

第 23 回 国土技術開発賞 創意開発技術賞受賞

土質変化に対応する 泥水二次処理剤自動添加システム 自動化・見える化で環境負荷低減とコスト縮減を実現

〔受賞者〕 株式会社タック

〔本稿執筆者〕 たきがわ しんじ よしだ ともや かわばた ゆうや
瀧川 信二, 吉田 智哉, 川端 裕也

以下に、第 23 回 国土技術開発賞 創意開発技術賞を受賞した「土質変化に対応する泥水二次処理剤自動添加システム」を紹介しします。

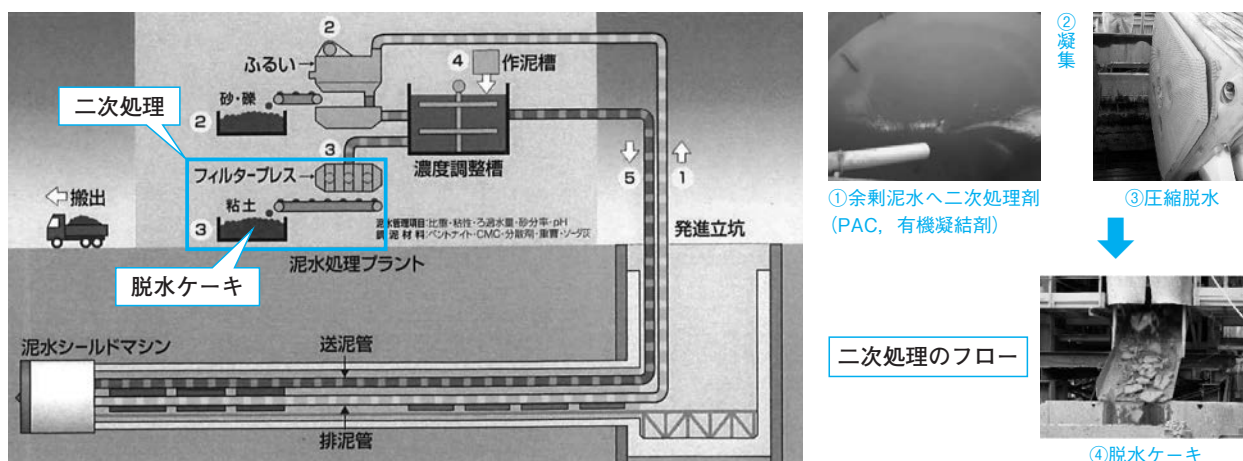
1. はじめに

シールド工法は、都市の地下に上下水道や鉄道をはじめとする社会インフラを構築するためのトンネル技術である。近年、大断面・大深度・長距離・高速施工を支える技術と同時に、大量の掘削土処理の 3R（リデュース、リユース、リサイクル）技術も重要視されている。

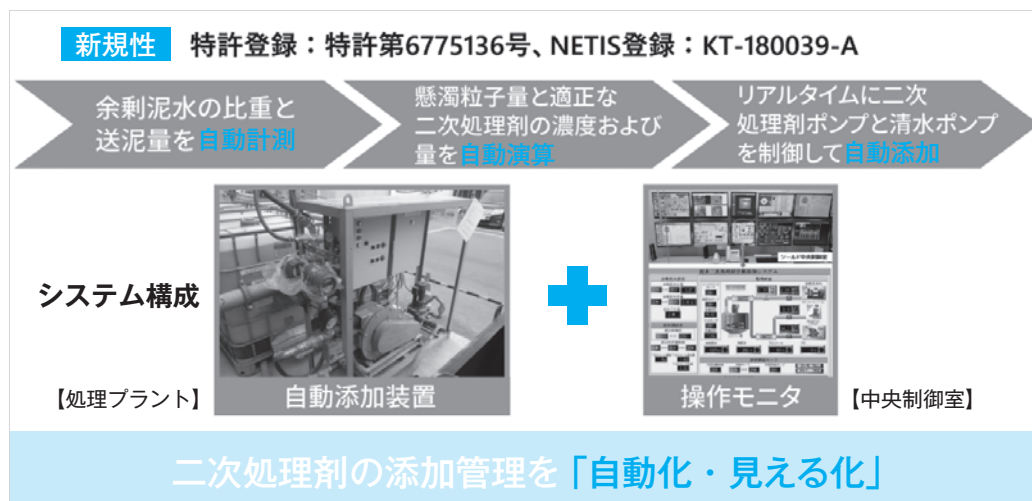
泥水式シールド工法の掘削土の流体輸送および処理は、次の循環サイクルで行われる（図－1）。

- ① 掘削土は、排泥管で地上の泥水処理プラントに泥水にて流体輸送される。
- ② 一次処理として、ふるいにかけ、砂や礫を取り出す。
- ③ 二次処理として、余剰泥水に二次処理剤を添加して粘土分をフィルタープレスで圧縮脱水し、粘土分（脱水ケーキ：建設汚泥）と水分を分級する。
- ④ 泥水は再使用可能な性状に濃度調整を行う。
- ⑤ 調整された泥水は再びマシン先端に送泥する。

従来の二次処理剤の手動添加では、掘削土質の変化に対応した適量調整が困難で、フィルタープ



図－1 泥水式シールド工法の掘削土処理とフィルタープレスからの二次処理土（脱水ケーキ）



図－2 泥水二次処理剤自動添加システム

レスからの脱水ケーキの性状悪化（高含水比）や排出量増大となる課題があった。

泥水二次処理剤自動添加システム（以下、「本技術」という）は、二次処理剤の添加方法を掘削土質の変化に対応できるように「自動化・見える化」し、脱水ケーキのリデュース（発生抑制）を可能とした技術である（図－2）。

本稿では、技術概要および施工実績について報告する。

2. 技術概要

(1) 二次処理剤の添加量管理

泥水式シールド工法の二次処理は、余剰泥水中に含まれる75 μm未満の粒子の粘土分（シルト、

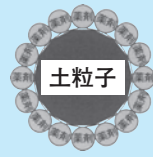
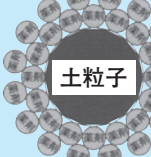
粘土、コロイド）を分離する処理である。余剰泥水はそのままでは分離できないので、二次処理剤で凝集・凝結し、フロック（団粒）にした上で圧縮等の方法で脱水するもので、一般にフィルタープレスが多用されている。

通常、フィルタープレスからの脱水ケーキは、建設汚泥（産業廃棄物）として処理されている。

そして、二次処理剤は一般に、PAC（ポリ塩化アルミニウム）や有機凝結剤（例：TG スコール）などが使用されている。二次処理剤の必要添加量は、余剰泥水中の懸濁粒子量に比例するため、泥水比重に応じた二次処理剤の添加が重要であり、添加量が多すぎても少なすぎても問題となる（表－1）。

シールド工事では、掘削土質の変化に常に注意

表－1 二次処理剤の添加量比較（PAC の場合）

模式図 ・土粒子：懸濁粒子 ・薬剤：二次処理剤			
・二次処理剤使用量	過少の使用量	適量の使用量	過剰の使用量
二次処理剤費	25 kg/sst 以下（○）	25 kg/sst（○）	25 kg/sst 以上（×）
・脱水ケーキ	高含水比	適正な含水比	高含水比
運搬処理費	増加（×）	標準（○）	標準（△）
・ろ水の再利用 水道費、環境性	ろ水不足で泥水調整に 問題（×）	泥水調整に影響なし （○）	pH が酸性領域となり 問題（×）
評 価	×	○	×

しなければならない。二次処理においても、掘削土質の変化に伴って処理する泥水性状が変化し、余剰泥水の懸濁粒子量も変動する。したがって、リアルタイムでの添加量調整が求められるが、従来の手動添加では特殊作業員による余剰泥水計測・計算・添加操作で、昼夜間を通して3～4回の調整頻度であった。そのため、二次処理剤の添加量が過剰(低比重の場合)、過少(高比重の場合)となり、フィルタープレスからの脱水ケーキの性状悪化(高含水比)や排出量増大につながった。

(2) 技術概要と特徴

本技術は、二次処理する余剰泥水の比重と流量を自動計測し、計測値から懸濁粒子量とそれに見合った二次処理剤の濃度、添加量を自動演算して、リアルタイム(1秒ごと)で二次処理剤ポンプと清水ポンプを制御して自動添加する。これによって、従来の手動添加では困難であった掘削土質の変化にすばやく対応する二次処理剤の濃度、添加量の自動調整が可能となり、従来の課題を解決した(NETIS:KT-180039-A)。

本技術は、従来見過ごされていた掘削土質の変化に対応する二次処理剤の濃度、添加量の調整をリアルタイムに「自動化・見える化」したもので、これによって経験の少ない担当者でも、適正な脱水ケーキ管理が可能となった。本技術の特徴は次

のとおりである。

- ① 建設汚泥である脱水ケーキ量削減により、地球環境への影響抑制が図れる。
- ② 脱水ケーキと二次処理剤の運搬車削減によって、騒音振動、CO₂排出量が削減でき、周辺環境への影響抑制が図れる。
- ③ 脱水ケーキ量と二次処理剤使用量の削減により、経済性が向上する。
- ④ 脱水ケーキの強度の低下がなくなり、処理土の品質が向上する。
- ⑤ シールドオペレータの遠隔操作で、施工性向上と省力化が可能である。
- ⑥ プレスサイクルタイム短縮が可能で、施工性が向上する。
- ⑦ 優れた操作性とデータ管理が可能である。

3. 施工実績

(1) 工事概要

- ・工事件名：桂川右岸流域下水道幹線管渠工事(雨水南幹線管渠)
- ・発注者：京都府環境部流域下水道事務所
- ・施工者：西松・ケイコン・今井特定建設工事共同企業体
- ・一次覆工：泥水式シールド工法、シールド機外径φ4,040mm(写真-1)、延長L=4,057m

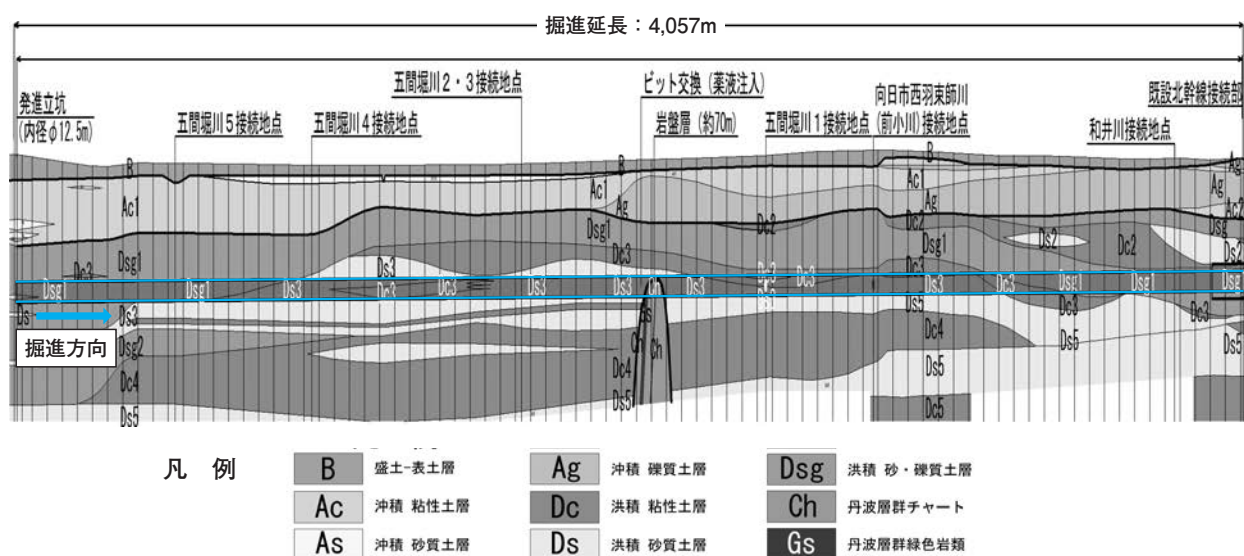


図-3 地質縦断面図



写真-1 泥水式シールド機 (φ 4,040 mm)



写真-2 コンパクトな二次処理剤自動添加装置

- ・土 質：砂礫，砂，粘土，岩盤と掘削土質が複雑に変化（図-3）

(2) 泥水二次処理剤自動添加システム

施工者からの「泥水式シールド工事における最終作業である掘削土の二次処理において，自動化で無駄を省けないだろうか」との要望を真摯に受け止め，二次処理剤の添加管理を誰もが実施でき，知恵を共有できる自動化・見える化のシステム作りを目標と定め，開発に取り組んだ。本技術のシステムフローを図-4に示す。

本技術の構成は，処理プラントの自動添加装置と中央制御室の操作モニタである。

自動添加装置（写真-2）は，希釈水・PAC用の中流量可変速ポンプ（5～35 L/min）と有機凝結剤用の低流量可変速ポンプ（1～5 L/min）をコンパクトにユニット化したもので，狭隘な場所にも設置可能である。

操作・監視モニタ（写真-3）は，中央制御室内の14型PCモニタを用い，容易に操作可能である。



写真-3 泥水二次処理剤自動添加システム操作モニタ

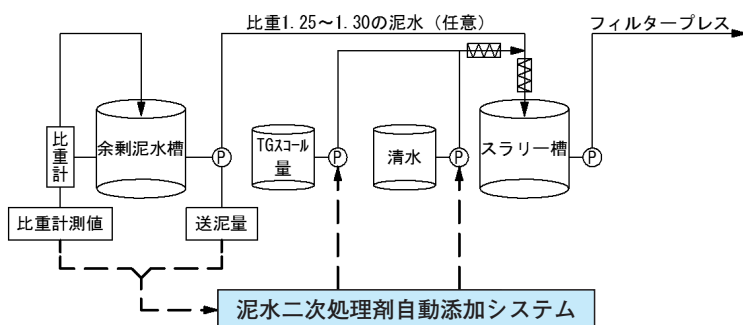


図-4 泥水二次処理剤自動添加システムフロー

現場の実施工では、二次処理剤の適正な濃度と添加量を見極めるための日常管理として、泥水凝集試験と排出脱水ケーキの含水比、コーン指数を測定した。その結果をシステムにフィードバック、微調整することで、脱水ケーキの含水比の低減、二次処理剤使用量の削減を綿密に実施した。

(3) 技術開発の効果

砂礫層区間では、脱水ケーキ含水比（平均 30%）を維持しながら二次処理剤（TG スコール）添加量を 0.5 kg/sst^(注)まで低減できたが、想定外の全断面粘性土層区間では、最大 4.0 kg/sst まで添加しないと脱水ケーキ含水比と掘進サイクルの両方を確保できない状況があった。

一方、TG スコール添加の特徴として、極力、高濃度の材料を少量添加する方が脱水ケーキの発生ロスが少ないが、反応ムラが発生する懸念があった。しかし、実施工では多少の濃度を変化させても脱水ケーキの性状変化は確認できなかったため、本掘進以降は 5% 溶液（8 倍希釈）を基本とした。

その結果、最終的に二次処理剤添加量は、当初計画添加量の 2.0 kg/sst を 1.2 kg/sst まで 40% 削減でき、薬剤の過剰添加防止になり、コスト削減と環境負荷低減につなげることができた。

(注) kg/sst：泥水中の浮遊土粒子（SS）1 トン当たりに必要な二次処理剤重量（kg）

掘削土質が複雑に変化する本工事での直接的効果は、次のとおりであった。

- ① 二次処理剤の適量添加で脱水ケーキが低含水

比となり、脱水ケーキ量 5,213 t（大型ダンプトラック 522 台分：図－5）を削減。その結果、建設汚泥の処理費と運搬費が低減でき、従来に比べ 16% のコスト削減が可能となった。

- ② 従来の特殊作業員による添加管理に代わり、中央制御室のシールドオペレータが掘進操作と併せて、二次処理剤の濃度、添加量を遠隔操作・監視でき、施工性向上と省力化で 87% のコスト削減が可能となり、①と合わせトータルで約 1,860 万円（12%）のコスト削減を達成した。

- ③ 二次処理剤の適量添加はプレスサイクルタイム短縮にも効果があり、施工性も向上した。

また、間接的效果として次の点があげられる。

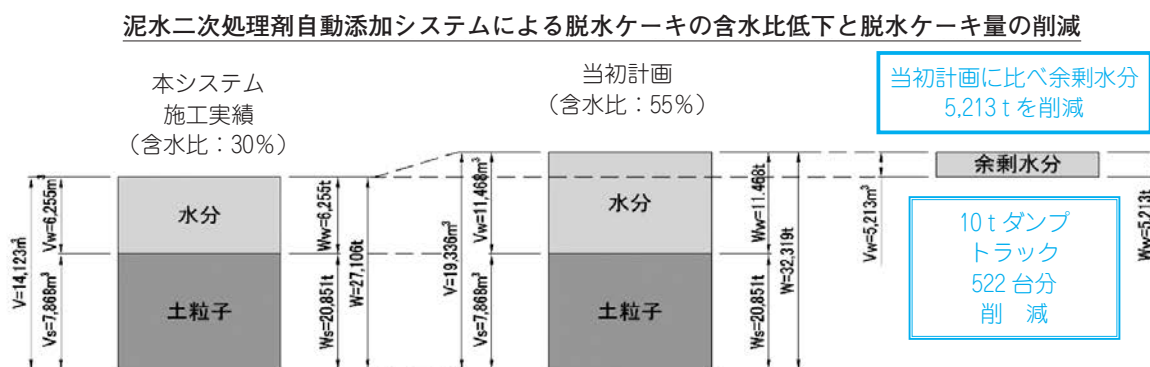
- ① 運搬車両の大幅減で騒音振動・CO₂ 排出量が削減でき、工事基地周辺や地球環境への影響抑制が可能である。
- ② 脱水ケーキ量削減は、逼迫する建設汚泥の最終処分場残余容量減に寄与できる。

4. 今後の展開

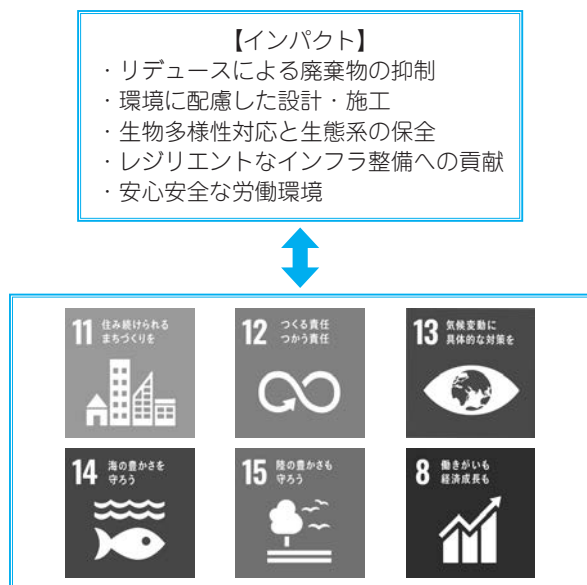
本技術の泥水式シールド工法での施工実績は、現在 5 件（国内 3 件、シンガポール 2 件）である。

泥水式シールド工法の脱水ケーキ量の大幅削減と省力化による環境負荷低減、コスト削減は、環境と生産性向上を好循環させる「グリーン社会の実現」、そして「SDGs 実現（図－6）」に貢献できる高付加価値技術として国内外に周知し拡大を図っていく。

そして、本技術は従来技術に比べ、水分量を確



図－5 脱水ケーキ搬出実績の模式図と脱水ケーキ量の削減効果



図－6 SDGs（持続可能な開発目標）への取組み

実に低減でき、泥状掘削物の処理にも適用可能であることから、今後は泥水式シールド工法のみならず、近年増加している集中豪雨対策の河川やダム湖における浚渫土の改良など「防災・減災」を支える技術としても普及させていきたい。

5. おわりに

建設業界の大きな課題は「熟練技能者減少、人材確保」である。このような中、二次処理剤添加の自動計測・演算・添加を一連のシステム化した本技術は、経験の少ない担当者でも適正な添加管理を可能とした。

今後も顧客の視点に立ち、現場に寄り添い、さまざまな技術開発に取り組む所存である。

最後に、ご指導とご協力をいただいた西松建設株式会社をはじめ、多くの関係者の皆さまに厚くお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 大石，田口：複合地盤での長距離泥水シールドの計画と施工，有限会社日本プロジェクト・リサーチ，第62回シールド・トンネル工法施工技術講習会，2018
- 2) 田口，大石：泥水式シールド二次処理剤添加システムの開発により環境負荷を低減，株式会社土木工学社，トンネルと地下，2020年2月号