

(株)クボタ ○木下 昌大 中野 一郎
大庭 真治 品部 和宏

1 はじめに

公共用水域の富栄養化が深刻化する中で、窒素、リン等栄養塩類の効率的な除去が大きな課題となっている。現在、下水の窒素除去に関しては、循環式硝化脱窒法が主流で、すでに一部で実用化されている。しかし、循環式硝化脱窒法は、増殖速度の遅い硝化細菌を系内に保持するために、標準活性汚泥法のエアレーションタンクの約2倍の反応タンク容量を必要とする¹⁾。このため、用地制約のある都市部の処理場では、既存の標準活性汚泥施設を改造した循環式硝化脱窒法の導入は困難とされてきた。

こうした背景の下に、筆者らは標準活性汚泥法と同等の水理学的滞留時間（HRT）の下でBODと窒素の同時除去が可能な処理システムとして、結合担体を用いた窒素除去システムの開発を行っている。本論文では、ベンチプラントの調査結果の中から結合担体の硝化性能を中心に報告する。

2 結合担体を用いた窒素除去システムの概要

本システムは、図-1に示すように、循環式硝化脱窒法の好気タンクに結合担体を投入することにより硝化速度を向上させ硝化に要する時間を短縮して、標準活性汚泥法と同等のHRTの下でBOD、SSのみならず窒素を効率的に同時除去しようとするものである。結合担体の投入により浮遊汚泥のA-SRTに関係なく硝化細菌を系内に保持することが可能となり、安定した硝化性能が得られる。

筆者らは、これまで結合担体の耐久性、硝化性能等について検討し、表-1に示す結合担体を開発した。担体の寸法は、小さいほど硝化速度が高くなり担体投入率を小さくできるが、スクリーンによる担体分離を考慮して3mm角とした。また、孔径は貧毛類等の担体内部への侵入を防止するために60μmとした²⁾。開発した結合担体の特徴は以下のとおりである。

1)耐久性に優れている。

ポリビニルフォルマールは水不溶性であり、さらに微生物による分解がない。また、物理的強度も高く、耐磨耗性に優れている。

2)高い硝化性能を有する。

担体表面および内部のマクロポアによってNH₄-Nや酸素の拡散が容易である。比重が小さいため、タンク内での流動が良好で、高い硝化能力が十分に発揮される。

3)保存、輸送等の取り扱いが容易である。

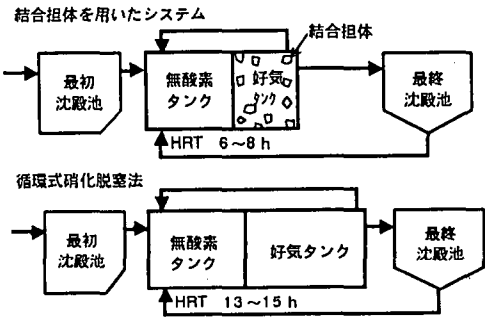


図-1 従来法との比較

表-1 結合担体の仕様

項目	仕様
材質	ポリビニルフォルマール（PVF）
形状	立方体
寸法	3×3×3mm
孔径	60μm
比重	1.018

3 ベンチプラント調査

3.1 方法

図-2にベンチプラントのフローを示す。反応タンクは、無酸素タンク (0.46m³) および好気タンク (0.29m³) から成る。好気タンクにはタンク容積に対して8%の結合担体を投入した。本プラントを用い、表-2に示す運転条件で連続運転を行った。水質分析は下水試験方法に準じて行い、無機性窒素については電気伝導度検出器付きイオンクロマトグラフィーで分析した。

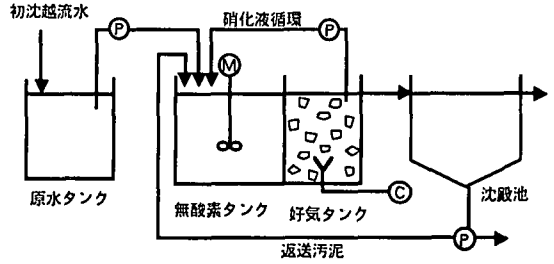


図-2 プラントフロー

表-2 運転条件

RUN	1	2	3
期間	11/25~4/21	4/22~7/3	7/4~8/18
HRT (h)	7.7	7.7	5.9
循環比 (-)	2.2	3.0	3.0
A-SRT (d)	6.6	11.3	7.1
水温 (°C)	15.4	20.2	25.0
BOD-SS負荷 (kg/kg·d)	0.091	0.077	0.095
T-N容積負荷 (kg/m³·d)	0.103	0.095	0.138

3.2 連続運転結果

各運転条件における処理結果の平均値を表-3に示す。全期間を通じて、処理水のNH₄-N濃度は1mg/ℓ以下、平均71%のT-N除去率が得られており、安定した窒素除去が可能であった。また、各RUNにおけるT-N除去率は、循環比2.2としたRUN1では平均67%、循環比を3.0としたRUN2、RUN3では平均74%であり、概ね循環比に見合ったT-N除去率が得られた。

3.3 硝化特性

(1) 水温の影響

各RUNの好気タンクから結合担体を採取し、水温を変化させた回分試験によって硝化速度を測定した。RUN1における結果を図-3に示す。図より結合担体の硝化速度と水温の関係式として(1)式が得られた。

$$K_{NC} = 79.3 \exp(0.0322T) \cdots \cdots (1)$$

ここで、 K_{NC} : 結合担体の硝化速度
(mg-N/ℓ-担体・h)

T : 水温 (°C)

浮遊汚泥についても同様の測定を行った。本調査では、水温の影響を表す係数の値は、浮遊汚泥が0.0648~0.0959であったのに対し、結合担体では0.0322~0.0497と小さく、結合担体の方が水温の影響を受けにくいことが認められた。

(2) 結合担体および浮遊汚泥の硝化速度

結合担体および浮遊汚泥の硝化速度の経日変化を図-4に示す。これは結合担体および浮遊汚泥を分離採取し、回分試験により測定した値である。なお、測定時の水温はプラントの好気タンク水温に調整した。また、水温20°Cでの結合担体の硝化速度は、(1)式の係数0.0322を用いて算出した

表-3 処理結果

項 目	RUN1		RUN2		RUN3	
	原 水	処理水	原 水	処理水	原 水	処理水
pH (-)	7.81	7.64	7.37	7.21	7.35	7.09
BOD (mg/ℓ)	88.0	6.1	84.4	4.6	80.7	3.1
S-BOD (mg/ℓ)	21.1	3.2	26.8	1.0	30.7	1.5
SS (mg/ℓ)	64.9	8.7	51.8	7.8	44.7	7.4
T-N (mg/ℓ)	33.1	11.1	30.7	8.3	33.7	8.5
NH ₄ -N (mg/ℓ)	22.5	0.2	21.0	0.1	24.6	0.2
NO _x -N (mg/ℓ)	0.0	8.7	0.0	6.7	0.0	6.4

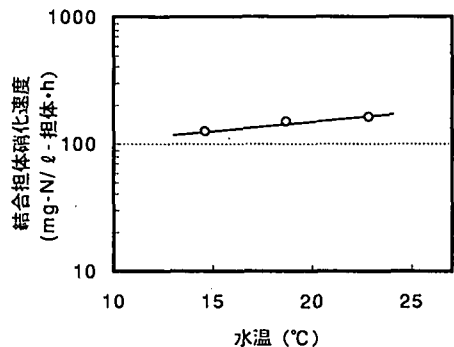


図-3 水温と結合担体硝化速度の関係

値である。

図より、低水温期（12～16℃）における浮遊汚泥の硝化速度は0.4mg-N/g-SS・h以下の低い値で推移した。これは、低水温期に硝化細菌の系内保持に必要なA-SRTより小さいA-SRT（3～7日）で運転したため、硝化細菌がウォッシュアウトしたことに起因すると考えられた。

一方、この期間の結合担体の硝化速度は、120mg-N/ℓ-担体・h前後で安定しており、硝化反応の大部分が結合担体によるものであった。

水温20℃に換算した結合担体の硝化速度の変化より、結合担体の硝化能力は、低水温期に最大値を示し、その後、浮遊汚泥の硝化活性が上がるにつれて減少している。RUN3で再び増加しているのは、流入負荷の上昇によるものである。

図-5に担体へのK_je-N負荷と結合担体の硝化速度（20℃換算）との関係を示す。担体へのK_je-N負荷は、浮遊汚泥が好気タンクにおいて回分試験と同等の硝化活性を発揮していたものと仮定して、流入K_je-N負荷から浮遊汚泥による硝化分を差し引いて算出した値である。

図より、結合担体は、担体への負荷が低い状況下でも潜在能力として90～120mg-N/ℓ-担体・h（20℃）の硝化活性を保持していることが認められる。また、流入負荷の上昇や浮遊汚泥の硝化活性の低下により、担体への負荷が増大するとそれに合わせて結合担体の硝化活性が増加傾向にある。このように、結合担体を用いたシステムでは、浮遊汚泥が硝化しきれない部分を結合担体が補完するようなかたちで、流入負荷に応じた硝化性能が発揮される。

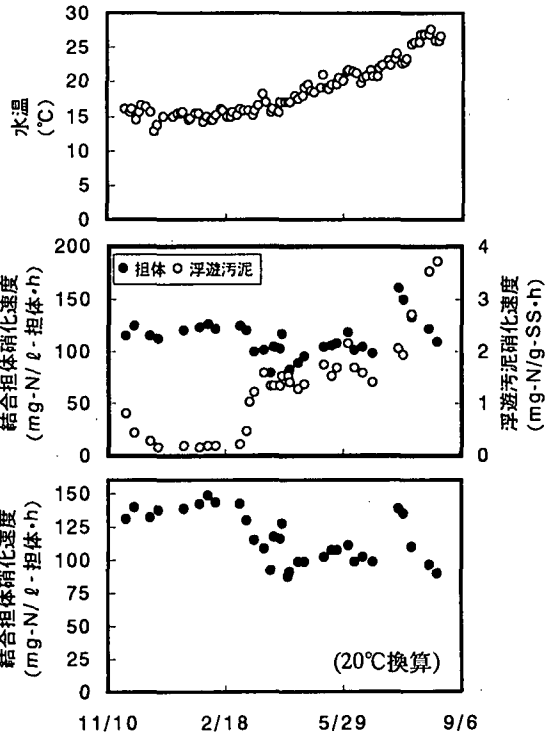


図-4 結合担体および浮遊汚泥の硝化速度の経日変化

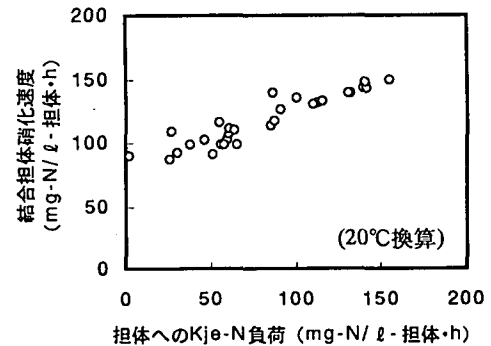


図-5 結合担体硝化速度とK_je-N負荷との関係

4 まとめ

- 1) 結合担体の硝化速度は浮遊汚泥の硝化速度に比較して水温の影響を受けにくい。
- 2) 結合担体の硝化能力は浮遊汚泥との競合において低水温期に最大となり、110～125mg-N/ℓ-担体・h程度（水温12～16℃）の硝化速度が得られた。
- 3) 反応タンクHRT7.7時間で、処理水NH₄-N濃度1mg/ℓ以下、T-N除去率71%が得られた。

以上の結果、結合担体を用いた窒素除去システムは標準活性汚泥法と同等のHRTの下でBODおよび窒素の同時除去が可能であることが示された。

〈参考文献〉

- 1) 建設省：高度処理設計資料（1994）
- 2) 木下ら：結合固定化担体の物性と硝化性能、第31回下水道研究発表会講演集（1994）