解説

よりコンパクトな立坑からの施工をめざして
―コマンド工法 φ3,500mm 立坑シリーズの開発―

金子　恵太（かねこ　けいた）
㈱アートコーポレーション
営業本部長

秋山　大一（あきやま　だいいち）
コマンド工法協会
技術員

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の推進工事を行うことを目的として開発された工法である。本工法はこれまで次に示す「3つのC」を目標として技術開発を行ってきた。

【コマンド工法の開発目標】

1. COMPACT⇒ 小規模立坑からの発進
2. CURVED LINE⇒ 曲線施工
3. COST DOWN⇒ 長距離施工によるコストダウン

この結果平成11年の施工開始以来、発注者、施工者皆様のご指導により施工件数を重ね、平成29年3月現在で施工件数337件、施工延長70.1km、施工スパン数437となった。これまでの施工実績を通じて、コマンド工法は初期の開発目標を達成することができたものと考えている。

しかしながら近年、降雨特性の変貌に伴う浸水安全度の見直し、インフラ施設の老朽化に伴う都市部での下水道再構築事業など、推進工法にとってこれまで以上に過酷な施工条件が求められる状況となっている。

こうした社会状況の中で埋設物の錯綜する狭隘な都市部の地下空間でも施工可能な大中口径管推進工法へのニーズは今後も増加するものと予想される。

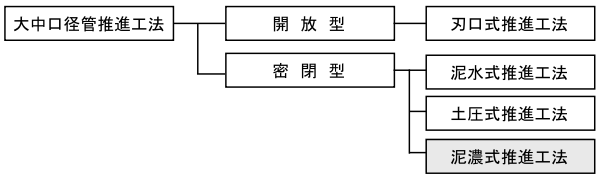
本稿ではコマンド工法の技術開発目標のひとつである「小規模立坑からの発進」に向けた対応として今般新たに開発したφ3,500mm立坑シリーズについてその特徴を説明するとともに本機を使用した最新の施工事例である宮城県塩竈市の事例を報告させていただくこととする。

2　工法の概要

2.1　コマンド工法の概要

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」に属する工法である。



図－1　コマンド工法の分類

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、

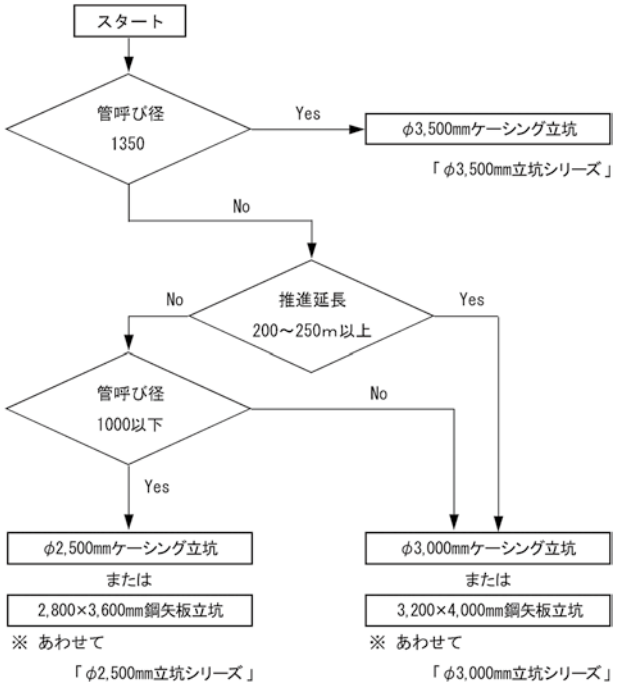
1200の5種類であったが、今回さらに呼び径1350を追加し6口径体制となった。管長は、標準管2.43mおよび半管1.20mのいずれも使用可能である。また急曲線部においては曲線追従のため1/3管等の使用も可能である。

③発進立坑

施工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。

表－1　施工径別の発進立坑寸法

立坑径（φ・mm）	呼び径	管長（m）	備考
2,500	800	1.20	曲線施工時は、1/3管も使用可
	900		
	1000		
3,000	800	2.43	
	900		
	1000		
	1100	1.20	
	1200		
【新開発】3,500	1000	2.43	
	1100		
	1200		
	1350		



図－2　発進立坑径の選定フロー

なお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。このように、コマンド工法は同径クラスの他推進工法と比較しても極めて小規模な立坑からの施工が可能であり、加えてできる限り標準管（L＝2.43m）を使用することで施工効率のアップと施工コストの縮減を実現できることが特徴となっている。

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。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～硬質土（2）（一軸圧縮強度80MN/m^{2}程度の岩盤）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ことから、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

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MGSシステム（推進力低減装置）併用時で、φ3,000mm立坑で最大L＝640m、φ2,500mm立坑でL＝470m、φ3,500mm立坑でL＝500m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平成19年に福井県福井市で行ったL＝614mである。

2.2　φ3,500mm立坑シリーズへのバージョンアップ

コマンド工法ではコンパクトな立坑を採用することで地上交通への影響を極力低減することを開発目標としてきた。

このため「全面通行止め」を回避し、できるだけ「片側交互通行」で施工が可能であることが目標であった。以上のことから発進立坑径においては一車線に納まる限界としてφ3,500mmが上限と考え、φ3,500mm立坑によりさらなる施工径のアップを企画し、今回φ3,500mm立坑シリーズへのバージョンアップを行った。

今回開発したφ3,500mm立坑シリーズのφ1,350mm機は2017年東京ビッグサイトにて開催された「下水道展'17東京」においても出展させていただいた(**写真－3、4**)。

写真－3　「下水道展'17東京」コマンド工法φ1,350mm機の展示状況1

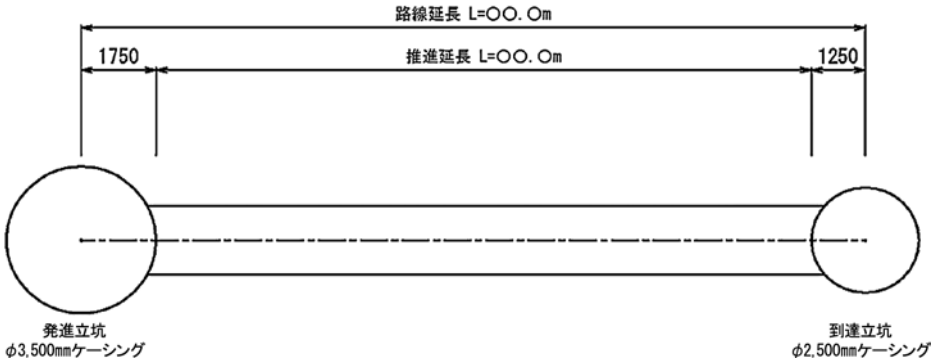
写真－4　「下水道展'17東京」コマンド工法φ1,350mm機の展示状況2

3　φ3,500mm立坑シリーズの特徴について

φ3,500mm立坑シリーズの推進説明図を**図－3**に示す。φ3,500mm立坑シリーズの特徴を整理すると下記の通りである。

【立坑φ3,500mmシリーズの特徴】

- 対応管径は呼び径1000、1100、1200、1350
- 全管種について標準管（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管を考慮する必要がある）
- 発進立坑からの両方向押しが可能
- 到達立坑はφ2,500mm
- 最小曲線半径R＝30までの急曲線に対応



【新開発】φ3,500mm			
呼び径	使用管種	管長（m）	推進方向
1000	標準管	2.43	両押し可
1100			
1200			
1350			

図－3　φ3,500mm立坑シリーズの延長説明図

4 施工事例　―小規模立坑（φ3,500mm）よりφ1,350mm標準管を両押し施工―

コマンド工法では「小規模立坑からの発進」「長距離施工」「曲線施工への対応」を開発目標としてきた。

本稿では工程短縮のため当初計画の矩形矢板立坑から小規模立坑（ケーシング立坑φ3,500mm）に変更することとなった施工事例を紹介する。

4.1　工事の概要

施工業者：㈱アートコーポレーション

工期（推進）：平成28年9月～平成29年1月

呼 び 径：1350

区間距離：105m（上流側）、45m（下流側）（2スパン）

平面線形：上流側スパンR＝250m

下流側スパンR＝168、107m

施工場所：塩竈市内（**図－4**）

4.2　施工条件

本工事は塩竈市内における雨水枝線（L＝150m）の布設工事である。施工対象路線は、市道下に計画された呼び径1350の雨水枝線管路であり、到達部でシールド施工中の雨水幹線（内径φ3,000mm）に接続する計画である。掘進土質は、N値0の軟弱粘性土層であり、土被りは4.5m程度である。

施工スパンは全体で2スパンあり、No.2～No.1発進立坑がL＝105m、No.1発進立坑～到達立坑（シールド立坑）がL＝45mである。シールド立坑内ではマンホールの構築工程が迫っていたことから、2箇月以内にNo.1発進立坑の築造、45mの下流側スパンを完了させることが求められた。**図－5**に当工事の平面図、**図－6**に縦断図を示す。

4.3　施工上の問題点と対応

（1）No.1発進立坑当初設計では工程が長期化しシールド工事の工程に整合しない

当初計画ではNo.1発進立坑は鋼矢板打設による矩形立坑□4,000×8,000mmを予定。根入れ部の土質が軟弱なため超高圧噴射工法による底盤改良を併用する計画となっていた。

前述のように本工事の到達立坑となるシールド幹線立坑内ではマンホールの構築が迫っており、矢板立坑構築後に推進工事を行う工程ではシールド工事と整合しないことが判明した。

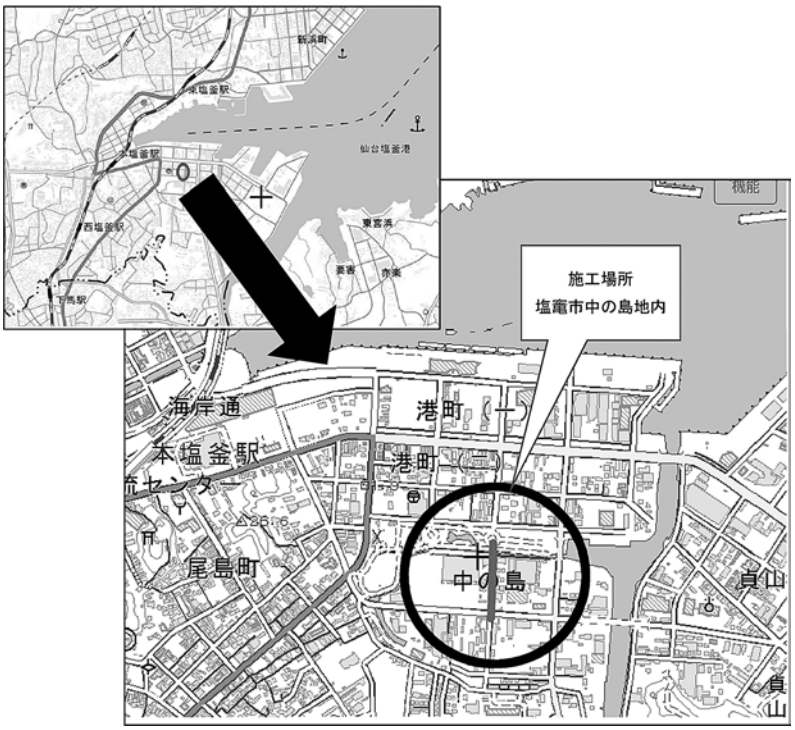
このため発進立坑を短期間で施工可能なケーシング立坑に変更するとともに、推進工法も小規模立坑からφ1,350mmの両押しが可能な工法とする必要が生じ、コマンド工法が採用された。

図－7にNo.1発進立坑の状況遷移を示す。

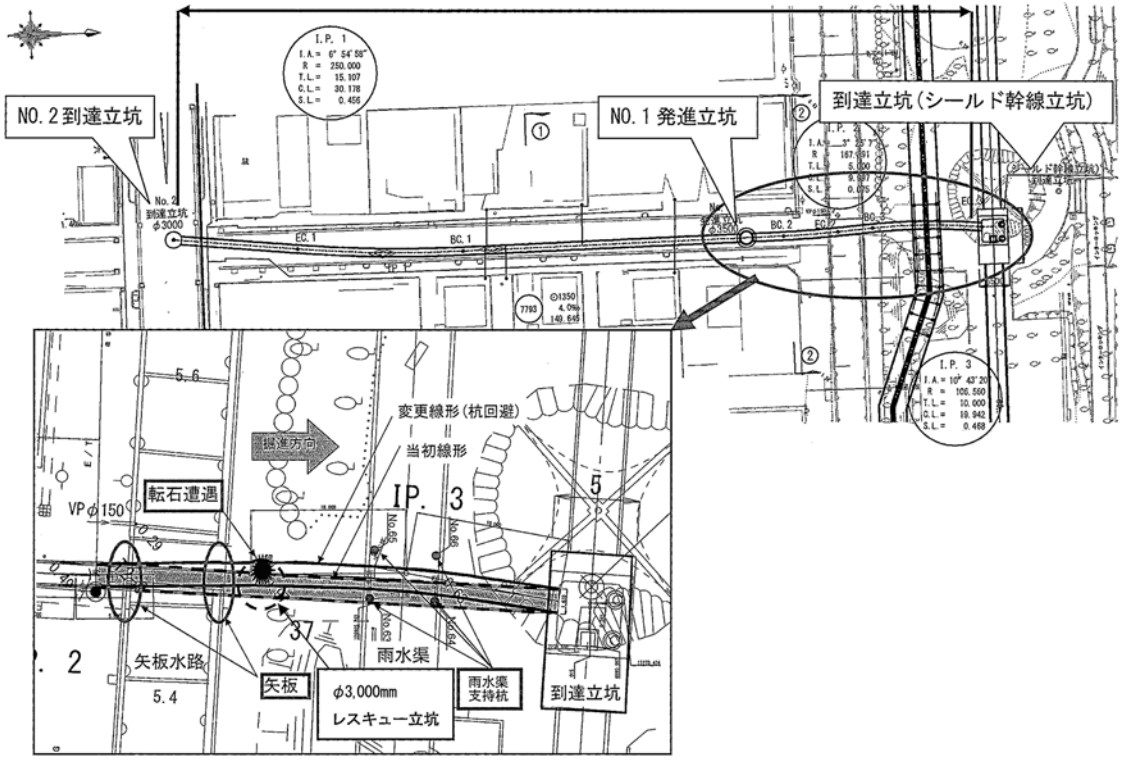
（2）矢板水路の矢板引き抜きに伴う地盤の強度低下と掘進機の沈下

No.1発進立坑～到達立坑（シールド立坑）間には既設矢板水路がある。推進工法はこの矢板水路下を通過する計画である。事前の調査により矢板根入れ部が掘進深度に達しており、掘進の支障となることが判明したため推進工事の準備と平行して別途工事にて矢板の引き抜き撤去工事を行った。

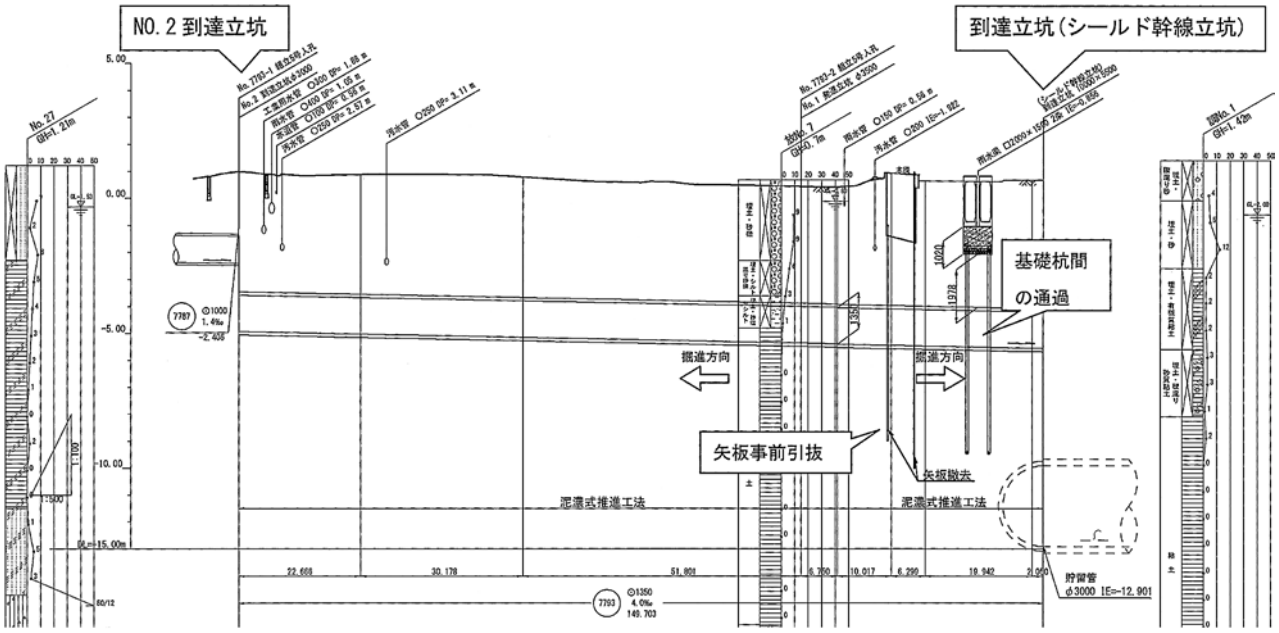
軟弱粘土層においては矢板の引き抜



図－4　施工位置

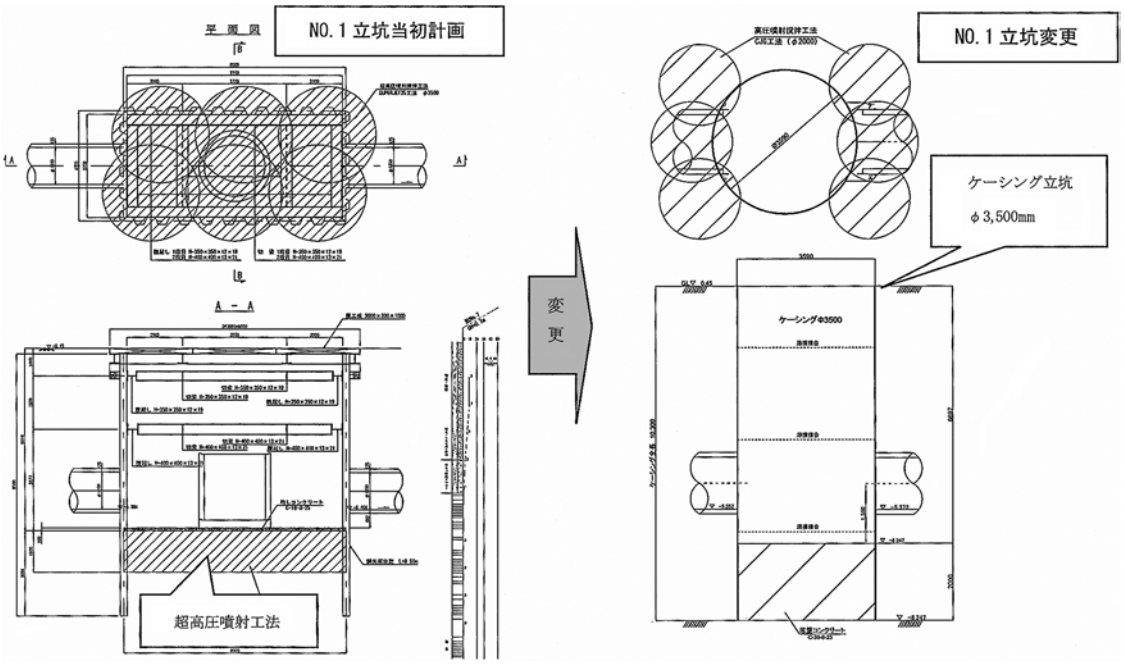


図－5　コマンド工法施工区間（7793路線）平面図



図－6　コマンド工法施工区間（7793路線）縦断図

きによる乱れが生じ、極端な強度低下が生じることが多く、通過時に掘進機の沈下を誘発することが懸念された。施工に際しては矢板引き抜き部の前後区間において掘進機の機首を上げ気味に維持しながら通過するとともに、掘進停止時間を極力短縮することで無事通過することができた。



図－7　No.1 発進立坑の変更

(3) 雨水きょ□2,000×1,500mm 2断面の支持杭の確認

No.1 発進立坑～到達立坑（シールド立坑）間には複断面の雨水きょ□2,000×1,500mmがあり、推進工法ではこの雨水きょを下越しする計画である。基礎地盤がN値0の軟弱地盤であることから支持杭の打設が懸念された。

このため推進工事の準備と平行して事前調査を行うこととなった。調査の結果、支持杭の打設配置が判明した。このため、推進工法は杭間を通過するよう曲線を2箇所入れたS字曲線の平面線形に変更して対応することとなった。

4.4　施工結果

シールド工事のマンホール構築時期に間にあわせるため推進工事では下記の対応を行ったことにより本工事は無事に完了することができた。

- 発進立坑を工事工程の早いケーシング立坑φ3,500mmに変更した
- 推進工事の準備期間中に別工事で支障となる鋼矢板の撤去を行った
- 雨水きょ基礎杭を回避するため平面線形を直線からS字曲線に変更した

しかし実際の推進工事に際してはさらなる想定外の問題も発生した。

【転石の遭遇による掘進停止】

No.1 立坑から到達立坑（シールド立坑）に向かうスパンの途中で転石（φ800mm程度）に遭遇し掘進停止に陥った。掘進地盤がN値0の軟弱粘土地盤であったことから掘進機は礫破砕タイプではなく一般土質対応機を採用しており礫への対応は想定外であった。

この事態に掘進機の前面にφ3,000mmのレスキュー立坑を築造して対応を行うこととした。すなわちレスキュー立坑内で掘進機の面板を礫対応タイプに換装する方法を立案した。掘進機前方の巨礫はレスキュー立坑から除去するとともに、探査ボーリングにより前方探査を行ったところ、幸いにも礫等は確認されなかった。これにより面板の換装は行わずにそのまま到達立坑まで掘進を再開し、無事完了することができた。

【N値0軟弱粘土の掘進管理】

N値0の掘進土質については施工前より掘進機の沈下が懸念された。特に発進坑口部と到達坑口部においては掘進速度が極端に低下するためこのリスクが高い。このため発進・到達坑口部に掘進機の姿勢を安定させるのに十分な改良ゾーンを確保することで対応した。

また軟弱地盤では掘進機が一旦計画線を外れて沈下するともとの線形に戻すことは極めて難しい。このため機首を上げ気味にコントロールすることで掘進機の沈下を防ぐよう留意して施工した。こうした技術はオペレータの熟練度に左右されることから、軟弱地盤では特にオペレータの技量が重要である。

5 今後の課題

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ϕ3,500mm立坑シリーズをさらに発展させ施工管径のさらなるアップが今後の課題であると考えている。

またコマンド工法ではレーザジャイロを用いた自動測量システム、チャンバクラッシャ装置（発案中）の採用により、複雑化する線形の構築に際して高い品質確保と管内無人化に向けたステップアップに挑戦中である。

6 おわりに

呼び径1350の推進工法をϕ3,500mmの小規模立坑から両発進した事例として塩竈市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、コスト縮減に大きなメリットがあるものと考えている。コマンド工法ϕ3,500mm立坑シリーズでは標準管（L＝2.43m）を両方向に推進可能であることなど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ている。

コマンド工法は都市内推進工事の安全施工を目標に、より一層の技術向上に努めて参りますので、発注者、施工者の皆様よりご指導を賜りますよう協会員一同お願いいたします。

○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