

浄化槽の二次処理装置における大腸菌群及び大腸菌の 消長とその除去特性

(公社) 岩手県浄化槽協会 岩手県浄化槽検査センター ○柿木明紘、小野拓哉
東洋大学 理工学部都市環境デザイン学科 山崎宏史

1. はじめに

浄化槽における衛生指標生物である大腸菌群の除去については最終処理工程である消毒槽での塩素消毒のほか、二次処理装置においても除去が行われることが分かっている^{1,2)}。この二次処理装置内での除去メカニズムとしてSSや生物膜への吸着が示唆されているが²⁾、その特性は明らかになっていない。この挙動を明らかにすることができれば、浄化槽における効率的な除去が可能となり、最終的な消毒槽において、環境負荷の少ない低塩素消毒やUV消毒などに寄与できるものと考えられる。また、近年、この衛生指標生物を大腸菌群から大腸菌へと変更する動きもあることから、本研究では二次処理装置における水質と生物膜中^{に着目し}大腸菌群、大腸菌の挙動から除去特性について調査を行った。

2. 調査方法

(1) 対象施設と調査方法

対象とした調査施設は、法定検査時(5~8月)で使用用途が専用住宅及び10人槽以下の浄化槽で一次処理に嫌気ろ床槽、二次処理は接触ばっ気槽もしくは担体流動槽を有し、過去3年間、処理水が処理目標水質以下(平均BOD 9.0 ± 5.8 mg/L)であり処理機能が安定していると考えられる45基【内訳：接触ばっ気方式25基(構造基準型21基、性能評価型4基)、担体流動方式20基(全て性能評価型)】について行った。各単位装置槽内水における試料採取箇所は図1に示す。また、生物膜中における大腸菌群及び大腸菌の測定では、接触ばっ気方式では逆洗を15分行い接触材より剥離させた生物膜を槽内水と共に30ml採取し、ポッター型ホモジナイザーで破碎したものをを用いた。担体流動方式では採取試料比30%の担体を30ml試料と共に採取し、超音波洗浄機(40GHz)にて生物膜中の細菌類に影響が確認されなかった180秒の洗浄を行い剥離したものを供試した。

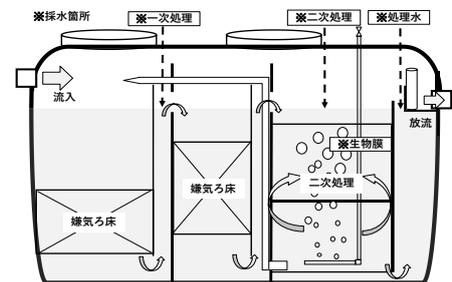


図1 試料サンプリング箇所

(2) 大腸菌群数及び大腸菌数の測定方法

大腸菌群数及び大腸菌の測定には、フルオロカルト・ラウリル硫酸 X-GAL 培地を基質とした簡易試験紙(サンコリ製)を用い、37°Cにて24時間培養したのちのコロニー数を計測した。大腸菌数はUV(365nm)を照射し、発色したコロニー数を計測し、生物数 $\text{Log}_{10}(\text{CFU mL}^{-1})$ を算定した。また、調査前(N_0)、後(N)の生物数から生物除去率 $-\text{log}_{10}(N/N_0)$ を求めた。

(3) 水質測定方法

各水質項目については、NH₄はポータブル分枝行動計(HACH DR1300)を用いて、アンモニア性

窒素測定試薬を使用した。SS の測定では総浮遊物質モード(測定単位:mg/L)にて行った。また、生物膜量の測定は 2.1 において前処理を行った試料を用い、同モードで SS として算定した。そのほか、pH、ORP は電極法(東興科学研究所”TPX-999”)、透視度は透視度計によって行い、BOD は下水道試験法に従って行った。

3. 考察

(1) 各単位装置における大腸菌群及び大腸菌数

各単位装置における大腸菌群及び大腸菌数を図 2 に示す。槽内で検出された衛生指標生物数は一次処理が最も高く大腸菌群数が 3.68log、大腸菌数で 2.89log であった。その後単位装置を経る過程で減少していくことが明らかとなり、消毒前の処理水においては大腸菌群数で 2.62log、大腸菌で 1.75log と衛生基準である 3000CFU/mL(3.47log)以下となった。また、大腸菌が大腸菌群に占める割合は平均 22.6±1.2%程度であり、各単位装置間においても割合の変化は少なかった。このため、大腸菌群数が少ない場合、大腸菌数は検出されないことも多くみられた。この結果に対し、Freedman 検定(P<0.05)を行ったところ一次処理と二次処理では有意差があることがわかった。一方で、二次処理から処理水槽においては有意差みられなかった。この結果より各単位装置における変化から生物除去率(図 3)を求めると二次処理が最も高く、大腸菌群で平均 0.88±0.47log、大腸菌で平均 0.88±0.51log 程度の除去率があることが分かった。一方の処理水における除去率は大腸菌群で平均 0.23±0.61log、大腸菌で 0.17±0.96log と少なく、主要な除去は二次処理で行われていることが想定された。

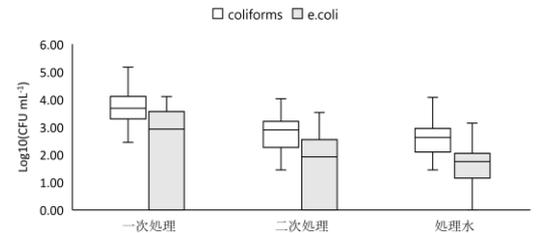


図 2 各単位装置における大腸菌群及び大腸菌数

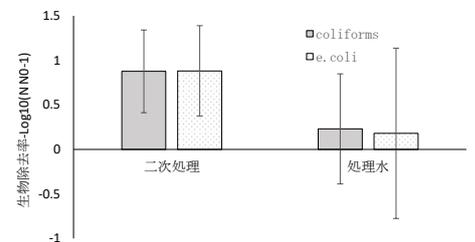


図 3 二次処理における除去率

(2) 二次処理における水質データと大腸菌、大腸菌群の関係

この二次処理の好気部における除去の要因を解析するため、二次処理における大腸菌群及び大腸菌数と各水質項目についての相関係数一覧を表 1 に示す。これより、大腸菌群において BOD 及び SS と正の相関があった。このことから BOD 及び SS の除去率と大腸菌群及び大腸菌の除去率につ

表 1 大腸菌及び大腸菌群と水質の関係

	coliforms count (log10 CFU mL ⁻¹)	e.coli count (log10 CFU mL ⁻¹)	NH4	Tr	pH	ORP	SS	BOD
Coliforms count (log10/mL)	1.00	0.35	0.26	-0.30	0.03	-0.29	0.35	0.49
e.coli count (log10/mL)		1.00	0.09	-0.15	-0.04	-0.12	0.21	0.15
NH4			1.00	-0.14	0.34	-0.46	0.30	0.37
Tr				1.00	0.49	-0.04	-0.85	-0.47
pH					1.00	-0.41	-0.36	0.17
ORP						1.00	0.09	-0.25
SS							1.00	0.50
BOD								1.00

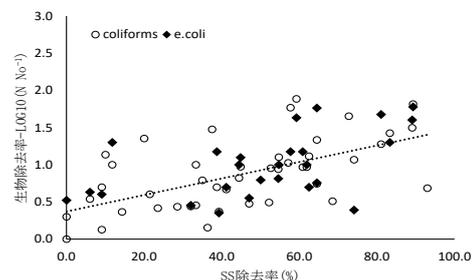


図 4 二次処理(好気部)における大腸菌群及び大腸菌の除去率と SS 除去率の関係

いてプロットを行ったところ(図 4)、SS の除去率が上昇することにより、大腸菌群及び大腸菌の除去率も上昇することが明らかとなった。一方で相関係数が最も高い BOD 除去率との関係についてはバラツキが大きく、このような正のスローブは確認できなかった。これは SS の平均除去率が 45%程度であったのに対し、BOD の平均除去率は 24%と少なく相関が明確にならなかったためと考えら

れた。これらのことから、二次処理においては好気性生物膜による BOD 除去も行われるが SS 除去の割合が高く、それが大腸菌群および大腸菌の除去に重要なウェイトを占めていると言える。また、大腸菌類が SS 等への吸着能を示していることが示唆された。なお、大腸菌群数との相関については BOD が最も高いが、SS との相関も高くなっていることから SS の存在が BOD 上昇の遠因となり細菌数と相関が生じていることが想定された。

(3) 各単位装置における大腸菌群及び大腸菌数と SS の関係

前項より大腸菌群及び大腸菌の除去は SS と関係していることが示唆された、小型浄化槽においては二次処理が接触ばっ気方式と担体流動方式に大別できるが、構造が大きく異なるため、SS 除去のメカニズムが異なることが想定される。このことから構造別における SS に起因した状態を比較するため試料中の大腸菌群と大腸菌数の SS 量との比を二次処理の構造別に図 5 に示した。この結果、構造別の二次処理においては、ほぼ相違がみられなかったのに対し、処理水では担体流動方式のバラツキが大きくなる傾向があることが分かった。担体流動方式は、後処理に濾過担体を使用した物理的な生物濾過を用いており、SS 除去率を比較すると接触ばっ気方式が平均 27%程度であるのに対し、担体流動方式では 33%と高い。これより大腸菌が吸着していると思われる SS が濾過担体において除去されるため、SS、大腸菌ともに低下し、通常であればこのようなバラツキは生じない。しかし、処理水槽における生物除去率から考察すると大腸菌群及び大腸菌の除去効果は低いことが明らかとなっており、つまりは SS に依存しない遊離体の大腸菌が存在し影響を与えていることが考えられた。このことは既往の研究における SS 除去後に処理水中に残存する微粒子の多く細菌であるという報告と合致している³⁾。この遊離体の大腸菌群及び大腸菌が多くなる要因としては、大腸菌の吸着力は弱いことが指摘されており、生物濾過槽は自動逆洗を行うため濾過担体を攪拌する際に吸着している SS から遊離し処理水中に混入している可能性が考えられた。

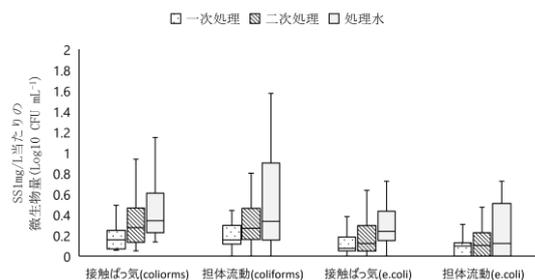


図5 二次処理(好気部)における大腸菌群及

(4) 生物膜中における大腸菌群及び大腸菌とその消長

大腸菌類の除去率は二次処理における最も高くなっている、SS の除去率から生物膜に捕捉されて除去されることが想定される。しかし、二次処理が担体流動方式の場合、担体同士の衝突により余剰生物膜の剥離が発生し、吸着除去の支障となる可能性もある。そのため、その特性の検討として二次処理と生物膜内における大腸菌及び大腸菌群数と SS と生物膜量との関係を構造別に比較したものを図 6 に示す。この結果、接触ばっ気方式と担体流動方式に大きな差はみられず、二次処理内の SS の増加も見られなかった。また、大腸菌を含む SS の捕捉が想定された生物膜内で比較では二次処理 SS と比較して、生物膜を含むため非常に多くなるものの SS との相関にみられる大腸菌群及び大腸菌数の増加は確認できなかった。これにより生物膜では、SS の同化と大腸菌の不活化が同時に進行していることが示唆された。

この、生物膜による不活化効果の検討として、流入がない浄化槽(担体流動:n=10)において平均的な性能評価型浄化槽の滞留時間である 6 時間後の生物膜と二次処理装置槽内水の時系列消長を調査した結果を図 7 に示す。

この結果、二次処理では調査開始の初期値から大腸菌群で平均 0.9log、大腸菌で平均 1.1log の低下がみられたが、全量清掃直後の浄化槽(担体流動:n=1)の二次処理では、大腸菌群及び大腸菌数の消長はみられない、このため二次処理における大腸菌類の除去には良好に順養された生物膜が必要と思われた。浄化槽内における細菌類の不活化は、生物相における食物連鎖が主であり、生物膜表層には後生動物等が存在することから、大腸菌数の低下に参与していることが考えられる。一方で、生物膜では大腸菌群及び大腸菌数が保持されており、既往の活性汚泥の研究においてもフロック内の大腸菌群の保持及び増殖等が指摘されている⁴⁾。これは、後生動物の多くは活性汚泥及び生物膜表層に着生しており、生物膜深部まで移行した大腸菌群及び大腸菌は同様に捕食を受けずに残存するものと考えられた。このことより SS などは剥離した生物膜に由来することも多いため、処理水中の SS 量と大腸菌群数との相関に影響を与えることが想定される。なお、生物膜内の大腸菌群の不活化には長時間を要することが報告されており⁵⁾、浄化槽の二次処理装置における滞留時間程度では完全な不活化は望めないことから生物膜を流出させないことが重要と考えられた。

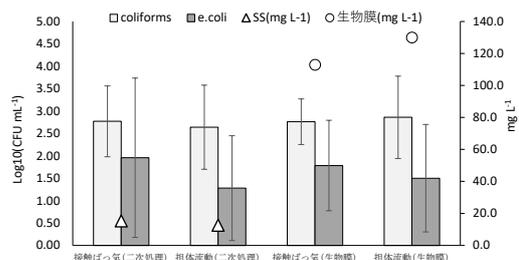


図6 生物膜と二次処理装置槽内水中における大腸菌群と大腸菌と SS の関係

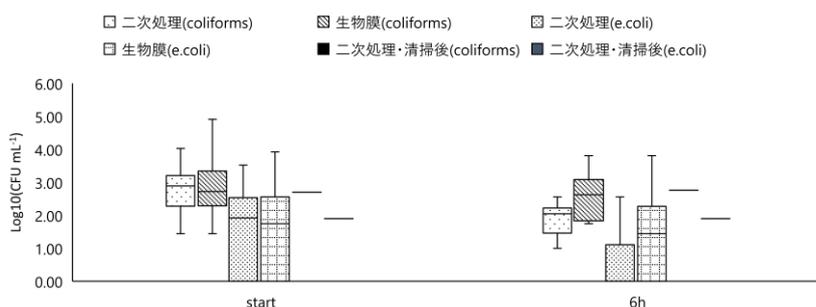


図7 二次処理における大腸菌群及び大腸菌数の経時変化

4. まとめ

本研究の結果、二次処理を中心とした大腸菌群及び大腸菌の挙動の解析から次のようなことが分かった。

- ① 大腸菌群及び大腸菌数の各単位装置間での消長から二次処理における低下が最も高く、処理目標水質を満たしている場合、消毒前においても排水基準内に収まることが明らかとなった。
- ② 二次処理における除去は、水質項目から大腸菌群及び大腸菌の除去に最も関与しているのは SS であり、その除去が重要であることが分かった。
- ③ 担体流動方式では、処理水の大腸菌群及び大腸菌は SS に依存しないものが多いことが分かり、生物濾過槽の逆洗時等より生じる可能性が示唆された。
- ④ 二次処理における大腸菌群及び大腸菌の除去は生物膜の後生動物による捕食によるものが想定され、生物膜内においては一定量が残留することが分かった。

【参考文献】

- 1) 山崎ら, 浄化槽の処理工程における衛生指標生物の挙動解析, 土木学会論文集 G(環境) Vol. 74, No. 7, pp. 407-413 2018
- 2) 高橋ら, 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. 52, No. 1, pp1-10 2017
- 3) 石黒ら, 合併処理浄化槽における微粒子および細菌の変動と処理水槽内水中の残存有機物, 土木学会論文集 G(環境) Vol. 74, No. 7, pp. 415-422 2018
- 4) 柿市ら, 豚舎汚水の活性汚泥法処理における大腸菌群の動態, 日本畜産学会誌, vol. 59, No. 6, pp517-522 1988
- 5) 岡田ら, 接触酸化水路における衛生指標細菌の除去機構, 水環境学会誌, Vol. 23, No. 11, pp677-682 2000