイプに変更すると共にビットに配列されている超硬チップをノミ型に変更し、放射状に直列に配置した。改良した特殊カッタヘッドを写真－5に示す。その結果、鉄筋の破断はギアタイプの能力を維持し、破碎効率は大幅に改善された。ノミ型チップのカッタヘッドで切削、破碎した鉄筋及び鋼製カラーを写真－6と写真－7に示す。

カッタビットの磨耗に関しては、従来型と比べ1m当りの磨耗量を1/7程度まで抑えることができ、推進能率（推進速度）に関しても、2倍程度まで向上させることができた。リバースエースシステムの標準的な適用領域を表－1に示す。



写真-5 改良した特殊カッターヘッド



写真-6 破碎した鉄筋



写真-7 破碎した鋼製カラー

基礎はコンクリートでも可能であるが、基礎コンクリートに鉄筋が配置されている場合は、鉄筋径、ピッチ、基礎の大きさ及び推進長等により適用の可否検討が必要である。更に、周辺地盤条件においても、岩盤及び軟弱地盤の場合は補助工法等の要否検討が必要である。

表-1 標準適用領域

既設管	管種	鉄筋コンクリート管 (開削用, 推進用〔SUS・鋼製カラー〕) レジンコンクリート管 (開削用, 推進用〔SUS・鋼製カラー〕) 塩化ビニル管 (開削用, 推進用) 開削用陶管 ポリエチレン管
	呼び径	～700
	基礎	砂, 碎石, 枕木, コンクリート
	状態	目地・段差・ズレ等の影響を受けない
新設管	管種	推進用鉄筋コンクリート管 推進用レジンコンクリート管 推進用鋼管 推進用ダクタイル管
	呼び径	250～700 (推進用鉄筋コンクリート管の場合) ※既設管径によらず任意に口径拡大が可能
施工長		既設管が 開削用管：最大150m程度 推進用管：最大100m程度 (鋼製カラーで接続されている場合は最大65mまで)
土被り		2mから6m程度 ※水替工が不要でプリズム使用の場合は土被りの制限無し
推進曲率半径		最大100m程度
周辺地盤の条件		全ての地盤で適用可能

3. 施工事例

3-1 推進用鉄筋コンクリート管（鋼製カラー継手）の改築推進

工事概要を以下に示す。

既 設 管：φ250mm鉄筋コンクリート管
(鋼製カラー継手)

新 設 管：φ250mm鉄筋コンクリート管
改築推進延長：L = 207.5m (2スパン)

施工時期：平成24年12月

本工事は、東日本大震災の液状化現象により破損した推進用鉄筋コンクリート管を切削破碎推進工法で発注された。設計時点では既設管路の種類が不明であり、立坑築造時において鋼製カラーが確認された。鋼製カラーでの標準適用推進長は65mであるが、これを超える推進長であるため、通過人孔(1号)部でカッターヘッドの交換を実施した。また、通過する既設人孔間を結ぶと直線とならないことが判明したため、緩やかな曲線推進に変更した。推進線形概要を図-2に示す。

推進途上において、周辺地盤が想定以上に緩い土質であったことから、先導体のローリング発生や掘進機の方方向制御を実施しても先導体が地山側に振られるなど、推進基線を確保するために、時間を掛けて方向制

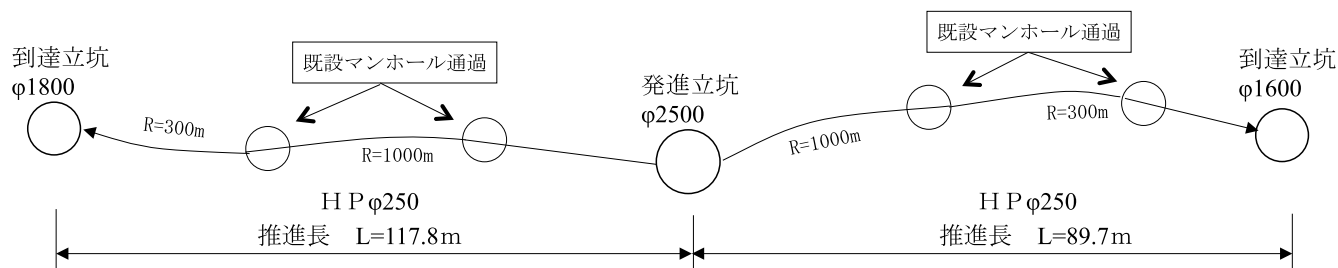


図-2 推進線形概要図



写真-8 初期推進の状況



写真-9 鋼製カラーの切断片



写真-10 到達後のカッタヘッドの状況

御をする必要があった。その結果、所定の精度で到達することができた。初期推進の状況を写真-8に、鋼製カラーの切断片を写真-9に、到達時のカッタヘッドの状況を写真-10に示す。

3-2 開削用鉄筋コンクリート管

(防護コンクリート：有筋)の改築推進

工事概要を以下に示す。

既 設 管：φ 300mm鉄筋コンクリート管（開削用）

新 設 管：φ 300mm⇒φ 400mm

鉄筋コンクリート管（変更）

改築推進延長：L = 41.7m（2スパン）

施工時期：平成25年7月

本工事は、東日本大震災の液状化現象により破損した推進用鉄筋コンクリート管を切削破砕推進工法で発注された。平面線形を図-3に示す。

立坑築造時において、既設管は開削用鉄筋コンクリート管であることが判明した。更にφ13mmの鉄筋が配筋された防護コンクリートが360度巻き立てであった。防護コンクリートの断面は560×560mmで、先導体の掘削断面（φ453mm）より大きいことから、先導体が防護コンクリート内で拘束され、カッタトルクの上昇や推進力の上昇による推進停止が懸念された。また、開削用鉄筋コンクリート管は鋼製の受台（t=6mm）により、設置されていることも判明した。防護コンクリート（有筋）の状況を写真-11に、防護コンクリートから出てきた管受台を写真-12に示す。

こうした厳しい条件をクリアするために、下記の対策を講じ、推進を実施した。

- ①防護コンクリート部で先導体が拘束されないように、φ560mm以上の掘削断面とする。（実施掘削外径はφ592mm）



図-3 平面図



写真-11 防護コンクリート（有筋）の状況



写真-13 初期推進の状況



写真-12 防護コンクリートから出てきた管受台



写真-14 到達時のカッタヘッドの状況

- ②先導体は破碎能力の高い、HPφ400用推進機械とする。（カッタトルク能力は2.5倍アップ）
- ③新設管をφ300mmからφ400mmへ口径アップする。
- ④先導体ローリング防止対策として、先導体にプレート部分を設置する。

推進途中では、先導体のローリングが発生したものの、制御できる範囲以内で収まり、ビットの磨耗・欠損もなく所定の精度で完了することができた。初期推進の状況を写真-13に、到達時のカッタヘッドの状況を写真-14に示す。

なお、本事例は防護コンクリート（有筋）部の推進を標準適用領域へと拡大するものではないが、個別に諸条件を検討し、関係各社との協議を十分に実施したうえで、推進の可否等を進めて行くことが重要と考える。

4. 新たな領域拡大に向けた取組み

リバースエースシステムで敷設可能な新設管は、推進用鉄筋コンクリート管・推進用レジンコンクリート管・推進用鋼管・推進用ダクティル管であり、いわゆる高耐荷力管である。しかし、既設管が硬質塩化ビニル管のものは、硬質塩化ビニル管への新設替えやヒューム管から硬質塩化ビニル管への新設替えなどの需要も高まっている。今回は、部分的な領域ではあるが、硬質塩化ビニル管から硬質塩化ビニル管への新設替え技術について、技術的確認ができたので報告する。

低耐荷力管推進工法と同様の技術であり、先導体に掛かる先端抵抗力を排土管に負荷させ、土との周面抵抗を推進管に負担させる機構としている。

初めに、モデル土層実験（2m）により基本事項の確認を行った。検証内容としては、推進力を先端抵抗力と土との周辺抵抗に分散させる装置（推進力分散装置）の機能と強度の確認、及び推進能率の確認である。特に、推進力分散装置が設計どおりに機能するかがポイントであった。モデル実験概況を写真－15に、塩ビ管推進状況を写真－16に示す。

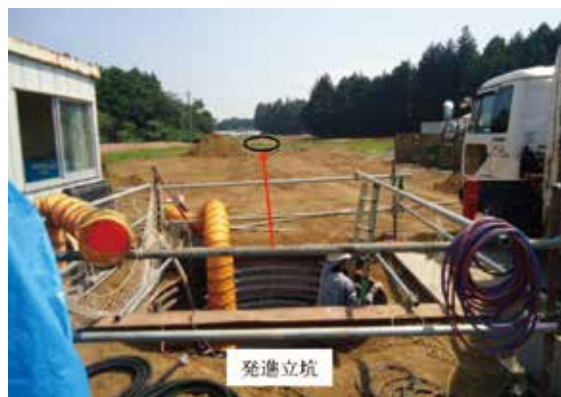
その結果、本装置により総推進力は、先端抵抗力を排土管に、周辺抵抗を推進管に分散することが確認できた。また、設計推進力以上に推進力が掛かった場合に、推進管へ負荷が掛からないことも確認できた。

推進能率については、想定より若干低い結果となったものの、硬質塩化ビニル管への新設替えは、十分に施工可能であることを確認したので、次のステップへ進むことにした。

次に、フィールド実験（30m）において、モデル実験で得た検証内容のフィールドでの再検証と管周面抵抗値の推移など推進特性の検証を行った。フィールドでの実験状況を写真－17～20に示す。



写真－15 モデル実験概況



写真－17 フィールド実験全景



写真－16 塩ビ管推進状況（モデル実験）



写真－18 既設管の坑口状況（フィールド実験）



写真-19 推進状況（フィールド実験）



写真-21 元押部の推進力分散装置



写真-20 推進中の塩ビ管内の状況

モデル実験と同様に推進力の分散装置については、30mのフィールドにおいても問題なく機能を発揮した。元押部の推力分散装置を写真-21に示す。管周面抵抗値については、 $\phi 350\text{mm}$ の硬質塩化ビニル管の総推力（先導体除く）が30mで42kNであったことから、土と管の周面摩擦力は $f_0 = 1.4\text{kN/m}$ となる。従って、外面抵抗力は $R = 1.2\text{kN/m}^2$ ($f_0/S = 1.4/1.16$)となり、低推進力での推進が可能であることが確認できた。また、推進能率に関しては、推進速度が平均で5cm/分で推移しており、高能率での推進に期待できる数値である。推進特性を図-4に示す。

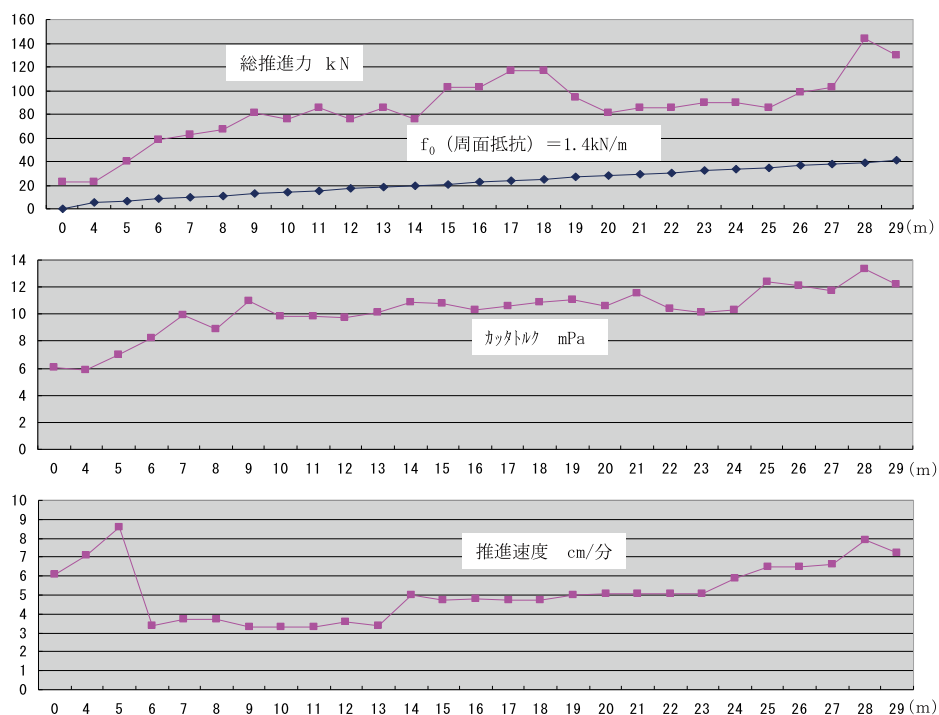


図-3 推進特性

今後は、部分導入に向けた標準適用領域の策定と更にステップアップを図り、ヒューム管から硬質塩化ビニル管への新設替えの開発へと進めて行きたい。

5. 現状の課題と今後の展望

改築推進工法は、通常（新設）の推進工法とは異なり、既設管の状況により施工管理が大きく左右される。そのため、設計段階での既設管の事前調査が重要となり、以下の調査が必要である。

- ・既設管の種類、管径及び埋設状況（開削施工、非開削施工、継手構造、基礎等）
- ・既設管の老朽、損傷状況（たるみ、段差、離脱、蛇行等）及び修繕・更生履歴
- ・取付管の有無、管種、管径、延長及び本管への取付位置
- ・仮排水処理区域と期間、排水処理量、仮排水方法

従来のカッターヘッドでは、写真-3に示した既設管周辺をコンクリートで巻き付けた基礎でも改築推進が不能となった場合もあったが、今回の改良により、鋼製カラー継手の鉄筋コンクリート管のみならず、鉄筋コンクリートで巻き付けた基礎であっても、鉄筋径、ピッチ、基礎の大きさ及び推進長等の諸条件を確認した上ではあるが、改築推進を可能とした。

しかし、現状は

- ・既設管が鋼管及びダクタイル鋳鉄管等の鋼製管の場合は、現在のカッターヘッドでは破碎、切削が不可能で適用に制限がある。
- ・既設管を破碎しながらの推進となるため、通常の推進と異なり推進線形を確保するためには、熟練したオペレータによる極め細やか推進制御が求められる。等、ハード面及びソフト面の両面で解決すべき課題がまだまだ残されている。

切削不可能な鋼製管への対応のハード面の課題については、特殊カッターヘッドの更なる改良により、ダクタイル鋳鉄管の切削を実験確認中である。また、新設管の適用も高耐荷力管に限定されているため、推進用の硬質塩化ビニル管等、低耐荷力管への適用拡大を本格導入に向け、実施していく予定である。

推進制御等のソフト面での課題については、これまでの2.7kmの推進データに基づき、施工時の留意点

を取り纏め、推進会社（オペレータ）及び施工管理会社との施工前の危険予知（KY）会議により、推進制御方法及び推進施工管理方法について協議し、推進精度の確保に努めているが、個々の現場における課題を早期に解決して行くことが重要である。

6. おわりに

リバースエースシステムは、導入して7年目の新しい改築推進工法で、今回の技術改良により鋼製カラー継手の推進管まで破碎、切削が可能となり、既設管種の適用を大幅に拡大することができた。しかし、本文でも述べたように既設管を破碎しながら推進していくことから施工前に確認できていない不明物等に衝突し、施工面でのリスクが大きくなる場合があることから、設計段階及び施工着手前に既設管と既設管周辺の状況を十分に把握することが最も重要である。

また、東日本大震災の液状化現象により破損した下水管の改築推進においては、周辺土質が非常にゆるい地盤であるため、補助工法による対応が必要となる場合も発生している。更に、改築推進で必要不可欠な技術である仮排水設備についても、改築推進工期に大きく左右されることから、費用が増大している場合も見受けられる。

今後、急激に増大化していく老朽管を効果的に再構築して行く上で、改築推進技術の必要性が大幅に増大して行くものと思われる。そのためには、上述したように事前調査・水替え技術・改築推進技術が三位一体となり、共通の課題として解決して行く必要がある。

最後に、インフラ設備の効率的な維持管理に貢献して行くために、現場の課題解決に向けた改良改善と技術開発を更に押し進めて行く予定である。

【参考文献】

- 1) (公社)日本推進技術協会：推進工法用設計積算要領（改築推進工法編）20013年改訂版
- 2) (公社)日本推進技術協会：月刊推進技術 Vol.26 No.27 2013
- 3) エースモール工法協会：リバースエースシステム技術・積算資料