

浄化槽における処理工程毎の構造が 有機物・窒素除去性能に与える影響に関する研究

公益社団法人 宮城県生活環境事業協会

浄化槽法定検査センター

○佐々木 敦

高橋 直樹

東北大学大学院工学研究科

西村 修

1. はじめに

我が国では、未だ生活排水未処理人口は約 1,300 万人（10.5%）存在しており、特に 5 万人未満の汚水処理人口普及率が 76.6%と低い¹⁾。このような地域では、都道府県構想策定マニュアルによる浄化槽の普及が促進されており、今後浄化槽の処理水が増加していくことが予測される。また公共用水域の水質保全の観点から、有機物のみならず窒素・リンも除去する高度処理が重要性を増すと考えられる。浄化槽の処理水質の技術上の基準は BOD20mg/L 以下²⁾ であり、BOD・T-N10mg/L 以下の性能を有する浄化槽は存在しているが、費用等の問題から普及が進んでいない。これらに鑑み、既設浄化槽を活用して BOD・T-N10mg/L 以下を達成する技術の開発も急務な課題であると考えられる。

宮城県における既設浄化槽の設置割合は、窒素除去型浄化槽 32.6%、BOD 除去型浄化槽 67.4%である。一方既設浄化槽の処理水では BOD10mg/L 以下を達成する割合が約 6 割³⁾ との報告があり、BOD・T-N20mg/L を性能に有する窒素除去型浄化槽や BOD 除去型浄化槽でも半数以上は高度な処理が行われていることが推測される。また、高橋⁴⁾ は統計的解析を用いて BOD10mg/L 以下における浄化槽の処理構造は嫌気ろ材の充填、担体流動生物ろ過方式を組み合わせた構造が重要であると示しているが、窒素除去性能については明らかにされていない。また、循環機能は処理水質の窒素除去に寄与する因子であることは分かっている⁵⁾ が、循環水質を考慮した解析は行われていない。

そこで本研究では、循環水量および循環水質を考慮した上で、嫌気処理・好気処理の構造が有機物・窒素除去性能に与える影響について解析した。

2. 調査概要

(1) 調査対象浄化槽および調査方法

性能評価型浄化槽では多くの型式が存在するが既往の研究を考慮し、嫌気処理では、嫌気ろ材の充填が一室にある構造（以下：「Type I」）と嫌気ろ材の充填が一室にない構造（以下：「Type II」）の 2 種類に分類した。好気処理では、担体流動生物ろ過構造（以下：「Type III」）と担体流動生物ろ過構造以外の好気処理構造（以下：「Type IV」）の 2 種類に分類した。

調査は、宮城県内の戸建て住宅に設置している 7 人槽の性能評価型浄化槽 73 基実施した。調査期間は、平成 27 年 7 月～平成 28 年 3 月、実使用人数が把握できることを要件とした。

採水箇所は図-1 に示すとおり、嫌気処理槽第一室出口 a と循環水出口 c、処理水槽出口 d の 3 箇所とした。

現場調査では pH、DO、水温および循環水量（以下：「 Q_{ret} 」）の測定を行った。なお、循環水量は 3 回実測した結果の平均値を用いた。採水後の水質測定項目は TOC、 $NH_4\text{-N}$ 、 $NO_x\text{-N}$ ($NO_2\text{-N}+NO_3\text{-N}$)、SS、T-N の測定を行った。なお、各水質項目は下水試験方法に準拠して測定した。

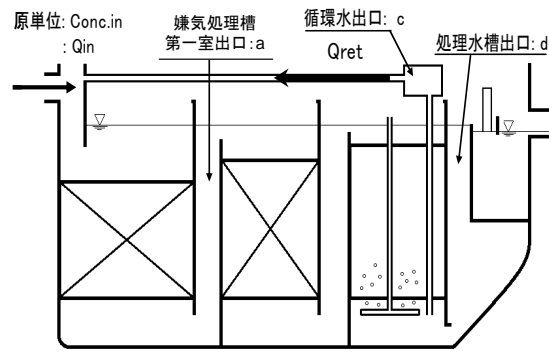


図-1 採水箇所

(2) 解析手法

嫌気処理・好気処理工程において、処理水質に差があるか確認するため、t 検定を用いた。また循環水量および循環水質を考慮した処理水質との関係を示すためにスピアマン相関係数を用いた。なお、統計的有意差の水準には 5% 値（以下：「 $p<0.05$ 」）を採用した。

3. 結果および考察

(1) 嫌気処理工程

流入水質の影響を考慮するため、原単位を用いて加算した。なお、TOC は $11.0\text{g}/\text{人}\cdot\text{日}$ 、T-N は $10.0\text{g}/\text{人}\cdot\text{日}$ 、水量は $200\text{L}/\text{人}\cdot\text{日}$ を用いた。嫌気処理における TOC 負荷量除去率は式 (1) を用い、T-N 負荷量除去率は式 (2) を用いた。また、 $NO_x\text{-N}$ 負荷量除去率の算定には式 (3) を用いた。なお、流入水質には $NO_x\text{-N}$ は存在しないものと仮定した。

$$\text{TOC 負荷量除去率(\%)} = \frac{(TOC_{in} \times Q_{in}) + (TOC_c \times Q_{ret}) - TOC_a \times (Q_{in} + Q_{ret})}{[(TOC_{in} \times Q_{in}) + (TOC_c \times Q_{ret})]} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{T-N 負荷量除去率(\%)} = \frac{[(T - N_{in} \times Q_{in}) + (T - N_c \times Q_{ret})] - T - N_a \times (Q_{in} + Q_{ret})}{[(T - N_{in} \times Q_{in}) + (T - N_c \times Q_{ret})]} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{NO}_x\text{-N 負荷量除去率(\%)} = \frac{[(NO_x - N_c \times (Q_{in} + Q_{ret}))] - NO_x - N_a \times (Q_{in} + Q_{ret})}{NO_x - N_c \times (Q_{in} + Q_{ret})} \times 100 \quad (3)$$

TOC_{in}, T-N_{in} ; 原単位濃度 (mg/L)
 Q_{in} ; 原単位水量 (m^3)
 Q_{ret} ; 実測値循環水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)
 (※a, c, dは採水箇所を示す)

Type I と Type II について、TOC 負荷量除去率および T-N 負荷量除去率を図-2 に示す。その結果 TOC 負荷量除去率は、Type I では 54.8%、Type II では 44.3%を示し、Type I が高いことが認められた ($p<0.05$)。このことから、流入水質の影響を考慮しても、Type I では有機物除去が有効に行われていることが明らかになった。また TOC 負荷量除去率の差は、循環水量に含まれる DO および脱窒による有機物への影響が考えられる。TOC 負荷量除去率と循環水量に含まれる DO の関係は、Type I および Type II において相関関係が認められなかった ($p>0.05$)。一方 TOC 負荷量除去率と T-N 負荷量除去率には、Type I では統計的有意差は認められず ($p>0.05$)、Type II では 0.64 と正の相関が認められた ($p<0.05$)。中野らは⁶⁾、嫌気ろ床槽では流入有機物の直接的な分解作用以外に浮遊物質の沈殿・捕捉作用と併せて蓄積された物質の剥離・再溶出作用といった複雑な浄化機構を示唆している。これらを踏まえると、脱窒は TOC 負荷除去率の向上に寄与するが、循環水量に含まれる DO や SS 除去が TOC 負荷除去に影響すると考えられた。

次に T-N 負荷量除去率は、Type I では 47.6%、Type II では 43.6%を示し、Type I が高い傾向にあったが有意ではなかった (p>0.05)。そのことから、NO_x-N 負荷量除去率を図-3 に示す。NO_x-N 負荷量除去率は、Type I では 91.9%、Type II では 67.8%を示し、Type I が高いことが認められた (p<0.05)。小川らは⁷⁾、嫌気ろ材は SS の捕捉が優れていることを明らかにしている。本調査において Type I は、嫌気ろ材を一室・二室に充填し、嫌気ろ材があることで SS の捕捉性が上がり、嫌气的条件になり脱窒が起きたと考えられた。実際に、Type I では嫌気処理第一室出口の平均 DO が 0.5mg/L、平均 SS は 16.8mg/L に対し、Type II では嫌気処理第一室出口の平均 DO が 1.2mg/L、平均 SS は 21.1mg/L であった。さらに、嫌気処理第一室容量を Type I と Type II で比較した結果、Type I では平均 1.54m³、Type II では 0.90m³を示し、Type I が大きいことが認められた (p<0.05)。このことから、Type I の容量が約 1.8 倍大きいことで流入負荷量に対して滞留時間の確保による効果が脱窒を促している構造であることが示唆された。

以上の結果から、嫌気処理第一室に嫌気ろ材があることにより、有機物除去および脱窒の効果が高いことが明らかとなった。

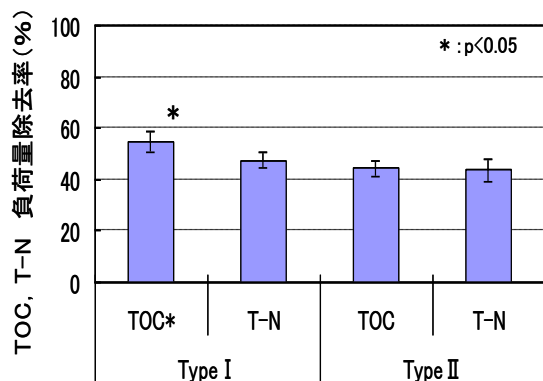


図-2 TOC, T-N 負荷量除去率における構造の比較

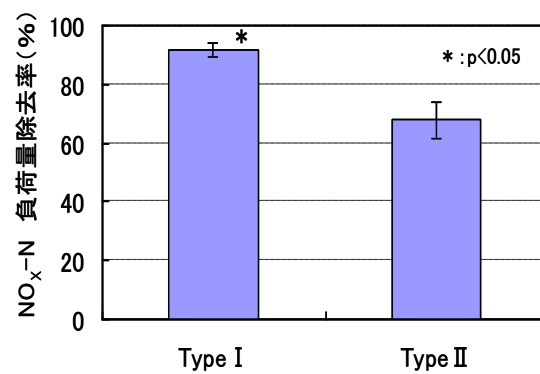


図-3 NO_x-N 負荷量除去率における構造の比較

(2) 好気処理工程

好気処理における各水質の汚濁負荷量除去率は、式 (4) を用いた。なお好気処理では、嫌気処理において濃度が完全混合したと仮定し、

$$\text{汚濁負荷量除去率(\%)} = \frac{[\text{Conc}_a \times (Q_{in} + Q_{ret}) - [\text{Conc}_d \times (Q_{in} + Q_{ret})]]}{[\text{Conc}_a \times (Q_{in} + Q_{ret})]} \times 100 \quad (4)$$

原単位における流入水量と循環水量を加算した。

※Concとは各水質の濃度(mg/L)を示す

Type III と Type IV について、TOC および SS 負荷量除去率を図-4 に示す。その結果 TOC 負荷量除去率は、Type III では 40.8%、Type IV では 22.8%を示し、Type III が高いことが認められた (p<0.05)。SS 負荷量除去率は、Type III では 76.6%、Type IV では 62.2%を示し、Type III が高いことが認められた (p<0.05)。担体流動生物ろ過方式⁸⁾は、生物ろ過において SS の除去が目的とされている。そのことを踏まえると、Type III は有機物の除去に加え、生物ろ過での SS 除去に優れていることが処理水質の向上に寄与していると考えられた。

次に、T-N および NH₄-N 負荷量除去率を図-5 に示す。NH₄-N 負荷量除去率は、Type III では 58.1%、Type IV では 34.6%を示し、Type III が高いことが認められた (p<0.05)。す

なわち、硝化が行われていることが示唆された。そのことから、T-N および NH₄-N の処理水濃度についての結果を図-6 に示す。処理水 T-N は、TypeⅢでは 16.4mg/L、TypeⅣでは 25.3mg/L を示し、TypeⅢが低いことが認められた (p<0.05)。また、処理水 NH₄-N に着目すると、TypeⅢでは 8.9mg/L、TypeⅣでは 16.6mg/L を示し、TypeⅢが低いことが認められた (p<0.05)。加えて、好気処理に流入する NH₄-N 負荷量と処理水 NH₄-N 負荷量および T-N 負荷量には、それぞれ 0.87 および 0.84 を示し、正の相関が認められた (p<0.05)。すなわち NH₄-N に対して十分な処理を行わなければ、T-N の上昇につながることを確認できた。

以上の結果から、担体流動生物ろ過構造は有機物除去および硝化の効果が高いことが明らかとなった。

4. まとめ

性能評価型浄化槽の嫌気処理・好気処理構造が有機物・窒素除去性能に与える影響について明らかになったことを以下に示す。

(1) 嫌気処理において、嫌気ろ材が一・二室に充填されている構造は、NO_x-N 負荷量除去率が 91.9%を示した。この理由として、嫌気処理第一室の容量が大きいことで有機物除去・脱窒の効果が高いことが示された。

(2) 好気処理において、担体流動生物ろ過構造は TOC 負荷量除去率 40.8% および NH₄-N 負荷量除去率 58.1%を示し、NH₄-N 濃度は担体流動生物ろ過以外の構造と比べて低いことを示した。この理由として、担体流動部と生物ろ過部によって有機物除去・硝化の効果が高いことが示された。

(3) 十分に処理性能を発揮させることにより、既設浄化槽の構造においても BOD、T-N10mg/L 以下を達成することが明らかとなった。一方、処理水 T-N10mg/L 以下を達成させるには、NH₄-N を除去することが重要であると考えられた。

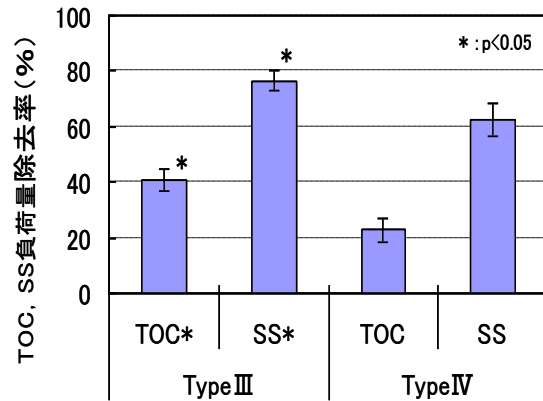


図-4 TOC, SS負荷量除去率における構造の比較

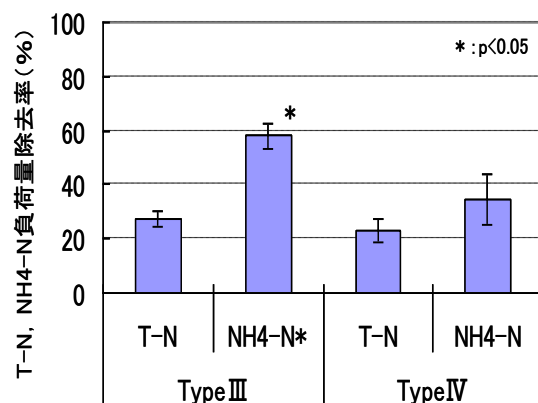


図-5 T-N, NH₄-N負荷量除去率における構造の比較

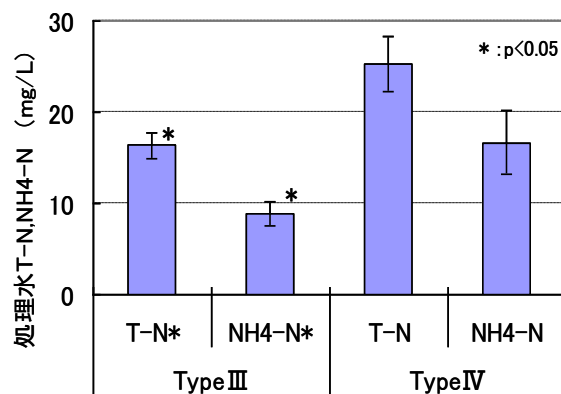


図-6 処理水における構造の比較

参考文献

- 1) 国土交通省、農林水産省、環境省：平成 26 年度末の汚水処理人口普及状況について、平成 27 年 9 月 10 日プレスリリース資料
- 2) 環境省：浄化槽法施行規則、最終改正、平成 24 年 3 月 30 日環境省令第八号
- 3) 環境省廃棄物対策課浄化槽推進室、(公財) 日本環境整備教育センター：平成 19 年度浄化槽の維持管理に関する調査・マニュアル作成委託業務報告書 (2008)
- 4) 高橋直樹：小型合併処理浄化槽放流水質の実態とその環境影響に関する研究、東北大学博士学位論文 (2013)
- 5) 藤村葉子、中島淳：小規模合併浄化槽の処理水性状と循環運転による窒素除去、水環境学会誌第 21 巻第 3 号 157-162 (1998)
- 6) 中野拓治、北尾高嶺、糸井徳彰、堀込英司：嫌気ろ床接触ばっ気方式の農業集落排水施設における嫌気ろ床槽の BOD 除去特性に関する一考察、農業土木学会論文集 No.212 99-107 (2001)
- 7) 小川浩、岩堀恵祐：小型合併浄化槽の嫌気ろ床における浮遊物質捕捉と有機物除去の特性評価、日本水処理生物学会誌第 38 巻第 2 号 69-77 (2002)
- 8) (公財) 日本環境整備教育センター：浄化槽の維持管理上巻、浄化槽管理士講習テキスト (2013)