

〈研究発表〉

担体法と高速砂ろ過を用いた既存水処理施設の処理能力増強技術の開発

福 沢 正 伸¹⁾, 土 井 知 之¹⁾, 宍 田 健 一¹⁾, 齊 藤 功²⁾
青 木 順²⁾, 馬 場 圭²⁾, 橋 本 敏 一³⁾

¹⁾ (株)タクマ 水処理技術部

(〒 660-0806 尼崎市金楽寺町 2-2-33 E-mail: fukuzawa@takuma.co.jp)

²⁾ JFE エンジニアリング(株) 環境本部

(〒 230-8611 横浜市鶴見区末広町 2-1 E-mail: isao-saito@jfe-eng.co.jp)

³⁾ 日本下水道事業団 技術戦略部

(〒 113-0034 文京区湯島 2-31-27 E-mail: Hashimotot@jswa.go.jp)

概 要

近年、下水処理場では、既存の水処理施設への高度処理の導入や、老朽化等による土木躯体を含めた改築更新が増加している。これらは土木躯体の建設を必要とし、それが建設費増大の一因となっている。これらの課題解決に向けて、筆者らは担体法および高速砂ろ過による既存施設の処理能力増強技術を開発した。本技術は土木躯体を建設せずに、既設の高度処理化や改築更新を可能とすることを旨としたものである。本報では実施施設およびパイロット設備を用いて約1年間にわたり実施した実証試験で得られた処理性能などを報告する。

キーワード：下水高度処理、担体添加活性汚泥法、高速砂ろ過、改築更新、能力増強

原稿受付 2017.7.3

EICA: 22(2・3) 40-44

1. はじめに

閉鎖性水域の水質改善のため高度処理の早期導入が求められているが、高度処理法は、標準活性汚泥法(以下、「標準法」と言う。)と比較して、反応タンクの水理学的滞留時間(HRT)を長く、かつ最終沈殿池の水面積負荷を小さくする必要がある。したがって、既存の標準法施設を高度処理化する場合には、処理能力(処理可能水量)の低下が避けられず、土木躯体を含めた水処理施設の増設が必要となるケースもある。また、老朽化による躯体を含めた水処理施設の改築更新が増えつつあり、土木躯体の建設にかかる高額な建設費や用地確保が課題となっている。したがって、土木躯体の増設をせずに既存施設の処理能力の増強が可能になれば、これらの課題の解決につながる事が期待できる。

反応タンクの処理能力を増強する技術としては、担体添加活性汚泥法(以下、「担体法」と言う。)が実用化されている¹⁾。担体法は、高度処理施設の省スペースなどを目的に数多くの稼働実績があるが、これまで既存施設への導入にあっては、担体法による反応タンクの処理能力増強を行っただけでは、最終沈殿池の処理能力が律速となり、その導入効果を最大限に発揮できないケースがあった。

そこで筆者らは、「担体法と高速砂ろ過による処理能力増強技術」を(以下、「本技術」と言う。)開発し

た(Fig.1)。本技術は、既存の反応タンクに担体法を導入し、処理能力を増強するとともに、これに伴う最終沈殿池の高負荷運転に対して、後段にSS補足能力の高い高速砂ろ過²⁾を設けて固液分離能力を増強するものである。

本報では下水処理場の実施施設およびパイロット設備にて、約1年にわたって実施した実証試験における通年の処理性能等について報告する。

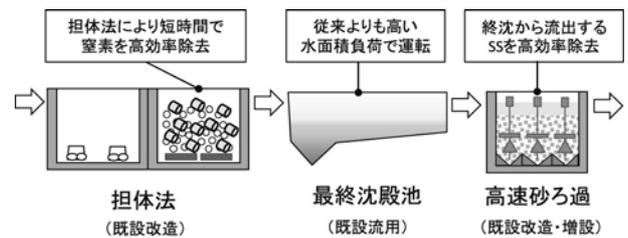


Fig.1 Outline diagram of the developed technology

2. 試験設備および試験方法

2.1 試験設備

(1) 概要

実証試験は、担体法が導入されているA下水処理場の高度処理法施設の一列(処理能力:日最大11,000 m³/日。以下、「実験系列」と言う。)を用いて、処理水量を増加させて実施した。実証施設の諸元を

Table 1 に示す。反応タンクおよび最終沈殿池の処理水量は、日最大 13,760 m³/日、反応タンクの HRT は 4.5h、最終沈殿池の水面積負荷は 32 m³/(m²・日) とした。反応タンクおよび最終沈殿池には改造を行わず、補機類も含めて既存の施設・設備を使用した。高速砂ろ過は、ろ過速度 450 m/日、処理能力 225 m³/日のパイロット設備を設置して、最終沈殿池越流水（以下、「終沈越流水」と言う。）の一部を送水し、処理を行った。

Table 1 Outline of demonstration equipment

| | | | |
|---------|-------|--------------|--|
| 実施設 | 反応タンク | 処理水量 (計画日最大) | 13,760 m ³ /日 |
| | | 処理方式 | 担体利用循環式硝化脱窒法 |
| | | HRT | 4.5 h |
| | | 循環比 | 1.0 |
| | | 硝化液循環比 | 0.5 |
| | 汚泥返送比 | 0.5 | |
| 最終沈殿池 | 担体添加率 | 約 5% | |
| | 形式 | 二階層式沈殿池 | |
| パイロット設備 | 高速砂ろ過 | 水面積負荷 | 32 m ³ /(m ² ・日) |
| | | 処理水量 | 225 m ³ /日 |
| | | ろ過速度 | 450 m/日 |
| | | ろ層高さ | 3 m |

(2) 反応タンク

本技術を構成する担体法は、ポリプロピレン製の中空円筒型（外径 4 mm×長さ 5 mm）で耐久性に優れた結合固定化担体を用いたものである（**Fig. 2**）。16 年間、担体補充無しの稼働実績がある。

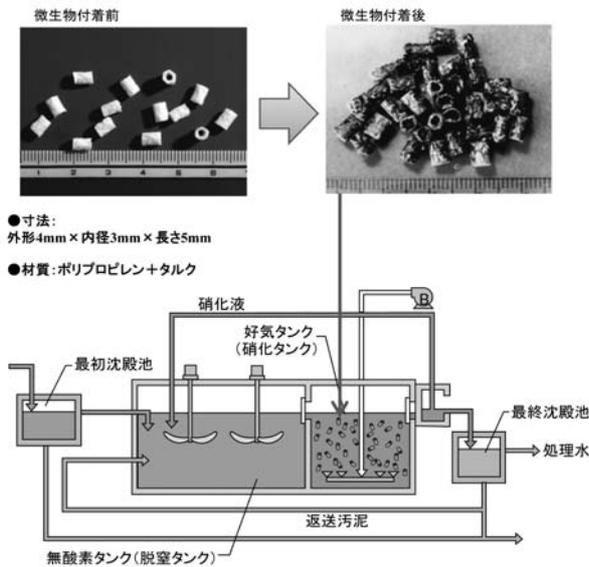


Fig. 2 Carrier added activated sludge method

(3) 最終沈殿池

最終沈殿池は、反応タンク的能力増強に伴って、高度処理法における一般的な水面積負荷（15~25 m³/(m²・日)）よりも高い水面積負荷（32 m³/(m²・日)）で運転を行った。なお、全国の高度処理法施設におけ

る平均的な水面積負荷（計画値）は 18 m³/(m²・日) 程度であり（平成 26 年版下水道統計より）、実証試験条件はその約 2 倍に相当する。

(4) 高速砂ろ過

最終沈殿池を高負荷で運転した場合、粒径の細かな汚泥は越流水側に流出しやすくなる。そのため、これを補完するために設置する後段のろ過設備には、原水 SS 濃度が増加しても洗浄工程に切り替わらず、ろ過工程を継続できる性能が求められる。

これに対して、高速砂ろ過は連続洗浄機構により連続ろ過が可能であり、かつ高い SS 補足能力を有するため、高負荷運転の最終沈殿池との組み合わせに適している（**Fig. 3**）。また、既設の固定床砂ろ過池の躯体を活用して高速砂ろ過に改築可能であり、多数の稼働実績がある。

実証試験では、ろ過速度を従来の固定床砂ろ過（200~300 m/日）の約 2 倍に相当する 450 m/日とした。また原水 SS 濃度の設計値は 50 mg/L 以下としたが、これは従来のろ過設備の設計値（原水 SS 濃度 20 mg/L 以下）の 2 倍以上である。高濃度 SS の対策として、ろ層の積み増しと原水 SS 計による洗浄空気量制御（**Fig. 4**）を導入した。

ろ材の空気洗浄装置であるエアリフトポンプに用いる洗浄空気は、従来は原水 SS 濃度の変動が小さいため現場操作により一定量で管理していた。本技術においては、原水 SS 濃度の変動が大きくなるため、原水 SS 濃度に応じて段階的に空気量を自動制御すること

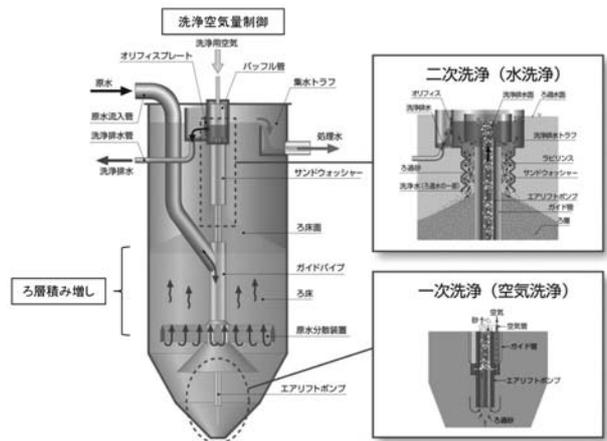


Fig. 3 High Rate Moving Bed Sand Filter

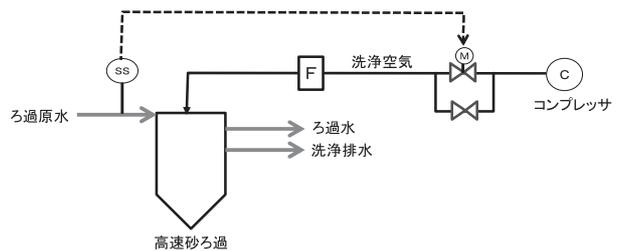


Fig. 4 Schematic diagram of backwash air control system

で、洗浄動力の省エネ化と高濃度原水対応の両立を目指した。

2.2 試験方法

(1) 長期連続試験

実証試験は、平成28年2月から平成29年2月までの約1年間実施した。原水は高度処理法施設の最初沈殿池越流水（反応タンク流入水）を用い、仮設ポンプで任意の水量を実験系列へ供給した。水量変動はA下水処理場の平均的な流入パターンに設定した。試験期間は、処理水量により、RUN0（11,100 m³/日：調整期間）、RUN1（11,100 m³/日：日平均水量）、RUN2（12,500 m³/日）、RUN3（13,760 m³/日：日最大水量）、RUN4（11,100 m³/日：冬期日最大水量）に区分される。反応タンクの空気量は、好気タンクの溶存酸素（DO）濃度が3 mg/Lとなるように調整した。活性汚泥浮遊物質（MLSS）濃度は通年で2,500 mg/Lを管理目標とした。本技術は凝集剤添加を必須とするものではないが、A下水処理場にはりん規制があるため、凝集剤を反応タンクに添加した（硫酸バンド添加率約1.2 mg-Al/L）。

実証試験の目標水質は、高速砂ろ過処理水（以下、「処理水」と言う。）においてBOD 10 mg/L以下、T-N 10 mg/L以下、SS 5 mg/L以下とした。水質分析は約1週間毎に、24時間の流量比例コンポジット試料（採水1時間間隔）を調製して行った。さらに、日間変動に対する処理性能を確認するため、約3ヶ月毎に24時間にわたり2時間毎にスポット採水し、水質分析を行った。

(2) 高速砂ろ過の高濃度SS除去試験（模擬原水）

最終沈殿池の高負荷運転による越流水SS濃度の上昇を想定して、高速砂ろ過単独で模擬原水を用いた高濃度SS除去試験を実施した。原水は、終沈越流水に活性汚泥を混合してSS濃度を50 mg/L程度に調整した模擬原水を用いた。試験継続時間は、一般的な下水処理場の水量ピーク継続時間（3～4時間）よりも厳しい条件として24時間連続とし、ろ過速度は時間最大相当の700 m/日固定で実施した。

3. 実証試験結果

3.1 長期連続試験結果

約1年間の処理水質の推移をFig. 5に示す。流入水質や水温の季節変動に対して、全RUNにおいて処理水質は目標水質を達成した。

MLSS濃度は、汚泥返送比0.5程度で年間を通して概ね平均2,700 mg/Lで安定して推移したが、A下水処理場の汚泥処理系の影響でRUN3（秋期）に一時3,000 mg/L程度まで増加した。このとき最終沈殿池

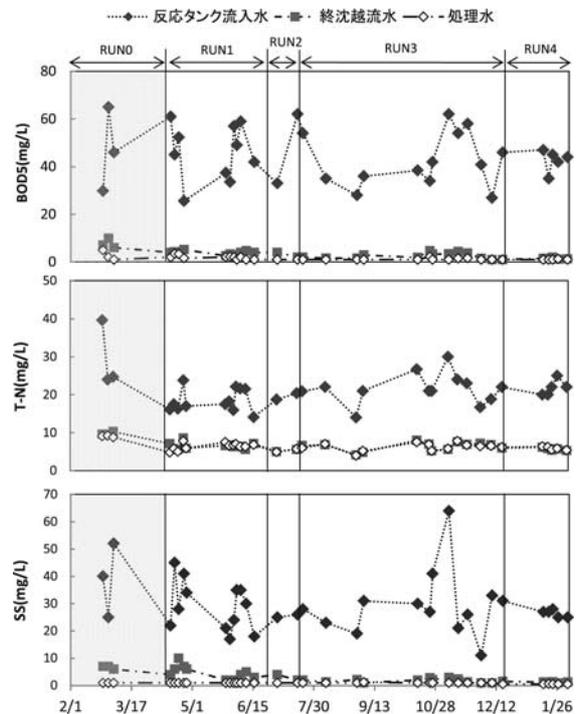


Fig. 5 Results of long-term continuous test

で汚泥の巻き上がりが発生し、終沈越流水SS濃度が大きく増加したが、高速砂ろ過で除去され、処理水SS濃度は低く安定していた(3.3参照)。

汚泥容量指標（SVI）は、夏～秋期では100～200程度、春・冬期では200～280程度、返送汚泥濃度は平均5,800 mg/L（4,000～8,000 mg/L）であった。これらは実験系列よりも処理水量の少ない他系列と概ね同水準であり、MLSS濃度も安定していたことから、本技術における汚泥の沈降性および返送汚泥濃度に問題は生じなかった。

以上のとおり、1年間にわたる長期連続試験を通じて、本技術の処理性能および処理安定性が確認された。

3.2 日間変動に対する処理性能

計4回実施した日間変動試験のうち、水温が低く、かつ処理水量の多かった初冬における日最大水量運転（RUN3）の結果をFig. 6に示す。このとき反応タンク流入水の水温は約18℃であった。反応タンク流入水（日間平均値）がBOD 38 mg/L、T-N 20 mg/L、SS 25 mg/Lであるのに対して、処理水はBOD 1 mg/L以下、T-N 5.4 mg/L（日間平均値、範囲：3.5～6.8 mg/L）、SS 1 mg/L以下であり、1日を通じて目標水質を満足した。

以上のとおり、本技術は日間変動に対しても安定した処理性能が得られることが確認された。

3.3 最終沈殿池の水質悪化時の挙動

3.1で述べた最終沈殿池の汚泥巻き上がり発生時の終沈越流水のSS濃度（SS計測定値）の経時変化を

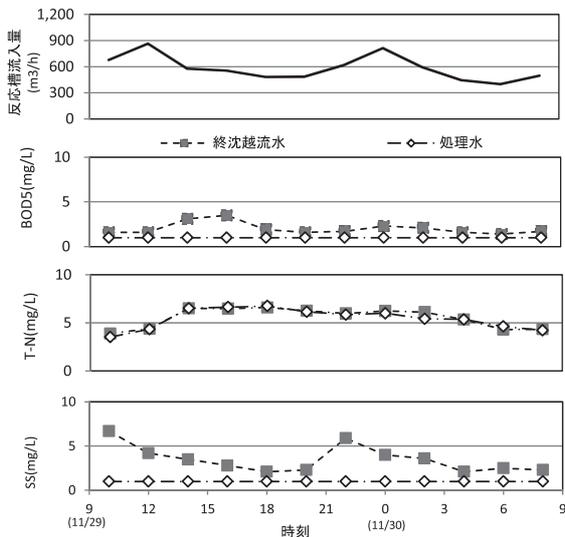


Fig. 6 Day time-series fluctuation of removal performance (RUN3, 2016/11/29-30)

Fig. 7 に示す。

終沈越流水 SS 濃度は夜間のピーク水量時に最大 23 mg/L 程度まで増加し、1 時間程度継続した。この 2 週間ほど前から MLSS 濃度は 3,000 mg/L まで一時的に増加しており、このとき汚泥界面計の測定で汚泥界面が大きく上昇したことが確認された。

それに対して、高速砂ろ過においては最終沈殿池の水質悪化前後も処理水 SS 濃度は 1 mg/L 程度を維持した。またろ過抵抗は、Fig. 7 に示すように、水量変動の影響を受けて周期的に増減を繰り返した。終沈越流水 SS 濃度上昇時と通常時の同時間帯のろ過抵抗を比較するとほぼ同程度であった。これは原水 SS 濃度の一時的な増加に対して、洗浄空気量制御により自動的にろ材洗浄が強化された効果と考えられた。

以上のとおり、高速砂ろ過は原水の水質および水量変動に対しても安定運転を継続でき、良好な処理水質が得られることが確認された。

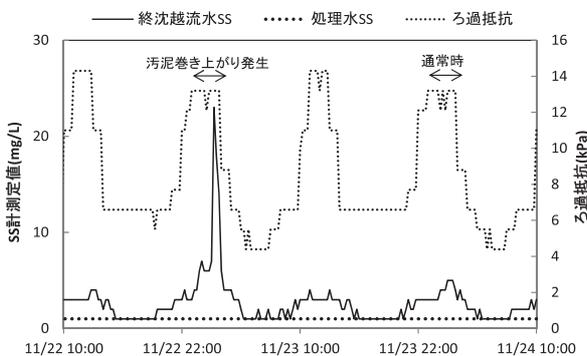


Fig. 7 Changes of filtration resistance and SS concentration of settled or filtered water (2016/11/22-24)

3.4 高速砂ろ過の高濃度 SS 除去試験結果

試験結果を Fig. 8 に示す。原水 SS 濃度 30~80 mg/L に対してろ過水 SS 濃度は 1~4 mg/L, SS 除去

率は 90% 以上と優れた除去性能を示した。また、ろ過抵抗は活性汚泥添加前と比べて若干増加傾向を示したが、添加後 3~4 h 程度で安定し、約 24 h 後に添加停止すると同じく約 3~4 h 程度で元のろ過抵抗に戻ったことから、ろ材連続洗浄は有効に機能したのと考えられた。

以上のとおり、高速砂ろ過は高負荷運転の最終沈殿池の固液分離を増強する技術として十分な処理性能を有することが確認された。

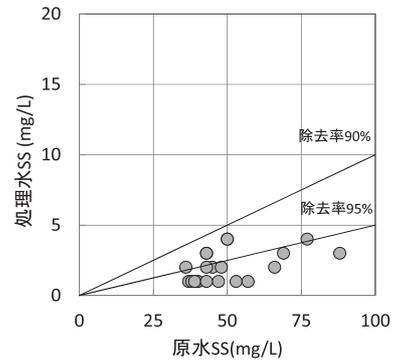


Fig. 8 SS removal performance of High Rate Moving Bed Sand Filter (LV700 m/d)

4. ま と め

担体法および高速砂ろ過による処理能力増強技術の実証試験で得られた知見は以下のとおりである。

- ① 長期連続試験の結果より、担体法と高速砂ろ過を組み合わせることで、既存の水処理施設の処理能力を増強しつつ、有機物・窒素・SS について安定した処理水質が得られることを確認した。
- ② 最終沈殿池は、水面積負荷 32 m³/(m²・日) と高負荷運転を行ったが、汚泥の巻き上がりにより終沈越流水 SS 濃度が 20 mg/L を超えた際も後段の高速砂ろ過で SS は安定的に除去された。また、返送汚泥濃度も安定していたため、通常の汚泥返送比で MLSS を維持でき、高負荷運転の最終沈殿池と組み合わせた反応タンクも安定した運転を行うことができた。
- ③ 高速砂ろ過の高濃度 SS 原水に対する SS 除去性能は、模擬原水を用いた試験において原水 30~80 mg/L に対して処理水 5 mg/L 以下を示した。このことから最終沈殿池の固液分離能力を増強する設備として十分な処理性能を有すると考えられた。

謝 辞

実証試験にあたり、実証フィールドをご提供いただいた A 下水処理場の関係者の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本下水道事業団技術戦略部：自治体ニーズに応えるJSの新技術 担体利用高度処理システム（バイオチューブ），月刊下水道，Vol.39, No.8, pp.60-64（2016）
- 2) 福沢正伸ほか：高速移床式砂ろ過器による栄養塩類除去，下水道研究発表会講演集，Vol.51, pp.886-888（2014）