

常圧浮上方式による浄化槽汚泥の簡易処理

田所正晴, 桜井敏郎
(環境工学部)

Note

A simple processing method for waste sludge from onsite wastewater treatment system using normal pressure flotation

Masaharu TADOKORO, Toshiro SAKURAI
(Environmental Engineering Division)

キーワード：浄化槽汚泥, 常圧浮上処理, し尿処理施設

1. はじめに

近年、生活排水処理対策として下水道や合併処理浄化槽の普及が進んでおり、これに伴ってし尿処理施設ではし尿の搬入量が大幅に減少し、相対的に浄化槽汚泥の混入率が著しく増加して、その対応に苦慮している処理施設が少なくない。本県では特にその傾向が強く、平成9年度現在、県内にあるし尿処理場16カ所（し尿処理施設19施設）のすべてで浄化槽汚泥混入率が60%を超えており、そのうち14カ所が70%を超えている状況にある¹⁾。すなわち、県内のし尿処理施設のほとんどが、し尿ではなく浄化槽汚泥の処理を主体とした施設になっている。

現在、「し尿処理施設構造指針」²⁾では、浄化槽汚泥専用処理方式として、浄化槽汚泥を凝集処理で固液分離しその分離液を活性汚泥処理する方式が採用されている。この固液分離設備は、凝集処理装置と固液分離装置を組み合わせたもので、固液分離装置は重力沈降方式、浮上分離処理方式、または機械分離方式によるものとされている。浮上分離処理方式には加圧浮上方式と常圧浮上方式があるが、重力沈降による分離操作が一般的で、浮上分離は少なく、なかでも常圧浮上方式は短時間で固液分離できるためコンパクト化が可能であるにもかかわらず現在のところ実施はほとんどない。

しかし、最近下水道の普及している都市部のし尿処理施設では、下水道法に基づく特定事業場からの下水排除の水質基準（以下「下水道投入基準」という。BOD、SSとも600mg/L（特別な場合300mg/L）以下。）に合わせ、高度な処理をしないで下水道に投入するところも増加している。こ

うした場合には、浮上分離処理方式で一般的な加圧浮上処理に代え、常圧浮上のような簡易処理だけで十分対応できるものと考えられる。

そこで、浄化槽汚泥量が急増しているし尿処理場において、浄化槽汚泥の簡易な処理技術の一つとして導入した常圧浮上方式の処理施設（以下「常圧浮上処理施設」という。）について機能調査を行うとともに、凝集分離実験を行い、その適用の可能性について検討した。

2. 方法

2.1 常圧浮上処理施設の機能調査

対象施設として、X市し尿処理場内にある浄化槽汚泥専用の常圧浮上処理施設（最大処理能力60kL/日、処理量22kL/日）を選定した。調査内容としては、施設の運転状況、搬入される浄化槽汚泥の性状、常圧浮上処理における分離液および浮上汚泥の性状等について調べた。調査期間は6カ月間とした。

図1には処理施設のフローシートを、表1と表2には主要設備の槽容量および処理条件を示した。

表1 常圧浮上処理施設の主要設備の槽容量

名称	槽容量
①薬液溶解槽	0.3m ³
②薬液槽	1.5m ³
③気泡発生槽	0.3m ³
④汚泥貯留槽	137.0m ³
⑤濃度調整槽	6.0m ³
⑥反応槽	0.1m ³
⑦常圧浮上分離槽	6.0m ³

表2 処理条件

操作項目	項目	内容
浄化槽汚泥	投入方式	タイマーによる間欠投入（1時間毎）
	処理量	2.0m ³ /時（バッチ式）×11時間/日
常圧水	使用量	1.5m ³ /時
	起泡助剤	無添加
高分子凝集剤	種類	カチオン系
	溶解液濃度	3,300mg/L
	溶解液使用量	0.14m ³ /時
	添加濃度	125mg/L
反応槽	滞留時間	1.7分
常圧浮上槽	浮上面積	3m ²
	設計固形物負荷	170kg/m ² ・日
	設計気固比	0.06kg-Air/kg-SS

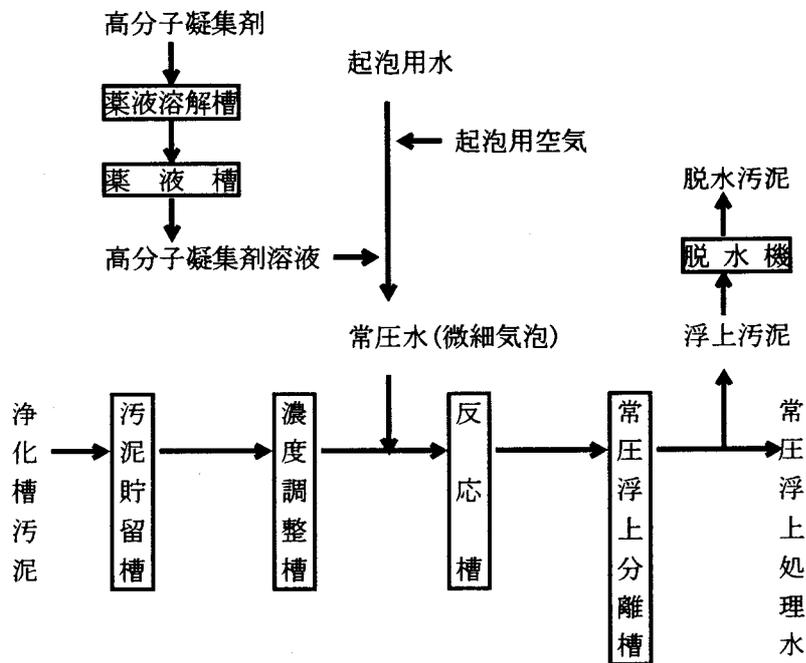


図1 常圧浮上処理フローシート

図1より、浄化槽汚泥は、除渣した後濃度調整槽からタイマーで間欠的に反応槽に送られる。一方、気泡発生槽では起泡用水と空気のほか高分子凝集剤の溶解液が供給され、槽内部のタービン翼により微細気泡を発生させる。反応槽では微細気泡と高分子凝集剤を含んだ常圧水が供給され、汚泥と混合し、気泡は汚泥中の固形物と電気化学的に強固に結合する。気泡が付着した汚泥固形物は、常圧浮上分離槽に送られている間にブロックを形成し、槽内に流入後動水圧から解放され浮力で浮上し固液分離される。この浮上濃縮汚泥（フロス）は、常圧浮上分離槽上部に設置されたスクレーパー（フロス掻き取り機）により掻き取られ、脱水処理工程へ送られる。また、常圧浮上処理水（分離

液）は槽底部から引き抜かれ、水位調節部の越流せきから流出する。なお、一般に常圧浮上では起泡助剤として界面活性剤が使われるが、ここでは無添加で、高分子凝集剤がその代用をしている。

当施設では、常圧浮上処理水をさらに活性汚泥処理し、下水道に投入している。

2.2 浄化槽汚泥の凝集処理実験

常圧浮上法では、気泡と固形物粒子が凝集剤によって電気化学的に付着していることから、その処理効率は凝集条件に大きく左右される。このため、凝集性が確認できれば安定した運転が行えることから、高分子凝集剤により最適処理条件の基礎的検討を行った。

実験には、当施設から採取した除渣後の浄化槽汚泥の試料A (BOD 3,520mg/L、COD 1,900mg/L、SS 4,450mg/L)と低濃度の試料B (BOD 2,000mg/L、COD 1,120mg/L、SS 1,580mg/L)を用いた。試料Bは、常圧水が注入された反応槽での濃度に相当するものである。高分子凝集剤には、カチオン系2種 (FM、MM)、ノニオン系1種、アニオン系1種の合計4種を使用した。この凝集剤を浄化槽汚泥500mLに添加濃度20~200mg/Lの範囲で数段階加え、ジャーテスターを用いて急速攪拌 (150rpm、5分)と緩速攪拌 (50rpm、20分)により凝集した後30分間静置して、固液分離状況の観察および上澄水 (処理水)の水質分析を行った。

3. 結果および考察

3.1 常圧浮上処理施設の機能調査結果

(1) 処理状況

当施設における処理状況を調査した結果、起泡のための界面活性剤は無添加のため、通常の常圧浮上で形成される微細な気泡 (500 μ m程度)は得られなかった。しかし、高分子凝集剤を125mg/Lの濃度で添加しているため、一般に気泡は汚泥固形物に良好に付着し、10~15cm前後の厚い安定したフロス (浮上汚泥)層が形成されており、清澄な常圧浮上処理水 (分離液)が得られた。運転はタイマーによる自動化が図られているため、管理は比較的容易であった。

なお、常圧浮上処理の運転状況を把握するために必要な水質項目として、浄化槽汚泥の供給汚泥濃度、浮上汚泥濃度、および分離液SS濃度があるが³⁾、良好なフロスが得られない場合には分離

液が懸濁することから、日常の運転状況の把握は、常圧浮上処理水のSS濃度を目視判定することが有効と思われた。

(2) 浄化槽汚泥の性状

貯留槽から採取した除渣後の浄化槽汚泥の平均的性状 (n=12)を表3に示した。

SSは平均4,850mg/L、BODは平均3,410mg/Lで、これらの変動係数はSSが約40%と大きいのにに対し、BODは25%と比較的小さく、安定していた。T-NおよびT-Pはそれぞれ平均538mg/L、22.4mg/Lで、溶解性成分のNH₄-NやPO₄-Pは少なく、いずれも80%以上が懸濁性のものであった。

なお、反応槽ではこの浄化槽汚泥が常圧水によって希釈されることになるため、貯留槽における浄化槽汚泥の性状に1.75倍希釈した値を算出し、表中に示した。

(3) 常圧浮上処理水の性状

1) 処理水質

表3に示したように、処理水質は平均でSS39mg/L、BOD179mg/L、COD43mg/L、TOC115mg/Lで、良好な水質が得られていた。特に、SSは下水道投入基準からみると非常に濃度が低く、BODも基準に十分適合していた。

また、反応槽で常圧水が注入された後の浄化槽汚泥を原水として、常圧浮上処理による平均除去率を算出すると、SS98.6%、BOD90.8%、COD96.2%、TOC93.5%となり、高い除去率が得られていた。ただし、高分子凝集剤単独で凝集処理していることから、溶解性のNH₄-NやPO₄-P

表3 浄化槽汚泥および常圧浮上処理水の平均水質と除去率 (n=12)

	浄化槽汚泥 (貯留槽)	浄化槽汚泥 (反応槽)	常圧浮上 処理水	除去率 (%)
pH	6.6	-	7.1	-
SS (mg/L)	4,850	2,770	39	98.6
BOD (mg/L)	3,410	1,950	179	90.8
COD (mg/L)	1,960	1,120	43	96.2
TOC (mg/L)	3,090	1,770	115	93.5
T-N (mg/L)	538	307	96	68.7
NH ₄ -N (mg/L)	87	50	46	8.0
T-P (mg/L)	22.4	12.8	4.6	64.1
PO ₄ -P (mg/L)	4.3	2.5	3.6	△
Cl ⁻ (mg/L)	147	84	-	-

注1) 浄化槽汚泥は、貯留槽のものは除渣後、反応槽のものは常圧水を含む。

注2) 常圧浮上処理による除去率は、反応槽の浄化槽汚泥を原水として算出した。

ただし、△印は除去率がマイナスであることを示す。

は除去されず、T-NとT-Pの除去率は60~70%の範囲にあった。

2) 処理水の粘性

当施設の常圧浮上処理では、粘性の高いカチオン系高分子凝集剤を用いており、しかもその添加濃度が125mg/Lと高い。これは浄化槽汚泥中のSSに対して高分子凝集剤を約4%添加していることになり、し尿処理施設構造指針に示されている0.2~2% (浮上分離方式では0.2~0.5%) に比べてかなり高濃度に添加しているといえる。このため、30℃における純水の動粘度は0.801cSt (20℃では1.004cSt) であるのに対し、常圧浮上処理水の動粘度は0.831~0.832cStで約4%も高かった。

このように粘性が高い処理水をそのまま下水道投入する場合には大きな支障はないが、さらに活性汚泥などで曝気処理を行う場合、曝気空気の気泡が微細化されず、酸素溶解が阻害されるため、多量の空気を吹き込まなければならない。特に高分子凝集剤が過剰の場合には酸素溶解阻害だけでなく処理水質の低下も生じるため、凝集剤の最適な添加濃度を把握しておくことが必要と思われた。

3) 操作因子の影響

浮上分離法では、一般に気固比、固形物負荷などが操作因子となるが、加圧浮上方式と違って、常圧浮上方式の場合は気固比や固形物負荷は分離特性にほとんど影響しないといわれる⁴⁾。そこで、気固比が0.02~0.08kg-Air/kg-SSのときの常圧浮上処理水のSS濃度を整理したところ、この範囲の気固比では、処理水のSSは35mg/L付近でほぼ一定しており、固液分離性能に大きな影響はないものと推測された。

(4) 浮上汚泥の性状

常圧浮上処理により発生した浮上汚泥の含水率は、平均約96%で圧密性が高く、気泡離れが見られない安定した良好な汚泥であった。また、常圧浮上分離槽内は好気性に保持されているため、汚泥の腐敗が生じにくく、臭気も臭気強度で約3と比較的弱かった。

3. 2 常圧浮上処理における最適凝集処理条件の検討

(1) 最適な高分子凝集剤の選定

浄化槽汚泥の試料Bを用いて、各種高分子凝集剤による凝集処理実験を行い、その処理効果を比較したところ、図2に示したようにカチオン系が良好で、ノニオン系、アニオン系は全く凝集効果が認められなかった。なかでも、イオン化度の強い強カチオン系凝集剤FMは中カチオン系の凝集

剤MMに比べ非常に凝集効果が高く、良好なフロックを形成し、清澄な処理水が得られた。しかし、同系の高分子凝集剤でも、メーカーや製品によって処理効率が異なる場合があることから、凝集剤の選定には効果と経費の両面から十分検討することが必要と思われる。

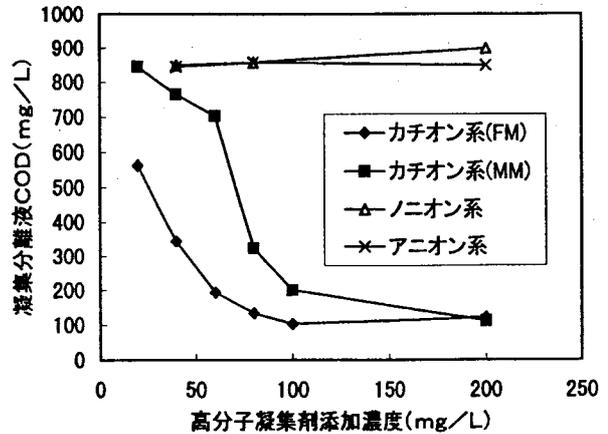


図2 各種高分子凝集剤添加濃度と凝集分離液CODの関係 (浄化槽汚泥: 試料B)

(2) 最適な添加濃度の検討

浄化槽汚泥の試料Aと試料Bを用い、強カチオン系高分子凝集剤FMについて添加濃度と除去率の関係を見た。

試料Aの場合は図3に示したとおりで、その処理効率は、SS、BOD、COD、TOCのいずれも添加濃度100mg/L (SSに対する添加率2.25%) のとき最高であった。また、このときの処理水質は、BOD 250mg/L、SS 47mg/Lであった。

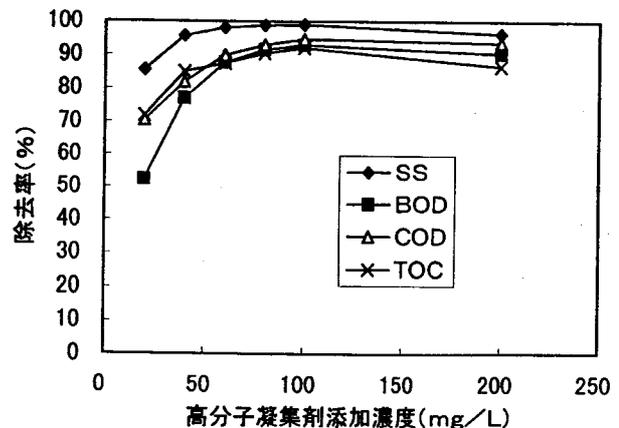


図3 浄化槽汚泥の凝集処理における凝集剤添加濃度と除去率の関係 (試料A、凝集剤: カチオン系(FM))

これに対し、低濃度の試料Bにおける処理効率は図4のとおりで、SSとCODは添加濃度60mg/L、BODとTOCは100mg/Lのとき除去率が最高で

あった。ただし、BODとTOCの除去率は添加濃度 60~100mg/Lまで横ばいでほとんど変わらないことから、最適添加濃度は60mg/L (SSに対する添加率3.80%)と判断された。

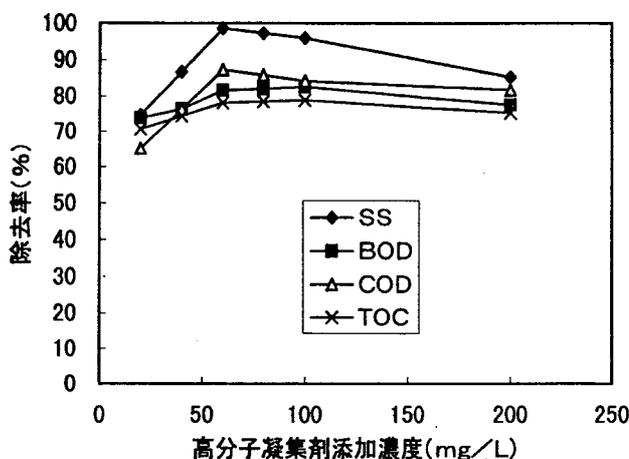


図4 浄化槽汚泥の凝集処理における凝集剤添加濃度と除去率の関係(試料B、凝集剤:カチオン系(FM))

なお、いずれの試料の場合も、最適添加濃度よりも過剰の添加濃度(200mg/L)になると処理効率が低下した。これは、ポリマーの電荷同士の反発により凝集効果が低下したことや、分離液中に凝集剤が残留したことが原因と考えられた。

したがって、当施設における添加濃度 125mg/Lでは過剰添加であると考えられ、運転管理コストの低減という点からも添加量の改善を図ることが必要と思われた。

(3) 浄化槽汚泥中のSSを考慮した最適添加濃度の選定

上記の結果より、低濃度の試料Bの場合、一般的な性状に近い試料Aに比べると、最適添加濃度は低くてすむが、浄化槽汚泥のSSに対する凝集剤添加率でみると、逆に高くなっている。

そこで、試料A、Bおよび別途入手した高濃度試料2検体の合計4試料についてカチオン系高分子凝集剤の最適添加濃度を求めた。その結果をもとに、浄化槽汚泥のSS濃度とSSに対する凝集剤の最適添加率との関係をプロットし、図5に示した。

図より、浄化槽汚泥のSS濃度が高いほどSSに対する最適添加率は小さくなる傾向があった。したがって、SSが約5,000mg/L以上ある高濃度の試料では、前述したような一般にいわれている添加率(0.2~2%)が適正範囲となるが、SSが2,000mg/L以下の場合には通常の添加量では不足し、一般にいわれる適正な添加率の最大通常値2%のさらに2~3倍量が必要と思われる。

このように、浄化槽汚泥の最適添加濃度は、SS濃度によって異なるため、添加量を検討する場合には汚泥中のSS濃度を考慮する必要があると考えられた。

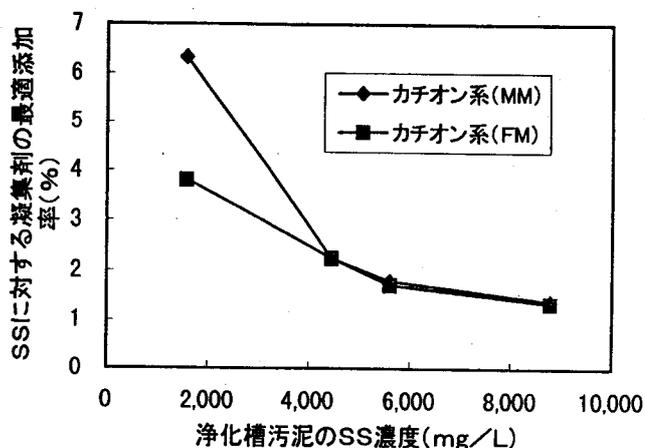


図5 浄化槽汚泥のSS濃度とSSに対する高分子凝集剤の最適添加率の関係(カチオン系)

4. まとめ

常圧浮上方式による浄化槽汚泥専用処理施設の性能を調査した結果、以下のような知見が得られた。

(1)施設はコンパクトで、自動運転化され、管理が容易であった。常圧浮上分離槽内は好気性に保持されているため、汚泥の腐敗が生じにくく臭気も弱かった。

(2)使用した常圧水は、起泡剤無添加のため良好な微細気泡は得られなかったが、高分子凝集剤により安定したフロス層が形成され、清澄な処理水が得られた。フロスは含水率約96%で圧密性が高く、良好な汚泥であった。処理状況の把握には、フロスの状態と処理水のSS濃度を確認することが有効であった。

(3)常圧浮上処理ではSS、BOD、COD、TOCのいずれも90%以上除去され、良好な処理水質が得られた。特にSSの除去は良好で、気固比が0.02~0.08kg-Air/kg-SSのとき35mg/L付近で安定しており、下水道投入基準に十分適合していたことから、下水道投入などを想定した浄化槽汚泥の簡易処理技術として有効と思われた。

(4)高分子凝集剤は、強カチオン系が非常に良好であったが、添加量が過剰の場合処理効率が低下した。最適添加濃度は、浄化槽汚泥のSS濃度が高いほどSSに対する最適添加率が小さくなるため、汚泥中のSS濃度を考慮して決定することが必要と思われた。

参考文献

- 1) 神奈川県環境部環境整備課：平成9年度神奈川県清掃事業の実態（1999）
- 2) 厚生省水道環境部監修：し尿処理施設構造指針解説、(社)全国都市清掃会議（1990）
- 3) 落修一：汚泥処理(3)、下水道協会誌、33(406)、89-94（1996）
- 4) 日本下水道事業団技術開発部編著：効率的な汚泥濃縮法の評価に関する第3次報告書－浮上濃縮法について、(財)下水道業務管理センター、3-5（1994）