

性能評価型浄化槽における衛生指標細菌の実態に関する研究

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
○高橋 直樹 佐々木 敦 久住 知裕 吉田 恵也

1. はじめに

有機物処理後の水質は下水道等と比べ不安定で、放流水質 BOD20mg/L を超過した処理水を放流している浄化槽が存在している¹⁾。また有機物処理が良好であっても処理水にアンモニア態窒素が多く残留した場合には遊離塩素が検出せず、大腸菌群が排水基準値を超える^{2,3)}実態が明らかとなっている。このことから維持管理が不十分な場合には身近な環境中で衛生的安全性が担保されているかという点において未解明であるが、出来るだけ浄化槽処理工程において大腸菌群などの衛生指標細菌の検出を抑制させる必要がある。

これまで著者らは、戸建て住宅に設置している性能評価型浄化槽 100 基の大腸菌群数を調査しており、塩素消毒前における大腸菌群数の排水基準値の達成率は 81.0%であることを確認している。大腸菌群の除去に及ぼす影響因子では、BOD 及び SS が低下することで大腸菌群数の値も減少し、さらに硝化率が上昇すると大腸菌群数は軽減することを明らかとしている³⁾。

現在の建築基準法施行令では環境衛生上の支障を防ぐために浄化槽放流水に含まれる大腸菌群数の排水基準値として 3,000 個/cm³ (=cfu/mL) が義務付けられているが、大腸菌群は腸内細菌以外の自然環境に存在する細菌も含まれているため、糞便汚染指標としてより妥当性や指標性が高い大腸菌⁴⁾に着目する必要がある。また、人の腸管内のみで増殖可能な腸球菌が存在していることを踏まえ、これまでの研究で対象としてきた衛生指標である大腸菌群の他に、大腸菌と腸球菌を加えた。

そこで本研究では、既設の性能評価型浄化槽における衛生指標細菌の実態把握を行うために、嫌気槽第一室出口および塩素消毒前、塩素消毒後の細菌数をそれぞれ計測して、各処理工程における衛生指標細菌数の減少効果について水質項目との相関関係から解析した。

2. 調査方法および解析方法

(1) 調査対象とした性能評価型浄化槽

宮城県内の戸建て住宅に設置している性能評価型浄化槽 23 基（浄化槽の処理対象人員は、5 人槽 3 基、7 人槽 19 基、10 人槽 1 基）について調査を行った。なお、塩素消毒前における処理水 BOD 値は平均 14.3mg/L で、処理水 T-N 値は平均 18.2mg/L であった。

(2) 調査方法

調査は 2015 年 6 月から 2017 年 6 月にかけて平日の午前中、設置者が在宅し、かつ実使用人数が把握できることを要件とした。

浄化槽における採水箇所は、様々なタイプの性能評価型浄化槽はあるが、基本的に図-1

に示すとおり、嫌気槽第一室出口（流出部）と塩素消毒前（処理水槽）、塩素消毒後（放流直前水）の3箇所である。水質項目は大腸菌群数、大腸菌数、腸球菌数の他に、塩素消毒前においてBOD（生物化学的酸素要求量）、SS（浮遊懸濁態物質）、NH₄-N（アンモニア態窒素）、NO₂-N（亜硝酸態窒素）、NO₃-N（硝酸態窒素）、T-N（全窒素）、全残留塩素、遊離残留塩素の測定を行った。

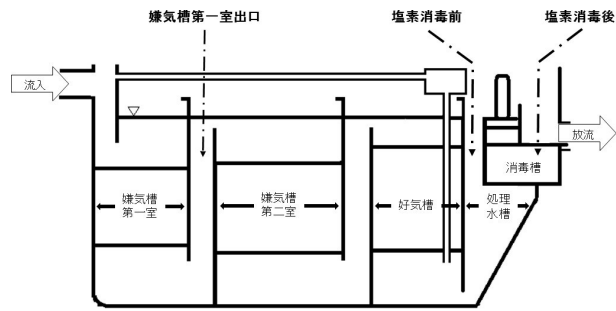


図-1 採水箇所

(3) 解析方法

衛生指標細菌数の減少効果を調べるために、処理工程において前段の衛生指標細菌数から後段の衛生指標細菌数を引いたのちに、前段の衛生指標細菌数で除したものを減少率として算出した。また衛生指標細菌数の結果に差があるかを調べるために、独立した2群の分布の中央値の差を検定するマン・ホイットニーのU検定（両側検定）を行った。なお、棄却率5%を統計的に有意であると判断した。また、衛生指標細菌数と他の水質項目との関係の解析では、スピアマンの順位相関係数を用い、相関係数をSと置いた。なお、相関係数Sは0で相関無し、 $0 < |S| \leq 0.2$ でほとんど相関なし、 $0.2 < |S| \leq 0.4$ で低い相関あり、 $0.4 < |S| \leq 0.7$ で相関あり、 $0.7 < |S| < 1.0$ で高い相関あり、1.0または-1.0で完全な相関とし、相関係数の有意性については棄却率5%を統計的に有意であると判断した。

3. 調査結果および考察

(1) 各処理工程における衛生指標細菌の変化

各処理工程における大腸菌群数の変化を図-2に、大腸菌数の変化を図-3に、腸球菌数の変化を図-4に示す。図-2、図-3、図-4において棒グラフが無い部分は衛生指標細菌が未検出であったことを意味している。図-2より大腸菌群数に着目すると嫌気槽第一室出口から塩素消毒前における平均減少率は68.5%、塩素消毒前から塩素消毒後では79.5%であった。各処理工程における大腸菌群数をそれぞれ棄却域5%でU検定を行ったところ、有意な差が確認された。なお、排水基準値3,000cfu/mLに対する塩素消毒前の適合率は100%であった。これは塩素消毒前において十分に衛生学的安全性が担保されていることを意味している。

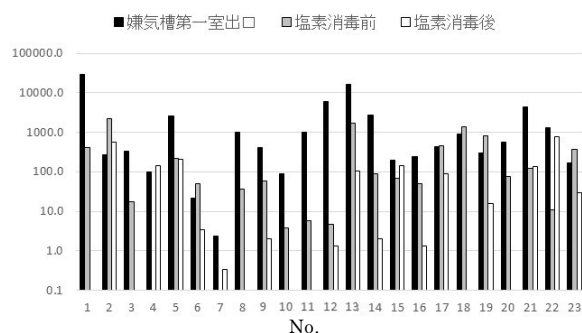


図-2 各処理工程における大腸菌群数の変化

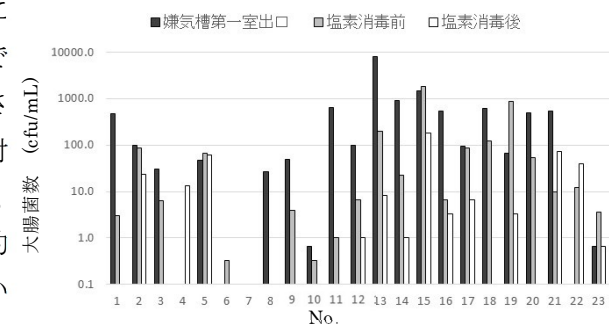


図-3 各処理工程における大腸菌数の変化

図-3 より大腸菌数に着目すると嫌気槽第一室出口から塩素消毒前における平均減少率は 69.5%、塩素消毒前から塩素消毒後では 81.3%であった。各処理工程における大腸菌数をそれぞれ棄却域 5 %で U 検定を行ったところ、有意な差が確認された。

図-4 より腸球菌数に着目すると嫌気槽第一室出口から塩素消毒前における平均減少率は 82.1%、塩素消毒前から塩素消毒後では 64.7%であった。各処理工程における腸球菌数をそれぞれ棄却域 5 %で U 検定を行ったところ、嫌気槽第一室出口に対して塩素消毒前と塩素消毒後では有意な差は確認されたが、塩素消毒前と塩素消毒後の腸球菌数では有意な差は認められなかった。

以上のことから、塩素消毒前から塩素消毒後において大腸菌群数および大腸菌数の減少率が高い傾向が示され、嫌気槽第一室出口から塩素消毒前において腸球菌数の減少率が高い傾向がみてとれた。

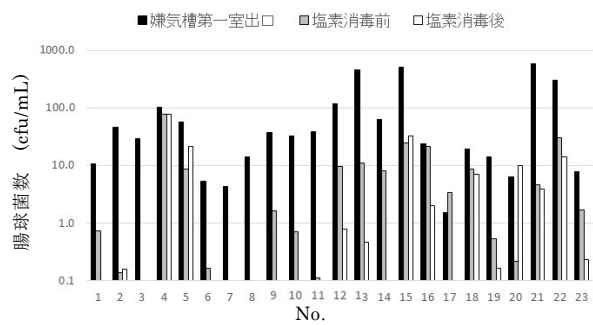


図-4 各処理工程における腸球菌数の変化

(2) 塩素消毒前における衛生指標細菌数の減少効果に及ぼす水質項目との相関関係

塩素消毒前において水質項目と衛生指標細菌数との相関関係を図-5、図-6、図-7 に示す。

図-5 では、BOD と衛生指標細菌数の相関関係を示している。BOD が増加すると衛生指標細菌数は増加する傾向がみられた。BOD と大腸菌群数の相関係数 S は 0.44、大腸菌数との相関係数 S は 0.53、腸球菌数との相関係数 S は 0.50 で、三者とも正の相関が得られた。なお、相関係数の有意性についてはいずれも有意な差が確認された。

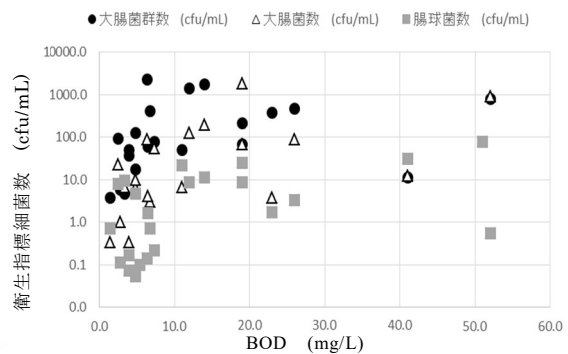


図-5 BOD と衛生指標細菌数の相関関係

図-6 では、SS と衛生指標細菌数の相関関係を示している。SS が増加すると衛生指標細菌数は増加する傾向がみられた。SS と大腸菌群数の相関係数 S は 0.51、大腸菌数との相関係数は 0.66、腸球菌数との相関係数 S は 0.06 であった。なお、相関係数の有意性については大腸菌群数と大腸菌数において有意な差が確認された。この理由として、大腸菌自体が SS を構成する成分であるとともに、大腸菌の表層にある鞭毛は SS に吸着する性質を有している³⁾ことから、SS が低下することで、大腸菌群数および大腸菌数の値も減少したと考えられる。

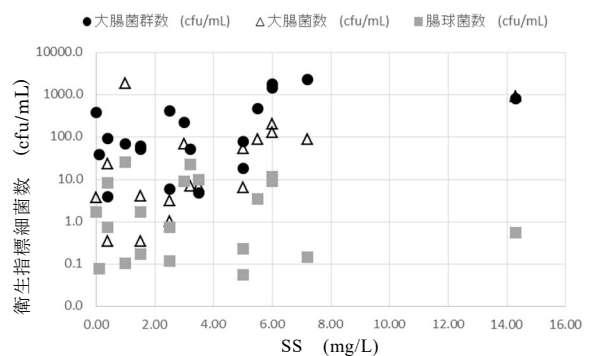


図-6 SS と衛生指標細菌数の相関関係

図-7 では、硝化率と衛生指標細菌数の相関関係を示している。硝化率はアンモニア態窒素から亜硝酸態窒素ならびに硝酸態窒素の割合³⁾とした。なお、硝化率の算出法は、

$$\text{硝化率}(\%) = \frac{(NO_2 - N + NO_3 - N)}{(NH_4 - N + NO_2 - N + NO_3 - N)} \times 100$$

を用いた。図-7 より硝化率が増加すると衛生指標細菌数は減少する傾向がみられた。硝化率と大腸菌群数の相関係数 S は -0.45 、大腸菌数との相関係数 S は -0.58 、腸球菌数との相関係数 S は -0.20 で、三者とも負の相関が得られた。なお、相関係数の有意性については、大腸菌群数と大腸菌数において有意な差が確認された。

以上のことから、塩素消毒前において処理水質が良好であれば、衛生指標細菌数もある程度抑制させることが可能であり、BOD 除去、SS 除去、硝化率の向上を促す処理構造、すなわち好気槽の役割が重要であると言える。

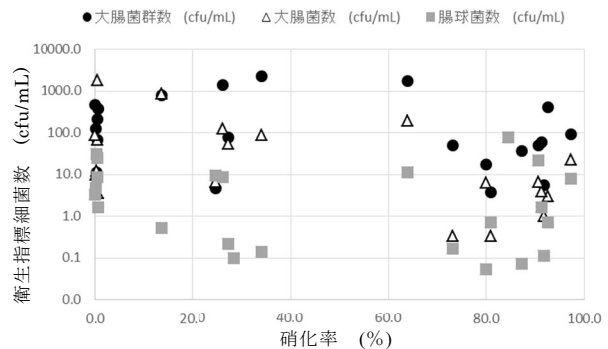


図-7 硝化率と衛生指標細菌数の相関関係

(3) 塩素消毒後における衛生指標細菌数の減少効果に及ぼす水質項目との相関関係

塩素消毒後において遊離残留塩素濃度と衛生指標細菌数との関係を図-8 に示す。遊離残留塩素濃度と大腸菌群数の相関係数 S は -0.80 、大腸菌数との相関係数 S は -0.83 、腸球菌数との相関係数 S は -0.20 で、とりわけ大腸菌群数および大腸菌数で高い相関が得られた。なお相関係数の有意性については、大腸菌群数と大腸菌数において有意な差が確認された。

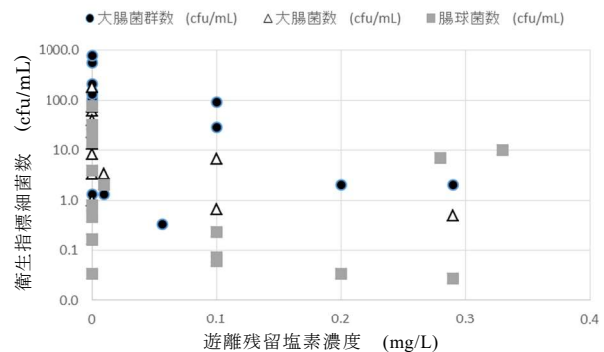


図-8 遊離残留塩素濃度と衛生指標細菌数の相関関係

以上のことから、遊離残留塩素は大腸菌などの病原性微生物の不活化に大きな効果がある⁶⁾とされているのに対し、腸球菌は大腸菌より塩素消毒に対する抵抗力が大きい^{7,8)}とされている。このことから、遊離残留塩素が検出下限の際の大腸菌群数および大腸菌数と遊離残留塩素 0.01mg/L 以上の大腸菌群数と大腸菌数において、それぞれ棄却域 5% で U 検定を行ったところ有意な差が確認された。したがって大腸菌群数および大腸菌数を減少させるためには、遊離残留塩素 0.01mg/L 以上検出させることが必要不可欠であると言える。

4. まとめ

各処理工程における衛生指標細菌の実態および減少効果について水質項目との相関関係から、以下のことが明らかとなった。

- (1) 嫌気槽第一室出口から塩素消毒前、塩素消毒前から塩素消毒後など処理工程を経ることで、大腸菌群数、大腸菌数、腸球菌数ともに減少が確認された。大腸菌群数および大腸菌数では塩素消毒前から塩素消毒後において減少率が高かったのに対し、

腸球菌数では嫌気槽第一室出口から塩素消毒前において減少率が高かった。

- (2) 塩素消毒前において、BOD と各衛生指標細菌との関係では、大腸菌群数、大腸菌数、腸球菌数ともに正の相関が得られた。SS と各指標細菌との関係では、大腸菌群数、大腸菌数で正の相関が得られた。硝化率と各指標細菌との関係では、大腸菌群数、大腸菌数で正の相関が得られた。したがって、処理水質が良好であれば、衛生指標細菌数をある程度抑制させることが可能である。
- (3) 塩素消毒後において、遊離残留塩素と各衛生指標細菌との関係では、大腸菌群数と大腸菌数において高い負の相関が得られた。また、大腸菌群数および大腸菌数を確実に減少させるためには、遊離残留塩素が 0.01mg/L 以上検出させる必要がある。
- (4) 塩素消毒前において衛生指標細菌の検出はある程度、抑制可能であるが、確実に衛生的安全性を担保するためには、塩素消毒の実施、遊離残留塩素濃度の検出は必要不可欠である。

謝辞

本研究の一部は、平成 29 年度浄化槽に関する調査研究助成を受けて実施した。ここに記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) 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)
- 2) 高橋直樹、松橋仁、西村修、須藤隆一：性能評価型浄化槽における大腸菌群の除去特性について、土木学会論文集 G、Vol.68、No.7、429-434、(2012)
- 3) 高橋直樹、佐々木敦、白川百合恵、野村宗弘、西村修：大腸菌群除去に関する BOD 除去型浄化槽と窒素除去型浄化槽の比較、日本水処理生物学会誌、Vol.53、No.1、1-10 (2017)
- 4) 国土交通省 HP：下水道における水系水質リスク検討会
- 5) 磯部賢治：微生物の生存戦略、表面科学、Vol.22、No.10、652-662 (2001)
- 6) 土佐光司、平田強、田口勝久：遊離塩素及びクロミンによる毒素原性大腸菌の損傷、水環境学会誌、Vol.19、No.5、381-387 (1996)
- 7) 財団法人 下水道新技術推進機構：下水処理水の紫外線消毒装置に関する調査研究、93 下水道新技術研究所年報ダイジェスト、No.29 (1993)
- 8) 大瀧雅寛：水系感染症の病原微生物の特性とリスク評価、生活工学研究科、Vol.4、No.1 (2002)