

家畜ふん尿の化学的処理法に関する研究

中山清 小林茂 富塚治郎

1. はじめに

都市近郊における家畜ふん尿の処理問題については、環境衛生上の観点から、経営規模拡大の阻害要因となっている。特に東京のような畜産団地形成の困難な地帯においては、個別経営にも普及しうるような処理技術の解決がのぞまれている。活性汚泥法は、施設の建設に多額の投資を要すること、高度の維持管理技術を必要とすること、余剰汚泥の処理が未解決なことなど個別経営には、いまだ普及しがたいのが現状であろう。そこで施設費や運転操作の簡易軽減できる処理方法を開発するよう現地からの強い要請があるので、昭和42年度から各種処理方法について、検討をかさねてきた結果、無機及び有機高分子凝集剤を組み合わせた化学的処理方法が家畜ふん尿に応用しうる見通しをえたので、その実用性を検討した。なお本試験は基礎試験としてのビーカーテスト及び実用化試験のため試作した実験プラントについて実施した。

2. 基礎試験

現在無機の凝集剤としては、Fe, Al, Mg, Zn, Ca, Na, K などの金属塩類が代表的なものとされている。有機高分子凝集剤には、最近きわめて重合度の高い水溶性の合成物質が開発されるようになり、イオン性もノニオン、アニオン、カチオン性とあり、それぞれ使用目的により顕著な凝集効果を期待できる。汚水中のコロイド粒子の凝集について、単独では効果のないアニオン性、ノニオン性のものでも金属塩類ですべてに一次凝集を形成しているときは、よりフロックを大きくし（架橋吸着性）分離沈降速度を促進し、清澄度を改善する効果がある。そこでこれらの無機凝集剤と有機高分子凝集剤（ポリマー）の併用添加について、各種の組み合わせ効果を比較検討した。検討の条件としては、薬剤費が安価であること（豚1頭1日分2円以下を目標とした）、PHの修正が必要でなく、凝集効果に安定性があること。フロックの性状がよく脱水炉過が容易で、無害性であることなどを考慮した。

(1) 試験方法

ア 試験装置

6連式ジャーテスターと1ℓのビーカーを使用した。

イ 供試材料

当場の飼育豚（配合飼料給与）のふん尿（1:1）を10倍希釈し攪拌ののち0.5mm

篩別炉液を調整した。

ウ 試験方法

凝集剤の種類、濃度、添加量、添加時期、攪拌回転数、供試活水の希釈倍率及び生成スラッジの脱水炉過性について比較検討した。水質の分析は下水試験法によつた。

エ 試験区分

試験区分1：薬劑添加量の差異が凝集、沈殿並びに水質に及ぼす影響

試験区分2：汚水濃度（希釈倍率）が凝集沈殿並びに水質に及ぼす影響

試験区分3：各種無機凝集剤と有機高分子凝集剤の組み合わせによる凝集効果の比較

試験区分4：生成スラッジの脱水試験

(2) 試験結果

ア 試験区分1（薬劑添加量の差異が凝集沈殿並びに水質に及ぼす影響）

各種凝集剤の性状、凝集効果については、試験区分3で述べることとして、下表はMIC（吾々は硫酸マンソの代用として使用した。 $Al_2(SO_4)_3 + Fe_2(SO_4)_3 + acid (H_2SO_4)$ のような組成で「Mic」として市販されている。 $Al_2(SO_4)_3$ が主成分でkg当り1円と安く、濁度除去、低温による凝集のあるさを改善している。取扱いも溶解性があまりなく、貯蔵も簡単であるなどの長所がある。）とポリマーとしてサンフロックAH200P（ポリアクリルアミッド系のアニオン性）の組み合わせによる効果について試験したものであるが、40倍希釈汚水1ℓに対し、MIC3%、水溶液15mℓとポリマー0.005%、水溶液30mℓの区が1番成績がよかつた。

表-1

区 分	MIC+ポリマー 15mℓ 20mℓ			MIC+ポリマー 10mℓ 20mℓ			MIC+ポリマー 15mℓ 15mℓ		
	原汚水	処理水	除去率	原汚水	処理水	除去率	原汚水	処理水	除去率
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
P H	8.0	5.8		8.0	6.6		8.0	6.1	
透 視 度	0	13.5		0	7.0		0	13.0	
ブ ロ ク ク の 状 態		卍			卍			卍	
C O D P P M	185.2	53.0	71.4	185.2	84.9	54.1	283.1	53.0	80.9
NH ₄ -N P P M	11.2	7.7	31.2	11.2	9.2	17.8	12.6	10.2	19.0

区 分	MIC+ポリマー			MID+ポリマー			MIC+ポリマー		
	15ml		5ml	50ml		25ml	15ml		30ml
	原汚水 %	処理水 %	除去率 %	原汚水 %	処理水 %	除去率 %	原汚水 %	処理水 %	除去率 %
P H	7.8	5.6		7.6	4.3		8.0	6.25	
透 視 度	0	11.0		0	10.5		0	21.0	
フロックの 状 態		+			+			卅	
C O D P P M	260.5	132.5	49.1	210.0	50.4	76.0	283.1	47.7	83.0
NH ₄ -N P P M	23.8	18.9	20.6	21.0	13.3	36.6	12.6	7.6	40.0

※フロックの状態

卍…凝集効果大で、フロックも大きく沈降速度が速い

卍…凝集効果普通で、フロックはやや大きくなるが軽い

十…凝集効果はひとめられるが、フロックは細かい

攪拌回転数 1 分間 90 回転、攪拌時間各 2 分、沈降時間 3 分

イ 試験区分 2 (汚水濃度が凝集沈降並びに水質に及ぼす影響)

供試汚水濃度を 10 倍、20 倍、30 倍、40 倍とし、試験区分 1 と同様 MIC とポリマーを添加したところ、表-2 のように汚水濃度に比例して薬剤添加量を増すことにより、除去率はほぼ一定の傾向がみとめられ、10 倍希釈で処理可能なことが判明した。

表-2

区 分	10倍			20倍			30倍			40倍		
	MIC+ポリマー			MIC+ポリマー			MIC+ポリマー			MIC+ポリマー		
	60ml	120ml		30ml	60ml		20ml	40ml		15ml	30ml	
	原汚水	処理水	除去率	原汚水	処理水	除去率	原汚水	処理水	除去率	原汚水	処理水	除去率
P H	7.6	5.9		8.0	5.8		7.8	5.7		8.0	6.2	
透 視 度	0	21.0		0	20.0		0	19.0		0	21.0	
フロックの 状 態		卍			卍			卍			卍	
C O D	920.2	169.8	81.5	569.2	114.5	79.1	484.7	123.8	74.4	283.1	47.7	83.0
NH ₄ -N	40.6	27.3	32.7	26.6	18.2	31.6	25.2	17.0	32.3	18.6	11.2	39.8

ウ 試験区分 3 (各種無機凝集剤と有機高分子凝集剤の組み合わせによる浄化効果の比較)

試験区分の 1.2 においては、無機凝集剤は一般に広く利用されている硫酸マンソの代用として M I C を用いたが、さきにも述べたように無機凝集剤としては、Fe, Al, Mg, Zn, などの塩類が使用されているので、それらとポリマーの組合せによる浄化効果を比較検討した。なお図-1でもわかるように、金属イオンが水酸化物を生成し凝集沈殿効果にあづかるためには、溶解度の問題を考慮しなければならず、凝集最適 P H の範囲は、Fe(OH)₃ 3.5 以上 Al(OH)₃ 5.5~8.5, Mg(OH)₂ 12 以上, Zn(OH)₂ 8~11 で P H 値がこれより大きくても小さくても溶解度は急激に増加する。このため Mg O₂, Zn O₂ で処理した原汚水は、あらかじめ NaOH で P H を修正した。

図-1 各種金属水酸化物の溶解度

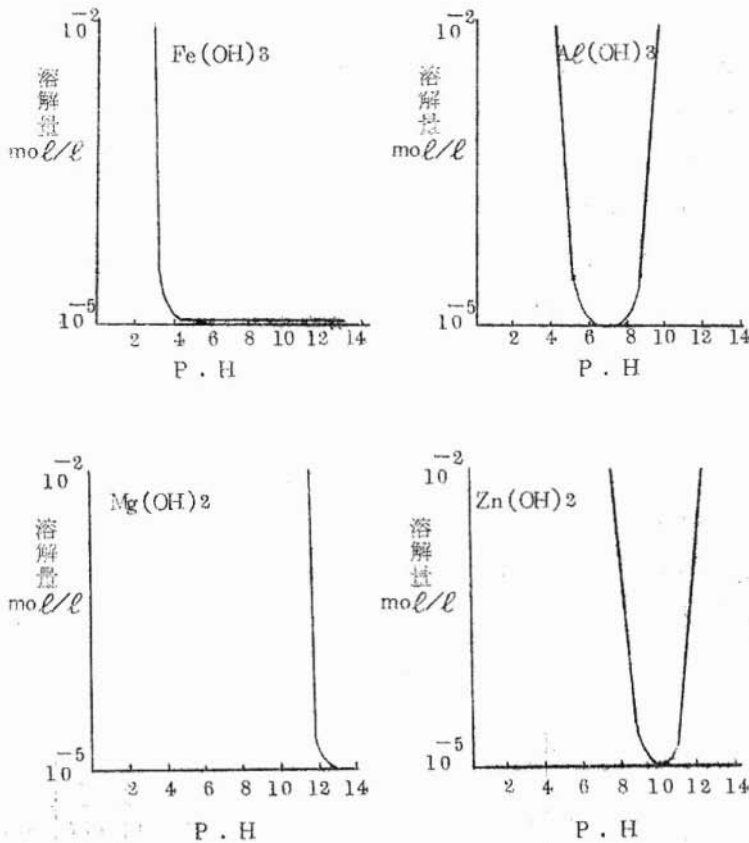


表-3

区 分	P H	透視度	C O D (除去率)	フロック の 状 態	脱臭効果	凝集剤のコ スト(kg当)
原 汚 水	8.2	0	PPM 1.247			
FeCl ₃ (45B ¹) polyma 0.12% 0.0006%	5.8	25	237.0 (81.0%)	卅	+	20円 900円
Al ₂ (SO ₄) ₃ polyma 0.17% 0.0006%	5.0	23	276.8 (77.8%)	卅	-	60円
MgCl ₂ polyma 0.3% 0.0006%	10.2	7	295.5 (76.3%)	卅	-	60円
ZnCl ₂ polyma 0.4% 0.0006%	6.5	23	273.1 (78.1%)	卅	卅	90円

※ polyma はアニオン性(サンフロックAH200P)

表-3からもわかるように3種の金属塩類は、少量添加で凝集が可能であり、このうち特に最適凝集PH範囲が広く、フロックが重くて沈降性がよく、硫化水素などのS系の脱臭力及び脱色力もあり、単価の安い鉄塩がすぐれている。Al系については本法で使用するポリマーの効果(弱アルカリ性がよい)の安定性からも、最適凝集範囲の狭さに起因する凝集効果のバラツキが大きな障碍となる。このほか、濁度のふん尿汚水の場合には、薬液濃度を高めても(PHは修正する)清澄度は極端にはよくなり、フロックも比較的軽いなどの欠点がある。その他の2種の塩類についても、3種の塩類に比べて凝集力は劣る。(Schultze-Hardyの法則)なお前段の試験で使用したMICも主成分のAl₂(SO₄)₃のAl分は6%、Fe₂(SO₄)₃のFe分は3%でAl₂(SO₄)₃が主体となっており、薬効効果としては、処理液のPH濃度に大きく左右され、これが水酸化物となつたとき、PHの範囲がはずればFe(OH)₃のみで凝析効果を示すことになり、試験結果の不安定性を裏付けている。以上経済性、凝集効果の安定性、スラッジの性状、土壌還元の適否などを考慮した場合、腐食性が強いという欠点は残るが、総合的な順位は、①Fe³⁺系 ②Al³⁺、Zn²⁺系 ③Ca²⁺、Mg²⁺系、④Na⁺ K⁺系と考えられる。

ポリマーについては、ふん尿汚水が⊖に荷電していると考えられるので、単体添加の場合、または未凝集コロイドの二次凝集効果を期待するならば、反対電荷をもつカチオン系を使用すべきであるが、吾々の実施している凝集法では、すでに無機塩類による一次凝集で微細ながら、完全凝集をおこなっているため、よりフロックの成長を促す架橋吸着性のみを期待すればよく、このためノニオン系でもアニオン系でもよいわけである。現在使用している、サンフロックAH200Pは弱アニオン性で、未凝集コロイドの凝集効果はないが、非常に低濃度(10倍希釈汚水に対し6ppm程度)で

フロックの成長を促し、沈降を促進することができる。

表-4は10倍希釈汚水(0.5mm細別炉液)1ℓに対し、 $FeCl_3(45B^1)$ 1mℓとAH200P 0.01%水溶液60mℓを添加した成績である。

表-4

区 分	原 汚 水	処 理 水	除 去 率%
P H	7.5	6.0	
透 視 度	0	30	
BOD ₅ PPM	2,200	350	84.1
COD _{100°C} "	1,320	200	84.8
S S "	5,140	120	97.7
蒸発残留物 "	9,260	2,620	71.7
溶解性物質 "	4,120	2,500	40.0
NH ₄ -N "	140	77	45.0
Alb-N "	99	36	63.6

この表でもわかるように固液分離上澄液には溶解性の有機物が多く残存し、したがってNH₄-Nの除去率もわるい。

エ 試験区分4.(スラッジの脱水試験)

集積沈殿により分離されたスラッジに対し、60~150メツシユの各種ポリエチレン、テロン製の炉布を用いて加水試験を行った。実験方法は、径15cmのロートに炉布を敷き、上から1ℓのビーカーで懸濁沈殿した上澄液をすて、水分含量99%程度のスラッジの部分だけ入れ、炉布の経易を管察したのち、手で絞つた。その結果は次のとおりである。

(ア) 凝集剤とポリマーだけで生成されたスラッジはすべてその一部が炉布を通過した。

(イ) このスラッジに炉助剤としてCa(OH)₂を0.5~1.0%添加すると炉別が容易になり、40~120メツシユの厚織炉布を用いた場合、分離液の通過も容易で、ほとんどSSの移行がみとめられなかつた。(SSの通過の少ない順序はMg, Fe, Zn, Alの順であつた。)

(ウ) 脱水後の炉布とケーキの剝離はいづれもきわめて良好であつた。

(エ) 加水ケーキの水分含量は75~80%程度のものが得られた。

次にスポンジによる実験をこころみた。使用したスポンジは厚さ15mm、細目

120メッシュの連続気泡，材質はポリビニールホルマールで鐘紡KKの製品である。実験方法は，20cm×10cmのスポンジを底が金網の枠に入れ，スラッジを含ませたのち，表面の滑らかな硬質ゴム板で圧搾した。脱離液は底部の金網から抜け脱水されたケーキはゴム板の表面に付着する仕組みである。やはりCa(OH)₂を添加しないと剥離の状態はわるく，SSの移行は炉布の場合より若干わるく200～300PPMであつた。

3. 実用化試験

基礎試験において，技術的にも経済的にも実用化の可能性が究明されたので，44年において次のような実験装置の設計試作をこころみ問題点の追求につとめてきた。

(1) 装置の概要

処理能力

$$9.6 \text{ m}^3 / 8 \text{ 時間稼動} \cdots \cdots 20 \text{ l} / \text{min} \times 8 \text{ h} = 9.6 \text{ m}^3$$

$$\text{豚1頭1日ふん尿量} 6 \text{ l} \text{ として } \frac{9.6 \text{ m}^3}{6 \text{ l} \times 10 \text{ 倍希釈}} = 160 \text{ 頭分}$$

図-2 フローシート

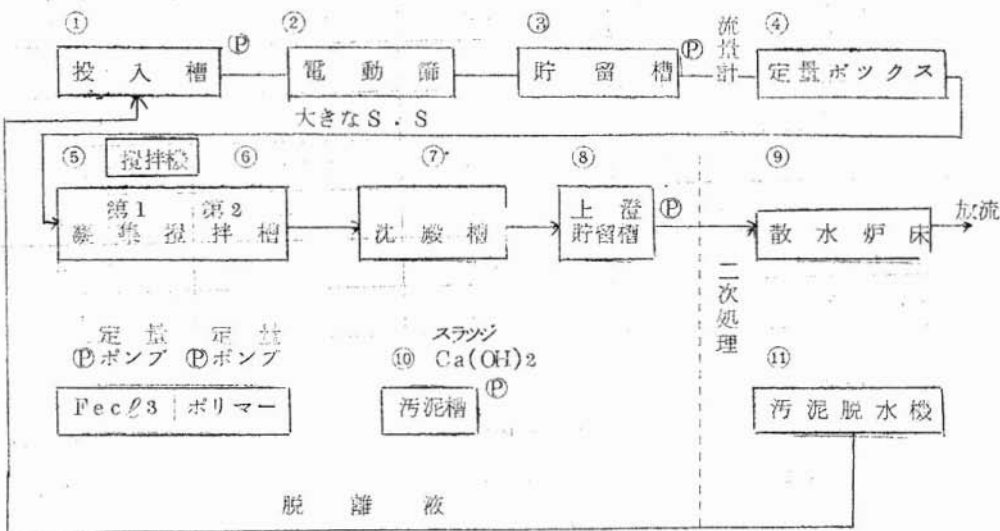


図-2の処理行程は，①の投入槽(1m³)へ豚ふん尿(1:1)を100kg入れ10倍希釈したのち，付設のポンプで約30分攪拌し②の電動篩(0.5及び0.3mmの2段)にかけ約45～50%の粗大繊維を除去する。炉液は③の貯留槽(0.8m³)にため，これをポンプアップして流量計及び④の定量ボックスを通して三角堰より毎分20ℓづつ⑤の第1攪集攪拌槽(60ℓ)に流入せしめ，次いで⑥の第2攪集攪拌槽(60ℓ)に

流入する。このとき第1攪拌槽には $FeCl_3$ ，第2攪拌槽にはポリマーがそれぞれ定量ポンプにより注入される。これを⑦の沈殿槽(0.75 m^3)に流入せしめオーバーフローした上澄液は⑧の貯留槽からポンプで⑨の散水炉床(試験的に設置したもので炉材容積は0.25 m^3 で実際には循環式にしてある)にかけて放流する。沈殿槽の底部からは，スラッジを引抜き⑩の汚泥槽にため，0.5%の消石灰を添加したのち減速機付ギヤーポンプを使つて一定重づつ⑪の脱水機にかける。脱離液は①の投入槽に還元する。

(2) 一次処理水の浄化成績

表-5の成績は場内飼育豚(配合)のふんのみを20倍に希釈して処理装置にかけたものである。薬剤の添加量は，流入汚水1 l に対し $FeCl_3(4.5^{\circ}B^{\circ})$ 0.8 ml と，ポリマー0.01%溶液60 ml である。

表-5

区 分	流 入 汚 水	一 次 処 理 水	除 去 率%
P H	7.8	6.0	
逆 洗 度	0	2.5	
C O D $\frac{10^1}{100^{\circ}C}$ PPM	1,100	198.0	82.0
B O D ⁵ "	1,977	346.0	82.5
S S "	3,500	88	97.5
蒸発残留物 "	5,760	1,780	69.0
溶解性物質 "	2,260	1,692	25.0
NH ₄ -N "	1,470	72.3	51.0
Alb-N "	1,124	23.1	79.0

(3) 二次処理としての散水炉床法試験

一次処理水は，BODがほぼ300PPmと高く溶解性物質及びNH₄-Nの除去がわるいので，これを低減する目的で散水炉床法試験をこころみた。二次処理法として散水炉床法を採用したのは，操作が簡単であり，比較的NH₄-Nの除去率がよいということと，初処理水中にSSが少なく，溶解性物質中には低級な有機酸が多く含まれ，生物的除去も簡単に行われるのではなからうかという想定のもとにこころみたわけである。炉材の容量は，0.25 m^3 (50 $cm \times 50 \text{ cm} \times$ 深さ1 m)で花崗岩の砕石(50 mm)を入れた。30日間培養し，炉床蛆の発生及び垢の付着も良好となつたので9~11月に試験を行つた。文献によれば減速の場合水面積負荷は1~3 $m^3/m^2/d$ ，BOD負荷は0.1~0.3 $kg/m^2/d$ ，高速の場合で水面積負荷は1.5~2.5 $m^3/m^2/d$ ，BOD負荷は

0.8 ~ 1.2 kg/m²/d とされ、BODの除去率も緩速で80%、高速で60%程度といわれている。しかし吾々の行った実験では、装置の関係上このような低負荷では実施できなかつたので、水面積負荷を1.6 m²/m² d、BOD負荷を4 ~ 5 kg/m²/dの4回循環で行つたところ、COD、BOD、NH₄-Nの除去率は20 ~ 25%の範囲ときわめて低かつた。生物相については、固定生物の出現は最後までみられなかつた。なおこの点については、炉床生物の季節的变化の問題及び通気性の問題または、化学的固液分離上澄液中に微生物の生活に対して何らかの阻害因子が含まれているのではなからうかなど検討する必要があると考えられるので今後の試験で追求して行きたい。

(4) 汚泥脱水機に関する実験

生成スラッジの脱水については、基礎試験でこころみたスポンジ及び炉布を応用した。巾40 cmのスポンジを径30 cmのロールにはり付け、硬質ゴムベルトで自動的に回転圧搾する方法と、同時に炉布も共用できる機械装置を試作し、実験を行つた。スポンジの場合は炉布よりも目詰まりの現象が早くおこり、常時水洗する必要がある。この点起毛した炉布を使用すると、比較的目詰まりの原因も少なく、結果のよいことがわかつた。脱水機の性能は、回転数6 RPM、スラッジのチャージ量2 g/minで水分含量75 ~ 80%のケーキが得られる。問題点としては、炉布の蛇行の修正、スラッジ(水分含量98.5%)の圧搾時の伸びの点を解決すれば、実用化は可能と考えられる。

以上敷集剤を使用した化学的固液分離法は、処理の迅速化、装置の小型化が可能で、経済的にも技術的にも実用性あるものと考えられるが、分離上澄水に多量の溶解性物質が残存し、BOD源となつているので、今後この二次処理法について、立地条件も加味した簡易な処理方法を検討する必要がある。

4. 考 察

- (1) 表 1 でみると試験区が 3.17%, 対照区が 4.57% で分娩柵の使用効果が証明された。
- (2) 表 2.3 でみた場合に生後 1 週間で起きる圧死は両区とも大部分を占めているが試験区の第 2 週で 2.8.6% の圧死率を生じているのは柵を除いた直後の子豚が多くこの点についての考慮が必要と思われる。
- (3) 分娩柵を使用しなかつた場合表 4 にみられる様に 1 版で 4 頭の圧死をした大ヨークシャーが 2 頭もあり、これは哺乳、子豚数が多かつた事にも原因があるが試験区が最高 2 頭であるのに比べても柵の必要性が認められる。
- (4) 分娩柵の後部保定枠は固定式と移動式を試用したが特に大型となつた分娩豚は移動式が便利であつた。
- (5) 柵を使用した場合の分娩豚に及ぼす障害は認められなかつた。

5. 要 約

圧死防止の手段として分娩柵を利用した試験区の損耗率は 3.17% と看護哺乳を行つた場合の 4.57% の圧死率よりも良い結果を示した。

また分娩柵の取外し時期は哺乳頭数、子豚の発育状態などを考慮する必要があり概ね生後 2 週間程度と考えられる。

なほ以上の結果から分娩柵の利用によつて厳冬季および夏季を除いて無看護分娩の可能性が認められたので次年度より無看護分娩について調査を継続実施する。