

月刊推進技術



公益社団法人

<https://micro-tunneling.com>

月刊推進技術

検索



日本推進技術協会

<https://suisinkyo.or.jp>

特集
泥濃式
推進工法の応用・発展

6

Vol.37 No.6
2023 (令和5年)



ヒューム管&ベルスタ推進工法協会

解説

泥濃式の掘進管理に対する新しい試み エコスピードシールド(ESS)工法

ひわだ やすひろ
檜皮 安弘

ESS工法協会
事務局 技術・積算



1 はじめに

泥濃式推進工法が開発され40年以上が経過している。90年代以降は多数の工法協会が設立され、普及活動が行われてきた。それ以前は直線施工が基本で、推進距離も短いものであった。しかし、密閉型機械式の登場によって、長距離・急曲線施工が可能となり、周辺技術も飛躍的に向上した。現在では長距離・急曲線

施工レベル以上の要求があり、500mを超える超長距離、複合曲線の施工が可能となり、推進力低減システムの登場によって、泥濃式推進工法が飛躍的に実績を積み上げつつある。

また、推進技術の進展と相まって、最近ではシールド工法と推進工法を比較検討される場面が増え、コスト、工期、ヤード面積等で有利な推進工法が設計採用されるようになった。それに伴い、推進工法がシールド工法のように発進立坑から到達立坑まで任意に結ばれた線形での施工が要求され、掘進機の性能、ヒューム管の性能等を加味し、推進延長、複数の曲線半径を設定したスパン割りを行う必要に迫られている。

このような背景から本当にシールド工法に対抗できる推進・シールド切替型工法の開発に至った。

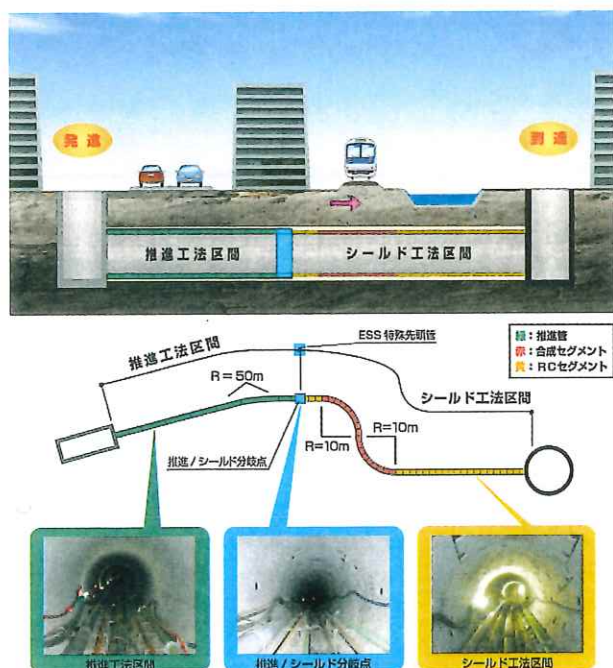


図-1 推進・シールド併用タイプの概要

2 ESS工法の概要

ECO SPEED SHIELD工法（以下、ESS工法）は発足以来、推進・シールド切替型タイプ（特殊推進工法）とシールドタイプ（小口径シールド工法）を展開してきた。その原点は、旧K-1推進工法の巨礫破碎型泥濃式推進工法と既設構造物到達型泥濃式推進工法を引き継ぎ、新たに推進タイプを追加した。

その中でも一番の特長がある推進・シールド切替型タイプは、仕上り内径1,000～2,400mmを対象としており、

推進工法によって、管耐荷力の限界もしくは急曲線手前の任意の地点まで施工を行い、立坑を築造することなくシールド工法への切替えを可能にした。

本工法は、推進工法とシールド工法の個別の技術に着眼し、2者を融合させることによるメリットを勘案して、経済性・確実性および優れた品質を提供できる工法として、その特長を下記に示す（図-1）。

- ①仕上り内径 1,000mm から、1スパン1,000m 以上、超急曲線 $R=10m$ が可能
- ②推進工法からシールド工法への切替えが容易（切替えの立坑は不要）
- ③土質条件に応じて、標準タイプと破碎タイプの選択が可能
- ④掘進機内からビット交換および障害物の撤去が可能
- ⑤推進力低減システムを併用することで、長距離推進（500m 以上）が可能
- ⑥シールド区間において、二次覆工を省略することで、大幅な工期短縮が可能
- ⑦全区間シールド工法に比べて、経済性が優位
- ⑧シールド工法に切替えることで、地盤変位などへの安全性が向上

3 シールド工法化に伴う排泥の吸引力の強化

シールド工法化により、推進工法以上の長距離施工が要求されるため、排泥の吸引力によって日進量が大きく影響される。真空吸引による排土の長距離対応の主な対策を以下に示す。

- ①能力の高い吸泥排土装置の使用
- ②吸泥排土装置の台数の増設
- ③排泥の管内の横引きと立坑部等の縦引きに区分
- ④排泥を吸引しやすい泥水材料の調整

吸引能力の高い吸泥排土装置を使用することで、風量が大きくなり、吸引能力が向上する。当工法では、55、75、100、132kW の4種類から選定している。しかし、吸引能力のパワーアップに伴って、排泥管を耐吸引圧力に配慮した鋼管に変更する必要がある（写真-1）。

吸泥排土装置の台数を増やす場合は、直列に接続し、風量を大きくする方法や系統を増やすことにより、排土量を確保する方法がある。しかし、配管材の変更や追加が必要となる。吸泥排土装置を増設することは、騒音および振動が発生するため対応が必要である。

また、長距離施工や大土被り施工では、吸引排土装置を横引きと縦引きを分ける方法を用いることが多い。横引きで推進延長を分担し、縦引きで土被りを分担する。その場合、立坑内に小型の排土貯留槽の設置が必要となる。また、吸泥排土装置を増設する場合は、同様



写真-2 立坑内の丸タンク



写真-1 吸泥排土装置 132kW



写真-3 立坑上の排土貯留槽

の問題が発生するため、増設が無理な場合は、縦引きを行わずに、立坑内で丸タンクに貯留し、丸タンクをクレーン等で立坑上の排土貯留槽まで移動し、転倒させる場合もある（写真-2、3）。

泥水材料の調整については、ベントナイト系または高分子系の泥水材料を使用し、高比重ではなく、高粘性とすることで、排泥の分離を防止している。

その他には、バルブの開閉により、配管内に空気（大気圧）を送り込む方法等が使用されている（図-2）。これらの方法を組み合わせて、現場に即した方法を選定しなければならない。

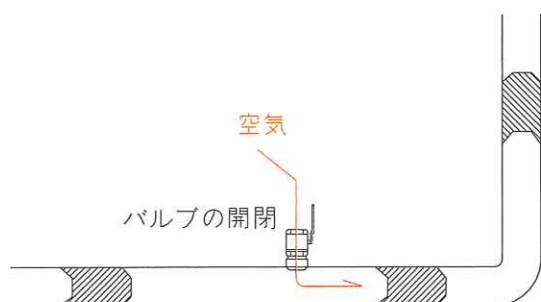


図-2 配管内へのエア送り込み

4 地表面陥没を防止する対策

泥濃式推進工法は、積極的なオーバカット（25mm程度）に2液性固結滑材（可塑剤）を注入し、管と地山の隙間のテールボイドを確保することにより、低推進力での施工が特長のひとつとなっている。また、推進力低減装置の開発により長距離施工が可能であり、急曲線施工も得意とする。

一方、掘削した土砂（排泥）は、切羽から掘進機内までピンチバルブ（エア式）の開閉を介して機内に取り込まれ、機内から坑外まで真空吸引により搬出する排土方式が特長となっている。

その反面、オーバカットされた余掘部（テールボイド）の保持に起因する、地表面陥没が発生する可能性がある。また、ピンチバルブの開閉に起因する、排泥の取込み過多が発生する可能性がある。

推進工法およびシールド工法では、土圧管理・排泥管理が不適切であった場合、掘進機の通過後に地表面沈下が発生する可能性が高い。また、掘進に伴う

地山の緩みや乱れ等が関係する場合もあり、現場条件や施工条件によって、地山への影響が異なる。しかし、掘進管理方法によっては、地盤変状を最小限に抑制することができると考えられる。

泥濃式は、オペレータが切羽土圧の管理を行っているが、管理者にその情報がリアルタイムに伝わらず、データとして残されていない場合が多い。また、排泥量についても、リアルタイムに把握できていないことが、泥濃式の弱点として挙げられる。これらの課題を踏まえて、当工法における新しい試みを紹介する。

4.1 地表面陥没を防止する対策

本稿では、当協会が取り組んでいる土圧管理、掘進機スキンプレート上部に土圧計の設置、地山検知装置、地山の緩みを抑制する弾性可塑剤の充填について解説する。

①土圧管理システム

推進・シールド切替型工法タイプでは、掘進管理システムによって、土圧の管理を行っている。土圧管理グラフを図-3に示す。データは土圧の変動範囲、ピンチバルブの開閉回数やタイミングを記録している。これにより土圧の上限圧から下限圧の範囲内で、操作が行われていることがリアルタイムで確認できる。また、カットルックや土圧の変化状況により土質の変化や地下水圧の変化がわかる。

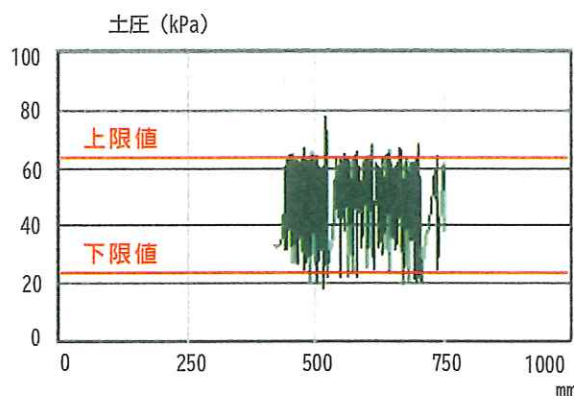


図-3 土圧管理グラフ

②掘進機スキンプレート上部に土圧計の設置

③2つの土圧計の照合

前述の通り、切羽上限圧から下限圧の範囲内でピンチバルブの開閉を行っており、隔壁に取付けられた土圧

計を基に操作を行っているが、掘進機上部の土圧変化を確認することで、周辺への影響がどの程度なのかを把握できる。隔壁に取付けられた土圧計と同様の変化を示す場合や土圧計がほとんど変化しない場合は問題ないが、土圧が急激に変化する場合や下限圧より著しく低下する場合には、注意が必要である。

④地山検知装置

地山検知装置は、掘進機上部に取付けられた油圧シリンダのストロークにより地山の緩みを判別する。数種類のタイプを保有しているが、最も有効的だと思われるのは、掘進停止時に一定の力で探査装置を伸ばし、テールボイド（オーバカット部）で停止することにより、地山の緩みが発生しているか否かを、ストロークの伸び量で想定できる。図-4に地山検知装置の概念図、写真-4に地山検知装置の使用例を示す。

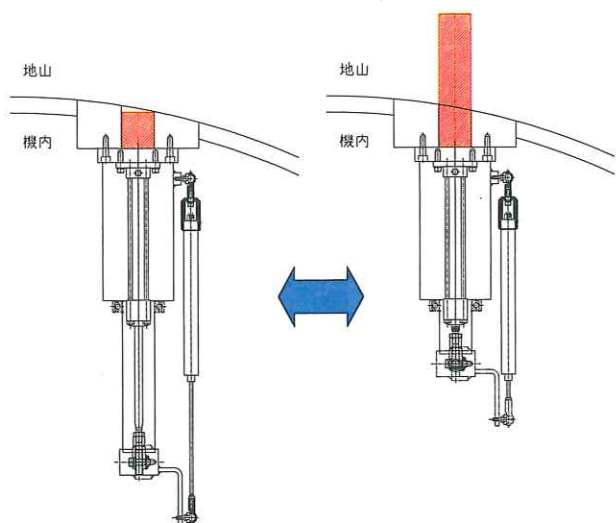


図-4 地山検知装置の概念図

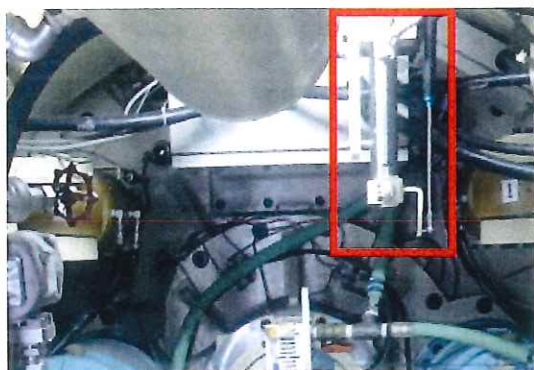


写真-4 地山検知装置の使用例

⑤弾性可塑剤の充填

泥濃式では、2液性固結滑材（可塑剤）が一般的に使用されている。近年では、泥水式にも応用され、テールボイドの充填に効果を発揮している。推進技術が進歩し、可塑剤の開発当初には想定できなかった長距離施工が可能となったが、可塑剤の改良は後回しにされていた。恐らく現状の性状に満足し、施工者からの要望がなかったものと想定される。

推進・シールド切替型工法は、通常の泥濃式推進工法に比べてオーバカットが大きいと、テールボイドの保持が課題である。そこで、安定したテールボイドを構築するために、より強力な可塑剤が必要となり、EC剤を開発した。

EC剤は、フルキープ（可塑剤）に添加するだけで、弾性力を持たせ、ゲル体を崩壊しにくくする。また、追加注入を行っても、通常の可塑剤と異なり、分離を起こさない機能を有する。写真-5は、上部に同一の圧力を作用させた状況を示す。写真-6は、中央で切断した状況を示す。写真は、左側が通常の可塑剤、右側が弾性可塑剤である。



写真-5 弾性可塑剤を鉛直的に圧縮した状況



写真-6 弾性可塑剤を中央で切断した状況

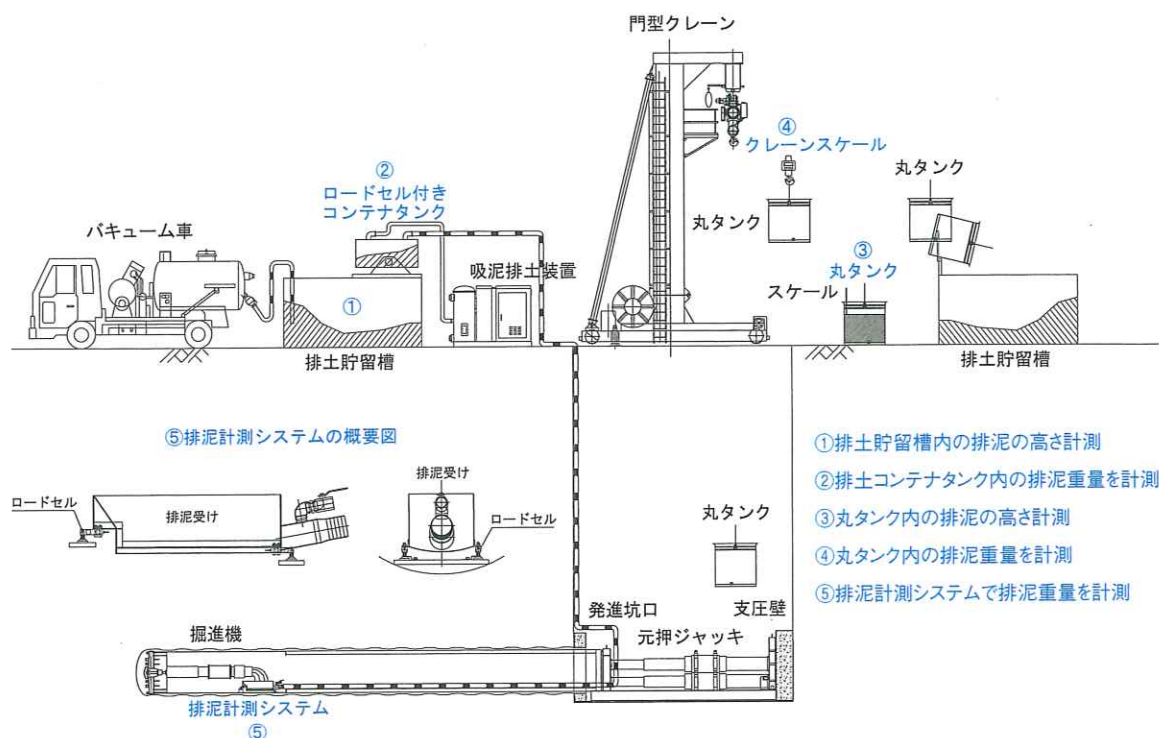


図-5 排泥量の管理方法

4.2 排泥量の管理方法

泥濃式推進工法は、排土コンテナタンクを介して地上の排土貯留槽に、排泥を貯めることが一般的であるが、排泥量管理が課題となっている。以下に排泥量の管理方法を紹介する（図-5）。

① 排土貯留槽内の排泥の高さから体積を計測

掘進中に、バキューム車で積込みを行うことから正確な排泥量の計測が難しいため、処分量と照査し、取り込み過多がないことを判断する。

② 排土コンテナタンク内の排泥重量を計測

①の方法と排土コンテナタンク内の排泥重量を計測し、排泥の比重から体積に変換し、取り込み過多がないことを判断する。測定は、排土貯留槽と排土コンテナタンクの間に設置したロードセルにより行う。

③ 丸タンク内の排泥の高さから体積を計測

排泥を丸タンクに貯めて、満タンになると、丸タンク上部からの下がり計測し、体積を算出することで、推進管1本、セグメント1リング当りの排泥量をリアルタイムに正確に計測することで、取り込み過多がないことを判断する。



写真-7 クレーンスケール（赤枠）

④ 丸タンク内の排泥重量を計測

③の方法の後、クレーンスケールで重量を計測し、排泥の比重変化もあわせて管理する（写真-7）。

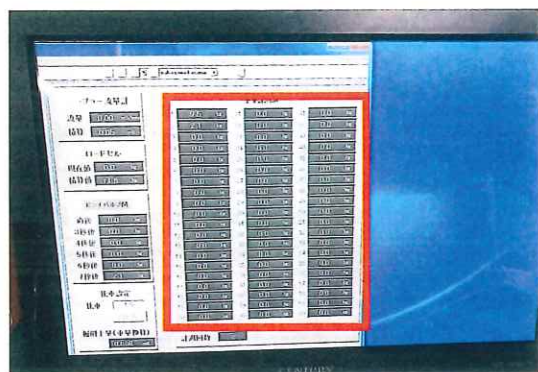
⑤ 掘進機内の排泥受けの排泥重量を計測

掘進機内に排土された排泥の重量を計測することによって、リアルタイムに排泥量の管理を行うことができる。

ピンチバルブを開いた直後に、排泥受け（チャンバ）に排土される。そこで、排泥受けの四隅をロードセルに乗せて、重量の計測が行えるようにする。計測については、ピンチバルブを開いた直後の重量と数秒後の最大

重量を計測し、最大重量から開いた直後の重量の差引きにより、増加した重量を随時計測し、累積することによって、推進管1本、セグメント1リング当りの排泥量を正確に計測する方法で、現在、特許出願中である。写真－8の赤枠は、ピンチバルブ開閉ごとに、機内に取り込まれた排泥重量を示す。管理画面には、ピンチバルブの開閉回数が60回まで表示できる。

実際の施工では、複数の測定数値の誤差を抑制するため、管径や土質・地上基地の広さ等の条件で①～⑤のうち2つ程度を組合せて使用する。



写真－8 排泥重量の管理画面

5 おわりに

泥濃式推進工法には、1スパンで推進延長1km以上の実績がある。当工法でも、シールド工法と肩を並べるために、排泥吸引の弱点を克服し、1スパン2.4kmの施工を実現した。また、最近のシールド工法では、排土量の管理と地表面陥没が問題になっており、その面

の管理について、今後もチャレンジすることを忘れずに、施工方法の改善に努めていきたい。

しかし、このような技術があっても、継承できる現場監督や施工者がいなくなるとは、将来が危ぶまれる。土木業界では、ドローンによる空撮や測量が用いられるようになり、ドローン操縦は男女問わずに行うことができることから、人手不足や3K（きつい、汚い、危険）という現場の悪いイメージを払拭し、若者にも興味を持ってもらうことができる。推進業界は、特殊な仕事だと思われて、取っ付き難い業種であることは間違いないが、今後は、魅力的な仕事であることを、未来を担う若者に伝えていき、もっと多くの方々に知っていただくと同時に、土木・推進業界に携わっていただけることを切に願う。

本稿が今後の工事の参考になれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 「推進工法とシールド工法の融合により経済性・確実性・安全性を追求したエコスピードシールド工法」 月刊推進技術 Vol.30 No.2 (2016年2月号)
- 2) 「設計積算資料 令和4年度」 ESS工法協会発行

○お問い合わせ先

ESS工法協会

〒541-0059 大阪市中央区博労町4-2-15

ヨドコウ第2ビル4階

Tel : 06-6252-1139 Fax : 06-6252-1124

<http://www.eco-speed-shield.com>

E-mail : info@eco-speed-shield.com