長 繊 維 に よ る 超 高 速 汙 過

オルガノ(株)産業プラント事業部技術第3部 岩 塚 剛, 黒崎 義教

High Rate Filter Using Long-Fiber Bundles

Takeshi Iwatsuka and Yoshinori Kurosaki

Plant Engineering Department-3, Japan Organo Co., Ltd.

1. は じ め に

閉鎖水域での水汚染の問題がクローズアップされてから久しくなる。この間、法令による排水処理基準の強化、更には濃度規制から総量規制への移行など、排水の削減、排水の高度処理が早急に必要とされ、排水処理水の回収再利用が社会的ニーズとなってきた。

このような環境から用水型産業である紙パルプ業界においても排水の高度処理を組込んだ効率的な水回収プロセスが要望されてきている。

これまで、この分野では水回収プロセスの中で重要な部分をしめる汙過操作には、砂汙過が最も一般的な方法として採用されてきた。しかしながら、この方法は各種の利点があるものの、次のような汙過操作上の欠点があるため、製紙排水の回収には余り向かず現場サイドの手をわずらわしてきた。

- 1) 洗浄が不十分になり易く、懸濁物が次第に蓄積され、時にはマットボール等が形成される。
- 2) このため洗浄水量も比較的多量に必要で汙過液の回収率が余り上がらない。
- 3) 一般的には通水流速は最大でも 20 m/h 程度であり、懸濁物の種類によってはすぐに目詰りを起し、圧力損失が比較的早期に上昇してしまう。

そこで、筆者らはこれらの問題点を解決することを目的として高流速で汙過でき、しかもそれ程圧力損失を上昇させず、かつ短時間で少ない洗浄水量で確実に洗浄できる汙過器の開発をすすめてきた。その結果、長繊維をろ在とした超高速汙過装置の開発に成功し、現在迄に白水回収の分野で 15 基の納入実績を得ている。

以下に、筆者らが開発した超高速汙過装置、FIBAX (弊社商品名) について紹介する。

2. FIBAX 汙過装置の機構と特性

2.1 長繊維汙材

これまで、繊維を利用した汙過器としては 50~60 mm の短繊維を毛皮状に織り込んだ布を用いる長毛汙過、あるいは繊維を小さな毛玉ボール状に加工成型した球形繊維塊を汙材とした球形繊維汙過等が実用化されている。

繊維を利用した汙過器は対象原液の基質に応じた任意の太さの汙材を選定でき、比較的高流速で汙過できるなど、従来の砂汙過等に比べ優れた特長がある。前述した汙過器もそれぞれ優れた特長をもっているが、また一部欠点もある。前者は洗浄が連続的に行われるものの、機械操作が必要なため構造が複雑になり、汙材層が薄いこともあって比較的汙材寿命 (3 か月) が短い。また後者は使用する汙材が軽い (真比重: 1.38) ため、洗浄時に塔内から流出しないようスクリーン等が必要であり、構造が複雑となる一方、障害になり易い。また汙材が 10~20 mm と比較的大きな単体で構成されるため、洗浄時に表面部分の洗浄ができるものの、内部に捕捉された懸濁物質は離脱し難く、しだいに堆積され腐敗、溶出などの問題が起り易い。しかも汙材は短繊維を球状に固めたものであるため、洗浄時のほぐれにより流出する可能性がある。

そこで、今回筆者らが開発した長繊維汙過装置は、これらの問題点を解決したもので、汙材は単繊維の集合体からなる長繊維束を使用したもので、材質的には耐磨耗性、耐薬品性にすぐれた合成繊維を使用している。汙材の物性を表 1、汙材の外観を写真 1 に示す。汙材の比表面積は $11,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ と粒状汙材の $300 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 比べ 30~40 倍の比表面をもっている。

これらの特性をどのように生かし、どのような機構で汙過されるのか次項で述べる。

表 1 汙材の物性

材 質	合 成 繊 維
繊 維 径	10~80 μm
繊 維 長	1,500 mm
真 比 重	1.39
充 填 密 度	50 kg/m^3
比 表 面 積	11,000 m^2/m^3

写真 1 30 μ ファイバーコントロール (×12)

2.2 汙過機構

本装置の特長は図 1 に示されるように長繊維汙材の下端部が固定され、その上端はフリーな状態になっていることである。全体的には長繊維汙材は塔内で真直ぐに立った状態で充填される。

したがって、汙過工程としては原液は塔上部から下降流で通水され長繊維の空隙部で懸濁物が捕捉された後、塔下部から汙過液として流出する。

この汙過工程中、汙過初期においても、長繊維の下端部は流入抵抗等によりやや屈曲するので、屈曲していない真直ぐな上部長繊維よりもやや蜜になっており、その結果、原液中の懸濁物はショートパスすることなく効果的に捕捉され、通水初期から良質な汙過液が得られる。

更に、汙過操作が進むと長繊維の空隙部での懸濁物捕捉量の増加に伴い圧力損失が増加し、長繊維の下部屈曲部も増加してくるが、通水終了時（圧力損失：0.5 kg/cm^2 ）においても長繊維の上部は一部真直ぐに立った状態で残る。この理想的な深層汙過により懸濁物の絶対捕捉量が多く、しかも通水での圧力損失は小さいので、従来の汙過器では不可能であった。高流速（LV=50~100 m/h）での汙過が可能になる。

通水終了後の逆洗操作は水洗と空気洗を行うが、本汙過器は汙材の下端部が固定されているため、高流速

図 1 FIBAX の汙過状況

の逆洗操作を行っても、汙材は汙過塔から離脱することなく、高流速逆洗による短時間（約 5 分）の逆洗洗浄ができる。しかも汙材が単繊維の集合体からなるため従来の砂、アンスラサイト等の粒状汙材に比べ表面が滑らかであり、逆洗洗浄により従来の汙過器のように懸濁物が蓄積することなく、確実に懸濁物を塔外に排出することができるので逆洗水量を極めて少なくすることができる。

そこでこれらの特性を生かす目的で、これまで汙過が難しいとされてきた抄紙白水の回収に本装置を適応してみた。

そのフィールドのテスト結果の一部を以下に示す。

3. 抄紙白水処理

テストを行った工場は主に板紙を製造しており、その抄紙機から排出される白水はセツリングで沈降分離された後、濃縮固形分は原料にもどされ、一方、上澄水は凝集沈澱装置に送られ処理後河川に放流されていた。

テストはこの上澄水を回収し、高圧シャワー水等を使用することを目的として行った。また、この上澄水は SS 濃度で 10~100 mg/l と製造する紙の種類によって可成り異なった。

3.1 実験装置

実験に使用した汙過装置は実機の約 1/3 にあたる規模で塔径 650 mm、塔高 2,000 mm の SUS-304 の材質からなり、原水及び逆洗ポンプ、処理水槽、洗浄用フロア、自動運転用制御盤等で構成されている。この実験装置の外観を写真 2 に、フローを図 2 に示す。

使用した汙材は長さ 1,500 mm、太さ 35~45 μ の合成繊維で充填密度としては 50 kg/m^3 を採用した。

3.2 実験方法

実験では抄紙排水を沈降分離した後の上澄水を実験装置の原水槽にいったん受け、これを対象原水とした。

図 2 高速濾過装置フローシート

写真 2 実験用濾過塔

そして、この原水を下向流で濾過塔に通水し、圧力損の昇が 0.5 kg/cm^2 、あるいは SS リークが起るまで濾過処理を行い濾過性能を調べた。

濾過終了後の洗浄操作は洗浄水に処理水の一部を使用し、空洗 1 分、空水洗 3 分、水洗 1 分の合計 5 分間実施した。

3.3 実験条件

実験では 2 種類 ($35 \mu\text{m}$, $45 \mu\text{m}$) の濾材を使用し、標準濾過速度は原水濃度に関係なく $\text{LV}=50 \text{ m/h}$ を採用した。

また本実験の中では一切、薬品を使用せず無薬注を前提とした。

表 2 に実験条件の一例を示す。

表 2 実験条件

濾過塔本体	$\phi 650 \text{ mm} \times \text{H } 2,000 \text{ mm}$
原水ポンプ	$20 \text{ m}^3/\text{h} \times 20 \text{ m} \times 3.7 \text{ kW}$
逆洗水ポンプ	$35 \text{ m}^3/\text{h} \times 15 \times 3.7 \text{ kW}$
ルーツプロア	$6.3 \text{ m}^3/\text{h} \times 1.0 \text{ kg/cm}^2 \times 18.5 \text{ kW}$
濾過通水量	$16.5 \text{ m}^3/\text{h}$
濾過通水 LV	50 m/h
薬 注	無薬注
濾過差圧	$0.06 \sim 0.5 \text{ kg/cm}^2$
洗浄時間	5 分間
洗浄工程	空洗 (1 分) + 空水洗 (3 分) + 水洗 (1 分)
空気洗浄	$1,000 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$
水逆洗	$100 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ (処理水)
濾 材	$35 \sim 45 \mu\text{m} \times 1,500 \text{ mm} \times 50 \text{ kg/m}^3$

3.4 実験結果と考察

1) 濾 過 性 能

SS 濃度が 30 mg/l 前後の対象原水 (セッティング上澄水) を通水 $\text{LV } 50 \text{ m/h}$ 濾材 35μ で処理したときの濾過性能の一例を図 3 に示す。通水初期の濾過差圧は 0.06 kg/cm^2 で通水時間に比例して差圧があがり、6 時間通水後の差圧は 0.45 kg/cm^2 であった。この間得られた処理水 SS は 0.5 mg/l 以下と極めて良好であった。このときの SS 捕捉量を求めると約 3 kg/cycle で、濾過断面積あたりの表示では約 10 kg/m^2 となった。また本実験では原水 SS 濃度 $10 \sim 100 \text{ mg/l}$ と広範囲の濃度に対し実験を行っており最終濾過差圧を 0.5 kg/m^2 としたときの、原水 SS 濃度と濾過時間と

図3 汙過性能

図4 原水濃度 VS 汙過時間

の関係を実験結果をもとにまとめたものを図4に示す。図から両者の関係は両対数に対してはほぼ直接関係にあり、原水濃度がわかれば汙過時間をほぼ推定できる。

2) 微粒子除去率

板紙抄紙排水 (SS=40 mg/l)

図5 除去率

今回、実験対象となった板紙製造から排出される抄紙白水は比較的汙過処理がし易く、処理水質としてもSS濃度でいずれも0.5 mg/l以下と良好な結果が得られた。

そこで、今回の汙過実験でどの程度の粒径の懸濁物質がどの程度除去されているか、液体微粒子カウンターで測定してみた。前項と同一条件での測定結果を図5に示す。

2~5 μm 粒子径の除去率は95%、5~10 μmは97%、10 μm以上は99%以上とほぼ完全に除去されていた。

3) 汙材の選定

今回の実験では35, 45 μmの2種類の汙材を使用した。両者の汙過性能の違いがわかるように、汙材以外の汙過条件がほぼ同一な両者の実験結果を図6に示す。両者の汙過性能を比較すると35 μmの細い汙材の方が処理水質はわずかながら良く、差圧上昇については若干早かった。

汙材の選定は原水中に含まれる懸濁物質によって左右されるが、今回の実験では汙材の違いによる処理水性能の差は殆どなく、汙材としては汙過ライフが延びる45 μmの汙材が有利と言える。

4) 洗浄効果と洗浄水量比

洗浄方法はすでに述べたように、まず空気洗浄を始めるが行うが、この空気洗浄の開始時に塔内に入っている水の約1/3が一挙に排出される。これは塔内に入っている水が空気の流れにより瞬間的ではあるが空気の流れで移動するために起るもので、このパルスが洗浄効果に非常に有効に働いている。逆洗した際の洗浄効果をみるために、洗浄排水のSS濃度は逆洗時間の関係を図7に示す。ここでの洗浄結果は原水のSS濃度が平均で16 mg/lと比較的低濃度であったため、所定の最終差圧(0.5 kg/cm²)になる前に汙過処理を止め逆洗洗浄を行った結果である。このときの通水量は150 m³ (通水時間: 9時間)、最終差圧は0.28 kg/

図 6 濾材性能

通水量: 150m^3 (9 時間分)
 最終 ΔP : 0.28 kg/cm^2
 濾材: 45μ
 平均原水 SS: 16 mg/l
 平均処理水 SS: 0.5 mg/l
 洗浄水量: 2.2 m^3

図 7 洗浄排水 SS 濃度

cm^2 , SS 捕捉量は 2.3 kg/cycle であった。この図 7 の結果では逆洗時間が約 3 分で殆ど洗浄が終っており、洗浄条件である 5 分間の洗浄時間で十分に逆洗による回生処理がなされていることになる。この時の洗浄水量比を求めると 1.5%, 更に所定最終差圧まで通水したときの濾過時間を図 4 より求めると約 15 時間であることから洗浄水量比は 0.9% となる。この洗浄水量比は原水の SS 濃度によって異なりはするが、砂濾過に比べ非常に少ない値と言える。

5) 洗浄方法の検討

今回の実験では空気源としてブローを使用したが、空気チャンバーを用いたコンプレッサー方式を採用すれば、先のパルス効果を更に高められ、空気使用量を減らせると共に逆洗水量も減らせる筈であり今後の検討課題としたい。

3.5 ま と め

長繊維を使用した高速濾過装置で抄紙白水の処理を行った結果、次の特長が確認された。

(1) 比較的高濁度排水を高流速で濾過できる。

今回の実験では SS 濃度 100 mg/l までの白水を濾過流速 50 m/h で処理することができた。

(2) 濾過処理水質が良好である。

板紙製造から排出される抄紙白水 (SS 濃度 $10\sim100\text{ mg/l}$) に対して、処理水は 0.5 mg/l 以下の水質が得られた。

(3) 洗浄水量が少なくすむ。

洗浄は空気を併用して行うが、原水 SS 濃度が 16 mg/l のとき洗浄水量は濾過処理水の 1% の量で良かった。

(4) 洗浄時間が短い。

洗浄条件としては 5 分間を採用しているが、実験結果では 3 分間でほぼ回生されていた。

4. 濾材の耐久性

4.1 加速テストによる濾材の耐久性

通水、洗浄工程を各 5 分間、繰り返し行い約 3 年に相当する 3,600 サイクルの加速テストを実施した。その結果、濾材の表面に若干の汚れがみられるものの、濾材そのものには破損はみられず 3,600 回の耐久テストでは問題ないことが確認された。濾材の経時変化を加味しても 2~3 年の耐久性は十分といえる。

4.2 濾材の耐薬品性

濾材の耐薬品性については表 3 に示す。

判定基準としては強度と伸度が 80% 以下にならないければよく、主要な薬品に対しては特に問題はなかった。また濾材が何らかの理由で汚染、あるいは差圧の

表 3 耐薬品性

	薬 品	濃度 %	浸漬条件	強度 %	伸度 %	判定
耐酸性	硫 酸	20	20°C×5 H	88	90	○
耐アルカリ性	NaOH	20	20°C×5 H	84	97	○
酸化剤	NaClO	1.0	100°C×2 H	89	95	○
	H ₂ O ₂	1.0	100°C×2 H	90	90	○
還元剤	H ₂ S	1.0	100°C×2 H	85	88	○

上昇を起した場合を考慮して次亜塩素酸ナトリウムによる回生処理の影響を調べるために更に約1か月間の次亜塩素酸ナトリウムによる浸漬テストを実施した。

浸漬テスト結果では汙材への影響は全くみられなかった。

5. 納入装置の運転結果

昨年の11月に新聞用紙と上質紙を製造する工場に納入した装置の概要について紹介する。本工場は節水対策が進んでいるという面では世界に確固たる工場であり、今回はマシンから排出される抄紙白水を回収し、高圧シャワー水あるいはポンプシール水等に使用する目的で納入したものである。装置規模は約8,000 m³/日で新聞用紙、上質紙それぞれ4,000 m³/日の2系列、8機(φ1,200 mm×H 2,000 mm)からなっている。各系列、単独に運転でき、運転サイクルは時間と差圧設定が併用されている。

運転結果の一部を表4に示す。表の原水SS濃度はいずれも25 mg/l前後であるが、高いときには50 mg/l前後まで上昇した。しかし、いずれの場合でも汙

表 4 操業データ

採水日：昭和63年11月(新聞抄紙白水)

採水時刻	原 水			総合処理水		
	No.	SSmg/l	pH	No.	SSmg/l	pH
11:50	1	25.6	4.4	1	0.5 以下	4.4
13:10	2	26.2	—	2	0.5 以下	—
14:30	3	26.0	—	3	0.5 以下	—
15:50	4	25.9	—	4	0.5 以下	—

過処理水はSSで0.5 mg/l以下と良好な結果が得られている。既に約5か月間に亘り、昼夜連続運転されているが、運転休止期間の2日間のみ停止されただけで正常に稼働されている。

また、この間の汙材の異常あるいは変化はみられていない。

6. おわりに

本開発装置は当面、白水回収を対象として適用を考えているが、既に工業用水についても高流速(LV=100 m/h)での実証テストを行っており良好な結果が得られている。

今後は用水への適用も考えているが、本装置は汙材からの溶質物がないため、生産工程の中の汉過にも使用でき、特にプレコートタイプの汉過器に対しても代替が可能で既に糖液処理への適用も検討されている。本装置は高流速で汉過できることが特長ではあるが、従来汉過操作が難しいとされている分野にも適用可能であり、更に適用分野を広めていきたい。