特集/機能性高分子による環境保全

高分子凝集剤の環境保全への適用の現状と新展開

Application of Polymer Flocculant for Pollution Control
and Same new Development

山 本 和 正 *

1. はじめに

高分子凝集剤は1950年台に上市されて以来、水質汚濁防止法の施行等により廃水処理薬剤として急速に市場が拡大した。また、汚泥処理にも注目され、特に生物処理汚泥の脱水に有効なカチオン性高分子凝集剤が汚泥脱水剤として市場が拡大している。

高分子凝集剤の市場規模は図-1に示すように推定されている。近年、生活廃水処理（下水・し尿）で発生する汚泥処理が増大し、カチオン凝集剤市場が急速に伸長する傾向にあるが、産業廃水中心のアニオン・ノニオン凝集剤の市場は、ここ数年、伸長がみられず横ばい状態である。

本稿ではカチオン凝集剤の汚泥脱水での適用にしばって、その現状と新しい展開について述べる。

2. カチオン凝集剤による汚泥脱水の適用の現状

2.1 カチオン凝集剤の種類

汚泥の主構成物である微生物フロックは負に荷電しているので、荷電中和し凝集させるためにカチオン性の高分子凝集剤を適用する。カチオン性高分子はその構造、カチオン基の量・種類、分子量により分類され、その代表的なものを表1に示す。

上市されているものの中では、メタクリル酸アミノエステル系の高分子と、ポリアクリルアミドのマンニヒ変性物が、その大部分を占めている。この理由は、高分子量（数百万～千数百万）の製品が得られやすいことと、前者はアクリルアミドとの共重合、後者はカチオン変性条件の調整により、カチオン度の異なる製品が任意に得られるためである。

2.2 汚泥性状と最適脱水剤の関係

脱水性に関連する汚泥性状因子としては、SS、V

SS/SSS、繊維分量等が関与する。

VSS/SSの値は、脱水剤の種類、効果に大きな影響がある。VSS/SSが大きいときには、カチオン度の高い脱水剤（図-2、-3）が要求され、また、脱水剤添加量が増加する（図-4、-5）。ただし、下水混合生汚泥の場合にはVSS/SSによらず、ポリアクリルア

図-1 凝集剤の市場分類（S56年度推定）

* 栗田工業(株)薬品本部技術部廃水課長
Kazumasa YAMAMOTO

表1 代表的なカチオン系凝集剤の構造式

◎ポリアミノアルキル(メタ)アクリレート

◎ポリジメチルジアリルアンモニウム塩

◎ポリアクリルアミドのマンニヒ変性物

◎ポリビニylimダゾリン

◎ポリエチレンイミン

◎ジハロアルカンポリアルキレンポリアミン重縮合物

◎キ ト サ ン

プレスでは、分子量が高すぎる場合、フロックに脱水剤の粘性が残る、ケーキの汙布からの離性を悪化させるため、遠心脱水機より低分子量の脱水剤が適用される。

脱水機別適用脱水剤の種類を表2に示す。

3. 汚泥脱水における新しい展開

汚泥発生量の増大にともなうコストアップおよび汚泥処理・処分の際の臭気問題の解決が最近の課題である。以下に、これらに対応できる新しい技術を紹介する。

3.1 CSAシステム

汚泥処理のユーティリティ費に占める重油の割合は非常に大きい。

例えばわが国の下水汚泥の焼却に使用された重油費用は、汚泥処理に関係するユーティリティ費の70%以上を占めている。これは全国重油消費量の0.4%に相当する。このため省エネルギー型の汚泥処理技術の開発が期待される中で、燃料を50%程度節約する新しい脱水法として、「CSAシステム」が注目されている。

3.1.1 CSAシステムと従来法の違い

CSAシステムと従来の脱水法の大きな相違は、フロックの生成機構にある。従来のカチオン性高分子脱

ミドマンニヒ変性物が有効な場合が多い。

SS濃度が高いときには高分子量の、そのまた低いときには比較的分子量の低い脱水剤が有効である。

繊維質/SSが多い汚泥ほどケーキ含水率は低下するが適性脱水剤との相関はほとんどない。

凝集汚泥(Al水酸化物を多く含む)の混入は、適性脱水剤をカチオン度の低いものへ移行させる。また、マンニヒ系が有効となる場合が多い。

2.3 脱水機種と脱水剤の関係

カチオン度でみると、同じVSS/SSの汚泥であれば、ベルトプレスには遠心脱水機よりカチオン度の高いものが要求される(図-2、-3)。一方脱水剤の必要添加量は図-4、-5に示すように、遠心脱水機の方が多くなる。

分子量でみると、遠心脱水機には高分子量の脱水剤で強固なフロックを形成させる必要がある。一方ベルト

図-2 汚泥の有機質と凝集剤のカチオン度(遠心脱水機)

図-3 汚泥の有機質と凝集剤のカチオン度(ベルトプレス)

図-4 汚泥の有機質と凝集剤の添加量(遠心脱水機)

図-5 汚泥の有機質と凝集剤の添加量(ベルトプレス)

図-6 CSAシステムのフローシート(ベルトプレス)

水剤を使用した処理法では、汚泥の荷電中和とフロックの粗大化を同時に行う。そのために、形成したフロック内部は荷電中和が不十分な汚泥粒子が多く含まれ、水抜けの悪い、軟弱なフロックになっていることが多い。このようなフロックは、圧搾、遠心などの外力を加えても、フロック内部の水は十分に除去できない。そこで、荷電中和とフロック形成を分離したのが、CSAシステムで、そのシステムに開発された脱水剤がプレスエイド®である。すなわち、プレスエイド® 100番シリーズと200番シリーズを使用して荷電の中和とフロックの粗大化を分離して行う。これによって得られるフロックは、従来法と比較して、①保有水分量が少ない、②フロックが強く高圧脱水に耐える、③粘着性が少なく、汙布からの剥離がよい、④重力脱水性が

表2 脱水機別適用高分子脱水剤

機種	処理の要求	脱水剤の条件	適用高分子脱水剤
遠心脱水機	①回収率大	フロック形成が良く、強度大 ↓ 比較的分子量の大きいもの	VSSの程度により 高VSS… 高カチオン
	②ケーキ水分小		中VSS… 中カチオン
	③処理量大		低VSS… 低カチオン
ベルトプレス	①剥離が良い ②ケーキ水分小 ③汙過速度大	粘性が低く、 カチオン性の やや高いもの	VSSの程度にかかわらず中～高カチオン系
転写型(SL等)	転写が良く、 水分が低い	高カチオン系 で低分子量	種類としてポリ アルキレンポリア ミン系等
スクリー プレス	①ケーキ水分小 ②回収率大	フロック形成が 良く、強度大	高分子量低カチ オン(紙パ) アニオン、カチオン 併用(下水)
フィルター プレス	①剥離が良い ②ケーキ水分小	高カチオン系 低分子量	高カチオン・低 分子量
真空脱水機	剥離が良い	〃	高カチオン・低 分子量

表3 下水汚泥脱水への適用例

処理場	処理法	脱水剤添加量 (%対DS)	含水率 (%)	処理量 (kg・DS/hr)	重油使用量 (ℓ/t・DS)	薬剤費用 (円/t・DS)	重油費用 (円/t・DS)	経費総額 (円/t・DS)	経費節減額 (円/t・DS)
I	CSAシステム	プレスエイド101 0.9 プレスエイド201 0.4	82.4	232	546	26,930	40,430	67,360	8,440
	従来法	アミノエステル系 高分子 0.6	86.4	164	875	11,020	64,780	75,800	—
II	CSAシステム	プレスエイド101 0.7 プレスエイド201 0.3	77.0	210	233	23,100	17,910	41,010	1,730
	従来法	アミノエステル系 高分子 0.6	81.7	152	462	7,200	35,540	42,740	—

汚泥種：I, IIともに混合生汚泥

脱水機：I, IIともにベルトプレス型脱水機

汚泥処理量：I 68㎥/日 1.3 t・DS/日

II 500㎥/日 10.6 t・DS/日

良い、等の特徴がある。

3.1.2 CSAシステムの適用例

CSAシステムのフローシートを図-6に示す。第1反応槽は強撹拌を行い、第2撹拌槽では通常の凝集撹拌でフロックを粗大化させる。

下水処理場での適用結果を表3に示す。いずれの処理場も脱水ケーキは焼却処分されているが、CSAシステムを適用した結果、従来法との比較に次のようなメリットが確認されている。

- ①含水率が約5%低下し、ケーキ発生量が減少する。
- ②焼却用の重油消費量が40～50%低減する。
- ③汚泥処理・処分のトータルコストが低減する。
- ④汚泥処理量が約40%増加し、処理効率が向上する。
- ⑤汚泥の性状変化に対して、安定した処理が可能。
- ⑥過剰添加での処理悪化がなく、薬注管理が容易である。

現在までに数多くの処理場でこのシステムの適用を

実施してきている。各種汚泥への適用例を表4に示す。

今後はCSAシステムとこれに最適な脱水機種を組み合わせることによって、脱水ケーキの含水率低下を図り、ケーキの自然化による補助燃料不要の乾燥焼却システムや乾燥機不要の直接コンポスト化システムなど、総合的な省エネルギーシステムが完成される見込である。

3.2 消臭性脱水剤

消臭性脱水剤は高分子脱水剤に悪臭低減の機能を兼ね備えて、一つの薬品で脱水と消臭を行うものである。

汚泥処理設備では、脱水機、ケーキ搬送、貯留ホッパー等を密閉し、臭気はダクトで吸引する方法、あるいは、作業場の臭気対策のため消費剤を噴霧する方法などが採用されている。しかし、これらの方法は悪臭発生源である脱水ケーキ自体の臭気は低減できず、例えば、脱水ケーキを搬出・埋立処分する場合の臭気対

表4 各種汚泥へのCSAシステムの適用例

汚泥種	脱水機	脱水法	汚泥処理量 (kg-DS/hr)	ケーキ含水率 (%)	薬剤費 (円/t-DS)	補助燃料費 (円/t-DS)	経費総額 (円/t-DS)	経費節減額 (円/t-DS)
下水混合生	ベルトプレス脱水機	CASシステム	232	82.4	26,930	40,430	67,360	8,440
		従来法	164	86.4	11,020	64,780	75,800	—
下水混合生	ベルトプレス脱水機	CSAシステム	310	77.3	19,230	43,650	62,880	8,380
		従来法	235	80.8	7,150	64,110	71,260	—
し尿・脱窒処理 一、二次+三次	遠心脱水機	CSAシステム	150	82.5	49,600	126,650	176,250	5,350
		従来法	150	86.5	32,000	149,600	181,600	—
し尿・酸化処理 余剰+三次	遠心脱水機	CSAシステム	75	84.0	114,000	48,580 *2	162,580	37,470
		従来法	48	87.7	68,050	132,000 *2	200,050	—
自動車工場 余剰	圧搾型脱水機	CSAシステム	75	87.0	49,830	60,000 *3	109,830	36,060
		従来法	38	89.0	25,890	120,000 *3	145,890	—
自動車工場 余剰	フィルター プレス脱水機	CSAシステム	0.78 *1	70.4	22,300	60,810 *3	83,110	1,280
		従来法	0.49 *1	77.3	5,100	79,290 *3	84,390	—

*1 単位kg-S S / ㎡・hr *2 乾燥のための補助燃料費(肥料化) *3 投棄処分費

図-7 脱水ケーキの臭気に対する評価結果

策として不十分である。さらに臭気対策の設備コストや作業増加の問題がある。これらの問題を解決すべく、脱水工程に使用する高分子脱水剤に悪臭低減の機能を持たせた商品が、消臭性脱水剤「クリーンケーキ」である。

3.2.1 消臭性脱水剤の適用事例

(1) A下水処理場では、生汚泥を遠心脱水処理し、脱水ケーキは運搬投棄しているが、脱水ケーキの堆積中の臭気が、周囲住民の苦情となっていた。消臭性脱水剤の使用により、従来の脱水剤では90%の人が下水

臭気を脱水ケーキに感じていたのが、20%に低減した(図-7)。当処理場では、消臭性脱水剤を継続使用中であるが、処理場の臭気低減と同時に、脱水ケーキ運搬業者からも高い評価を得ている。

(2) 各種適用事例

下水、団地下水、し尿、及び食品、鉄鋼、皮革、紙パルプ等で、污泥悪臭の系統として、硫化物系臭気、アミン系臭気、その他薬品臭(鉄鋼安水処理汚泥のフェノール臭等)など異っているが、いずれも消臭性脱水剤の効果が認められた。

表5に、消臭性脱水剤の採用事例を示す。この採用理由としては、作業環境の改善が共通して挙げられる。次いで搬出・埋立時の悪臭対策として評価されている。地域住民苦情対策を採用理由とした例は少ないものの、実質では事業所周辺の環境改善に役立っていると推定している。

3.2.2 臭気濃度測定結果

三点比較式臭袋法により臭気濃度を測定した結果を表6に示す。消臭性脱水剤の適用により臭気濃度は $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{10}$ に減少することが確認されている。また臭気濃度が変わらなかった例でも、臭気が改善したとの評価を

表5 クリーンケーキの主要適用実績と採用理由

客 先 名	排水の発生源 汚泥の種類	(注) 脱水機	ケーキ 処 分	採 用 理 由			
				作業環境	住民苦情	搬出・埋立	そ の 他
A 下 水	混合生汚泥	S D	埋 立	○	○	○	
B 下 水	"	B P	"	○		○	
C 下 水	"	B P	"	○		○	
D 下 水	"	S D	焼 却	○			
E 下 水	"	S D	埋 立	○		○	焼却炉定修時および夏季使用
A 清掃組合	し尿処理 1 + 2 次	B P	埋 立	○			
B 環境センター	し尿処理 1 + 2 + 3 次	S D	乾 燥				乾燥ケーキの臭気低下 (半乾燥状態)
C し尿処理場	2 次(余剰)	S D	農 地 還 元	○		○	
A 畜 産	と畜排水 余剰汚泥	S D	埋 立	○		○	
B 食 品	魚肉加工排水 余剰汚泥	S D	海 洋 投 棄	○	○	○	
A 皮 革	皮革排水 初沈+余剰	S P	埋 立	○	○	○	
A 製 鉄 (団地下水)	下水 余剰	S D	搬出し 焼 却		○		脱水効果向上のため蒸気を使用
B 製 鉄	化工安水 余剰	S D	焼 却	○		○	
A 製 紙	紙パルプ総合排水 凝集+余剰	S P	焼 却	○	○		脱水効果向上のため蒸気を使用

(注) 脱水機略号 S D…遠心脱水機 B P…ベルトプレス型脱水機 S P…スクリュープレス

表6 臭気濃度測定結果（三点比較式臭袋法による）

客先名	汚泥種脱水機	試料採取場所	臭気濃度		備考
			従来品	本商品	
C下水	混合生BP	凝集汚泥のBP供給部	31,000	5,500	
F下水	混合生BP	脱水ケーキ搬出コンベアー内	9,800	550	
G下水	混合生SD	〃	23,000	9,800	脱水濾液表面のH ₂ S分 結果、従来81ppm→消臭性品23ppm
E下水	混合生SD	〃	3,100	230	ケーキホッパー室臭気濃度、従来55→消臭性品10以下
H下水	混合生SD	〃	17,000	4,200	

受けており、臭気濃度で示される低減値以上に、実感される効果には、臭いの質を改善する働きがある。

3.2.3 消臭性脱水剤のメリット

消臭性脱水剤の特徴を、市販の消臭剤を別途添加する方法と比較すると以下のような特徴にまとめられる。

①消臭成分がケーキに移行するように処方してあるため、消臭効果が良い。従って、脱水ケーキの消臭効果の維持時間が長い。

②通常の脱水剤溶解作業のみでよく、作業性がよい。

③注入・散布設備等が不要であり、イニシャルコストもほとんどいらない。

④消臭成分は、天然系の物質を用いているため、安全性は高い。

以上、消臭性脱水剤は、今後ますます規制が強化される臭気問題の対策に、効果・コスト両面から役立つものと考えている。今後、消臭効果の持続性向上、ケーキ乾燥排ガスの消臭等につき、一層役立つよう、改良・改善を加えて行きたい。

4. おわりに

汚泥処理・処分の問題については、今後も解決していかねばならない問題が多く、高分子脱水剤を最大限に役立てるべく適用技術、脱水剤の改良・改善を進めていく所存である。

参 考 文 献

- 1) 汚泥研究年報。1980, 平岡正勝編序文
- 2) 建設省都市下水道部「下水道施設の省資源。省エネルギー化に関する調査」1980年3月
- 3) 安川克男; 第16回下水道研究発表会
- 4) 大井康裕; PPM 6 (1981)
- 5) 山本和正; 月間下水道, Vol. 4 (13) (1982)
- 6) 大井康裕; 建築設備と配管工事, Vol. 11 (1982)