解説

コマンド工法による小スペース施工
―小スペース施工を可能にするための要素技術の開発―

金子　恵太（かねこ　けいた）
㈱アートコーポレーション

秋山　大一（あきやま　だいいち）
コマンド工法協会
技術員
（八千代エンジニヤリング㈱）

1　はじめに

コマンド工法は過密化する都市部において小規模立坑より中口径管の推進工事を行うことを目的として開発された推進工法である。本工法の開発目標である下記の3項目は今なお、社会的ニーズにかなったものであり、今後もコマンド工法が追及していくテーマであることに変わりないと考えている。

【コマンド工法の開発目標】

- **小規模な発進立坑で**
- **曲線を含む長距離曲線施工を可能に**
- **省資源とコストダウンを可能に**

一方、近年の推進工法を取り巻く環境をみると、降雨特性の変貌に伴う浸水安全度の見直しや、インフラ施設の老朽化に伴う過密都市部での下水道再構築事業など、これまで以上に厳しい施工条件が求められる状況となっている。

特に既存埋設物が錯綜し立坑の設置場所が限定される都市部においては、小スペース施工が必要不可欠な要求性能となっており、小スペース施工へのニーズは今後も増すばかりである。

本稿では「中口径管推進工法の小スペース施工」を実現するためのコマンド工法の取り組みについて解説するとともに最近の施工事例として、埼玉県さいたま市の事例を報告させていただくこととする。

2　小スペース施工のための要素技術について

コマンド工法は1999（平成11）年の開発当初より小スペース施工という課題に取り組んできた。開発当時は小規模立坑では短尺管を使用することはやむをえないと考えられていた。そのような中でコマンド工法は当初より小規模立坑で標準管（L＝2.43m）をいかにして推進するかということを目標としてきた。

推進工法の小スペース施工は単純に掘進機寸法を小さくすれば済むという問題ではない。

その理由は小スペース施工は下記に示す複数の要素技術の開発によって成り立っているからである。

以下に、推進工法の小スペース施工に必要な要素技術に対するコマンド工法の取り組みについて記述する。

（1）施工ヤードを小さくする技術

施工ヤードを小さくするためには、処理プラント機器の平面寸法の小規模化を図ることはいうまでもない。コマンド工法では処理プラントの平面寸法のみならず高さ制限にも工夫を加え、車載設備として使用可能な設備としている。これにより定置式プラントが採用困難な狭隘地では車載プラントを用いて施工することも可能となっている。

(2) 推進スペースを縮小し発進立坑径を小さくする技術

小スペース施工では発進立坑径を1車線内すなわち3m以内に抑えることが重要である。発進立坑径を小さくするために掘進機長を短くすることだけではφ3,000mmの立坑からL＝2.43mの標準管を推進することは難しい。

このためコマンド工法では、立坑内の空間を最大限に有効利用する技術として、推進ジャッキを可動式としたアクロバットジャッキ、コマンドジャッキを開発し標準管の使用を可能とした。

(3) ケーシング立坑等の小規模立坑から発進する技術

立坑施工費は推進工事費の10%以上を占めることが多く、軟弱地盤などで底盤改良を併用するケースではさらに立坑費の占める割合が高騰することが避けられない。このため立坑費を抑制するためにはボイリング等に対抗するための根入れ長の確保や、底盤改良が不要となる小規模ケーシング立坑から発進できることも重要である。コマンド工法ではホルダー管を用いることで小規模立坑で管材の吊り下ろし、設置を可能としている。

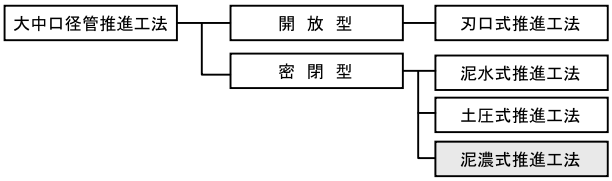
(4) 最適地の立坑を結ぶ複雑な線形を掘進できる技術

近年の都市部施工では立坑や推進設備の設置が可能な最適地は道路交通条件、埋設物の敷設状況などから限定されることが多く、最適地の立坑を結ぶ複雑な線形を掘進するためには長距離推進と曲線推進もまた必須の技術である。このためコマンド工法では、MGSシステム(推進力低減装置)を併用することで400m以上の推進距離を可能としている。

3 コマンド工法の概要

3.1 工法の分類

コマンド工法は、**図－1**に示すように(公社)日本推進技術協会の分類における「泥濃式推進工法」に分類された工法である。



図－1　コマンド工法の分類

3.2 適用管種

適用管種は下水道推進工法用鉄筋コンクリート管(JSWAS A-2)の呼び径800、900、1000、1100、1200の5口径であったが、今回さらに呼び径1350を追加し6口径に対応可能となった。管長は、標準管（L＝2.43m）および半管（L＝1.20m）のいずれも使用可能である。また急曲線部においては曲線追従のため1/3管（L＝800mm）等の使用も可能である。

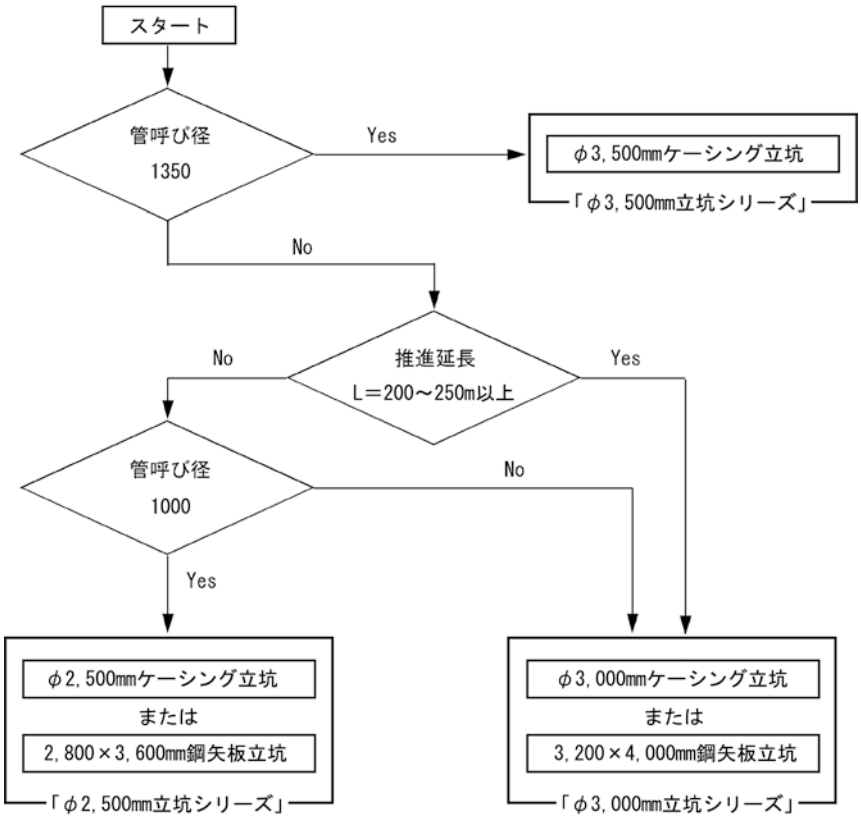
3.3 発進立坑

施工管径別の発進立坑径を**表－1**に示す。今回新たにφ3,500mm立坑シリーズを追加することで施工管径も従来の呼び径800～1200に加えて呼び径1350が可能となった。コマンド工法では推進延長と管径により立坑径が決定されるため、**図－2**に立坑径の選定フローを示す。

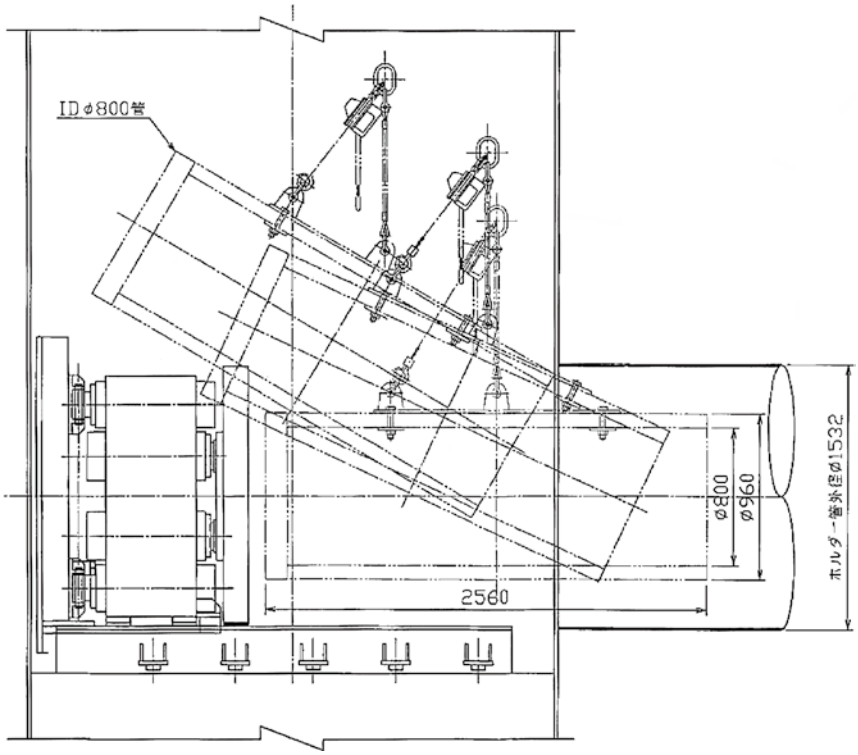
表－1　施工径別の発進立坑寸法

発進立坑径（φ・mm）	管口径	管種（m）	ホルダー管の使用
2,500	800	半管使用 1.20	不要
	900		
	1000		
3,000	800	標準管使用 2.43	必要
	900		
	1000		
	1100 1200	半管使用 1.20	不要
3,500	1000	標準管使用 2.43	
	1100		
	1200		
	1350		

なお、コマンド工法は後述4.2に示すホルダー管を併用することで標準管の設置スペースを確保可能である。また、管長2.43mの管をφ2,500～3,000mmの立坑で吊り下ろすため、**図－3**に示すような特殊冶具による安全対策も講じている。このように、コマンド工法では独自の小規模立坑での施工技術を開発することにより、同径クラスの推進工法に比べて小規模な立坑から標準管を施工することができ、施工効率の向上、施工コストの縮減を実現可能にした。



図－２　発進立坑径の選定フロー



図－３　小規模立坑の管材吊り下ろし方法

3.4　適用土質

適用土質は、通常タイプのコマンド工法（**写真－1**）で粘性土～玉石混り土であった。ローラビットを装備したコマンド-S工法（**写真－2**）では玉石混り土～軟岩（一軸圧縮強度80MN/mm^2）であり、広範囲な土質に対応可能であることも当工法の特徴である。これは、長距離施工を行う場合、掘進土質が途中で変化することが想定されるので、幅広い土質に対応できることは長距離施工の必須条件である。

写真－1　コマンド工法

写真－2　コマンド-S工法

3.5　推進延長

推進延長については、施工条件ごとに推進力の検討を行う必要があるが、概略の目安としてはφ3,000mm立坑で最大L＝640m、φ2,500mm立坑でL＝470m程度である。

このような長距離推進を可能としているのは、泥濃式推進工法特有のオーバカットによる摩擦抵抗の低減と、MGSシステムと呼ぶ推進力低減装置の開発により実現されたものである。なお、コマンド工法の最長区間記録は2007（平成19）年に福井県福井市で行ったL＝614mである。

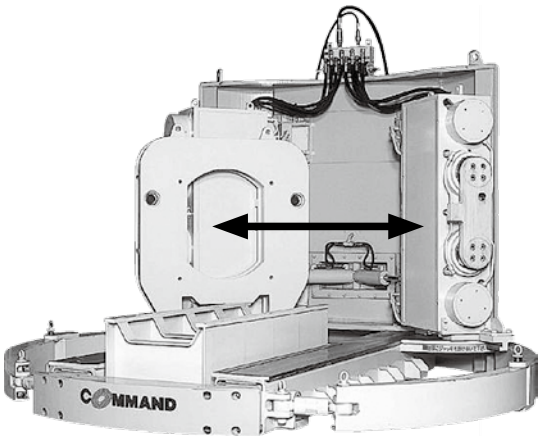
4　各技術の説明

ここでは、コマンド工法の小スペース施工を可能としている各技術について説明する。

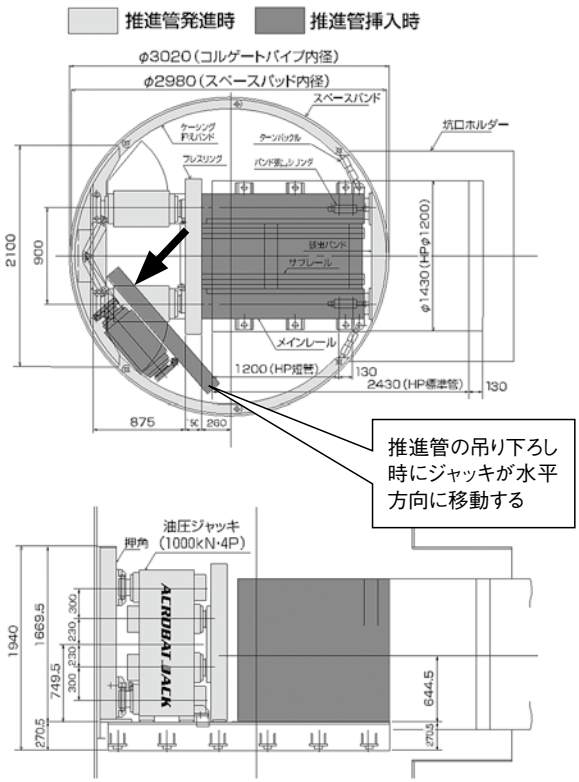
4.1　立坑内のスペースを有効利用する アクロバットジャッキとコマンドジャッキの開発

小スペース施工では推進管の吊り下ろしスペースの確保が課題となる。コマンド工法では狭い立坑内の空間を有効利用するために推進ジャッキを多段式として短縮すると同時にジャッキを可動式としている。これにより推進管の吊り下ろし時にジャッキ本体を移動させて吊り下ろしスペースを確保している。

可動式ジャッキは可動方向が水平方向のアクロバットジャッキ（**写真－3、図－4**）と鉛直方向のコマンドジャッキ（**写真－4、図－5**）の2タイプがある。各ジャッキの立坑径別の使用区分は**表－2**の通り。



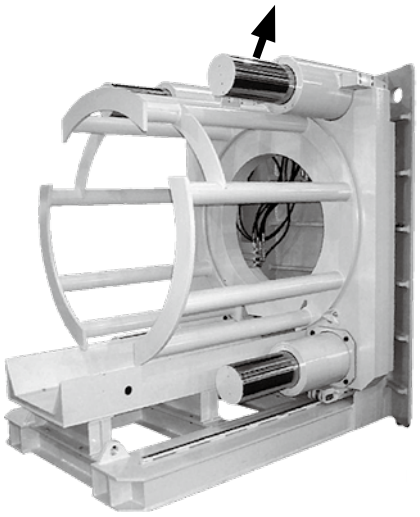
写真－3　アクロバットジャッキ



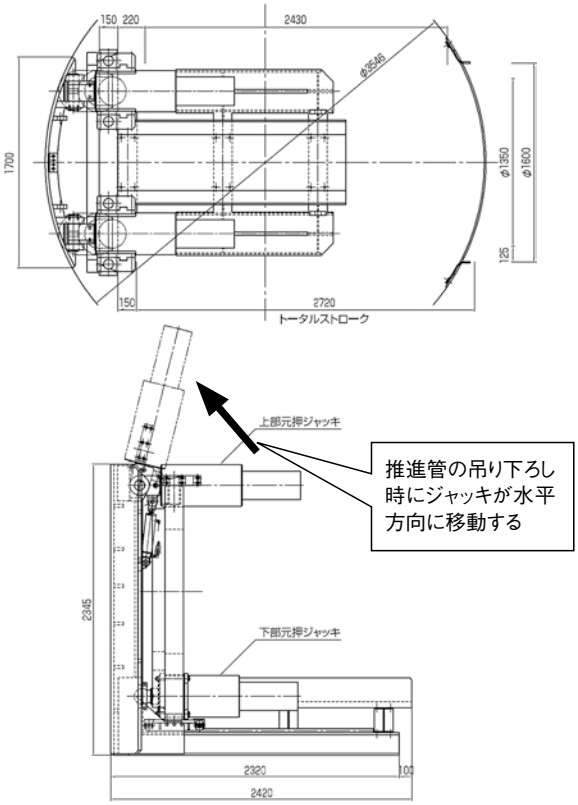
図－4　アクロバットジャッキの可動状況

表－2　立坑径別の推進ジャッキ

立坑径（φ・mm）	ジャッキのタイプ
2,500	コマンドジャッキ
3,000	アクロバットジャッキ
3,500	コマンドジャッキ



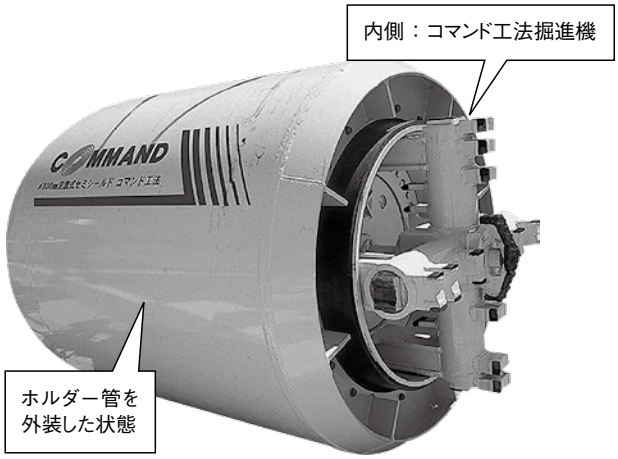
写真－4　コマンドジャッキ



図－5　コマンドジャッキの可動状況

4.2　φ3,000mm立坑から標準管（L＝2.43m）を推進するホルダー管の開発

φ3,000mm立坑において標準管（L＝2.43m）を使用する場合、アクロバットジャッキを使用しても立坑内空が不足する事態となる。このためコマンド工法ではホルダー管（**写真－5**）と呼ぶ外装管を用いることで標準管を推進するためのスペースを確保している。



写真－5　ホルダー管を外装したコマンド工法掘進機

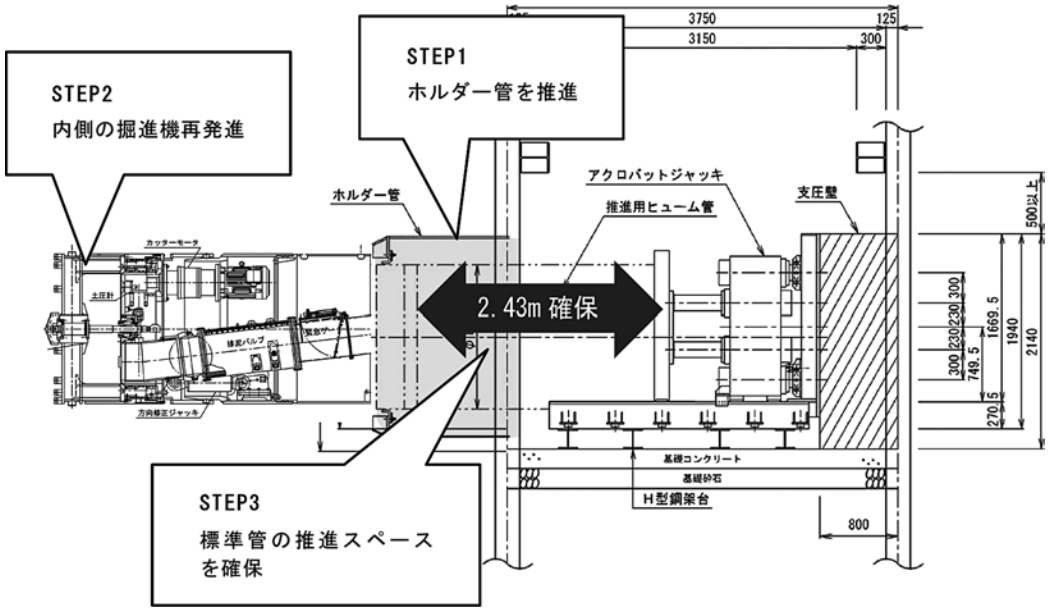
具体的には掘進機本体にホルダー管を外装した掘進機を1m程度掘進し、その後内部の掘進機を再発進する方法である。いいかえるとホルダー管によりL型の立坑を地中に構築し、標準管の設置スペースを確保するものである（**図－6**）。

ホルダー管は残置され使い捨てとなるが、短尺管を多数使用する場合よりも、経済性、工程で有利となる。

4.3　長距離を推進するMGSシステム（推進力低減装置）の開発

コマンド工法が属する泥濃式推進工法は、テールボイド（オーバカット部）に高濃度泥水を充満させることにより、管体を浮上させながら推進を行うために低推進力で掘進を行うことができる工法である。

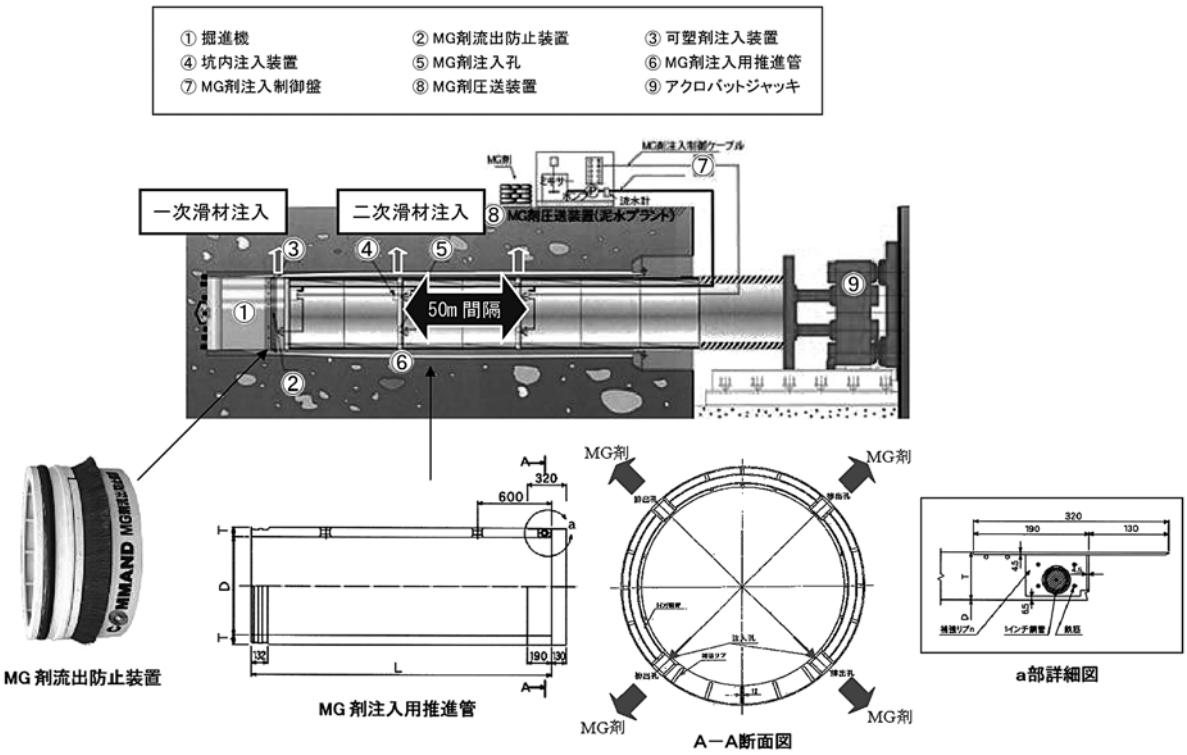
しかし、高濃度泥水も推進延長が延びるにつれて、地下水による希釈や、地盤への高濃度泥水の逸泥などにより、管体周辺の地山保持力が低下する。このため途中の管路部で地山の崩壊により締め付け現象が発生したり、極端な推進力上昇や推進不能な状態に陥る場



図－6　ホルダー管による立坑空間の確保

合もある。

MGSシステムは、先導体の上部から一次滑材注入を行うとともに、テールボイドの高濃度泥水の劣化を補うためにおおむね50m（**図－7**）ごとに二次滑材注入を行うことでテールボイドの長期間の安定化を図り推進力の上昇防止を行うものである。MGSシステムの特徴を要約すると次の通りである。



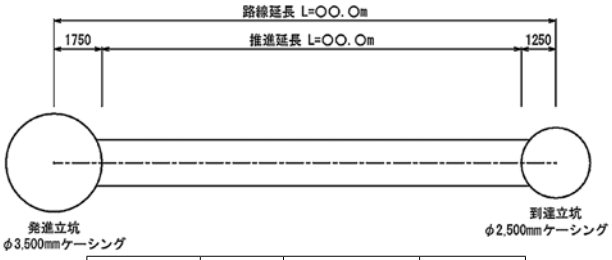
図－7　MGSシステム概要図

【MGSシステムの特徴】

①掘進作業と同時に滑材注入を実施するため、日進量の低下を抑制できる

②推進力の状況にあわせて、必要な箇所に滑材を注入できる

③使用する滑材は摩擦抵抗減少効果の大きい特殊ポリマである。特殊ポリマは地下水による希釈を受けにくいため、地下水位以下での施工でも減摩効果が低下しにくい



	管径	使用管種（m）	推進方向
【新開発】φ3,500mm	1000	標準管2.43	両発進可
	1100		
	1200		
	1350		

図－8　φ3,500mm立坑シリーズの延長説明図

4.4　ホルダー管を用いずに標準管（L＝2.43m）を推進するφ3,500mm立坑シリーズの開発

コマンド工法は従来、最大呼び径1200であったが、2016（平成29）年より呼び径1350を新たに加えることとなりφ3,500mm立坑シリーズを新設した。φ3,500mm立坑シリーズの推進説明図を**図－8**に示す。φ3,500mm立坑シリーズの特徴を整理すると次のようになる。

【φ3,500mm立坑シリーズの特徴】

①対応管径は呼び径1000、1100、1200、1350

②全管種についてホルダー管を用いずに標準管（L＝2.43m）の使用が可能（ただし急曲線がある場合には曲線半径により半管、1/3管を考慮）

③発進立坑からの両方向発進が可能

④到達立坑はφ2,500mm

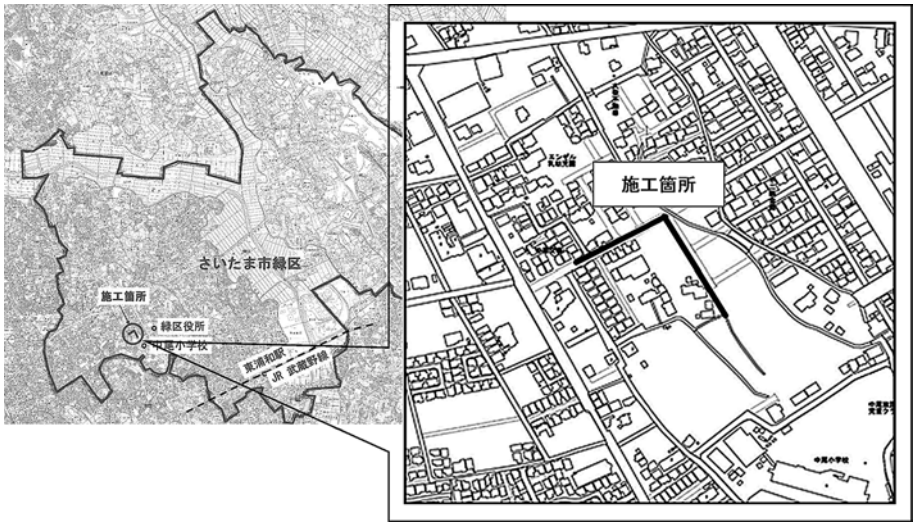
⑤最小曲線半径は呼び径1350でR＝30m

5　施工事例
—さいたま市発注 下水道（雨水管）工事—

本稿では最近の施工事例として、さいたま市発注の「下水道（雨水管）工事」の事例を紹介する。本工事では交差点内に鋼矢板工法で計画された発進立坑において鋼矢板打設時に架空線が支障となることから移設を予定していたが、小規模立坑（ケーシング立坑）に変更した事例である。

5.1　工事の概要

工 事 名：下水道（雨水管）工事
発 注 者：さいたま市
元請負者：斉藤工業㈱
施工業者：㈱アートコーポレーション
工　　期：平成29年7月～平成30年1月
呼 び 径：800、1000
平面線形：上流側スパン呼び径800、R＝70m
　　下流側スパン呼び径1000、直線
施工場所：さいたま市緑区大字中尾地内（**図－9**）



図－9　施工位置

5.2　施工条件

本工事はさいたま市緑区中尾地区における雨水管路の敷設工事である。施工対象路線は、市道下に計画された呼び径1000と呼び径800であり、交差点内の発進立坑より直角2方向に掘進する計画である。土質は、N値1～3程度の軟弱粘性土層主体であり、土被りは2.4～2.8m程度である。施工スパンは下記に示す2スパンである。

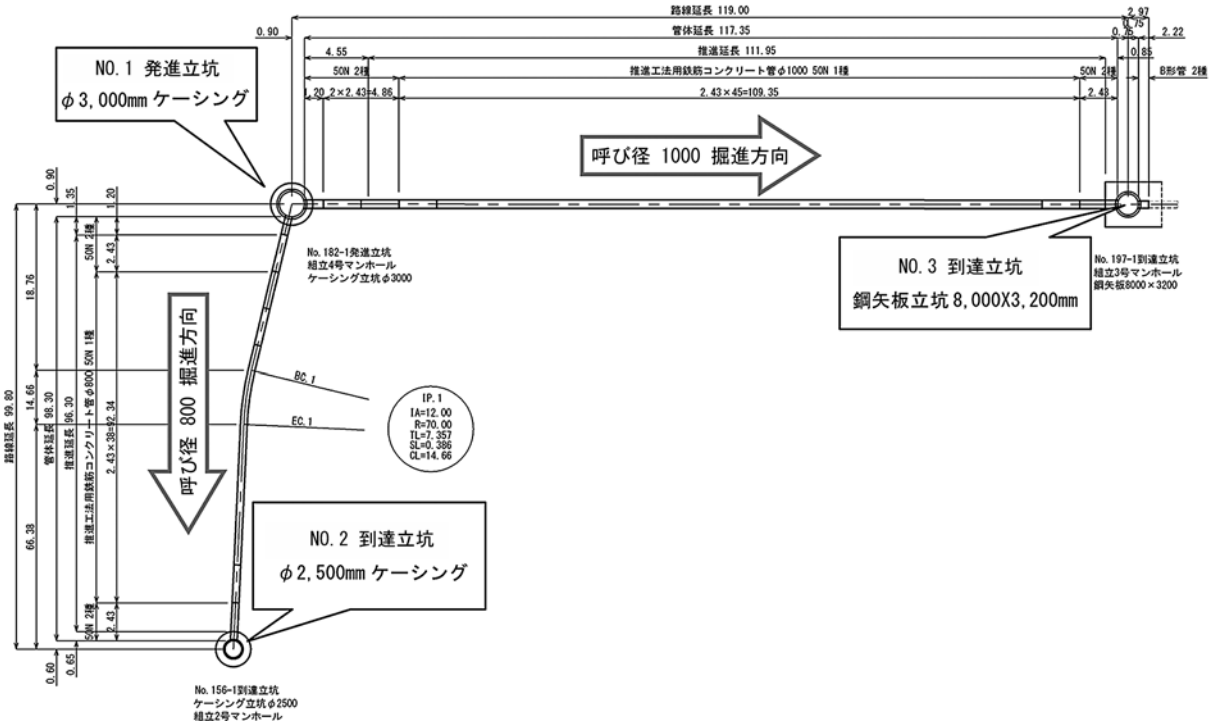
【上流側】

NO.1⇒NO.2が呼び径800　L＝99.8m

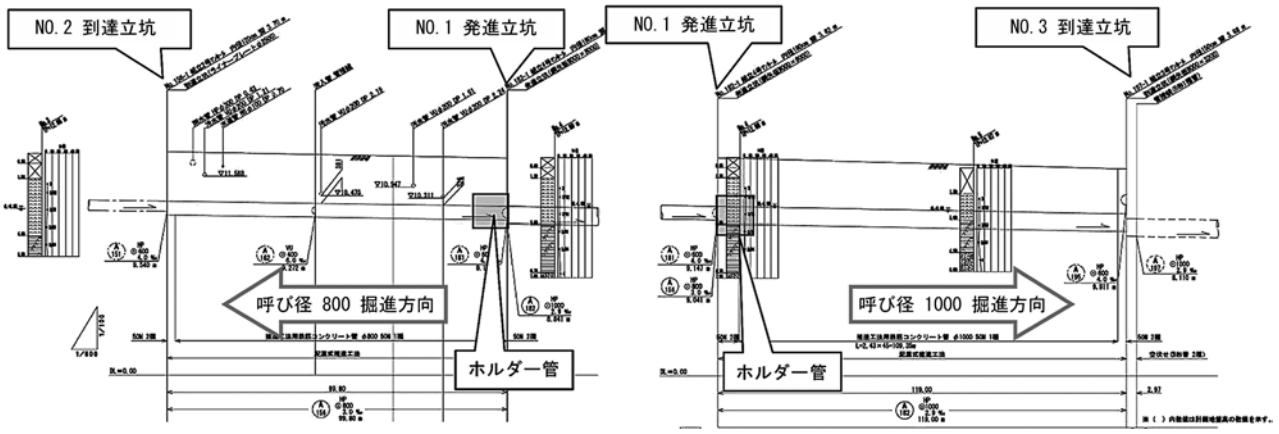
【下流側】

NO.1⇒NO.3 が呼び径1000　L＝119.0m

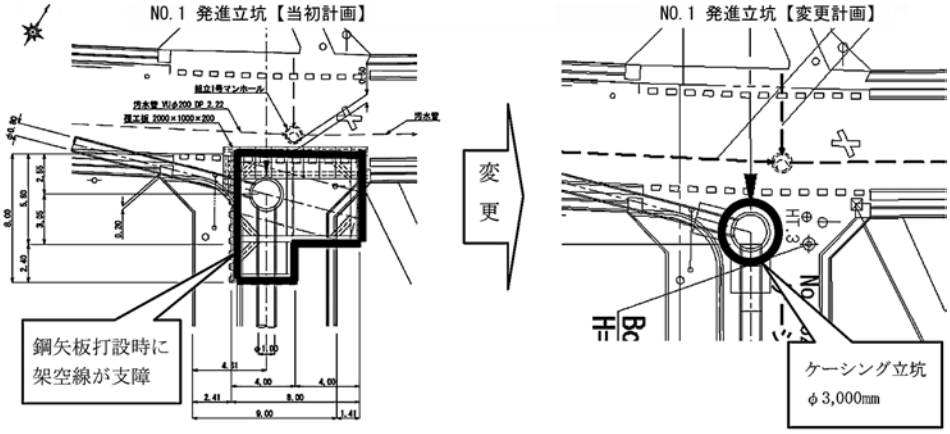
図－10に当工事の平面図、**図－11**に縦断図を示す。



図－10　コマンド工法施工区間平面図



図－11　コマンド工法施工区間縦断図



図－12　NO.1 発進立坑の変更

5.3　施工上の問題点と対応

図－12に発進立坑の変更状況を示す。当初計画では発進立坑NO.1は鋼矢板打設によるL型立坑□8,000×8,000mmを予定していた。しかし立坑規模が大きく掘削領域が交差道路の全幅に及ぶことから架空線の支障により移設が必要となった。

このため発進立坑をφ3,000mmの小規模立坑とすることで架空線の支障を回避することとなった。また立坑構築期間の短縮、周辺交通への影響の軽減等、副次的な効果も期待することができた。なお呼び径800の到達立坑も同様にφ2,500mmのケーシング立坑に変更した。

以上の経緯よりφ3,000mmの小規模立坑から呼び径1000および呼び径800の両押しを行う必要が生じ、これらの施工条件をクリアできる工法としてコマンド工法が採用された。

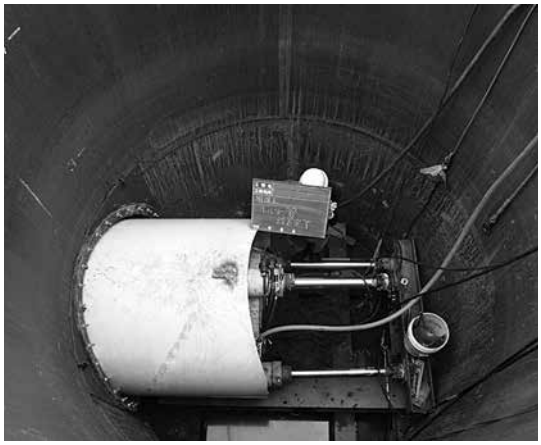
5.4　施工結果

本推進工事は極めて順調に進み、工期内に無事竣工することができた。本工事において、コマンド工法を採用することにより次の効果を得ることができたと考えている。

- 立坑の小規模化により架空線の移設をすることなく立坑構築が可能となった。
- 小規模立坑により立坑構築期間を短縮することができた。
- 小規模立坑を用いる推進工法では短尺管を使用するケースが多いが、コマンド工法ではホルダー管を併用することにより小規模立坑でありながら標準管の使用が可能となり、当初の鋼矢板立坑と同等の管材が使用できた。

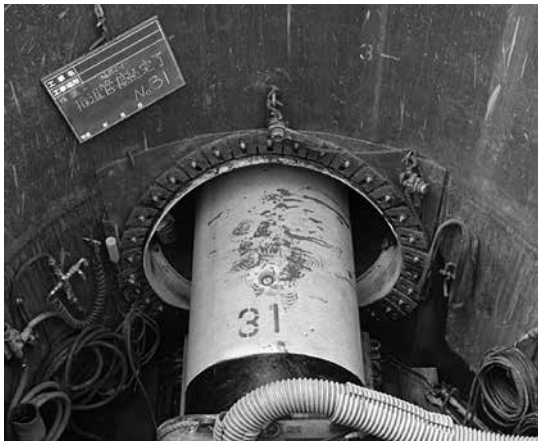
本工事のホルダー管使用状況を**写真－6～9**に示す。

写真－6　ホルダー管を外装した掘進機



写真－7　ホルダー管推進状況

写真－8　ホルダー管推進完了状況



写真－9　標準管（L＝2.43m）推進状況

6 今後の課題

今後都市部においては浸水対策に伴う雨水増補管の新設、老朽化インフラの再構築など大中口径の推進工事を錯綜する埋設物の中で施工することがこれまで以上に求められるものと予想される。

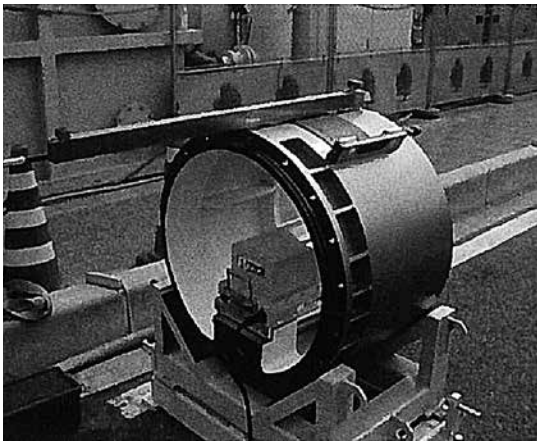
コマンド工法では施工管径（現行最大呼び径1350）のさらなるアップが今後の課題であるとともに、より複雑化する線形の構築に際して高い品質確保を進めていることから光ファイバジャイロを用いたSリード計測機（**写真－10、図－13**）の搭載も標準化していきたいと考えている。

Sリード計測機は推進作業時にリアルタイムで掘進機の位置を検知することが可能な自動測量システムである。掘進を停止して計測機を管内で走行させる必要がないことから掘進作業の効率アップも期待できると考えている。

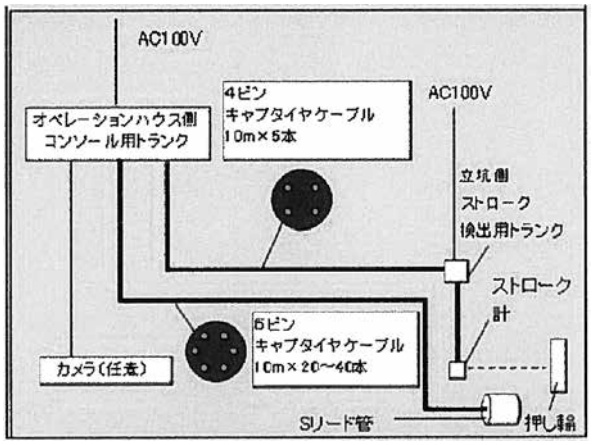
7 おわりに

本稿では呼び径1000と呼び径800の推進工法をφ3,000mmの小規模立坑から両発進した最近の事例として、さいたま市発注の事例を報告させていただいた。

推進工法において発進立坑を小規模化することは工程短縮、コスト縮減、周辺への影響低減等に大きなメリットがあるものと考えられる。コマンド工法はφ3,500mm立坑シリーズを新たに加え、最大呼び径1350の標準管（L＝2.43m）を両方向に推進可能であり、今後ますます複雑化するインフラ工事の中で極めて有効性の高い技術であると考えられる。



写真－10　Sリード計測機の搭載状況



図－13　Sリードシステムの接続図

今後は同様な工事をより過密な都市部で安全に施工できるようにするため、一層の技術の向上が必要であると考えている。

これからも発注者、施工者の皆様からのご指導を賜りますよう関係者一同よりお願いいたします。

○お問い合わせ先

コマンド工法協会
〒732-0052
広島市東区光町1-13-20ディア光町2F
Tel：082-261-5876　Fax：082-261-5925