特集・余剰汚泥のゼロエミッション化技術

膜分離装置の薬液洗浄に伴う汚泥の減量に関する研究

上島 達也*

1. はじめに

重力沈殿を用いた従来の活性汚泥法に代わり、槽浸漬型膜分離活性汚泥法がし尿処理プラントをはじめ、中・大型の浄化槽や産業廃水处理プラントを中心に急速に普及している。また、膜分離を利用した家庭用の小型合併処理浄化槽の販売開始や既設単独浄化槽の合併処理化への研究が進められるなど新しい話題にも事欠かない。

2. 膜分離活性汚泥法

膜分離活性汚泥法は、高濃度の活性汚泥混合液内に平膜や中空糸膜などの膜分離装置を浸漬させ、装置下方からの曝気による気泡流で絶えず膜面を洗浄しながらろ過をするクロスフローろ過を行い、維持管理が容易で高度な処理水が得られる方法として注目を集めている。その処理フローを図-1に示す。この方式では活性汚泥濃度を10,000~20,000 mg/ℓと高くして運転できるため、曝気槽容量が小さくでき、汚泥濃縮槽も不要となるため施設をコンパクトにすることができる。

3. 本研究の目的

施設の中核をなす膜分離装置の膜細孔内あるいは膜面に有機性の汚れが付着し、透過水量が低下した場合には次亜塩素酸ソーダによる槽内薬液洗浄が行われ、曝気槽内で塩素と活性汚泥との接触が起こる。

膜分離活性汚泥法では汚泥濃度が高く、活性汚泥を膜で分離するため、有効塩素により活性汚泥が受けるダメージが従来法とは異なり、活性汚泥の一部が死滅しても重大な装置トラブルにはつながらない。

本研究では活性汚泥のろ過性に与える有効塩素の影響を評価するため、活性汚泥への有効塩素添加実験を行った。その結果、活性汚泥量が減少することが確認された。

4. 槽内浸漬薬液洗浄の概要

膜のろ過抵抗(膜差圧)が上昇した場合、あるいは一定期間ろ過を行った段階で膜の性能回復のために膜面の洗浄が必要となる。膜の洗浄方法を表1に示す。

洗浄には膜を槽外に取り出してスポンジ等で洗う物理的な洗浄と、槽の内外で薬品を用いて行う化学的な洗浄がある。平膜の場合、非曝気状態でろ過してしまったトラブルなどを除き、膜を槽外に取り出して洗浄することはまれで、薬液洗浄といった場合には、槽内で活性汚泥に浸漬した状態の膜分離装置に透過水側から薬液を注入する槽内薬液洗浄を指すことが一般的である。膜面および膜細孔内に付着する汚れは大きく分けて有機系と無機系に分類できる。有機系の汚れとしては原水由来のものと微生物の代謝産物など活性汚泥由来のものがあり、これらを分解除去するため次亜塩素酸ソーダを用いる。また、無機系の汚れとしては原水由来の鉄分やカルシ

図-1 処理フロー

* ㈱クボタ膜事業推進部 Tatsuya UEJIMA

表 1 浸漬型膜分離法の洗浄方法

洗浄方法	対象汚染物質	洗浄液	濃度 (%)	薬液量 (ℓ/枚)	洗浄時間 (hr)	洗浄場所	頻度 (回/年)
薬液注入法	有機物	次亜塩	0.5～1	3	1～2	槽内	1～2
	無機物	稀酸	1	3	0.5～1	槽内	1～2
	微生物スライム	次亜塩	0.1	3	1～2	槽内	1～2
薬液浸漬法	有機物	次亜塩	0.1～0.2	3	1～2	槽外	1～2
	無機物	稀酸	0.1～0.2	3	0.5～1	槽外	1～2
水洗浄	堆積物	高圧水 (2MPa)		10	1分/枚	槽内	
	堆積物	高圧水 (1MPa)		10	1分/枚	槽外	

ウム、処理に使用した凝集剤などに起因するものがあり、その除去には稀酸などが使用されている。ここでは次亜塩素酸ソーダによる薬液洗浄方法について述べる。

5. 槽内薬液洗浄方法

①次亜塩素酸ソーダの有効塩素濃度0.5%溶液を膜カートリッジ (有効膜面積0.8m²) 1枚あたり3ℓ用意する。

②曝気を止めた状態で処理水側配管から薬液を注入し、1～2時間放置する。

③薬液を流量調整槽あるいは曝気槽内に排出する。

注入した薬液は一定時間経過後、処理水側から排出して流量調整槽または曝気槽に戻すか、処理水側から水を注入し曝気槽内に浸透させるなどして処分される。

6. 実験の方法

実験としてピーカー試験と槽浸漬型膜分離活性汚泥法のテストプラントにおいて槽内薬液洗浄を実施した。ピーカー試験では、テストプラントの活性汚泥200mlのサンプルに塩素を添加することにより活性汚泥の性状変化を測定し、テストプラントでは薬液洗浄前後の活性汚泥性状と洗浄効果を示す過水頭の変化を測定した。

6.1 有効塩素添加量の決定

浸漬型膜分離装置を用いたプラントを設計する際、使用する膜面積は処理水量により決定され適当な膜ユニットが選定される。図-2に膜ユニットの概観を示す。膜ユニットは膜カートリッジを収納する膜ケースと散気管を備えた散気ケースから構成されている。一方、曝気槽の容積も浄化槽のように流入水質がほぼ一定であれば処理水量と、膜設置のための必要面積から決定される。そのため曝気槽容量

に占める膜ケースの容積割合はほぼ一定となる。さらに薬液洗浄時の使用塩素量は膜面積により決定されるので曝気槽内に供給される有効塩素量もほぼ一定の範囲に収まる。以下に有効塩素量の計算事例を弊社の平膜エレメントを例として求める。

◎ 100人槽 (20 m³/日) の場合

膜枚数は75枚、曝気槽容量を6 m³、MLSSを15,000 mg/ℓとする。

有効塩素使用量は75 [枚] × 3 [ℓ] × 5,000 [mg/ℓ] = 1,125,000 [mg]

有効塩素添加率は1,125,000 [mg] / (6 [m³] × 15,000 [g/m³]) = 12.5 [mg/g-SS] = 12.5 [g/kg-SS]

◎ 1000人槽 (200 m³/日) の場合

膜枚数は600枚、曝気槽容量を36 m³、MLSSを15,000 mg/ℓとする。

有効塩素使用量は600 [枚] × 3 [ℓ] × 5,000 [mg/ℓ] = 9,000,000 [mg]

有効塩素添加率は9,000,000 [mg] / (36 [m³] × 15,000 [g/m³]) = 16.7 [mg/g-SS] = 16.7 [g/kg-SS]

このように使用される有効塩素量は活性汚泥1 kgあたり10～20gである。このことを加味して実験では有効塩素添加量を0, 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320 [g/kg-SS] とした。

6.2 ろ紙ろ過試験法

従来の浮遊微生物を利用した生物処理法ではSV30, SVIなど汚泥の沈降性をあらわす管理指標が

図-2 浸漬型膜分離ユニット

図－３ ろ紙ろ過試験法

図－４ テストプラント(膜分離槽)

用いられてきたが、固液分離を膜で行う膜分離活性汚泥法では汚泥のろ過性を判断する指標としてろ紙ろ過試験法が提案されている。

ろ紙ろ過試験法は、ひだ折りにしたろ紙を用いてデッドエンドろ過を行ない、一定時間のろ過量を測定、ろ過性の良否を判断する方法で、5分後のろ過量が概ね10 ml以上ならばろ過性は良好と判断される。

6.2.1 試験方法

試験方法を図－3に示す。

- ①孔径 $1\ \mu\text{m}$ のろ紙(東洋ろ紙製 ADVANTEC No. 5C 直径185 mmを標準とする)をひだ折りにし、漏斗にセットする。
- ②ろ紙に一旦清水を注ぎ、それを捨てて親水化する。
- ③活性汚泥を50 ml採取し、ろ紙に素早く注ぎ計時を始める。
- ④5分後のろ液量を測定し、ろ紙ろ過量とする。

6.3 槽内薬液洗浄を行ったプラントの概要

薬液洗浄を行ったテストプラントの概観と仕様を図－4、表2に示す。

実験プラントは社宅・寮からの生活排水を原水とし、使用膜枚数は50枚である。薬液洗浄時の曝気槽内の水量は $1\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 2.5\text{ mH}$ で試験時の MLSS は $17,000\text{ mg/l}$ であった。

したがって有効塩素使用量は $50\text{ [枚]} \times 3\text{ [l]} \times 5,000\text{ [mg/l]} = 750,000\text{ [mg]}$ 、有効塩素添加率は $750,000\text{ [mg]} / (3.75\text{ [m}^3] \times 17,000\text{ [g/m}^3]) = 11.8\text{ [mg/g-SS]} = 11.8\text{ [g/kg-SS]}$ である。

7. 結 果

図－5に有効塩素添加率と活性汚泥濃度・溶解性 TOC 濃度との関係を示す。有効塩素の添加に伴い、活性汚泥濃度の減少と同時に

表2 テストプラントの概要

流入排水	社宅・寮の生活排水
処理方式	BOD 除去型膜分離活性汚泥法
曝気槽容量	$1\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 2.3 \sim 3.5\text{ mH}$
ろ過方式	重力ろ過方式
膜枚数	50枚 (40m ²)
曝気空気量	800l/min
処理水量	20m ³

混合液中の溶解性 TOC 濃度が上昇している。このことから活性汚泥が有効塩素により分解され、可溶化している事が分かる。

図－6に有効塩素添加量と汚泥減量の関係を示す。有効塩素の添加量と活性汚泥の減量がほぼ比例していることが見て取れる。

図－7に塩素添加時における活性汚泥の酸素消費速度の変化状況を示す。塩素添加により、酸素消費速度が増加している。これは内性呼吸状態から外性呼吸状態へ移行したことを示していると想定される。即ち、次亜塩素酸ソーダにより分解され可溶化

図－5 塩素添加による汚泥性状の変化

した結果、溶解性の TOC 濃度が増加し、他方でそれを分解する活性汚泥が活動を始めたことが推測される。

図-8 には実験プラントでの薬液洗浄実施前後の活性汚泥性状の変化を示す。膜のろ過水頭が大きく減少していることから槽内薬液洗浄により膜の洗浄が効果的に行われたことがわかる。それと同時に MLSS が減少し、汚泥の粘度も減少している。逆にろ紙ろ過量が減少し、汚泥のろ過性が悪化したことを示しているが、減少量は小さく、まもなく回復していることから膜処理への影響は小さいと言える。

これらのことから薬液洗浄に使用する程度の有効塩素量では高濃度活性汚泥のろ過性に与える影響は小さく、反対に汚泥を分解・減少させる効果を窺い知ることができる。

8. 槽内薬液洗浄による汚泥減量の予測

実験で得られた結果をもとに余剰汚泥の発生量と薬液洗浄による汚泥減量の関係を試算してみた。

図-6 の結果より有効塩素添加量 1 g あたりほぼ 1 g の汚泥が減少すると仮定し、汚泥発生量を流入 BOD の 40% とすると、先述のテストプラントでの余剰汚泥発生量は $16 [\text{m}^3/\text{d}] \times 0.2 [\text{kg}/\text{m}^3] \times 0.4 = 1.28 [\text{kg}/\text{d}]$

1 回の薬液洗浄に伴う汚泥減量は有効塩素添加量と同じ 750 [g] である。

したがって薬液洗浄により減少する汚泥量は 1 日の発生汚泥量のほぼ半分であり汚泥の減量方法としては実用的ではないが、浸漬型膜分離活性汚泥法において必須のメンテナンスである薬液洗浄において副次的に汚泥量が減少することが確認できた。

薬液洗浄回数や塩素添加量を増加させると汚泥減量は増加するが、塩素の添加に伴う発泡や、残留塩素による一時的な COD の上昇など薬液洗浄を頻繁に行う場合には注意が必要である。

図-6 塩素添加量と汚泥減量

図-7 塩素添加量と酸素消費速度

図-8 薬液洗浄による活性汚泥性状の変化

9. まとめ

槽浸漬型膜分離活性汚泥法では活性汚泥混合液濃度が高いため、塩素を用いた薬液洗浄による処理性能への悪影響は小さく、むしろ余剰汚泥の発生量を減少させる効果がある。

膜分離装置のろ過性能の回復には槽内薬液洗浄が有効であり、定期的に薬液洗浄を行うことで安定した運転が期待できる。