

造粒調質濃縮技術の実用化研究

1. 研究目的

分離濃縮を行っている処理場においては、最初沈殿池から発生する生汚泥は重力濃縮、余剰汚泥は機械濃縮することにより、一般には混合濃縮に比較して良好な処理が行われている。しかし、分離濃縮を行っている処理場においても、特に処理量の多い大規模処理場においては、より効率的、経済的な濃縮方法が求められている。東京都の清瀬処理場では、大量で連続的に発生し、濃度・性状の変化する汚泥を効率的に、しかも安定的に処理する必要性から、余剰汚泥の機械濃縮法の一方法として、造粒調質濃縮設備を建設している。

本実用化研究は、この設備を運転することにより、余剰汚泥を対象とした造粒調質濃縮技術の実規模での性能評価及び運転管理・システム維持管理手法などの評価を行うことを目的とし、本年度は、実設備導入に向けての予備調査として車載型試験機による四季を通じての処理性能の確認と現状の処理状況の把握を目的として行った。

2. 研究内容

2.1 実用化研究の対象技術

本研究で対象とする造粒調質濃縮法は、従来の方法と異なり、濃縮前の汚泥に金属塩助剤と両性ポリマーを添加し、特殊な構造をした造粒濃縮槽で、汚泥をペレット状にして、濃縮と調質を効率よく同時

に行い、濃縮汚泥を直接脱水機へ投入して脱水する方法である。また、本技術は、汚泥性状が変動・悪化しても安定した濃縮・脱水が可能であり、汚泥中のリンの固定化や臭気発生抑制等の副次的な効果を有するなどの特徴を持った技術である。

東京都では、以前よりこの技術に着目し、これまで大規模汚泥処理の混合汚泥に適用するべく①装置の大型化、②自動制御方法の確立、③本法のシステム化を重点目標に開発を行ってきた。その結果、実規模スケール（処理能力90m³/h）のパイロットプラントで当初の技術開発目標を達成した。本実用化研究では、大規模汚泥処理システムとしてまだ技術的に確立されていない余剰汚泥を対象とした大規模汚泥処理システムの評価を行う（表-1参照）。

表-1 これまでの開発経緯と本研究の対象

供試汚泥	原泥濃度 %	プラント規模	ろ過速度 kg/m/h	ケーキ含水率 %
混合汚泥 (三河島)	約0.5~1.5	90m ³ /h 実規模プラント	300	約74~79
余剰汚泥 (砂町)	約0.5	30m ³ /h パイロットプラント	100	約82~83
余剰汚泥 (清瀬)	0.3~0.5	90m ³ /h 実設備		本実用化研究での調査

2.2 研究項目

本実用化研究では、主として次の項目の研究を行う。

- (1) 造粒調質濃縮システムの処理性能評価

①机上テスト調査→②車載型試験装置による実証調査→③実装置による性能確認調査及び④維持管理・運転管理手法調査

(2) 造粒調質濃縮システムの副次的効果等についての確認調査

- ① マスバランス調査 (SS, T-Pの導入前後の回収率の比較)
- ② 焼却性能調査 (混合ケーキの自燃焼却の確認)
- ③ 経済性評価

これらの内、本年度調査では、①机上テストによる四季を通じての汚泥性状変動調査と造粒性調査及び脱水性能予測、②車載型試験装置による四季を通じての造粒濃縮性、脱水性能の確認、③現行処理プロセスにおけるマスバランス調査、④平成7年度導入設備の目標値の設定について研究を行ったので、ここで報告する。

2.3 研究の前提と目標

本研究は、分離濃縮を行っている大規模処理場(標準活性汚泥法)から発生する余剰汚泥を対象とした処理システムの実用化を目的としており、①本システムへの供給汚泥濃度を0.3~0.5%、②本技術で用いる薬剤は、分子内系両性ポリマー(有効pH4.0~5.5)と助剤としての塩化第二鉄(最適pH4.0~4.5)を用いることを前提に行った。

また、本システムの実用化にあたっては、開発目標として主に次の目標を定めた。

- ① ろ過速度100kg-DS/m/hで脱水ケーキ含水率80%以下とする。(後続プロセスである汚泥焼却において初沈汚泥と余剰汚泥からの混合ケーキの自燃焼却を前提とし、そのために必要な含水率を目標とした。)
- ② ポリマー添加率は1%/TS以下を目標とする。(初沈汚泥を重力濃縮、余剰汚泥を機械濃縮し、混合脱水を行う従来法とほぼ同等の経済性となるよう、運転費に占める割合の最も高いポリマー添加率の目標値を定めた。)

2.4 本年度研究の内容

以降は、本年度研究の主要な部分である机上試験及び車載型試験装置による本システムの処理性能評価に関する事項について述べる。

2.4.1 机上試験

清瀬処理場の余剰汚泥、一沈汚泥(初沈汚泥と余剰汚泥の混合汚泥)などをサンプリングし、汚泥性状分析を行うことにより、汚泥性状の季節変動を把握し、また、サンプリングした汚泥を机上テストす

ることにより、最適薬剤仕様及び造粒濃縮性・脱水性の予測を行い、車載型試験装置による実証調査の目安とするために実施した。

机上テストでは、採取汚泥200mlを用いて机上で造粒調質濃縮操作を行い、助剤による汚泥改質度合やポリマー添加率、造粒性について調査した。また、重力ろ過操作、圧搾脱水操作により、ろ過速度の目安や脱水ケーキ含水率、脱水ケーキ剥離性等を調べた。

2.4.2 車載型試験装置による試験

平成7年度に実施設を用いた実証調査を行うに先立って、机上テストの結果を参考としながら、実施設の目標値を設定するための予備調査として実施した。車載型試験装置は、移動脱水車に積載された装置で、主な装置の仕様は次のとおりである。

造粒濃縮槽：有効容量0.6m³(処理能力6~9m³/h)

脱水機：ベルトプレス型脱水機(ハイドロプレスPA-750, ろ布幅0.5m)

この試験は各季節の4回、机上テスト終了後に実施した。この試験の調査項目は、次のとおりである。

- ・薬剤添加率と造粒濃縮性の調査
- ・濃縮汚泥濃度とSS回収率の調査
- ・T-Pの回収率調査
- ・ろ布速度、ろ布張力の影響の調査
- ・ろ過速度と脱水ケーキ含水率の調査
- ・一沈汚泥を脱水助剤として用いた場合での性能調査

3. 研究結果と考察

3.1 机上試験結果と考察

机上試験の結果は、次のとおりであった。

(1) 汚泥の脱水性区分と性状の季節変動の把握

汚泥の脱水性区分の指標としてW₀(無薬注遠沈含水率)を用いると、一沈汚泥は通常の脱水性あるいは易脱水性に属するのに対し、余剰汚泥は四季を通じて非常に脱水困難な汚泥であることが確認された(表-2参照)。

表-2 机上テストへの供試汚泥の性状

汚泥種	TS (%)	SS (%)	VSS/SS (%)	M 74カリ (mg/t)	FIB/TS (%)	W ₀ (%)	判定	
春	余剰	0.34	0.33	78.0	160	2.1	94.3	脱水困難
	一沈	2.10	1.94	83.5	348	25.7	91.1	通常脱水性
夏	余剰	0.30	0.24	76.9	190	2.0	94.6	脱水困難
	一沈	2.45	2.23	84.1	570	55.7	88.8	易脱水性
秋	余剰	0.51	0.44	82.4	138	1.6	95.1	脱水困難
	一沈	1.20	1.12	84.2	250	29.2	87.7	易脱水性
冬	余剰	0.66	0.60	80.9	186	0.7	96.5	脱水困難
	一沈	0.98	0.87	84.8	329	30.2	88.5	易脱水性

W₀--88.9% : 易脱水性汚泥
 89.0~91.3% : 通常脱水性汚泥
 91.4~93.6% : 難脱水性汚泥
 93.7~ : 脱水困難汚泥

(2) 最適薬剤仕様の調査

余剰汚泥単独処理における造粒調質濃縮法で用いる薬剤仕様は、四季を通じて塩化第二鉄と両性ポリマーの組合せが最適であった。造粒調質濃縮技術で用いられる助剤としては、塩化第二鉄 (FeCl₃)、ポリ鉄 (PFS) 及びポリ塩化アルミニウム (PAC) があるが、汚泥pHと助剤添加率の関係をみてみると (図-1)、塩化第二鉄が有効範囲pH4.0~5.5にするのに最も少ない添加率であった。また、この時汚泥CST値が十分低下していた。これは、本研究のように大量の汚泥処理を前提としている場合には、特に重要である。

なお、薬剤添加率としては、原泥TS濃度に影響され、TS=0.3%時では塩化第二鉄で8~9.5%対TSasFeCl₃、両性ポリマーで1.2~1.4%対TSであり、TS=0.5%時ではそれぞれ5~7%対TSasFeCl₃、1~1.1%対TS程度であった。

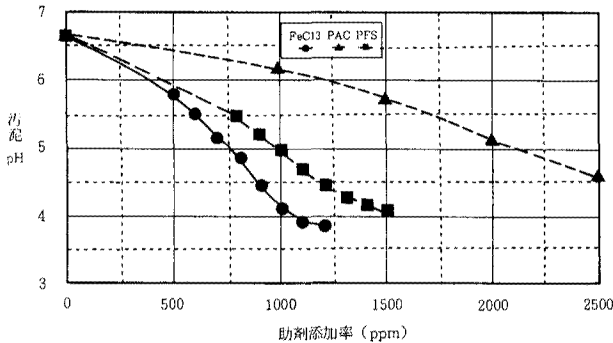


図-1 助剤添加率と汚泥pHの関係 (冬季)

(3) 脱水性能の予測調査

余剰汚泥単独の場合、四季を通じてろ過速度で120kg-DS/m・h程度まで処理可能で、その時のケーキ含水率は82~83%程度が得られると予測された。

(4) 一沈汚泥を脱水助剤として用いた場合での性能予測調査

余剰汚泥に一部一沈汚泥を混合した場合、混合汚泥中の粗繊維分として10%対TSであれば、脱水ケーキ含水率を80%以下にできると予測された。

3.2 車載型試験装置による試験結果

(1) 試験期間中の汚泥性状について

車載型試験装置による試験期間中の余剰汚泥の季節変動は図-2のとおりであった。原泥TS濃度は、春季及び夏季においては0.2~0.3%、秋季及び冬季には濃度範囲を広げて調査をするため

に意図的に濃度を高める運転を行い、その結果、原泥TS濃度は0.3~0.7%であった。このように原泥TS濃度を変化させてみたが、脱水性に影響を及ぼすW.及び正味有機分 (VSS/SSから繊維分を引いたもの) はいずれも高い値で安定しており、脱水性に与える汚泥性状の季節変動は認められなかった。

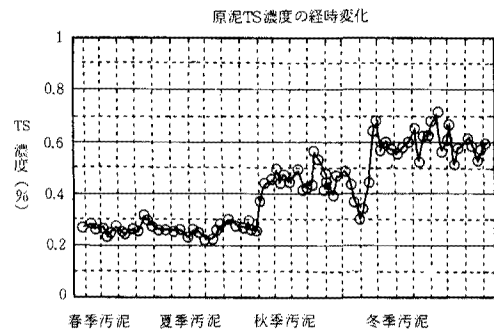
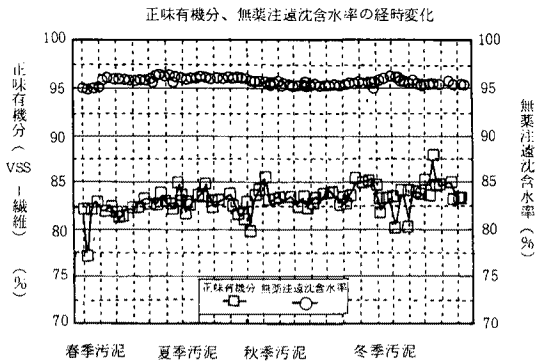


図-2 汚泥性状の変化 (車載型試験期間)

(2) 薬剤添加率について

① 助剤添加率

助剤添加率は、机上テストの結果とほぼ同様に原泥TS濃度に影響され、TS=0.3%時では塩化第二鉄で8~9.5%対TSasFeCl₃、TS=0.5%時では5~7%対TSasFeCl₃対TS程度であった (図-3)。

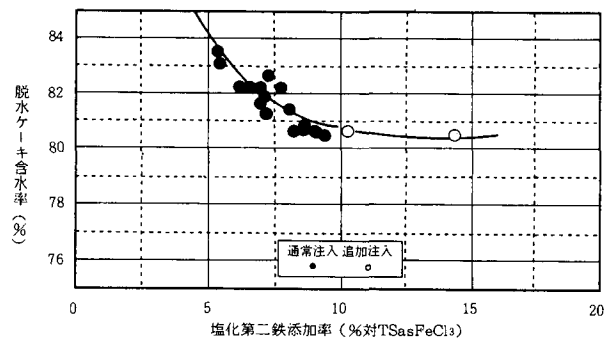


図-3 助剤添加率と脱水ケーキ含水率の関係 (冬季)

汚泥のMアルカリ度が低く、汚泥中のpHが下がりすぎるといった場合には、塩化第二鉄を5%対TSasFeCl₃程度しか添加できない場合があることがわかった。

また、塩化第二鉄を脱水機手前で追加添加したり、汚泥を二次処理水で希釈した場合には、10%対TSasFeCl₃以上添加でき、この時の脱水ケーキ含水率は80~80.5%程度が得られた。

②両性ポリマー添加率

両性ポリマー添加率についても机上テストでの調査結果と同じく、原泥TS濃度に影響され、TS = 0.3%時では1.2~1.4%対TS、TS = 0.5%時では1%対TS程度であった。また、添加率低減を目的に試作品を評価した結果、原泥TS = 0.3~0.5%の濃度範囲において1%対TS以下で造粒濃縮可能な（従来品の添加率に対して約20%の低減）ポリマーの見通しが得られた（図-4）。この調査条件としては、塩化第二鉄添加率は汚泥pH = 4.0となるように設定し、その他の造粒濃縮条件・脱水機操作条件は一定で行った。

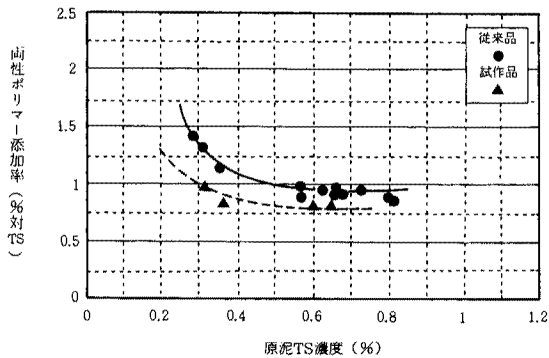


図-4 原泥TS濃度とポリマー添加率の関係

また、冬季汚泥を用いて両性ポリマー添加率と脱水工程まで含めた汚泥処理工程全体でのSS回収率及び脱水ケーキ含水率、さらに残留ポリマー量をみるためのPVSK滴定量（コロイド滴定法）の関係を調査した（図-5）。これよりポリマー添加率1%対TS以下になるとSS回収率が低下し、また、脱水ケーキ含水率が上昇すること及び1%対TS以上になると残留ポリマーが検出され始めることから、適正添加率は1%TS程度と判断できる。

(3) ろ過速度と脱水ケーキ含水率について

余剰汚泥単独処理の場合、ろ過速度で120kg-DS/m・h程度までサイドリークなく安定処理

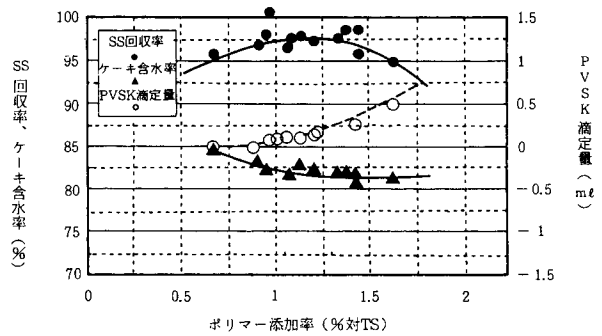


図-5 ポリマー添加率とSS回収率、含水率、残留ポリマー量の関係

が可能で、ろ過速度100kg-DS/m・h時での脱水ケーキ含水率は原泥TS濃度0.5%時で82~83%程度、原泥TS濃度0.3%時で81~82%程度であった（図-6）。原泥濃度が高い方が含水率が高くなっているのは、Mアルカリ度が低かったため、助剤が入りきらなかったためである。

原泥を二次処理水で希釈してTS濃度として0.3%程度とした汚泥で調査してみると、ろ過速度100kg-DS/m・hで脱水ケーキ含水率81%程度が得られた。

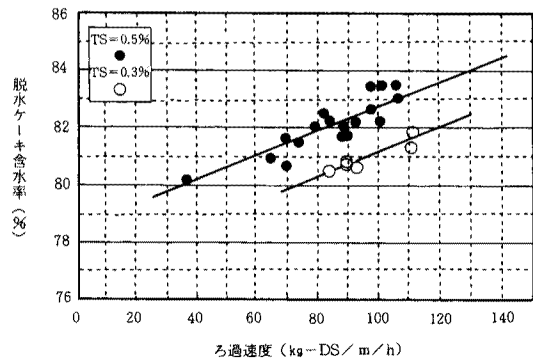


図-6 ろ過速度と脱水ケーキ含水率の関係

(4) 助剤として一沈汚泥を混合した場合の

脱水性能について

混合汚泥の場合、一沈汚泥の混合DS割合よりも汚泥中の繊維分割合の方が脱水性能に直接関係していることがわかり、一沈汚泥の混合DS比として、汚泥中の繊維分割合で10%対TS以上であれば、四季を通じて脱水ケーキ含水率は80%以下が得られることがわかった（図-7）。

(5) ろ布速度、ろ布張力の影響について

ろ布速度と脱水ケーキ含水率の関係を調べた結果、ろ布速度の増加に伴い、脱水ケーキ含水率は上昇する傾向にあり、今回の汚泥ではろ布速度としては0.8m/min以下が適していることがわかった。

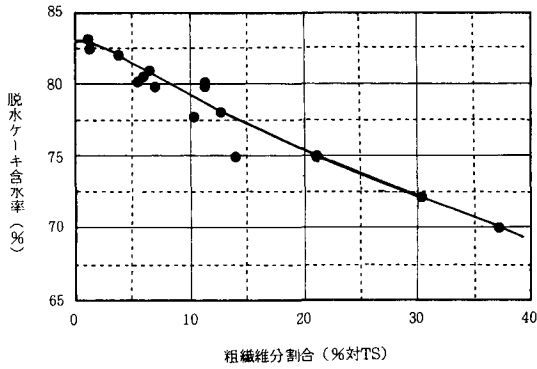


図-7 汚泥中の繊維分割合と脱水ケーキ含水率の関係

次に、実装置稼働時の脱水性能予測として、ベルトプレス脱水機の脱水性能を決定できるとされている Σ PT値の解析を行ってみると、図-8、図-9から脱水ケーキ含水率を80%程度とするためにはろ布速度を0.2m/min程度に下げることがある結果となり、現実には難しいことがわかった。

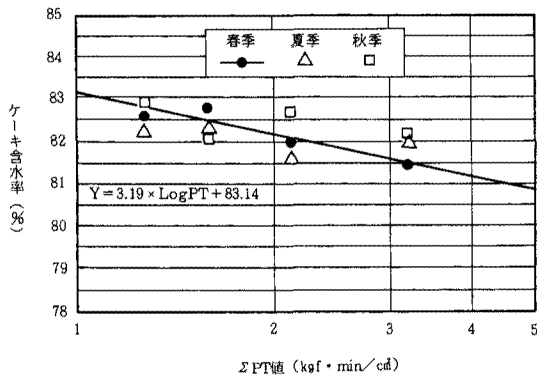


図-8 Σ PT値と脱水ケーキ含水率の関係

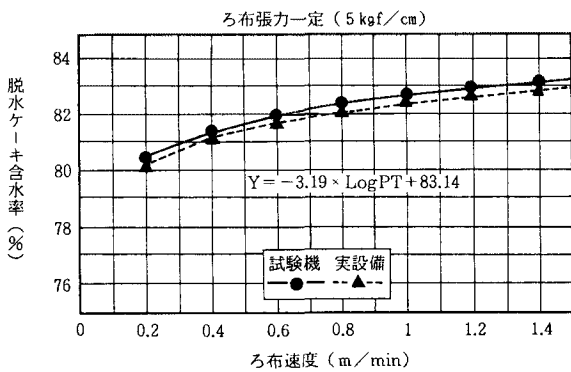


図-9 ろ布速度と脱水ケーキ含水率の関係

(6) 返水水質調査について

SSについては、造粒濃縮槽からの分離水中で50mg/ℓ以下、脱水ろ液中で概ね100mg/ℓ以下

という結果が得られており、濃縮-脱水工程におけるSS回収率としては97~99%と良好な結果が得られた。

また、リンについては、ほぼ完全に固定化できていた。

(7) ケーキ含水率低下方法の検討

本年度の車載型試験装置を用いた予備調査(春, 夏, 秋, 冬季調査)においては、余剰汚泥単独では目標としていた脱水ケーキ含水率80%以下は達成できなかった。そこで、含水率低下の方法について検討してみた。

ケーキ含水率を低下させる要因として考えられる事項の中から経済性, 実用性の面から次の2点について、車載型試験装置で追加試験を行った。

① Mアルカリ度の増加

(汚泥の貯留, アルカリ剤の併用等)

余剰汚泥を採取してからの放置時間(経過時間)とMアルカリ度の関係を調べてみると、Mアルカリ度は採取直後から3時間貯留の間に顕著な増加が見られた。このMアルカリ度の上昇に伴い汚泥pHを4.0とするのに必要な塩化第二鉄添加率も増加でき、結果として貯留6時間までは脱水ケーキ含水率は約1%程度低下することがわかった(図-10)。

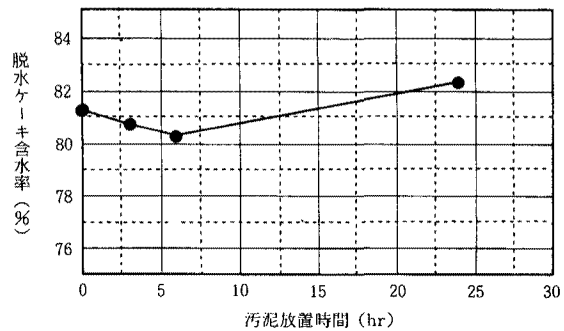


図-10 汚泥放置時間と脱水ケーキ含水率の関係

② 目詰まりし難いろ布構造の検討(朱子織りの採用)

これまでの車載型試験装置を用いた試験においては、ベルトプレス脱水機のろ布として杉綾織りろ布(T-1188L)を使用していた。そこで、これに比較して通気度の小さい朱子織りろ布(T-1179L)にろ布を替えて試験を行った。なお、この2種類のろ布の標準物性は表-3に示すとおりである。その結果、図-11に示すように脱水性能が向上し、ケーキ含水率も約80%程度が達成できることがわかった。

表-3 ろ布の標準物性比較

項目 / 品種	T-1179L	T-1188L
材質	ポリエステル	ポリエステル
組織	変速8枚朱子	3/1杉綾
通気度 (cc/min・cm ²)	8,000	12,000

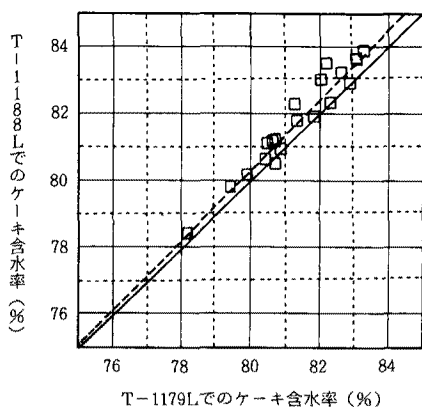


図-11 脱水ケーキ含水率に及ぼすろ布種の影響

4. 結論

本実用化研究の結果、得られた知見について以下に述べる。

(1) 四季の汚泥性状について

余剰汚泥の性状は、W。(無薬注遠沈含水率)から判断して、四季を通じて非常に脱水の困難な汚泥であることがわかった。

(2) 机上テストについて

机上テストにより得られた結果は、ほぼ車載型試験装置による試験結果と同等であり、事前確認試験として有効であることがわかった。

(3) 薬剤添加率について

① 助剤添加率

机上テストの結果とはほぼ同様に原泥TS濃度に影響され、TS=0.3%時では塩化第二鉄で8～9.5%対TSasFeCl₃、TS=0.5%時では5～7%対TSasFeCl₃であった。

汚泥のMアルカリ度が低い場合には、塩化第二鉄を5%対TSasFeCl₃程度しか添加できない場合があり、注意が必要なことがわかった。

② 両性ポリマー添加率

両性ポリマー添加率についても机上テストで

の調査結果と同じく、原泥TS濃度に影響され、TS=0.3%時では1.2～1.4%対TS、TS=0.5%時では1%対TS程度であった。また、添加率低減を目的に試作品を評価した結果、原泥TS=0.3～0.5%の濃度範囲において1%対TS以下で造粒濃縮可能なポリマーの見通しが得られた。

(4) ろ過速度と脱水ケーキ含水率について

余剰汚泥単独処理の場合、ろ過速度で120kg-DS/m・h程度までサイドリークなく安定処理が可能で、ろ過速度100kg-DS/m・h時での脱水ケーキ含水率は原泥TS濃度0.5%時で82～83%程度、原泥TS濃度0.3%時で81～82%程度であった。原泥濃度が高い方が含水率が高くなっているのは、Mアルカリ度が低かったため、助剤が入りきらなかったためである。

(5) 助剤として一沈汚泥を混合した場合の

脱水性能について

混合汚泥の場合、初沈汚泥の混合DS比として、汚泥中の繊維分割合で10%対TS以上であれば、四季を通じて脱水ケーキ含水率は80%以下が得られることがわかった。

(6) リン回収率について

リンについては、濃縮-脱水工程において返水中には殆ど検出されておらず、ほぼ完全に汚泥中に固定化できていた。

(7) ろ布速度、ろ布張力について

余剰汚泥単独処理の場合、ろ布速度として0.8m/min以下、ろ布張力は5kg/cm以下が適していた。

(8) ケーキ含水率低下方法について

① Mアルカリ度の増加

余剰汚泥を放置することにより、Mアルカリ度が上昇し、塩化第二鉄添加率を大きくできる。結果として、汚泥を6時間程度貯留することにより、ケーキ含水率が約1%程度低下することがわかった。

② 目詰まりし難いろ布構造

ベルトプレス脱水機のろ布としては、杉綾織りろ布(T-1188L)に比較して朱子織りろ布(T-1179L)の方が脱水性に優れており、朱子織りろ布を用いることにより、ケーキ含水率約80%が達成できることがわかった。

また、本年度の予備調査結果を踏まえ、次年度は次の目標を掲げ、以下の調査を行う予定である。

余剰汚泥単独処理の場合の目標
脱水ケーキ含水率：81%以下

ポリマー添加率：1%対TS以下

SS回収率：原汚泥に対して97%以上

リン回収率：原汚泥に対して97%以上

初沈汚泥を脱水助剤として用いた場合の目標

脱水ケーキ含水率：80%以下

ポリマー添加率：1%対TS以下

SS回収率：原汚泥に対して97%以上

リン回収率：原汚泥に対して97%以上

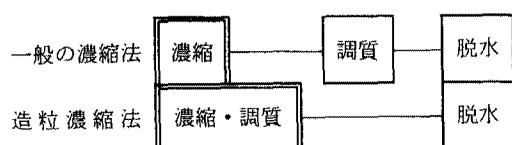
次年度調査

- ① 実装置による性能確認調査
- ② 造粒調質濃縮システムの維持管理手法調査
- ③ 汚泥性状変動に対する運転管理手法調査
- ④ マスバランス調査
- ⑤ 経済性の評価

注) 語句説明

① 造粒濃縮法

造粒濃縮法が他の汚泥濃縮法と異なるのは、汚泥の濃縮と調質を同時に行う点である。下図に示すように、従来の濃縮法では濃縮-脱水の一連のプロセスの中で汚泥の濃縮のみを受け持っており、濃縮汚泥を調質し、その後脱水を行っている。これに対し、造粒濃縮法は薬剤の添加により汚泥をマリモ状のペレットに造粒凝集させるが、生成される汚泥ペレットは粒状が大きく、緻密で強度をもっているため、濃縮汚泥を調質することなく直接に脱水機に投入することが可能である。



② W。(無薬注遠沈含水率)

汚泥を遠心効果1,000Gで3分間遠心沈降させたときの、遠心管の底に貯まったケーキの含水率をいう。この値が高い汚泥ほど脱水性が悪く、脱水機のケーキ含水率も高くなる。

③ FIB (繊維分)

汚泥固形物中の繊維状物質(100メッシュの篩上)の割合。繊維分は、凝集フロックの強度を増し、脱水の際のケーキからの水抜けを良くし、ケーキの剥離性を向上させる。繊維分が多い汚泥ほど脱水性が良く、ろ過速度が速くなるとともに、ケーキ含水率が低下する。

④ 分子内系両性ポリマー

1つの分子の中にカチオンとアニオン両方の官能基を持つ高分子凝集剤で、助剤と反応させた後の汚泥に添加し、径が大きく強固なフロックを形成させることができる。

⑤ PVSカ滴定量

造粒濃縮槽からの分離水に残留しているポリマーをコロイド滴定法によって測定する。その際のN/400PVSカ(ポリビニルスルホン酸カリウム)の消費量(ml)で示す。これにより、両性ポリマー薬注率の不足、適正、過剰を判定する。

⑥ ΣPT値

ベルトプレスによる脱水の解析において、含水率の低下に関係する因子として使用され、各脱水ロールでの加圧断面と加圧時間の積の合計値をいう。なお、加圧面圧はロール上でケーキを押さえているろ布の張力をそのろ布の曲率半径で割った値になる。一般に、ケーキ含水率はΣPTが大きくなる(ろ布張力が高く、ろ布速度が遅い)ほど低下する。

●この研究に関する問い合わせは

研究第1部部長

佐藤 和明

研究第1部主任研究員

黒田 秀男

研究第1部研究員

深尾 忠司