〈論 文〉

浮上性汙材を用いた下水の固液分離処理法の研究

毛利 光 男* 丹 羽 千 明*

Study on the Solid-liquid Separation of Raw sewage Using Floating Media and Multiple Inlets

Mitsuo MOURI* and Chiaki NIWA*

* Shimizu Corporation, Institute of Technology, 3-4-17, Etchujima, Koto-ku, Tokyo 135 Japan

Abstract

Characteristics and performance of solid-liquid separation of raw sewage using floating media and multiple inlets were studied in bench-scale and pilot-scale equipments.

The results are summarized as follows: Particles over $7\mu\text{m}$, representing approximately 80% of SS and 50% of BOD in raw sewage were efficiently removed. There was little difference in SS removal ratio (SSRR) between floating media and glass beads. The maximum SSRR and SS quantity removed per unit filter surface (SSR) was achieved using a particle size of 5.5mm and a filtration rate of $150\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$. Inlet switching to lower position of the filter column promised to prolong the filter run significantly and to increase total SS removed in filter. Using 5.5mm filter particles, 80-89% of SS was removed, 38-42kg of SS was removed per unit filter sectional area, and filter runs were 54-64 hours at a filtration rate of $150\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$. The backwash-filtrate ratio was around 2%. The space requirement of this system will be significantly smaller than the ordinary primary treatment system judging from the trial design of a practical scale plant.

Key words: solid-liquid separation, floating filter media, multiple filter column inlets, filtration, wastewater treatment

1. はじめに

社会環境の急激な変化により、下水道にも処理施設の中小規模化に伴う処理方式の見直し、地価の高騰により増加した用地取得費抑制のための施設の省面積化などの早期に対処すべき問題が生じている。これらの問題を解決するには、所要面積が小さく、簡素な維持管理で済み、かつ処理効率が高く建設費が低廉な処理技術の開発が重要であり、現在、生物処理を中心としたリアクターの開発が急がれている¹⁾。

一般に、生物による分解・除去作用は、溶解性または、コロイド状物質に対しては、迅速に行われるが、浮遊性の物質については緩やかであるといわれてい

る²⁾。したがって下水中の全有機物の60~80%を占める固形性有機物は、生物分解を迅速に行うためには障害となるものであり、バイオリアクターの処理速度を高める上で、流入下水中の浮遊性物質の1次処理による高度分離は、不可欠であると考えられる²⁾。

従来の沈殿分離法より高効率に下水中の浮遊性物質を分離回収することができれば、後段のリアクターの処理機能を高めるだけでなく、リアクター動力の大幅な削減、分離回収した固形物の嫌気性処理によりメタンガスとしてエネルギーを回収することができるなど、処理システムのエネルギー効率を大幅に高めることが可能になる。このため、沈殿分離に替わって下水中の浮遊物質を迅速にかつ高効率に除去する新しい固

* 清水建設株式会社技術研究所 〒135 東京都江東区越中島 3-4-17

液分離技術の開発が望まれている。

下水の高効率な固液分離処理には、汙過法が適していると考えられるが、下水中の懸濁粒子は幅広い粒径分布を有するため、従来の砂汙過法で下水を汙過すると、流入部の汙層は、粒径の大きな懸濁物により急速に閉塞する。このため、汙過法で下水の固液分離を行う場合は、汙層表部の閉塞防止のため汙材や原水供給方法等に対する大幅な改善が必要となる。そこで、汙層流入部の閉塞防止と内部汙過の促進による懸濁物捕捉量の増加を図ることを目的として、従来の汙過材より粒子径が大きい発泡ポリスチレン粒子の人工汙材と多段切換による原水供給方法の適用を主な特徴とする新しい1次処理用固液分離法の研究を行った。

本研究において主に検討した項目は、懸濁物の高効率除去に適した汙材径の選択、多段切り換え原水供給方法の供給管設置間隔の決定、浮上性汙層の固液分離性能、省面積化を実現するための高速汙過性、分離懸濁物の沈降濃縮特性、および処理能力の安定性等である。さらに、これらの運転成績と処理特性から本処理方式を実規模の1次処理に適用した場合の設置必要面積と所要電力量を算定するケーススタディを行い、実用に際しての省面積性と省エネルギー性についての検討も行った。

2. 本プロセスの概要と実験方法

2.1 浮上性汙過プロセスの概要

本プロセスの概要を Fig. 1 に示す。浮上性汙過槽には表面が平滑な発泡ポリスチレン性汙材が充填され、また深さ方向に多段に原水供給管が設置されている。原水は、原水ポンプによりまず最上段の供給管のみから汙層内へ供給管上部の穴から噴出、供給される。汙材は浮上性のため、原水の逆流が生じない限り、供給管上部の吐出口から供給管の中へは入らない。

原水中のSS分は、汙層内を下向流で流下していく過程で、捕捉・除去されていき、汙層下部より処理水

が得られる。SS分の捕捉により汙層の閉塞が進み、損失水頭が設定値まで上昇するとレベルスイッチにより自動的に原水供給を下段に切り換える。このように原水供給を最上段の第1段から汙層の目詰りに応じ下方の2, 3, 4段へ順次切り換えていく操作により疑似的に汙層全体を有効に使った内部汙過の状態に近づけることができる。最下段供給時の損失水頭が設定値まで上昇すると洗浄工程に入る。

浮上性汙材は、砂汙材に比べて水との比重差が小さいため、水により汙層を膨張させて逆洗するという従来法で洗浄しても所要エネルギーは小さくてすむ。しかし、本汙材の浮上するという特性を利用したエジェクターによる洗浄方法の方がエネルギー的にさらに有利である。そこで、本汙材の洗浄はエジェクターで行い、エジェクターの駆動水は、汙過槽内水、または処理水を循環して用いる。エジェクターに送り込まれた駆動水がエジェクター内を高速で通過する際に生じる負圧により汚濁汙材は、吸い込み管からエジェクター内に吸引される。さらにエジェクター内部での剪断力により付着したSS分が剥離し、汙材粒子は洗浄される。吐出管下端で洗浄粒子と剥離SS分は分離され、洗浄汙材は浮上して再び汙層を構成する。剥離SS分の多くは汙過槽底部に沈降、分離される。この操作により、汙層上端から下端まで汙材をエジェクター内に順次吸い込み、汙層全体を洗浄すると1回の洗浄工程が終了する。

2.2 実験装置の構成

実証実験で用いたパイロットプラントのプロセスフローを Fig. 2 に示す。パイロットプラントは、原水槽、洗浄水槽、浮上性汙過槽、処理水槽、処理水貯留槽、各処理槽の接続配管、ポンプ、および制御系で構成さ

Fig. 1 Filtration and backwash process

Fig. 2 Schematic of the pilot plant

れている。汙過槽は、断面積 0.64m^2 ($80\text{cm} \times 80\text{cm}$)、槽高 4.5m であり、汙材を 3m 充填した。汙材は比重 0.03 の発泡ポリスチレン粒子を用いた。汙層内に原水供給管を 50cm 間隔で 4 段に設置し各段の汙層内損失水頭が設定値まで上昇すると下段の原水供給管へ切り換えて汙過が継続できるようにした。1段目供給時の有効汙層厚(使用供給管から下にある汙層厚)は 250cm であり、4段目供給時の有効汙層厚は 100cm である。損失水頭が、その時の有効厚の汙層の浮力 $(1-\epsilon) \cdot L$ ($\epsilon=0.4$, ϵ :間隙率, L :汙層厚)より上昇すると浮上性汙層に亀裂が入るため、安全率 2 を見込み最も薄い第4段の汙層厚(100cm)より、約 30cm を損失水頭設定値とした。原水供給の下段への切り換えの制御は、汙過槽の側壁に設置してあるマンメータ管内のレベルスイッチにより行い、原水供給段の汙層の損失水頭上昇を感知すると下段供給管の電磁弁を開き、前の供給管の電磁弁を閉じるようにした。第4段の汙層の損失水頭が設定値に達するとすべての段の供給管の電磁弁は閉じ、洗浄工程に入る。

汙過槽の上部には、吸込・排出径が $75\text{mm}\phi$ のエジェクターが2カ所に設置されている。エジェクターの駆動水圧を $2\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ とし、 3m の汙層を一巡吸い込むのに要する時間を10分間に設定した。汙材の洗浄は、2回の洗浄工程により行い、1回目の洗浄には汙過槽内水、2回目の洗浄には汙過処理水を使用した。

汙材粒子径の選定等の予備実験は、小型汙過装置を用いて行った。汙過槽は、断面積 0.49m^2 ($70\text{cm} \times 70\text{cm}$)、槽高 2.5m 、汙層厚 $0.8\sim 1.5\text{m}$ であり、原水供給管は、1段のみ設置されている。小型である以外基本的なプロセスは、Fig. 2の実証プラントと同じである。

2.3 実験方法と運転条件

2.3.1 小型汙過装置実験

浮上性汙材の径によるSS除去率と捕捉量の違いを汙速 $150\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ の定量汙過の条件下で検討した。実験は、汙材径 $0.8, 2.5, 5.5\text{mm}$ の3種類で行った。ポリスチレン粒子を発泡させ球形で均一な径を安定して作成できる最大の平均径はほぼ 6mm のため、 5.5mm は発泡ポリスチレン汙材としては、ほぼ最大径となる。また、無機系汙材との比較を行うため、 $5.0, 7.0\text{mm}$ のガラス汙材を円筒カラム(150cm 高、 10cm 径)に充填し、別途 $200\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ の定量汙過実験を行った。比較実験に用いた汙材の仕様をTable 1に示す。

原水供給管の設置間隔を決めるため、汙過槽の側壁に設置してあるマンメータ管により、懸濁物捕捉に伴う汙層内の損失水頭分布を求め、汙層内へのSS分浸透距離を把握した。汙過速度が高い方が汙層内の浸透距離も長くなると考えられるため、 $200\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ の汙過

Table 1 Materials of filter media and their properties

Material	Mean diameter	Uniformity coefficient	Porosity of clean bed
expanded polystyrene	0.8 mm	1.16	0.35
expanded polystyrene	2.5 mm	1.16	0.35
expanded polystyrene	5.5 mm	1.15	0.36
glass	5.0 mm	1.10	0.36
glass	7.0 mm	1.11	0.38

速度で実験を行った。

2.3.2 パイロットプラント実験

Fig. 2に示すパイロットプラントを用いて、1988年8月から1990年3月にわたり長期連続実証実験を行った。小型実験の結果より、パイロットプラント実験は、 5.5mm の浮上性汙材を用いて行った。

定量汙過実験は、主に $75, 150, 220\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ の3段階の汙過速度で行い、変動汙過実験は、 $75\sim 220\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ の範囲で段階的に汙過速度を変化させて行った。

エジェクター洗浄が浮上性汙材の縮小に与える影響を検討するため、長期連続運転中の汙材をさらに244時間(洗浄時間としては5.5年間分に相当)にわたり洗浄し、汙材径の変化を測定した。

2.3.3 測定方法

原水および汙過処理水のSS濃度(下水試験法による分析値)とSS計(電気化学計器(株)製, SSD-10)の計測指示値との相関が十分に高いことが統計的に確認できたため、連続汙過実験のSS濃度の測定には、SS計を使用した。計測指示値の校正は、2~3ヵ月毎に50個以上の分析値を用いて行った。データの相関性を寄与率(r^2)で表現すると、原水計測の場合は $r^2=0.90\sim 0.92$ 、処理水計測の場合 $r^2=0.66\sim 0.82$ であった。

連続実験中の原水と処理水のSSの計測は5分毎に行い、計測指示値を回帰式によりSS濃度に換算し、このデータを用いて連続実験時のSS除去率、単位汙過面積当たりのSS捕捉量等を求めた。

汙過速度は、処理水槽に設置してある電磁流量計(横河電機(株)製, CYM-10)の流量計測値から求めた。損失水頭の計測は、汙過槽の側壁に設置してある圧力計(長野計器(株)製, KH21)とマンメータ管の両方を用いた。汙過速度と損失水頭も5分毎に計測を行った。

2.4 実験原水

小型汙過装置の多くの実験およびパイロットプラントのすべての実験の原水には、茨城県湖北流域下水処理場のスクリーン処理水を用いた。その主な性状をTable 2に示す。

小型汙過装置の一部の実験は、住宅都市整備公団ひばりヶ丘団地汚水処理場の生活排水を用いて行った。原水 SS 濃度は、70~240mg・l⁻¹であり、その平均値は、126mg・l⁻¹であった。

3. 小型汙過装置実験の結果と考察

3.1 SS 除去性能による汙材径の選定

浮上性汙材径の選定は、有効汙層厚が100cm、汙過速度が150m・d⁻¹の定量汙過条件下の SS 除去率と単位汙過面積当りの SS 捕捉量により行った。0.8mm 粒子使用時は、平均 SS 除去率は最も高く87~90%であったが、汙層の閉塞も早く汙過継続時間が短いため、単位汙過面積当りの SS 捕捉量は3種類の中で最も小さく0.3~0.5kg・m⁻²であった。また、原水 SS 分の汙層への分散が平均的に行われず、水みちを形成し、破過が発生する場合が多かった。

2.5mm, 5.5mm 粒子の SS 除去率は両者とも82~85%と同程度であるが、汙過継続時間の違いにより、単位汙過面積当りの SS 捕捉量には大きな差ができた。2.5mm 径は、1~2.5kg・m⁻²であり、5.5mm 径は7.5~12.5kg・m⁻²であった。浮上性汙材の場合は、0.8~5.5mm の範囲では汙材径が大きくなるほど SS 捕捉量は増大するが、SS 除去率はわずかに低下しないことが認められた。

これより、本汙過法には5.5mm 径の汙材の使用が最適と考えられるため、パイロットプラント実験には、5.5mm 径を使用した。

3.2 浮上性汙材と無機性汙材との比較

発泡ポリスチレン汙材の ξ 電位は、無機性汙材と異なり正に帯電している³⁾ため、本汙材による水中の微細な懸濁粒子の捕捉能力が、無機性汙材と異なることも予想された。このため、無機性汙材としてガラス玉を選び、5.5mm 径の浮上性汙材と5.0mm 径のガラス汙材の微細懸濁物の除去性の比較を円筒カラムを用いて行った。微細粒子の除去を評価するため74 μ m の金網篩いを通過した原水を用いて、有効汙層厚100cm、汙過速度200m・d⁻¹の条件で実験した。また、汙材が5.5mm 径より大きい場合の SS 除去性を評価するため、7.0mm 径のガラス汙材による汙過実験も併せて行った。結果を Fig. 3 に示す。

Table 2 Properties of raw and treated sewage

Item	Raw sewage	Treated sewage
SS (mg・l ⁻¹)	70~507 (av.190)	14~ 52 (av.29)
T-BOD ₅ (mg・l ⁻¹)	70~244 (av.186)	48~135 (av.84)
S-BOD ₅ (mg・l ⁻¹)	27~ 82 (av. 54)	23~ 69 (av.42)

5.5mm 径の浮上性汙材と5.0mm 径のガラス汙材の74 μ m 以下の SS 分の除去パターンはほぼ同じであり、原水供給点から10~20cm の汙層部分で SS の60%程度が除去されることがわかった。下水中の74 μ m 以下の懸濁物の分離に関して、 ξ 電位の影響は認められず、浮上性汙材とガラス汙材との間に大きな違いがないことがわかった。これより、汙材径が5.5mm より大きくなった場合の SS 除去率は、浮上性汙材の代わりにガラス汙材を用いて推定できることがわかった。

上記と同じ条件でガラス汙材による5.0mm 径と7.0mm 径の比較実験を行った結果、Fig. 3 に示すように、7.0mm 径のガラス汙材の SS 除去率は、同じ汙層厚の5.0mm 径よりかなり低下することがわかった。

3.1の結果と併せると、高除去率と懸濁物捕捉量の増大を同時に目指す本汙過法に適した汙材径は5.5mm 程度であると考えられる。

3.3 原水供給管の設置間隔の選定

5.5mm 径の浮上性汙層内の SS 分浸透距離を把握するため、原水供給点から汙過方向に5cm, 10cm, 18cm, および50cm の地点にあるマノメータを用いて単位面積当りの SS 捕捉量と各点の損失水頭上昇量の関係を求めた。この小実験では、損失水頭上昇量が60~70cm になると処理水質の悪化が始まったため、その時点で汙過を終了した。

Fig. 4 に示すように、18cm 以上まで SS 分が浸透している場合と10cm までに SS 分の多くが捕捉されている場合があるが、いずれの場合も50cm まではさほど浸透しないことがわかった。これより、パイロットプラント実験装置の原水供給管の間隔を50cm に設定した。また、損失水頭は、単位汙過面積当りの SS 捕捉量が6~7 kg・m⁻²から急激に上昇することもわかった。

Fig. 3 Comparison of filter performance between floating media and glass beads

4. パイロットプラント実験の結果と考察

4.1 流入原水の特性

原水中のSSおよび有機物の粒度分布特性の代表例をFig. 5に示す。原水と処理水の沝紙による篩い分けは、沝紙上で沝滓沝過が起らないように、目詰まりに注意して行った。原水SSの約80%は7 μ m(東洋沝紙 No. 5A)以上の懸濁粒子であること、T-COD, T-BOD, Kj-Nは7 μ m以下の懸濁粒子と溶解成分の全体に占める割合が高いことがわかった。

4.2 沝過処理水の特性

沝過処理水の主な性状をTable 2に示す。実験を行った75~220m $\cdot$ d⁻¹の沝過速度の範囲では、沝過処理水のSS粒度分布特性に大きな違いはなかった。150m $\cdot$ d⁻¹の定量沝過時の分布特性の例をFig. 6に示す。本法の沝過により7 μ m以上の懸濁粒子のほとんどが除去されることが認められた。このため7 μ m以上の懸濁粒子が占める原水中のSSの約80%分、T-CODの約40%分およびT-BODの約50%分は本沝過によりほとんど除去される。BODやCOD分のように溶解成分の比率が高いものは、SS並みの高い除去率は得られにくいことがわかった。

Fig. 4 Relationship between SS removed per unit filter surface and head losses

$$\text{head loss} = h_{fL} - h_{fo}$$

h_{fL} : head loss in filter depth L, below the feed inlet

h_{fo} : head loss through the clean bed

4.3 多段切り換え定量沝過実験の結果と考察

4.3.1 多段切り換え定量沝過の性能

Fig. 7に多段切り換え定量沝過の沝過時間とSS除去率, SS捕捉量, および損失水頭等の関係の一例を示す。SS除去率が80%以上であること、沝層が懸濁物により閉塞すると原水供給が順次下段の沝層へ移り沝過継続時間が大幅に延長されること、およびこれに伴いSS捕捉量も大幅に増大すること等がわかる。多段切り換え供給により、全沝層のSS捕捉量と沝過時間は、従来の1段のみの供給の場合に比べて各々3~4倍に達する。また、洗浄水量比も1.7~2.6%と3%未満である。定量沝過時の性能を沝過速度ごとにまとめてTable 3に示す。150~220m $\cdot$ d⁻¹の沝過速度で確実に1日以上連続して沝過を継続できること、最初沈殿池の水面積負荷と比較すると大幅な省面積化が可能であること等がわかった。

4.3.2 原水濃度のSS除去性能への影響

Fig. 7より、原水濃度が大きく変動してもSS除去率はおおむね安定していることが認められる。原水SS濃度の変動係数(標準偏差と平均値との比)と平均SS除去率の関係を調べたところ、原水濃度が変動係数で0.4まで変動しても、沝過のSS除去率は安定していることがわかった。

Fig. 8に原水平均SS濃度と沝過継続時間の関係を示す。原水の平均SS濃度が高いほど、沝過継続時間が

Fig. 5 Particle size distributions of raw sewage

Fig. 6 Particle size distributions of treated sewage

短くなる傾向が認められた。

4.3.3 汚過速度とSS除去性能の関係

Fig. 9 に汚過速度とSS除去率および全汚層（4段）の総SS捕捉量との関係を示す。総SS捕捉量は、 $150\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ の時が最大であり、 $75\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ と $220\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ の時はおおむね同じであった。SS除去率は、 $150\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ の時が最大であり、 $220\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ の時は、それより3～6%低下、 $75\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ の時も数%程度低下した。高速汚過時は汚層内に抑留されたSS分の一部が流出しやすくなるため除去率が低下するものと考えられる。また、低速汚過時はSS分の浸透距離が短いため、有効な内部汚過を

Fig. 7 Filter performance of constant-rate filtration at $150\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$
SSR : SS removed per unit filter surface

達成できず総捕捉量とSS除去率が低下するものと推定される。

4.3.4 多段切り換え供給による下部汚層への影響

Fig. 10 に各供給段とSS捕捉量の関係を示す。単位面積当りのSS捕捉量は第1段、第2段はほぼ同量の捕捉性能を有する。しかし、下段の汚層になるほど上段から漏出したSS分の影響を受けるため、SS捕捉量は、第3段、第4段と徐々に減少すること、また捕捉量もばらつきやすくなることがわかった。

4.4 多段切り換え変動汚過実験の結果と考察

原水供給ポンプをインバーターにより汚過速度が $75\sim 220\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ の範囲で段階的に増減するように制御して多段切り換え変動汚過実験を行った。Fig. 11 に結果の一例を示す。SS除去率は原水SS濃度と汚過速度が変動してもおおむね80%前後で一定であること、各段の汚過継続時間は原水SS濃度と汚過速度の変動の影響を受けてかなりばらつくことがわかった。変動汚過時の汚過性能をTable 3に示す。

Table 3において変動汚過と定量汚過の比較を行う。変動汚過の場合、汚過速度と原水濃度のピークが重なり合う場合も多いため、汚過継続時間やSS捕捉量等の汚過性能と洗浄水量比は、定量汚過に比べてば

Fig. 8 Effect of SS concentration on filter run length

Table 3 Comparison of CRF and VRF filter performances

		CRF			VRF*
		$75\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$	$150\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$	$220\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$	av. $135\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$
Filter run length	(h)	76~96	54~64	30~42	28~49
SS removal ratio	(%)	81~86	85~89	78~83	78~84
Total SS removed in filter	($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	33~39	38~42	33~37	26~37
Backwash volume ratio	(%)	2.0~2.6	1.7~2.0	2.0~2.6	2.3~4.0

*: For the VRF runs, filtration rates varied from 75 to $220\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$

CRF : constant-rate filtration, VRF : variable-rate filtration

Fig. 9 Effect of filtration rate on filter performance
SSRR: SS removal ratio
SSR: SS removed per unit filter surface

Fig. 10 Effect of multiple filter column inlets on SSR

らつきが大きく、かつ多少低下することがわかる。しかし、汙過速度が変動しても、本汙過法が目標とする80%以上のSS除去率、1日以上汙過継続時間および5%以下の洗浄水量比を十分達成できることがわかった。

4.5 浮上性汙材の縮小

長期連続実験に使用する汙材の選定の一環として、発泡倍率の異なる2種類の5.5mm径浮上性汙材の初期縮小の状況を調べた。発泡倍率の大きな汙材は、約30日の運転で汙層厚が初期値の82%まで減少すること、発泡倍率の小さな汙材は、約40日間の運転で初期値の91%まで減少するがそれ以降の減少は小さいことが判明した。これより、長期連続汙過実験には、後者の汙材を使用した。

Fig. 11 Filter performance of variable-rate filtration
SSR: SS removed per unit filter surface

Fig. 12 Effect of ejector backwashing on long-term changes in filter medium size

汙材径が5.5mmと大きいので、懸濁物捕捉に伴う損失水頭の上昇量は、Fig. 7に示すように小さい。これより、汙材の縮小は、エジェクター洗浄工程で受ける剪断力等の力によるものと考えられる。そこで、エジェクター洗浄による汙材径の長期的な縮小の検討を行った。エジェクター洗浄回数(または汙過年数)と汙材径縮小の関係をFig. 12に示す。洗浄回数196回の汙材径は連続運転1年半後の値であり、かつエジェクター連続洗浄試験の初期値である。412回と928回の値は連続洗浄72時間後と244時間後の汙材径を示す。(1回の洗浄時間を20分とし通常運転時の洗浄回数に換算した。)さらに、連続洗浄試験の結果を $180\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ 程度の汙

過速度で運転した場合の洗浄頻度値（2日に1回）を用いて汙過運転相当年数に換算し図中に示した。Fig. 12により汙材径は1.5年間の運転で初期値の約80%（50%粒径で比較）まで縮小するがその後は、5.5年分に相当する洗浄試験後も初期値の約76%とさほど縮小しないことが判明した。

汙材が縮小することにより、汙過性能が変わることが予想される。汙材縮小による汙過性能への影響を把握するため、汙材の初期縮小が終了したと考えられた1989年1月とその半年後の1989年6月の汙過性能（除去率、捕捉SS量等）の比較を行ったが、統計的に有意な差はないことがわかった。

また、1.5年間の連続運転期間中に浮上性汙材のマツ

ドボールの形成は、観察されなかった。

4.6 本プロセスの懸濁物の物質収支

200m³・d⁻¹の定量汙過の場合の多段（4段）切り換え定量高速汙過時のSS物質収支を一連の汙過実験結果の平均値から試算し、Fig. 13に示す。なお、図中の諸数値は単位汙過面積（1m²）当りの換算値である。汙過工程では前回工程の残存SS分12kg³・m⁻²と汙過による捕捉SS分36kg³・m⁻²の合計48kg³・m⁻²が汙層内の全SS量になる。洗浄工程によりその75%の36kg³・m⁻²のSS分が系外へ排出、25%の12kg³・m⁻²のSS分が系内に残存する。また、洗浄水量比は2%程度である。

4.7 洗浄排水と濃縮汚泥の性状

1度の洗浄工程の洗浄排水は、2回排出される。1

Fig. 13 Material balance of SS

Table 4 Properties of backwash water and thickened sludge

	Backwash water No.1	Thickened sludge of backwash water No.1	Backwash water No.2	Composite sample of backwash water No.1 and No.2	Thickened sludge of composite sample
SS (mg ³ ・l ⁻¹)	6,640	34,770	3,170	4,790	25,850
TS (mg ³ ・l ⁻¹)	7,350	35,250	3,590	5,580	26,840
VS (mg ³ ・l ⁻¹)	5,540	27,460	2,630	4,190	21,890
COD (mg ³ ・l ⁻¹)	7,510	43,940	3,585	5,800	34,560
kJ-N (mg ³ ・l ⁻¹)	290	1,128	154	266	1,080
T-P (mg ³ ・l ⁻¹)	38.8	189.5	24.5	34.8	168.2

回目の洗浄排水および1回目と2回目の洗浄排水を等分に混合したものを24時間静置、濃縮した。洗浄排水は2時間の静置で初期体積の22%, 24時間で19%程度まで濃縮された。洗浄および濃縮汚泥の性状例をTable 4に示す。

5. 試設計による検討

実プラントとして適用した場合の問題点の検討, 所要面積および所要電力量等の算定を目的として試設計による検討を行った。5,000m³・d⁻¹と50,000m³・d⁻¹の規模の試設計を以下に示す前提条件を用いて行った。

【前提条件】

- (1) 原水 SS 濃度 : 200mg・l⁻¹
- (2) SS 除去率 : 75~85%
- (3) 汙過方式 : 4 段切り換え汉過, 下向流式
- (4) 汉過速度 : 平均150m・d⁻¹, 最大230m・d⁻¹
- (5) 汉材洗浄頻度 : 1 日に 1 回

Fig. 14 に計画プラントの平面図と立面図を示す。さらに規模が大きな場合も, 大きくした各ユニットをさらに複数, 並列に設置することによって対応できると考えている。

所要電力量は, 5,000m³・d⁻¹規模で0.056~0.078 kwh・m⁻³である。汉過工程の所要面積は5,000m³・d⁻¹で約90m², 50,000m³・d⁻¹で約627m²である。最初沈殿池の所要面積の35~50%であり, かなり省面積化されることがえられる。

6. ま と め

浮上性汉材と多段切り換え供給法を用いた下水の迅速な固液分離法について検討し, 以下の結果が得られた。

1) SS 除去率や SS 捕捉量の汉過性能から判断して, 5.5mm 径の汉材が本汉過法に適切であることがわかった。

2) スクリーン通過後の下水を直接汉過し, 下水中の 7 μm 以上の懸濁粒子のほとんどを除去できることがわかった。このため, SS 分については80%以上の高い除去率が得られる。BOD や COD は溶解成分の比率が高いため, SS 並みの高い除去率を得ることは難しいが, 40~50%の除去が可能である。

3) 下水中の74μm 以下の懸濁物の分離に関して, 浮上性汉材とガラス汉材との間に大きな除去性の違いはなかった。このため, これらの汉材のζ電位の違いによる SS 除去性の差は, ほとんどないと考えられる。

4) 多段 (4 段) 切り換え供給により, 汉過継続時間 (= 洗浄間隔) と SS 捕捉量を従来の 1 段のみの供給に比べて 3~4 倍まで増加させることができた。汉過継続時間は30時間以上, 洗浄水量比は2~4%であった。

5) 220m・d⁻¹程度までの高速汉過が可能であることを確認した。SS 除去率と SS 捕捉量は, 150m・d⁻¹の汉過速度の時に最大になることがわかった。

6) 原水供給段の間隔を50cm に設定した場合, 汉過段の切り換えによる下段汉層への懸濁物漏出の影響は第3段~第4段から現れ, SS 捕捉量を低下させることがわかった。

7) 汉材径は, 1.5年間の運転で初期値の約80%まで縮小するが, その後は, 5.5年相当後も初期値の76%と, さほど縮小が進まないことがわかった。また, 1.5年間の連続運転期間中, 浮上性汉材のマッドボールの形成は観察されなかった。

8) 5,000m³・d⁻¹と50,000m³・d⁻¹の規模の試設計の

Fig. 14 Outline plan of 5,000m³・d⁻¹ plant

結果、本汚過工程の所要面積はそれぞれ90m², 627m²と従来の最初沈殿池の35～50%であり、かなりの省面積化が図れることがわかった。所要電気量は5,000m³・d⁻¹規模で0.056～0.078kwh・m⁻³であることがわかった。

謝 辞

本研究はバイオフォーカス WT プロジェクトの一環として建設省土木研究所と実施した共同研究の一部である。

研究の実施にあたり、建設省土木研究所下水道部の関係各位から、多くの御指導と御教示をいただいたことに対し、深く感謝いたします。

(原稿受付 1991年5月21日)

(原稿受理 1991年8月5日)

参 考 文 献

- 1) バイオテクノロジーを活用した新排水処理システムの開発報告書(下水道編)(1991)建設省。
- 2) 小越真佐司(1990)下水前処理用の高効率固液分離装置の開発, 土木技術資料, 32, 56～59.
- 3) 田代辰夫, 山内愛造(1989)球状高分子による水中のバクテリアの除去, 平成元年度繊維高分子材料研究所研究発表会資料, 14～27.
- 4) 下水2次処理水の急速汚過設計マニュアル(1982)財団法人下水道協会。
- 5) 井出哲夫(1990)水処理工学, 101～152, 技報堂, 東京。
- 6) 合田健(1979)水質工学(応用編), 32～46, 丸善, 東京。
- 7) 丹保憲仁, 小林三樹(1982)高容量汚過池の研究, 水道協会雑誌, 571, 37～50.
- 8) 丹保憲仁, 松井佳彦, 岡本裕三(1984)高容量汚過池の研究(II), 水道協会雑誌, 598, 16～23.
- 9) 小越真佐司(1986)粗汚材を用いた下向流式汚過, 第23回下水道研究発表会講演集, 437～439.
- 10) Matsumoto, M.R., Galewski, G. and Ross, D.S. (1982) Filtration of primary effluent, *Journal of Water Pollution Control Federation*, 54, 1581～1591.
- 11) Moreley, D.A. (1979) Mathematical modelling in water and wastewater treatment, 184～216, *Applied Science*, London.
- 12) 貫上佳則, 本多淳裕, 西谷道暢(1990)回転汚過筒を用いた排水の固液分離に関する研究, 水質汚濁研究, 13, 39～47.

多段土壤層法による脱窒脱リン合併排水処理装置

若月 利之* 江角比出郎** 小村 修一***

* 島根大学農学部 ** 島根県衛生公害研究所 *** カナツ技建

〈水質汚濁研究 Vol.14 No.10 (1991) pp.709～719〉

多段土壤層法とは、通水用土壤層と浄化用土壤層とをレンガ積層パターンで多段に積層させ、汚水がこの多段土壤層を流下する間に浄化させようとするものである。

浄化用土壤層は、マサ土に金属鉄粒とペレット化したジュートを各5～15%添加したものを、厚さ7.5～10cm、幅60cm、長さ120～175cmの単位サイズで用いた。通水用土壤層としては、粒径が1～5mmのゼオライトを5～10cmの層厚で用いた。この浄化用土壤層と通水用土壤層を各5～9段積層させた。また、多段層の下の通気管を設置した。

単独浄化槽排水と雑排水の合併排水を処理する実規模の装置を久留米市と松江市に設置して処理性能を1～半年間調査した。調査期間中、負荷量 $100\sim 800\text{ l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ で目詰まりは生じなかった。処理水の平均BOD $5\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 、T-N $5\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 、T-P $0.8\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ であった。通気は処理性能に大きな影響を与えた。本法は有機物、窒素、リン除去能が高く、富栄養化防止に有効な施設となり得ることを認めた。

浮上性汙材を用いた下水の固液分離処理法の研究

毛利 光男* 丹羽 千明*

* 清水建設株式会社技術研究所シーブルー特別研究グループ

〈水質汚濁研究 Vol.14 No.10 (1991) pp.720～729〉

本研究では、発泡ポリスチレン汙材と多段切り換え原水供給方式を用いた生下水の直接汙過において、高効率除去に適した汙材径と原水供給管の設置間隔の選定、浮上性汙層の固液分離特性、汙材の耐久性、および分離懸濁物の沈降濃縮特性等について実験的に検討した。実験の結果、汙材径は5.5mmが適切であり、原水供給を汙層の閉塞により、順次下の供給管に切り換える本汙過方式は汙過継続時間とSS捕捉量を大幅に増大することがわかった。汙層厚3m、汙過速度 $150\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}\sim 220\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ 、および4段の切り換え汙過の場合、SS除去率が80%以上、BOD除去率が約50%、汙過継続時間が30時間以上、および洗浄水量比が2～4%であった。汙材径は、1.5年間の運転で初期値の約80%まで縮小するがその後はさほど縮小しないことがわかった。5,000と50,000 $\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 規模の試設計の結果、本汙過法の所用面積は最初沈殿池の35～50%であり、かなりの省面積化を図れることがわかった。