

減圧処理装置を用いた下水汚泥重力濃縮槽の自動管理システム

澤井正和*、畠山修一郎*、○黒田浩史*、能勢元昭**、田中良穂**

* 川崎重工業㈱ 環境装置第一事業部 水処理プラント部
神戸市中央区東川崎町 1-1-3

** 神戸市建設局 下水道河川部 計画課
神戸市中央区加納町 6-5-1

概要

下水汚泥処理における重力濃縮槽において、汚泥の腐敗が進行することにより濃縮性や固形物回収率が悪化する事例が増えている。汚泥の腐敗が進むと脱水性の低下や脱離液の性状を悪化させるなどの2次的な問題も大きい。このため、重力濃縮槽での汚泥腐敗を抑制する運転管理が望まれている。

そこで解決策の一つとして、汚泥界面を低くして滞留時間を必要最小限に抑えれば、腐敗を抑制して安定した濃縮ができると考えられる。一方、汚泥界面を低くすると、タイマーによる間欠引抜きの際に、脱離液を同伴して平均汚泥濃度を低下させる結果になる。このため、濃縮槽から貯留槽へのライン中に汚泥減圧処理装置と濃度計を設置し、濃縮汚泥を連続的に引き抜き、濃縮汚泥の濃度により、循環するラインと貯留槽へのラインとに自動的に切り替える運転を試みた。

その結果、減圧脱気処理により濃度計、流量計の安定した計測が行えると共に、引き抜き汚泥濃度による汚泥界面の自動制御が行えた事例を紹介する。

キーワード

減圧処理装置、重力濃縮槽、腐敗防止、自動管理

1. はじめに

下水汚泥の濃縮操作は、下水汚泥処理の第一段階に位置する工程であり、その後の工程の処理効率を左右する重要な工程である。

しかし最近になって、下水と雨水の分流化や食生活の変革等により、流入下水中の BOD/SS 比が高くなっており、汚泥が腐敗しやすく沈降性の悪化を招いている。

重力濃縮槽の問題点として以下の項目が考えられる。

- 1) 汚泥の濃度の安定した計測ができないために、引き抜き汚泥量、汚泥界面の自動管理ができない。
- 2) 嫌気化しやすい初沈汚泥と N、P の多い余剰汚泥の混合は N、P が溶出しやすい。
- 3) 汚泥の引き抜きを間欠的に行うため、汚泥の界面が低いと脱離液も排出してしまう。
- 4) 汚泥中に気泡が同伴している場合が多く、濃度計や流量計の信頼性が低い。
- 5) スカムが発生している状態では、汚泥界面と引き抜き汚泥量の管理が困難である。

以下に紹介するポンプの吸込力を利用した汚泥減圧処理装置は、以上のような重力濃縮槽の課題を解決するのに有効であり、重力濃縮槽での滞留時間の短縮のみならず、脱気による減圧時の浮上濃縮効果や腐敗抑制効果が汚泥の臭気低減や脱水性改善に対しても期待できるものである。

2. 汚泥減圧処理装置の濃縮原理

汚泥中には水に溶解しているガスと固形物に付着している微細気泡とがあり後者が汚泥の沈降性を阻害している。嫌気性条件下では CO_2 、 N_2 、 CH_4 がその主成分であり、好気条件下では空気の場合もある。

このような気泡を含む汚泥を密閉容器内から排泥すると、容器内圧力が低下し、圧力に反比例して気泡が大きくなり、固形物から離脱、脱気する。また、溶解しているガスも平衡分圧が低下するため過飽和溶解状態になって脱気していく。

この原理を利用して、汚泥中のガスを減圧脱気することにより、汚泥の腐敗を防止できることが報告されており、重力濃縮の改善への適応を図ってきた。また、この脱気ガスの発泡作用を利用して、加圧浮上と同様に汚泥を減圧槽内で浮上分離することも可能である。

ここで汚泥減圧処理装置の濃縮システムをフローに沿って説明する。

減圧浮上濃縮は図-1に示すような4つの工程に分かれている。

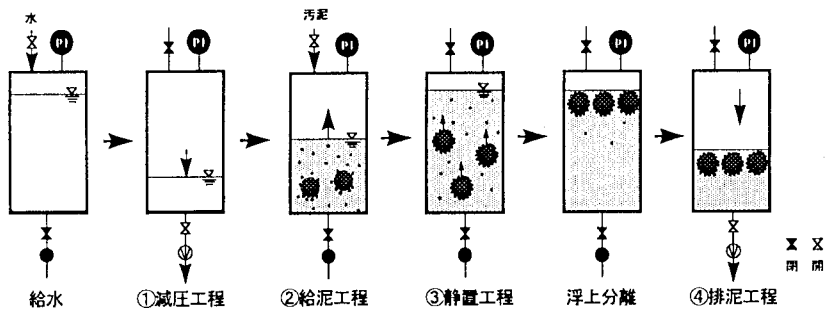


図-1 減圧浮上濃縮原理

- ①槽内を一度水や汚泥で満たし、密閉した後ポンプにて排水し、槽内を真空状態にする。
- ②真空状態で上部給泥弁を開くことにより槽内に給泥が行われると共に、汚泥自身は急激に減圧され、溶存ガスが非常に微細な気泡で発泡する。
- ③減圧を維持したまま5～10分静置する間に発生した気泡が汚泥粒子を覆うように付着し、汚泥粒子が浮上してくる。
- ④底層の脱離液と上層の濃縮汚泥の分離排水を行う。ここで再び槽内が減圧される。濃縮された汚泥は大気圧に戻すことで内部の気泡は消滅し、取扱易い脱気汚泥となる。

排泥の終了した減圧処理槽内は再び真空状態にあり、②の給泥工程に戻すことで連続的な処理を行う。このように、原理的には汚泥中に溶解しているガスを発泡気化させることにより、汚泥フロックを浮上させるものである。

3. 脱気装置としての利点

(1) 濃度計、流量計の精度向上

濃度計や流量計は汚泥中の気泡によって受ける影響が大きく、測定の前に脱気を行う必要がある。

図-1の減圧浮上濃縮の工程で③の静置工程をなくすことにより、本装置は脱気装置として機能させることができ、それを計測点の上流側に設置することで汚泥の脱気が可能となる。

(2) スカム発生の防止

重力濃縮槽におけるスカムの発生は、汚泥フロックにガスが付着して起こる現象であるが、付着ガスは曝気中にかみこんだ空気と汚泥自身から発生する微好気条件下での CO_2 、絶対嫌気性下の CH_4 がある。

減圧処理装置は、汚泥に付着する微細気泡はもとより、溶解性のガスも気化させることができる。さらに、減圧脱気によって、以降の汚泥自身からのガス発生（腐敗）が抑制されるが、これは脱気によって汚泥中の腐敗反応の中間生成物である CO_2 を除去するためと考えられる。従って、重力濃縮槽に汚泥の循環ラインを設け、そこに減圧処理装置を設置すれば、重力濃縮槽でのスカム発生を抑制でき、さらに、濃縮汚泥の貯留、脱水工程においても腐敗が抑制され、臭気発生の低減にも寄与することが期待できる。

4. 汚泥重力濃縮槽自動管理システム

図-2 に今回の試験での減圧処理装置を用いた重力濃縮槽自動管理システムフローを示す。濃縮槽の引き抜きラインにヘッドタンクを介して減圧処理装置を設置し、汚泥ポンプによって減圧と送液を行う。ポンプの吐出側には循環ラインと引抜ラインを設け、循環ラインに濃度計、引抜ラインに流量計と切替弁を付設している。

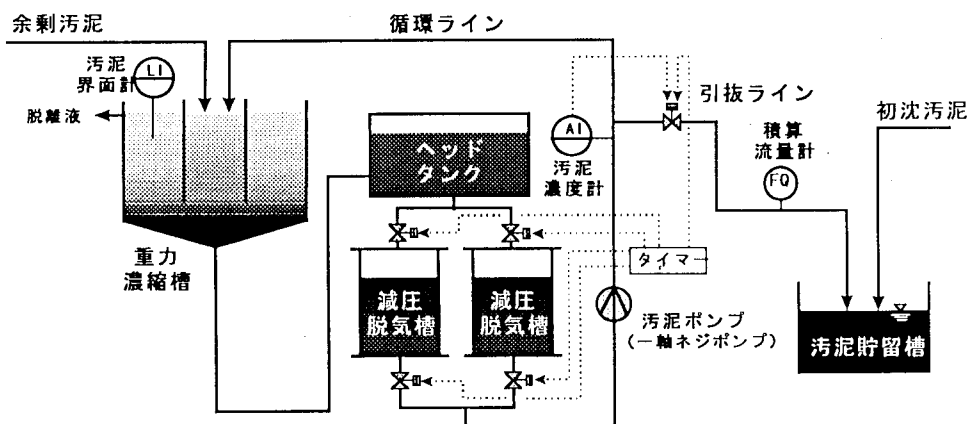


図-2 今回の実験フロー

減圧処理装置は濃縮または脱気の連続処理が可能ないように減圧槽を2つ並列に設けてあり、汚泥ポンプ吐出側ではヘッド差によって、引抜ラインに優先的に流れるようにしており、汚泥濃度、あるいは減圧後の抜き出し時間によって切替弁が開閉することによって送液先を切り替えることが出来る。

本装置を用い、

- 1) 引き抜き汚泥濃度および流量の連続計測
- 2) 減圧処理汚泥の循環による重力濃縮槽のスカム発生防止の実証

が可能であり、さらに重力濃縮槽の汚泥界面レベルと汚泥濃度を計測し、相関があることを期待した。

今回の試験では装置を神戸市A処理場に設置し、試験を行った。

A処理場では、余剰汚泥のみを重力濃縮槽へ投入し、濃縮汚泥と初沈汚泥を貯留槽で混合して脱水する処理を行っている。

5. 結果

①減圧による濃度変動

脱気処理を目的とした運転を行ったときの減圧処理後の濃度変動を図-3に示す。

脱気のためには図1で説明した静置時間を設ける必要がなく、汚泥が濃縮されることは期待していなかったが、1回の脱気操作と同期して引き抜き汚泥濃度に変動が見られ、わずか1分程度の給泥時間中の減圧処理による浮上濃縮が確認された。

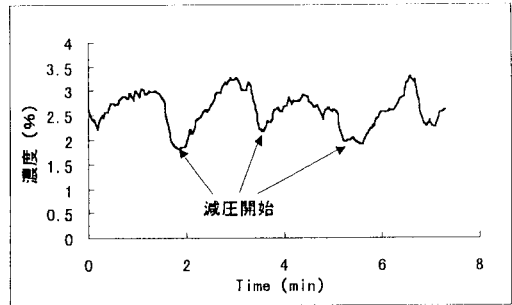


図-3 減圧処理後濃縮汚泥の経時変化

②汚泥の濃縮性

今回のように実機を用いた試験では、スカムを発生させるには時間を要するため、1lのシリンダーに未処理の余剰汚泥を入れ、静置時間による経時変化を図-4に示す。

未処理の余剰汚泥の場合、75分後には、一部汚泥が浮上し始めたが、減圧処理した汚泥は2週間経過しても浮上しなかった。実機でも試験開始後3ヶ月近く経過するが、未だスカムの発生は見られず、濃縮槽内での腐敗が抑制されたことを実証できた。

また、濃縮性については重力濃縮余剰汚泥と初沈汚泥の混合貯留槽内汚泥濃度の変化で評価すると、昨年同月の平均が1.5%であるのに対し今年度は2.0%である(図-5参照)。この濃度変化は余剰汚泥量と初沈汚泥量の割合を考えると、余剰汚泥単独では1%以上濃度が増大したことになる。余剰汚泥の供給量と濃縮引き抜き汚泥量の割合からも5倍に濃縮されていることがわかるが、実際に平均して0.6%の余剰汚泥が約3.0%にまで濃縮されている。

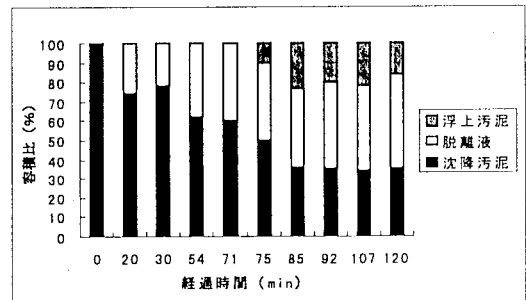


図-4 余剰汚泥重力沈降試験

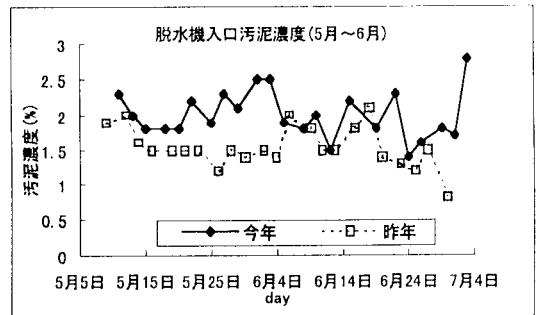


図-5 脱水機入口汚泥濃度

③レーキによる濃度変動

図-6に示した濃度の経時変化は①に比べ横軸(時間)のスパンを大きくし、マクロ的にみたものである。この図の最初の100分までは通常の処理運転(レーキ回転毎にレーキを停止し界面自動測定; 40分の工程)を行っているときのものである。これによると濃度のピークを約40分毎に迎えており、界面自動測定時のレーキ停止と同期しており、これにより濃縮槽の排出汚泥濃度が変動していると考えられる。そこでレーキを動かさない状態で運転を行ったところ、汚泥濃度の変動はなくなったが、低い濃度がしばらく続いた。その後レーキを100分以上回し続けたところ、汚泥濃度は高く保持された。

この現象はレーキ停止時に濃縮槽底面に濃縮汚泥が滞留し、濃縮槽出口には薄い汚泥の水路ができ、レーキが再開すると停止中に溜まった濃縮汚泥が一気に排出されるため、濃度のピークが生じると解釈できる。

従って、界面測定のために定期的にレーキを一時停止するような運転では、濃縮汚泥の濃度変動を利用してレーキ開始直後の濃縮された汚泥のみを濃度計で検知し引き抜くことができる。

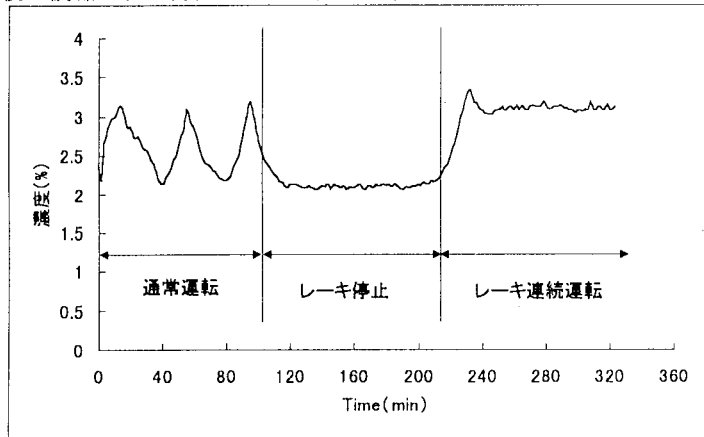


図-6 濃度変動におけるレーキの影響

④汚泥界面高さによる濃縮特性

上述のように減圧処理された汚泥の重力濃縮槽での濃縮特性を調べるために、汚泥界面高さ、減圧処理装置出口の平均汚泥濃度の相関を図-7に示した。

界面高さが液面から2.5~4.0mの低い位置では、界面高さに比例して汚泥濃度が高くなり、それ以上の界面高さではほぼ一定となった。

一方、減圧処理装置出口の汚泥は上述のようにレーキによる濃度変動があるが、図-8に示すように平均濃度に関係なく同様のピーク形を有しているため、引き抜く汚泥の下限濃度の設定により、界面の制御が可能となった(図-9)。

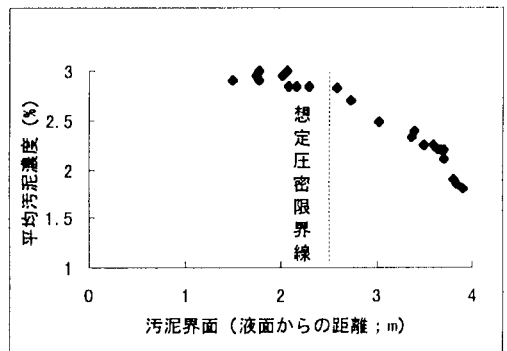


図-7 汚泥濃度と界面の関係

汚泥を循環して滞留時間が短くなっているにも関わらず、減圧処理した汚泥は沈降性が良好なため2.5mの界面高さ辺りで圧密限界に達していると考えられる。

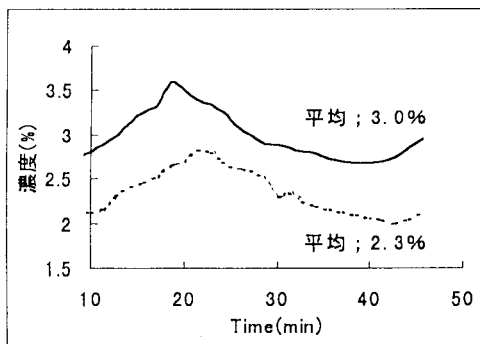


図-8 減圧処理後汚泥濃度変化

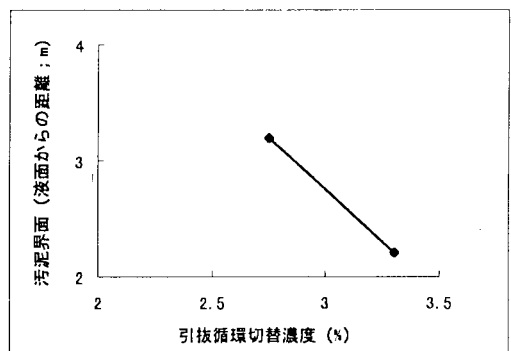


図-9 引抜循環切替値と界面の関係

従って、界面高さは汚泥滞留による腐敗を考慮して、圧密可能な最低界面高さ（2.5m）で維持するべきだと考えられる。また、汚泥界面高さを液表面から3.5～4.0mの比較的低い状態に維持すると、濃縮槽からの脱離液中のPは平均25ppmで安定していた。これに対して、汚泥の減圧処理を停止したり、汚泥界面を液表面から2.0m程度まで高めると約2倍の50ppm程度までPの濃度が増大した。

今回、減圧処理装置は脱気の為だけに使用し、レーキ停止による濃度変動を利用して界面管理を行ったが、レーキによる濃度変動のない重力濃縮槽の場合は、減圧処理装置の浮上分離静置時間を設けて①でみられた濃度変動を増幅させてやることにより、同様の界面制御が可能となると考えられる。

5. まとめ

重力濃縮槽における汚泥減圧処理装置を利用した自動管理システムによる実証運用により以下の結論を得た。

- ①汚泥減圧処理による腐敗抑制効果により、スカムの発生を防止することにより、固形物回収率を高め、Pの溶出を抑制できた。
- ②減圧処理による脱気効果と浮上濃縮効果により、汚泥濃縮倍率を高めることができた。
- ③引き抜き汚泥の連続減圧処理により、汚泥濃度の安定した連続計測が可能となり、レーキの発停や負荷変動に対しても最適な汚泥引き抜き量で制御できた。
- ④重力濃縮槽内の汚泥界面は、引き抜き汚泥濃度の制御設定値を適切に管理することにより、必要最小限の滞留時間となるように自動的に維持することができた。

6. あとがき

連続引き抜きが可能で、引き抜き時の水路の形成がなく、比較的高濃度の汚泥を安定して引き抜くことが可能であった。また、スカムの発生もみられず、長時間安定した運転が行えた。

汚泥濃縮技術としては重力濃縮法以外にも、浮上濃縮法や遠心濃縮法が一般的なものとして利用されているが、LCAの観点から考えると環境負荷（CO₂発生量）が他のものに比べ25～50%と少ない重力濃縮法の効率化が望まれる。

参考文献

- 1) 亀山健一、早瀬宏：下水汚泥の長期貯留とその性状に関する調査、日本下水道事業団技術開発部報、38-41, 1995年