報 文

高分子凝集剤による下水汚泥の加圧脱水

Pressure Filtration of Sewage Sludge with Polymer Addition

大西 春樹* ・ 花咲 徹* ・ 林 浩二*
平岡 正勝** ・ 武田 信生**

Abstract

Pressure filtration process of sewage sludge was investigated with polymer addition. A polymer additive was selected and operational conditions were determined in the preparatory experiments using the pilot filtration equipments. The sewage sludge has been dewatered by the pressure filters with polymer and the filtered cake has been incinerated in a multiple-hearth incinerator practically over two years. A comparison of polymer addition process and other inorganics addition process (ferric chloride or ferric chloride and lime) was done on the running data. The former process is inferior to the latter in the efficiency of dewatering, but superior in the incineration and flue gas cleaning processes.

Total operating cost and construction cost of the former process are lower than those of the latter. The former process is favorable to the final disposal of ash.

There is a good outlook for the control of the adding rate of polymer additive by using CST meter.

合流式下水処理における汚泥の減量化・安全化・安定化，そして経済性を目的とした薬注方式の改善を検討した。高分子凝集剤を使用して予備実験を行い実用化の見通しをたてた後，加圧脱水機と多段焼却炉の実プラントを用いて処理を行い，二年間の実績を得た。

実績による評価は従来の消石灰＋塩化第二鉄の薬注に比べ脱水工程では劣るが，焼却・排ガス処理工程で優位にあるため維持管理費・建設費とも安価となっている。それに伴い二次公害の防止の効果もあり，焼却灰処分に関しても有利である。

高分子凝集剤の合理的使用については日常の最適薬注率の管理が問題であるが，CSTメーターの活用により解決の見通しを得ている。

* 寝屋川南部広域下水道組合 川俣処理場 Haruki Onish, Toru Hanasaki, Koji Hayashi.

** 京都大学工学部教授 Masakatsu Hiraoka.

*** 京都大学工学部助手 Nobuo Takeda.

1. はじめに

下水処理システム全体に占める汚泥の処理処分の役割は近年ますます大きくなってきており、解決されるべき技術的問題点も多く、汚泥の処理処分対策は下水道関係者の共通の課題として取り組んでいかなければならない。現在設置されている下水汚泥の処理施設は薬注脱水を行うものが大部分であり、脱水機と薬品の組み合わせとしては、真空式と加圧式には消石灰+塩化第二鉄を、遠心式には高分子凝集剤を使用するのが一般的である。このうち、最も一般的な処理方式である消石灰を使用した脱水ケーキを焼却するプロセスでは、脱水ケーキ中にクロムが含まれていると、焼却条件によっては、凝集助剤として添加された消石灰とクロムが反応して六価クロムを生成することがある¹⁾。

従来、本処理場においては、消石灰と塩化第二鉄の薬注による加圧脱水を行ってきたが、焼却による六価クロムの生成を抑制し、あわせて維持管理費の節減をはかるため、高分子凝集剤の使用を検討し、良好な結果を得たので実プラントにこれを適用することにした。高分子薬注汚泥のフロックは剪断力の影響を受けやすく、汚泥打込ポンプを設置した加圧脱水機での使用は従来ほとんど不可能視されてきたが、2年間に及ぶ実プラント処理実績が得られたので、予備検討段階のパイロット実験結果とあわせて報告する。

2. 高分子凝集剤の選択実験

2・1 ビーカーテスト

予備実験により汚泥の凝集に効果が認められたのは

カチオン性凝集剤であった。カチオン性凝集剤については各社共に数種類から数十種類程度の品種があり、その中より本処理場の濃縮汚泥に適したものを調査するため11社33種類を選び、ビーカーテストを行った。

テスト方法は、各高分子凝集剤を0.1～0.5%（純分で計算）の水溶液とし、500mℓビーカーに取った供試汚泥200mℓに、薬注率を種々変化させて加えた後、攪拌、ろ過した。評価はフロックの大きさ・強度・ろ液量等によった。その結果、表1に示す7種の高分子凝集剤に効果が認められた。

2・2 加圧パイロット機によるテスト

上記の7種の高分子凝集剤について、表2にその仕様を示した加圧パイロット機「A」を用いて比較実験を行い、表3に示す結果を得た。そして、薬注率も加味し総合的に判断して上位グループをB及びDとした。他の高分子は、ケーキ含水率・はくり性・ろ過速度のいずれかに問題があった。

次にBとDの比較実験を行った。図-1から明らかな様に、Bを添加した場合のろ過速度は、最適薬注率ではDのそれより高いが、過剰添加により急激に低下する。この事は、Bは薬注率の制御が微妙で、実プラントで管理する場合に不便であることを意味している。

更に現場管理上、異種の高分子凝集剤を同一タンクで受け入れする場合を想定して、BとDの等量混合テストを行ったが、ろ過速度で20%程度、ケーキ含水率で(TS換算)10%程度の性能低下となった。この原因は、Bがマンニッヒ反応生成物であるため、異種のDと混合すると、高分子同士が反応して凝集性能が低下するためと推定される。

表1 高分子凝集剤の性状

略号	主成分	分子量	イオン性	適性希釈濃度(%)	0.5%溶液の25℃での粘度(cp)	製品形態
A	ポリアクリルアミド変性体	2×10^6	中カチオン	0.5	20～40	液状
B	〃	1×10^6	強カチオン	0.3～0.5	50	液状
C	ジアルキルアミノアルキルメタクリレート・アクリルアミド共重合体	5×10^6	中力カチオン	0.5～1.0	95～120	粉状
D	ポリジアルキルアミノアルキルアクリレート	$1 \sim 2 \times 10^6$	強カチオン	0.1～0.5	10	液状
E	ポリアクリルアミド変性体	5×10^6	中カチオン	1.0	8	液状
F	ポリビニリンイミダゾリン	1×10^6	強カチオン	1.0	4	粉状
G	第四級アンモニウム塩ポリマー	$5 \sim 6 \times 10^6$	中カチオン	0.2～1.0	22～23	液状

表2 加圧脱水機の仕様

機 種	パイロット機「A」	パイロット機「B」	実プラント機「C」
ろ過面積 (㎡)	0.07	0.6	180
圧入方式	窒素ポンベ圧	プランジャポンプ	低圧 巻ポンプ 高圧 フランジャポンプ
圧入圧力 (kg/cm ²)	5	5	低圧 2～3 高圧 5～6
圧搾方式	窒素ポンベ圧	水圧ポンプ	ナ シ
圧搾圧力 (kg/cm ²)	15	15	—
使用ろ布	P— 851 Ku— 1105	P— 851	Ku— 1105 N — 1180

表3 加圧パイロット機による高分子凝集剤選択実験

高分子凝集剤	添加率 (%)	ろ液の T S (mg/ℓ)	はくり性	ろ過速度 (kg/㎡・時)	ケーキ含水率 (%)
A	0.5	2160	良	4.50	72.4
	1.0	2010		3.77	76.4
B	0.5	2170	良	3.40	77.2
	1.0	1940		5.25	68.4
C	0.5	1870	不良	2.57	78.3
	1.0	1960		3.10	74.2
D	0.5	2050	優	4.07	74.0
	1.0	1960		4.80	69.8
E	0.5	—	良	2.25	77.7
	1.0	2130		2.83	72.5
F	0.5	1950	良	2.68	73.4
	1.0	2020		3.50	71.2
G	1.0	2080	優	3.63	72.2
	1.5	1970		4.66	72.4

汚泥性状—濃度 4.83 %, 有機分率 44.4 %

使用パイロット機「A」

表4 実プラント機テスト

指 標	凝集剤	脱水機運転毎の平均値				総平均値
		2号機	3号機	4号機	5号機	
ケーキのはくり	B	3.8	2.0	2.5	3.5	3.0
	D	4.3	2.8	2.8	4.0	3.5
ケーキ含水率 (%)	B	71.7	78.2	73.1	71.3	73.6
	D	68.6	74.3	70.3	66.2	69.9
ケーキ厚み (mm)	B	17.7	17.8	17.8	17.8	17.8
	D	18.0	18.4	17.5	18.5	18.1

図-1 高分子凝集剤BとDの比較

2・3 実プラント機によるテスト

BとDの比較のため、実プラント機を用いて3日間連続（脱水機の延運転回数は35回）でランニングテストを行った。表4のごとく、DはBより優秀な成績を示した。高分子凝集剤は、仮設の溶解タンクで0.5 %濃度にして使用したが、DはBよりも短時間で完全に溶解した。加圧脱水機は複雑な内部構造を有するので未溶解の凝集剤を用いる事は、維持管理上不安である。

以上の実験結果により、実プラント機において使用する高分子凝集剤としてDの採用を決定した。

3. 高分子凝集剤の特性

高分子凝集剤は高価であるので、特に合理的な使用が要求される。このためパイロット機を使用してDの

ケーキ

はくり基準—5：開板と同時に全部はくりする。

4：振動装置により全部はくりする。

3：一部人力補助により全部はくりする。

2：人力補助しても一部はくりしない。

汚泥性状—濃度 4.9 %, 有機分率 43.1 %。

薬注率—B：1.00 %, D：0.95 %。

特性把握の実験を行った。

3・1 薬注率の影響 (図-2)

ろ過速度は薬注率 0.5 % でピークを示す。この最適薬注率以下でも以上でもろ過速度は低下する。過剰注入によりろ過速度が低下するのは、過量吸着・多分子層吸着に伴う親水性の増大、粒子表面電位の逆転によるものであろう²⁾。

ろ液の蒸発残留物は最適薬注率付近ではほとんど変化がないが、過少や過剰な薬注率では高くなっている。この現象は、凝集性が不良のため、ろ布の目より未凝集の汚泥が流出するためと考えられる。

ケーキ含水率は薬注率が変化しても、ほぼ一定である。

図-2 薬注率の影響

3・2 圧入圧力の影響 (図-3)

圧入圧力の上昇によりろ液の蒸発残留物は増加する傾向にあり、圧入圧力の上昇による汚泥の流出が認め

図-3 圧入圧力の影響

られるが、ろ過速度とケーキ含水率はあまり変化しない。

図-4 撹拌速度の影響

3・3 撹拌速度の影響 (図-4)

高速になるに従い、ろ液の蒸発残留物はやや増加し、ろ過速度はわずかに低下したが顕著ではなかった。ケーキ含水率には、ほとんど影響が認められなかった。

一般に高分子凝集剤薬注汚泥のフロックは、消石灰と塩化第二鉄の薬注による汚泥のフロックに比較して剪断力の影響を受けやすいが、本実験結果のように影響が少なかったのは、撹拌機のインペラが小さかったためか、凝集剤Dの特性によるものかであろう。

図-5 撹拌時間の影響

3・4 攪拌時間の影響 (図-5)

攪拌時間が長くなると、ろ過速度はやや低下したがそれ以外の変化は認められなかった。

3・5 ろ布のくり返し使用の影響 (図-6)

実機と同一のろ布 (Ku-1105) を用いて、ケーキ生成後にも水洗せずに、そのまま実験を続けた。その結果、ケーキ含水率は2回目に低下し、その後は横ばいであるのに対し、ろ過速度は一様に低下していった。これは、ろ布の目づまり現象によるものと思われる。

図-6 ろ布のくり返し使用による影響

3・6 汚泥の季節変化による影響 (図-7)

本処理場汚泥の有機分率は夏期に低く、冬期に高くなるという傾向がある。これは本処理場が、低湿地帯

図-7 季節変化による影響

の浸水対策を一つの大きな使命とする合流式流域下水道の終末処理場であることに加え、供用面積が少ないことによる。消石灰と塩化第二鉄の薬注による脱水においても、ろ過性能 (ろ過速度・ケーキ含水率など) は有機分率が高くなる冬期において、顕著に悪化する傾向がある。パイロット機を用いた高分子薬注によるテストでも、この傾向が認められた。すなわち、汚泥有機分率が低く、濃縮汚泥濃度が高くなる夏期には、ろ過速度が上昇し、ケーキ含水率は低くなるが、冬期

表 5 高分子凝集剤と無機凝集剤の比較テスト

			高 分 子 凝 集 剤				無 機 凝 集 剤				
テ ス ト 年 月	生 汚 泥		薬注率 (%)	ろ過速度 (kg/㎡・時)	脱 水 ケ ー キ		塩化第二鉄薬注率 (%)	消石灰薬注率 (%)	ろ過速度 (kg/㎡・時)	脱 水 ケ ー キ	
	汚泥濃度 (%)	有機分率 (%)			含水率 (%)	はくり性				含水率 (%)	はくり性
51年5月	6.1	37.7	0.75	7.92	66.1	優	7.0	—	3.85	65.7	優
6月	4.8	39.7	0.5	5.24	65.7	優	7.0	—	3.87	64.4	優
7月	7.1	36.6	0.5	8.09	67.1	優	7.0	—	4.29	66.2	優
7月	6.3	35.0	0.5	7.24	67.0	優	7.0	—	3.86	66.2	優
51年	高分子 無機		0.5	12.0	46.4	優	5.0	20.0	12.3	46.3	優
濃 度 9.3 9.45											
9,10月	有機分率 28.6 29.9		0.5	11.2	50.5	優	5.0	30.0	13.2	47.2	優
12月	6.3	39.9	0.5	4.60	68.7	優	7.0	—	3.30	69.6	優
52年1月	3.5	53.9	0.5	5.97	80.0	不良	7.0	—	1.50	81.3	不良

51年9,10月はパイロット機「A」、それ以外は「B」を使用

図-8 汚泥処理フローシート

にはろ過速度が下がり、ケーキ含水率は高くなる。

3・7 無機凝集剤との実験的比較 (表5)

塩化第二鉄方式と比較すると、ケーキ含水率については差がなく、ろ過速度は1.9倍の値を示した。また、脱水性能の低下する冬期にも、ケーキはくり状況の悪化の程度は軽かった。

消石灰+塩化第二鉄方式と比較すると、ケーキ含水率で1.7%、ろ過速度で $1.2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{時}$ 程度劣った。また図-6で明らかな様に、ろ布の目づまりは早い。

以上の結果から、六価クロム対策として消石灰を排除するとすれば、塩化第二鉄単独薬注に比べ、高分子薬注がすぐれていることになる。

4. 実プラントによる処理実績

汚泥処理施設のフローシートを図-8に示す。生汚泥は薬注・凝集され、加圧脱水機(圧搾機構無し)により脱水ケーキとなり、縦型多段炉で焼却される。焼却排ガスは水洗後、苛性ソーダ溶液により中和され、電気集塵機で除塵されてから、再加熱炉で脱臭される。排ガス処理施設は、大阪府公害防止条例にもとづいて増設された施設であり、脱水用の白灯油の費用が高額になるのが維持管理上の問題点である。

凝集剤は当初、消石灰と塩化第二鉄を使用していたが、焼却灰溶出液中に六価クロムが検出される時もあった。そこで基礎実験の後、昭和50年8月には消石灰を使用せずに、塩化第二鉄のみによる薬注脱水を、実プラントで開始したが合理化と改善を目ざして従来より実験を重ねていた高分子凝集剤による実プラント処理テストを昭和50年12月より実施した。当初は人手を要する仮設の溶解タンクを利用したので、昼間だけ使用し、作業人員の減少する夜間は塩化第二鉄を使用した。昭和51年6月以降は、自動溶解注入装置を利用し高分子凝集剤のみを使用している。この装置のフローシートは図-9に示す。

昭和51年3月以降の処理実績を表6、および図-10に示すが、汚泥の脱水性が低下する冬期も含めて、実プラントでの処理が可能であった。

なお、処理実績は最適薬注率に近い状態のものであるので、図-2に示す実験機の結果とは相異が見られる。また、高分子凝集剤を使用した脱水ケーキの焼却灰の溶出試験の結果は表6の通り、六価クロムはほとんど検出されなかった。その測定方法は環境庁告示第22号に準拠した方法である。

表6 高分子凝集剤による実プラント処理実績

年月	脱水回数 (回/月)	濃縮汚泥				高分子凝集剤		1日当りの 処理汚泥		ろ過速度 (kg/㎡・ 時)	ケーキ 含水率 (%)	脱 水 ろ 液			焼却用 重油 (ℓ/ton -TS)	排ガス用 白灯油 (ℓ/ton -TS)	焼却灰* 溶出液 中の六価 クロム (ppm)
		汚泥量 (㎡/月)	T S 量 (ton/月)	濃 度 (%)	有機分率 (%)	薬注率 (%)	薬注量 (kg/回)	汚泥量 (㎡/回)	T S 量 (kg/回)			pH	T S (mg/ℓ)	S S (mg/ℓ)			
51/3	308	2849	156.7	5.5	42.0	0.86	4.4	9.3	509	0.99	71.0	—	—	—	—	—	ND
4	163	1617	98.6	6.1	41.0	0.72	4.3	9.9	604	1.16	69.3	—	—	194	—	—	ND
5	291	4196	235.0	5.6	39.0	0.65	5.2	14.4	807	1.64	63.9	6.8	1210	325	—	—	ND
6	368	4249	284.7	6.7	37.9	0.56	4.3	11.5	773	1.60	61.9	6.6	2310	300	—	—	ND
7	388	2937	210.7	7.2	34.3	0.60	3.3	7.6	543	1.06	67.3	7.0	2930	813	136	247	ND
8	395	2824	236.3	8.4	33.0	0.51	3.1	7.1	598	1.11	65.4	7.2	1500	230	113	165	ND
9	235	2561	204.2	8.0	32.5	0.64	5.6	10.9	872	1.74	58.2	—	—	—	36	126	ND
10	317	2547	186.7	7.3	38.9	0.60	3.5	8.0	589	1.22	67.3	6.9	1060	240	80	176	ND
11	491	4960	300.0	6.0	40.5	0.78	4.8	10.1	611	1.20	67.5	7.1	1590	103	63	119	0.05
12	427	3690	217.8	5.9	42.0	0.77	3.9	8.6	510	1.00	72.3	6.5	1680	44	101	163	ND
52/1	252	2834	129.4	4.6	42.6	0.83	4.3	11.2	514	1.03	72.7	7.0	1430	150	74	177	ND
2	370	4396	164.8	3.7	55.4	0.80	3.6	11.9	446	0.87	76.3	6.8	1010	360	97	192	ND
3	711	6832	366.9	5.4	43.9	0.57	2.9	9.6	516	1.05	70.5	6.8	1280	102	92	180	ND
4	373	3185	184.9	5.8	43.1	0.58	2.9	8.5	496	1.10	71.3	6.8	1530	157	95	197	ND
5	547	4568	259.6	5.7	44.8	0.60	2.9	8.4	475	1.05	72.2	6.8	1860	282	113	182	ND
6	419	4433	254.9	5.7	43.9	0.48	2.9	10.6	608	1.36	66.9	7.2	850	223	64	199	ND
7	239	2259	123.3	5.5	42.8	0.52	2.7	9.5	516	1.06	69.9	—	—	—	113	229	ND
8	365	3576	231.2	6.5	38.1	0.52	3.3	9.8	633	1.18	67.3	7.4	2000	170	84	141	ND
9	358	4572	244.7	5.4	40.4	0.60	4.1	12.8	684	1.21	66.5	—	—	—	62	152	ND
10	417	4714	246.8	5.0	42.4	0.63	3.7	11.3	592	1.10	68.0	7.5	1330	246	81	230	ND
11	471	4833	281.2	5.5	42.3	0.68	4.1	10.3	597	1.09	69.2	—	—	—	83	196	ND
12	471	4945	238.3	4.6	49.2	0.75	3.8	10.5	505	0.93	74.0	—	—	—	123	195	ND

* 六価クロムの検出限界は0.05 ppmである。

図-9 高分子凝集剤の自動溶解注入装置

図-10 高分子凝集剤による実プラント処理実績

5. 処理実績による各薬注方式の比較と評価

5・1 比較基準値の統一

本処理場において実プラント処理に採用した下記の3種類の薬注脱水方式の比較のために、処理実績の総括を表7に示す。

- ① 高分子凝集剤方式
- ② 塩化第二鉄方式
- ③ 消石灰＋塩化第二鉄方式

各薬注方式におけるろ過速度、ケーク含水率などの

傾向は、加圧パイロット機のデータと差がある。この原因としては、圧搾機構の有無、脱水機の規模の違い、汚泥性状の違いによる脱水性能の差、ろ過時間の違いなどが考えられる。

ここで、各薬注方式について焼却・灰処分の段階まで含めて比較するためには、条件を同一にしておく必要がある。汚泥濃度が高ければ、一般にろ過速度が大きくなり、また同一の前処理汚泥でも、ケーク含水率を低くするためにはろ過速度の低下は避けられない。ここでは汚泥濃度とろ過速度を高分子凝集剤による実

表 7 各薬注方式による実プラント処理実績

薬注方式	比較期間	濃縮汚泥		薬注率			処理汚泥TS量 (kg/回)	ろ過速度 (kg/㎡・時)	ケーキ含水率 (%)	脱水ろ液		
		濃度 (%)	有機分率 (%)	高分子凝集剤 (%)	塩化第二鉄 (%)	消石灰 (%)				TS (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	pH
消石灰+塩化第二鉄方式	49／3～6 50／3～6	5.4	40.7	—	5.3	31.9	422	1.62	68.2	7620	560	12.3
塩化第二鉄方式	51／3～6	6.0	39.6	—	9.2	—	524	1.05	71.0	(約10000)	(約1000)	(4～5)
高分子凝集剤方式	51／3～6 52／3～4	5.9	40.3	0.62	—	—	656	1.35	66.8	1480	230	6.8

表 8 焼却炉の熱計算（処理汚泥TS 1ton 当り）

項 目			高分子凝集剤方式	塩化第二鉄方式	消石灰+塩化第二鉄方式
ケーキの 構成重量 (kg)	水 分 量		2,025	2,879	2,548
	凝 集 剤 乾 重 量	高分子凝集剤	6.2	—	—
		塩 化 第 二 鉄	—	92	53
		消 石 灰	—	—	319
ケー キ の 総 重 量			3,031	3,971	3,920
焼却所要時間（時間）			1.595	2.090	1.867
A 重油使用量（ℓ）			75.8	173.4	139.4
焼却炉発生 乾ガス量 (N㎡)	重油燃焼より		843	1,928	1,551
	ケーキ燃焼より		4,326	4,260	4,260
	合計乾ガス量		5,169	6,188	5,811
焼却炉発生 水蒸気量 (N㎡)	ケーキ付着水分より		2,520	3,583	3,171
	ケーキ中の水素燃焼より		227	224	224
	ケーキの燃焼用空気より		27	26	26
	重油中の水素燃焼より		90	207	166
	重油の燃焼用空気より		5	12	10
	合計水蒸気量		2,869	4,052	3,597
焼却炉発生湿ガス量（N㎡）			8,038	10,239	9,408
焼却炉の 熱収支 (kcal)	入 熱	ケーキの高発熱量	2,031,000	2,000,000	2,000,000
		重油の高発熱量	674,400	1,542,800	1,240,800
	出 熱	乾ガスの持去熱	465,400	557,200	523,300
		水蒸気の持去熱	1,674,900	2,365,300	2,099,600
		焼却灰の持去熱	41,400	47,700	67,100
		炉壁からの損失熱	157,900	206,800	184,800
		揮発分損失熱他	365,800	365,800	366,000

績値（5.9％，1.35 kg / ㎡・時）に一致させ，無機薬注の場合のケーキ含水率を補正した。汚泥濃度に関する補正は汚泥濃度と含水率の間の回帰直線：

$$Y = - 2.52 X + 83.8$$

X：汚泥濃度（％）
Y：ケーキ含水率（％）

を利用し、ろ過速度に関する補正は一定のろ過速度からろ過の打ち切り時間を逆算し、それをろ過時間ーろ液量曲線にあてはめてろ液量を求めて作った。その結果、ケーキ含水率の補正後の値は消石灰＋塩化第二鉄方式が65.0％、塩化第二鉄方式が72.5％となった。

このようにろ過速度を統一して焼却能力に影響するケーキ含水率の差に焦点を合わせた理由は、脱水機稼動時間の延長は可能であるが、焼却炉運転は本来24時間の設計となっていて、汚泥処理能力増強のネックとなっているからである。

5・2 焼却炉と再加熱炉の熱計算

維持管理費と建設費に影響するケーキ焼却量、A重油や白灯油の必要量、排ガスの発生量などを計算した結果を表8および表9に示した。処理汚泥の乾燥固形分(TS)を基準として計算した理由は、濃縮汚泥量や脱水ケーキ量で比較すると、水分や凝集剤の量が含まれるので、発生汚泥の処理能力を評価するのに好ましくないからである。

熱収支の計算条件については、炉出入口温度、炉効率、炉壁総括伝熱係数などは、過去の実績値を参考にし、比熱や比重などは、一般の物理定数表によった。更にバーナーの燃焼空気比は1.2、ケーキの燃焼空気比は2.0、ケーキの有機分率は40％、水素含有率は5％、乾燥固形分発熱量は2000kcal/kgとした。

ケーキ含水率を補正した塩化第二鉄方式と消石灰＋塩化第二鉄方式については、同条件で熱収支を計算し

不足熱量をA重油および白灯油の使用量を増すことにより補った。

5・3 処理能力と管理面の比較による評価

表10に各項目別の比較の結果を示した。塩化第二鉄方式は、焼却灰の処分については長所があるが、脱水と焼却の処理能力は低く、汚泥の脱水性が低下してきた場合に処理が困難になる。

消石灰＋塩化第二鉄方式では安定した脱水能力を得られる反面、湿ケーキ焼却量は大きいにもかかわらず、添加した消石灰量が多いため、実質汚泥(TS)の焼却能力は劣る。また焼却灰からの六価クロムの溶出、臭気などの二次公害の恐れも欠点である。

高分子凝集剤方式は焼却能力が高く、焼却灰の処分や臭気、作業衛生面でも有利である。問題点としては脱水能力がやや低いことである。

5・4 維持管理費の比較による評価

塩化第二鉄方式において、施設の腐食防止のために中和用の苛性ソーダを使用すると仮定すると、各方式とも薬品費用に大差はない。

焼却・排ガス処理・焼却灰処分に要する費用は高分子凝集剤方式が最も安価であり、他の2方式はこの約1.5倍を要する。

電力費用は脱水能力比と焼却能力比を参考にして求めたものに、共通電力量を合算したが、塩化第二鉄方式が最も高額となり、他の2方式には大差がない。

以上の計算結果は表11に示したが、高分子凝集剤方

表9 再加熱炉の熱計算(処理汚泥TS 1ton 当り)

項 目			高分子凝集剤方式	塩化第二鉄方式	消石灰＋塩化第二鉄方式
排ガス量 (Nm ³)	再加熱炉入口	乾ガス 水蒸気	5,169 241	6,188 289	5,811 271
	白灯油燃焼	乾ガス 水蒸気	2,695 351	3,226 420	3,030 394
排ガスの 得る熱量 (kcal)	再加熱炉入口	乾ガス 水蒸気	1,196,800 62,900	1,432,900 75,200	1,345,600 70,600
	白灯油燃焼	乾ガス 水蒸気	632,600 242,100	757,400 289,800	711,300 272,200
白灯油の有効高発熱量(kcal)			2,134,400	2,555,300	2,399,700
計算上の必要白灯油量(ℓ)			269.5	322.6	303.0
再加熱炉出口排ガス量 (Nm ³)		乾ガス	7,864	9,414	8,841
		水蒸気	592	709	665
		湿ガス	8,456	10,123	9,506

表10 処理能力と管理面および施設容量の比較

区分	項目	高分子凝集剤方式		塩化第二鉄方式		消石灰 + 塩化第二鉄方式	関係する費目					
							維持管理費					建設費
							薬品	重油	灯油	灰処分	電力	
脱水能力	ろ過速度	△	1.35 kg/m ² ・時	×	1.05 kg/m ² ・時	○	1.62 kg/m ² ・時				○	○
	ケーキ含水率	△	66.8 %	×	71.0 → 72.5 %	○	68.2 → 65.0 %	○	○		○	
	ケーキはくり性	△	時として悪い	×	悪い	○	一般的に良好				○	
	ケーキ容積(TS当)	○	—	×	高分子方式の131%	△	高分子方式の129%	○	○	○	○	○
	処理汚泥の捕集率	○	SS — 99.8 % TS — 98 %	×	SS — 98.7 % TS — 87 %	△	SS — 99.4 % TS — 90 %			○		
	汚泥性状の悪化時	△	性能・作業性の低下の不安感	×	著しい脱水性の低下により処理不能となる恐れ	○	消石灰の添加を増加するなどの対策あり	○			○	
焼却・排ガス能力	焼却量(TS換算)	○	—	×	高分子方式の76%	△	高分子方式の85%	○	○		○	○
	ケーキ高発熱量	○	—	×	高分子方式の75%	△	高分子方式の76%	○	○			
	ケーキ性状	△	軟らかくてケーキ貯留槽から流れ出すことがある	×	含水率が高く泥状になるとケーキ貯留槽から流れ出す	○	一般的に良好	○				
	焼却灰量(TS当り)	○	—	△	高分子方式の115%	×	高分子方式の162%			○		○
	焼却炉出口ガス量	○	—	×	高分子方式の127%	△	高分子方式の117%		○		○	○
	煙突出口排ガス量	○	—	×	高分子方式の120%	△	高分子方式の113%				○	○
操作・保守・管理	薬注率の管理	×	最適薬注率の管理技術	○	一般的に容易	△	消石灰注入が時として不安定	○				
	薬品の品質管理	×	分析が困難で受入検査方法が確立していない	○	廃棄物からの再生品が多いので重金属の分析が必要	△	塩化第二鉄の重金属分析と消石灰の粒度・含水率の管理	○				
	薬品の保存期間	○	溶解後に放置すると経時変化が大きい	○	特に問題なし	△	消石灰の吸湿性					
	日常の作業工数	○		×	開板補助と中和用苛性ソーダの注入	△	消石灰の袋からホッパーへの投入				○	
	定期的作業工数	△	ろ布洗浄と高分子凝集剤貯留槽の付着物除去	×	ろ布洗浄の回数大	○	集塵機の点検と建物に付着した石灰の除去				○	
	焼却炉の操作	△	現状の炉では高カロリーのため燃焼が上段へ移りやす	×	ケーキの流れ込みがあると焼却量の制御が困難となる	○	ケーキの無機分が多過ぎると灰コンベアの容量不足となる	○				
	装置の故障	○	溶解後の泡立ちと電極棒の脱落	△	腐蝕によるピンホール	×	消石灰ホッパーのトラブル配管内の石灰凝着				○	
	薬注施設の寿命	○	材質的には半永久的（中性）	△	中和ミス（酸性）による腐蝕の恐れ	×	塩化第二鉄系統の腐蝕					○
二次公害	作業衛生	○	付着しても水洗すればよい（中性）	△	衣服・身体に付くと好ましくない（酸性）	×	粉塵吸込み・皮膚の炎症の恐れ（酸性+アルカリ性）					
	臭気											
	{NH ₃ (脱水機棟)	○	0.28 ppm	○	0.20 ppm	×	3.69 ppm		○		○	
	{HCℓ(煙突排ガス)	○	N D	×	12.3 ppm	△	5.2 ppm		○		○	
	焼却灰の安全性	○	六価クロムの溶出 N D	○	六価クロムの溶出 N D	×	六価クロム溶出の恐れあり					
	自然環境に対する安全性	△	今後とも調査・検討が必要	○		○						

表 11 各薬注方式による維持管理費用（処理汚泥TS 1ton 当り）

区 分	費 目	高分子凝集剤方式		塩化第二鉄方式		消石灰+塩化第二鉄方式	
		量	金額(円)	量	金額(円)	量	金額(円)
脱 水	高 分 子 凝 集 剤	6.2 kg	9,300	—	—	—	—
	塩 化 第 二 鉄	—	—	92 kg	5,090	53 kg	2,930
	消 石 灰	—	—	—	—	319 kg	5,370
	苛性ソーダ(中和用)	—	—	67 kg	4,220	—	—
焼 却	A 重 油	76 ℓ	2,580	173 ℓ	5,880	139 ℓ	4,730
	白 灯 油	202 ℓ	6,870	274 ℓ	9,320	273 ℓ	9,280
	焼 却 灰 処 分	600 kg	2,940	692 kg	3,110	972 kg	4,370
共 通	電 力	483kwh	6,040	613kwh	7,660	517kwh	6,460
	そ の 他	—	28,980	—	30,080	—	28,980
汚泥TS 1ton 当り 汚泥処理費用（円）		56,710		65,360		62,120	
高級処理水 1 ㎡当り 処理場維持管理費用（円）		9.9		10.6		10.3	
年間全費用 （円）	汚 泥 処 理	180,000,000		207,450,000		197,170,000	
	高分子方式との差	—		増 27,450,000		増 17,170,000	

式は、塩化第二鉄方式より年間2,800万円程度、消石灰+塩化第二鉄方式より年間1,800万円程度の維持管理費が節減出来ることがわかった。しかし、各目の単価は実勢価格が変動しているので、参考値として判断していただきたい。

5・5 建設費の比較による評価

表10のごとく、塩化第二鉄方式はケーキ容積とガス量が大きいため、高分子凝集剤方式に比べて処理施設容量は20～30％程度大きいものが必要となる。

消石灰+塩化第二鉄方式の処理施設容量は、ケーキ搬送装置が29％、焼却灰～スクラバが17％、吸収塔～煙突が13％、灰搬出装置が62％程度大きいものが必要となる。

薬注施設の必要スペースは、高分子凝集剤方式が最も狭くてよく、消石灰+塩化第二鉄方式が最も広いスペースを要する。

結論としては、新たに建設する場合には高分子凝集剤方式の建設費が最も安価となる。

6. CSTによる最適薬注率の管理

無機薬注の場合には、薬注率が脱水性に与える影響は高分子薬注に比べて小さく、ある一定値以上の薬注率が確保されていれば、脱水が不能となるような事態の発生はほとんど認められない。ところが図-2にも示

したように高分子薬注の場合には、若干の過剰注入が脱水性の低下の原因となり得る。また、高分子凝集剤は単価が高いために、常に最適の薬注率で操作を行わないと経済的にも大きな損害を生じることになる。

従来、無機薬注ではパイロット機による実験結果やスッチェテストの比抵抗値などを参考にして薬注率を決めてきた。しかし、これらの方法では長い時間と繁

図-11 薬注率と CST, 比抵抗

雑な計算を必要とし、更に結果が判明した時には当日の処理が終了しているなど、現場の日常管理としては不向きである。ことに、高分子薬注を実プラントに導入するには、薬注率の合理的かつ迅速な決定法の確立が必須のものとなってくる。

そこでCST (Capillary Suction Time) メーター^{3, 4)}を用いて、ろ紙の毛管中をろ液が通過する所要時間を測定することにより、薬注汚泥のろ過性を現場的に判定出来るかどうかの検討を行った。その結果下記の理由によりCSTメーターは、最適薬注率の日常管理指標として括用出来る見通しを得た。

- (1) 薬注率を変化させると、CSTは比抵抗と同じ傾向の変化を示し、薬注汚泥のろ過性を把握でき、最適薬注率での管理が行える。(図-11)
- (2) CSTは試料数が多くても測定所要時間が非常に短く、測定結果を当日の薬注率管理へフィードバックできる。
- (3) 装置が簡単で操作もやさしく、現場作業員でも測定が可能である。

CSTの影響因子、他の脱水指標との関係などの特性については、引き続き実験中である。また、薬注率以外での現場維持管理面への適用についても検討中であり、次の機会に報告したい。

7. お わ り に

加圧脱水と多段焼却炉の汚泥処理システムにおいて薬注方式の改善を検討した。基礎実験のあと、高分子凝集剤使用による実プラント処理実験がでたので、従来の薬注方式との比較と評価を行った。その結果高分子凝集剤による加圧脱水は、技術的にも経済的にも充分な実用化の見通しを得た。更に、今後に残された課題について積極的な検討を加えていけば、汚泥処理システムでの一分野を確立出来るではないかと思われる。

謝 辞

汚泥の処理と本論文の作成にあたり、御協力いただいた小林氏・稲野氏(操作管理)と井藤氏・北岸氏(データ解析)他、川俣処理場関係者各位に感謝の意を表します。(54.10.10受付)

参 考 文 献

- 1) 柏原太郎:「クロム-カルシウム系の高温酸化反応について」, 金属表面技術, Vol. 24, No. 9, pp. 500~505 (1973)

- 2) 大森英三:「高分子凝集剤」新高分子文庫4, 高分子刊行会(1973), pp. 17~18.
- 3) British Patent 1,161,792
- 4) Baskerville R. C. and Gale R. S., "A Simple Automatic Instrument for Determining the Filtrability of Sewage Sludges", Water Poll. Control, Vol. 67, pp. 233~241 (1968)