

微生物保持担体処理による下水処理水の藻類増殖抑制効果

柴山慶行・岡安祐司・岡本誠一郎

1. はじめに

下水処理水は、年間147.1億 m^3 ほど発生しており¹⁾、その内2億 m^3 ほどが処理場で再利用されているが、代表的な用途の一つが修景利用である。これは、街中の池や水路に通水、あるいは水路そのものを整備することでうるおいのある空間を創出することを目的としている（写真-1）。ところが、下水処理水は環境水よりも多くの栄養塩類を含むことから、夏季の気温の高い時期等、環境条件によっては藻類が大発生することがあり（写真-2）、景観上や維持管理上の問題が生じることがある。

（独）土木研究所水質チームでは、下水処理水に流動担体を用いた好気性の微生物保持担体処理（以下、担体処理）を追加的に施すことにより、処理水の藻類発生を抑制できることを見出した^{2),3)}。本報では、藻類抑制効果の確認実験結果について紹介する。

2. 実験方法

2.1 概要

図-1に実験の概要図を示す。凝集剤添加循環式硝化脱窒法および急速砂ろ過法により処理された茨城県霞ヶ浦流域下水道事務所霞ヶ浦浄化センターの下水処理水を模擬池と模擬水路に流す系と担体処理を施した水（以下、担体処理水）を流す系をつくり、藻類発生状況の違いについて調べた。

2.2 担体処理実験

担体処理連続実験は、夏季の7月初旬より開始し、9月第2週目までの約2ヶ月間実施した。微生物保持担体上の生物膜の馴致期間として1ヶ月程度確保した。下水処理水を、微生物保持担体（ポリプロピレンを基材とした中空円筒状の固体、4mm OD ×3mm ID ×5mm L ）が添加された円筒形の担体処理反応槽（ポリエチレン、内径：64cm、有効水深：87cm、有効容量：0.28 m^3 、水理学的



写真-1 下水処理水を用いて創出したせせらぎ水路



写真-2 糸状藻類の大量発生した水路

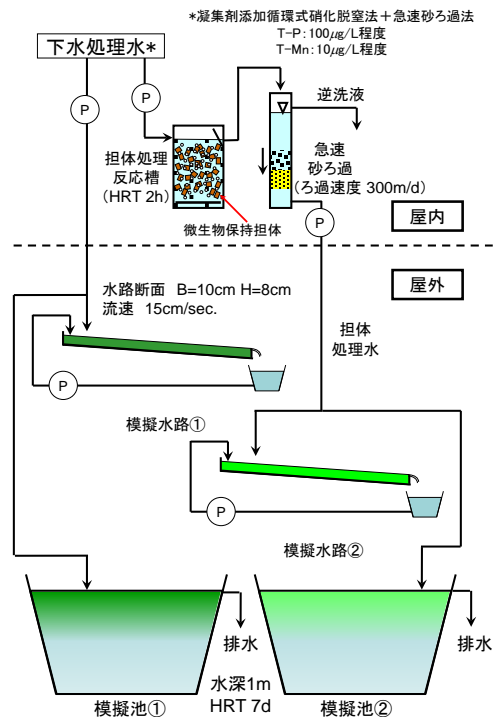


図-1 実験の概要図

滞留時間（HRT）：2時間）に導入し、下部より曝気を行い、担体表面に自然発生的に付着した生物膜により高度処理を実施した。写真-3に微生物固定化担体を示す。なお、反応槽における担体添加率（槽の体積に占める割合）は30%とした。さらに、反応槽流出水は下向流式急速砂ろ過装置（内径：10cm、アンスラサイト層厚：62.5cm、砂層厚：37.5cm、ろ過速度：300m/日）を通過させ、余剰生物膜を分離除去して担体処理水を得た。下向流式急速砂ろ過装置の洗浄は、担体処理水を用いて、3時間に1回の頻度で、1m/分の速度で、2分間/回、逆流洗浄した。

8月上旬から水質測定を実施した。週1回の頻度で、下水処理水および担体処理水について、現地にて、水温、pH、溶存酸素（DO）濃度を観測するとともに、スポット採水試料中の浮遊物質（SS）、有機性浮遊物質（VSS）、溶解性有機性炭素（DOC）、総窒素（T-N）、アンモニア性窒素（ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ）、亜硝酸性窒素（ $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ）、硝酸性窒素（ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ）、総リン（T-P）、オルトリン酸態リン（ $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ）の各濃度を測定した。また、2週間に1回の頻度で、スポット採水試料中の総鉄（T-Fe）、総マンガン（T-Mn）の測定を実施した。



写真-3 実験に使用した微生物固定化担体

2.3 模擬池実験

霞ヶ浦浄化センターの下水処理水と、担体処理水を、それぞれ、屋外に設置された同一形状の円筒形の試験池（ポリエチレン製、内径96.5cm、有効水深：125cm、有効容量：1m³）に満たし、以降は水理的滞留時間（HRT）が7日となるように連続的に通水した。

水質測定は、模擬実験池の生物相の馴致期間として1ヶ月程度確保した後、8月上旬から実施した。週1回の頻度で、下水処理水および担体処理水を通水した模擬池の表層水について、現地にて、水温、pH、溶存酸素（DO）濃度を観測するとと

もに、スポット採水試料中のSS、VSS、DOC、T-N、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、T-P、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、クロロフィルa（Chl.-a）の各濃度を測定した。なお、試料採取は14:00に実施した。

2.4 模擬水路実験

8月上旬から、霞ヶ浦浄化センターの下水処理水と、担体処理実験で得られた担体処理水を、それぞれ、屋外に設置された同一形状の循環式試験水路（塩化ビニール製、長さ400cm、幅10cm）に通水し、水深8cm、流速15cm/secになるように流量を調整した。また、水路および循環配管内水の水理的滞留時間（HRT）は約22分となるように設定した。また、水路上に発生する付着藻類等の固形物の状況を把握するために、実験開始時に水路内の壁面および底面に9cm×9cm×0.5cmの素焼き板を三面張り状に敷き詰めた。

水質測定は、週1回の頻度で、下水処理水および担体処理水を通水した模擬水路の表層水について、現地にて、水温、pH、溶存酸素（DO）濃度を観測するとともに、右岸側、底面、左岸側の素焼き板を各3枚ずつ採取し、素焼き板表面上の固形物をポリエチレン製歯ブラシにて掻き取り、純水に転溶し、5Lに希釈して、均質化した後の水試料中のSS、VSS、T-N、T-P、Chl.-aの各濃度を測定し、素焼き板の単位面積当たりの付着物量として整理した。なお、採取した素焼き板の後には、新たな素焼き板を補充して設置した。また、試料採取は14:00に実施した。

3. 実験結果

3.1 担体処理水

表-1に下水処理水と担体処理水の水質測定結果を示す。担体処理水の方がpHとDOが高く、これは曝気による酸素と炭酸ガスの交換によるものと考えられる。窒素やリン等の富栄養化関連項目については大きな差が見られなかった。一方で担体処理水では、T-Fe濃度はわずかに、T-Mn濃度は大きく低下していた。反応槽前後のMnの形態は、担体上のマンガン酸化細菌等の活動により、溶解性から懸濁態へ変化しており、それが、後段の急速砂ろ過装置でろ過され、除去されたと考えられる。

3.2 模擬池実験

写真-4と写真-5に実験開始より21日目の模擬池

の写真を示す。また、表-2に実験期間中の霞ヶ浦浄化センターの下水処理水を通水した模擬池①と、担体処理水を通水した模擬池②の表層水の水質測定結果を示す。

写真-4からは、藻類の増殖が抑制されていることが伺える。下水処理水を通水した模擬池①では、実験期間を通じて水面を糸状藻類が覆い尽くしていた(写真-5)が、担体処理水を通水した模擬池②では、そのような現象は見られなかった。水質測定結果を比較すると、固形物量や藻類の現存量を表すSS、VSS、T-N、T-P、Chl.-aについて大きな差がみられ、定量的にも藻類増殖が抑制されていることが分かる。



写真-4 実験開始より21日目の模擬池
(左側：①，右側：②)



写真-5 模擬池①の藻類の写真

表-1 担体処理実験における水質測定結果
(SS以降は平均値)

項目	単位	下水処理水	担体処理水
水温	℃	26.4~27.3	25.7~28.1
pH	—	7.1~7.2	8.0~8.2
DO	mg/L	2.7~3.4	4.9~6.8
SS	mg/L	1.2	1.0
VSS	mg/L	0.9	0.5
DOC	mg/L	3.6	3.7
T-N	mg/L	5.8	6.0
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	0.1	0.0
NO ₂ ⁻ -N	mg/L	0.0	0.0
NO ₃ ⁻ -N	mg/L	4.7	4.7
T-P	mg/L	0.19	0.19
PO ₄ ³⁻ -P	mg/L	0.15	0.16
T-Fe	μg/L	24.1	20.0
T-Mn	μg/L	7.2	0.4

表-2 模擬池実験における水質測定結果
(SS以降は平均値)

項目	単位	模擬池①	模擬池②
水温	℃	24.6~33.0	25.0~33.3
pH	—	9.2~10.5	9.7~10.6
DO	mg/L	8.2~20.0	8.8~18.4
SS	mg/L	810	24
VSS	mg/L	744	21
DOC	mg/L	7.1	4.5
T-N	mg/L	28.2	6.4
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	0.3	0.1
NO ₂ ⁻ -N	mg/L	0.1	0.0
NO ₃ ⁻ -N	mg/L	3.1	3.9
T-P	mg/L	4.71	0.37
PO ₄ ³⁻ -P	mg/L	0.08	0.07
Chl.-a	μg/L	9784	156

3.3 模擬水路実験

写真-6と写真-7に実験開始より21日目の模擬水路の写真を示す。また、表-3に実験期間中の霞ヶ浦浄化センターの下水処理水を通水した模擬水路①と、担体処理水を通水した模擬水路②の水質測定結果を示す。

こちらも模擬池と同様で、写真-6からは藻類の増殖が抑制されていることがわかる。模擬水路に設置してある素焼き板を持ち上げると双方の水の藻類増殖能の違いがはっきり観察できる。下水処理水を通水した方では、糸状藻類の増殖が見られるのに対して(写真-7)、担体処理水を通水した方では、壁面が緑色に変化しており、藻類の発生

は確認できるものの糸状に長く成長している様子は伺えない(写真-8)。水質測定結果を比較すると、固形物量や藻類の現存量を表すSS、VSS、T-N、T-P、Chl.-aについて1.6~2倍の差が見られた。



写真-6 実験開始より21日目の模擬水路
(左側：①，右側：②)

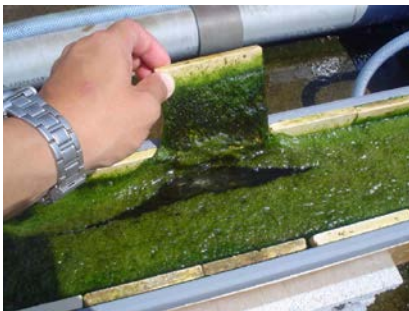


写真-7 模擬水路①の素焼き板

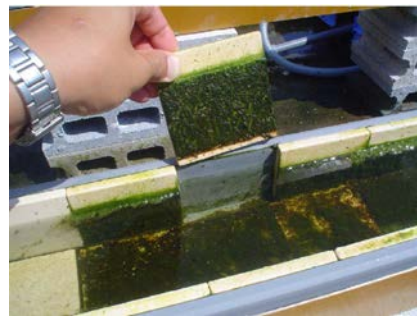


写真-8 模擬水路②の素焼き板

表-3 模擬水路実験における水質測定結果
(SS以降は平均値)

項目	単位	模擬水路①	模擬水路②
水温	℃	27.7~35.1	28.1~35.2
pH	—	7.6~9.7	8.3~10.0
DO	mg/L	5.5~8.1	7.0~8.5
SS	g/m ²	76.6	37.6
VSS	g/m ²	45.0	19.5
T-N	g/m ²	2.6	1.4
T-P	g/m ²	0.35	0.21
Chl.-a	mg/m ²	505	298

ていた。今後は、藻類増殖抑制の機構についてさらに明らかにしていくとともに、本成果の現場への普及を図っていきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省：健全な水循環の構築、
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000138.html
アクセス日時：2014.03.28
- 2) 岡安祐司、南山瑞彦、鈴木穰：微生物固定化担体を用いた、下水再生水放流水路における付着藻類の増殖を抑制する技術の開発、第46回環境工学研究フォーラム講演集、pp.16~18、2009
- 3) 岡安祐司：担体による都市河川の藻類抑制技術、河川整備基金助成事業、平成21年度

4. まとめ

下水処理水に微生物保持担体処理を追加的に行うことで、修景利用する際に問題となる藻類増殖を抑えられることを示した。今回の実験での導入水の水質を比較すると、Mn濃度が大きく異なっ

柴山慶行



国土交通省土地・建設産業局建設業課技術検定係長(前(独)土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ水質チーム研究員)
Yoshiyuki SHIBAYAMA

岡安祐司



ベトナム社会主義共和国JICA専門家(前(独)土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ水質チーム主任研究員)、工博
Dr. Yuji OKAYASU

岡本誠一郎



(独)土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ水質チーム 上席研究員、工博
Dr. Seiichiro OKAMOTO