

小規模生活排水処理施設への紫外線消毒法の適用検討

群馬工業高等専門学校 学生会員 ○小山 寛貴

群馬工業高等専門学校 正会員 堀尾 明宏

1. はじめに

紫外線消毒は、塩素消毒の代替となる消毒法であり、日本でも多くの水処理施設が採用しているが、その多くが大規模水処理施設への適用であり、いまだ中小規模の浄化槽への適用事例はない。これは中小施設に比べ、大規模施設は処理水放流方式やその放流量により、河川に与える影響が大きかったことによる。しかし、上流域に中小規模浄化槽の普及地域を有する河川中流域より、最大 0.2mg/L 以上の残留塩素を検出したとの研究報告⁽¹⁾もあり、中小規模浄化槽による影響も無視できるものではない。また、小規模浄化槽では点検頻度が低いことにより塩素消毒剤が消失し、未消毒の処理水が放流される問題もある。本研究室では、小規模浄化槽への紫外線消毒の適用がこれらの問題の解決の一助になると考えた。

そこで本研究では、小規模浄化槽、特に家庭用浄化槽への紫外線消毒法の適用可能性を検討し、主として排水基準である大腸菌群数 3,000 個/cm³以下を達成するための各種条件の把握および実際の装置化を目的とした。

2. 実験概要

2.1 実験方法・測定方法

本研究では、紫外線消毒装置を小規模浄化槽へ適用するために図1の装置を考案した。また、紫外線照射による消毒能の指標として、大腸菌群数を寒天平板法により測定し、式(1)に基づき消毒効果を決定した。加えて、濁度、色度を濁色度計、CODを分光光度計を用いた吸光度法で測定した。なお、紫外線ランプ（紫外線波長 253.7nm、消費電力 14W、適正流量 8L/分以下）には（株）環境テクノス製 UVG14W 付属のものを用いた。

$$E = -\log_{10}(Q_d/Q_s) \quad (1)$$

ここに、 E ：消毒効果（-）、 Q_d ：消毒後の大腸菌群数（個/cm³）、 Q_s ：原水の大腸菌群数（個/cm³）である。

2.2 管内流体の流動特性の把握

図1 管内を流れる処理水の流動特性を把握するために、OpenFOAMを用いた流体シミュレーションによる流線描画およびレイノルズ数計算による流動状態の判定を行った解析用対象は一般家庭用5人槽とし、流入条

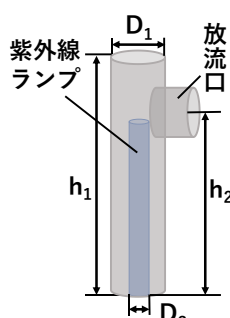


図1 装置の概要

表1 円筒管寸法・解析条件

寸法・浄化槽種類		流入条件	
D ₁ (mm)	100	平常時	増加時
D ₂ (mm)	23	流入量 (L/秒)	0.012
h ₁ (mm)	300		
h ₂ (mm)	390	照射時間 (秒)	190
処理対象	5人槽		
流入流量 (L/日)	1,000	流入流速 (mm/秒)	(0,1.6,0) [※] (0,112,0) [※]

※流速は(x,y,z)方向表記とした。

件には、日平均処理水量 1,000L が常時一定量で流入し続ける場合に加え、一時的に流入量が増加する風呂水排水時を想定した。装置寸法、流入条件を表1に示す。

2.3 静止実験 照射時間・管路素材の検討

静止実験は、中央部に UV ランプを固定した円筒管（直径 100mm、高さ 300mm）内部を浄化槽消毒前処理水で満たし、ランプを点灯させることで行った。RUN1 は、ランプを 10、20、30、45、60 秒間の 5 条件で点灯させ、大腸菌群数を測定し、適した照射時間の把握を試みた。円筒管素材には塩化ビニル（PVC）を使用し、菌数測定に用いる試料は光源より 2cm の位置から採取した。また、RUN2 は、円筒管素材に PVC（RUN2-P）とステンレス（RUN2-S）を使用し、7、10、30 秒間 UV ランプを点灯させた後、大腸菌群数を測定し、管路素材が消毒効果に与える影響の把握を行った。試料は 7、10 秒では光源付近、30 秒では管壁付近より採取した。

2.4 連続通水実験 処理性能の把握

実際に制作した図1の装置（最大光路長 40mm）を、容積 33L のプラスチック製容器に据え付け、連続的に処理水を流入させ、消毒前後の大腸菌群数から処理性能を検証した。円筒管素材は PVC とし、紫外線照射時間が 1 分間となるよう、処理水流入量は毎分 2.4L とした。試料採取は 2 時間ごとに行い、計 6 時間通水した。

3. 結果と考察

3.1 管内の流動特性の把握

シミュレーションによって得られた管壁付近での流線には、2 条件に違いは見られなかった。しかし、レイノ

キーワード 紫外線消毒、小規模浄化槽、紫外線照射時間、消毒効果

連絡先 〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町 580 堀尾研究室 TEL : 027-254-9189 E-mail : horio@cvtl.gunma-ct.ac.jp

ルズ数を計算した結果、平常時には120、流入量増加時には8,590となったことから、管路内が乱流になる場合があることが予想された。流体の流動特性が紫外線消毒に与える影響として、不活化に必要な紫外線量の増加がある⁽²⁾。照射時間の減少の含め、消毒効果の低下を招くため、流入量増加に対応した装置構造が必要となる。

3.2 照射時間・管路素材の検討

RUN1, RUN2の消毒効果を図2、原水水質および消毒前後の大腸菌群数を表2に示す。RUN1では消毒前15,000個/cm³以上存在していた大腸菌群は、照射時間30秒で排水基準を満たす570個/cm³まで減少した。しかし、同条件であるRUN2-Pでは、30秒間の照射後でも、管壁付近での大腸菌群数は2,600個/cm³と排水基準をわずかに満たすほどだった。このRUN2、照射時間30秒の実験での原水濁度は100度以上、大腸菌群数は90,000個/cm³を超えており、水質は非常に悪かった。本結果から、原水水質が非常に悪い場合にも十分な消毒効果を与え、照射時間は1分以上確保すべきであると考えられた。加えて、RUN2の原水中の大腸菌群数から、式(1)での消毒効果を検討する場合には、3以上を十分な消毒効果であるとした。

また紫外線は光であるため、素材が光沢を有する場合、管壁で紫外光が反射することによる消毒効果の上昇が予想された。しかし、RUN2、30秒時点ではPVCでは1.54、ステンレスで1.33と大きな違いは見られなかった。これは光が処理水中を通過する際に、水中の濁質や浮遊物により光が遮蔽、吸収されることが原因である。これにより、壁面に到達するまでに紫外光の消毒効果は大幅に低下する。加えて、管壁で反射する際には素材の反射率の関係から、反射した光の強度はさらに低下する。結果として反射による消毒効果への影響はごくわずかとなり、管壁の素材は消毒効果に大きな影響を与えないと考えられた。

3.3 連続通水実験

測定した大腸菌群数の推移を図3、原水の水質を表3に示す。2回の実験で原水性状に差はあったが、いずれも消毒効果は2.9以上と、おおむね良好な消毒効果が得られた。本実験での分間流入量では一日に約3,000Lの処理が可能であるため、5人槽などの一般家庭向け小規模浄化槽の消毒槽への適用であれば十分実用に堪えうる。しかし、3.1節でも示した通り、一時的な流量増加に対応した装置設計を行う必要がある。

4. まとめ

本研究の結果、以下の知見を得ることができた。

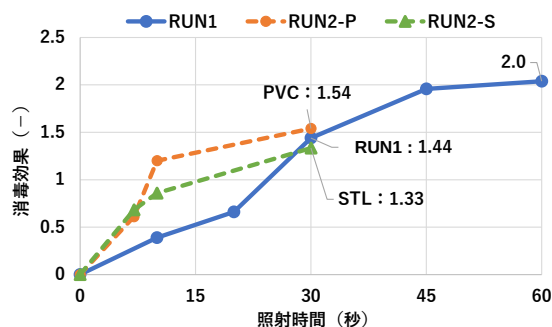


図2 RUN1, RUN2 消毒効果

表2 30秒照射時の原水水質・大腸菌群数の推移

RUN	濁度 (-)	色度 (度)	原水中 菌数(個/cm ³)	30秒時点 菌数(個/cm ³)
1	37.5	43	15,500	570
2-P	110	61.6	90,400	2,600
2-S				4,200

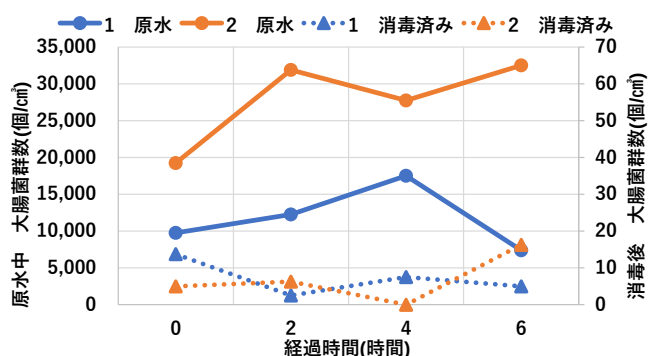


図4 連続通水した場合の生残数

表3 連続通水時の水質

		濁度 (-)	色度 (度)	COD (mg/L)	原水菌数 (個/cm ³)	消毒効果 (-)
1	平均	39.4	66.2	69.5	12,000	3.3
	消毒効果					
	最小時	37.5	74.7	71.2	9,750	2.9
2	平均	34.0	39.8	50.4	28,000	3.5
	消毒効果					
	最小時	24.6	38.8	47.6	32,500	3.3

- (1) 3以上の消毒効果を得ることに加え、光回復や生残した菌の増殖を考慮し、紫外線照射時間は1分以上が望ましい。
- (2) 管壁での紫外光の反射が消毒効果へ与える影響はごくわずかであったため、費用や施工性を考慮すると一般的な塩化ビニル管でよい。
- (3) 本研究で考案した装置では、最大光路長40mm、照射時間1分で、良好な消毒効果を得ることができたが、適用には流量増加に対応した構造が必要となる。

参考文献

- (1) 田代喬, 小川隆文, 辻本哲郎, :河川における残留塩素の低減過程に関する現地観測, 河川技術論文集, Vol19, pp.561-566, 2013.
- (2) 安井宜仁, 神子直之: 流水式紫外線消毒装置の実用化に向けての検討, 用水と排水, Vol46, pp.40-46, 2004.