

酸化溝型浄化槽における炭素繊維等を活用した 窒素除去技術の確立

(1) 炭素繊維の形状および炭素繊維法と間欠ばっ気法の併用による窒素除去効果の検討

鈴木直人 二宮恵介

I 要 約

沖縄式酸化溝型浄化槽における炭素繊維等を活用した窒素除去技術を確立するため、浸漬する炭素繊維担体の形状、設置位置の違いによる生物膜生成量を検討するとともに、炭素繊維法、間欠ばっ気法および両法の併用による窒素除去効果について比較したところ、以下のとおりであった。

1. 炭素繊維担体の形状の違いによる生物膜生成量は、浸漬 10 日目において人工藻型>ムカデ型>西陣帯型の順に多い傾向を示した。
2. 人工藻型における生物膜生成量は、水車からの距離が、8m>3m>11mの順に多い傾向を示した。8m 位置では、浸漬 10 日目で 1 つの炭素繊維担体に 3.24kg の生物膜を生成した。
3. ばっ気処理法、炭素繊維生物膜の有無による窒素除去効果について比較したところ、間欠ばっ気と炭素繊維の併用>間欠ばっ気>炭素繊維>連続ばっ気の順に窒素除去効果が高まり、間欠ばっ気と炭素繊維法の併用により処理前に比べ処理後は 43pt (12.4%) 硝酸性窒素等が低減する傾向にあった。

II 緒 言

養豚を取り巻く環境規制は、近年ますます厳しくなっている。水質汚濁防止法健康項目の一つ「アンモニア、アンモニア化合物、亜硝酸化合物および硝酸化合物」（硝酸性窒素等）は、現在畜産業に対して暫定基準 600mg/l が適用されているが、将来的に一般排水基準の 100mg/l に統合される見込みであり、規制強化への対応が喫緊の課題となっている。畜産排水中の窒素を除去する原理としては、畜産排水中窒素の主成分であるアンモニアを、好気条件下で硝化菌により亜硝酸または硝酸に酸化し、その後、無酸素条件下で亜硝酸および硝酸を、脱窒細菌により窒素ガスに還元して揮散させる方法が知られている¹⁾。汚水の浄化処理において、山下は、微生物の付着性が高いことが知られている「炭素繊維」に形成される生物膜は厚くなるため、酸素が存在する環境下で嫌気性微生物の保持も可能であり、アンモニウムイオンから窒素ガスへの転換がスムーズに行われることで、硝酸イオンや亜硝酸イオンの液中残存量は顕著に少ない²⁾としている。さらに、伊禮ら³⁾は、回分式活性汚泥浄化処理において、ばっ気・停止を繰り返す間欠ばっ気処理による窒素低減効果が認められたとしている。

そこで、本研究では、水車で攪拌する特徴の沖縄式酸化溝型浄化槽（酸化溝）における炭素繊維法の適用方法を確立するため、炭素繊維担体の形状、設置位置の違いによる生物膜生成量について検討するとともに、小規模実験装置にて炭素繊維法、間欠ばっ気法および両法の併用による窒素除去効果について比較検討したので報告する。

III 材料および方法

1. 試験期間および試験場所

試験は、2018 年 11 月から 2019 年 1 月に沖縄県畜産研究センター内で実施した。

2. 試験方法

1) 試験1：炭素繊維担体の形状および設置位置による生物膜生成状況の比較

(1) 供試試料

試験に供した炭素繊維担体を写真1～3に示した。炭素繊維担体は、ソーエン社製の西陣帯型(CFH-1)、ムカデ型(CFK-1)および人工藻型(CFS-1)の3種類を供した。

(2) 設置方法

酸化溝への炭素繊維担体設置状況を写真4、平面図を図1に示した。それぞれの炭素繊維担体は、下方に重量0.36kgのおもりを付け、酸化溝(深さ1.5m、有効容積60t、0.4kw水車2基)の水車から約3m、8mおよび11mの位置に工作パイプを水流に対して垂直に張り、パイプから炭素繊維担体をつり下げてばっ気槽内に10日間浸漬した。また、炭素繊維浸漬時の酸化溝内活性汚泥浮遊物質(MLSS)濃度は、 $7,520 \pm 440 \text{mg/l}$ であり、試験はそれぞれの形状の配置を替えながら3回実施した。

(3) 調査項目

調査項目は、浸漬10日後の生物膜生成量とした。生物膜生成量は、現物重量からおもりの重量を除いて算出した。



写真1 西陣帯型



写真2 ムカデ型



写真3 人工藻型



写真4 炭素繊維設置状況

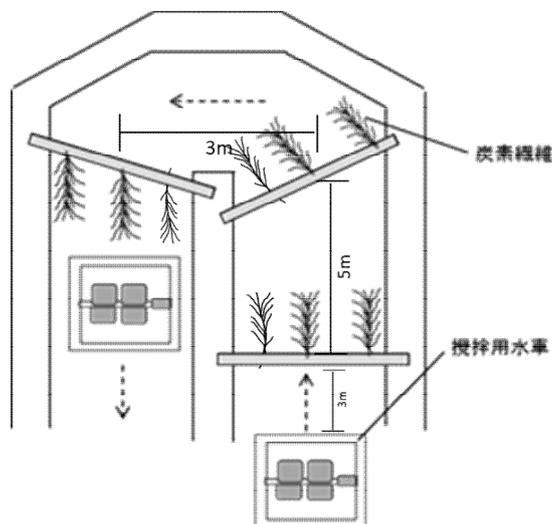


図1 酸化溝への炭素繊維設置（平面図）

2) 試験2：炭素繊維生物膜および間欠ばっ気の併用による窒素除去効果の検討

(1) 試験区分

試験区分を表1に示した。試験区分は、ばっ気方法(間欠ばっ気、連続ばっ気)および炭素繊維生物膜の浸漬の有無により4区分とした。

表 1 試験区分

区分	ばっ気方法	炭素繊維生物膜
連続区	連続	無し
間欠区	間欠	無し
炭素区	連続	有り
併用区	間欠	有り

(2) 試験方法

試験装置の概要を図 2 に示した。試験は、120 l 容タンクに 100 l の当センター酸化溝のばっ気液（活性汚泥）を投入し、爪折タイマーで制御しながら下からエアストーンにより、2.0 l/min の設定でばっ気した。

ばっ気方法を図 3 に示した。連続ばっ気は 24 時間連続運転で、間欠ばっ気は汚水投入後 1 時間停止・運転を繰り返した。炭素繊維生物膜は、酸化溝にて生成した約 1.5kg の生物膜が付着した人工藻型炭素繊維担体（写真 5）をタンクのフタからつり下げた。また、あらかじめ硝酸カリウム（KNO₃）をタンク内液の NO₃-N 濃度が、300mg/l 程度となるように添加し、さらに脱窒細菌が脱窒機能を有するのに必要な有機物¹⁾源として豚舎汚水を 5 l 投入し、試験を開始した。豚舎汚水の水質およびタンク内の活性汚泥の MLSS 濃度を表 2 に示した。

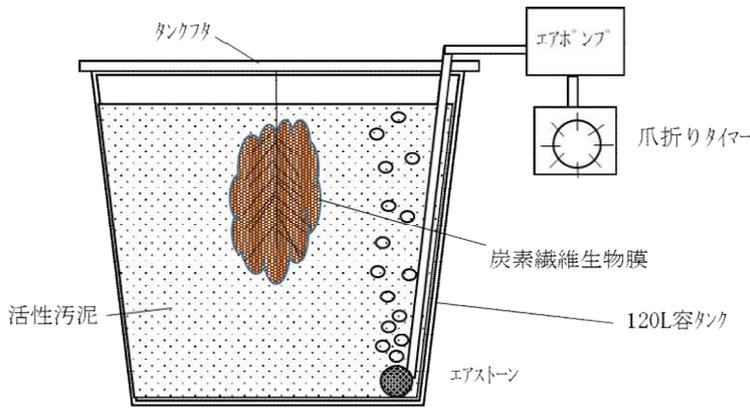


図 2 試験装置の概要

写真 5 炭素繊維生物膜

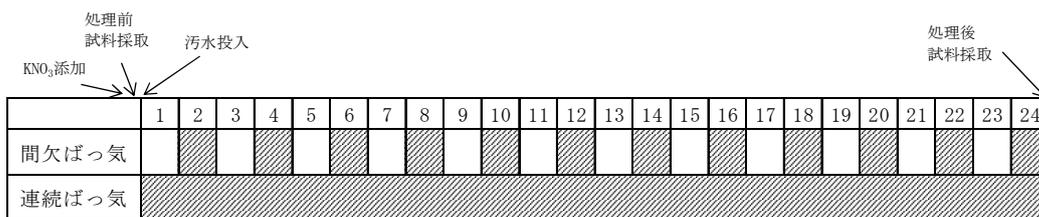


図 3 ばっ気方法

注) 図中 は運転, は停止。

表 2 投入汚水の水質およびタンク内 MLSS 濃度

	投入汚水				MLSS
	BOD	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	
pH	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
6.6 ± 0.3	3,496 ± 842	375.5 ± 116.5	0.01 ± 0.004	0.07 ± 0.05	5,129 ± 705

(3) 試料採取および調査項目

試料は、タンク内液を NO₃-N 添加後の汚水投入直前と 24 時間後の 2 回採取した。調査項目は、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 ($\text{NO}_3\text{-N}$) および硝酸性窒素等とした。硝酸性窒素等は, $[\text{NH}_4\text{-N}] \times 0.4 + [\text{NO}_2\text{-N}] + [\text{NO}_3\text{-N}]$ から算出した。その他項目の分析は, 環境計量所に依頼し, 流れ分析法で行った。

IV 結 果

1. 試験1: 炭素繊維の形状および設置位置による生物膜生成状況の比較

1) 炭素繊維形状の違いによる浸漬10日目の生物膜生成量の設置3カ所の合計を図4に示した。それぞれの炭素繊維担体3カ所の生物膜生成量合計は, 人工藻型 > ムカデ型 > 西陣帯型の順に多く, それぞれ 1.58kg, 5.41kg, 6.23kg であった。

設置位置においては, 炭素繊維担体1つ当たりの生物膜生成量の最も多かった人工藻型において, 水車からの距離では8mの位置で3.24kgの生物膜生成がみられた。また, 炭素繊維1つ当たり3kg以上の生物膜生成量となった8m位置のムカデ型および人工藻型では, 生物膜が水面に浮遊する状況がみられた。

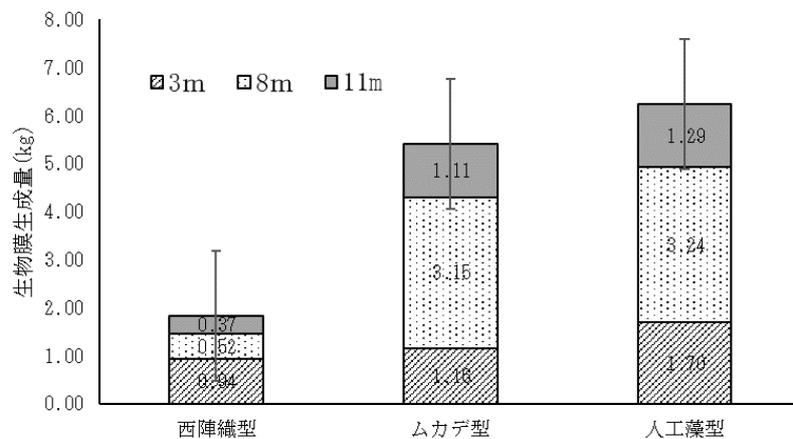


図4 浸漬10日目の生物膜生成量3カ所合計

2. 試験2: 炭素繊維生物膜および間欠ばっ気の併用による窒素除去効果の検討

1) 処理前後の硝酸性窒素等濃度を図5, 硝酸性窒素等の内訳を表3に示した。原污水投入処理前に対する処理1日後の硝酸性窒素等濃度は, 連続区で11pt (3.2%), 間欠区で36pt (10.7%), 炭素区で20pt (6.0%), 併用区で43pt (12.4%) それぞれ減少する傾向にあり, 併用区が最も減少傾向が大きかった。また, それぞれの窒素成分の内訳は, そのほとんどが硝酸性窒素であった。

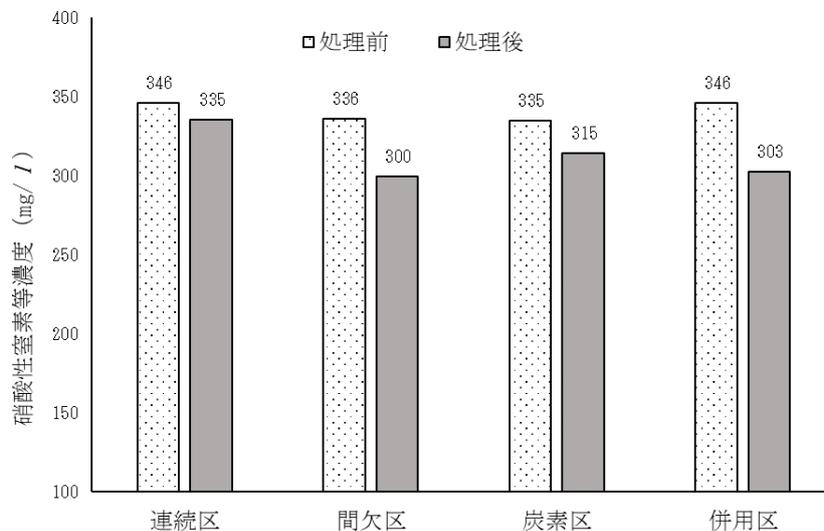


図5 処理前後の硝酸性窒素等濃度

表 3 硝酸性窒素等に係る窒素成分の内訳 単位：mg/L

	処理前				処理後			
	連続区	間欠区	炭素区	併用区	連続区	間欠区	炭素区	併用区
NH ₄ -N	0.20	0.18	0.19	0.40	0.22	5.15	4.87	5.73
NO ₂ -N	0.09	0.09	0.06	0.10	0.28	0.50	0.58	0.47
NO ₃ -N	346.00	336.00	335.00	346.00	335.00	297.00	312.00	300.00

V 考 察

炭素繊維担体の形状の違いによる生物膜生成量の検討について、炭素繊維担体は、本試験に供した以外の形状も市販されており、検討した炭素繊維は、酸化溝の形態、水車による攪拌、メーカーからの提案および予備試験時における作業性等を考慮して選定した。西陣帯型の炭素繊維担体において生物膜が生成されたのは、下方のひらひらの部分のみであり、織物状の部分にはあまり生物膜が付着しておらず、横方向の水流のある酸化溝では生物膜が生成しにくいものと考えられた。設置位置について、8m位置のムカデ型と人工藻型で、炭素繊維 1 つ当たり 3kg 以上と多くの生物膜が生成した。いっぽう、3m位置の水車から近く、水流が速い場所では、生物膜を維持できず崩れている状況がみられ、生成量が比較的少なかった。このため効率的な生物膜生成には、水車から 3m 以上離れた場所から設置する必要があると考えられる。また、本試験では炭素繊維を上からつり下げる設置方法としたが、生物膜生成量が 3kg 以上となった炭素繊維担体では、生物膜が水面に浮き上がっている状況が見られた。これらの生物膜は、膜内にガスがたまりスポンジ様となり、浮き上がりやすくなっていると考えられた。設置方法については、酸化溝の底に沈める方法等検討する必要がある。

脱窒試験について、本試験では、酸化溝での実証検証の参考とするため、小規模装置にて比較検討した。養豚排水の小規模試験では、連続的な運転が、排水のパイプが詰まりやすいなどの理由で実施が困難であったため、バッチ式の 1 日処理による比較検討となった。各区硝酸性窒素等の低減傾向は、併用区 > 間欠区 > 炭素区 > 連続区の順となった。併用区が両法より低減する傾向にあったことから、排水からの窒素除去効果を向上させることが示唆された。

沖縄県内の実態調査⁴⁾によると、養豚農家における浄化処理水中「硝酸性窒素等」濃度の最大値は、304mg/l となっている。今後、酸化溝における実証においては、ばっ気槽内の硝酸性窒素等濃度を人工的に 300mg/l 程度にまで蓄積し、法遵守の 100mg/l 以下まで低減させる検証を行う必要がある。

VI 引用文献

- 1) (一財)畜産環境整備機構畜産環境技術研究所編(2018) 畜産汚水の処理技術マニュアル, 47-49, (一財)畜産環境整備機構
- 2) 山下恭広(2015)炭素繊維担体を利用した汚水浄化処理技術, 畜産技術協会編, 畜産技術, 18-21, 公益社団法人畜産技術協会
- 3) 伊禮判・鈴木直人・太田克之・大城まどか・渡久地政康(2002) 畜産公害対策試験(12) 沖縄畜試研報, 40, 71-74
- 4) 沖縄型畜産排水対策モデル事業共同企業体(2014) 平成 25 年度沖縄型畜産排水対策モデル事業に係る業務委託報告書, 巻末 2-5, 沖縄県畜産課