

# 小口径管推進工法のコスト変革 “次世代エースモール”

堤 志信<sup>1</sup>・宮崎 恭一<sup>2</sup>・日野 英則<sup>3</sup>

<sup>1</sup>NTTアクセスサービスシステム研究所 システムプロジェクト 研究主任 (〒305-0085 茨城県つくば市花畑1-7-1)

<sup>2</sup>NTTアクセスサービスシステム研究所 システムプロジェクト (〒305-0085 茨城県つくば市花畑1-7-1)

<sup>3</sup>正会員 NTTアクセスサービスシステム研究所 システムプロジェクト 主幹研究員 (〒305-0085 茨城県つくば市花畑1-7-1)

開削工法による地下ライフラインの管理設工事における、コスト上昇、環境負荷増大の問題を抜本的に解決するために、管理設工事の完全非開削化を目指した小口径管推進工法「次世代エースモール」を開発、実用化した。

次世代エースモールは、世界初の動的圧入推進技術の中核技術としたさまざまな新技術により、高速化、省スペース化、自動化を実現し、開削工法と同等程度までの低コスト化と、これまでの非開削工法の普及拡大にあたってのさまざまな阻害要因を解消した。これにより、地下ライフライン建設にコスト革命をもたらすとともに、労働問題や環境問題に対しても大きな改革をもたらす工法として期待できる。

**キーワード：小口径管推進工法、動的圧入推進、高耐力小型立坑、ロボット化技術、連続位置検**

## 1. はじめに

地下ライフラインの管理設工事では道路の掘削を伴う開削工法の適用が大部分を占めているが、都市部では工事に対するさまざまな規制により施工コストの上昇を招いている。開削工法は、掘削にかかわる工程が工事の大部分を占めるため、今後、工事に対する制約がますます厳しくなる中で、抜本的なコスト低減はほとんど望むことができず、事業者さらにはサービスの利用者自身が将来にわたって多額の費用負担を強いられることとなる。

また、開削工事がもたらす交通渋滞によるエネルギー資源や時間の損失、大気汚染や廃棄物の発生等により、個人や地域社会・自然環境に対する負荷が増大し、その解決のために社会が負担するコストの増加が新たな問題としてクローズアップされている。こうした問題を解決するため、管路埋設工事の低コスト化と自然環境・地域環境におよぼす影響を減少する非開削工法の開発・普及が求められていた。

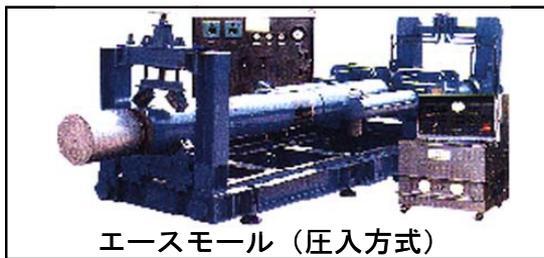
こうした問題を解決するために、NTTでは、電気通信用管路設備の建設に適用する技術として、これまでに「エースモール」を独自に開発し普及を図ってきた。現在では電気通信工事のみばかりでなく、下水道、上水道、電力等のライフライン管路埋設工事にも適用が拡大されており、その建設総延長は650 Kmを超える施工実績がある。しかし、現在までのエースモールは、工事費が開削工法と比較して必ずしも経済的でないことや、工法適用の制限があることなどから、管路建設工事全体に占める適用割

合は低く、十分な普及が図られていないというのが現状である。

一般に小口径管推進工法には、掘削排土推進方式（以下、掘削方式という）と無排土圧入推進方式（以下、圧入方式という）があるが、現状では適用土質範囲の広い掘削方式が多く適用されている。しかし、掘削方式は土の掘削および排土といった工程を伴うため、推進速度が遅く、工事コストが高くなる要因となっている。一方で圧入推進方式は、地中に推進機を貫入させる方式のため推進速度は早くできるが、粘性土等の比較的柔らかい地盤に適用が限られていた。

そこで、これまでの小口径管推進工法の技術革新を図り、これまで適用土質に制限があった圧入方式の適用地盤をこれまで掘削方式の適用となっていた硬土質地盤にまで拡大するなど、さまざまな新技術を導入することによって徹底したコストダウンと工期短縮を可能とする非開削工法「次世代エースモール」を開発した（図-1）。

本論文では、管路工事の完全非開削化を目指し、地下ライフライン建設にコスト改革をもたらす次世代エースモールの諸技術について紹介する。



エースモール (圧入方式)



エースモール (掘削方式)



次世代エースモール (圧入方式)

図-1 エースモール工法

## 2. 動的圧入推進技術による推進工程の高速化

非開削工法のコスト低減を図るには、推進工程の高速化が不可欠である。推進工程は、推進管を地中に押し進める管推進工程と推進機に追従するケーブル類や推進管を延長する管接続工程の2つに大きく分けることができるが、どちらか一方の工程の高速化のみでは推進作業全体の高速化は図れず、管推進工程と管接続工程の両方において、高速化を図る技術が要求される。

現在、土質適用範囲が広いことから普及している掘削方式は、推進機が地中を進む際には掘削工程と排土工程が伴うため推進スピードの向上が困難なうえに、掘削および排土のための装置を装備することで推進機の構造が複雑となり、追従する推進管の接続も容易に行えないことから、管推進工程および管接続工程ともに高速化が困難であった。一方、掘削・排土を伴わない圧入方式は、推進速度が速いうえに掘削・排土のための土砂の処理が不要でシンプルな機器構成とできる利点があるが、土質適用範囲が粘性土等の柔らかい地盤に制限されるため、普及を阻害する要因となっていた。そこで我々は、圧入方式の高速施工性と機器構成のシンプル性の利点を活かしつつ、圧入方式における土質適用範囲の拡大を図る動的圧入推進技術を開発した(図-2)。



図-2 動的圧入推進技術

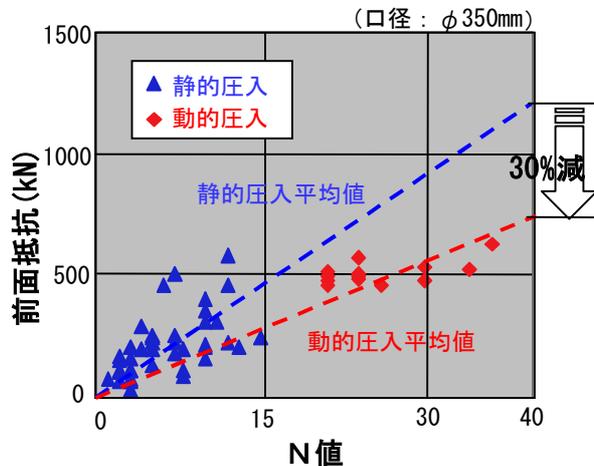


図-3 動的圧入技術による推進機前面抵抗の低減

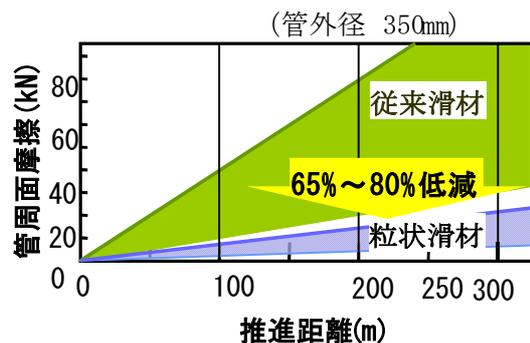


図-4 粒状型滑材による管周面摩擦の低減

従来の圧入方式は、推進機を単純に地中に貫入させる静的な圧入方法である。静的圧入の場合、推進機にかかる全抵抗力(推進機の前面抵抗と推進する管の管周面摩擦抵抗の和)は、地盤の硬さと推進距離に比例し増大する。このため、静的圧入方式では地盤の硬さの適用と推進距離が制限されていた。動的圧入推進技術は、推進機前面の土に微小振動加速度を与え局所的な流動化状態を発生させることで、土のせん断抵抗を低減させる技術である。動的圧入推進技術により推進機前面にかかる土の抵抗は静的圧入方式に比較して約30%以上低減される(図-3)。

動的圧入推進技術により、推進機の地中への貫入抵抗が大幅に低減されることで、圧入方式の適用地盤は軟土質から硬土質までの広範囲な地盤に拡大する。

また、管周面摩擦抵抗の低減には、吸水性ポリマー樹脂を使った粒状型滑材を使用した。これにより、従来のベントナイトを主成分とした液状型滑材に比較して65~80%の管周面摩擦抵抗を低減している(図-4)。

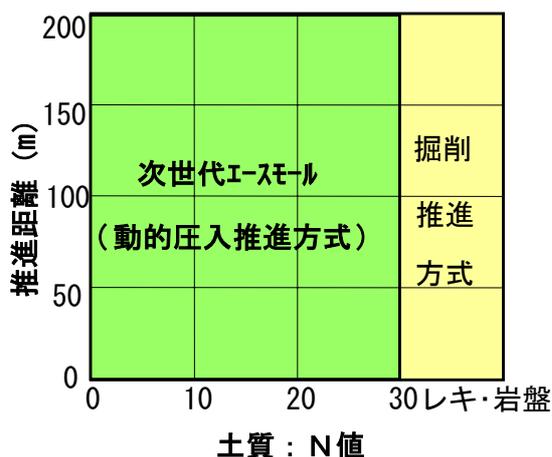


図-5 次世代エースモールの適用領域

次世代エースモールは、これらの技術により、従来は圧入推進が困難であったN値15から30程度までの硬い地盤でも長距離圧入推進が可能となる(図-5)。

### 3. 推進管・ケーブル類自動接続技術による管接続工程の高速化

小口径管推進工法では、推進機に動力等を伝達するケーブル類や推進管の延長作業が不可欠である。さらに掘削方式においては、掘削した土砂を立坑外まで排出する排土管やスクリーオーガ等の接続も必要である。ケーブル類の接続は、いったんケーブル類をコネクタ部から切り離し、延長する推進管内に配線した後にコネクタ部で再接続し、その後、推進管の接続を行う。この一連の接続作業のほとんどが狭隘な立坑内での人手によるもので、管1本を延長するのにあたり2、3人の作業員で20～30分程度の時間を要する作業となることもある。当然のことながら管接続の作業中に管推進はできないため、管接続作業をできるだけスピーディーに行うことが、推進作業の高速化において重要である。

次世代エースモールでは、広範囲な地盤で無排土圧入推進を可能にしているため、掘削方式では必要となる排土管等の設備が不要であり、非常にシンプルな機器構成となっている。しかし、推進機への油圧動力の伝達や各種制御信号を送受信するホース・ケーブル類は、推進機の推進・制御に必須であり、現状の推進方式では管接続ごとにケーブル類の接続作業が発生する。これらの接続作業を削減するために推進機に動力発生源等を内蔵する方法や無線方式の適用も検討されたが、機能上の限界や信頼性の問題から採用には至っていない。次世代エースモールでは、推進機の後続管としてケーブル類を自動で管内に収納できる推進専用管を推進し、到達立坑へ推進機が到達した後に埋設管を推進して先に推進した推進専用管と入れ替える二工程推進方式を採用し、管接続工程の大幅な高速化を実現した。一工程目に

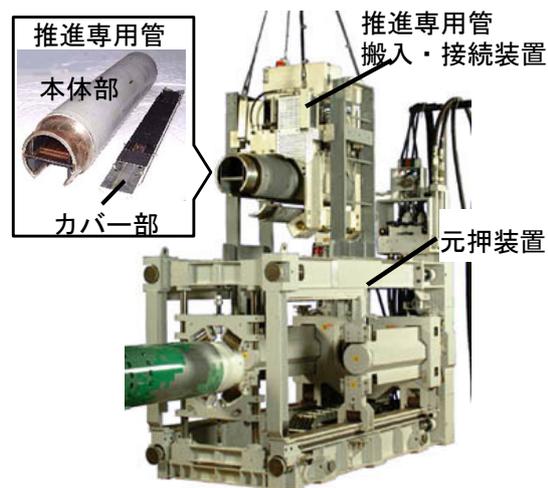


図-6 推進専用管搬入・接続装置

使用する推進専用管は、ケーブル類を管内に容易に取り込みやすいよう、管本体とカバー部との2つのパーツによる分割構造とした。ケーブル類の収容は、本体部の欠損部から行き、ケーブル類を管本体内部に収容後、カバーを結合して円筒形状の推進専用管を形成する。また、推進専用管は、推進時に管に作用する推進力に対して十分な耐力を持つとともに、曲線施工にも対応した継ぎ手ソケット構造を備えており、長距離曲線施工に対応可能である。

さらにこの推進専用管の立坑内への搬入と組み立て作業を高速化、自動化する推進専用管搬入・接続装置を開発した。この装置は、推進専用管を把持したまま立坑内の所定の位置に搬入し、ケーブル類を収容してカバー部の組み立てを行うまでの一連の動作を自動で実行するロボットである(図-6)。

また、管・ケーブル類の接続作業をさらに高速化するために、ケーブル・ホース類を可能な限り長尺化し、接続延長作業を極力削減している。また、これらの長尺ケーブルを収納し、推進に合わせて繰り出しを行うケーブル類繰出装置も開発した。

さらに、推進元押ジャッキの油圧装置に低速高推力モードと高速低推力モードで動作させる機構を搭載した。管推進時に高推進力が必要な場合には低速で推進力を優先した動作とし、推進ジャッキ引き戻し動作時やジャッキ盛替動作時など高速動作が必要な場合には低速で高速動作させることで、推進機が停止する時間の徹底した短縮を図っている。

これらの開発により、立坑内における管接続工程は完全無人化され、推進管1本あたりの接続作業時間(=推進停止時間)は5分以下に短縮され、従来の方法に比較して大幅な高速化を実現した。

以上の管接続工程の高速化と前項で述べた管推進工程の高速化により、二工程目の埋設管の推進を含めても日進長約2.4m/日の高速推進が可能となり、従来の圧入方式の約2倍、掘削方式の約3倍の高速化が図れる。

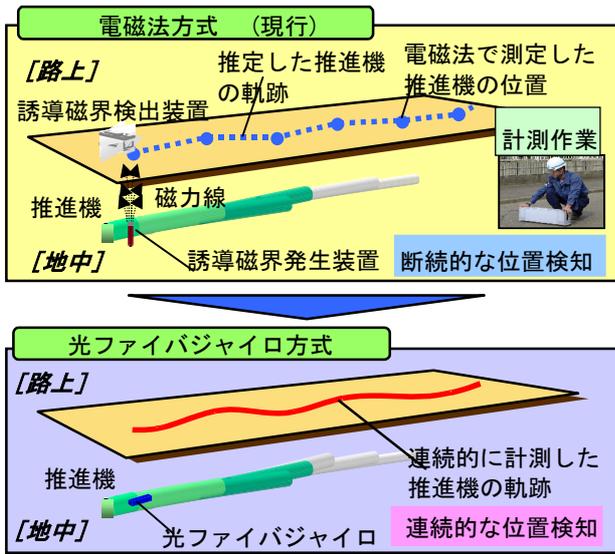


図-7 位置検知の高速化

#### 4. 連続位置検知技術による推進工程の高速化

さらに、次世代エースモールでは、推進中の推進機的位置検知をリアルタイムで連続的に行う光ファイバジャイロ位置検知システムを開発した。これにより、曲線推進にも対応でき、位置計測に要する時間は、従来の電磁界を使った測定方法に比べ90%以上の短縮を図り、位置検知のための待ち時間を大幅に短縮した。また、連続的な測定で推進機的位置情報を常に正確に把握できることで、高精度な長距離曲線推進がサポートされる(図-7)

#### 5. 立坑築造の高速化と高耐力小型立坑技術

非開削工法による工事コストを低減するには、立坑に関わるコストの削減を図ることも重要である。立坑コストを低減する方法には、立坑の大きさ・構造・築造方法などを見直して構築コストを低減する方法、長距離推進により立坑構築数を削減してコスト低減する方法、立坑築造に伴う薬液注入工法などの付帯工法を低コスト化する方法などが考えられる。立坑築造コストの低減方法として、まず立坑スペースの小型化を図った。現状の立坑スペースは、設備としてのマンホールのスペースと推進作業に必要なスペースを考慮した大きさとなっていた。このため、現状のマンホールのケーブル収容方法(空間利用方法)を変更して、マンホール平面スペースの最小化を図り、その内空間を推進作業のスペースとして利用することで、設備としてのマンホールスペースと立坑スペースを同等とした立坑兼用マンホール方式を開発した。さらに、この立坑兼用マンホールの構造材料には新材料の高強度レジンモルタルを使用し、立坑壁の高耐力化を図った。高強度レジン材料は、一般のレジン材料に比べ約1.5倍の強度(曲げ引張強度)を持つとともに、硬化時にレジンモルタル

と鉄筋とを完全に一体化することにより、鋼材の破

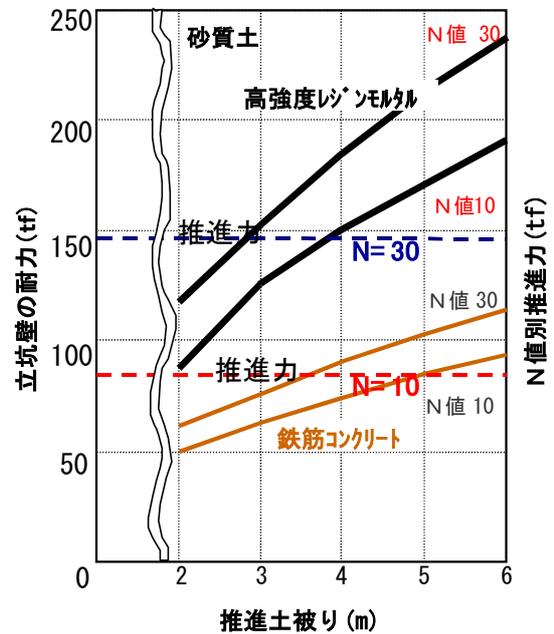
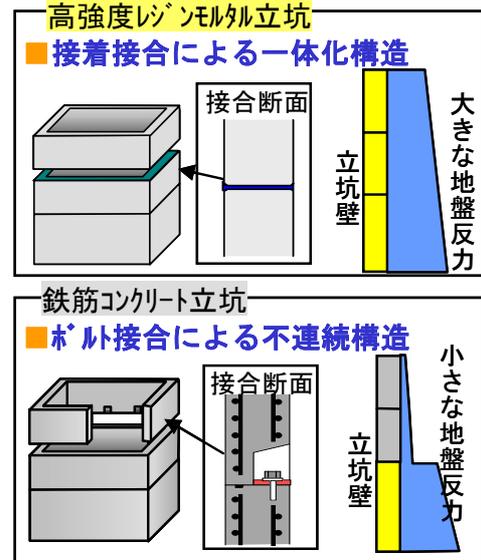


図-8 高強度レジンモルタル立坑の耐力

壊強度を超える強度を発揮する。これらの特長を有する新材料の使用により、長距離推進時において立坑に対して負荷される巨大な推進反力に対して、充分耐えうる構造を実現した。また、接着性に優れたレジンモルタルは、各部材間を接着接合することにより、鉄筋コンクリート部材のボルト接合では実現できない一体化構造が実現可能である(図-8)。

また、立坑兼用マンホールの築造は、小分割したプレキャストブロックを順次地中に沈めながら積み重ねていく沈設工法を採用した。推進作業終了後はそのままマンホールとして使用できるため、立坑とマンホールの築造期間が大幅に短縮された。また、プレキャストブロック間の接合は、接着剤を使用するため、十分な水密性が確保され品質の向上も図られる(図-9)。

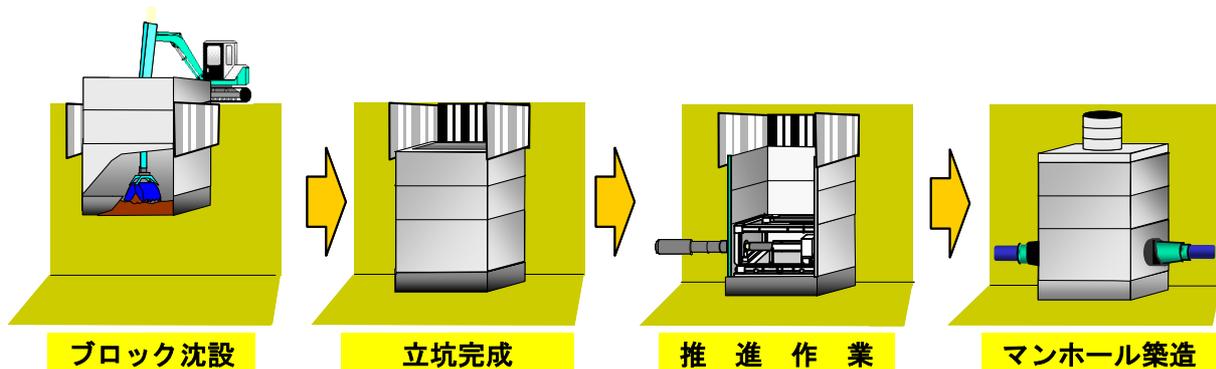


図-9 立坑兼用マンホールの高速築造

さらに、立坑部での掘削機の発進および到達の際、湧水地盤においては立坑内への土砂・水の流入を防ぐために、従来は薬液注入工法による地盤改良を施工しており、推進に直接必要となる工事費以外の費用が発生していた。次世代エースモールでは、立坑内からの取り付けが可能で、なおかつ薬液注入工法による地盤改良が不要な止水工法を開発した。これらの技術によって、立坑・マンホールに関わるコストは従来比半減し、工期は約80%削減された。

## 6. オペレーション技術

長距離曲線推進には、能率の良い推進や的確な方向制御を行うための高度なオペレーションスキルがオペレータに要求され、これまではオペレータのスキル向上や育成に多くの時間と費用を費やしているのが現状である。次世代エースモールでは、経験の比較的浅いオペレータでも簡単かつ的確に推進機の制御ができるサポートシステムと現場オペレータの支援システムを開発した。

サイバーコントロールシステムは、熟練オペレータの推進制御ノウハウ等を知識データベースに蓄積し、トラブル発生の予兆を自動判定し制御の最適化を行うことで、推進トラブルの未然防止を図る。オートナビゲーションシステムは、推進機の制御効果を自己学習しながらオペレータに最適な方向制御方法の提示を行うシステムで、正確な直線推進や曲線推進時の的確な方向制御を支援する。遠隔支援システムは、現場オペレータと技術支援センタを動画・データ・音声等により双方向で接続し、技術支援センタのエキスパートオペレータにより現場オペレータに対する遠隔コンサルティングを行うとともに、遠隔マシンコントロールも可能となっている。これらのシステムにより、オペレータ育成に要するコスト低減と、経験の浅いオペレータでも施工トラブルを未然に回避することが可能となり、非開削工法の普及促進につながる技術である（図-10）。

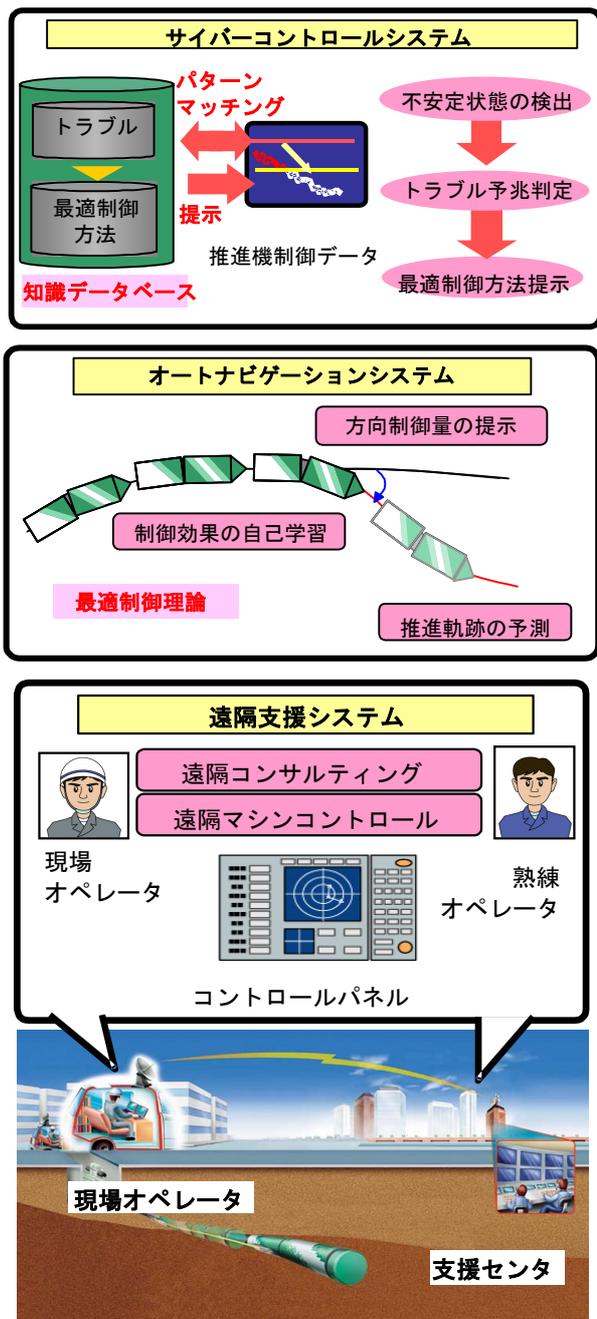


図-10 オペレーション技術

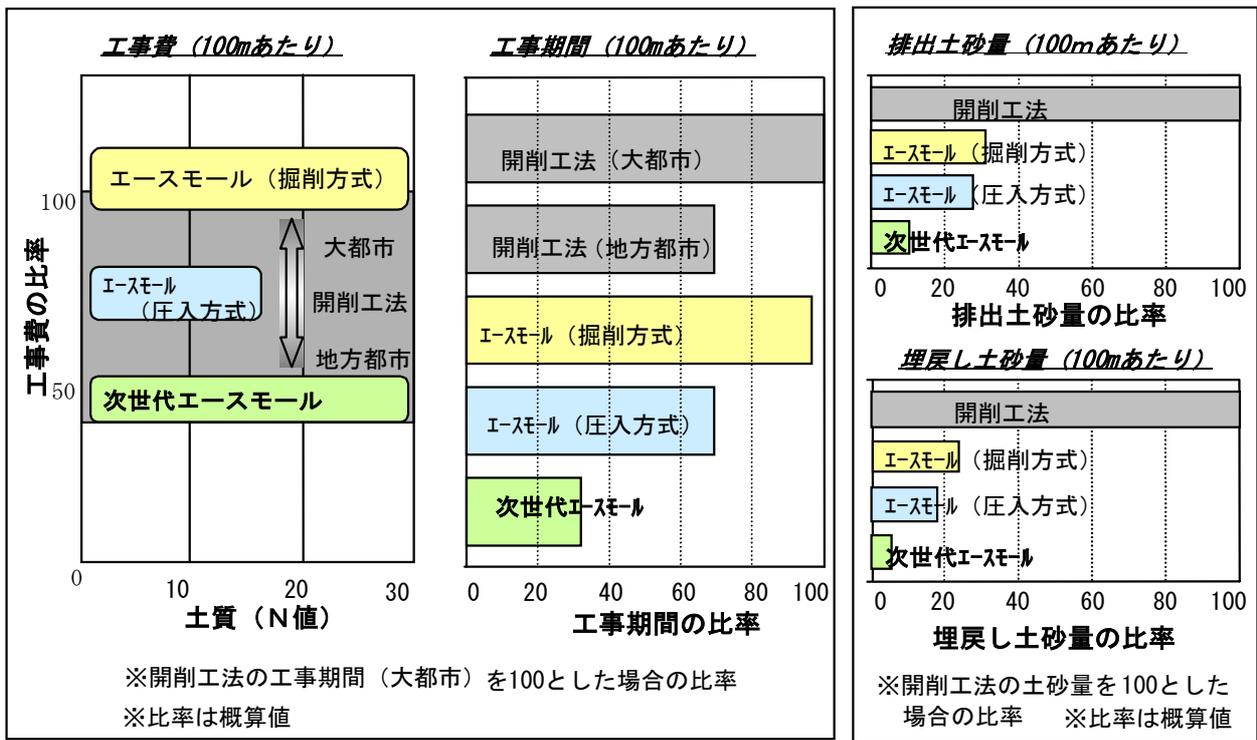


図-11 次世代エースモールのパフォーマンス

## 7. あとがき

次世代エースモールは、動的圧入推進技術、管接続等の高速化技術等により幅広い地盤での無排土かつ高速での推進を可能とした。また、道路立坑内での作業や位置検知作業、推進マシンの制御等に自動化技術を導入し、省力化と安全性および信頼性の向上を達成した。さらには、小型化と工期短縮を追究し、路上占有スペースの縮小、占有期間の短縮を図り、これまでの非開削工法適用の阻害要因を排除した。技術の普及促進の観点からは、誰もが簡単に扱えるオペレーションシステムを搭載した。

次世代エースモールは、コスト、工期、環境において、地下ライフライン建設に大きな変革をもたらす技術であり、「いつでも」「どこでも」「だれでも」「美しく」工事が可能な非開削工法として、今後、幅広い分野での普及展開を進めていくこととしている (図-11)。

## 参考文献

- 1) 栗田, 杵山, 吉田, 三河, 宮武, 日野: 次世代エースモール技術-光ファイバジャイロ位置検知システムと高度推進制御システム-, NTT R&D, Vol150, No. 9, pp93-103, 2001
- 2) 栗田, 井上, 日野, 宮武, 田中, 辻村: 管路工事のオール NO-DIG 化を実現する次世代エースモール, NTT 技術ジャーナル, Vol113, No. 8, pp. 52-58, 2001
- 3) 田中, 高梨, 北川, 宮武, 日野: 次世代エースモール技術-硬土質高速推進を可能とした動的圧入推進技術と高強度レジン立坑技術-, NTT R&D, Vol150, No. 9, pp82-92, 2001