

[30] 凍結処理による汚泥脱水処理装置の自動運転

三菱電機(株) 応用機器研究所 ○本 多 敏 一 広 三 寿
" " " 山 西 健一郎

1. はじめに

産業規模が拡大し、生活レベルが向上するにつれ、大量の廃棄物が発生し、各分野でそれぞれの要求にみあった技術で処理、処分されているが、下水、し尿から排出される有機性汚泥の処理法については、その著しい難脱水性のため、苦慮しているのが現状である。沷過助剤、凝集剤等を用いる従来法では、脱水後の汚泥ケーキの含水率に一定の限界があり、かつ薬剂量が多く、汚泥の減量化という本来の目的からして疑問が多い。

薬剤の使用量を極力減らし(無薬注が望ましい)、汚泥ケーキの含水率を下げられる手法が求められている。このような手法も、勿論高価であってはいけないし、運転費用も現状と大きな格差があってはならない。

この要望に応える一つの手法として凍結融解脱水法が考えられる。従来この手法は、無機性汚泥には非常に大きな効果を発揮するものの、有機性汚泥については、脱水のための改質効果が疑問視されてきた。しかし、あらかじめ汚泥を pH 調整しておき、後凍結融解処理すると、脱水効果が向上し、実用プラントに適用し得ることが判明した。

プラントは、汚泥の濃縮、pH 調整、凍結融解処理および脱水の4つのプロセスで構成され、中央制御盤で自動運転できるようにしている。

本手法になるプラントは、し尿の浄化槽汚泥、余剰汚泥処理用として実規模で稼働されており、下水汚泥処理用としては、団地下水汚泥用に、初沈、余剰混合汚泥の試験運転を完了し、現在、余剰汚泥単独処理の稼働試験を続行中である。

本稿では、有機汚泥処理のメカニズムの解析とプラント概要の説明、自動運転の特性、さらに運転費用について述べる。

2. 有機汚泥処理のメカニズム

有機汚泥の解析に入る前に、無機汚泥の凍結処理について簡単に記す。

無機汚泥のサスペンションを冷却すると、凍結界面の進行にしたがって、無機汚泥のSS分が1方向に集積される。集積された汚泥粒子は密度が高くなり、粒子間距離が小さくなり、Van der Waals 力により結合される。このように粒子が相互に密着し粗大なフロックに成長するとともに、密着の度合は強固なものとなり、いわゆる腰の強い汚泥となる。

さて、有機汚泥の場合であるが、下水、し尿などの汚泥は種々の微生物の集合体である。この微生物の主要構成物質は、蛋白質、核酸、炭水化物であり、炭水化物の大部分は多糖類の形で存在し、その一部は複合多糖類として存在している。この複合多糖類は分子中に多くの親水基を含んでおり、汚泥粒子の強い親水性の原因となっている。この親水基の存在が無機汚泥の場合の処理効果と極端に異なった特性を示す要因となっている。

上記の有機汚泥中に硫酸などの酸を添加してゆくと(pH調整)、水素イオンが多糖類などの粘着物質中に浸透し、粘着物質の状態を不安定にし、外力に対し、脆弱な状態にするとともに、汚泥表面の親水性が弱まり、表面電位を低下させ、分子間引力が有効に働くような作

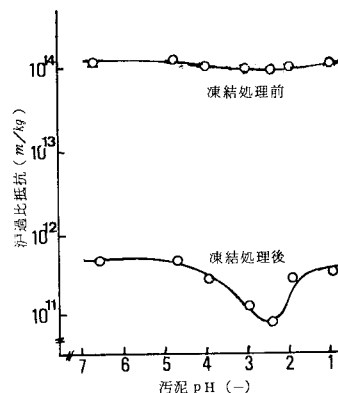


図.1 汚泥の pH と沷過比抵抗

用をする。さらに蛋白質の等電点凝集の効果も併行されている。
 このように調整された汚泥を凍結処理すると、汚泥粒子が粗大化し、
 透過比抵抗が小さくなり、脱水が容易になる。図.1は、汚泥の pH を
 変化させて凍結処理を施した後の透過比抵抗を示し、図.2は同じく脱
 水後の含水率を示す。これらはいずれもスッチェテスト（真空度 40
 cm Hg）での値である。この特性からわかるように、本改質方式は汚
 泥を難脱水性からきわめて脱水しやすい状態にまで改善することがで
 きる。

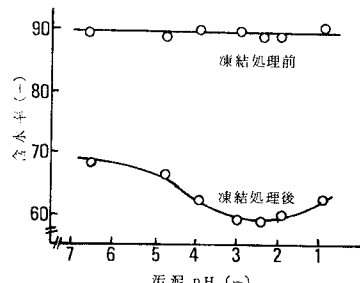


図.2 汚泥の pH と含水率

3. 凍結処理プラントシステムと機器の概要

ここで説明する汚泥凍結処理プラントは、汚泥処理量約 2.2 m³/8 時間（固形分濃度 1.5 %）、汚泥凍結処理能力は 3.3 m³/8 時間（固形分濃度 10 %）であり、これは下水処理対象人口の 5000 人分に相当する。

本プラントのシステムは、大きく類別して次の 4 つの構成からなる。つまり、汚泥を濃縮する部分、次に pH 調整する部分、汚泥を凍結融解処理して改質する部分、最後に、改質した汚泥を脱水する部分とである。図.3 に本プラントのシステムフローの概略を示し、順を追って各部分を説明する。

(1) 汚泥の濃縮

汚泥の凍結のための熱負荷を低減し、経済効率をあげる上で、流入する汚泥をできるだけ濃縮する必要がある。

まず、下水処理場からの初沈余剰混合汚泥は、スクリーンを通して夾雑物を除去したのち、遠心濃縮機に供給し濃縮される。遠心濃縮機はその性質上、ある濃度以上で回収率が悪くなるが初沈余剰混合汚泥での上記濃度は 10 ~ 12 % 程度であり、本プラントでは濃縮汚泥濃度を約 10 %、回収率 90 % に調整している。

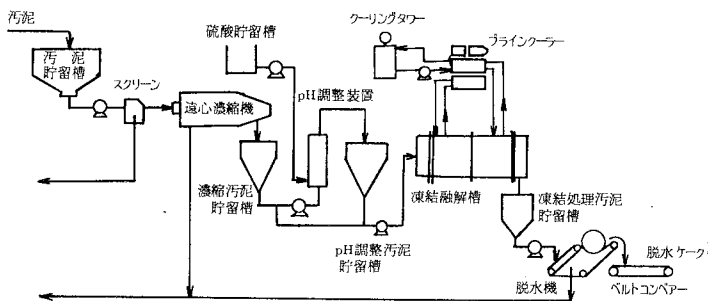


図.3 システムフロー

(2) pH 調整

濃縮された高濃度汚泥は、pH 調整装置に供給され、硫酸（濃度 63 %）により、汚泥の pH 値を 2 ~ 3 に調整される。pH 調整装置は胴内に固定してあるスパイラル状の羽を持つスクリーを回転させ、汚泥と硫酸との混合が十分行なえるように工夫してある。

(3) 汚泥の凍結融解処理

pH 調整された高濃度汚泥は凍結融解槽に圧入され、凍結融解処理が行なわれ、脱水性が改善される。凍結融解槽は、汚泥の圧入部、凍結部、融解部、および排出部からなっており、凍結融解部はシエル・チューブ形の熱交換器の形状で、容器内に多数のステンレスパイプが配置されている。シエル側を断熱壁で仕切り、凍結部と融解部に分け、その周囲に冷熱媒体を通して凍結融解を行なう方式になっている。凍結部に圧入された汚泥は、-15 °C まで冷却され、水柱状に凍結される。ここで凍結時間は、汚泥粒子の粗大化という点からみると遅い方が効果的であるが、所要動力および処理時間という観点から、本装置では約 60 分間としている。凍結が完了すると、次に凍結水柱の表面層のみを融解し、同時に再び凍結部へと汚泥を圧入する。表面が滑らかになった水柱汚泥は融解部へ移行して融解され、同時に、凍結部へ圧入された汚泥は凍結される。以上のサイクルを順次繰り返す。圧入開始から凍結融解されて排出されるまでに要する時間は約 75 分である。

(3) 汚泥の脱水

脱水性が改善された汚泥は脱水機で脱水される。この場合、粗大化された汚泥フロックの破壊による脱水性の悪化を極力防ぐため、低圧汙過・圧搾操作により脱水を行なうものである。脱水機は連続真空加圧方式で、減圧汙過により、その大部分の水分を汙過したのち、加圧部で圧搾され、低含水率の脱水ケーキとなる。減圧度は $-300 \sim -350 \text{ mmAq}$ 、加圧力は 0.5 Kg/cm^2 である。

4. 自動運転システム

本プラントは汚泥の供給から脱水ケーキの排出まで全自動で行なえるようになっている。始業操作は、スタートボタンによる手動起動またはタイマーによる自動起動とし、終業操作は終業ボタンによる停止とした。(終業操作開始後、サイクルを完結し、各機器の洗浄工程を終了した後停止となる)。また、システムを、濃縮系統、pH調整系統、凍結処理系統、脱水系統の4系統に分け、シーケンスプログラム方式によって各系統が任意に制御できるようにした。

図4に本プラントシステムの制御系フローチャートを示す。

(1) 汚泥の引き抜き

汚泥の引き抜きは既設汚泥濃縮槽内に設置した界面センサーにより設定濃度値以上で汚泥の引き抜きを開始し、汚泥貯留槽に供給する。汚泥貯留槽レベルが(満)か、引き抜き汚泥濃度が設定値以下で汚泥引き抜きは停止する。(なお、汚泥貯留槽は1日の処理容量分の貯留を行なう)

(2) 遠心濃縮機

汚泥貯留槽レベルが(満)で遠心濃縮機が駆動し、濃縮が開始され、濃縮汚泥は濃縮汚泥貯留槽に供給される。汚泥を遠心濃縮機に送り込む量は電磁流量計で計測したが、これについては安定した動作が確認できた。なおレベル検知は、電極式のフロートなしスイッチを採用した。

(3) pH調整装置

濃縮汚泥貯留槽レベルが設定値(1サイクル容量分)以上、pH調整汚泥貯留槽レベル(空)の状態、濃縮汚泥がpH調整装置に供給され、硫酸添加によりpH調整される。pH調整後濃縮汚泥の供給を停止し、pH調整貯留槽内の汚泥をpH調整装置に再循環させる。この方法により濃度の高い硫酸の使用が可能となり、濃縮汚泥を稀釈することなく十分安定な混合状態を保持させることができる。pHセンサーはpH調整装置出口に固定してあり、各サイクル毎に洗浄を行ない、センサーの信頼性を高めている。図5にpH調整時の汚泥pHの変化を示す。

(4) 凍結融解処理装置

始業時の凍結融解槽は、凍結部に汚泥が、融解部に凍結汚泥が充填されている状態にある。運転スタートと同時にブラインクーラが作動し、凍結融解運転が開始される。凍結完了の温度検知によりブラインクーラは停止し、汚泥の圧入操作が開始され、圧入操作完了(pH調整汚泥貯留槽レベル(空)信号とタイマーの併用)と同時に、再びブラインクーラが作動し、凍結融解運転が開始される。

凍結時間を変える必要のある場合、ブラインクーラの容量制御調整

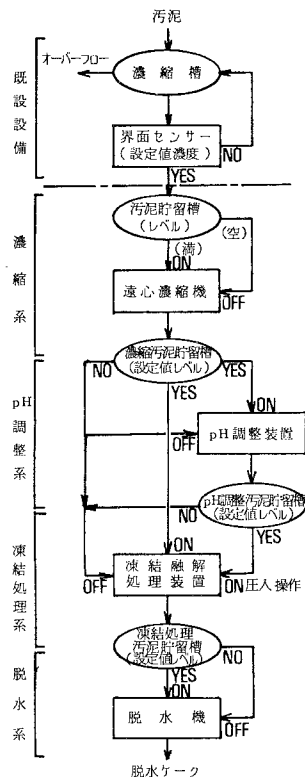


図4 制御系フローチャート

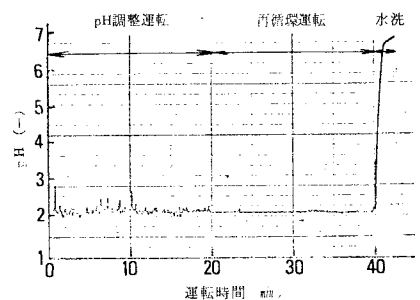


図5 pH調整時の汚泥pH

ダイヤルによって任意に選択することができる。図.6 に凍結運転中のブラインクーラの運転特性を示す。

(6) 脱水機

凍結処理汚泥貯留槽レベルが設定値以上で脱水機の運転が開始され、レベルが（空）で停止する。

図.7 に本プラントの各機器の運転パターンを示す。

5. プラント性能の評価

機器性能、システム性能および連続稼動による実用化試験などに重点をおいて実施した運転試験の結果、次の性能及び特徴が実証された。

(1)凍結融解槽は、シエル・チューブ形を採用することにより、従来形ではできないような低流動性高濃度汚泥に対しても安定に動作することが実証でき、汚泥前濃縮濃度をあげて凍結処理量を減少させられるため、所要電力を従来形に比べ 20 ～ 30 % 程度節減できることが確認された。

(2)凍結融解処理方式による汚泥の脱水性改善の効果は、沓過比抵抗が 10^{14} (m/Kg) 程度から 3×10^{11} (m/Kg) 程度と約 1 / 300 に改善され、含水率は約 65 % で、安定した脱水性を示した。(図.8 に脱水性の日変動を示す)この程度の含水率では、汚泥自身が有機分に富むため、べとつきは全くなく、きわめて良好な外観を呈しており、取り扱い上全く支障をきたさず、後処分が極めて容易となる。

(3)本プラントシステムは完全自動運転方式を採用した。長時間の試験運転において安定に作動し、高い信頼性を持っていることが確認できた。

(4)上記凍結融解処理システムでの運転データから、乾燥固形分1tonあたりの運転費は、単価を、電力 20 円/KWH, 工業用硫酸 20円/Kg とすれば、約 23,000円/dston である。

なお、このシステムで脱水された脱水ケーキは従来法に比べかなり減量化されているため、最終処分を考えれば更にメリットは大きい。

6. おわりに

難脱水性の有機汚泥に対し、凍結融解法を適用し、完全自動運転による脱水処理システムを完成させ、汚泥の減量化および脱水処理の省力化という社会的要請に対し、一つの案地作りとなり得たと考える。

今後、当試験研究によって得られた技術を基に、よりいっそう汚泥処理分野に貢献したいと念願する。

最後に、ご指導、ご協力をたまわった関係各位に深く感謝の意を表するしだいである。

(参考文献)

- 1) 佐藤ほか：水道協会雑誌 519 P.12～P.13 (昭52)
- 2) 瀧口洋：用水と廃水 Vol.13 №5 (昭46)

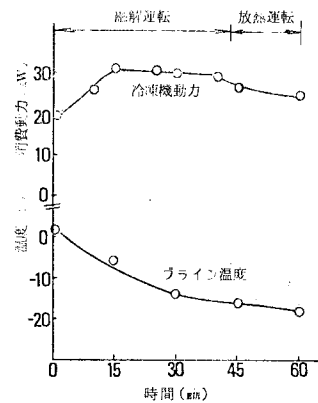


図.6 ブラインクーラの運転特性

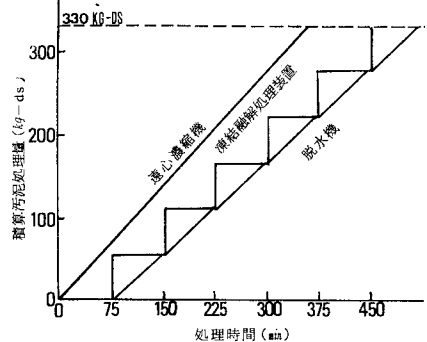


図.7 運転パターン

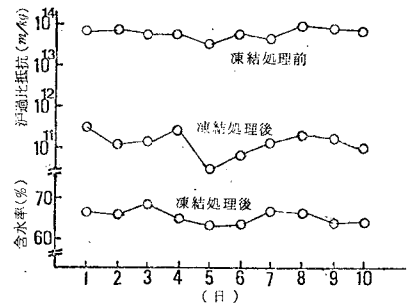


図.8 脱水性の日変動