

人・地球・水環境

月刊下水道

JOURNAL OF SEWERAGE, MONTHLY

August, 2024

8

VOL.47 No.9

特集

トンネル工事困難箇所での施工事例



- 建設現場のオートメーション化に向けて
- 欧米のトンネル設計・施工におけるBIM導入
- ICT推進自動測量システムの果たす役割



■ 新連載
下水疫学最前線の
6人が斬る!



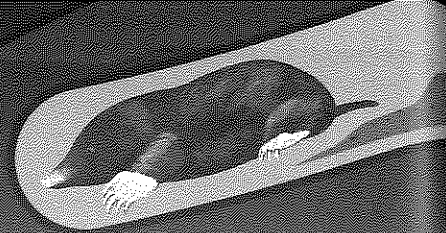
<http://www.gesuidou.jp/>



■ 特別企画

凝集剤の使い方

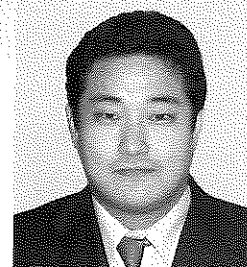
— 正しく使ってコスト削減、環境貢献 —



掘り進める技術力

エコスピードシールド工法の掘進機制御技術

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

近年、土木業界の課題として、人員の高齢化、人手不足や後継者不在、土木業の廃業、インフラ設備の老朽化等が挙げられる。また、2024年問題では、「働き方改革関連法（働き方改革を推進するための関係法律の整備に関する法律）」が2019年4月より施行され、5年間の猶予期間が終わり、建設業でも2024年4月1日から適用されており、長時間労働問題が常態化してきた業界にとっては、大きな問題となっている。

これらの問題を乗り越えるためには、人材雇用の促進、労働環境の改善、システム導入による省人化に取り組む必要がある。人材雇用の促進については、若年層に対するアピール力を高め、建設業のネガティブなイメージを払拭しなければならない。また、外国人や女性の雇用を促進することが望まれる反面、ダイバーシティマネジメントの定着が課題である。

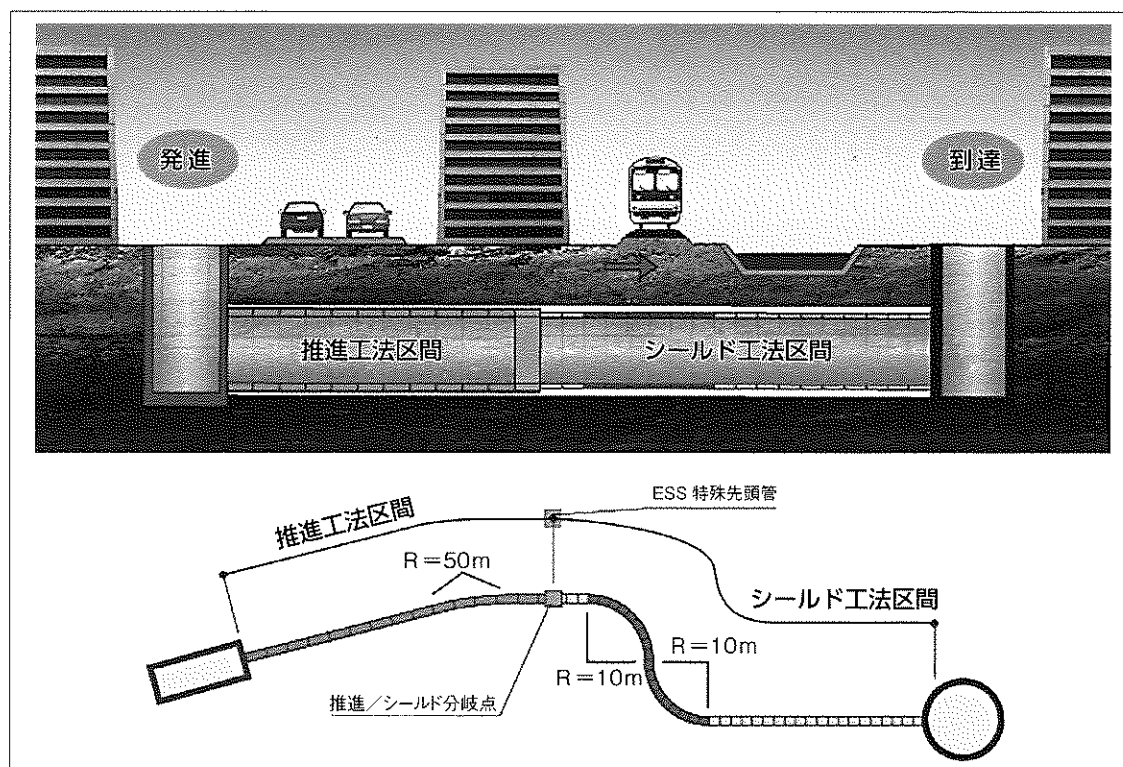
労働環境の改善については、人材確保や長期的な雇用につながることから、残業時間の削減、有給休暇の取得率のアップ、ハラスメント防止、危険作業を減らすことが有効な対策とされている。

そこで、労働環境の改善という意味合いで、各種センサやAIなどの導入、DXやIT化による自動化で、作業の軽減を図ることができる。今回、推進・シールド併用法であるエコスピードシールド工法（ESS工法）において使用されている技術を紹介する。

② ESS工法の概要

2.1 工法の概要

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・シールド併用法が強みとなっている。推進・シールド併用法は、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。



図ー１ 推進・シールド併用法概要図

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う。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。

2.3 工法の特徴

推進・シールド併用法の特徴は、下記の通りである。

- ① 呼び径1000mm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 ESシステムの併用により、推進力の低減が図れるため、長距離推進（500m以上）が可能で

ある。

- ④ 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。
- ⑤ 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。
- ⑥ 全区間シールド工法に比べて、経済性に優れている。
- ⑦ シールド工法に切り替えることで、安全性が向上する。

3 ESS工法の取組み

当工法は、前述のように推進・シールド併用法の特徴を主眼として展開しているが、単独の推進工法についても巨礫破碎型・既設構造物到達型に対応している。推進工法における自動化は、推進力低減システム・曲線造形装置・自動測量システム・水レベル計等が挙げられる。当工法では、推進力低減（ES）システムを併用し、長距離・急曲線施工に対応している。

一方、推進・シールド併用法では、シールド

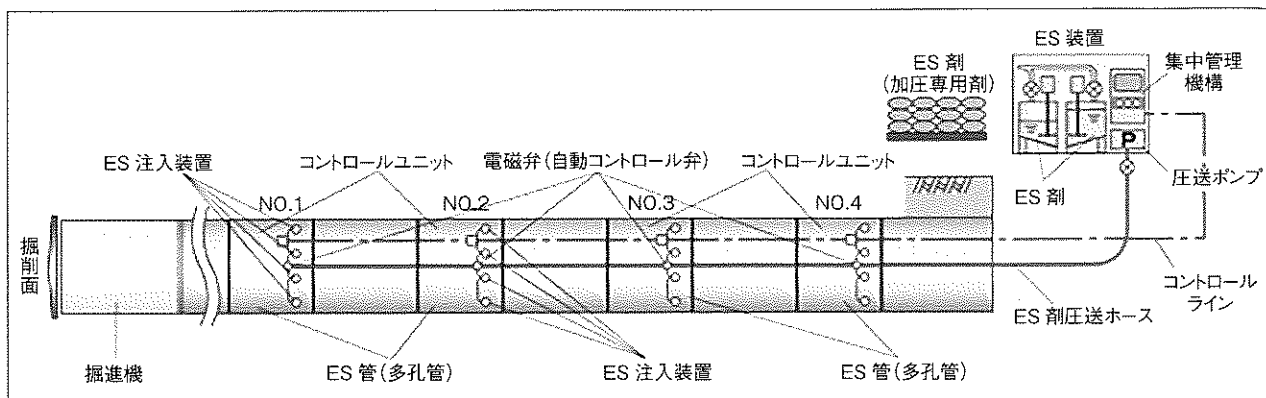


図-2 ESシステム

工法と同様のシステムを求められることも少なくない。呼び径1000mm～1350mmに関しては、狭隘な坑内のためシステムの導入が難しいが、呼び径2000mm以上になると、ある程度のシステムを導入することが可能となる。今回、推進力低減（ES）システムと推進・シールド併用工法で使用しているシステムについて紹介する。

3.1 推進力低減（ES）システムについて

同システムは、ES装置、ES管、ES注入装置、ES剤から構成される。ES管外周の全方位に向かってES剤を注入することで、低推進力を維持できる推進力低減システムである。ES管の外面に土圧計を装着させれば、テールボイドの圧力が測定できる。測定した土圧が、設定圧力（地下水圧＋0.02MPa）以下になった場合、自動でES管外周にES剤を注入する。テールボイドの圧力低下を防止することでその劣化を抑制し、低推進力での施工が可能となる。また、ES装置内のタッチパネルを操作することで、注入したいES管を選択すれば、ES剤が注入できる。図-2にESシステム、写真-1にES装置を示す。

3.2 掘進管理システムについて

推進・シールド併用工法はシールド工法と同等の管理を求められることから、掘進管理システムを導入し、掘進管理室内およびネット経由の管理画面（写真-2）で確認することができる。また、施工状況を把握するために映像監視システム（写

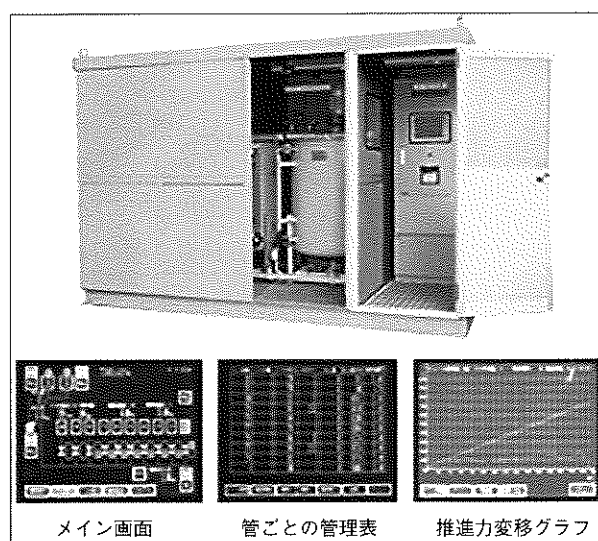


写真-1 ES装置

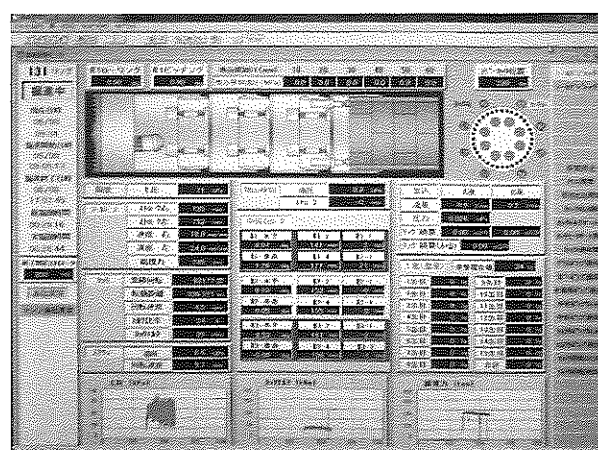


写真-2 掘進管理画面

真-3）を導入しており、ヤード・立坑・掘進機内の3カ所の映像が確認できる。また、現場条件により坑内にカメラを設置することも可能であ

る。このように、坑内以外の作業や管理者がリアルタイムに状況を確認することでトラブルを減らし、トラブルがあった際の原因究明に役立っている。本システムでは、下記の項目を管理している。

土圧、泥水注入圧、ピッチング、ローリング、カッタトルク、カッタ回転数、カッタ回転方向、コピーカッタ位置、コピーカッタストローク、中折れジャッキストローク、中折れジャッキ上下角、左右角、シールドジャッキ推力、シールドジャッキストローク、シールドジャッキスピード、チャンバーゲート開閉、ピンチバルブの開閉、ジャイロ方位角、水レベル計、酸素濃度、有毒ガス濃度。

なかでも土圧管理は、排泥取込過多を防止するうえで重要な項目である。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をリアルタイムに確認できる。また、カッタトル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。

3.3 通信システムについて

掘進機内では、Wi-Fiによる無線接続が可能のため管内測量の結果をいち早く知らせることやスマホによる通話で状況を詳細に伝えることが可能である。また、Wi-Fi環境を利用した各種のシス



写真-3 映像監視システム

テムを導入することが可能である。

3.4 排泥管理について

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り、排泥量の管理が重要となる。半自動化による排泥量の管理方法を紹介する。

① 排土貯留槽内の排泥上面の高さから体積を計算

レーザ変位センサにより、排土貯留槽内の排泥上面の高さを測定して排泥量が計算できる。但し、掘進中にバキューム車での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、実際の処分量と照らし合せて取込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

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て取込過多がないことを判断する。計測は、排土貯留槽と排土コンテナタンクの上に設置したロードセルにより行う。

③ 丸タンク内の排泥上面の高さから体積を計算

排泥を丸タンクに貯めて満タンになると、丸タンク上部から排泥上面までの下がり量を計測して体積を算出することで、推進管1本、セグメント1リング当たりの排泥量をリアルタイムに正確に計測することで、取込過多がないことを判断する。計測には、レーザ変位センサを使用する。

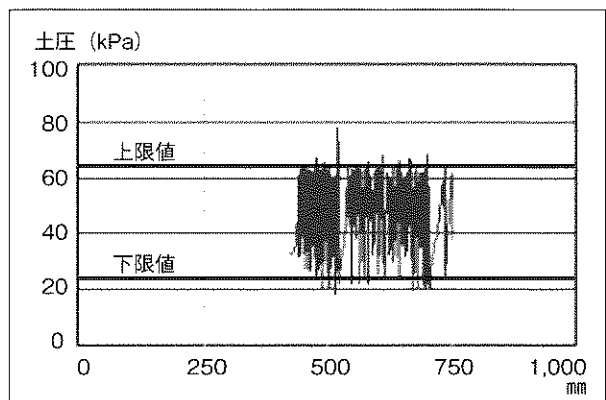


図-3 土圧管理グラフ

④ 丸タンク内の排泥重量を計測

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－４に示す。

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。写真－５の中央の四角枠は、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。

3.5 その他

呼び径2000mm以上では、さまざまなシステムの導入により自動化が可能である。

① 自動測量システム

坑内に設置された「トータルステーション(TS)」と掘進機に設置された「ジャイロセンサ」の測定結果、「ピッチング」「ローリング」センサから掘進機の姿勢、掘進機の位置(XYZ座標及び計画線との離隔)をリアルタイムに表示・記録するシステムである。図－４に自動測量システム概要図を示す。

② テールクリアランス計測システム

本システムは画像処理方式を採用し、切羽側からテールクリアランス部にレーザースリット光を

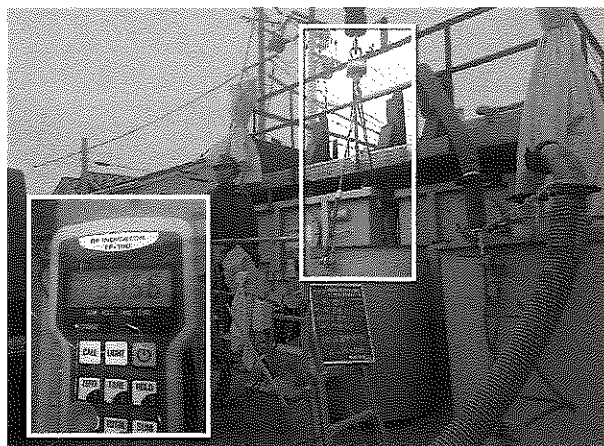
照射し、これを画像処理解析することで掘進に合わせてリアルタイムにテールクリアランスの連続自動計測が可能である。この計測結果から、掘進機の姿勢制御やセグメントの組立パターンの調整にフィードバックすることで、テールクリアランス不均等によるセグメントとの競りを抑制し、セグメントの異常な変位を早期に是正することが可能となり、より高品質な一次覆工の構築を実現するシステムである。図－５にテールクリアランス計測システム概要図を示す。

③ 姿勢制御システム

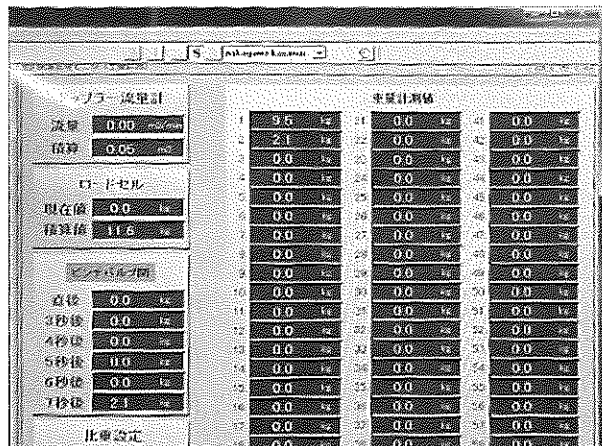
掘進機の位置、方向角、中折れ角度、推進力、ストローク長等の姿勢環境データから掘進機をスムーズに計画線に一致させるための姿勢を算出し、掘進機をその姿勢に誘導する最適なジャッキパターンをリアルタイムに決定するシステムである。このシステムの導入により、オペレーターの人的関与を要することなく、掘進機の姿勢制御を完全自動化することができる。

④ メール送信システム

立坑・切羽の浸水・酸素ガス濃度異常を検知した場合、指定したメールアドレスに異常を知らせるシステムである。図－６にメール送信システム概要図を示す。



写真－４ クレーンスケールと表示器



写真－５ 排泥重量の管理画面

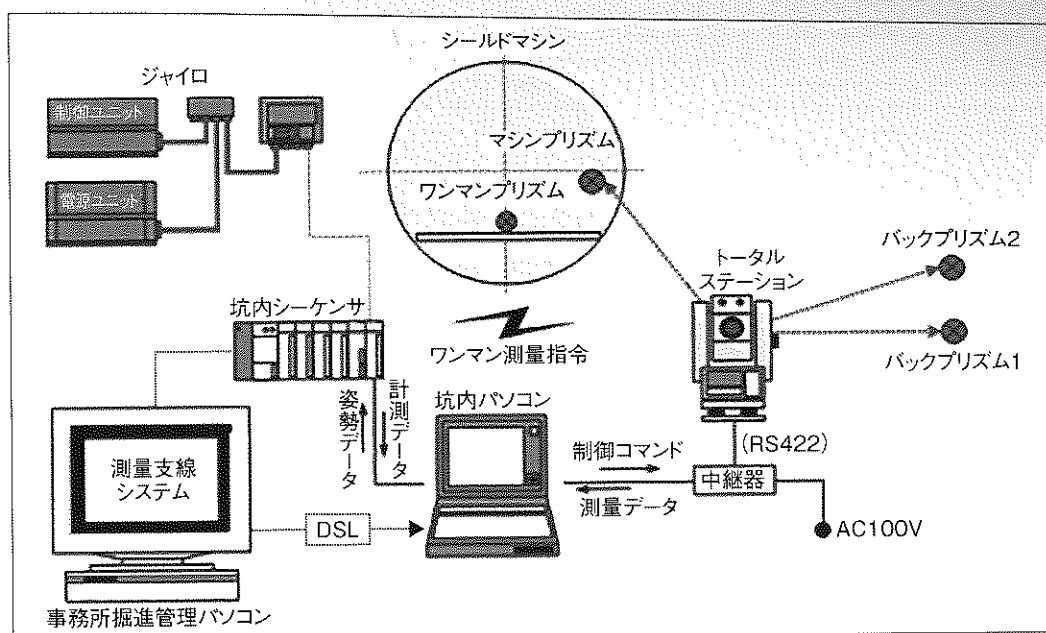


図-4 自動測量システム概要図

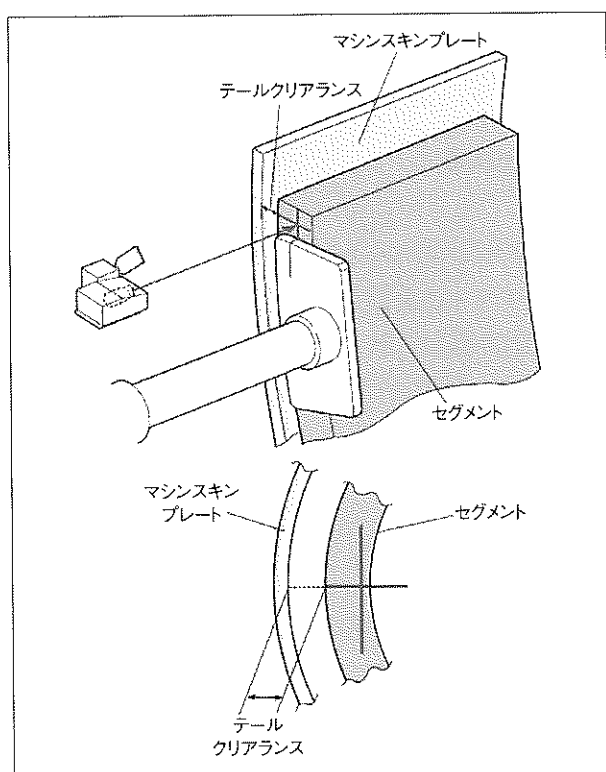


図-5 テールクリアランス計測システム概要図

④ 自動化に関する今後の展望

3章、ESS工法の手組みで紹介したように、自動化のシステムを組み合わせることで、大半の部

分については自動化が可能であると考えられる。しかしながら、土質状況に合わせた掘進（ジャッキスピード・カットトルク・泥水注入量等）や自動でセグメントを組み立てることは、まだまだ現実的ではない。最終的には、ほとんどの作業を自動化することが望ましいが、人が行っている作業、活動のすべてを代替させることはできない。特に、自らの意思・決断により新たな価値を創造できるのは、人のみである。ただし、経験したことをデータ化し、AIの導入によって近い将来には理想に近づくとされる。

⑤ おわりに

2025年には、建設業の労働人口が約90万人不足すると予測されている。人材雇用の促進は、これまでのネガティブなイメージを払拭し、具体的なアプローチとしてSNS等を活用し、若手人材が活躍するようすを投稿するなどの対策が必要と考えられるが、効果の有無については予測不能である。したがって、労働環境の改善を主体として、残業時間の削減、有給休暇の取得率のアップに活用できるような技術の導入が不可欠であると考えられる。一方、自動化を進めていくのにあたり、自動

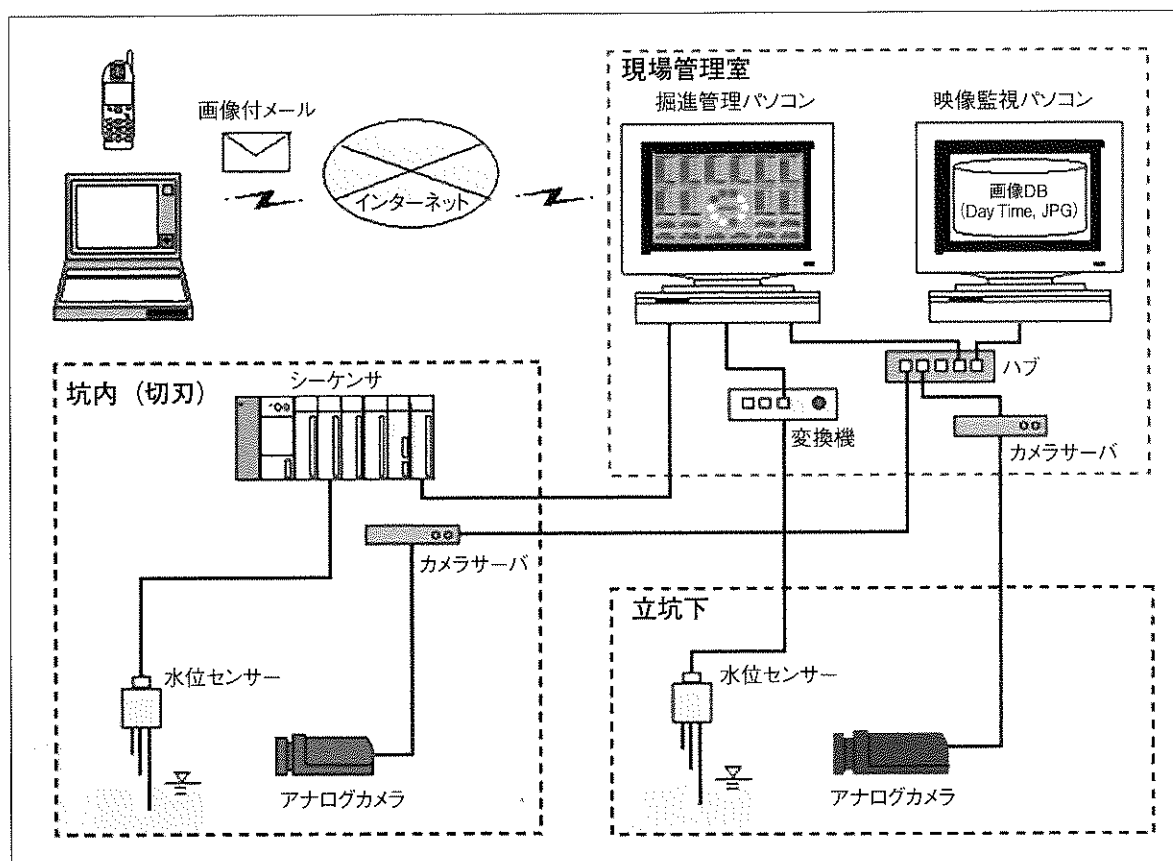


図-6 メール送信システム概要図

化された作業内容を熟知し、また操作ミスや故障した際のリスクにも対応できる人材が必要となるのは言うまでもない。

今回、紹介した当工法の取組みでは、施工状況の可視化やWi-Fiにより坑内と外部との連絡が容易に行えることで、現場状況が外部からも確認でき、発生するさまざまなトラブルを事前に防止できる可能性が大きくなった。しかしながら、自動化が望まれるなか、若年層がこれまで人が行って

きた判断・対応力を身に付けずにこれらのシステムを運用することが危惧される。そこで、我々の世代が若年層にこれらの技術力を伝授し、自動化を活かして、効率的に作業ができるよう切に願う。

〈謝 辞〉

最後に、本稿の執筆にあたり、(株)ハイパーエンジニアリングには、ご協力をいただき心からお礼を申し上げます。

お詫びと訂正

本誌 2024 年 6 月号 (Vol.47, No.7) P.70 ~ 71 の記事「現場見学会 下水再生リン配合肥料で農業振興 横浜市 B-DASH- 実証施設完成式」における P.71 本文の表記で誤りがありました。右段上から 9 行目に「2024 年度中に MAP と化学肥料を混合した肥料を作成。農水省の公定規格「菌体りん酸肥料」として登録したうえで、『はま巡リン』の製品名で市内の農家に向けて販売していく」とありますが、正しくは「2024 年度中に MAP を配合した肥料を製造し、市内の農家に向けて販売していく。」です。また、P.71 左上写真のキャプションは、正しくは「横浜生まれの再生リン PR ロゴマーク『はま巡リン』」です。訂正するとともに、読者の皆様にお詫びします。

(月刊下水道編集部)