

「脱水用高分子凝集剤の選定について」

調査研究報告書（令和 7 年度）

公益財団法人山梨県下水道公社

桂川清流センター

1 目的

当センターで発生する脱水汚泥の含水率は、年間平均値で 70%を下回る極めて良好な状況となっており、脱水汚泥運搬、処分に係るコストが低く抑えられることから、維持管理費の低減に大きく寄与している。しかしながら、これまで脱水工程で使用していた凝集剤の主成分であるポリアミジンの製造中止がメーカーから示され、これに代わる薬品を選定する必要性が生じた。

当センターは、遠心型と二重円筒加圧型という異なる機構の脱水機をそれぞれ一台ずつ保有しており、本調査研究では、これらに適合する代替薬品の選定を行うものである。

なお、本報告書では濃縮、脱水前の汚泥を単に「汚泥」、汚泥を濃縮したものを「濃縮汚泥」、濃縮汚泥に凝集剤を添加したものを「凝集汚泥」、凝集汚泥を脱水したものを「脱水汚泥」と表現する。

2 汚泥処理設備

表 1 に当センターの汚泥処理設備の概要を示す。

表 1 汚泥処理設備概要

設 備 名	構 造 及 び 能 力
重力濃縮設備	・ $\phi 7.0\text{m} \times \text{深 } 4.0\text{m}$ 154m ³ （1 槽当り）1 槽
機械濃縮設備	・ 遠心濃縮機（横軸遠心濃縮機） 処理能力 10m ³ /h 動力 11.5 kW ・ 機械濃縮機（ベルト型ろ過濃縮機） 処理能力 10m ³ /h 動力 2.85 kW
脱水設備	・ 遠心脱水機（高効率型横型遠心脱水機） 処理能力 5m ³ /h 動力 29.9 kW ・ 汚泥脱水機（二重円筒加圧脱水機） 処理能力 77.0kg-DS/m ² .h 動力 8.7kW

3 凝集剤

3.1 汚泥処理における凝集剤の役割

多くの下水処理場では図 1 に示すとおり液状の汚泥を濃縮、脱水して固形化したあとに肥料、セメントなどへの資源化や埋め立てなどの最終処分を行っている。

（最初沈殿池、最終沈殿池）汚泥 → （重力式、機械式）濃縮
→ 脱水 → 資源化・最終処分

図 1 下水処理場における一般的な汚泥処理工程

外部機関に委託して資源化や最終処分を行う場合は、運搬や処理コストを低減するため、脱水汚泥の含水率を低く保つ必要があり、濃縮汚泥に適合する凝集剤を選定することは重要な作業である。

3.2 高分子凝集剤の作用機構

一般に、汚泥中の懸濁粒子の表面はマイナスの電荷を帯びており、粒子同士は反発しながら安定的に分散しているため、プラス（カチオン）の電荷を持つ凝集剤を添加し、荷電中和（凝結）により微細なフロック（凝結体）を生成させる。

図 2 に凝結反応の概念を示す。



図 2 高分子凝集剤の作用機構（凝結反応）

微細なフロック（凝結体）では効果的な脱水が行えないため、適度な大きさや強度を持ったフロック（凝結体）にする必要があり、効果的な架橋（凝集）性能を備えた凝集剤を選定する。

図 3 に凝集反応の概念を示す。

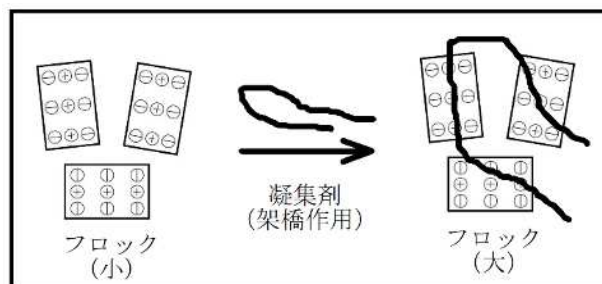


図 3 高分子凝集剤の作用機構（凝集反応）

3.3 高分子凝集剤の使用

高分子凝集剤の使用方法を以下に示す。

- (1) 溶解濃度 0.1～0.5%の水溶液として使用する（当センターは0.3%に溶解）
- (2) 薬注率は濃縮汚泥固形物当たり1%前後とする

高分子凝集剤の水溶液は、溶解タンクに保存中に一部が分解して効果が低下するため、溶解後は速やかに使用する。

写真 1 に凝集剤を加える前の濃縮汚泥を、写真 2 に凝集剤を加えている様子を、写真 3 に凝集汚泥の様子を示す。



写真 1 濃縮汚泥



写真 2 凝集剤添加



写真 3 凝集汚泥

なお、図 4 に示すとおり、薬注率が過小であると適正な凝集の途上となるため脱水汚泥の含水率も低減の途上となるが、過大となった場合も汚泥粒子が凝集状態から再分散状態となり、粘着性も高まって含水率が上昇するため、適正な薬注率を設定する必要がある。

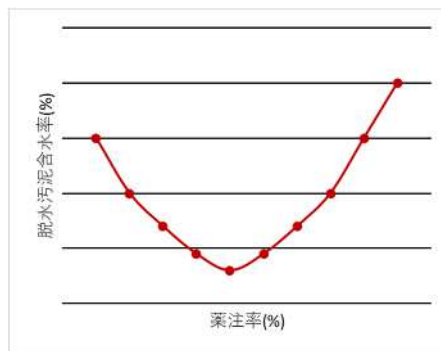


図 4 薬注率と含水率の一般的な傾向

4 凝集剤選定試験

4.1 選定手順

汚泥処理において濃縮汚泥に添加する高分子凝集剤は、なるべく少ない薬注率で、脱水性能のうち特に脱水汚泥の含水率が低くなる薬品を選定することが求められるが、濃縮汚泥の性状は下水処理場ごとに様ではなく、当センターの汚泥性状や脱水方式に適した薬品を実験的に求める必要がある。

本調査研究で行った選定手順を以下に示す。

- (1) 3社の薬品メーカーに机上試験を依頼した（メーカー推奨薬品の選定）
- (2) メーカー推奨薬品について当センターで遠心型、二重円筒加圧型脱水機で実機試験を行った
- (3) 実機試験の結果、両機構の脱水機に総合的に適合する薬品を選定した

4.2 薬品メーカーによる机上試験（脱水性能試験）

各メーカーで実施した机上での脱水性能試験の手順を以下に示す。

なお、対象として現行品（ポリアミジン 100%）についても行うものとする。

- (1) 試料 100mL に対し、凝集剤を所定量添加する
- (2) 150rpm × 1 分間攪拌し、フロック径を測定する
- (3) 円錐型ろ過器（ろ過 60～80 メッシュ）に凝集汚泥を流し入れ、ろ過量を測定する
- (4) ろ過後の凝集汚泥をろ布で挟み、所定の圧力で所定時間脱水し脱水汚泥の含水率を測定する

表 2 に、各メーカーが選定した推奨品の主成分を示す。

表 2 各メーカー推奨品の主成分

社名	薬品名	主成分
A 社	A 剤	アクリレート架橋品とメタクリレートの混合（混合比非公開）
B 社	B 剤	アクリレート架橋品とメタクリレートの混合（混合比 1 : 1）
C 社	C 剤	アクリレート架橋品とアクリレートの混合（混合比 1 : 1）
D 社	現行品	ポリアミジン100%

表 3 に、各メーカーの脱水性能机上試験結果を示す。

表 3 から、試料 100mL 当たりのろ液量を現行品と比較すると、A 剤はほぼ同等、B 剤は優れており、C 剤は劣る結果となっている。また、含水率は各メーカーで脱水加圧条件が異なるためメーカー間で差があるが、現行品と比較すると、A 剤、B 剤はほぼ同等、C 剤は 2.3%劣る結果であった。

表 3 各メーカー脱水性能机上試験結果

【A社】

薬品名	薬注率 (%/TS)	フロック径 (mm)	試料100mL当たりろ過量(mL)			脱水汚泥 含水率(%)	備 考 (脱水加圧条件)
			10秒	20秒	30秒		
現行品	0.70	1.2	26	37	44	69.7	6.0kg/cm ² ×10分
A剤	0.70	2.5	28	38	45	69.5	

【B社】

薬品名	薬注率 (%/TS)	フロック径 (mm)	試料100mL当たりろ過量(mL)			脱水汚泥 含水率(%)	備 考 (脱水加圧条件)
			10秒	20秒	30秒		
現行品	0.60	0.2	—	36	44	76.0	平均1.8kg/cm ² ×3分
B剤	0.78	1.5	—	44	49	76.5	

【C社】

薬品名	薬注率 (%/TS)	フロック径 (mm)	試料100mL当たりろ過量(mL)			脱水汚泥 含水率(%)	備 考 (脱水加圧条件)
			10秒	20秒	30秒		
現行品	0.54	1.5	20	30	34	78.4	3.0kg/cm ² ×1分
C剤	0.66	2.5	18	25	30	80.7	

4.3 当センターによる実機試験結果

各メーカーの推奨品を用いて遠心脱水機並びに二重円筒加圧脱水機により脱水を行った。

表 4 に、遠心脱水機の結果を示す。

表 4 遠心脱水機の実機試験結果

薬品名	薬注率 (%)	供給汚泥量 (m ³)	供給汚泥 濃度(%)	薬品量 (m ³)	差速 (rpm)	振動	油圧圧力 (Mpa)	脱水汚泥 含水率(%)
現行品	1.20	5.04	3.70	0.74	2.9	0.20	10.0	70.6
A剤	1.00	4.99～5.03	3.70	0.79	2.4～2.9	0.18～0.24	10.0～10.3	72.2
	1.10	4.97～5.02	3.75	0.87	2.8～2.9	0.18～0.23	10.0	72.2
	1.20	5.01～5.02	3.75	0.97	2.8～3.0	0.18～0.23	9.9～10.2	72.1
	1.20	5.01～5.02	3.75	0.97	2.8～3.0	0.18～0.23	9.9～10.2	72.1
薬品名	薬注率 (%)	供給汚泥量 (m ³)	供給汚泥 濃度(%)	薬品量 (m ³)	差速 (rpm)	振動	油圧圧力 (Mpa)	脱水汚泥 含水率(%)
現行品	1.20	5.02	3.35	0.64	2.7～2.8	0.17～0.22	10.0	70.9
B剤	1.00	4.98～5.00	3.45	0.56	2.5～2.8	0.18～0.24	10.0～10.2	71.4
	1.10	4.98～5.00	3.45	0.62	2.6～2.8	0.18～0.23	10.0	71.1
	1.20	4.98～5.02	3.40	0.68	2.7～2.8	0.18～0.23	10.0	71.0
	1.20	4.98～5.02	3.40	0.68	2.7～2.8	0.18～0.23	10.0	71.0
薬品名	薬注率 (%)	供給汚泥量 (m ³)	供給汚泥 濃度(%)	薬品量 (m ³)	差速 (rpm)	振動	油圧圧力 (Mpa)	脱水汚泥 含水率(%)
現行品	1.20	5.02	3.40	0.68	2.8～2.9	0.16	10.0	72.2
C剤	1.00	5.01～5.04	3.35	0.55	2.5～2.7	0.16～0.20	10.0～10.1	73.0
	1.10	5.01～5.04	3.36	0.61	2.7	0.19～0.26	9.9～10.1	71.9
	1.20	5.02～5.04	3.38	0.67	2.7	0.20～0.24	10.0	71.6
	1.20	5.02～5.04	3.38	0.67	2.7	0.20～0.24	10.0	71.6

表 4 から、含水率を現行品と比較すると、A 剤は各薬注率で 1.5～1.6%劣っており、B 剤は各薬注率で同等か若干劣っている。また、C 剤は薬注率が低いと含水率が高い状況であるが、現行品と同じ薬注率 1.2%では含水率が 0.6%優れている。

表 5 に、二重円筒加圧脱水機の結果を示す。

表 5 二重円筒加圧脱水機の実機試験結果

薬品名	薬注率 (%)	供給汚泥量 (m ³)	供給汚泥濃度 (%)	薬品量 (m ³)	トルク (%)	圧入圧 (kPa)	脱水汚泥含水率 (%)
現行品	0.85	6.0	3.76	0.63	73	74.6	67.9
A 剤	1.05	5.0	3.68	0.84	29	76.0	72.2
	1.10	5.0	3.73	0.89	31	74.2	71.2
	1.15	5.0	3.75	0.94	31	76.0	70.6
	1.20	5.0	3.76	0.97	37	75.0	69.4
薬品名	薬注率 (%)	供給汚泥量 (m ³)	供給汚泥濃度 (%)	薬品量 (m ³)	トルク (%)	圧入圧 (kPa)	脱水汚泥含水率 (%)
現行品	0.73	6.2	3.45	0.52	69	75.0	68.9
B 剤	1.00	5.0	3.39	0.56	41	74.2	69.2
	1.10	5.0	3.39	0.62	53	75.6	67.7
	1.20	5.0	3.39	0.68	43	73.7	68.4
薬品名	薬注率	供給汚泥量 (m ³)	供給汚泥濃度 (%)	薬品量 (m ³)	トルク (%)	圧入圧 (kPa)	脱水汚泥含水率 (%)
現行品	0.85	6.0	3.40	0.57	63	74.0	68.7
C 剤	1.20	5.0	3.41	0.68	24	75.0	70.6
	1.30	5.0	3.47	0.74	36	75.0	69.6
	1.35	5.0	3.47	0.76	31	76.0	脱水不可

表 5 から、各薬剤について以下のことが言える。

A 剤は、薬注率を高めることで、現行品の脱水汚泥含水率に近づく可能性があるが、1.5%程度の開きがある。

B 剤は、薬注率が 1.0～1.2%で、現行品の脱水汚泥含水率と同等の結果が得られた。

C 剤は、薬注率高いと凝集が不安定であり 1.2～1.3%の狭い範囲で現行品の脱水汚泥含水率に近づいているが、その差は 1～2%程度の開きがある。

4.4 まとめ

当センターは、遠心型と比較して動力が小さく、定期的な分解点検・整備においてコストが有利であり、凝集剤薬注率、脱水汚泥含水率ともに低く推移しているため、二重円筒加圧脱水機を優先的に使用している。

表 4 に示す、遠心脱水機の実機試験結果をみると、B 剤、C 剤は薬注率、含水率ともに現行品と同等か優れる結果となった。

一方、表 5 に示す二重円筒加圧脱水機の実機試験結果をみると、C 剤は有効な薬注率が高めでしかも範囲が狭い状況であった。また、薬注率を 1.35%としたときに脱水が不可能となった原因は、主成分がアクリレートのため粘性が高まり、凝集不良を起こしたものと考えられる。

A 剤と B 剤の比較では、A 剤は薬注率が 1.1～1.2%の範囲で比較的良好な含水率となっている

が、B剤は1.0～1.2%の範囲で含水率が70%を下回っており、安定的に脱水が行われていた。

上記の状況を表6に示す。

表6 実機試験結果による判定結果

薬品名	遠心型	二重円筒加圧型	判 定	備 考
A剤	×	△		○：優れる
B剤	△	○	採用	△：普通
C剤	○	×		×：劣る

表6より、B剤（アクリレート架橋品とメタクリレートの1：1混合品）を現行品の代替薬品として採用する。

5 コスト比較

5.1 汚泥処理実績値

本調査研究で選定されたポリアミジンに代わる高分子凝集剤は、表2に示すB剤であるが、ポリアミジン100%の現行品（R7実績）とのコスト比較を行うものとする。

表7に、令和7年度の汚泥処理に関する実績値を示す。

表7 汚泥処理に関する実績値（R7）

項 目	単 位	実 績 値
R7遠心脱水機供給汚泥量	m ³ /年	1,142.1
R7二重円筒加圧脱水機供給汚泥量		12,674.8
R7遠心脱水機脱水汚泥固形物量	kg/年	38,425
R7二重円筒加圧脱水汚泥固形物量		471,631
R7遠心脱水機回収率	%	87.4
R7二重円筒加圧脱水機回収率		97.5
R7遠心脱水機薬注率	%	1.14
R7二重円筒加圧脱水機薬注率		0.77
R7遠心脱水機脱水汚泥含水率	%	72.0
R7二重円筒加圧脱水機脱水汚泥含水率		67.7

5.2 コスト比較結果

表8に、コスト比較を行う際の算出条件を示す。

ここで出力（定格値）とは、二重円筒加圧脱水機において所定の含水率を得るために、供給汚泥量を低減したことによる運転時間延長分の電力費を算出するため、脱水機本体と四つの脱水汚泥搬出機の出力（定格値）を足したものである。

表8 コスト比較算出条件

項 目	単 位	設 定 値
脱水汚泥運搬費（税込）	円/t	R7契約額
脱水汚泥処分費（税込）	円/t	R7契約額
現行品薬品費（税込）	円/kg	R7契約額
B剤薬品費（税込）	円/kg	R7実勢価格
出力（定格値）	kW	34.4
負荷率	—	0.8
電力単価（税込）	円/kWh	R7清流センター年間平均値

表 9 に、B 剤の遠心脱水機実機試験結果を改めて示す。

表 9 遠心脱水機の実機試験結果 (B 剤)

薬品名	薬注率 (%)	供給汚泥量 (m ³)	供給汚泥濃度 (%)	薬品量 (m ³)	差速 (rpm)	振動	油圧圧力 (Mpa)	脱水汚泥含水率 (%)
B 剤	1.00	4.98~5.00	3.45	0.56	2.5~2.8	0.18~0.24	10.0~10.2	71.4
	1.10	4.98~5.00	3.45	0.62	2.6~2.8	0.18~0.23	10.0	71.1
	1.20	4.98~5.02	3.40	0.68	2.7~2.8	0.18~0.23	10.0	71.0

続いて、表 10 に B 剤の二重円筒加圧脱水機実機試験結果を改めて示す。

表 10 二重円筒加圧脱水機の実機試験結果 (B 剤)

薬品名	薬注率 (%)	供給汚泥量 (m ³)	供給汚泥濃度 (%)	薬品量 (m ³)	トルク (%)	圧入圧 (kPa)	脱水汚泥含水率 (%)
B 剤	1.00	5.0	3.39	0.56	41	74.2	69.2
	1.10	5.0	3.39	0.62	53	75.6	67.7
	1.20	5.0	3.39	0.68	43	73.7	68.4

表 7 の汚泥処理実績値、表 8 の算出条件と表 9、表 10 に示す実機試験の薬注率と含水率を用いて、脱水汚泥運搬処分費、薬品費並びに運転時間延長分の電力費を、B 剤の薬注率ごとに現行 (R7 実績) と比較したものを表 11 に示す。

表 11 B 剤と現行品のコスト比較

薬品名	薬注率 (%)	汚泥運搬処分費 (円/年)	薬品費 (円/年)	電力費※ (円/年)	合計 (円/年)	現行品との差額 (円/年)
現行品 (R7 実績)	—	42,016,143	7,089,390	—	49,105,533	—
B 剤	1.00	43,641,400	5,575,680	124,170	49,341,250	235,717
	1.10	41,801,100	6,124,800	124,170	48,050,070	-1,055,463
	1.20	42,589,800	6,684,480	124,170	49,398,450	292,917

※) 二重円筒加圧脱水機、脱水汚泥搬出機 (4 台) の延長運転に係る現行との差額

表 11 から、現行よりも薬注率が高い場合でも、B 剤の方が薬品単価が安い場合、含水率が同程度となればコストが有利となる場合があるが、脱水機への供給汚泥量を低くするなど運転調整が必要な段階であり、安定的に含水率を低減する方法の確立が課題である。

5.3 まとめ

- (1) B 剤について薬注率ごとに現行品とのコスト比較を行った結果、現行品よりも有利な場合もみられた。
- (2) 本調査研究では、B 剤での実機試験回数が少なく、さらなる運転調整が必要である。

6 まとめ

これまでの調査結果を以下に記載する。

- ・ポリアミジン製造中止後において、遠心型、二重円筒加圧型の脱水機に適合する高分子凝集剤として「アクリレート架橋品とメタクリレートの 1 : 1 混合品」を選定した。
- ・上記の凝集剤について、薬注率ごとに現行品とのコスト比較を行った結果、現行品よりも有利な場合もみられた。

7 課題

本調査研究内容の課題を以下に記載する。

- ・本調査研究では、主成分や主成分の混合比が異なる三つの凝集剤について選定を行ったが、実機での運転回数が少ないため、選定した凝集剤についてはさらなる運転調整を行い、脱水性能を高めて、コスト抑制に努めていくこととする。

具体的な調整手法として、現在、主機として運用している二重円筒加圧脱水機では、ポリアミンを使用時は、脱水機へ供給する汚泥量を一定にして、内外筒スクリーンの回転数を制御する方式を選択したが、B剤の場合は、供給する汚泥量を変動させる制御方式を選択して、含水率の動向を調査していく。

○専門用語解説（五十音順）

用 語	解 説
アクリレート	下水汚泥を固める高分子凝集剤の一種でアクリル酸エステルという化合物を主成分としたもの。
えんしんだっすいき 遠心脱水機	浄化（清流）センターから発生する汚泥の水分を、遠心力を用いて除去する設備。
かきょう 架橋	汚泥処理において、細かい汚泥の粒子同士を結び付けて大きな固まりにする作用のこと。
こうぶんしぎょうしゅうざい 高分子凝集剤	汚泥処理において、汚泥中の粒子を凝集させ、脱水性を向上させるための薬剤。
にじゅうえんとうかあつだっすいき 二重円筒加圧脱水機	縦型に配置された二重円筒内で汚泥に圧力を掛けて水分を搾り出す設備。
ポリアミジン	高分子凝集剤の一種でアミジン基という化合物を多くもつもの。特に脱水しにくい汚泥の凝集剤として用いられている。2026年3月で販売中止となっている。
メタクリレート	下水汚泥を固める高分子凝集剤の一種でメタクリル酸エステルという化合物を主成分としたもの。