

物理化学的排水処理方法による 工場排水中の有機汚濁成分の除去

伊田 健司 山口 明男 水井 廣二
宮沢 裕子 松下 隆一

要 旨

小規模事業場で多く採用されている物理化学的処理法の有機汚濁成分除去効果を検討するため、実際に5社の工場排水を採取し、沝過、凝集沈殿、活性炭吸着試験を行った。その結果、沝過によりBODで約12～70%の除去率を得た。凝集沈殿ではより安定的に約34～70%の除去率を得た。また、凝集沈殿後に活性炭吸着を行った場合には約53～78%除去できた。しかし、いずれの処理水も本県の上乗せ基準条例に対応できるBOD₂₀mg/l以下にはならなかった。

活性炭吸着は選択性が強く、特に、波長260nmの紫外部に吸収のある物質（E₂₆₀成分）に有効であった。

リンは凝集沈殿ではほぼ完全に除去できた。

1 はじめに

工場、事業場に対する排水規制の強化等で、近年は河川に対するBOD、COD等の汚濁負荷量の大部分は生活系排水によるものとなってきたが、事業場によっては排水処理施設の維持管理不十分、排水処理施設的能力不足等で、排水基準値を超過してしまうところがある。また、本県においては水質汚濁防止法に基づく上乗せ基準条例の改正に伴い（平成3年12月）、新基準値への対応が早急な課題となっている事業場も多く、特に、小規模事業場については難しい問題が残されている。小規模事業場における排水処理は簡便性、建設費等の関係から物理化学的処理法が採用されることが多い。代表的な物理化学的処理法には沝過、凝集沈殿、活性炭吸着等があるが、これらの排水処理法は事業場の排水特性により、様々に組み合わされて実用化されている。

排水の汚濁性状はサイズの面から懸濁性成分、コロイド成分、溶解性成分に分類でき、また一方で、化学的組成から有機物と無機物に分類できる。特に排水処理で重要となる有機物においては、BODで評価される生物分解性有機物と、BODとして現れない生物難

分解性有機物が種々混在して排出される。そこで、五つの工場を選び、実際にその排水の性状と排水処理技術に関する基礎資料を得るために以下の実験を行ったので報告する。

2 処理実験の方法

対象工場より採取した排水について、沝過（自然沝過、減圧沝過、加圧沝過）、凝集沈殿、凝集沈殿後活性炭吸着等をそれぞれ実験室で行った。

2・1 沝過

沝過として、化学分析用沝紙5A（保留粒子径7μm、砂沝過に相当し¹⁾、以下「5A」という。）と5C（保留粒子径1μm、以下「5C」という。）を、SS測定用としてガラス繊維沝紙（保留粒子径1μm、以下「GF」という。）を、精密沝過として孔径1μm、0.45μm、0.2μm及び0.1μmのもの（以下それぞれ、「MF1」、「MF0.45」、「MF0.2」及び「MF0.1」という。）を、また、一部限外沝過用として公称分画分子量100000（以下「UF_{10万}」という。）及び5000（以下「UF_{5千}」という。）等のものを使用し、それぞれに

あった減圧、加圧等を行って排水を分離した。

2・2 凝集沈殿

凝集剤として上水用の塩基性ポリ塩化アルミニウム（アルミナ換算濃度約10％、以下「パック」という。）及び硫酸アルミニウム（アルミナ換算濃度約7％、以下「硫酸バンド」という。）を使用し、ジャーテスターにより急速攪拌5分、緩速攪拌15分後、静置しながら凝集沈降曲線を記録し、沈降後上澄水を「5A」汙紙で汙過し分析した。

2・3 活性炭吸着

粉末活性炭（和光純薬工業製）を使用し、2・2・2で得られた凝集沈殿分離後の処理水につき、数種（10-10000mg/ℓ）の活性炭注入率を設定し、1時間吸着後MF0.45の精密汙過を行って分離し、分析した。

2・4 分析項目

2・1-2・3において行った処理実験により得られた処理水等につき、それぞれ、pH、BOD、SS、COD、窒素、リン等についてはJIS K0102に基づいて分析した。TOCは島津製TOC計（TOC5000）を使用し、濁度は日本光電研究所製濁度計（TY-4M）を使用し測定した。紫外吸光度（E₂₆₀）は10mmセル

を用いて、波長260nmの吸光度を島津製紫外・可視分光光度計（UV-240）を使用し測定した。

3 結果及び考察

3・1 小規模製紙業 A工場

3・1・1 工場概要

古紙ダンボール等を原料とし、襖下張紙等に再生している小規模な機械和紙製造工場である。この業種はこの地域の地場産業となっており、他に数社が操業している。工場の規模は同程度で、原料古紙を約0.75t/日使用し、排水量は約90m³/日である。排水は凝集沈殿処理をしている。操業及び排水処理のフローシートは次のとおりである。

古紙→蒸熟→叩解→洗浄→抄紙→製品
 排水
 排水→スクリーン→凝集→沈殿→上澄水排水

排水水質の汚濁源は単一であるが、蒸熟洗浄工程から高濃度汚染排水が、抄紙工程からは抄紙スクリーン等の逆洗排水で比較的低濃度汚染であるが水量的には多い排水が排出される。蒸熟はバッチ的におこなわれる。

3・1・2 排水分析結果及び汙過

蒸熟後の叩解工程排水、抄紙機の洗浄排水であるスクリーン排水及びそれらが合流した総合排水について

表1 A工場排水分析結果

項目	単位	総合排水		スクリーン排水		叩解排水	
		原水	-GF*	原水	-GF*	原水	-GF*
電導度	μS/cm	480		370		1100	
濁度	ppm	525	95.5	428	30	測定不能	375
SS	mg/l	764		550		1660	
強熱減量	mg/l	452		325		885	
pH		8.7		8.4		9.1	
BOD	mg/l	282	138	178	69.8	709	501
COD	mg/l	453	231	308	113	1410	997
TOC-MF0.45*	mg/l		183		41.0		382
TOC-MF0.2*	mg/l		125		37.5		286
TOC-MF0.1*	mg/l		129		57.3		251
T-N	mg/l	13	7.2	7.9	4.3	41	25
T-P	mg/l	0.72	0.14	0.37	0.06	2.90	0.72
BOD/COD		0.58	0.60	0.58	0.62	0.50	0.50
BOD:N:P		100:4.9:0.3	100:5.2:0.1	100:4.4:0.2	100:6.5:0.1	100:5.8:0.4	100:4.9:0.1
流量比(総合を1)		1		0.85		0.15	

* フィルター名の前に付けた「-」はそのフィルターでろ過した処理水を示す。

分析した結果を表1に示す。煮熱に苛性ソーダを使用しているためpHが9前後と高く、微細な不良繊維としての懸濁物質が非常に多く、濁っており、BODは比較的低いCODは高く、窒素、リンは少ない。それぞれの工程排水の流量は測定できなかったが、他から排水の混入がなく電導度の値からそれぞれの工程の流量比を推定することができた。総合排水を1とすると、総合排水：叩解排水：スクリーン排水＝1：0.85：0.15であった。この比率を基に総合排水に占める各成分を示したのが図1である。図1は各工程排水中の懸濁物質（以下「SS成分」という。）と溶解成分の汚濁

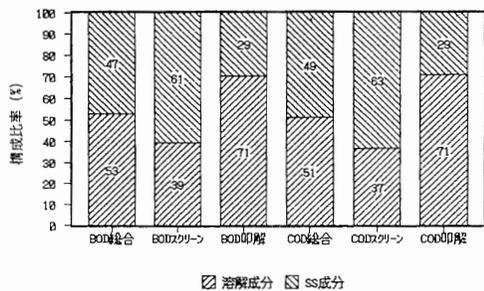


図1 A工場排水工程別、溶解性汚濁成分とSS成分の構成比率

指標中に占める割合を表し、BOD、CODは同様の傾向を示している。叩解排水中のSS成分の寄与率は約3割と低いが、スクリーン排水は約6割、総合排水は約5割である。これはスクリーン排水のSSのBODへの変換率（{(原水BOD) - (GF汚過後BOD)} / SSとして求めた。）0.20、叩解排水のSSのBODへの変換率0.13を比較すると約1.6倍スクリーン排水のSS成分の方がBODとして検出されており、また、強熱減量とSSとの比の比較においても、叩解排水にはBODと異なるSS成分がスクリーン排水より多いといえる。SS成分のBOD、COD等に対する寄与率はBOD47%、COD49%、窒素43%、リン79%と非常に大きい。

生物学的処理法の指標となるBOD：N：Pの比（微生物の生体中の構成比が約100：5：1であり、この比に近いほど栄養バランスの良い排水といえる。）を取ってみると、表1のとおり、総合排水100：4.9：0.3、スクリーン排水100：4.4：0.2、叩解排水100：5.8：0.4であり、SS成分除去後においても、やはり、リンが少ない。また、生物学的処理法の容易さ

の指標に近いBOD/COD比（BOD/COD_{c,r}比が>0.6で生物易分解性、0.6-0.2で生物難分解性²⁾）を取ってみると、総合排水で0.58、SS成分除去後でも0.6となり難分解性有機物が多いことが示唆され、将来、生物学的処理法を検討する場合注意が必要である。

なお、TOCについてMF0.45、MF0.2及びMF0.1の精密汚過の差をみると、孔径0.45μmと孔径0.2μmの間にあるTOC成分はMF0.45で汚過したTOC全体の3割を占めたが、孔径0.2μmと孔径0.1μmの間にあるTOC成分はなかった。

3・1・3 凝集沈殿

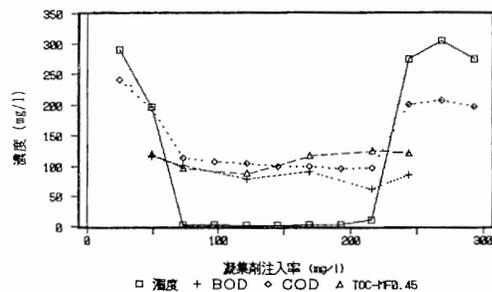


図2 凝集剤最適注入率

図2のとおり、凝集状況を評価する指標としては、濁度とCODが明瞭であったが、BOD、TOCは余り明瞭にならなかった。最適注入率は指標とした項目の除去率が安定的に高い範囲の中でも、注入率のより少ないものを最適とした。パックで120mg/l、硫酸バンドで115mg/lを最適とした。次に、最適凝集pHを検討したところ図3のとおりであった。凝集剤注入率を適正にした場合pH4以上で良好であったが、凝集剤

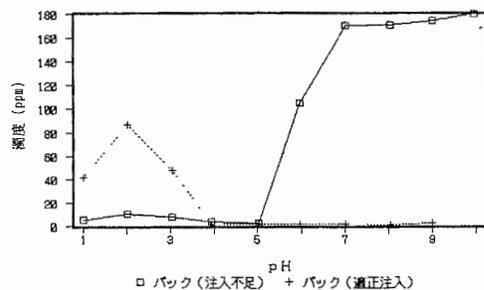
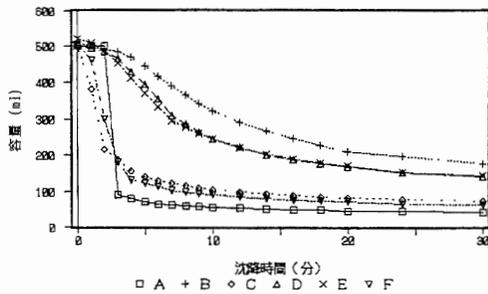


図3 凝集pHの影響



- A : A工場原水
 ○ B : パック120mg/l (適正注入)
 △ C : パック 40mg/l (注入不足)
 × D : パック200mg/l (過剰注入)
 ◇ E : バンド115mg/l (適正注入)
 ▽ F : バンド 30mg/l (注入不足)

図4 凝集沈降曲線

注入率が不足した状態では、pH 5以下では比較的良好であったが6以上では悪く、適正注入率の場合と全くその傾向が逆になった。生成した凝集フロック量により緩衝作用の強弱が現れた結果と思われる。従って、最適pHは5.0と判定した。

凝集沈降曲線は図4のとおりであった。原水の懸濁物質の沈降性は非常に良いため、凝集剤注入率を上げるほど沈降速度は減少するが、当然、上澄水濁度は適正注入率、または、少し過剰気味にしてフロックへの吸着をし易くしたスweepフロッキングの状態にした方が良くなる。沈降曲線の直線部分より求めた沈降速度係数から沈殿池の設計指標となる水面積負荷に換算し、通常使用される20~40 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ と比較すると、パックを使用した場合が6.5、硫酸バンドで10.2と小さかった。フロック径をより大きくする高分子凝集剤の利用や、傾斜板の利用、あるいは、全量汚過、膜分離等も活用する必要がある。

3・1・4 活性炭吸着

3・1・3における硫酸バンド適正注入率の処理水を活性炭注入率0.6%、1%で吸着し、残存TOC、 E_{254} について分析した結果、活性炭注入率が高いため、吸着時間は10分程度ですでに3時間吸着したものと同等であった(図5)。TOCの除去率は40%程度であったが、難分解性有機物と考えられる E_{254} の除去率は90%近かった。

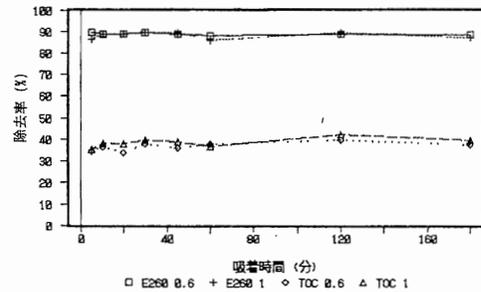


図5 A工場活性炭吸着

3・2 豆腐製造業 B工場

3・2・1 工場概要

大豆を原料とした豆腐、油揚げを製造する工場である。原料大豆中の可溶性タンパク質等を凝固剤(硫酸カルシウム、塩化マグネシウム、グルコノデルタラクトン等)を添加し凝固させたものであり、2次製品として、豆腐を薄く切り油で揚げた油揚げを製造している。製品は主にスーパー等に出荷され、排水量も約250 $\text{m}^3/\text{日}$ と比較的大規模な工場であるが、内容的には小規模事業場と同じ生産工程である。操業のフローシートは次のとおりである。

大豆→浸漬→磨砕→煮沸→汚過→豆乳→凝固→成型→冷却→木綿豆腐

排水浸漬、成型工程等から高濃度汚染排水が、冷却工程から低濃度汚染ではあるが大量の排水が排出される。製造はバッチ的に行われ、時間変動が大きい。試験に供する排水は汚濁負荷の高い時間に採取した。排水は腐敗し易く、処理実験等は速やかに行わないと変質してしまう。

3・2・2 排水分析結果及び汚過

原水及び汚過後の排水分析結果を表2に示す。排水は豆腐特有の乳白色をした少し酸敗しかかった排水である。懸濁物質はそれほど多くなく、強熱減量の値及びBOD/SS比1.75と高いことから分かるように、そのほとんどが有機物質である。pHはほぼ中性であった。生物学的処理法の適用性を見るBOD/COD比は1.35で原料からも分かるように、生物分解性の高い排水である。BOD:N:Pの比は100:4.9:0.6でリンがやや低めである。これは豆乳を豆腐にする段階でニガリ等の凝固剤を添加しているため、リンが結合して沈殿製品に移行しているためである。排水は接触酸化式活性汚泥法で良好に処理されていた。

表2 B工場排水分析結果

項目	単位	原水	-5A	-5C	-MF1.0	-MF0.45	-MF0.2	-MF0.1	-UF5000
濁度	ppm	172	88.5	70.4	51.4	8.7	0.7	0.6	0.5
SS	mg/l	113							
強熱減量	mg/l	104							
pH		7.0							
BOD	mg/l	656	534	495	458	376	265	268	
COD	mg/l	486	436	429	433	422	412	411	
TOC	mg/l		320	300	306	270	272	260	
E ₂₆₀	*1/5		0.425	0.387	0.279	0.201	0.182	0.175	0.159
T-N	mg/l	32	25	25	24	21	15	13.5	
T-P	mg/l	4.2	3.3	3.2	3.2	2.7	2.4	2.2	
BOD/COD		1.35	1.22	1.15	1.06	0.89	0.63	0.65	
BOD:N:P		100:4.9:0.6	100:4.6:0.6	100:5.1:0.6	100:5.3:0.7	100:5.5:0.7	100:5.7:0.9	100:5:0.8	

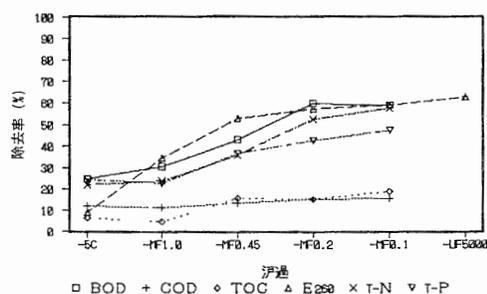


図6 B工場沷過

沷過による除去効果は図6のとおり、項目により似た挙動を示すものが多く、BOD、窒素、リン及びE₂₆₀のグループと、COD、TOCのグループに分かれた。汚濁発生源が単一なことで符号する。濁度、E₂₆₀、COD、TOCはMF0.45で除去率が鈍化するが、BOD、窒素はMF0.2で鈍化してくる。このことから窒素の含まれるタンパク質がBOD源として0.45 μmと0.2 μmの間にあることが予想され、この成分はE₂₆₀吸収が比較的少ないといえる。除去率は濁度がMF0.45で95%、MF0.2で99%以上であるが、他の項目は低く溶解性物質の負荷が大きい。特に、COD、TOCの除去率は低く、MF0.1でそれぞれ15%、19%しかない。BOD、窒素は59%、58%除去でき、リンも47%除去できる。E₂₆₀についてはUF₅₀₀₀による除去率とMF0.1の除去率の差が4%しかなく、従って、この排水は大きな粒径のタンパク質とUF₅₀₀₀を透過する溶解したアミノ酸や糖類等に2極分化していることが窺える。濁度、BOD、窒素、E₂₆₀は大きい方の粒

径別にそれぞれ負荷がある。SSの変換率はBODが高く、CODは低い。

粒径によるBOD/COD比の変化を見ると、CODは粒径が小さくなくても除去されにくいのに対し、BODは良く除去されるため比率が1.35から0.65まで低下し、生物学的処理法の指標としては見かけ上難分解性側にシフトした。BOD:N:Pの比はそれほど変化しないで相対的にリンの比が増加し、バランスは良くなる。溶解性のBODの方が懸濁物質由来のBODより生物処理速度は速い³⁾ので、この意味からも生物処理の前処理として沷過が有効ではないかと期待される。

3・2・3 凝集沈殿

排水のpHは有機酸等の影響で酸性になり易く、凝集剤の注入によってもpHが下がるが、pH調整した場合の最適注入率はパックでは120mg/l、硫酸バンドでは125mg/lであった。pHの適正範囲は6.0-6.5であった。

凝集沈殿曲線はパック、硫酸バンドの最適注入率において差はなく、水面積負荷として約25m²/m²・日となり沈降性は良かった。硫酸バンドの注入率を2倍にして過剰注入した場合、水面積負荷は13m²/m²・日と半減し、逆に汚泥量は増加した。A工場の場合に比べ凝集剤注入率は同程度だが、沈降係数は2倍以上大きく沈降し易い排水である。

3・2・4 活性炭吸着

パック処理水に粉末活性炭を10、30、100、300、1000及び3000mg/lとなるように注入し、1時間吸着

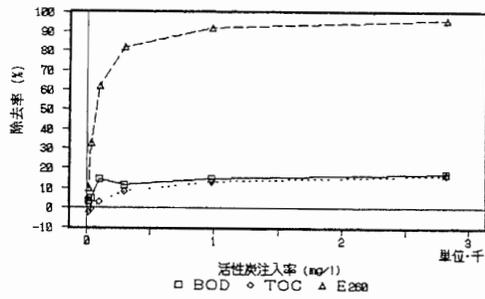


図7 B工場活性炭吸着

させ残存BOD, TOC, E_{260} 等について分析した。活性炭による除去率を図7に示す。活性炭注入率が300 mg/lで活性炭による吸着が飽和している。活性炭注入率が300 mg/lにおける除去率はBOD, TOCは低く、16, 17%で、 E_{260} は高く、96%に達する。フロイントリッヒ型吸着等温線を描いてみると図8-1, 図8-2のとおりである。 E_{260} については良く直線に回帰しているが、TOCについては実排水によく現れる途中で屈曲した直線となった。活性炭の吸着は吸着成分によりその吸着能に差があり、その傾向が大きく変わる。従って、処理法として選択する場合、吸着

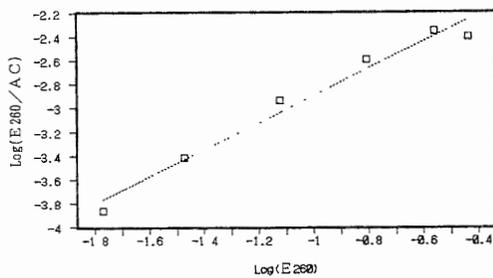


図8-1 B工場吸着等温線 (E260)

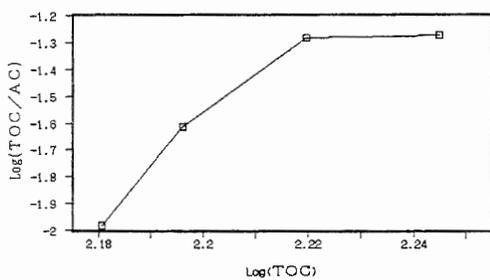


図8-2 B工場吸着等温線 (TOC)

目的成分は限定される。

3・2・5 各処理状況

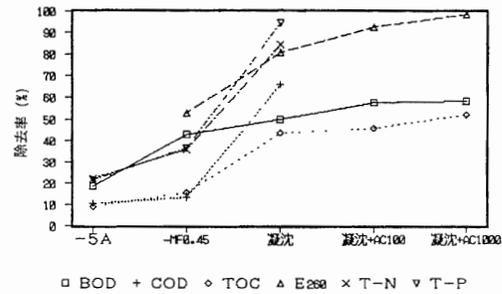


図9 B工場処理状況

各処理法による状況を示すのが図9である。濁度については5Aで48%, MF0.45で95%除去でき、凝集沈殿と同程度である。BODについては、5Aでは18%だがMF0.45では43%まで除去できる。凝集沈殿での除去率は50%に留まった。活性炭吸着を加えても58%で、活性炭吸着分としては8%にしかならなかった。TOCも全般に除去率が低かった。COD, 窒素, リンはMF0.45の河過に対し凝集沈殿で良く除去できた。 E_{260} は各段階、各処理法で除去でき、凝集沈殿と活性炭の組み合わせで98%まで除去できた。BOD/COD比は、原水で1.35であったが、MF0.45河過で0.89となり、逆に凝集沈殿では1.98となり、除去方法により除去できる有機物が違うことが分かった。

3・3 段ボール製造業 C工業

3・3・1 工場概要

県公害防止条例に基づき規制されている工場(指定排水施設)であり、コルゲートマシンが3台稼働しており、作業終了後に濃厚な洗浄排水が排出される。汚濁排水は常時排出されるのではなく、最終的に一度に排出されるので量的には少ないが汚染度は非常に高い。これを貯留槽に貯留し、翌日硫酸でpH調整後、無機凝集剤及び高分子凝集剤で凝集加圧浮上分離し排水している。接着剤は原料としてコーデンブンを主体とし、樹脂系接着剤、苛性ソーダ、ほう砂等を使用し混合熟成させて調整する。排水系統は次のようであり、排水は非常に懸濁物質が多く、腐敗しやすい。

製糊装置洗浄水 → 糊洗浄水 → 貯留槽 → 加圧浮上装置 → 排水

表3 C工場排水分析結果

項目	単位	原水	-5A	-5C	-MF1.0	-MF0.8	-MF0.45	-MF0.2	-MF0.1
SS	mg/l	3760							
強熱減量	mg/l	3730							
pH		10.0							
BOD	mg/l	2500	1230	1010	705	722	772	760	710
COD	mg/l	3460	1070	1070	1090	1060	1000	1030	952
TOC	mg/l		680	653	659	644	652	636	674
E ₂₆₀	abs.		0.598	0.505	0.45	0.408	0.367	0.259	0.147
T-N	mg/l	7.8	4.1	3.3	3.5		3.2	2.5	2.6
T-P	mg/l	1.93	1.60	1.57	1.43		1.39	1.33	1.30
BOD/COD		0.72	1.15	0.94	0.65	0.68	0.77	0.74	0.75
BOD・N・P		100:0.3:0.1	100:0.3:0.1	100:0.3:0.2	100:0.5:0.2		100:0.4:0.2	100:0.3:0.2	100:0.4:0.2

3・3・2 排水分析結果及び汙過

原水及び汙過後の排水分析結果を表3に示す。段ボールを高速で接着するため、コンデンパンを主体として調整される糊は、適度な流動性と接着強度及び乾燥性が要求される。従って、排水においても懸濁物質が非常に多く、その成分もデンパンが主体であるため強熱減量/SS比はほとんど1である。SSのBODへの変換率は0.48、CODへの変換率は0.63である。生物処理の適用性を見るBOD/COD比は原水で0.72であるが、SS成分除去後のMF1汙過水では0.65、SS成分では0.76で、SS成分の方がBOD/COD比が高く、生物処理され易いといえる。ただし、5A、5C汙過ではそれが逆転しているが、これは5A汙過においてCOD成分はほぼ完全に分離されるが、BOD成分は5A、5C、MF1汙過までの粒径のものがそれぞれ存在することを示す。BOD:N:P比はいずれも窒素及びリンの栄養塩が非常に少ない。pHは苛性ソーダ、ほう砂が使用されているため高く10である。汙過による効果は大きく、BODはMF1以下で、CODは5A以下からほぼ一定の除去率70%が得られた（注：TOCは分析計の関係上濁質を嫌い5A汙過水から分析したため、5A汙過水を基に除去率を算出している。この工場の排水は5Aでの除去率が高く、従って、それ以下の粒径の除去率が見かけ上極端に低く表示される）。排水中の汚染粒子は大きく、比較的粒径が揃っているといえる。E₂₆₀は他の項目と違い、粒径が小さくなるにつれて除去率が向上していったが、MF0.1以下では除去率75%となりほぼ一定となった。限外汙過膜UF_{30万}、UF_{10万}、UF_{3万}と汙過したが差はなかった。E₂₆₀のある物質は、原水の吸光度が低

いことから絶対量は少なく、粒径分布が5C-MF0.1までそれぞれに存在している。従って、この工場のE₂₆₀の高い物質は汙過で除去されてもBOD、CODにはそれほど影響しないので、E₂₆₀は高いが濃度は低い。原水は懸濁物質がケーキ汙過のケーキの役を果たして濁質の濃度が高くて良く汙過できた。

3・3・3 凝集沈殿

排水は懸濁物質が多く、凝集剤の注入率を高くしないと良く凝集しなかった。凝集pHを低くした方が処理結果は良好であった。最適凝集条件はパック240mg/l、pH5.2であった。凝集沈降曲線から得た水面積負荷は20m²/m²・日で、沈降し易し。

3・3・4 活性炭吸着

図10のとおり、COD、TOCは注入率3000mg/lまで注入率に比例して直線的に除去でき、ヘンリー型の吸着式に近似している。それ以上注入しても余り除去できず、ほぼ飽和に達している。E₂₆₀については活

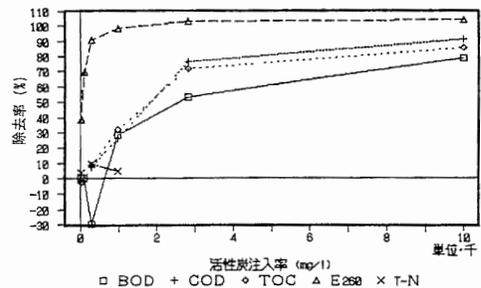


図10 C工場活性炭吸着

性炭注入率に対し指数関数的に除去されており、注入率1000mg/ℓで完全に除去できた。フロイントリッヒ型の吸着式に近似している。窒素はほとんど除去できなかった。BOD, COD, TOCは大量の活性炭を注入することにより除去率をそれぞれ、80, 91, 86%まで上げることができたが、残存汚染物質濃度はまだ非常に高い。BOD, COD, TOCについては注入率が小さい時は吸着効果が除去率として現れず、従って、吸着等温式にもうまく表現されないが、300mg/ℓを超える頃から吸着等温式に近似してくる。

3・3・5 各処理状況

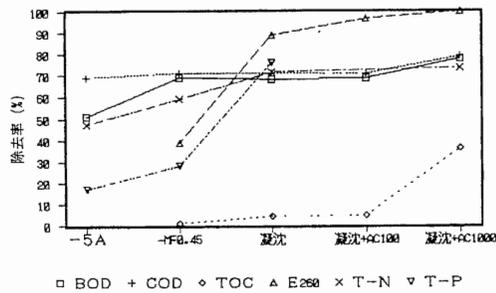


図11 C工場処理状況

各処理状況を図11に示す。汙過の効果が大きく、BOD, COD, TOC, 窒素は凝集沈殿と同程度の効果が得られる。E₂₆₀, リンは溶解成分のためか、汙過の効果は凝集沈殿に比べ低い。活性炭吸着は注入率が低い場合はE₂₆₀を除き効果が小さいが、高注入率にするほど効果が現れ80%以上の除去率が得られた。E₂₆₀は1000mg/ℓで98%除去できた。

3・4 染色整理業 D工場

3・4・1 工場概要

D工場は綱立生地、糸成型品の染色整理加工を5:1の比率で行っているが、多品種少量生産であり、様々な原材料、染色方法が組合わさることにより、排水においても大きな変動がある。また、需要の変動も季節、景気、流行等により大きく変化し、製造工程の多様性を増幅している。染色加工工程は主に、精練、漂白等の前処理工程と、染色工程、整理仕上げ工程の3工程に大別されるが、本工場の排水は染色工程排水が主たる汚染源であった時間帯に採取した。

染料としては塩基性染料、反応性染料が多いが、分散性染料、酸性染料も一部使用される。代表的なフローシートは次のとおりであり、排水は多数の染色機より間欠的に排出される。

原反→精練漂白→浸染→~~...~~仕上げ

⊙: 排水

排水量が多いこと等から排水処理は凝集加圧浮上処理方式を採用している。排水はハイドロサルファイトにより還元脱色後凝集剤として塩化アルミニウム溶液及び高分子凝集剤でフロックを作り、加圧浮上分離されているが、原水の着色が完全には除去されていない。

3・4・2 排水分析結果及び経過

原水及び汙過後の排水分析結果を表4に示す。濁度は低く、SS成分も少なく、BOD等も低い排水である。SS成分は微細繊維、及び付着物等と考えられ、強熱減量との比は1であり、すべて有機物である。また、SSのBOD, CODへの変換率は0.04, 0.16であった。排水のpHは精練に苛性ソーダ、洗剤等を使用す

表4 D工場排水分析結果

項目	単位	原水	-5A	-5C	-MFO.0	-MFO.45	-MFO.2	-MFO.1
濁度	ppm	28	29	22	20	8.7	9.4	
SS	mg/l	182						
強熱減量	mg/l	188						
pH		10.7						
BOD	mg/l	123	147	122	116	116	130	138
COD	mg/l	187	169	153	158	154	148	152
TOC	mg/l		68	59	92	110	102	91
E ₂₆₀	#1/2		0.562	0.460	0.449	0.330	0.336	0.368
T-N	mg/l	18.5	15.9	14.9	16.3	16.3	15.8	15.1
T-P	mg/l	3.73	2.22	1.66	1.90	1.68	1.46	1.41
BOD/COD			0.87	0.80	0.73	0.75	0.88	0.91
BOD:N:P			100:11:1.5	100:12:1.4	100:14:1.6	100:14:1.4	100:12:1.1	100:11:1.0

るため高アルカリ性を示す。BOD/COD比は原水で0.66, SS成分除去後はSS成分が上記のごとく, BOD, CODへの寄与率が違うため上昇し, 0.73となり, 生物分解性が少し向上する。しかし, 全般的にはやや生物分解性の悪い排水である。BOD:N:P比からは窒素の多い排水であることが分かる。

汙過による効果は除去率が濁度を除いて全項目とも悪く, 比較的良かったのがリン, E_{260} で, リンは5Cで56%, E_{260} はMF0.45で41%であった。また, 孔径による差も小さく, リン, E_{260} を除いてほとんどが溶解した汚濁成分であった。濁度は粒径間に差があり階段状に除去される。

3・4・3 凝集沈殿

原水濁度は少ないが, 凝集剤の注入率を高くした方が良い処理結果を得た。パック216mg/lを最適注入率とした。凝集pHは低い方が良く, また, 適正幅は比較的狭くpH5を最適とした。しかし, 注入率が過剰のためか, 汚泥沈降速度は非常に遅く, 水面積負荷で3 m²/m²・日しか得られなかった。沈殿処理より加圧浮上処理, 膜分離が得策となる結果であった。濁度, リンは94%以上除去できるが, BODは50%, CODは60%, E_{260} は82%の除去率であった。

3・4・4 活性炭吸着

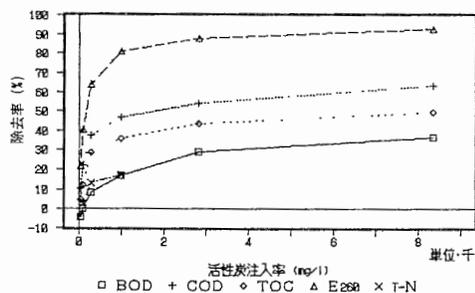


図12 D工場活性炭吸着

図12のとおり, BOD, 窒素は活性炭吸着による除去率が低く, TOC, COD, E_{260} はその順に除去率が上昇する。注入率980mg/l以上では同様の傾向を示し, また, 除去率も980mg/lで鈍化している。BODとCODの活性炭吸着を比較すると, 最終的除去率はBOD37%, COD63%と差がある。また, BOD/COD比を比較してみると, 注入しない時は1.00であるが最

終的には1.73となり, 相対的にCOD成分がより活性炭に吸着除去されているのが分る。 E_{260} の高い物質は難生物分解性の物質が多いが, 活性炭には非常に吸着し易い成分である。一般に染色排水はBODと比べCOD成分が多く, 生物学的処理のしづらい成分の多い排水であるが, 逆に, 活性炭吸着のし易い成分が多い排水であることが分かる。

各項目のフロイントリヒ型吸着等温線を描くと, 各項目とも良く回帰直線に乗っている。TOCは注入率300mg/lで屈曲が顕著であった。BOD, CODの回帰係数は約5, E_{260} は1.6であった。

3・4・5 各処理状況

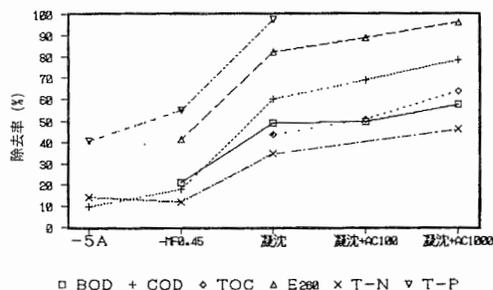


図13 D工場処理状況

各処理状況は図13のとおりである。各項目における除去率に差があるが, 除去率の変動傾向は同じため, グラフ上で平行となっている。汙過に対し凝集沈殿の効果が比較的大きかった。 E_{260} は82%まで除去できた。リンは汙過で55%除去でき, 懸濁物質由来のものが半分を占めるが, 窒素は低くほとんどが溶解性の硝酸イオンとみられる。

また, 各処理水について紫外・可視分光光度計で得た吸収スペクトルをみると, 特異的な波長での吸収がなく, 染色による影響の少なかった排水であるのが確認できた。

3・5 染色整理業 E工場

3・5・1 工場概要

E工場は前出のD工場の糸成型品を除いた, メリヤス生地を加工する同様な作業工程を持った工場である。採取した排水は繰業開始間もない時間帯のもので, 精練漂白工程の排水が大部分を占める排水である。従って, 排水の着色度合いは小さかった。薬品と

して、精練漂白には苛性ソーダ、洗剤及び過酸化水素等を使用し、染料は反応性染料を主体として使用する。染料は濃色に仕上げる場合、原単位として40g/(原反)kg、淡色に仕上げる場合、0.5g/(原反)kg程度使用する。一部硫化染料も使用している。リンの削減のため、リン酸灰からソーダ灰に転換している。

排水処理には脱色剤と塩化アルミニウム溶液及び高分子凝集剤を使用し、D工場と同様の凝集加圧浮上方式を採用している。

3・5・2 排水分析結果及びろ過

原水及びろ過後の排水分析結果を表5に示す。原水は温排水で、染料の濃緑茶色が強く、SSは非常に少ない排水である。色が濃いため濁度は測定できなかった。E₂₆₀は5倍に希釈して測定した。BOD/COD比は0.69でBOD分は少なかった。BOD:N:P比は栄養塩の窒素、リンともやや高めであった。

溶解した染料等が汚濁成分であり、ろ過の効果は測定項目について非常に小さかった。最大で10%程度の除去率であった。

3・5・3 凝集沈殿

凝集剤注入率、凝集pHを特定するためのジャーテスト結果を評価するために、通常は簡便な目視または濁度を用いるが、この排水はそれができないためE₂₆₀、TOCを用いて評価した。最適注入条件はバック216mg/l、pH5.0である。凝集沈殿による除去率はろ過よりは高いが、リンを除いて30%前後までである。凝集汚泥の沈降速度は比較的大きく、D工場より

も大きく、水面積負荷13m³/m²・日であった。

3・5・4 活性炭吸着

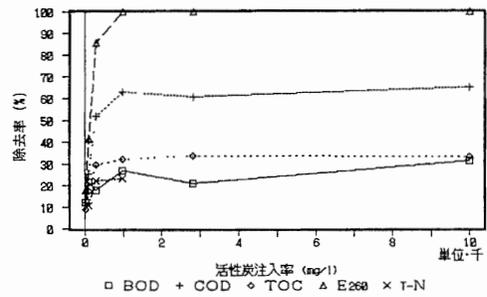


図14 E工場活性炭吸着

活性炭吸着で顕著なのは図14のとおり、E₂₆₀成分の除去が完全に行われていることである。目視においても、980mg/lの注入で完全に脱色された。BODの除去率は注入率の増加に伴い若干上昇するが30%程度までである。それに対し、CODは注入率980mg/lまで良く除去されていき、それを超えると鈍化する。TOCも除去率はCODより小さいが傾向は同じである。これは、注入率980mg/lまではE₂₆₀が除去されることがそのままCOD、TOCの除去に匹敵していることになり、染料が除去されていることを意味する。そして、その染料のBODは低く、COD、TOCは高いことが分かる。また、排水そのものの汚濁成分組成が比較的単一であったともいえる。窒素の除去率増加も染料中の窒素分の吸着によるものと考えられる。

表5 E工場排水分析結果

項目	単位	原水	-5A	-5C	-MF1.0	-MF0.45	-MF0.2	-MF0.1
濁度	ppm	測定不能						
SS	mg/l	6						
強熱減量	mg/l	3						
pH		8.3						
BOD	mg/l	76.8	106	97.8	91.4	92.8	94	97.5
COD	mg/l	158	153	147	147	142	142	145
TOC	mg/l	151	148	145	163	164	161	156
E260	*1/5	0.620	0.620	0.557	0.591	0.583	0.583	0.547
T-N	mg/l	11.0	11.0	10.6	10.7	10.6	10.6	10.6
T-P	mg/l	3.28	3.29	3.30	3.22	3.20	3.22	3.23
BOD/COD			0.69	0.67	0.62	0.65	0.66	0.67
BOD:N:P			100:10:3.1	100:11:3.4	100:12:3.5	100:11:3.4	100:11:3.4	100:11:3.3

*5倍に希釈して吸光度測定

吸着等温線からも E_{260} の等温線の傾きが0.36と小さいことから、吸着し易い成分といえる。COD、TOCの等温線は注入率 $980\text{mg}/\ell$ を境に屈曲しており、効果的な活性炭注入がこの程度の注入率までであることを示している。

3・5・5 各処理状況

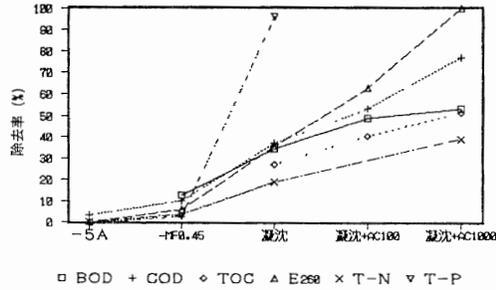


図15 E工場処理状況

図15のとおり沝過による処理は効果がなく、凝集沈殿の効果も余りないが、活性炭吸着の効果が際だつ排水である。しかし、BODの観点からは活性炭にも限界があり、難吸着物質でBODが高いものが多いことが窺える。紫外・可視部における吸収スペクトルから処理状況を見ると、波長260、300、400、480及び600nmそれぞれに吸収を持つ排水が、排水処理を受けるごとに全体的に吸収が減少していくのが分かった。

4 まとめ

代表的な物理化学的排水処理法を、5社の工場排水に適用したところ次のことが分かった。

- (1) 沝過において、沝紙、マイクロフィルター、ウルトラフィルター等を使用し、汚濁成分のサイズによる分級を行った。工場排水の性状によっては非常に効果的なC、A工場がある一方で、E工場のように全く無力な場合もあった。排水は比較的巨大な粒径の汚濁成分と、溶解した成分とに2極分化した場合が多く、沝過流量を勘案し、目詰まりのしない方法で、また、できるだけ大孔径のもので前処理として利用するのが有利と思われる。特に、後段に生物学的処理法を考える場合、生物学的処理法は溶解性有機物の処理速度が懸濁成分の処理速度より速いので有効である。沝過によりBODとして約12-70%の

除去率を得た。

- (2) 凝集沈殿処理は安定的に汚濁物質を捕捉し、固液分離することができる。しかし、工場排水の性状によっては除去率に高低がでる。特に溶解性有機物についてはスィープフロクキュレーション等により一部吸着する場合もあるが限界があり、後段に生物学的処理法等の処理を加えなくてはならない場合が多い。BODとして約34-70%除去できた。リンは凝集剤と反応し除去されるため、後段に生物学的処理法を行う場合、栄養塩の管理に注意が必要である。
- (3) 活性炭吸着は染色排水等の、一般的には難分解性有機物の除去には有効で、 E_{260} 、COD、TOCの除去率を向上させる。特に、 E_{260} 成分については非常に有効である。しかし、BODとして評価されるような多糖類、有機酸等については難吸着性のため、注入率を増加させても除去率が上がらず、限界を迎えてしまう場合が多い。活性炭は多くの化学物質を吸着するが、物質による吸着能力の差が大きく選択的である(表6)。工場等から発生する除去すべき物質の吸着能力を確認するのが重要である。
- (4) 試験した物理化学処理法においては、いずれの工場の排水も上乘せ基準条例を満足するBOD $20\text{mg}/\ell$ 以下にならなかった。物質化学的処理法の限界と考えられる。

表6 活性炭の吸着能力

項目	単位	B工場	C工場	D工場	E工場
BOD/AC	g/g	1.069	0.256	0.022	0.285
COD/AC	g/g		0.336	0.261	0.402
TOC/AC	g/g	0.053	0.232	0.094	0.357
E_{260} /AC	$10^{-3}\text{abs.}/\text{g}$	0.445	0.087	0.112	1.187

AC:活性炭

文 献

- 1) 公害防止の技術と法規編集委員会編：公害防止の技術と法規〔水質編〕(4訂), pp143, 1992.
- 2) 高橋信行ら：有機化合物のオゾン酸化による生物分解性の変化, 水処理技術, 33, 325-335, 1992.
- 3) 矢尾ら：無薬注加圧浮上と沝過の組合わせシステムを前処理とした新下水処理, 水質汚濁研究, 14, 691-699, 1991.