

人・地球・水環境

月刊下水道

JOURNAL OF SEWERAGE, MONTHLY

August, 2020

8

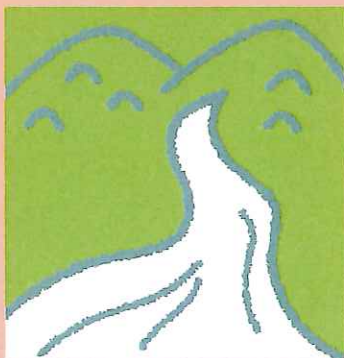
VOL.43 No.9

特集

さらに掘る——日本のトンネルの技術力



- 下水道事業におけるトンネル工法の存在感
- $\phi 2,200\text{mm}$ 泥濃推進工法の国内最長・超近接施工
- シールド工法で2つのトンネルを同時に掘削



■ 環境技術思想
環境技術の
向かうべき道

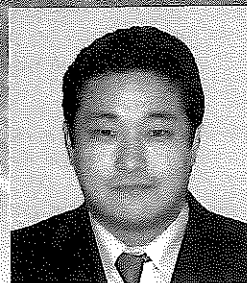


<http://www.gesuidou.jp/>



緊急企画 コロナ禍で考えたこと

推進・シールド併用工法を用いて 実施した難施工事例

エコスピードシールド (ESS) 工法協会 事務局 **檜皮 安弘**

1 はじめに

エコスピードシールド (ESS) 工法協会を設立した10年以上前には、推進工法からシールド工法に切替えが可能であることがほとんど知られておらず、注目されていたのは、切替えの方法や切替え部の構造であった。また、2011年に本誌で発表させていただいた際には、『「推進／シールド併用技術」による新カテゴリー創出についての展望」というタイトルで、推進工法とシールド工法を融合させた推進・シールド併用工法の施工技術を、新しいカテゴリーとして、より多くの方々に認知していただくことを目標にあげていた。

当時を振り返って、推進・シールド併用工法を一般的な工法として認知していただくことに一所懸命で、メリットやデメリットをうまく伝えることができていなかったことが反省点である。

改めて、現在施工中を含め12件の施工実績を振り返り、エコスピードシールド工法（以下、当工法）のメリットやデメリットを紹介する。また、今後の施工において、活躍が期待できる効果や今後の展望を紹介する。

なお当工法は、平成30年3月5日には、推進・シールド併用工法 (KK-170056-A) として、NETIS（新技術情報提供システム）にも登録された。

2 ESS 工法の概要

2.1 工法概要

当工法は、呼び径1000mm～2400mmを対象とした非開削による管きょ築造工法である。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って、立坑を築造することなくシールド工法に切替え可能な「推進・シールド併用タイプ（特殊推進工法）」と全区間をシールド工法によって施工する「シールドタイプ（小口径シールド工法）」の2種類から、施工条件に応じて選択することが可能である。推進・シールド併用タイプは、推進工法とシールド工法の両方の利点と欠点を補い合うことで、全区間を推進工法で施工することが困難な場合に、推進工法からシールド工法に切り替える方式である。図-1に概要図を示す。

切替え位置では、ESS特殊先頭管（推進管）とセグメントを直接接続する方式を採用している。後方の推進管とESS特殊先頭管の接続には、推進管の継ぎ手方式を用いるため、推進管との接続と同形状であり、ESS特殊先頭管と前方のセグメントの接続には、ボルト＋インサート方式を用いることで、セグメント同士の接続と同形状となり、耐震性が見込まれる。ESS特殊先頭管を

写真－１、２に示す。
また、必要に応じて、
ESS 特殊先頭管に
可とう部を設けるこ
とも可能である。

2.2 工法の説明

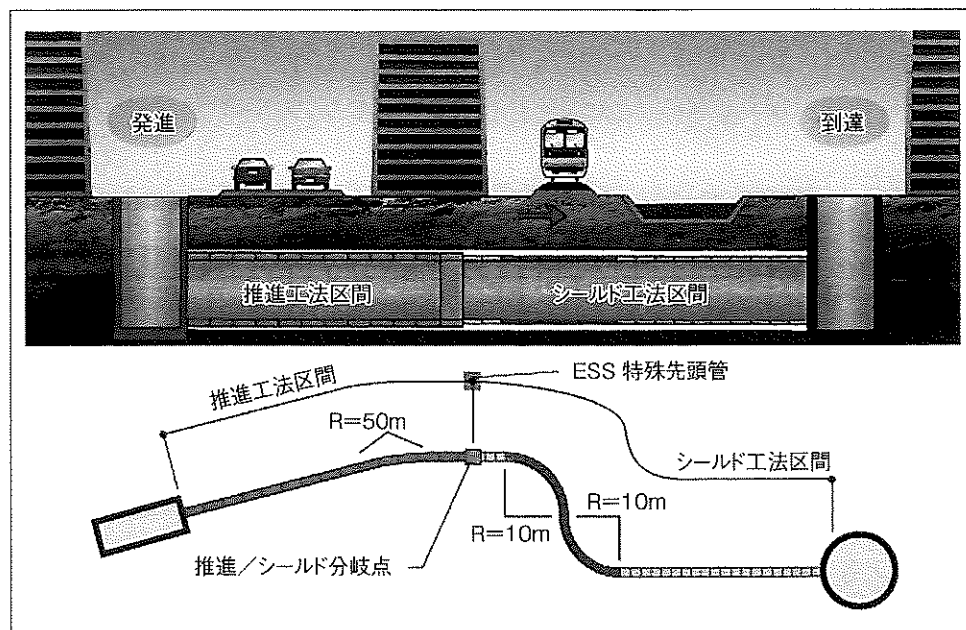
当工法は、泥濃式
を採用しており、推
進工法区間では、通
常の推進工法に比べ
てテールボイドが大
きいことから、特殊
な固結型滑材を注入
して、ゲル体がテール
ボイド内で任意に
変形することによって、劣化を抑制し、テールボ
イドの保持を行います。また、推進工法区間の施
工完了直後に、裏込注入を行うことで、地盤沈下
を抑制する。一方、シールド工法区間では、裏込
注入を掘進同時注入とすることで、地盤沈下を抑制する。

当工法用の合成セグメントは、ヒューム管と同
様の「遠心力製法」を採用することで、一般的
な振動製法によるセグメントと比べて、「強度」「水
密性」「耐久性」が高くなる。

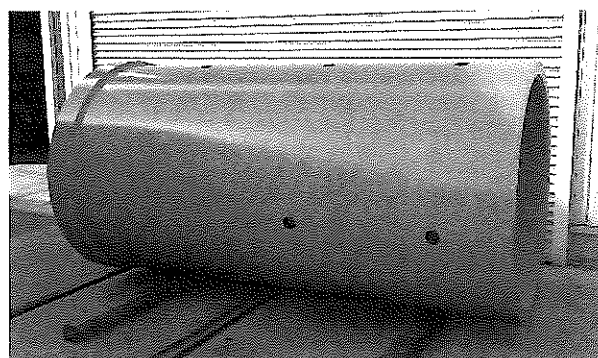
掘進完了後は、二次覆工が不要なため、坑内設
備を搬出撤去し、推進管目地・セグメント目地お
よび注入孔等を、無収縮モルタルにて仕上げを行
う。

泥濃式の採用理由は、下記のとおりである。

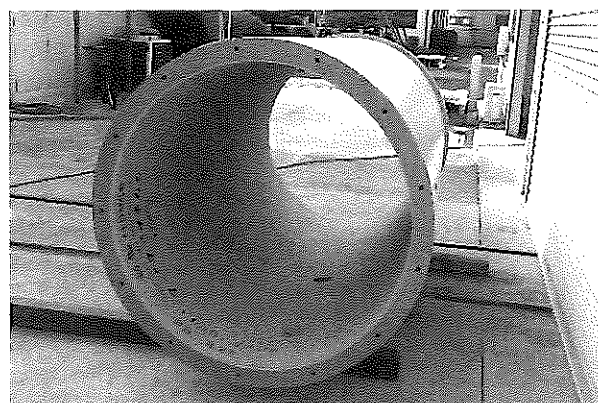
- ① 泥濃式は、推進工法のなかでも、最も豊富な
実績をあげており、適用範囲が広い。
- ② 掘進機内に取り込まれた排泥を真空ポンプに
よって、連続的に坑外に搬出できる。
- ③ 玉石を丸呑みすることで、ピットの磨耗が軽
減できる。
- ④ 発進基地面積が小さく、車上プラントや発進
立坑内に機器を設置し、コンパクトな施工が可
能である。



図－１ 推進・シールド併用タイプの概要



写真－１ ESS 特殊先頭管側面



写真－２ ESS 特殊先頭管端部

2.3 工法の特徴

推進・シールド併用タイプの特徴は、下記のと

おりである。

- ① 仕上り内径 1,000mm から、1 スパン 1,000m 以上、超急曲線 $R = 10\text{m}$ が可能である。
- ② 推進工法からシールド工法への切替えが容易である。
- ③ 掘進機内からビット交換および障害物の撤去が可能である。
- ④ 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である。
- ⑤ 全区間シールド工法に比べて、経済性に優れている。
- ⑥ シールド工法に切り替えることで、安全性が向上する。
- ⑦ 雨水管・貯留管・農業用水路等の内水圧が作用する管きょに対応が可能である。

2.4 工法の用途

推進・シールド併用タイプの用途は、下記のとおりである。

- ① 急曲線施工
推進工法で対応できない急曲線の手前で、シールド工法に切り替える。
- ② 長距離施工
推進工法の限界距離で、シールド工法に切り替える。
- ③ 軌条横断
シールド工法に切替え横断する。
- ④ 河川横断
シールド工法に切替え横断する。

⑤ 低土被り

シールド工法に切替え地山の安定を図る。

⑥ 近接施工

シールド工法に切替え地山の安定を図る。

3 施工事例

当工法の特徴が活かされた長距離・急曲線施工、低土被り施工、コンパクトな施工の事例を紹介する。

3.1 長距離・急曲線施工

本工事は、1 スパンで 2,447m と長距離であり、最小半径が $R = 15\text{m}$ の急曲線施工であった。他にも、課題として、無水の砂礫層、ビットの機内交換、排泥の搬出（真空吸引）が挙げられた（写真-3～6）。

工 法：シールドタイプ

呼 び 径：1500mm

掘削延長： $L = 2,447.16\text{m}$

線 形： $R = 15\text{m}$ の S 字を含む 18 カーブ

土質条件：砂礫 $N = 62$

礫率 38%（平均）

最大礫径 240mm

土 被 り：18.52m（平均）

地下水位：無水層

特記事項：内水圧対抗型セグメントを使用

大幅に工期は遅延したが、1 スパン 2,447m の

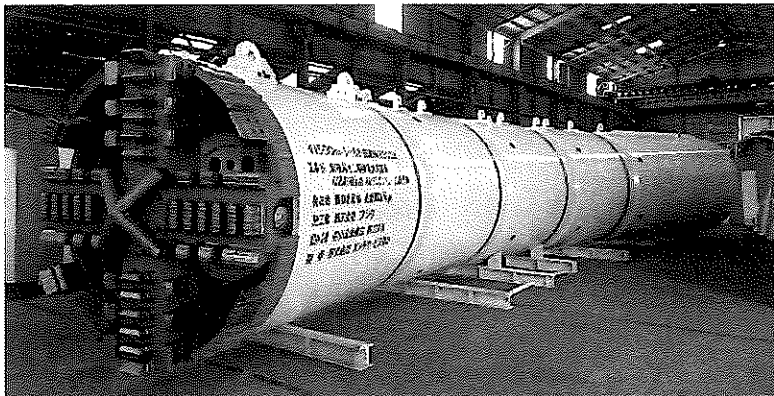


写真-3 掘進機（泥濃式）

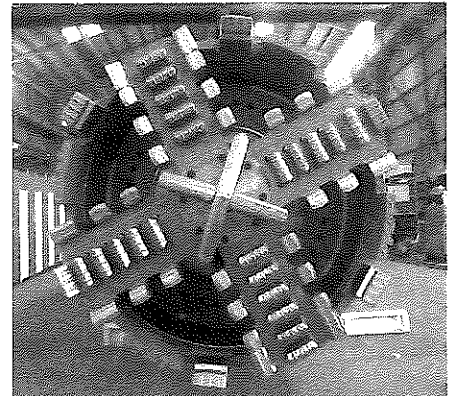


写真-4 カッタビット

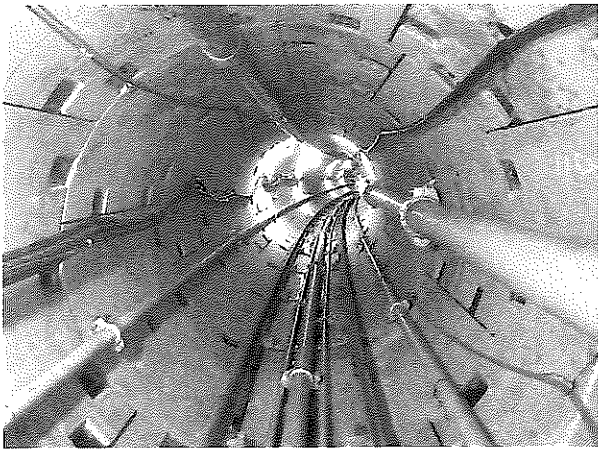


写真-5 R = 15m の状況

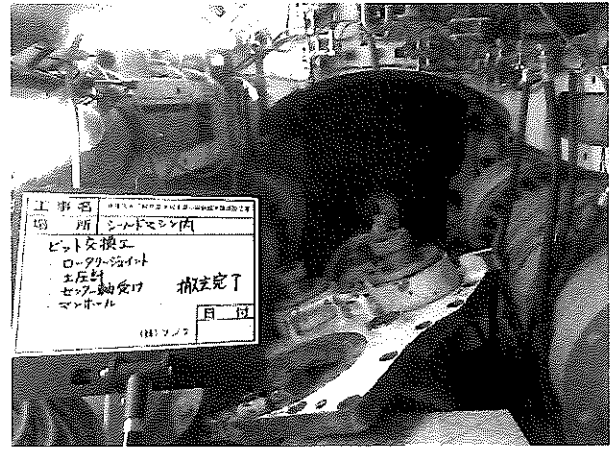


写真-6 機内ビット交換のようす

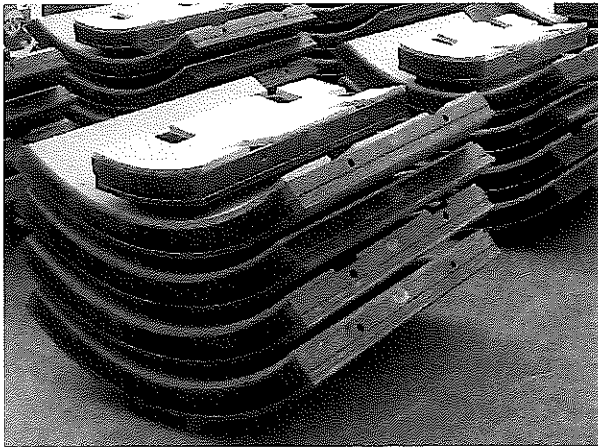


写真-7 内圧対抗型セグメント 1,000mm幅

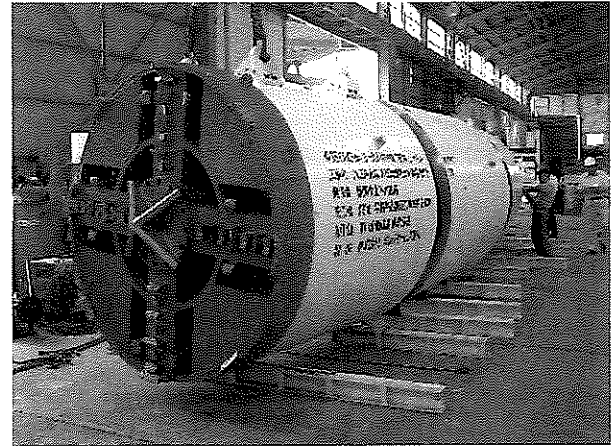


写真-8 掘進機（泥濃式）

長距離において、中継なしで排泥の真空吸引が行えた。また、無水の砂礫層において、1,534m 付近までビット交換なしで施工を行った。施工完了後の管路に、水压試験を行い無事に合格した。

3.2 低土被りの施工事例

本工事は、最小土被り 2.17m であり、シールド工法に切り替えて、R = 20m の S 字を施工する。

また、雨水対策のため、内水压対抗型セグメントを使用した（写真-7、8）。

工 法：推進・シールド併用タイプ

呼 び 径：1800mm（掘進機外径 2,230mm）

掘削延長：L = 421.513m

推進延長 262.914m

シールド延長 158.599m

線 形：R = 20m の S 字を含む 3 カーブ

線形は図-2 を参照

土質条件：砂・シルト N = 23

礫率 5.7%（平均）

最大礫径 150mm

土 被 り：2.95m（平均）、2.17m（最小）

地下水位：GL - 1.23m

特記事項：内水压対抗型セグメントを使用

土被りが平均でも 2.95m と非常に浅く、急曲線を含む難易度の高い施工であったが、無事に到達することができた。

3.3 コンパクトな施工事例

本工事は、発進基地が非常に狭く、発進立坑内および防音設備内に推進設備を設置した。また、推進区間の途中から 5% の上り勾配となり、発進

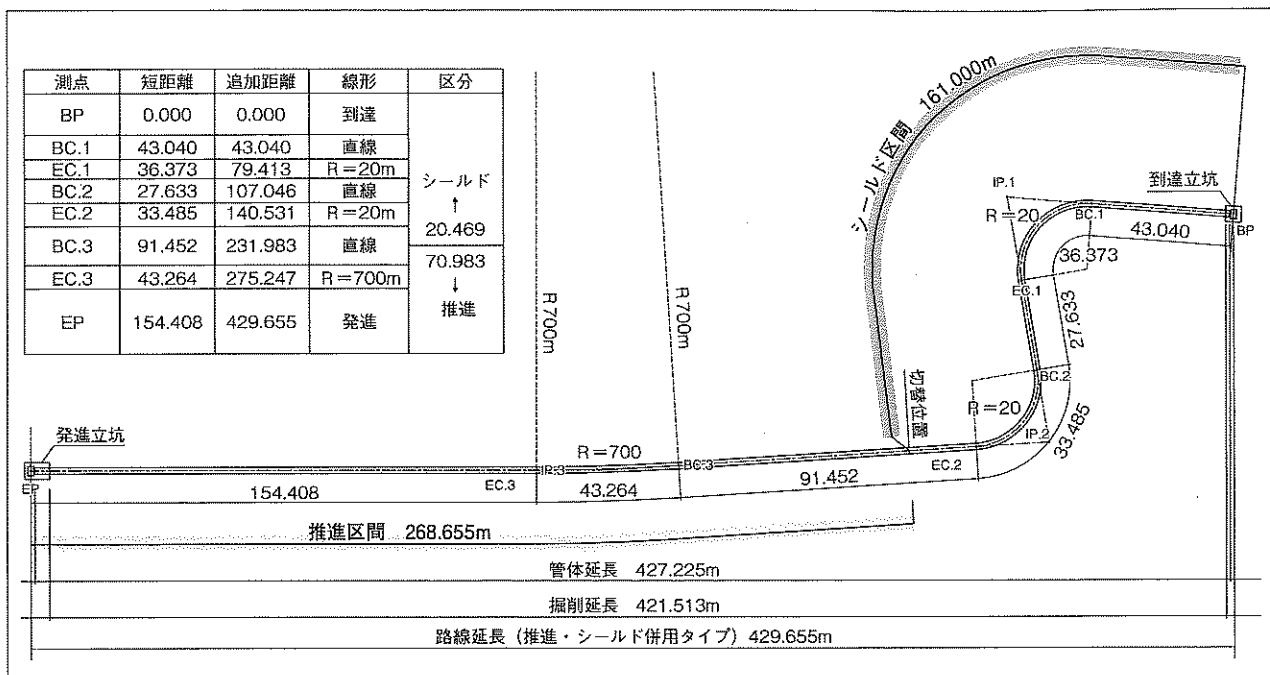


図-2 路線概要図

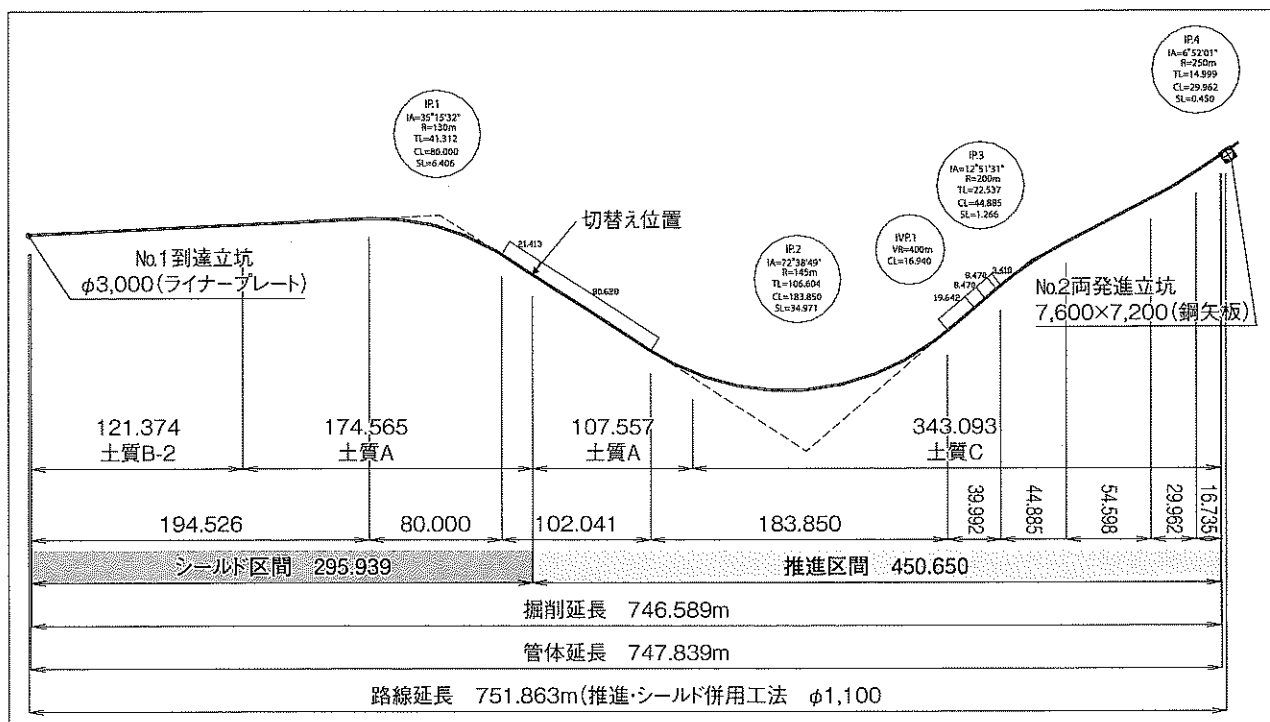


図-3 路線概要図

と到達の高低差は30m以上であった(図-3)。

工 法：推進・シールド併用タイプ

呼 び 径：1100mm

掘削延長：L = 746.589m

推進延長 450.650m

シールド延長 295.939m

線 形：5カーブ

土質条件：砂・シルト N = 35

礫率 0%

最大礫径 2mm

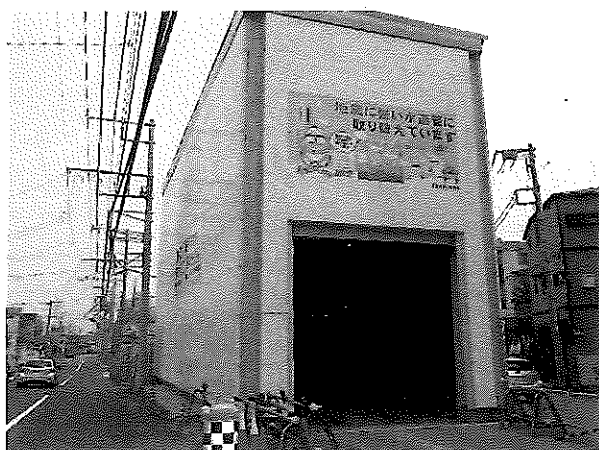


写真-9 防音ハウス外観

土 被 り：9.19m (平均)

地下水位：GL-2.06m

防音ハウスは、140m²程度と非常に狭いことから、発進立坑内に送泥プラントを設置し、材料の小運搬を行う必要があり、施工性は悪かったが、無事に到達することができた(写真-9、10)。

4 今後の展望

当初は、推進工法での施工が厳しい線形に対して、設計採用されていたが、今回紹介した施工事例のように、用途が広がってきた。

長距離・急曲線の施工事例では、1スパン2,000mを超える施工が可能となり、R = 15mのS字施工も可能となった。また、池の横断と軌条横断を含めた内水圧対応の管路構築が可能となった。その反面、日進量の長距離補正の必要性が浮き彫りとなった。

低土被りの施工事例では、掘進機外径が2,230mmであることから、1D以下の施工が可能となり、さらに、R = 20mのS字施工を含めた内水圧対応の管路構築が可能となった。

コンパクトな施工事例では、発進立坑内と防音ハウスを有効に利用することで、施工が可能となった。また、30m以上の高低差にも対応が可能となった。その反面、施工性が非常に悪く、日進量の補正の必要性が浮き彫りとなった。

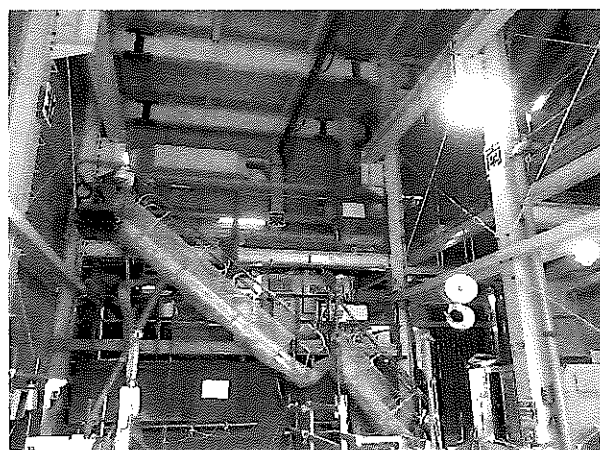


写真-10 防音ハウス内に設置した送泥プラント

これまでは、施工の用途を乱立していただけで、1,000m以上の長距離、R = 10mの超急曲線、推進工法と変わらない発進基地面積での施工が可能というコンセプトだけで、具体性に欠けていたと思われる。

推進工法においては、各々の工法協会によって、得意分野が分かれている。推進・シールド併用工法では、どんな工事でも施工が可能であると思われるが、弱点やデメリットも多く存在する。

今後は、これまでの実績を踏まえて、工法の用途を組み合わせることで、より効果的な施工ができるようにしていきたい。具体的には、内水圧対応の管きよの構築、低土被り施工が当面の目標である。また、推進タイプ(推進工法のみ)では、シールド坑内発進の相談が多く、将来的には、シールド坑内から推進・シールド併用での施工も検討している。

5 おわりに

推進・シールド併用工法が、一般的な工法であると認知していただく日が近づいている反面、まだまだ多くの課題が残されていることから、今後も創意工夫で克服していき、世界に誇れる技術にしていきたい。

最後に、これまで当工法を採用していただきました発注者ならびに設計者他関係各位の皆様へ、心からお礼を申し上げます。