

# 下水汚泥脱水機選定に関わる一考察

一般社団法人 日本下水道施設業協会

技術部長 松尾英介



## 1. はじめに

汚泥脱水機は下水汚泥処理の中心機器として開発され、様々な機種が存在する。従って機種選定時の比較評価項目は重要であるが、最近特に注目されるのが消費エネルギー量である。しかし、汚泥性状が悪く運転による工夫だけでは十分な脱水性能が得られない場合や、処理場の規模や運転体制などが重要となる場合もあり、一方にとられない総合的な評価が必要である。これらの評価項目について以下検討する。

## 2. 脱水設備の機種選定における評価項目

### (1) 処理場の特性について

処理場に流入する汚水量は、例えば都市の大規模処理場と山間地域等の小規模処理場では、処理対象汚泥量は大きく異なるが、機種選定する上で検討すべき評価項目はそれだけではない。以下、典型的な項目について記述する。

#### ① 処理場のスペース

大都市において、処理場スペースが確保しづらい場合では、処理量が大きくコンパクトで必要最大限の単体処理能力の脱水機をなるべく少量設置することが望まれる。当協会のホームページ「技術ギャラリー」に、脱水機が掲載されているが、1台あたりの処理可能量は、遠心脱水機のように最大50m<sup>3</sup>/h（固形分として1,000kg/h）以上のものがある。一方小規模用としては、5 m<sup>3</sup>/h程度の遠心脱水機とならんで、小規模処理場用に特化した、最大でも8 m<sup>3</sup>/h（160kg/h）程度を対象にし

た多重円板型脱水機などもある。

#### ② 維持管理性

脱水機の維持管理性については、大規模処理場では、1台あたりの処理量を大きくして台数を出来るだけ少なくした合理的な台数設置とする他に、省エネ性（電力消費）やケーキ含水率（ケーキ分量）の影響が大きくなるので、それらの項目の優位性が強く求められることが多い。一方、小規模処理場の場合は、維持管理が容易な構造や可動部分が低速であることなどが求められる事もある。

#### ③ 運転体制

大規模処理場では、脱水機設備は24時間連続運転が多い。これは対象汚泥量が多く、なおかつ設置スペースの制約があることによる他に、焼却炉での運転停止によるエネルギーロスを回避するための連続運転に付随して脱水機も連続運転されている場合もある。一方小規模処理場では、昼間の6時間運転などが選択されて、処理場全体の少人数による運転体制を優先した機種を決定している事が多い。

#### ④ 騒音振動臭気等への対策

処理汚泥量が多ければ、機器台数が増えて振動騒音、臭気等の発生源が増えることからパッケージ型が望まれる。近傍に住宅地が有る場合も同様である。大規模処理場の場合、流達時間が長いために処理場に汚水が流入した時点ですでに腐敗が発生して硫化水素濃度等が高い場合があり、防臭用カバーの密閉性が高いことが注目される場合がある。

## (2) 汚泥性状について

脱水機の運転は、対象とする汚泥の性状によっても大きく影響を受ける。下水道事業団の標準仕様書の性能表に記載されているように、各種要因が複合的に影響する。性能表に明らかだが、汚泥性状に関するこれらの項目によって凝集剤添加率や脱水ケーキ含水率等の脱水性は変わる。性状が良ければ脱水機の運転にあまり注意しなくとも凝集剤添加率は下がり、ケーキ含水率も下がることになる。脱水機も、加圧を急にする、あるいは最終的な圧力を高くする構造を採用しても、汚泥のはみ出しやろ布等への付着が少ない。結果としてコンパクトな脱水機で良好な脱水ケーキが得られる事になる。

汚泥性状による影響に関する課題は標準的（普遍的）汚泥というものが無く、一方で処理場毎の汚泥に特徴があるため、脱水機の性能を客観的に比較する方法が無いことである。特にあらかじめ性状の悪さが明らかな場合、自治体からの要望等により会員各社は対象とする処理場汚泥をサンプリングして脱水機に投入し、あるいはデモンストレーション用の機械を用意して当該処理場に設置し、実際に発生している汚泥を投入して脱水性能を確認するような、特別な処置をおこない選定の参考データとすることもある。

汚泥性状の差異の原因は、流入汚水の性状に起因する場合、水処理方式に起因する場合、および脱水に至るまでの汚泥処理方法に起因する場合などが考えられ、以下に主な項目を記述する。

## ① 水処理方法

水処理方法によって、発生する汚泥の性質は異なる。中、大規模処理場で一般的な標準活性汚泥法では、初沈汚泥と余剰汚泥を混合した混合生汚泥が発生するが、初沈汚泥は無機分も多く粒径も大きく沈殿しやすく、さらに生物処理も経ていないので脱水性が良い。一方余剰汚泥は活性汚泥微生物が相当の割合を占めているので脱水性は悪い。混合生汚泥は初沈汚泥の影響が強くと脱水性が比較的良い。

一方、小規模施設で多く用いられるオキシデーションディッチ法などの長時間活性汚泥法では、全汚水を最初沈殿池を経由することなく反応タン

クに流入させ、標準活性汚泥法の2～3倍の時間をかけて曝気しながら生物処理を行う。最終沈殿池で余剰汚泥（最初沈殿池での分離がないので無機分の混入はあるものの、活性汚泥微生物の割合が多い）として全量を固液分離させるので発生汚泥の脱水性が混合生汚泥に比べて悪いという特徴がある。

## ② 汚泥の種類（混合生汚泥、余剰汚泥、消化汚泥）

上記のように標準活性汚泥法から得られる混合生汚泥、オキシデーションディッチから発生する余剰汚泥では脱水性に差がある。一方混合生汚泥を消化槽に投入して消化汚泥として取り出すと、有機分の相当部分が生物処理を経て可溶化またはガス化し、汚泥固形物量は減り臭気等も減じる。この汚泥は無機分は増えるが粒径が小さく、またコロイド化しており、混合生汚泥に比較して脱水性が悪化する。また嫌気性消化の結果アルカリ度が上昇しており、これが凝集剤の添加率上昇につながる。

## ③ 強熱減量

強熱減量は、汚泥の有機分を表す指標で、割合が多いほど脱水性は悪い。流入汚水の性質、水処理方式、汚泥処理方式が原因となる。一般的な例では、初沈汚泥は砂分（無機分）割合が多いため強熱減量が少なく脱水性が良い。一方余剰汚泥は活性汚泥が主体で強熱減量が多く脱水性が悪い。

## ④ 繊維状物

汚泥中の繊維状物は、脱水性に影響し、この濃度が高いほど一般的に脱水性が良く、これも流入汚水の性質、水処理方式、汚泥処理方式のそれぞれが原因となるが、トイレトペーパーの影響が高く、シャワートイレの増加によるトイレトペーパー使用量の減少に伴う脱水性悪化が言われている。消化汚泥は消化工程で可溶化して繊維状物が少なくなることも、脱水性の悪さに影響していると言われている。

## (3) 脱水ケーキ処分方法

処理場で発生した汚泥を最終処分する方法は、脱水ケーキあるいは焼却灰の埋め立て、燃料化、農地還元など様々であり、脱水ケーキ含水率によってはそれらの処分方法に適さない場合もあるの

で、脱水ケーキの性状が一定の範囲内である必要がある。

脱水ケーキ含水率は、ケーキボリュームに大きく影響するので、埋め立て処分の場合は、含水率を低下させることが重要である。

一方、焼却処分の場合も、ケーキ含水率が低いと投入量自体が少なくなり、同時に助燃油必要量も減るので、ケーキ含水率を低減させる事には大きなメリットがある。もともと焼却処分は、脱水ケーキの埋め立て地等の処分先の不足からボリュームを減じるために選択されることが多く、助燃油量を低減すればそのまま費用が減じられるので効果は大きい。

(4) 運転経費

① 電力費

使用エネルギーのうち電力については、昨今特に関心が高い。たとえば単体での電力使用量が比較的大きいと言われる遠心脱水機について、汚泥量10m<sup>3</sup>（濃度2%）を1時間に処理するのにかかる単体電力代は、表-1の仮定の下での試算では、270円となる。

② 凝集剤使用料

凝集剤の開発は脱水機の開発の原動力になっており、無機凝集剤のみの時代から有機系の凝集剤が開発され、さらにその単独添加から2液添加（両性高分子系とポリ硫酸第二鉄等）によって凝集能力を向上させてきた。それらに対応する改良型脱水機が出現している。凝集剤はさらに腐食性汚泥にも有効な種類（アミジン系等）も開発されている。ただし、初期から用いられている無機凝集剤（石灰や塩化第二鉄等）も、例えば加圧ろ過機を用いて低含水率のコンポスト用脱水ケーキを製造する場合などには現在も使われている。

凝集剤の単価は種類によって異なり、最も採用されている有機系の一液添加用高分子凝集剤で、一般に700~1,000円/kg程度である。表-2は、表-1と同じく汚泥を1時間に10m<sup>3</sup>処理する場合の凝集剤添加（カチオン系一液使用と仮定）にかかるコストの例で、固形物あたり添加率1.0%での額を示す。

③ 脱水ケーキ埋め立て処分費

脱水ケーキの含水率は、ケーキボリュームに影響する。

表-1 本体駆動動力にかかる費用（電力料金15円/kWhと仮定）

項目	仮定および計算	計算
遠心脱水機の場合	※処理汚泥量10m <sup>3</sup> /h、汚泥濃度2%、本体動力（本体及び差動モータ）30kWと仮定し消費動力は定格の60%とする（1.8kW/m <sup>3</sup> ）。	10m <sup>3</sup> /h×1.8kW/m <sup>3</sup> ×15円/kWh=270円/h （1時間あたり汚泥を10m <sup>3</sup> 処理）

注. ※) 処理汚泥量10m<sup>3</sup>/h（濃度2%）は処理前の汚水量としては、たとえば汚水中の固形物(SS=)160mg/ℓ=0.16kg/m<sup>3</sup>分を固液分離させたと仮定すると、10m<sup>3</sup>/h×2/100×1,000kg/t/(0.16kg/m<sup>3</sup>)=1,250m<sup>3</sup>/hとなる。即ち汚水原水1,250m<sup>3</sup>/h程度を対象にした場合となる。

表-2 凝集剤にかかる費用（凝集剤700~1,000円/kg）

項目	仮定および計算	計算
凝集剤添加率1.0%（固形物当たり）	※処理汚泥量10m <sup>3</sup> /h、汚泥濃度2%	10m <sup>3</sup> /h×0.02×1,000kg/m <sup>3</sup> ×0.01×(700~1,000)円/kg=1,400~2,000円/h

表-3 脱水ケーキ処分費（処分費20,000円/ケーキt）

項目	仮定および計算	計算
ケーキ含水率81%	※処理汚泥量10m <sup>3</sup> /h、汚泥濃度2%、処理固形物量0.2t、回収率100%と仮定	0.2t/h/(1-0.81)×20,000円/t=21,050円/h

表-4 脱水ケーキ処分費（燃料費70円/ℓ-A重油）

項目	仮定および計算	計算
ケーキ含水率81%	※処理汚泥量（濃縮）10m <sup>3</sup> /h、汚泥濃度2%、処理固形物量0.2t、回収率100%と仮定	0.2t/h/(1-0.81)×37ℓ/脱水ケーキt×70円/ℓ=2,726円/h

響する。埋め立て処分費の例を表-3に示す。処分単価は処理場の立地条件等によって幅があり、30,000円/ケーキtのような場合もある一方、10,000円/ケーキt以下の場合もあると聞かすが、本比較は20,000円/ケーキtで行った。表-1と同じ汚泥量が対象である。

④ 焼却炉補助燃料使用料

焼却処分の場合も、必要な助燃油量は、ケーキ含水率が低いと脱水ケーキ量自体が減少し、単位脱水ケーキあたりの助燃油必要量も減るので、ケーキ含水率を低減させる事には大きな意味がある。表-1と同じ汚泥量を焼却した場合、ケーキ含水率81%と仮定すれば助燃油量（価格）は表-4の計算となる。（脱水ケーキあたりの助燃油量は、古北克氏の試算によった。）

⑤ 運転経費比較について

以上の結果、様々な仮定を積み上げた数値ではあるが、運転経費にしめる項目の中での影響の大きさは、次のようになった。

「電力使用料」<「凝集剤使用料」<「埋め立て処分費」または「焼却炉での助燃油料」

ここで分かることは、個別プロセスの運転経費最小化が全体の最小化にはならないことである。例えば関係する項目の中でも比重の大きい脱水ケーキ含水率の低減を重要視すれば、電力使用量が多少大きい脱水機の使用や凝集剤の使用料が少々大きいことは最終的選定評価項目とはならない。即ち、設備全体を俯瞰して最適値を求めることが重要である。

なお、経済性を評価する場合は、LCCでの比較が必要である。このレポートでは割愛したが、実務的には少なくとも設備設置工事費の減価償却費を加えた計算が行われるのが通例である。

#### 4. 脱水機構造について

現在、脱水機構造としては、凝集剤により汚泥をフロック化した後、ベルトプレス型、スクリュープレス型、ロータリープレス型などではろ過、遠心脱水機では遠心力による固液分離を行う。汚泥性状が悪い場合や更に低いケーキ含水率を追求するために、構造に関して脱水（ろ過や遠心力による固液分離）時間を長くして徐々に加圧する方法、前段に濃縮機構を設け強く加圧する前に効果的に水分を抜く方法、汚泥に微妙な剪断力をかけて汚泥中に水分の抜ける道を確保する方法、凝集剤の添加位置およびそれに伴い2液薬注等凝集剤種類

に工夫するなど、脱水機種毎の開発点がある。これらの工夫は、最新機種としてラインアップされる場合と、標準型の脱水機に対して高効率型等の名称を付して製品化されている場合があるが、価格や設置スペース、施設にかかる荷重、維持管理の仕方などに差異があり、それが各脱水機の特徴となっている。「下水道施設計画・設計指針と解説2009版」に掲載されている脱水機の種類を図-1に示す。

#### 5. おわりに

昨今重要視される電力使用量等の削減による省エネルギー化は、温室効果ガス発生量の削減にも効果があり重要であるが、それだけでの評価は適切ではない。対象処理場の汚泥性状、固有の特性（汚泥量、処理スペースや運転体制等）や後工程としての脱水ケーキの処分方法の影響が極めて大きい。これに対して脱水機種毎にも特徴があり、これらを考慮することによって脱水機の機種が選択される。そして運転において、実務的に凝集剤の種類や添加率等が選択されることになる。従って、以上を総合的に評価することで脱水機は評価されなければならない。

当協会会員は様々な用途に適した脱水機を開発しており、当協会ホームページ (<http://www.siset.or.jp/>) 「技術ギャラリー」に掲載しているので参考にされたい。

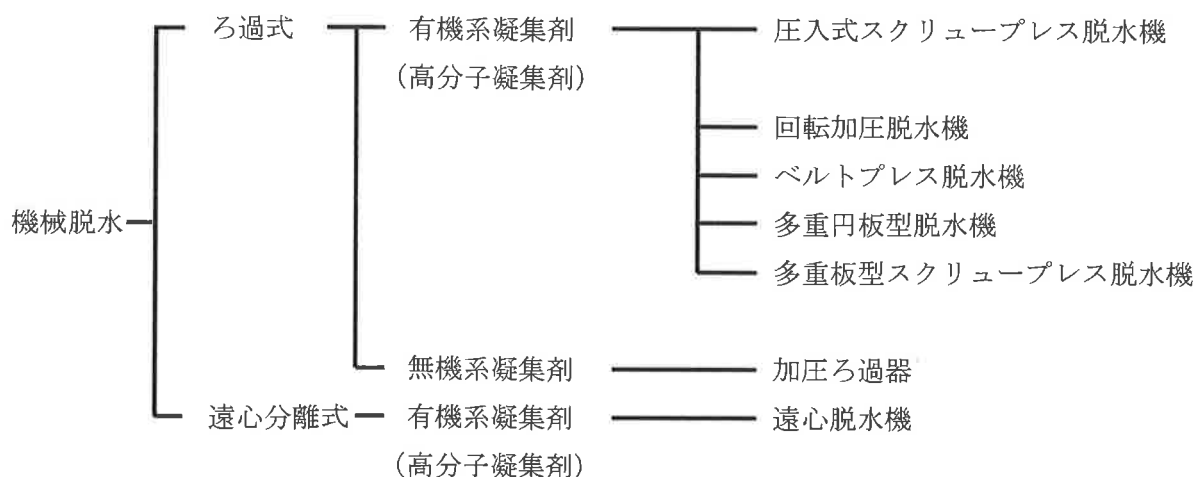


図-1 機械脱水機の種類例（下水道施設計画・設計指針と解説2009版）