

養豚浄化槽における亜鉛低減要因の解明

鈴木良地*・増田達明*・中谷 洋**・原田英雄***

摘要：放流水中の亜鉛濃度が高い養豚浄化槽について、排水実態調査及び室内試験を行い、亜鉛濃度が高くなる要因を解明した。また効果的な亜鉛の低減手法を検討した。

実態調査では、放流水中の硝酸態及び亜硝酸態窒素（以下、NO_x-N）濃度が高いほど、pHが低い傾向が見られた。またpHが低いほど、放流水中の溶存態亜鉛濃度が高い傾向が見られた。pHと溶存態亜鉛濃度との関係については、室内試験により、原汚水のpHが低くなると溶存態亜鉛濃度が増加することが確認できた。また、その後pHを高くすると溶存態亜鉛濃度が減少した。さらに、効果的な亜鉛低減手法として、前処理における固液分離処理及び沈殿処理を比較した。その結果、沈殿処理の亜鉛除去率は48%であり、固液分離処理よりも優れていた。

以上のことから、浄化槽において亜鉛を効果的に低減するには、NO_x-Nの蓄積等によるpHの低下を防止し、溶存態亜鉛濃度の増加を抑制すること、及び沈殿処理を主体とした前処理の実施、などの対策が重要であることが明らかとなった。

キーワード：養豚浄化槽、亜鉛、pH、沈殿処理

Factors Analysis of Zinc Reduced Function in Swine Wastewater Treatment Plants

SUZUKI Ryoji, MASUDA Tatsuaki, NAKATANI Hiroshi and HARADA Hideo

Abstract: We investigated the swine wastewater plant that high Zinc contents in final effluent and analyzed the factor of highly Zinc contents and effective reduction method under field survey and indoor experiment. Field survey indicated that pH in final effluent tend to come down as NO_x-N contents increased, and Zinc contents tend to increase as pH came down. Indoor experiment cleared that low pH in primary effluent increased dissolved Zinc contents which decreased again by high pH. Compare solid-liquid separation treatment to Sedimentation treatment, 48% Zinc were removed by Sedimentation treatment.

These result suggested that Zinc contents effectively reduced by appropriate administration of plant, which means preventing dissolved Zinc by keeping optimum pH and steady operation of pretreatment such as Sedimentation treatment.

Key Words: Swine wastewater plant, Zinc, pH, Sedimentation treatment

緒言

水質汚濁防止法における全亜鉛（以下、亜鉛）濃度の排水基準値の改正（2006年12月）を受けて、前報で筆者らは愛知県内の養豚浄化槽55戸を調査し、亜鉛の排水実態について報告した¹⁾。調査結果では、原汚水中の亜鉛濃度は平均値で3.70mg/Lと排水基準値の2.00mg/Lを上回っていたが、放流水中では平均値で0.27mg/Lと大きく低減していた。そして、調査対象の全てにおいて、放流水中の亜鉛濃度が排水基準値を下回っていることを確認した。さらに、原汚水中の亜鉛は約9割が懸濁態として存在しており、こうした亜鉛が浮遊物質（以下、SS）と非常に高い相関関係にあることを確認した。これにより、SSの除去が浄化槽における亜鉛低減の大きな要因であることを明らかにした。

一方で、放流水中の亜鉛濃度が比較的高かった事例では、原汚水中よりも溶存態亜鉛濃度が増加している現象が見られた。このことから、放流水中の亜鉛濃度が高くなる要因の一つとして、溶存態亜鉛の影響が考えられた。また、SSの除去により懸濁態としての亜鉛を除去できることが明らかとなったものの、実際にSSを除去する手法と亜鉛の除去効果を関連付けた研究は行われていない。SSの除去は、浄化槽の前処理段階での固液分離処理や沈殿処理が一般的であるため、これらの処理における亜鉛の低減効果を明らかにする必要がある。

そこで、放流水中の亜鉛の低減対策を構築することを目的として、溶存態亜鉛濃度を増加させる要因の解明、及び前処理における亜鉛の低減効果の解明、の2点に着目した。前者については、前報の調査において比較的亜鉛濃度が高かった浄化槽の実態調査を行い、亜鉛濃度が高くなる要因を分析した。さらに、室内試験によりpHが溶存態亜鉛に及ぼす影響を明らかにした。後者については、効果的に亜鉛を低減できる前処理の手法を室内試験により明らかにした。これらの調査及び試験から亜鉛の低減要因を解明したので報告する。

材料及び方法

1 排水実態調査

(1) 調査対象及び試料のサンプリング

表1に示す6戸の養豚浄化槽を調査対象とした。このうち、A及びC浄化槽は、前報の調査において、放流水中

の亜鉛濃度がそれぞれ1.20mg/L及び1.95mg/Lと平均値（0.27mg/L）と比較して高かった浄化槽である。調査はそれぞれ2回または3回行った。試料のサンプリングは、原汚水については原水槽から、放流水については最終沈殿槽の上澄みまたは放流口からとした。F浄化槽の放流水については、ばっ気停止時にばっ気槽混合水の上澄みを採取した。

(2) 分析

サンプリングした試料については、以下のとおり分析に供した。

pHはガラス電極法²⁾、SSは遠心分離法またはガラス繊維ろ紙法²⁾、全窒素（T-N）は紫外線吸光度法²⁾、ケルダール窒素はケルダール法²⁾、アンモニア態窒素（NH₄-N）はインドフェノール青吸光度法²⁾、硝酸態窒素（NO₃-N）はブルシン法²⁾を用いた。また、亜硝酸態窒素（NO₂-N）はT-Nからケルダール窒素及びNO₃-Nを差し引いて求めた。なお、NO₃-N及びNO₂-Nの合算値をNO_x-Nとした。亜鉛は硝酸及び過塩素酸で分解後、原子吸光法³⁾により分析した。また、溶存態亜鉛は試料中のSSを除去し、残存液中に含まれる亜鉛を分析して求めた。

2 pHが原汚水中の溶存態亜鉛濃度に及ぼす影響

(1) 低pHの場合

原汚水を低pHとしたときの溶存態亜鉛の濃度変化を測定した。pHは一般的な養豚浄化槽において想定し得る下限値として、3.0とした。試験水は、当試験場養豚浄化槽の原汚水を用いた。このとき、原汚水のpHは7.5、亜鉛は0.92mg/L、うち溶存態亜鉛は0.12mg/Lだった。原汚水3Lに1N硝酸を加えて、pHを調整した。試験は室内で行い、攪拌しながら2時間、4時間、8時間、24時間、48時間後にサンプリングを行い、溶存態亜鉛濃度を測定した。なお、試験中は、適宜硝酸を加えてpHを常に3.0に保った。試験は3反復行った。

(2) 高pHの場合

上記試験に引き続き、原汚水を高pHとしたときの溶存態亜鉛の濃度変化を測定した。pHは一般的な養豚浄化槽においてやや高め8.0と、想定し得る上限値として10.0の二通りとした。1N水酸化ナトリウム溶液を加えて原汚水のpHを8.0または10.0にし、攪拌しながら2時間、4時間、8時間、24時間、48時間後にサンプリングを行い、溶存態亜鉛濃度を測定した。なお、同様に試験中は水酸化ナトリウムを加えてpHを常に8.0または10.0に保った。試験は3反復行った。

表1 排水実態調査の対象浄化槽

調査対象	規模	処理方式	放流水の分離方法	調査日
A浄化槽	母豚 80頭規模	連続式活性汚泥方式	膜分離法	2008.6.6、9.17、2009.2.4 の3回実施
B浄化槽	母豚 150頭規模	連続式活性汚泥方式	膜分離法	2008.6.6、9.17、2009.2.4 の3回実施
C浄化槽	母豚 280頭規模	連続式活性汚泥方式	沈殿法	2008.6.6、9.17、2009.2.4 の3回実施
D浄化槽	母豚 320頭規模	連続式活性汚泥方式	沈殿法	2008.6.6、9.17 の2回実施
E浄化槽	母豚 110頭規模	連続式活性汚泥方式	沈殿法	2008.7.4、10.17 の2回実施
F浄化槽	母豚 40頭規模	回分式活性汚泥方式	沈殿法	2008.7.4、10.17 の2回実施

3 前処理における亜鉛低減効果

試験室内で原汚水の固液分離処理及び沈殿処理を行い、それぞれの処理における亜鉛の除去率を測定した。

試験水は当試験場養豚浄化槽の固液分離前の原汚水を用いた。固液分離処理として、網目が異なる4つのふるい(2mm、1mm、0.5mm、0.2mm)を用いて、原汚水をろ過し、ろ液中のSS及び亜鉛を分析した。沈殿処理としては、網目1mmのふるいを通してろ液を30分間沈殿させ、上澄みに含まれるSS及び亜鉛を分析した。試験は3反復行った。

SSは遠心分離法またはガラス繊維ろ紙法、亜鉛は硝酸及び過塩素酸で分解後、原子吸光法により分析した。

試験結果

1 排水実態調査

原汚水及び放流水の水質を表2に示した。調査対象ごと、また、同一の調査対象でも調査日より水質に大きな差があった。特にA浄化槽及びB浄化槽の放流水では、pH、T-N、NH₄-N、NO_x-Nの値が調査日ごとに大きく異なった。

放流水の亜鉛については、全ての調査対象で排水基準

値を下回ったが、A浄化槽の第1回目調査において、1.9 mg/Lと比較の高い値となった。

放流水中における無機態窒素とpHの関係を図1に示した。水中でNH₄-Nが酸化してNO_x-Nになると、H⁺が生成されるためpHは低くなるが、今回の結果では、有意な相関は得られなかったものの、NO_x-N濃度が増加すると、pHが低下する傾向が見られた。また、放流水中のpHと溶存態亜鉛の相関を図2に示した。同様に有意な相関は得られなかったが、pHが低下すると、溶存態亜鉛が増加する傾向が見られた。

2 pHが原汚水中的溶存態亜鉛濃度に及ぼす影響

pH調整による溶存態亜鉛濃度の推移を図3に示した。

(1) 低pHの場合

pH調整直後から、溶存態亜鉛濃度が増加し、48時間後には調整前の約6倍の0.62mg/Lに達した。

(2) 高pHの場合

pH調整直後に、急激に溶存態亜鉛濃度が減少し、pH8.0に調整した場合で0.16mg/Lに、pH10.0に調整した場合で0.04mg/Lとなった。その後の推移はpHの違いで異なり、pH8.0にした場合は、2時間後からやや濃度が増加して、再び減少したのに対し、pH10.0にした場合は時間の経過

表2 原汚水及び放流水の水質

		pH	SS(mg/L)	T-N(mg/L)	NH ₄ -N(mg/L)	NO _x -N(mg/L)	亜鉛(mg/L)	溶存態亜鉛(mg/L)
A浄化槽	原汚水	8.6 ± 0.4	9,775 ± 2,962	5,692 ± 534	3,852 ± 642	1,590 ± 229	7.7 ± 2.2	0.9 ± 0.2
	放流水	6.6 ± 2.2	12 ± 7	2,022 ± 813	1,047 ± 1,014	385 ± 268	1.1 ± 0.7	1.1 ± 0.7
B浄化槽	原汚水	8.1 ± 0.6	2,637 ± 963	1,984 ± 628	1,547 ± 398	409 ± 295	3.1 ± 0.8	0.4 ± 0.1
	放流水	8.3 ± 0.6	8 ± 3	1,018 ± 601	425 ± 684	249 ± 304	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1
C浄化槽	原汚水	7.6 ± 0.6	2,637 ± 512	670 ± 71	530 ± 78	77 ± 19	4.5 ± 0.9	0.2 ± 0.0
	放流水	7.0 ± 0.7	63 ± 59	80 ± 37	10 ± 8	53 ± 55	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2
D浄化槽	原汚水	7.5 ± 0.6	6,659 ± 2,051	1,345 ± 96	1,009 ± 54	85 ± 54	10.1 ± 1.3	1.1 ± 0.5
	放流水	7.1 ± 0.1	145 ± 127	236 ± 155	65 ± 12	204 ± 205	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.2
E浄化槽	原汚水	8.2 ± 0.3	2,043 ± 1,072	1,270 ± 342	895 ± 292	224 ± 171	3.1 ± 1.8	0.3 ± 0.2
	放流水	7.9 ± 0.1	122 ± 110	188 ± 63	49 ± 44	130 ± 103	0.0 ± 0.0	0.2 ± 0.1
F浄化槽	原汚水	7.6 ± 0.0	18,951 ± 2,711	1,130 ± 61	772 ± 131	259 ± 159	25.7 ± 9.9	0.3 ± 0.1
	放流水	7.5 ± 0.2	9 ± 9	26 ± 16	2 ± 0	18 ± 20	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0

*) 表中の数値は平均値±標準偏差

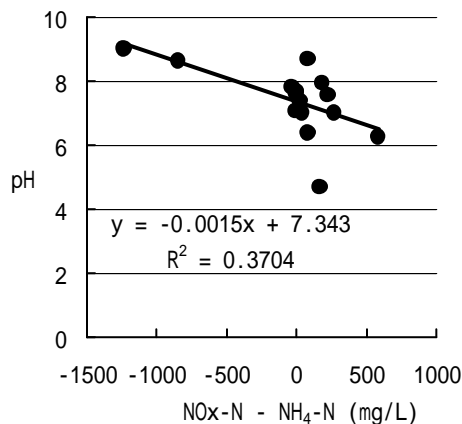


図1 放流水における無機態窒素とpHの関係

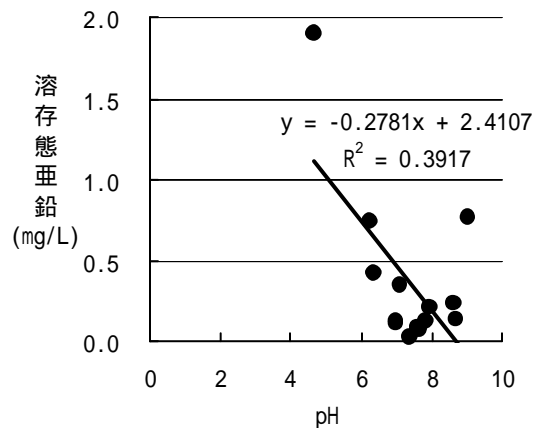


図2 放流水におけるpHと溶存態亜鉛の関係

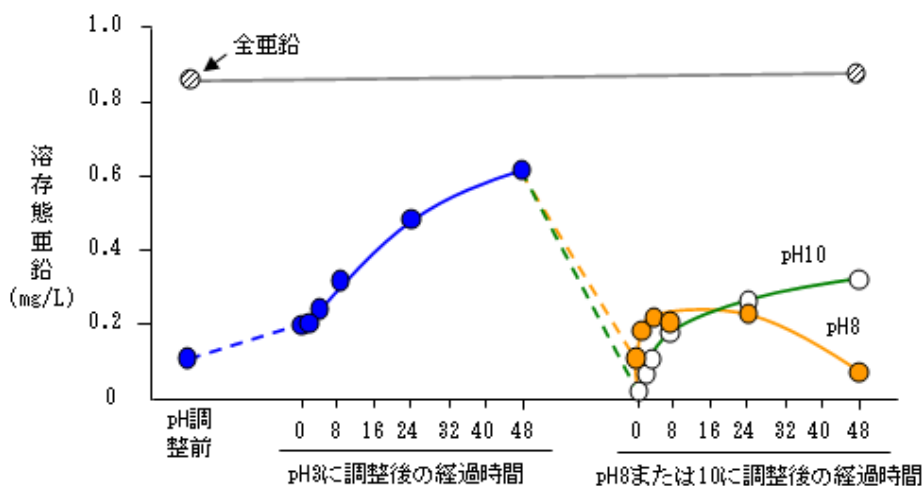


図3 pH調整による原汚水中の溶解態亜鉛濃度の推移

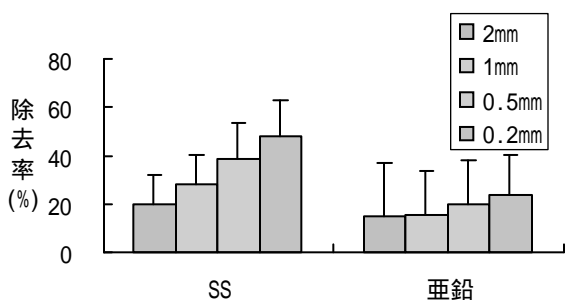


図4 固液分離処理による原汚水中のSS及び亜鉛の除去率

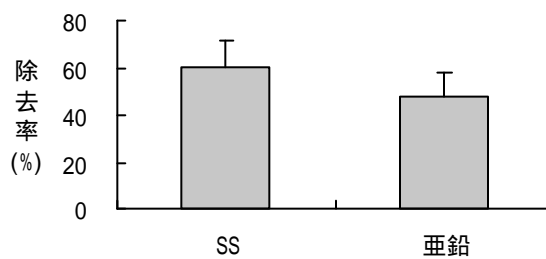


図5 沈殿処理による原汚水中のSS及び亜鉛の除去率

と共に濃度が増加し続けた。48時間後の溶解態亜鉛濃度はpH8.0で0.07mg/L、pH10.0で0.33mg/Lだった。

3 前処理における亜鉛低減効果

固液分離処理によるSSと亜鉛の除去率を図4に、沈殿処理による除去率を図5に示した。固液分離処理では、ふるいの網目が細くなるほど、SSも亜鉛も除去率が増加した。しかし亜鉛については、最も細かい10.2mmの網目でも除去率は平均値で24%だった。沈殿処理では、SSの除去率が平均値で61%、亜鉛の除去率が平均値で48%だった。

考 察

6戸の養豚浄化槽を対象とした排水実態調査では、放流水中のpHと溶解態亜鉛濃度との関連性が示唆された。この結果を受けて、溶解態亜鉛に対するpHの影響を調べた試験では、pHが低下すると、溶解態亜鉛濃度が増加することが確認された。亜鉛は両性金属であり、適値pH9.0～10.5より高くても低くても溶解する⁴⁾。従って、原汚水のpHを3.0に下げたことで、亜鉛が溶解し、溶解態亜鉛濃度が増加したと考えられる。一方で、再びpHを8.0

以上にすると、溶解態亜鉛濃度が低下したことから、亜鉛の溶解、非溶解の反応は可逆的であり、pHの操作で制御できることが明らかとなった。ただし、適値pHから外れているpH8.0のほうが、適値pHであるpH10.0よりも48時間後の溶解態亜鉛濃度が低かったことについては、詳細は不明である。今後pHと亜鉛の定量的な相関を明らかにする必要がある。

放流水のpHを低下させる原因の一つとして、排水実態調査からNOx-Nの蓄積が示唆された。NOx-Nの蓄積は、脱窒が不十分なことを意味している。原因としては、過ばっ気による溶存酸素量の残存、汚泥量の不足、汚泥の劣化や流入BODの不足などが考えられる。また、原汚水中の窒素量が、処理可能量を超えている可能性もある。中でも放流水中のpHが比較的lowだったA浄化槽は、原汚水のT-Nが非常に多い上に、放流水中にもその多くが残存しており、明らかに処理可能量を超えていると考えられる。A浄化槽は膜分離方式の浄化槽であるが、もう一つのB浄化槽も含めて、膜分離方式は放流水中のT-Nが高く、またNH₄-NがNOx-Nよりも高かった。また、これらの浄化槽では、調査日ごとの水質の変動が激しかった。これは、流入する窒素の変動に対して、硝化・脱窒処理が不安定な実態を示している。膜分離方式は、清浄な放流水を得

る有効な浄化方式である。しかし、窒素の処理が不十分でも気付かない場合が多く、そのためにpHの異常を招く危険性が高いと考えられることから、特に膜分離方式の浄化槽では、流入窒素量やばっ気量、汚泥量などの管理に注意すべきである。

亜鉛の低減に有効な手法として、前処理における固液分離処理と沈殿処理を比較した。一般的な固液分離処理装置では1mm前後の網目が使用されるが、このときのSS除去率は20～30%、沈殿処理のSS除去率は30～50%とされている⁵⁾。今回の試験では1mmの網目のSS除去率は28%、沈殿処理では61%であった。沈殿処理の除去率がやや高いが、これは試験に用いた原汚水の性状によるものと考えられる。亜鉛について、固液分離処理では、SSと同様に、用いた網目の細かさに比例して除去率が上がったことから、亜鉛がろ過により除去できることが明らかとなった。しかし、最も細かい10.2mmの網目をを用いた場合では、SSの除去率が48%だったのに対し、亜鉛の除去率はわずか24%だったことから、亜鉛の多くは0.2mm以下の非常に細かいSSと挙動を共にしていると考えられる。一方で、沈殿処理では30分間の沈殿で、亜鉛の48%を除去できたことから、沈殿処理のほうが有効であることが明らかとなった。

以上のことから、養豚浄化槽における亜鉛の低減は、pHの低下を防止することによる溶存態亜鉛濃度の増加の抑制、及び前処理による亜鉛の除去、の二つの方法が有効であることが明らかとなった。pHの低下は、NO_x-Nの蓄積が要因の一つであることから、流入窒素量の制限や

ばっ気量の調節による脱窒の促進などの対策が重要と考えられる。また、前処理については、特に沈殿処理が有効であることから、積極的に沈殿槽を活用すべきである。これら亜鉛低減に向けた浄化槽の管理技術は、他の汚濁物の低減に通じるものでもあり、適切な管理を着実に実施することが重要である。

謝辞：排水実態調査にあたり、多大なるご尽力を頂いた西三河農林水産事務所農業改良普及課及び東三河農林水産事務所農業改良普及課の担当者、また快く調査にご協力いただいた養豚農家の皆様方に深く謝意を表す。

引用文献

1. 鈴木良地，増田達明，中谷洋，原田英雄．愛知県内養豚浄化槽の排水中における亜鉛及び銅濃度．愛知農総試研報．40，163-169(2009)
2. 下水道試験方法 上巻．日本下水道協会．p.110-188(1997)
3. 下水道試験方法 下巻．日本下水道協会．p.268-271(1997)
4. 三好康彦．汚水・排水処理の知識と技術．オーム社出版局．p.183-184(2005)
5. 財団法人 畜産環境整備機構．畜産環境アドバイザー養成研修会資料 汚水処理施設的设计・審査技術．p.45-46(2004)