

不織布を用いた活性汚泥混合液の 固液分離技術に関する調査研究

1. はじめに

活性汚泥法における最終沈殿池は、固液分離による処理水質確保の役割を果たすとともに、活性汚泥を濃縮返送し、反応槽内の微生物量を保持する機能も担っている。しかし、重力式沈殿池は、活性汚泥フロックと水とのわずかな比重差を利用した固液分離技術であるため、次のような課題を抱えている。

- ・水量や汚泥性状の変動に弱い。
- ・SSのキャリーオーバー防止のため、高MLSSの返送汚泥を確保できない。

また、東京都のように都市部に立地している処理場においては、次のような事情や制約がある。

- ・高度処理や増設等により新たに用地の確保が必要な場合、その取得が困難であり、省スペース化を図る必要がある。
- ・放流先が内湾や湖沼で、その水域の水質の汚濁が進行している都市部では、高度処理が必要である。特に、窒素、りんを対象とした生物学的高度処理法を導入する場合には、MLSSの高濃度化に対応した効率的な固液分離技術が必要である。

このような課題に対して、省スペース化が可能で、かつ、効率的な固液分離技術として、大きなろ過流束が得られ、廉価でもある不織布を用いた固液分離技術に着目した。

2. 対象技術の概要と研究の目的

2.1 対象技術の概要

本法は、不織布上に形成させた汚泥層を利用して活性汚泥混合液を固液分離する技術である。不織布を用いた膜モジュールより構成されるろ過ユニットを生物反応槽に直接浸漬することで、従来の活性汚泥法に必要であった最終沈殿池を省略できる。図-1に従来法と本法の比較フローを示す。ろ過ユニットは、反応槽に生じる旋回流の下降流部に浸漬する。膜面に付着した汚泥は、定期的ろ過ユニット下部に設置した洗浄用散気装置による曝気上昇流によって洗浄される。また、反応槽と集水トラフには水位差がつけられており、この水位差を駆動力としてろ過が行われる。

図-2に示すように、反応槽に浸漬された不織布上には、汚泥フロックによる緩やかな活性汚泥層が形成される。この汚泥層によって活性汚泥混合液の固液分離が行われる。汚泥層はろ過時間が経過するにつれて次第に厚くなり、ろ過流束が低下してくる。そのため、定期的に曝気上昇流を生じさせることにより汚泥層を順次剥離させ（空気洗浄）、長時間ろ過を継続させる。

2.2 研究の目的

本研究の目的は、不織布を用いた活性汚泥混合液の固液分離技術について、実規模施設への実用化を

想定した評価を実施することである。本研究は、平成11年度から新世代下水道支援事業機能高度化促進事業〔新技術活用型〕として、東京都下水道局と財団法人下水道新技術推進機構が共同研究を行ったものである。

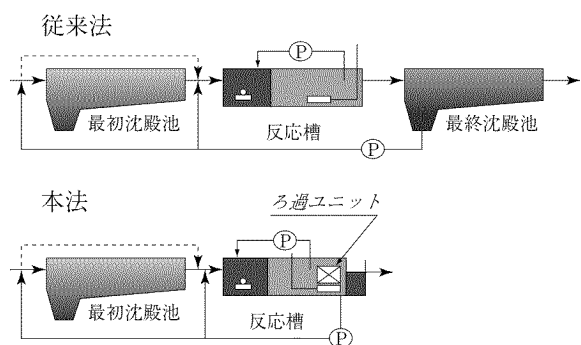


図-1 従来法と本法の比較フロー

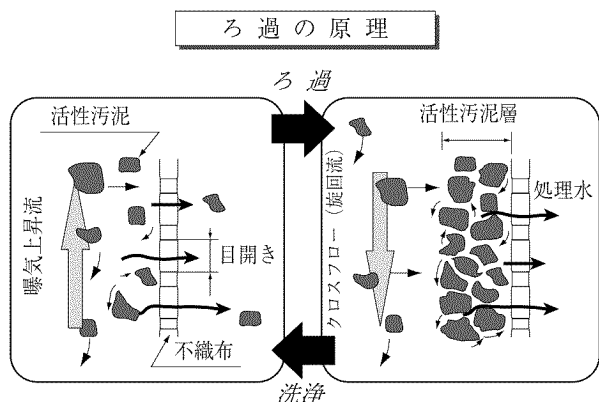


図-2 ろ過の原理

2.3 スケジュール

表-1に本研究のスケジュールを示す。平成11、12年度に、落合処理場にて実験を実施した後、平成13年度より芝浦処理場にて実験プラントを設置し、これを用いて評価を実施した。

2.4 実験装置

表-2に芝浦処理場における実験プラントの装置仕様を、図-3に処理フローを示す。実験プラントは、実規模施設と同程度のろ過ユニット数となるよ

表-1 スケジュール

	H11	H12	H13	H14
処理安定性の検討				
洗浄必要性の検討	○			
装置構成・装置設置に関する検討				
実用化装置の構造検討		○		
実曝気槽に浸漬設置した実証装置の冬季運転確認				
硝化脱窒条件での連続運転の実証				
実機膜モジュールの構造確認				
実機水処理を再現した実施設での性能確認			○	○
固形物収支の把握				
自動制御システムの検討				
施設設計・運転管理指針の検討				
実験フィールド	落合処理場		芝浦処理場	

表-2 装置仕様

項目	内容
有効容量	約219m ³
処理量	657m ³ /日
ろ過流束	ろ過部 4.0m ³ / (m ² ・日)
	濃縮部 2.2m ³ / (m ² ・日)
モジュール寸法	W1.2m×H2.7m×T30mm (有効膜面積 5 m ²)
ろ過ユニット構成	4モジュール/ユニット (有効膜面積20m ²)
ろ過ユニット数	11台

うに設計した。また、ろ過部と濃縮部を設け、ろ過流束をそれぞれ設定できる構造とした。

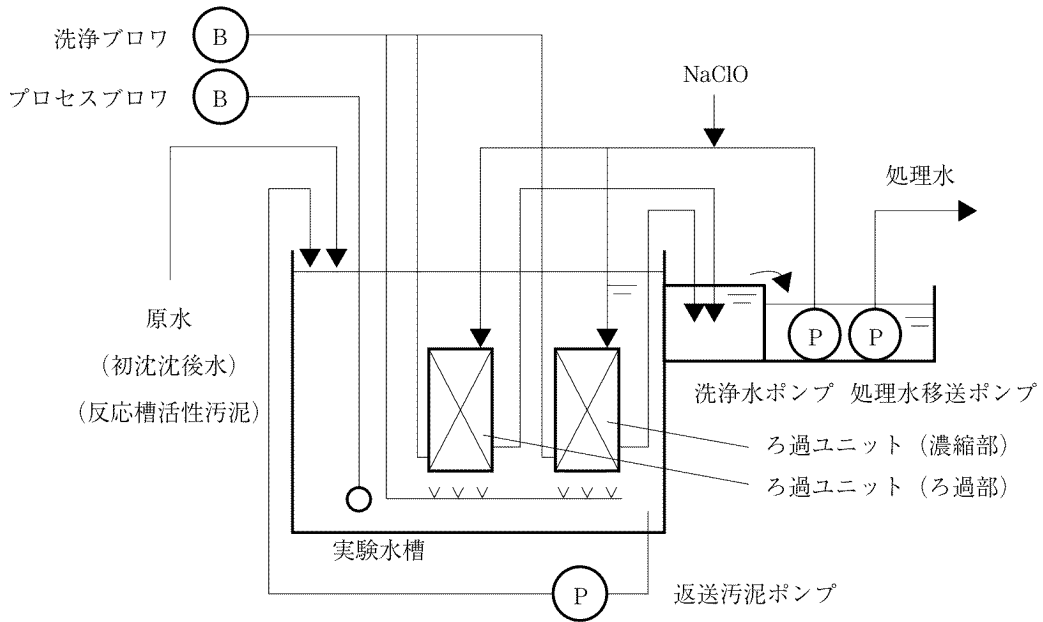


図-3 処理フロー

表-3 運転期間と原水

名称	期間	原水
運転1	H14.02.18-H14.03.23	最初沈殿池沈後水
運転2	H14.03.25-H14.04.26	
運転3	H14.05.01-H14.05.14	反応槽活性汚泥
運転4	H14.05.16-H14.06.28	
運転5	H14.07.30-H14.08.09	
運転6	H14.08.09-H14.08.28	最初沈殿池沈後水
運転7	H14.08.28-H15.02.28	

表-4 不織布の仕様

形式		18メッシュ	5メッシュ	エンボス
不織布	目付 (g/m ²)	15		20
	厚さ (mm)	0.11~0.12		0.15
	繊維径 (μm)	13		17
	材質	ポリエステル		
ス汚泥側サ	目幅 (メッシュ)	18	5	なし (エンボス加工)
	目開 (mm)	1	5	
	繊維径 (μm)	0.22	0.18	
	材質	ポリエステル		
スろ過側サ	目幅 (メッシュ)	18		ポリエステル
	目開 (mm)	1		
	繊維径 (μm)	0.22		
	材質	ポリエステル		
特徴	夾雑物, ヒル等に強く, 強度大	汚泥側の目幅が大きいためケーキの剥離性良好	ケーキの剥離性良好	

2.5 運転条件

表-3 に運転期間および用いた原水を示す。原水には処理場反応槽の活性汚泥もしくは、最初沈殿池沈後水を用いた。また、モジュールに使用する不織布の構造を検討するために、3種類の不織布を用いて実験を実施した。表-4 に評価に用いた不織布の仕様を示す。

3. 研究結果

3.1 既存研究の整理・検討および関連調査結果の整理

本研究を開始するにあたり、膜分離型の水処理方式についての既存研究や調査事例を整理することにより、膜の洗浄方法や構造上の特徴等、参考となる技術を抽出した。以下に得られた代表的な知見を示す。

(1) 薬品洗浄

- ・長期運転では一般的に薬品洗浄を実施しており、時間、温度、薬剤の3つの要素が重要である。
- ・膜閉塞が進む前に薬品洗浄を行う方が効果的であり、有機物による膜汚染が多い生活排水処理にはNaClOの洗浄効果が高い。

(2) ろ過抵抗

- ・長期間安定したろ過を継続するには、クリティカ

ルフラックス（短期間で膜差圧が上昇しない上限のろ過流束）以下のろ過流束で運転する必要がある（MF膜）。

- ・ろ過性能を示す汚泥性状としてCST/SS^{*1}比を用いることができ、また、CST/SS比は冬季に高くなる（不織布）。
- (3) クロスフロー流速と膜面汚泥付着量
 - ・膜面への汚泥付着量は膜面せん断力に反比例する。また、単相流に比べ曝気流の方が、膜面への汚泥付着防止効果が高い。
- (4) 発生汚泥量、最適MLSS濃度
 - ・槽内MLSS濃度は、20,000mg/ℓ程度までは汚泥発生式を用いて計算することが可能である（MF膜）。
 - ・限界MLSSは10,000～14,000mg/ℓ程度であり、安定的なろ過を維持するためには、定期的な余剰汚泥引抜が必要である（MF膜）。
- (5) 反応槽内の生物相
 - ・膜分離活性汚泥法の微小動物は、種が少なく、特定種が極めて多い（MF膜）。
 - ・不織布の付着汚泥層に環形動物が増殖し、これの捕食による汚泥フロック解体が発生することがある。

3.2 落合処理場における評価

落合処理場における実験で得られた成果、知見を以下にまとめる。

- (1) 運転状況
 - ・安定運転に関し、ろ過流束を2.0～4.0m³/(m²・日)（最大5.0m³/(m²・日)）程度まで上昇させることが可能であった。
- (2) 薬品洗浄
 - ・安定した運転を実施するには、一定の薬品洗浄が

必要であった。

- ・薬品洗浄時の塩素濃度が反応槽全体の濃度として2mgCl₂/ℓ以上となると、活性汚泥が解離しやすくなり、本法のろ過性能に悪影響があった。
- (3) 処理水質と汚泥性状
 - ・MLSS濃度が4,000mg/ℓを超えると、槽内の汚泥フロックが徐々に分散し始め、処理水の濁度が悪化する傾向があった。
 - ・CSTの高い凝集性の悪い汚泥をろ過すると、処理水濁度が上昇する傾向があった。
 - ・SV₃₀上澄濁度^{*2}が30度以下の条件で、安定したろ過が実現できた。
- (4) 膜構造
 - ・蛭等の水生生物からの膜保護のため、標準の膜として、目付け量15g/m²の不織布を18メッシュのネットスペーサーでサンドイッチした構造を選定した。

3.3 芝浦処理場における評価

(1) 運転状況

図-4に、平成14年8月28日以降の連続運転（運転7）時における、ろ過流束の推移を示す。設定ろ過流束をろ過部で4.0m³/(m²・日)、濃縮部で2.2m³/(m²・日)としていたが、ろ過部で不織布表面にスライム層が付着し、ろ過流束が短期間で低下する現象が見られた。生物処理がある程度進んだ後段のろ過部のほうが、本法の運転が良好に行われると推定された。11月1日以降、ろ過部のろ過流束を低減し、ろ過部、濃縮部ともに、同一ろ過流速として運転を実施したところ、安定した運転を実現できた。

(2) 薬品洗浄

表-5に薬品洗浄条件を示す。洗浄頻度は8回/日で、膜面へのスライム等の付着に対して薬品洗浄

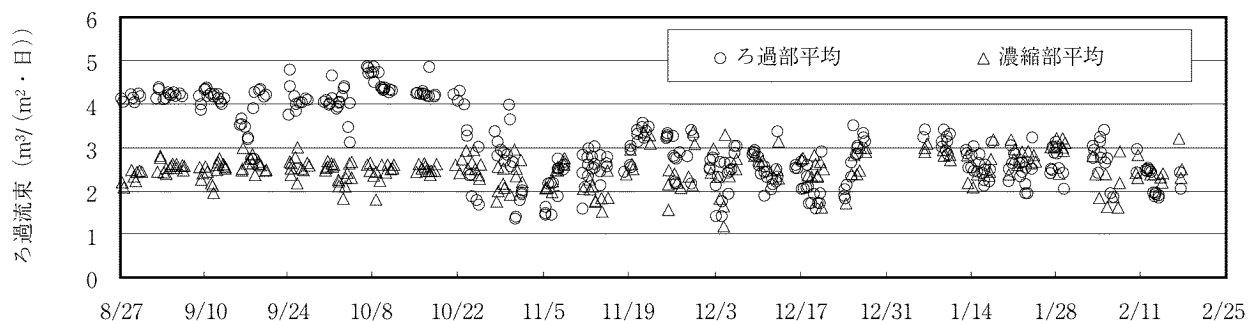


図-4 ろ過流束の推移

表-5 膜洗浄条件

洗 浄 頻 度		8 回/日
洗 浄	一次側 (活性汚泥側) エア	70m ³ / (m ² ・時間) 相当
	洗浄水	8 m ³ / (m ² ・日) 相当
	薬品注入量	有効塩素濃度 40mg/ℓ
強 度	薬品注入頻度	4 回/日
	二次側 (処理水側) エア	20 ℓ/分/モジュール
	排污	10m ³ / (m ² ・日) 相当

効果を高めるために、薬品注入後に静置時間を設けた。

また図-5に、洗浄操作直後からの1ユニットでのろ過水濁度の経時変化の一例を示す。洗浄直後の濁度は10度程度であり、3分後には5度程度まで低下できていた。

(3) 処理水質と汚泥性状

表-6に運転7における処理水質を示す。芝浦処理場の最終沈殿池処理水と比較しSSは若干高め、BODについては同等であったが、目標値は十分に満足した。

図-6に運転7におけるSV₅上澄濁度*3, SV₃₀上澄濁度, CST/SS比の推移を示す。なお、処理場による汚泥性状の差異を把握するために、実験プラントの他、芝浦、落合、中川の各処理場の活性汚泥についても測定を実施した。この結果、落合および中川処理場の汚泥性状はSV₅上澄濁度, SV₃₀上澄濁度, CST/SS比ともに安定して低い値で推移したのに対し、芝浦処理場および実験プラント（芝浦処理場に設置）では、SV₃₀上澄濁度は他処理場と同等程度であったが、SV₅上澄濁度およびCST/SS比については不安定な状態であった。特に、10月末からSV₅上澄濁度が50度を上回り、沈降しにくい微細な粒子が多く存在することが推定された。

(4) 膜構造

落合処理場の実験では、蛭などの水棲生物による不織布の破損を防止するため、一次側（活性汚泥側）表面に18メッシュ（1mm幅）の網材を融着補強し

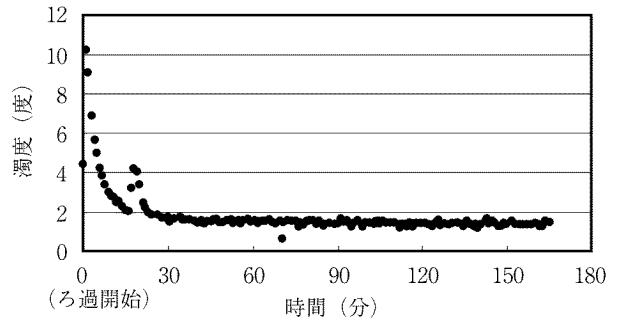


図-5 洗浄直後のろ過水濁度

表-6 処理水質

項 目		SS (mg/ℓ)	濁度 (度)	BOD (mg/ℓ)
実 験	ろ過部	5.5	6.9	2.7
	濃縮部	4.4	5.7	2.1
	全 体	5.4	6.2	3.0
芝浦処理場終沈処理水		2.6	3.9	3.3
目 標 値		10	(20)	15

※ 目標値は、東京都下水道局事業概要（平成14年度版）P40 都民の健康と安全を確保する環境に関する条例より採用（濁度は落合処理場における実験実績より設定）

た不織布を用いた場合に、本法による固液分離が安定した。

一方、芝浦処理場では、蛭等の発生がなく、逆に18メッシュの網材に細かな活性汚泥が詰まり、ろ過性能が悪化することがわかった。そのため、エンボス加工により表面を熱で溶かし、幅広の格子状に補強した不織布を用いた結果、本法による固液分離が安定した。

3.4 実用化に向けた検討

(1) 本法の適用範囲

図-7に、これまでに取得したデータを下に、SV₃₀上澄濁度とCST/SS比の関係を整理する。実験プラントのSV₃₀上澄濁度とCST/SS比は、ろ過部よりも濃縮部が図中の左下にあり、良好な性状であった。また各処理場では、芝浦処理場に比べ、落合、中川の各処理場の方が本法に適した性状であると考えられた。落合および中川処理場で実施した実験において本法の運転が良好であったときの管理指標から判

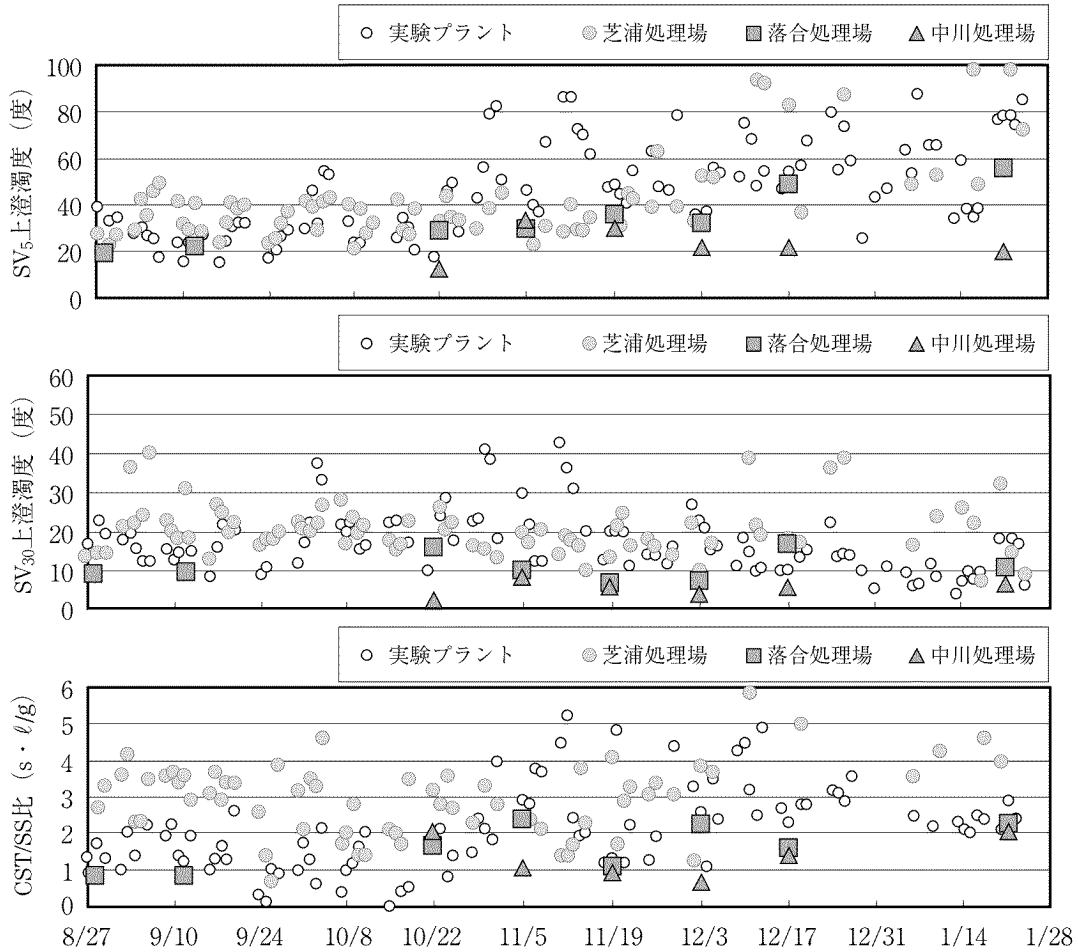


図-6 汚泥性状の推移

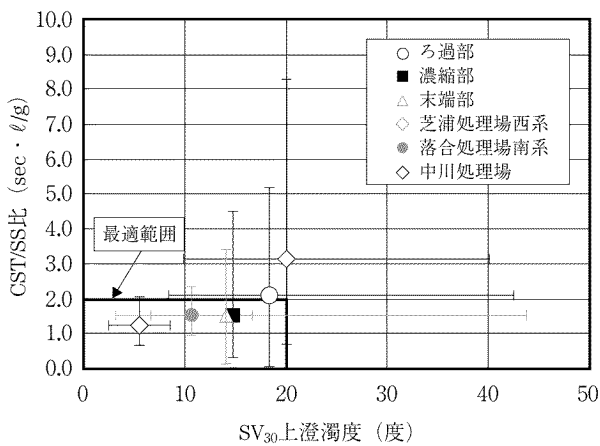


図-7 SV₃₀ 上澄濁度と CST/SS 比

断すると、SV₃₀上澄濁度が20度以下、CST/SS比が2s・ℓ/g以下が本法適用の最適範囲であると考えられた。

図-8に、これまでに取得したデータを下に、

MLSS濃度とろ過流束の関係を整理する。実用範囲としては、ろ過流束3.5m³/ (m²・日)程度、MLSS濃度は4,000mg/ℓ程度と考えられた。

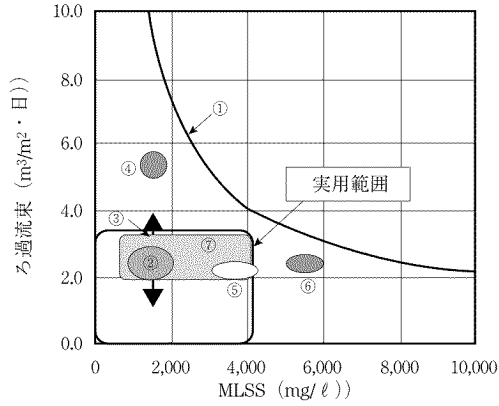
(2) 経済性

表-7, 8に、処理量163,000m³/日を想定して、「標準法+終沈」と「標準法+本法」、「ステップA²/O法+終沈」と「A²/O法+本法」で経済性を比較した結果を示す。ここで、建設費には土木、機械、電気工事費を計上し、ランニングコストには、機器補修費、電力費、薬品費を見込んだ。また、土木の償却年を50年、機器の償却年を15年としてトータル費用を算出した。

標準法に本法を適用すると標準法より費用が高くなるが、A²/O法に適用した場合は概ね同等となった。

(3) 本法の展望

本法の適用について以下のような手法が考えられる。



①	小型可視化水槽 (ケーキ生成式)
②	落合処理場実験
③	〃
④	〃
⑤	〃
⑥	合成下水試験
⑦	芝浦処理場実験

図-8 MLSS 濃度とろ過流速

将来、高度処理としてA²/O法を導入した場合、最終沈殿池の水面積負荷を、標準法より小さくする必要があります。敷地の制約から新たに最終沈殿池を設置する余裕が無い処理場において、A²/O法に必要な水面積負荷を確保できない場合には、最終沈殿池の代替として本法を導入する方法が考えられる。

また、雨天時に遮集汚水を反応タンクにステップ流入させ、標準活性汚泥法により処理する工程に本法を導入することが考えられる。本法は、晴天時汚水量を受け持ち、最終沈殿池は、雨天時の遮集汚水量から晴天時汚水量を差引いた水量を受け持つ。晴天時には、最終沈殿池を使用しない点が特徴である。

4. おわりに

本法の成否は、活性汚泥の性状に負うところが大きい。導入予定の処理場では、事前に反応槽内の活性汚泥の性状について詳細な検討を行うべき

注)

- ※1 CST/SS比 : ろ過抵抗の判断指標 (汚泥のCSTから処理水のCSTeを差引き、測定時のSS濃度で除した値)
- ※2 SV₃₀上澄濁度 : 残存微細粒子数の判断指標 (1ℓのメスシリンダーに活性汚泥混合液をとり、30分間静置後の上澄液の濁度)
- ※3 SV₅上澄濁度 : 残存微細粒子数の判断指標 (1ℓのメスシリンダーに活性汚泥混合液をとり、5分間静置後の上澄液の濁度)

表-7 標準法での比較

	標準法+終沈	標準法+本法
建設費	11,000 (百万円)	11,700 (百万円)
ランニングコスト	240 (百万円/年)	290 (百万円/年)
トータルコスト	890 (百万円/年)	1,130 (百万円/年)
比率	100	127

表-8 A²/O法での比較

	ステップ流入式 A ² /O法+終沈	A ² /O法+本法
建設費	20,000 (百万円)	16,400 (百万円)
ランニングコスト	340 (百万円/年)	360 (百万円/年)
トータルコスト	1,520 (百万円/年)	1,510 (百万円/年)
比率	100	99

で、季節変化に配慮して、通年にわたり反応槽の活性汚泥性状が管理値を大きく逸脱しないことを確認することが望ましい。平成14年度の調査によると、落合処理場および中川処理場の汚泥性状は安定しており、フロクの形成も良好であるため、本法に適していると予想できた。一方、芝浦処理場の汚泥性状は、本法に若干不向きな性状となっていた。新規処理場への導入にあたっては、これらの処理区と同様の住宅地主体の処理区を対象に適合性を検討することが望ましい。

●この研究を行ったのは

研究第一部長
研究第一部長
研究第一部長

田中 修司
鈴木 純二
一松 雄太

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長
研究第一部長主任研究員
研究第一部長研究員

田中 修司
佐野 廣一
内田 浩