

## 軸心排出方式遠心濃縮機の濃度制御

清水 洽\*、小林康男\*、水上浩良\*

\*久保田鉄工(株)上下水プラント事業部  
東京都中央区日本橋室町3-1-3

### 概要

下水汚泥の濃縮性の悪化に伴ない、遠心濃縮機の導入が最近増加しつつある。遠心濃縮機設置の主目的は、安定した濃縮汚泥と清澄な分離水を得ることである。「濃縮プロセス」は汚泥処理システムの最初に位置付けられ、安定した濃縮汚泥を得ることが後に続く処理プロセスに大きな影響を及ぼす。この意味でも濃縮濃度の自動制御は重要なものといえる。

筆者らは数年来遠心濃縮機の開発に携わっており、この度、省エネ型である軸心排出方式の遠心濃縮機を開発した。本装置は濃縮汚泥濃度を安定に保つ新しい自動制御システムを組み込んでおり実験機、納入機によりその制御性が確かめられている。この特徴は次の2点である。

①汚泥の粘度から濃度を推定する。

②ステッピングモータで動作する濃度調整バルブの開度調整により濃縮濃度を制御する。

本論文は、本システムの構造・原理および実際の運転結果について報告するものである。

### キーワード

汚泥 遠心濃縮 濃縮濃度 自動制御 トルク 粘度

### 1. 軸心排出方式遠心濃縮機の原理と操作因子

Fig 1 に軸心排出方式遠心濃縮機の構造図を示し、以下にその原理を説明する。

①供給される汚泥は、円筒ボール内に流入し、(従来型はボール中央部)ボール先端部に向かって流れる間に遠心力により固液分離される。

②濃縮された汚泥は、スクリーにより分離液と同一方向に搬送され(従来型は分離液と逆方向)スキミング管を経て、回転軸心に位置する濃縮汚泥管より排出される。

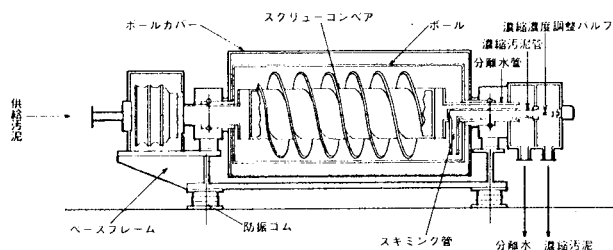


Fig 1 軸心排出方式遠心濃縮機の構造図

- ③分離水は濃縮汚泥管と二重管構造で、やはり回転軸心に位置する分離水管から排出される。
- ④濃縮汚泥管先端に位置する濃度調整バルブの開度調整（濃縮濃度を検知し自動制御）により、濃縮濃度を自動的に調整する。

遠心濃縮機は高速回転体であり、このため、回転数検知・軸受温度検知・異常振動検出等の計装機器を取付けており、これらの計装フローを Fig 2 に示す。

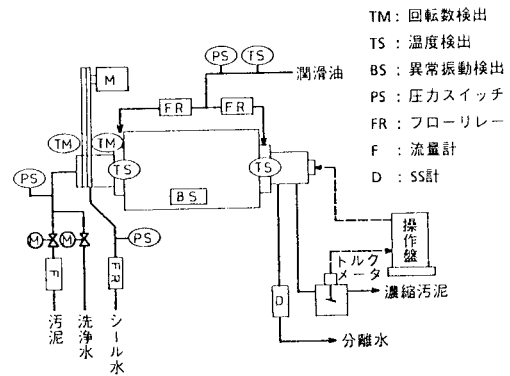


Fig 2 遠心濃縮機計装フロー

構造図で示したように、本機は従来の横型遠心濃縮機と異なる構造を持ち、濃縮濃度の制御もこれまででは差速の変化によるものが主であったが、本機は主に濃度調整バルブの開度調整により行っている。濃度調整バルブを閉方向に動作させると濃縮汚泥の排出量が減少し（分離水の排出量が増える）、濃縮機内の汚泥界面が上昇して汚泥の滞留時間が長くなるため、結果として濃縮濃度が高くなる。また、濃度調整バルブを開方向に動作させると、これと逆に濃縮濃度は低下する。

濃度調整バルブは円錐形のニードルバルブ形式である。この開度調整の精度を保つため、バルブの開閉駆動には最小0.72度まで設定できるステッピングモータを用いている。第3項の自動制御フローで示す一つの開（閉）動作を通常30～45度の回転角度で設定している。また、バルブ1回転（360度）で移動するバルブの距離（ネジピッチ）は5mmである。

Table 1 に、本濃縮機の濃縮濃度・回収率に影響をおよぼす因子について示す。表中の影響因子の中で、実際に機械側で操作し得るものは遠心効果、濃度調整バルブ開度、差速であるが、本機は通常差速は一定であり、濃度調整バルブの開度調整が主操作因子となる。

## 2. 粘度による汚泥濃度の測定

汚泥濃度の測定方法には光透過式、超音波式等があるが、高濃度の濃縮汚泥の測定方法として、本システムでは汚泥の粘度から濃度を推定する方法を採用した。

Fig 3 に粘度測定装置（トルクメータ）の概略図を示す。本装置は、下端に傾斜角度を持って取り付けた円板を濃縮汚泥中で回転させ、この時の抵抗（トルク・粘度）を測定するものである。上部モータと円板は「ねじれセンサー」で接続されており、ここに汚泥抵抗に比例したねじれ角が発生する。この角度を上下2つのディスクでフォトセンサーにより測定し、ねじれ角からトルクを換算している。本装置ではねじれ角270度がトルク1000g-cmに相等する。

Table 1. 影響因子のまとめ

		濃縮濃度 (%)	回収率 (%)	消費電力 (KW)	単位m <sup>3</sup> 当りの 消費電力 (KWH/m <sup>3</sup> )
投入濃度 (%)	(上がると)	↗	↘	—	—
投入流量 (m <sup>3</sup> /H)	(大きくなると)	↘	↘	↗	↘
遠心効果 (G)	(大きくなると)	↗	↗	↗	↗
濃縮濃度調整バルブ	(閉にすると)	↗	↘	—	—
差速	(大きくなると)	↘	↘	—	—

↗ 印は、明確な傾向を示す。  
↘ 印は、やや傾向のあることを示す。  
— 印は、ほとんど影響のないことを示す。

また抵抗値に影響する因子として、円板径、傾斜角度、回転数があるが、それぞれ100φ、20度とし、回転数は50～250 rpm の範囲で50 rpm 毎に任意に設定できる。

Fig 4 に汚泥種類とトルクとの関係を示す。またFig 5 にトルクと粘度（B型粘度計で測定）の関係を示す。これより以下の事が判る。

- ① 汚泥濃度とトルクは指数関数的な関係があり、低濃度域ではトルクに差が出ず検量線としては不適當であるが、高濃度域ではトルクから濃度を求めるのは有効である。
  - ② 汚泥種類によって同一濃度でもトルクに差がある。4%濃度の余剰汚泥は混合汚泥の5～6%の粘度に相当し、これ以上になると流体として取り扱いにくくなり、濃縮濃度の設定は汚泥種類毎に変える必要がある。
- (\*) Fig 5 はB型粘度計で測定した結果であるが、下水汚泥は非ニュートン流体であるため、使用するロータの種類や回転数の違いにより指示される粘度の値が異なる。よって、B型粘度計による粘度(C.P)の表示には、使用するロータ、回転数の統一・明示が重要である。

### 3. 軸心排出方式遠心濃縮機の制御方式

上記に示した濃度測定装置により濃縮濃度を測定し、これが一定範囲に入るよう濃縮機の濃度調整バルブを動作させる。このブロックフローをFig 6 に示し、以下に説明する。

- ① 目標とする濃縮濃度の範囲（L～H）、およびトルクから濃度への換算式をインプットする。
- ② 濃縮機運転中、一定時間毎（タイムスパン：30秒程度）に濃縮濃度を測定する。
- ③ 濃縮濃度が設定範囲内（L～H）であれば濃度調整バルブは動作しないが、H以上であれば設定量開動作を行ない、L以下であれば閉動作を行なう。

### 4. 運転結果

本システムを用いた実運転結果として、A市に納入した遠心濃縮機の混合汚泥の濃縮運転例を示す。

Fig 7 は混合汚泥のトルクと濃度の関係を示したものである。この関係式は次式で近似し、係数 a, b を決定している。

$$y = a x + b \sqrt{x}$$

Fig 8 は異なる2日間における実際の運転結果を示したものである。これは濃縮濃度 L・H をそれぞれ 5.0・5.5% に設定し制御したものであるが、これより以下の点が判る。

- ① 投入濃度の高い（2.6～2.9%）第1日目と、投入濃度の低い（1.9～2.1%）第2日目、共に濃縮濃度の指示は5～5.5%で安定している。

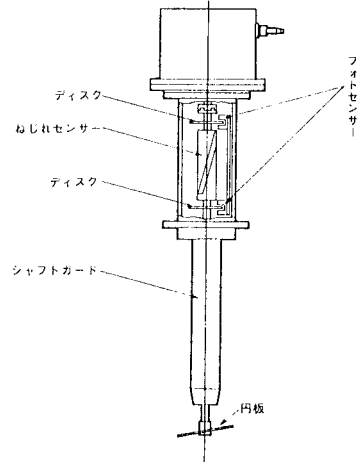


Fig 3 粘度測定装置

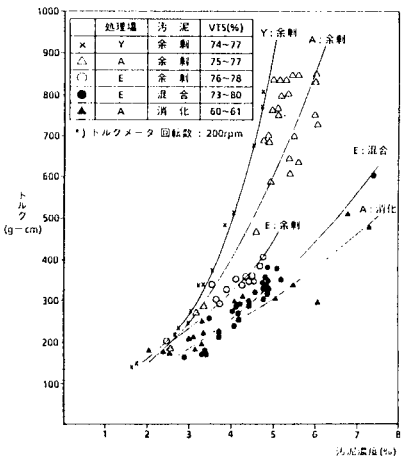


Fig 4 汚泥濃度とトルクの関係

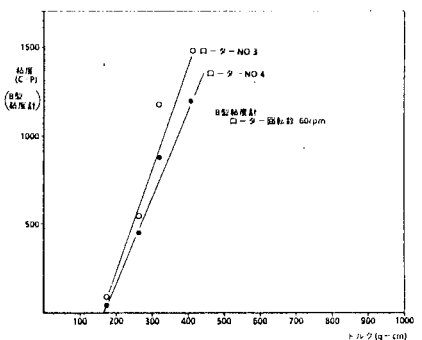


Fig 5 トルクと粘度の関係

- ②本設備は汚泥集中処理施設であり、各処理場からの圧送汚泥により汚泥性状、濃度の変動の多いことを予測し、濃縮濃度を下げる制御（調整バルブ開）を行なっても濃縮濃度が低下しにくい時には、遠心効果Gを下げる制御も合わせて行っている。この現象が第1日目の12時頃にみられ、投入濃度の低い第2日目では逆に高いGで運転している。
- ③投入濃度の高い第1日目では濃度調整バルブは2～3.5回転で運転し、投入濃度の低い第2日目では1.5～2回転のやや閉傾向の状態に運転している。
- ④濃縮濃度の計測値は5～5.5%であるが、実際の分析値は5.5～6.1%とその誤差は0.5%程であった。

5. おわりに

省エネ型遠心濃縮機として軸心排出方式の遠心濃縮機の濃縮濃度安定化に対する制御システムについて示した。次のステップは投入汚泥濃度等、汚泥性状の変化により投入量を変化させる制御が考えられる。

今後、広域汚泥処理等による大規模の汚泥処理場が建設されるにつれ、濃縮機の設置台数が10～20台と増加してくるため、1台毎の濃縮濃度安定化の制御と、投入量を調整する台数制御との組み合わせにより、さらに省エネ化・安定化をめざしたシステムの確立にとり組んでいきたい。

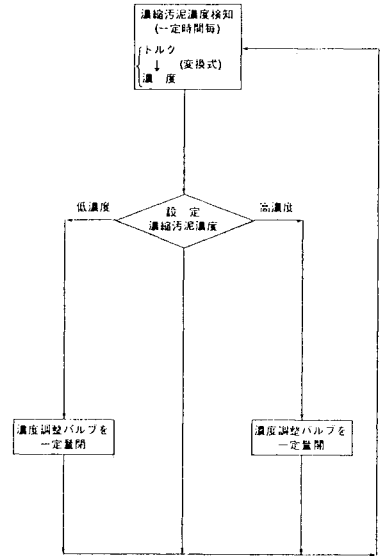


Fig6 自動制御フローシート

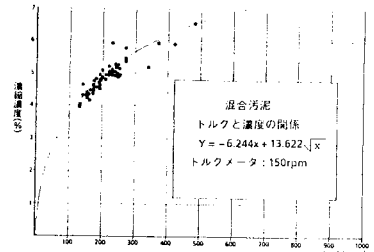


Fig7 混合汚泥：トルクと濃度の関係

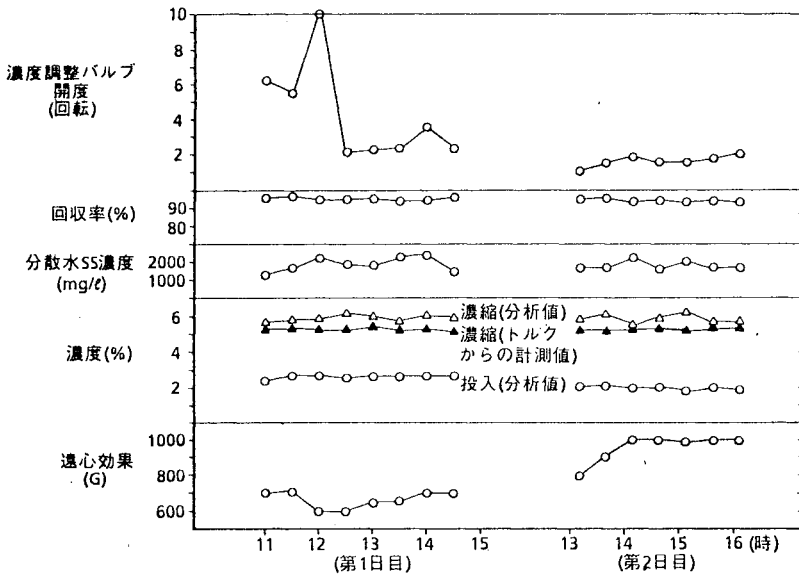


Fig8 運転結果