

〈研究発表〉

高速移床式脱窒ろ過器における有機物注入制御とその効果 (その2)

福 沢 正 伸¹⁾, 土 井 知 之¹⁾, 日下部 武 敏²⁾, 清 水 芳 久²⁾

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⁾ 京都大学 大学院工学研究科附属 流域圏総合環境質研究センター

(〒520-0811 大阪市由美浜1-2 E-mail: shimizu@biwa.ec.kyoto-u.ac.jp)

概 要

筆者らは、省スペースでSS・窒素を高度に同時除去が可能な「高速移床式脱窒ろ過」の実証試験を実施しており、昨年度はろ過速度450 m/日の高速運転における長期連続運転の処理特性および有機物注入制御の効果を報告した。本報ではさらなる高速条件における処理特性を調査した結果を報告する。ろ過速度660 m/日の長期連続運転でも安定した硝酸性窒素の除去を確認し、有機物注入制御により目標水質を達成した。また、高速移床式砂ろ過器のSS除去性能についても検討を加え、SS100 mg/L程度の原水に対しても高い除去率が得られることを確認した。

キーワード：急速ろ過、脱窒ろ過法、生物学的窒素除去、高速移床式脱窒ろ過

1. は じ め に

公共用水域の水質改善に果たす下水処理場の役割は極めて大きい。高度処理実施率はいまだ39%に留まっており、高度処理の早期導入が求められている。高度処理の導入には多額の建設コストや消費電力の増加などが課題であるが、近年は早期の水質改善を目的に、運転条件の見直しや部分的な施設の改造など導入が比較的容易なものから着手し、窒素・りん除去率を向上させていく段階的の高度処理が推進されている。

一方、移床式脱窒ろ過法は、既存の砂ろ過設備に対して有機物注入設備の追加など比較的軽微な改造で窒素除去機能を付加することが可能であり、窒素除去の早期対応に有効な技術である。

移床式砂ろ過器における脱窒ろ過法の開発は、パイロットプラントでのろ過速度(LV)400 m/日までの窒素除去性能の確認¹⁾、脱窒型に改造した処理量10,000 m³/日の実設備による実証試験^{2,3)}等が行われてきた。

昨年度の報告⁴⁾では、パイロットプラントによる実証試験で高速移床式脱窒ろ過器の処理特性および有機物注入制御の効果について調査検討し、LV450 m/日において所期の目標を達成したことを報告した。本報では、更なる高速運転時の窒素除去の処理特性と共に、一時的な水量増加などによる最終沈澱池の処理水質の悪化を想定して高濃度SS原水に対するSS除去性能についても調査を行ったので結果を報告する。

2. 移床式脱窒ろ過法

移床式砂ろ過器の構造をFig.1に示す。Fig.1はRC水槽内に原水供給部と洗浄装置を複数台設置した、大規模施設向けの省スペースタイプである。

2.1 ろ過工程・洗浄工程

ろ過工程は、原水を上向流でろ層に通水し、SS除去を行う。洗浄装置は連続洗浄方式であり、ろ過工程と洗浄工程を常時並行して行うことで連続運転が可能となっている。洗浄工程は2段階に分かれており、一次洗浄はろ材がエアリフトポンプ内を空気と水の混相流として上昇する間に、SSを剥離・洗浄するものである。二次洗浄はろ過器上部のサンドウォッシュャ内でのろ材とろ過水とが向流接触してSSを分離する。その後、洗浄されたろ材だけがろ層上部へと戻るといふ順に行われる。補機はろ材洗浄用の空気圧縮機のみであり、シンプルかつ省エネルギーな設備構成である。

2.2 脱窒ろ過法

脱窒ろ過法は、ろ過器において有機物添加とろ層内の生物膜により、SS・窒素の同時除去を行うものである。窒素除去は、砂の表面に付着した脱窒細菌により生物学的に硝酸性窒素(NO₃-N)の除去が行われる。

脱窒反応は従属栄養細菌によってNO₃-Nから窒素ガスに変換する還元反応であるため、水素供与体(有機物)が必要である。通常、ろ過原水(二次処理水)には有機物がほとんど残っていないため、脱窒ろ過法

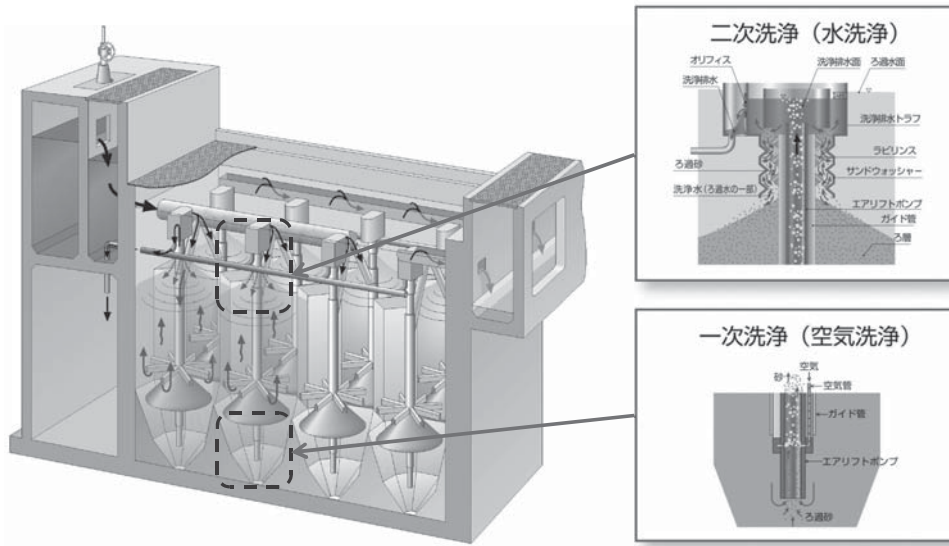


Fig.1 Conception diagram of up-flow moving bed sand filtration

では有機物を原水に注入することでろ過器内にて脱窒反応を行うものである。

3. 実験方法

3.1 実験装置

(1) 実験設備

実証試験は、A 下水処理場にて平成 25 年 7 月から平成 26 年 2 月に実施した。原水には標準活性汚泥法の最終沈殿池越流水を使用した。実験設備の構成は原水ポンプ、高速移床式脱窒ろ過器、ろ材の洗浄用空気圧縮機、薬品注入設備で構成される。

本研究で使用した高速移床式脱窒ろ過器は、従来の移床式をベースに洗浄装置の大容量化やろ層の最適化により LV700 m/日に対応したものであり、ろ過面積は 0.5 m² である。ろ材には粒径 1 mm 程度の珪砂を、脱窒ろ過のための有機物にはメタノールを使用した。

(2) 有機物注入制御システム

脱窒に必要なメタノール量は、原水の NO₃-N 濃度、NO₂-N 濃度、DO 濃度によって変化する。対象とした終沈越流水には NO₂-N がほとんど存在しなかったことから、McCarty の実験式⁵⁾を基にした(1)式を用いた。

$$\text{メタノール注入量(mg/L)} = [a \cdot (\text{原水 NO}_3\text{-N} - \text{目標 NO}_3\text{-N}) + b \cdot \text{原水 DO}] \cdot \alpha \quad (1)$$

ここで、a, b : 係数, α : 補正係数

有機物注入制御システムは、原水オンライン測定用の隔膜式溶存酸素濃度計 (HACH 製), UV 吸光式浸漬型硝酸濃度計 (HACH 製) および電磁式流量計で構成される。また、原水水質の変動に対する応答性に

優れたフィードフォワード (FF) 制御¹⁾を採用した。

3.2 実験条件

(1) 脱窒ろ過

脱窒ろ過の実験条件を Table 1 に示す。

Table 1 Operation conditions of sand filtration

	RUN1	RUN2	RUN3
ろ過速度 (m/日)	450~660	450 ~220	220 ~450
メタノール注入方法	自動制御 (ろ過水目標 NO ₃ -N 濃度 2 mgN/L)	任意 (固定)	
原水 NO ₃ -N 濃度 (mgN/L)	4~7	13~20	6~10
備考		NaNO ₃ 添加	再立上げ

RUN1 では、ろ過速度を最大 660 m/日まで大きくして運転を行った。注入制御の目標ろ過水 NO₃-N 設定値は 2 mgN/L とした。

RUN2 では、原水に硝酸ナトリウム (NaNO₃) 水溶液を添加して原水濃度を高くして、その影響を調査した。各 LV における目標 NO₃-N 除去濃度は、LV450 m/日では 6 mgN/L, LV220 m/日では 11 mgN/L として運転を行った。

RUN3 では、10 日間運転停止した後の再立上げ運転時の処理特性および再立上げに要する所要期間を調査した。

(2) 高濃度 SS 実験

高濃度 SS 原水に対する SS 除去試験は、LV450 m/日の条件で原水に活性汚泥を混合し、SS 濃度を 70~300 mg/L 程度に調整して実験を行った。

4. 実験結果

4.1 脱窒ろ過の処理特性

(1) 高速運転時の窒素除去 (RUN1)

RUN1 の運転結果を Fig. 2 に示す。

ろ過速度を 450 m/日から 660 m/日まで段階的に増加させてメタノールの自動注入制御運転を実施した結果、原水 NO₃-N 濃度は 4~7 mgN/L の範囲で変動したが、ろ過水 NO₃-N 濃度は目標値の 2 mgN/L 程度を安定して示し、LV660 m/日の高速運転においても硝酸性窒素除去が可能であることを確認した。

(2) 高濃度硝酸に対する処理特性 (RUN2)

原水に NaNO₃ 水溶液を添加して原水 NO₃-N 濃度を高くして運転した結果を Fig. 2 に示す。NO₃-N 濃度は原水が平均 14 mgN/L に対してろ過水は平均 8 mgN/L、除去濃度は目標値通りの 6 mgN/L を示した。また、LV220 m/日では原水が平均 14 mgN/L に対してろ過水は平均 3 mgN/L、除去濃度は目標値である 11 mgN/L を示した。

メタノール注入率と NO₃-N 除去濃度の関係を Fig. 3 に示すが、RUN2 は原水 NO₃-N 濃度調整をしていない RUN1 と比べても概ね同様の傾向を示した。

以上より、原水が高濃度の場合でもメタノール添加率に応じて目標値通りの除去濃度が得られることを確認した。

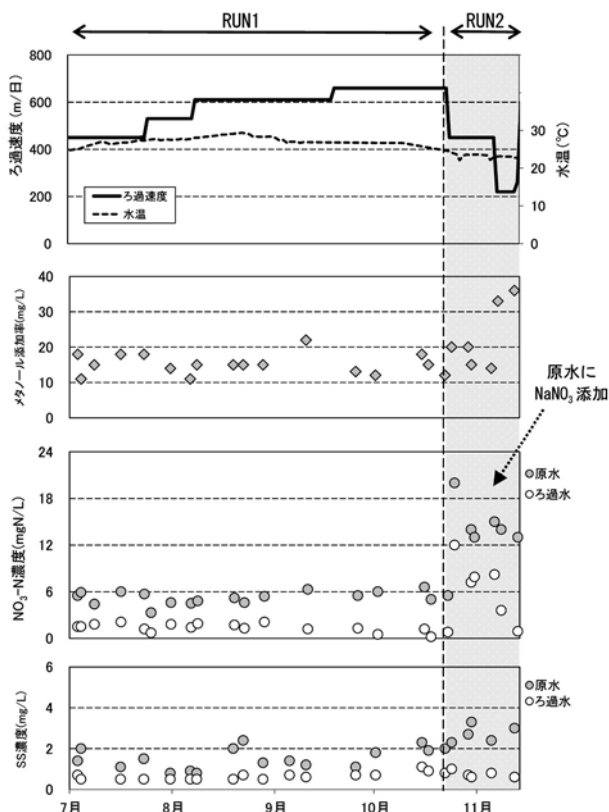


Fig. 2 Trend graph of denitrification test (RUN1, 2)

(3) 脱窒ろ過の再立ち上げ (RUN3)

平成 25 年 12 月 27 日から翌年 1 月 6 日までの 10 日間、運転停止 (原水およびメタノール供給停止) し、再立ち上げを行った。運転結果を Fig. 4 に示す。

再立ち上げは冬季に実施したため、水温は 17°C 程度と低かった。当初は LV220 m/日程度にろ過速度を抑えて運転再開したが、7 日後には窒素除去を確認し、LV450 m/日にて運転が可能となった。

以上より、脱窒ろ過は冬季に 10 日程度運転停止しても速やかに再立ち上げが可能であることを確認した。

(4) SS・BOD 除去性能 (RUN1~2)

原水 SS 濃度は 1.0~3.5 mg/L で変動したが、ろ過水 SS 濃度は概ね 0.5 mg/L を示し、脱窒ろ過運転中も高い SS 除去性能を示した。

一方、各 RUN の BOD 除去率は RUN1 では 20%、RUN2 では 49% であり、脱窒ろ過においても従来の砂ろ過と同等の BOD 除去効果が確認された。

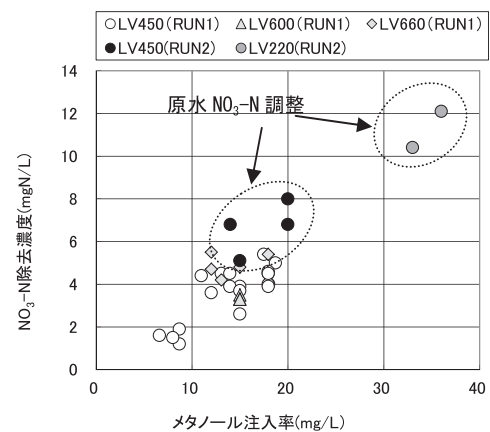


Fig. 3 Relationship between methanol injection ratio and NO₃-N removal of denitrification test (RUN1, 2)

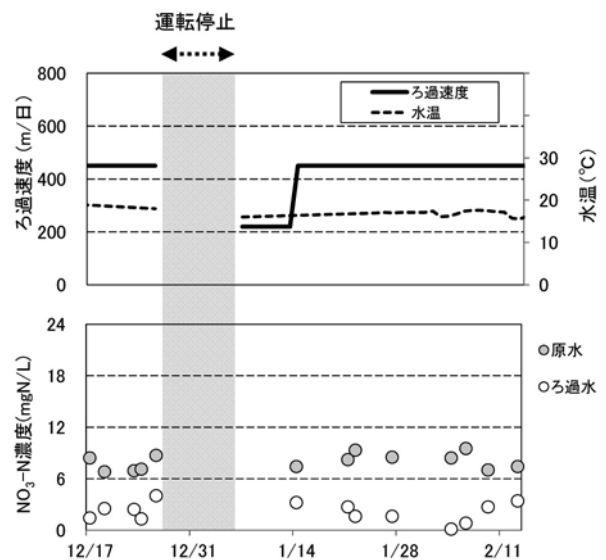


Fig. 4 Trend graph of restart-up of denitrification test (RUN3)

4.2 高濃度 SS 実験

LV450 m/日における原水とろ過水の SS 濃度の関係を Fig. 5 に結果を示す。原水 SS 濃度 100 mg/L に対してろ過水は約 3 mg/L で除去率は約 97% を示した。100 mg/L 程度であれば連続通水しても安定した連続運転が可能であった。

一方、原水 SS が 200 mg/L 以上となるとろ過水質が悪化し、ろ過水 SS は 10 mg/L 以上を示した。

以上より、原水 SS 100 mg/L 程度まではろ材の連続洗浄機構が有効に機能し、安定した連続運転が可能であることを確認した。

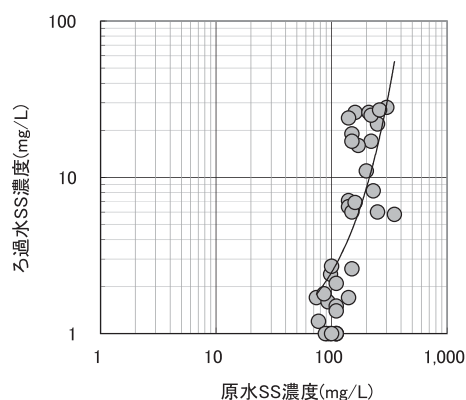


Fig. 5 Relationship between influent SS concentration and effluent SS concentration of sand filtration (LV450 m/day)

5. ま と め

本報では、省スペースな SS・窒素除去装置である高速移床式脱窒ろ過の実証試験を行い、高速条件にお

ける長期連続運転の処理特性を調査した。また、高濃度 SS 原水に対する除去性能についても検討を加えた。

- 1) 脱窒ろ過試験にて LV660 m/日の高速運転を長期間実施した結果、概ね制御の目標値の硝酸性窒素濃度が得られ、制御も良好に機能した。
- 2) 原水の NO₃-N 濃度が高い場合も、メタノール注入率に応じた窒素除去が可能であることを確認した。
- 3) 脱窒ろ過の運転を冬季に 10 日間停止したが、速やかに再立ち上げ可能であることを確認した。
- 4) 高速移床式砂ろ過器の高濃度 SS 原水に対する SS 除去性能を調査した結果、原水濃度 100 mg/L に対してろ過水は 3 mg/L 程度で高い SS 除去率を示し、さらに移床型の連続洗浄機構により安定した連続運転が可能であった。

参 考 文 献

- 1) 石井 実ら：上向流移床型砂ろ過器による生物学的窒素除去、下水道協会誌、Vol. 43, No. 529, pp. 119-135 (2006)
- 2) 須藤真琴ら：上向流移床型ろ過（実施設）における窒素除去技術、第 44 回下水道研究発表会講演集、pp. 718-720 (2007)
- 3) 別府智志ら：上向流移床型ろ過（実施設）における窒素除去技術（その 2）、第 45 回下水道研究発表会講演集、pp. 764-766 (2008)
- 4) 福沢正伸ら：高速移床式砂ろ過における有機物注入制御とその効果、EICA, Vol. 18, No. 2/3, pp. 54-57 (2013)
- 5) McCarty : Biological denitrification of wastewaters by addition of organic materials, Proc. 24th Ind. waste Conf., Purdue Univ., pp. 1271-1285 (1969)