

脱窒型 上向流移床型ろ過装置の設計手法と導入効果に関する検討

(株) タクマ

○奥田正彦 土井知之

(財) 愛知水と緑の公社 須藤真琴 別府智志 有働哲也 林恭子

1. はじめに

閉鎖性水域の富栄養化対策として、下水処理施設では窒素除去性能の向上を目的とし、高度処理の導入が進められている。近年の下水道施行法の改正では、高度処理共同負担事業などのさらなる推進策が示された。従来の技術では、施設の大幅な拡張が必要とることから導入が困難な処理場も少なくない。また、窒素除去率に限界があるため、将来的な流総計画目標値への対応が十分でないといった課題も残っている。そのため、今後要求される技術は、既存設備での再構築が容易で建設費が安価であることと、運転手法の若干の調整によって目標水質に応じて処理水質をフレキシブルにコントロールできるシステムであると思われる。

そこで、反応タンク設備での窒素除去を補完し、より高度な水質 (T-N 5 mg/L 以下) を達成することを目的として、従来の砂ろ過に窒素除去機能を付加した「脱窒型 上向流移床型ろ過装置」の開発が行われてきた^{1) 2)}。本研究では、実施設での 1 年間にわたる運転結果により、その導入効果を検証するとともに、設計手法についての検討を行った。

2. 導入効果の検証

2.1 高度処理システムの再構築

脱窒型砂ろ過は、原水中の硝酸性窒素と有機物が窒素ガスへ変換される還元反応である。脱窒砂ろ過で窒素除去を行う場合のポイントは、反応タンク設備で硝化された窒素しか脱窒できないことと、最終沈殿池処理水中には脱窒に利用できる有機物が殆どないため、メタノール等の有機物を添加する必要がある。

図-1 に有機物除去のみを対象とした既存設備から高度処理対応へと再構築する際のフローを示す。通常の方では反応タンク設備のみで硝化・脱窒を完了させる (図②) ため、タンク容量の大幅な拡張が必要となり、除去性能の上限は総量規制対応の T-N 10mg/L 前後となる。一方、脱窒ろ過システムでは砂ろ過で脱

<既存設備>

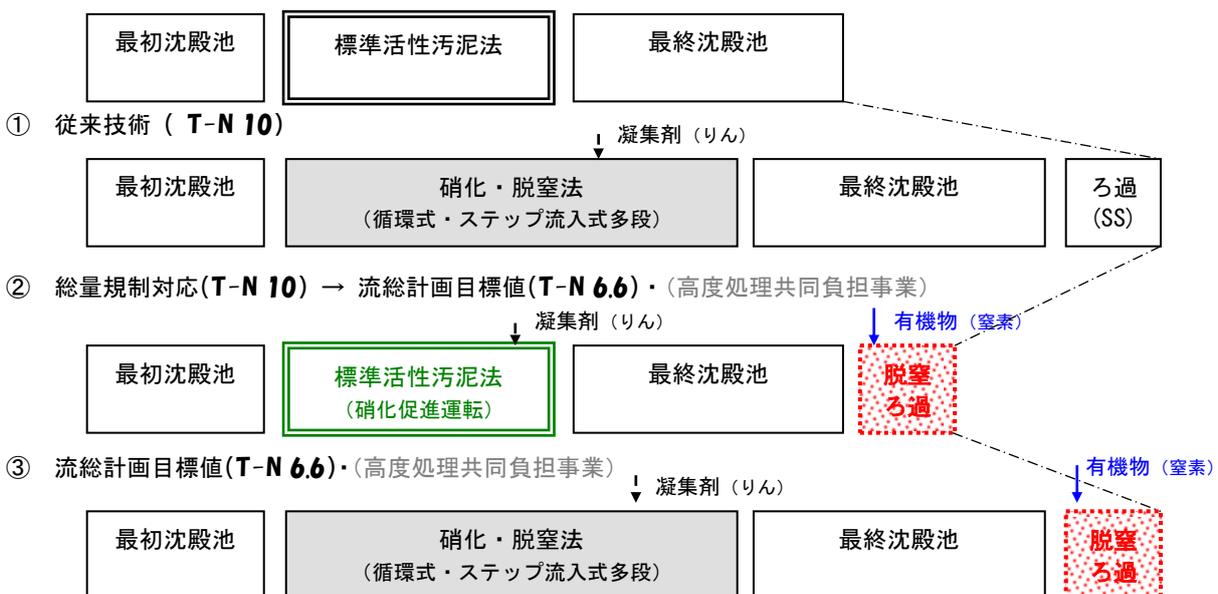


図-1 高度処理システムのフロー

室を補完させる（図②）ことで、最低限の拡張で窒素除去を行うことができる。さらに、添加有機物をコントロールすることで流総計画目標値である T-N 6.6mg/L への対応が可能となる。また、硝化・脱窒の反応タンクへ適用（図③）すれば同様に T-N 6.6mg/L 以下とすることができる。

2.2 導入効果の検証

脱窒ろ過システムの効果を検証するために、凝集剤添加型ステップ流入多段硝化脱窒法（3 段階ステップ）の後段に脱窒ろ過を適用した。表-1 に水処理設備の概要を、図-2 に各工程における T-N, T-P 濃度を示す。

処理場流入水の T-N 濃度は 15~30mg/L で平均 22mg/L で、反応タンクにてかなりの窒素が除去され、総量規制の上乗せ条例である 10mg/L は余裕でクリアする結果であった。さらに、脱窒ろ過処理を行うことで伊勢湾流総の目標値である T-N 6.6mg/L についても達成できるばかりか T-N 5mg/L 以下の処理も可能であった。また、図に示す脱窒ろ過処理水 T-N 濃度は、添加メタノール量を変えて水質をコントロールした結果であり、必要であれば T-N 1mg/L 程度にする能力は十分にあることを確認した。

処理水 T-P 濃度は、沈殿池処理水で 1.0mg/L 以下まで処理され、脱窒ろ過でも若干であるが除去効果が確認できた。

3. 設計手法の検討

3.1 ろ過速度

脱窒型砂ろ過池のろ過速度は、原水水質およびろ層厚を考慮して決定する。表-2 にろ層厚、原水水質とろ過速度との関係を示す。標準的な設計では、300 m/d 以下（対 計画一日最大ろ過水量、時間最大水量 400 m/d 以下）とし、NO₃-N 容積負荷が 3.0 kg/m³・日以下になるようにする。

3.2 ろ過池の構造

図-3 に大水量対応の複数のユニットで構成されるマルチモジュールタイプの構造図を示す。既存の砂ろ過池の再構築を行う場合、移床型のろ層厚は、ろ過池内部の原水流入部から砂層上部までの長さを 1m から 2m にする必要があるが、ろ過池下部の構造を改良することで H 寸法は単純に 1m 増しにならないため、大幅な改造を行うことなく設置することができる。

表-1 水処理設備の概要（試験系列）

項目	仕様
設計水量	40,000m ³ /日・系（日最大）
反応タンク	凝集剤添加型ステップ流入3段硝化脱窒法
形式	上向流移床型ろ過（RCマルチモジュール）
ろ過面積	36 m ² /池（6 m ² ユニット×6 基）
ろ過速度	200 m/日※
※備考	SS 除去用砂ろ過器のため標準設計よりろ過速度を小さくした。

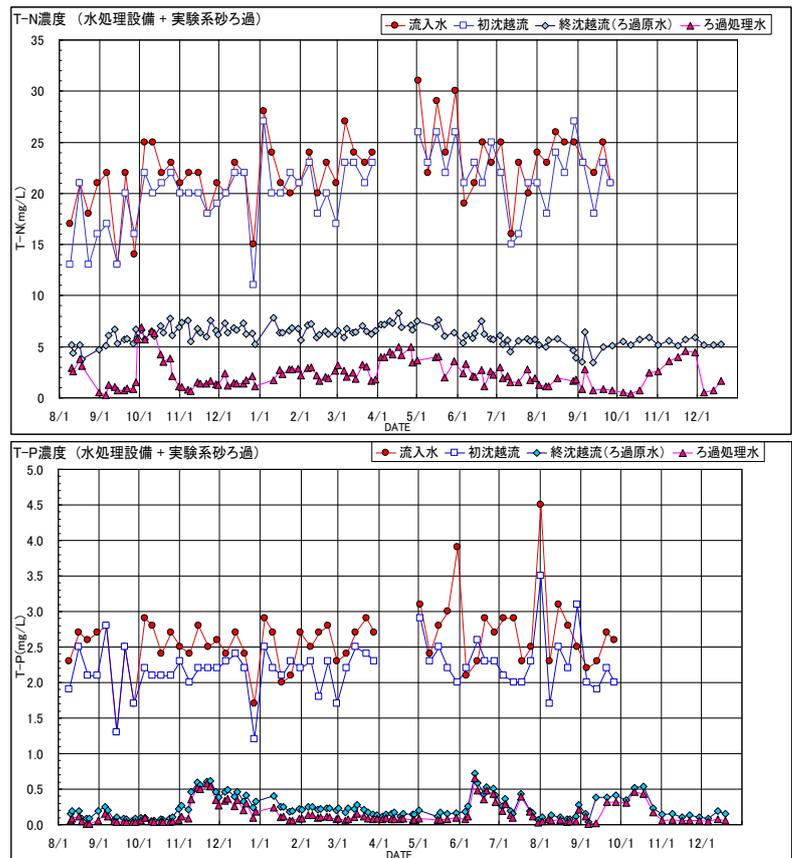


図-2 各工程における T-N, T-P 濃度

表-2 ろ層厚、原水水質とろ過速度の関係

項目	ろ層厚 1.0m	ろ層厚 2.0m ¹⁾
適用反応タンク	硝化・脱窒法	標準法（硝化促進）
原水 NO ₃ -N	7 mg/L	15 mg/L
設計ろ過速度（日最大）	200 m/日	300 m/日
設計容積負荷	2 kg/m ³ ・日以下	3 kg/m ³ ・日以下

3.3 洗浄排水循環量

脱窒型砂ろ過は、ろ層内の溶存酸素低減と脱窒細菌の再循環を目的として洗浄排水の一部を循環することで、ろ過器流入水 SS 濃度を 10mg/L 程度に調整する。排水循環量は、原水水質、添加 MeOH 量、系外排水量を考慮して決定する。図-4 に脱窒ろ過システムの SS 収支図を示す。

図-5 に実験式から得られた系外排水比 β 、排水循環比とろ過器流入水 SS 濃度との関係を示す。砂ろ過器流入水 SS 濃度を 10mg/L に調整するための設定値は、系外排水比 (β) を 3% とすると、排水循環比 (α) は 10% となる。

3.4 有機物の添加方法

添加メタノール量は、除去したい $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の約 3 倍量とする。原水の水量、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度には時間変動があるため、MeOH 添加を定量注入で行うと過剰添加と添加不足を繰り返して処理水水質が安定しない。図-2 に示す実施設では、定量注入のため原水水質の影響を受けた。さらに必要以上の過剰添加は経済的にも好ましくない。このため、MeOH 添加方式は、原水の水量、溶存酸素 (DO) 濃度及び $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度によるフィードフォワード制御による自動添加が好ましい。

3.5 設計手法の拡張性

移床型砂ろ過装置には、「脱窒型」の他に「脱りん型」、「高速型」など様々なバリエーションがあり、装置設計上の互換性も高いため、高度処理設備の再構築において幅広い拡張性を持っている。例えば、建設費重視で SS 除去用の高速型を導入し、窒素の必要性に迫られた時に脱窒型へアップグレードすることも考えられる (SS 除去用と脱窒型はろ過速度が異なる)。

4. まとめ

実施設での 1 年間にわたる運転結果により、その導入効果を検証するとともに、設計手法についての検討を行ったところ、以下の成果が得られた。

- ① 伊勢湾流総の目標値である T-N 6.6mg/L を上回る T-N 5mg/L 以下の処理が年間を通じて可能であることを確認した。さらに、処理水質をコントロールすることで、必要であれば T-N 1mg/L 程度にする能力が十分にあることを確認した。
- ② 実施設とパイロットスケールリで得られた成果をもとに、システムの構築用途に応じたろ過速度、ろ過池の構造、排水循環量などの設計手法を確立することができた。

なお、本研究は、(財) 愛知水と緑の公社と株式会社タクマとの共同研究の成果の一部である。

参考文献：

- 1) 石井実, 森田健史, 坂上正美, 奥田正彦 (2006) 上向流移床型砂ろ過による窒素除去, 日本下水道協会誌, Vol43 No. 529 119-135
- 2) 須藤真琴, 別府智志, 有働哲也, 奥田正彦 (2007) 上向流移床型ろ過 (実施設) による窒素除去, 第 44 回下水道研究発表会

問い合わせ先： 株式会社タクマ 水処理技術部 奥田正彦

兵庫県尼崎市金楽寺町 2 丁目 2 番 33 号 Tel : 06-6483-2701 Fax : 06-6483-2766

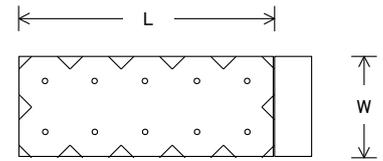


図-3 ろ過池の構造

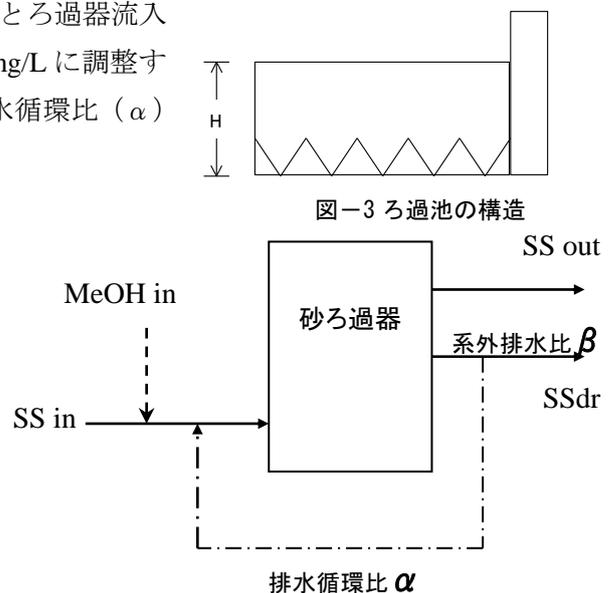


図-4 砂ろ過システムの SS 収支図

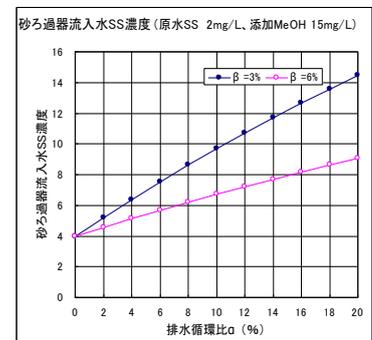


図-5 排水循環比と流入 SS 濃度