

畜産浄化槽処理水に対する各種資材の吸着能力調査

鈴木良地*・増田達明*・中谷 洋*・勝野伸吾*・近藤 一*

摘要：畜産浄化槽処理水の脱窒素、脱リン、脱色等の高度処理を目的として、10種類の資材の粉碎物について、三角フラスコを用いた吸着試験を行った。

- 1 赤玉土及び鹿沼土は、全リン（以下、T-P）及び色度の吸着能力が非常に高く、さらにCOD_{Mn}を低下させたが、全窒素（以下、T-N）の吸着効果は確認されなかった。
- 2 活性炭はT-Nをある程度吸着したが、その効果は低かった。また、T-Pの吸着能力も低かったが、色度及びCOD_{Mn}の吸着能力は供試資材中で最も高かった。
- 3 浄水ケーキはT-P及び色度の吸着能力が高かったが、T-Nは吸着せず、COD_{Mn}の濃度を逆に増加させた。また、使用後の安全性の確認が必要と思われた。

以上のことから、資材としての有効性を総合的に評価したところ、赤玉土が最も優れており、鹿沼土もそれに準じた。

キーワード：資材、吸着、高度処理、鹿沼土、赤玉土

Study for adsorption Ability of Materials on Treated Sewage of Livestock Wastewater Plant

SUZUKI Ryoji, MASUDA Tatsuaki, NAKATANI Hiroshi
KATSUNO Shingo and KONDOU Hajime

Abstract: To clearance the residual pollutant in the purified sewage, adsorption of various material were evaluated. Secondary treated effluent from livestock farm were cultured with ten fractured materials in the conical flasks, and the reduction in total nitrogen(T-N), total phosphorous (T-P), chroma, and COD_{Mn} were determined.

1. Akadama soil and Kanuma soil had high ability of T-P and chroma adsorption. These decreased the COD_{Mn} concentration, while we could not confirm the T-N adsorption effect.
2. Activated carbon adsorbed T-N at some level, but it's effect was low. And it adsorbed T-P not that much, but adsorbed chroma and COD_{Mn} most of all.
3. Dehydration sludge from municipal waterworks(DS) had high ability of T-P and chroma, but didn't have ability of T-N adsorption and increased COD_{Mn}, *vice versa*. Price of DS was most lowest but was considered necessity of the stability confirmation.

These results and overall judgment of availability of adsorbent indicated that Akadama soil had high performance for advanced wastewater purification and Kanuma soil was second.

Key Words: Material, Adsorption, Advanced wastewater purification, Kanuma soil, Akadama soil

緒言

水質汚濁防止法による畜産排水に係る窒素及びリンの排水基準は、現在のところ暫定基準（窒素150ppm、リン24ppm）が適用されているが、今後、暫定基準の見直しが行われ、一般基準レベル（窒素60ppm、リン8ppm）まで強化されることが予想されている。しかし、既存の浄化施設だけでは、規制強化後の排水基準値を満たすことが困難な農家も多い。さらに、窒素及びリン濃度が高い畜産排水の場合、処理水の水質が排水基準値以下に浄化されていても、色素までは除去されないことが多い。現時点では畜産浄化槽処理水の色に関する規制はないが、色素が残る処理水は汚濁感があるため、放流により周辺環境とのトラブルを招く心理的な原因ともなっている。

これまで畜産浄化槽処理水の脱窒素、脱リン、脱色を目的とした高度処理には、活性汚泥法に代表される生物学的方法やオゾン処理法やイオン交換法などの物理化学的方法など多種多様な方法が確立されている¹⁾。しかし、いずれも多大な設備投資を伴うため、多くの畜産農家にとっては導入が困難と思われる。

そこで、設備投資が安くかつ煩雑な作業を要しない方法として、資材による吸着法に着目した。一般的な資材としては活性炭が用いられることが多いが、価格が高いため、活性炭に代わる安価な資材が求められている。安価な資材として、黒ぼく土²⁾や炭化パルプスラッジ³⁾が検討されているが、吸着能力が不十分であることから、資材として有効利用されるに至っていない。

今回の試験では、汚濁成分の吸着を目的として10種類の資材を選定し、簡易な手法を用いて畜産浄化槽処理水に対する吸着能力の比較検討を行った。

材料及び方法

1 材料

(1) 供試資材の概要

水質浄化資材として実績があること、安価に入手できること、使用後に安全に土壤還元できることの3つの条

表1 試験に用いた資材

資材名	容積重(kg・L ⁻¹) ^{*1)}	単価(円) ^{*2)}	リン酸吸収係数 ^{*3)}
ゼオライトN	0.58	150	1966
ゼオライトS	0.97	140	1017
トバモライト	0.48	75	2573
イソライト	0.58	200	258
パーライト	0.81	700	188
活性炭	0.62	600	15
浄水ケーキ	0.72	-	2552
鹿沼土	0.38	150	2376
赤玉土	0.79	130	2506
珪酸塩白土	0.81	450	1752

*1) 容積重は粉碎処理後の値。

*2) 単価は1kg当たりの当該購入価格、重量は製品重量。

*3) 2.5%リン酸アンモニウム液に24時間浸漬後、バナドモリブデン酸比色法により測定。

件のうち、いずれかを満たすことを基準として、表1のとおり資材10種類を選定した。

「ゼオライト」はナトリウム、カルシウム、酸化アルミニウム、ケイ酸からなる含水鉱物であり、天然に豊富に存在し⁴⁾、アンモニウム態窒素を選択的に吸着することが知られている。今回の試験では2社の製品のゼオライトN（宮城県産と福島県産の混合）及びゼオライトS（秋田県産）を用いた。

「トバモライト」はケイ酸カルシウム水和物を主成分とした天然鉱物である。今回の試験ではTBXを用いた。TBXはトバモライトに気泡剤を加えて発泡させ、約180で加圧加熱して造られ、リンを特異的に除去する素材として開発されたものである⁵⁾。

「イソライト」は珪藻土を高温で焼成したもので、主に土壤改良材や水質浄化材として商品化されている。

「パーライト」は黒曜石や流紋岩を高温で発泡させたガラス質からなり、主に土壤改良材として利用されている。

「活性炭」は高圧炭化法により処理された炭素であり、今回の試験では一般に市販されているヤシガラ活性炭を用いた。土壤改良、水質浄化、脱臭、吸湿等多面で利用されている。

「浄水ケーキ」は浄水場において上水を製造する過程で生じるもので、微細な粘土やシルトをPAC（ポリ塩化アルミニウム）や硫酸アルミニウムなどの凝集剤を加えて沈降、脱水させたものである。リンの吸着能力や脱色効果が高いことが報告されている⁶⁾。

「鹿沼土」は、赤城山から噴出した火山灰性の黄色風化物で、園芸用培土として広く利用されている。

「赤玉土」は関東以西に分布する火山灰性の風化物で、やはり園芸用培土として利用されている。

「珪酸塩白土」は、秋田県で産出する粘土（モンモリロナイト）で、主に土壤改良材として利用されている。

なお、これらの資材は形状等がそれぞれ異なるため、今回の試験では形状を同一にするために、粉碎機（IKA社製M20型）を用いて2分間粉碎処理し、試験に供した。

(2) 供試水の調整

試験には、当該養豚浄化施設の沈殿槽の上澄み液を採取し、硝酸カリウム2.02 g・L⁻¹添加して供試した。

供試水の水質を表2に示した。

表2 供試水の水質

項目	分析値
T-N(mg・L ⁻¹)	207.3
T-P(mg・L ⁻¹)	58.4
色度(度)	160.5
COD _{Mn} (mg・L ⁻¹)	50.0
pH	7.7

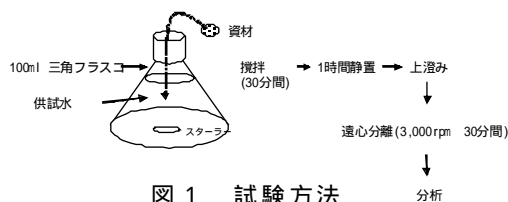


図1 試験方法

2 試験方法

試験方法は図1に示すとおり、富谷ら³⁾に準じて行った。すなわち、100mlの三角フラスコに供試水と資材を混合し、30分間攪拌後1時間静置し、沈殿物を取り除いた。さらに3,000 rpmで30分間遠心分離して懸濁物質を除去し、分析に供した。試験は、供試水100mlに対し、各資材の混合割合を容積比で0.1%、1%、10%の3段階設定して実施した。

3 分析項目

全窒素（以下、T-N）、全リン（以下、T-P）、色度、COD_{Mn}の4項目について分析した。

T-Nはサリチル硫酸分解法⁷⁾により、またT-Pはペルオキシ二硫酸カリウム溶液で分解後、モリブデン青吸光度法⁸⁾により自動分析計（オリンパス社製KL-500）で分析した。色度については、日本電色工業株式会社製の携帯型水質計（WA-1型）を用いて測定した。COD_{Mn}は過マンガン酸カリウム法⁸⁾により分析した。

なお、対照区は、資材を加えないで同様の処理をしたものとした。

試験結果

1 各分析項目の測定結果

資材別の測定結果を表3に示した。

(1) T-N

資材別にT-Nの測定値を対照区との比率に換算した結果を図2に示した。T-Nが50%以下に低下した資材はなく、最も効果が高かった活性炭においても10%添加区で対照区と比べて83%であった。

(2) T-P

資材別にT-Pの測定値を対照区との比率に換算した結果を図3に示した。トバモライト、浄水ケーキ、鹿沼土及び赤玉土は10%添加区で50%以下に低下した。特に、浄水ケーキ、鹿沼土及び赤玉土の効果が高く、対照区と比べて1%以下であった。

(3) 色度

資材別に色度の測定値を対照区との比率に換算した結果を図4に示した。活性炭、浄水ケーキ、鹿沼土及び赤玉土は10%添加区で50%以下に色度が低下した。特に活性炭の効果が高く、対照区と比べて2%以下に低下した。また鹿沼土及び赤玉土も、それぞれ25%及び12%に低下した。

(4) COD_{Mn}

資材別にCOD_{Mn}の測定値を対照区との比率に換算した結果を図5に示した。COD_{Mn}が50%以下に低下したのは活性炭だけで、10%添加区で17%に低下した。一方、鹿沼土及び赤玉土でも若干の低下は認められた。

表3 各資材の測定結果

資材名	混合割合	T-N (mg・L ⁻¹)	T-P (mg・L ⁻¹)	色度 (度)	COD _{Mn} (mg・L ⁻¹)
ゼオライトN	0.1%	201.7	58.7	142.6	46
	1%	201.7	56.4	129.1	50
	10%	204.5	43.5	94.3	46
ゼオライトS	0.1%	187.7	60.0	142.4	52
	1%	198.9	58.3	136.2	50
	10%	193.3	52.4	112.7	52
トバモライト	0.1%	190.5	57.5	143.3	52
	1%	193.3	49.2	124.4	52
	10%	190.5	17.2	87.3	50
イソライト	0.1%	198.9	57.4	141.7	52
	1%	198.9	56.5	143.3	52
	10%	193.3	57.2	140.0	52
パーライト	0.1%	193.3	58.4	144.3	50
	1%	190.5	57.7	145.7	50
	10%	201.7	56.5	160.9	58
活性炭	0.1%	198.9	58.0	119.7	42
	1%	190.5	48.3	38.8	24
	10%	165.3	50.4	1.8	8
浄水ケーキ	0.1%	193.3	53.5	140.4	50
	1%	193.3	27.6	131.3	52
	10%	196.1	0.5	61.0	68
鹿沼土	0.1%	198.9	51.6	145.3	50
	1%	198.9	41.1	119.1	44
	10%	198.9	0.4	36.2	30
赤玉土	0.1%	201.7	52.2	129.5	48
	1%	196.1	24.7	84.1	40
	10%	196.1	0.0	16.7	26
珪酸塩白土	0.1%	198.9	59.4	140.0	52
	1%	196.1	55.4	123.7	50
	10%	198.9	30.9	82.1	44
無添加（対照区）		198.9	59.8	144.7	46

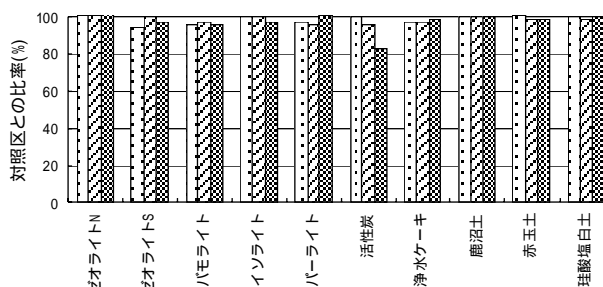


図2 資材別にみた対照区との比較（T-N）

資材の混合割合 □:0.1% ▨:1% ▩:10%

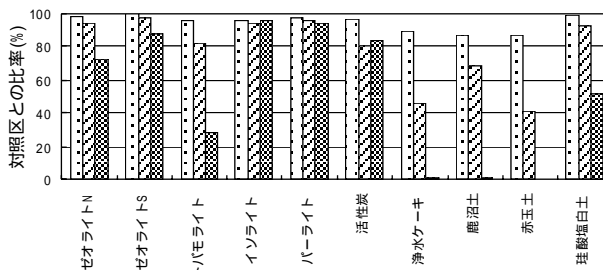


図3 資材別にみた対照区との比較（T-P）

資材の混合割合 □:0.1% ▨:1% ▩:10%

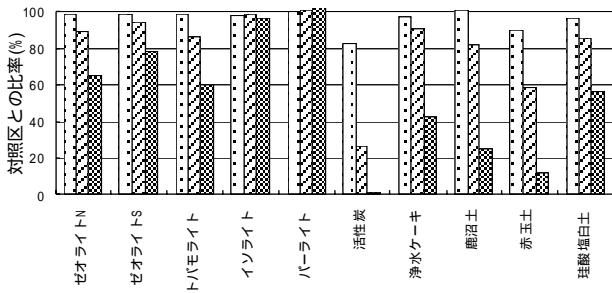


図4 資材別にみた対照区との比較(色度)
資材の混合割合 □:0.1% ▨:1% ▩:10%

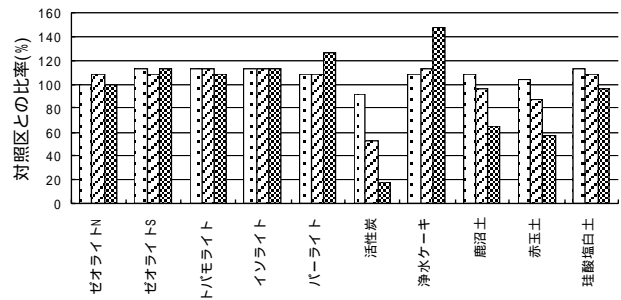


図5 資材別にみた対照区との比較(COD_{Mn})
資材の混合割合 □:0.1% ▨:1% ▩:10%

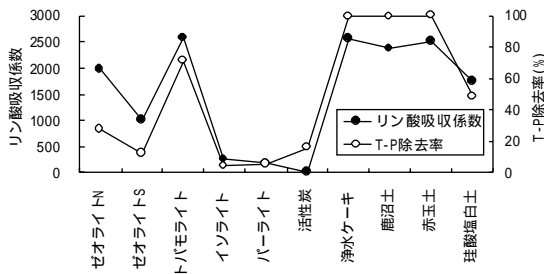


図6 資材別のリン酸吸収係数とT-P除去率の比較
* T-P除去率は資材10%混合時の値及び対照区の値から算出

考 察

表1に示した資材別のリン酸吸収係数、及び表3から算出した資材10%混合時の対照区に対するT-Pの除去率の比較を図6に示したが、両者の傾向はほぼ一致していた。特に、トバモライト、浄水ケーキ、鹿沼土及び赤玉土のリン酸吸収係数が顕著に高く、これらはT-Pを大きく低下させた。鹿沼土や赤玉土等の非晶質性火山灰土壌はリン酸を強く吸着する活性アルミニウムや鉄を多く含み、リン酸吸収係数が高いことが知られている。従って、これら資材によるリンの除去は、リンが難溶化し資材粒子に化学的に強く吸着されたことによるものと推測される。また、鹿沼土及び赤玉土は色度を大きく低下させたが、これらの噴出性火山灰土壌は粒子内に大小の様々な空隙を有しており、色素や微細な有機物等はこれらの空隙により物理的に吸着されたと考えられる。

これまで河川や農業集落排水などのような低濃度の汚水浄化に鹿沼土が用いられた事例はあるが^{9,10)}、今回の試験により、鹿沼土や赤玉土が畜産排水の浄化にも有効であることが示唆された。特に赤玉土はリン及び色度の低減効果が高く、また、COD_{Mn}もある程度は吸着するなど、非常に有望な資材と考えられる。

活性炭については、色度及びCOD_{Mn}を大きく低下させたもののT-Pの低減効果は低かった。また、活性炭は今

表4 各資材の評価表

資材	汚濁成分の低減効果	左の内訳				価格	総合計	順位
		T-N	T-P	色度	COD _{Mn}			
ゼオライトN	2	0	1	1	0	2	4	6
ゼオライトS	3	1	1	1	0	2	5	5
トバモライト	4	1	2	1	0	3	7	4
インソライト	3	1	1	1	0	2	5	5
パーライト	2	1	1	0	0	0	2	7
活性炭	8	1	1	3	3	0	8	3
浄水ケーキ	6	1	3	2	0	3	9	2
鹿沼土	6	0	3	2	1	2	8	3
赤玉土	8	1	3	3	1	2	10	1
珪酸塩白土	4	1	1	1	1	1	5	5

評価法	
対照区との比率(%)	価格(円/kg)
20%以下	3点 ... 100円以下
21%~50%	2点 ... 101円~200円
51%~99%	1点 ... 201円~500円
100%	0点 ... 501円以上

回の資材の中では唯一T-Nの低減が確認できた資材であったが、それでも効果は低く、T-Nの吸着資材としては十分でないと思われる。

ゼオライトについては、T-Nの吸着を期待したが、2つの資材ともその効果は低かった。今回の試験では確認していないが、今回の供試水は硝酸カリウムで窒素を調整したことから、供試水中にアンモニア態窒素が存在していなかったか、あるいは非常に少なかったと考えられる。ゼオライトはアンモニア態窒素の吸着力があるとされているが、一般的に浄化槽の処理水中に含まれる窒素は硝酸態であることを考慮すると、高度処理のための窒素除去を目的とする場合に、ゼオライトを使用することは適当でないと考えられる。

浄水ケーキについては、T-Pの除去に優れていた他、色度にもある程度の効果は認められたが、COD_{Mn}の濃度を逆に増加させた。これについては、浄水ケーキに含まれる凝集剤等の溶出が考えられる。凝集剤については、廃棄する際に植物や土壤等に悪影響を及ぼす可能性が報告されており¹¹⁾、使用後の安全性を考慮した場合、吸着資材として浄水ケーキを使用することは適当ではないと考えられる。

その他の資材では、トバモライト及び珪酸塩白土で、色度及びT-Pについて、ある程度の低減は認められたが、いずれも鹿沼土や赤玉土ほどの効果はなかった。また、インソライト及びパーライトについては、全ての項目にお

いて明確な効果は確認できなかった。

今回の測定結果を基に、各資材の汚濁成分に対する低減効果及び価格を点数化して総合的に評価し、表4に示した。評価法として、汚濁成分の低減効果に関しては、各分析項目において対照区との比率で、20%以下、21%から50%、51%から99%、100%であった場合、それぞれ3点、2点、1点、0点を与えた。また、価格に関しては、1kg当たりの単価が100円以下、101円から200円、201円から500円、501円以上であった場合、それぞれ3点、2点、1点、0点を与えた。その結果、総合的に最も評価が高かったのは赤玉土で、次いで浄水ケーキ、次いで活性炭及び鹿沼土の順であった。汚濁成分の低減効果だけでみれば、活性炭及び赤玉土が最も優れた資材であり、浄水ケーキ及び鹿沼土がこれに次いだ。しかし、価格を考慮した場合、市販されているものでも様々であり、一様に比較はできないが、今回供試した活性炭の価格は、鹿沼土や赤玉土と比較して4倍から5倍であり、また浄水ケーキは前述の理由から、資材としてはそれぞれ問題が残る。今回の試験では、資材の条件として、1. 水質浄化能力があること、2. 安価であること、3. 使用後に安全に土壌還元できること、を重視した。鹿沼土及び赤玉土だけが、この3つの条件をほぼ全て満たしており、畜産浄化槽処理水の高度処理における資材として、実用性が高いと考えられる。

今後、吸着資材として鹿沼土及び赤玉土の実用性を確認するためには、耐久性に関する試験を行う必要がある。また、鹿沼土や赤玉土では十分に除去できなかったT-Nについて、生物ろ過や別の資材との併用を検討する必要がある。また、今回の実験は、資材を粉碎処理したことや遠心分離後の上澄液を分析に用いるなど特殊な条件であったため、今後粒径を変えることで、吸着資材としてだけでなく、ろ過資材として使用可能かを調査する必要がある。

引用文献

1. 畜産環境対策大事典 第2版．社団法人農山漁村文化協会．p.1-911(2004)
2. 脇屋裕一郎，西村弘，溝上崇．家畜尿污水处理試験の低コストと簡易技術の開発．佐賀県畜産試験場．34，50-53(1997)
3. 富谷信一，鈴木一好，田中康男．豚尿汚水のろ過処理に関する研究(第一報)．鳥取県中小家畜試験場研究報告．55，63-67(2005)
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.202-203(2005)
5. 高橋朋子，鈴木睦美，福光健二．TBXろ材による豚尿汚水の浄化処理試験．群馬農業研究C畜産．6，163-178(1989)
6. 吉田重方，重川光正．土壌および浄水ケーキによる畜舎排水の脱色に関する基礎的調査研究．畜産の研究．第56巻．9，977-980(2002)
7. 堆肥等有機物分析法．財団法人日本土壌協会．東京．p.1-217(2000)
8. 下水道試験方法 上巻，日本下水道協会，p1-812(1997)
9. 稲垣典子，矢木修身，稲森悠平，松重一夫，田井慎吾，須藤隆一．土壌による水質浄化()土壌の種類及び負荷水量の処理水質への影響．国立公害研究所研究報告．97，85-105(1986)
10. 尾崎保夫，長峰徹昭．バイオジオフィルター水路を用いた農業集落排水二次処理水の高度処理．農林水産技術会議事務局研究成果．336-337(2001)
11. 久保井徹，藤井國博．合成高分子凝集剤の植物影響．国立公害研究所研究報告．47，171-202(1983)