

# 家畜糞尿の化学的処理法に関する研究

中山 清 小林 茂 富塚 治郎

(都畜産試験場業務)

## 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。とく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ピーカーテストおよ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、カチオン性となり、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、ノニオン性のもでも金属塩類ですでに1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汚過が容易で、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11のピーカーを使用した。

#### 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倍稀釈し、攪拌ののち0.5mm篩別汚液を調整した。

#### 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、供試汚水の稀釈倍率および生成スラッジの脱水汚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った。

#### エ 試験区分

試験区分1:薬剤添加量の差異が凝集、沈澱並びに水質におよぼす影響

試験区分2:汚水濃度(稀釈倍率)が凝集、沈澱並びに水質におよぼす影響

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(薬剤添加量の差異が凝集沈澱ならびに水質におよぼす影響)

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、表1は、MiC(われわれは硫酸パン土の代用として使用した。組成 $Al_2(SO_4)_3 + Fe_2(SO_4)_3 + acid(H_2SO_4)$ )と、ポリマーとしてサンフロックAH200P(ポリアクリルアミド系のアニオン性)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倍稀釈汚水11に対し、MiC3%水溶液15mlとポリマー0.005%水溶液30mlの区分が一番成績がよかった。

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			MiC + ポリマー 15ml 5ml			MiC + ポリマー 50ml 25ml			MiC + ポリマー 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 %	原汚水	処理水	除去率 %	原汚水	処理水	除去率 %
pH	8.0	5.8		8.0	6.6		8.0	6.1		7.8	5.6		7.6	4.3		8.0	6.25	
透 視 度	0	13.5		0	7.0		0	13.0		0	11.0		0	10.5		0	21.0	
フロックの状態		卅			卅			卅			+			+			卅	
CODppm	185.2	53.0	71.4	185.2	84.9	54.1	283.1	53.0	80.9	260.5	132.5	49.1	210.0	50.4	76.0	283.1	47.7	83.0
H <sub>4</sub> -Nppm	11.2	7.7	31.2	11.2	9.2	17.8	12.6	10.2	19.0	23.8	18.9	20.6	21.0	13.3	36.6	12.6	7.6	40.0

(注) フロックの状態

卅…………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

+…………凝集効果はみとめられるが、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

表2

区 分	10 倍			20 倍			30 倍			40 倍		
	MiC + ポリマー 60ml 120ml			MiC + ポリマー 30ml 60ml			MiC + ポリマー 20ml 40ml			MiC + ポリマー 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 %
pH	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 <sub>4</sub> - N	40.6	27.3	32.7	26.6	18.2	31.6	25.2	17.0	32.2	18.6	11.2	39.8

イ 試験区分2 (汚水・濃度が凝集沈降ならびに水質におよぼす影響)

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「M・i・C」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倍稀釈で処理可能なことが判明した。

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パン土の代用として「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、凝集沈降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pHの範囲は、Fe(OH)<sub>3</sub> 3.5以上、Al(OH)<sub>3</sub> 5.5~8.5、Mg(OH)<sub>2</sub> 12以上、Zn(OH)<sub>2</sub> 8~11でpH値がこれよりも大きいても小さくても溶解度は、急激に増加する。このためMgCl<sub>2</sub>、ZnCl<sub>2</sub>で処理した原汚水は、あらかじめNaOHでpHを修正した。

表3からもわかるように3価の金属塩類は、少量添加で凝集が可能であり、このうちとくに最適凝集pH範囲

図1 各種金属水酸化物の溶解度

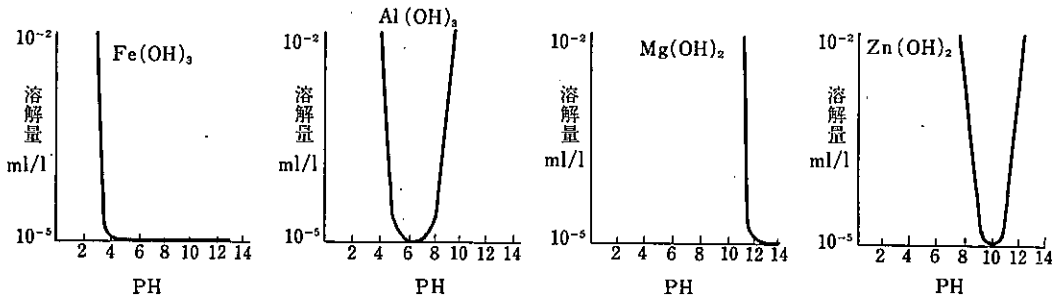


表3

区分	pH	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)
原汚水	8.2	0	1,247			
FeCl <sub>3</sub> (45° B°) polyma 0.12% 0.0006%	5.8	25	327.0 (81.0%)	卍	+	20円 900円
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> polyma 0.17% 0.0006%	5.0	23	276.8 (77.8%)	卍	-	60円
MgCl <sub>2</sub> polyma 0.3% 0.0006%	10.2	7	295.5 (76.3%)	卍	-	60円
ZnCl <sub>2</sub> polyma 0.4% 0.0006%	6.5	23	273.1 (78.1%)	卍	卍	90円

(注) polyma はアニオン性 (サンフロック A H200 P)

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系の脱臭力および脱色力もあり、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パラツキが大きな障碍となる。このほか重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価の塩類についても、3価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「M. i. C.」も主成分のAl<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>のAl分は6%、Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>のFe分は3%でAl<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>が主体となっており、薬効果としては、処理液のpH濃度に大きく左右され、これが水酸化物となったとき、pHの範囲がはずればFe(OH)<sub>3</sub>のみで凝集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、スラッジ性状、土壌還元へ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、① Fe<sup>3+</sup>系、② Al<sup>3+</sup>、Zn<sup>2+</sup>系、③ Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>系、④ Na・K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2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、われわれの実施している凝集法では、すでに無機塩類による1次凝集で微細ながらも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 A H200 P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倍稀釈汚水に対し6 ppm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倍稀釈汚水(0.5mm篩別滲液)1 lに対し、FeCl<sub>3</sub>(45° B°) / mlとA H200 P 0.01%水溶液60 mlを添加した成績である。

この表でも解るように固液分離上澄液には溶解性の有機質が多く残存し、したがって、NH<sub>4</sub>-Nの除去率もわ

るい。

エ 試験区分4 (スラッジの脱水試験)

凝集沈澱により分離されたスラッジに対し、60~150メッシュの各種ポリエチレン、テトロン製の汙布を用いて脱水試験を行なった。実験方法では、径15cmのロートに汙布を敷き、上から1lのピーカーで凝集沈澱した上澄液をすて、水分含量99%程度のスラッジの部分だけ入れ、汙過の難易を観察したのち、手で絞った。その結果は次のとおりである。

① 無機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汙布を通過した。

② このスラッジに、汙過助剤としてCa(OH)<sub>2</sub>を0.5~1.0%添加すると汙別が容易になり、特に120メッシュの厚織汙布を用いた場合、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った(SSの通過の少ない順序はMg, Fe, Zn, Alの順であった)。

③ 脱水後の汙布とケーキの剥離は、いずれもきわめて良好であった。

④ 脱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 網目120メッシュの連続気泡、材質はポリビニールホルマルである。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)<sub>2</sub>を添加しないと剥離の状態はわるく、SSの移行は汙布の場合より若干わるく200~300ppmであった。

表4

区分	原汚水	処理水	除去率
pH	7.5	6.0	%
透視度	0	30	
BOD <sub>5</sub> ppm	2,200	450	84.1
COD <sub>10'100℃</sub>	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 <sub>4</sub> -N	140	77	45.0
Alb-N	99	36	63.6

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

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

豚1頭1日のふん尿量6lとして

$$\frac{9.6\text{ m}^3}{6\text{ l} \times 10\text{ 倍稀釈}} = 160\text{ 頭分}$$

図2 フローシート

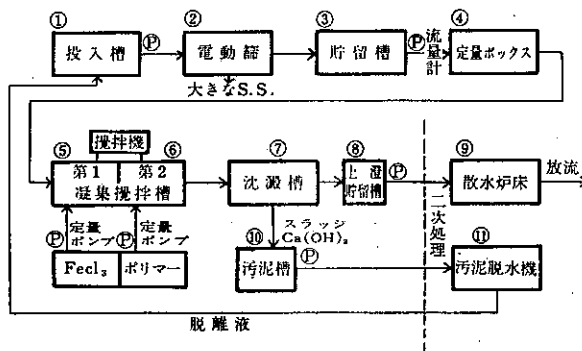


図2の処理行程は、①の投入槽(1m<sup>3</sup>)へ豚ふん尿(1:1)を100kg入れ10倍稀釈したのち、付設のポンプで約30分攪拌し②の電動節(0.5および0.3mmの2段)にかけ、約45~50%の粗大繊維を除去する。汙液は、③の貯留槽(0.8m<sup>3</sup>)にため、これをポンプアップして流量計、および④の定量ボックスを通して三角堰より毎分20l

ずつ⑤の第1凝集攪拌槽(60l)に流入せしめ、次いで⑥の第2凝集攪拌槽(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の沈澱槽(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の散水汙床(試験的に設置したもので汙材容積は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。沈澱槽の底部からは、スラッジを引抜き⑩の汚泥槽のため、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って一定量ずつ⑪の脱水機にかける。脱離液は①の投入槽に還元する。

### (2) 1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倍に稀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1lに対し $FeCl_3(45^\circ B)$ 0.8ml,ポリマー0.01%溶液60mlである。

### (3) 2次処理としての散水汙床法試験

1次処理水は、BODがほぼ300ppmと高く、溶解性物質および $NH_4-N$ の除去がわるいので、これを低減する目的で散水汙床法試験をこころみた。2次処理法として散水汙床法を採用したのは、操作が簡単であり、比較的 $NH_4-N$ の除去率がよいということと、被処理水中に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なわれるのではなかろうかという想定のもとにこころみたわけである。汙材の容量は、0.25 $m^3$ (50cm×50cm×深さ1m)で、花崗岩の碎石(50mm)を入れた。30日間培養し、汙床蠅の発

生および垢の付着も良好となったので9~11月に試験を行なった。文献によれば緩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 $kg/m^2/日$ 、高速の場合で水面積負荷は15~25 $m^3/m^2/日$ 、BOD負荷は0.8~1.2 $kg/m^2/日$ 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。しかしわれわれの行なった実験では、装置の関係上このような低負荷では実施できなかったため、水面積負荷を16 $m^3/m^2/日$ 、BOD負荷を4~5 $kg/m^2/日$ の4回循環で行なったところ、COD、BOD、 $NH_4-N$ の除去率は、20~25%の範囲ときわめて低かった。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った。なおこの点については、汙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ろうか。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および汙布を応用した。幅40cmのスポンジを径30cmのロールにはりつけ、硬質ゴムベルトで自動的に回転圧搾する方法と、同時に汙布も共用できる機械装置を試作し、実験を行なった。スポンジの場合は汙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。この点起毛した汙布を使用すると、比較的目詰まりの原因も少なく、結果のよいことがわかった。脱水機の性能は、回転数6RPM、スラッジのチャージ量2l/minで水分含量75~80%のケーキが得られる。問題点としては、汙布の蛇行の修正、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。

以上凝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、分離上澄液に多量の溶解性物質が残存し、BOD源となっているので、今後この2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。

表5

区 分	流入汚水	一次処理水	除去率%
pH	7.8	6.0	
透 視 度	0	25	
COD <sub>10/100℃</sub> ppm	1,100	198.0	82.0
BOD <sub>5</sub>	1,977	346.0	82.5
SS	3,500	88.0	97.5
蒸発残留物	5,760	1,780	69.0
溶解性物質	2,260	1,692	29.0
$NH_4-N$	147.0	72.3	51.0
Alb-N	112.4	23.1	79.0