

1. 緒 言

活性汚泥法は下水、有機性工業廃水の処理法として最も広く使用されている。しかし活性汚泥装置の運転管理には熟練した運転員を必要とした水質・水量の変動を受け易い欠点がある。さらに工業廃水の処理に際して廃水中に含まれる有機物質のため活性汚泥がいわゆるバルキング状態となるものがある。このような廃水では曝気槽負荷を高くすることが困難である。

活性汚泥法の運転で最も重要な点は良好な処理水をうるため活性汚泥濃度を調節し汚泥負荷を適当値に保つことで、このためには常に細心の注意が必要である。また活性汚泥がバルキングを起した場合は沈殿池での汚泥分離が不可能となつて活性汚泥が処理水と共に流出するだけでなく、曝気槽内の活性汚泥濃度を所要の濃度に保持できなくなり活性汚泥装置の処理能力は大巾に低下し処理水質も悪化する。

我々は活性汚泥法において、適当な方法で常に一定量の活性汚泥を曝気槽内に保持できれば活性汚泥の長所が生かされかつ維持管理も非常に容易になり、バルキングに際しても曝気槽負荷を設計値に保つことができると考えた。

我々は小規模下水処理装置として開発したFAS法をバルキングを起しやすい工場廃水の処理に使用した。その結果FAS法曝気槽内に活性汚泥を固定しているという特性がバルキングに対する装置面からの解決法となりうることを知つた。

2. FAS法装置の概要

FAS法 (Fixed Activated Sludge Process) は曝気槽内に活性汚泥の支持体としてプラスチックネットを挿入し、支持体上に活性汚泥を固定する方法である。したがつてある量の活性汚泥は常時曝気槽内に保持されているため、汚泥の返送は通常不要でありかつ運転管理は非常に簡単になる。

図、1は実験装置容量3 m³における支持体と散気管の配置を示したもの、図、2は支持体の挿入状態を示したものである。図、3は下水処理実験において支持体に付着した汚泥の状態である。この写真は水中より取り出して撮影したものであり活性汚泥の一部が脱落しているが、水中において支持体上の活性汚泥は板状になつている。

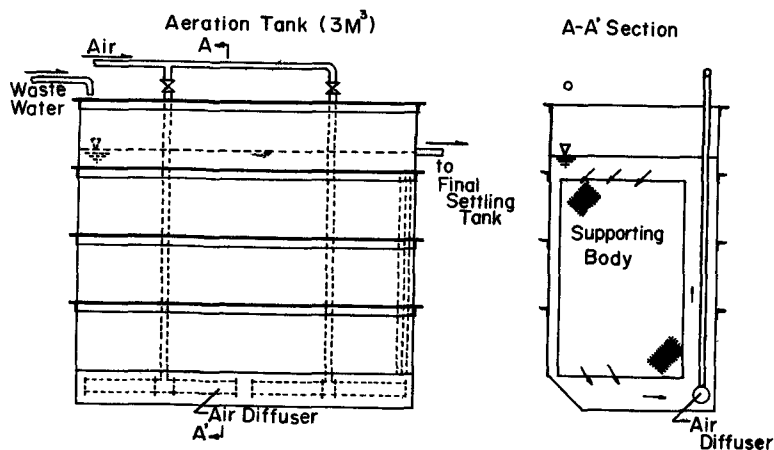


図 - 1 FAS法実験用曝気槽

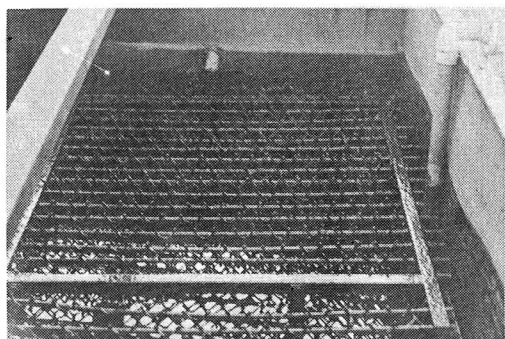


図-2 支持体の挿入状態

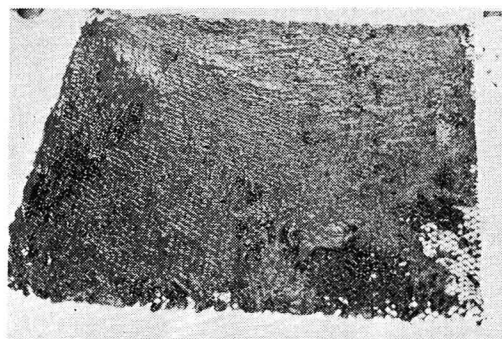


図-3 支持体上の活性汚泥

曝気槽内に流入した廃水は気泡の上昇によつて引き起される水流によつて活性汚泥との接触をくり返しつつ浄化を受ける。汚泥の上層部は水流によつて剝離し最終沈殿池で処理水と分離され、余剰汚泥として処分される。

曝気槽内に挿入する支持体自身の体積は非常に小さく、支持体の挿入による曝気槽容量の減小は4%程度と見られる。実装置における支持体の挿入量は通常 $8 \sim 10 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (負荷の計算はネットの両面で行なう)であり、支持体の間隔が小さくなり過ぎると液の流動が悪化し、さらには部分的にネット間が閉塞状態になる。

FAS法においては前述したごとく曝気槽内の活性汚泥が固定された状態にあるため活性汚泥の沈降性とは無関係に安定した処理が行なえる。

3. 処理例-1 (オクタノールプラント廃水)

廃水の分析値を表-1に示す。廃水は先物処理に先立つてPHの調整、適当な濃度への希釈、栄養剤の調整などを行なつた。

実験に使用した活性汚泥は水道水で希釈し廃水により充分馴養したものを使用した。栄養剤としては硫酸アンモニウムおよび第1リン酸カリウムをBOD:N:P=100:5:1の割合で添加し、PHを7~8.5に調整した。

表-1 オクタノールプラント廃水分析値

PH	13.1
BOD	11,850 mg/l
COD (K ₂ Cr ₂ O ₇ 法)	17,250 mg/l
COD (KMnO ₄ 法)	2,280 mg/l
油分	88 mg/l

3-1 活性汚泥法による処理

活性汚泥処理実験に使用した曝気槽の概略を図-4に示す。廃水を水道水により30倍に希釈し、流入水のBODを約400 mg/l とし、曝気槽の滞留時間として連続処理実験を行なつた。処理結果を図-5に示すごとくBODの除去は良かったが活性汚泥の沈降性が次第に悪化した。SVIは35日間の運転で90から190まで変化しこれ以後はバルキングのため實際上運転の継続が困難になつた。

活性汚泥の沈降性を改善する目的で窒素リンの他カルシウム、マグネシウム、鉄などのを添加した結果SVIは100近い値に保つことができたが、曝気槽負荷を $1.1 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 以上になるとバルキングを起こす傾向が見られた。

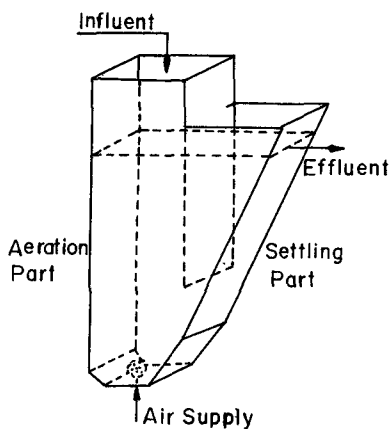


図-4 活性汚泥処理実験装置

3-2 FAS法による処理

FAS法による処理結果を図-6に示す。流入水BOD400ppmにおいては曝気槽負荷 $1.1\text{ kg/m}^2\cdot\text{day}$ 、滞留時間9.5hrで何らの問題もなく運転ができた。この場合のBOD除去率は90%以上であつた。さらに滞留時間を短縮してもFAS法の運転に支障はなかつたが処理水が白濁し、CODが高くなる傾向が見られた。処理水白濁の原因はフロックを形成しない微生物によるものであつた。

流入水BODを1,000ppm以上とし曝気槽負荷を $3.0\text{ kg/m}^2\cdot\text{day}$ としたときの結果を図-7に示す。BOD除去率は70%程度で処理水は白濁していたが曝気槽の運転に支障はなかつた。これはFAS法が部分処理に使用できることを示すものと考ええる。しかし通常はBOD除去率および外観をより向上させる必要があるので、FAS法処理水をさらに活性汚泥法により処理する2段処理について実験を行なつた。

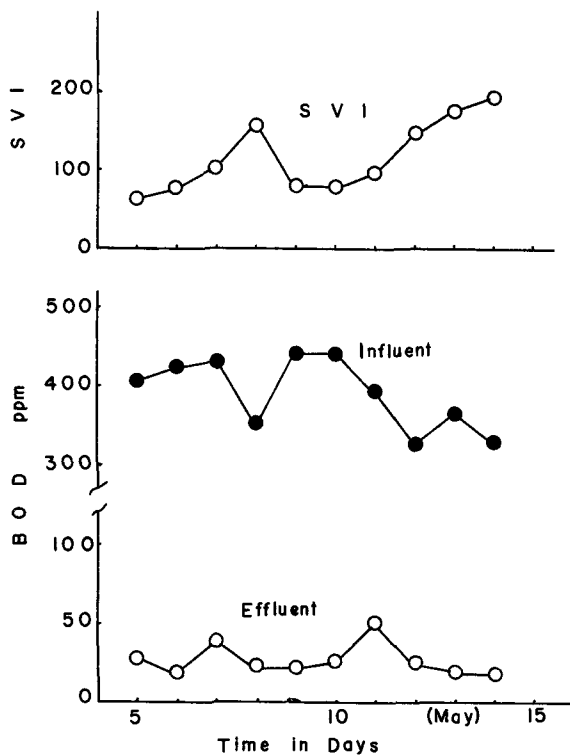


図-5 オクタノールプラント廃水の活性汚泥法

による処理結果

(D.T. / 2hr. 曝気槽負荷 av. $0.8\text{ kg/m}^2\cdot\text{day}$)

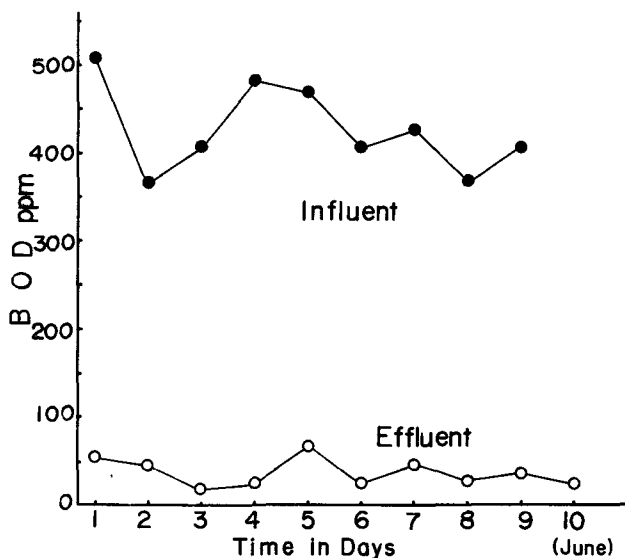


図-6 オクタールプラント廃水のFAS法

による処理結果

(D.T. 9.5hr. 曝気槽負荷 av. $1.1\text{ kg/m}^2\cdot\text{day}$)

3-3 2 段処理

2 段処理のフローシートを図-8 に示す。

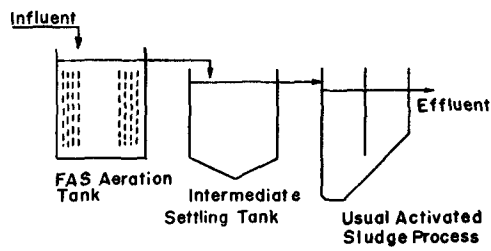


図-8 2 段処理フローシート

F A S 法の処理水は中間沈殿池を経たのち粘性汚泥処理槽へ流入させ、残留する B O D および白濁を除去するようにした。実験結果を表-2 に示す。

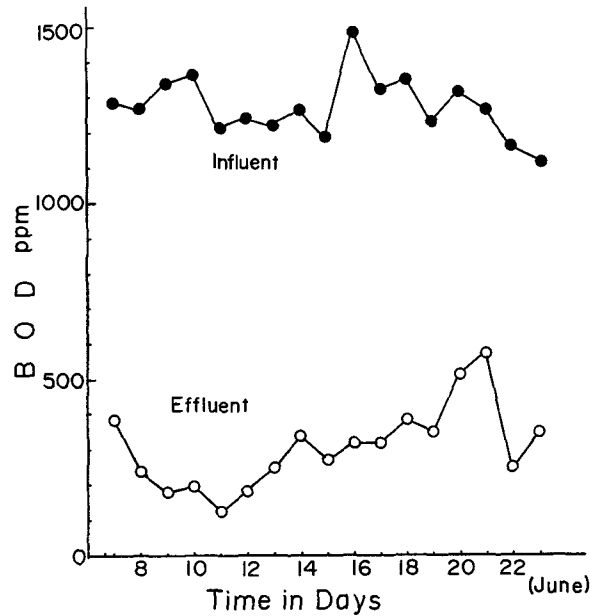


図-7 オクタノールプラント廃水の F A S 法

による処理結果

(D.T. 10hr. 曝気槽負荷 2.4kg/m³・day)

表-3 オクタノールプラント廃水の各種処理方法による処理結果

Process	Influent		Effluent		Removal		Operational Conditions observed in Aeration Tank			
	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD	D.T.	Loading	MLSS	SVI
	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	hrs.	kg/m ³ day	ppm	
Usual Activated Sludge Process (N and P added)	340	440	10	87	97	80	12	0.7	2,870	172
Usual Activated Sludge Process (N,P,Mg,Ca,Fe added)	340	440	8	87	98	80	8.0	1.0	2,500	96
FAS Process	430	544	16	99	96	82	13	0.8	-	-
	430	544	26	115	94	79	9.5	1.1	-	-
Two Stage Treatment Primary, FAS Process	1,260	1,420	19	149	99	90	24	1.3	-	-
Secondary, Activated Sludge	(384)	(504)	384	504	70	65	10	3.0	-	-
			19	149	99	90	14	0.7*	4,250	174

* Loading was calculated from 1st stage (FAS) effluent

表-2に示すごとく2段処理は流入水BODが高いにもかかわらず処理効率は最も良く、かつFAS法あるいは活性汚泥法単独より、より高い曝気槽負荷をとることが可能であり処理水の外観も良かった。

後段の活性汚泥槽は比較的低負荷で運転できるため管理は容易であるが、汚泥のSVIは初めの予想になくて高く、約200であつた。しかしこの値は2ヶ月にわたる実験の期間中変化がなく活性汚泥法単独の場合に見られた極端な沈降性の悪化は観察されなかつた。処理水BODは20~35ppmであつた。

このように2段処理を行なうことにより全体としての曝気槽負荷を高くとれるばかりでなく、運転管理も容易にすることができた。実際の処理装置では水質変化がかなりあると考えられるが、前段のFAS法が負荷変動をかなり平均化するため、単独処理より処理水質も安定するものとする。

4 処理例-2 (イソブタノール、オクタノールプラント廃水)

処理例-2の実験に使用した廃水の分析値を 表-3 イソブタノール、オクタノールプラント廃水分析値 表-3に示す。

廃水は非常にBODが高いため水道水で50倍に希釈し、BODを約1,000ppmとした後処理実験を行なつた。栄養剤の添加量は処理例-1の場合と同様である。

4-1 活性汚泥による処理

活性汚泥法による処理結果を図-9に示す。本実験に使用した曝気槽は図-4に示したものである。活性汚泥は馴養中からパルキング状態を示し、図に示した期間内のSVIは400にも達している。このため曝気槽内の活性汚泥濃度を高くすることができず活性汚泥法による処理ではBOD負荷1.7kg/m³・day程度では運転不可能であるとの結論を下した。

4-2 2段処理

処理例-1において2段処理が優れた結果をえられたため本廃水に対しても同様の実験を試みた。しかしながらこの場合、図-8のフローシートにおける中間沈殿池を省略した形式で実験を行なつた。処理結果は図-10に示すごとくFAS法のみ処理でも非常に

PH	6.4
BOD	51,800ppm
COD (KMnO ₄)	10,300ppm
油 分	59.4ppm

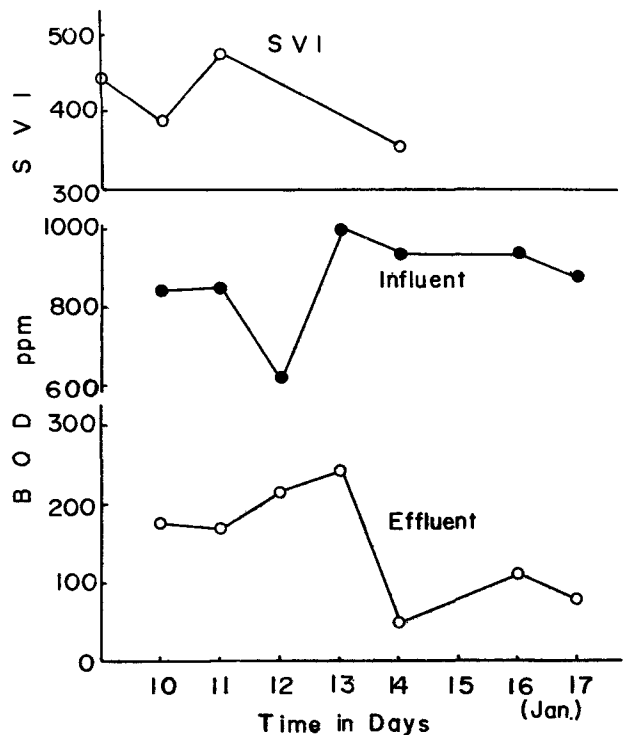


図-9 イソブタノール、オクタノールプラント

廃水の活性汚泥処理結果

(D.T. 12.5hr. 曝気槽負荷 av. 1.7kg/m³・day)

BODの低い処理水がえられた。この処理実験に使用した廃水の場合、活性汚泥の粘性が大きく、このためFAS法で支持体上に固定された活性汚泥が過度に厚くなり、むしろ積極的に剥離させる必要があつた。後段の活性汚泥処理はSVIが約200と単独処理の場合は約半分となつた。これは汚泥に対する負荷が低くなつたことと、FAS法によりバルキングの原因となる有機物が大部分分解されたためと思われる。

5 処理例-3 (清涼飲料水工場廃水)

表-4に代表的分析値を示した廃水の処理実験を行なつた。

表-4 清涼飲料水工場廃水分析値	
PH	9.5
BOD	94.5 ppm
COD (KMnO ₄ 法)	98.8 ppm
SS	2.5 ppm
Total-N	3.5 ppm
Total-P	0.3 ppm

5-1 活性汚泥法による処理

図-4に示す装置を用いた活性汚泥法により処理実験を行なつた。廃水は工場の操業時間8〜10時間のみ排出される。このため原水の流入は操業時間内とし夜間は空曝気とした。処理結果を図-11に示す。図-11にも示されるごとく曝気槽滞留時間1時間とした場合運転開始約2週間後に活性汚泥がバルキング状態となつた。この場合塩化第2鉄あるいはカチオン性高分子凝集剤を添加することにより一時的に活性汚泥の流出を防ぐことが可能であつたが、常にこのような薬品を添加することは實際上困難と思われる。また同時に滞留時間を2時間としたものでは3週間後にバルキング状態となつた。バルキング状態の活性汚泥には大量の糸状細菌 Sphaerotilus が認められた。

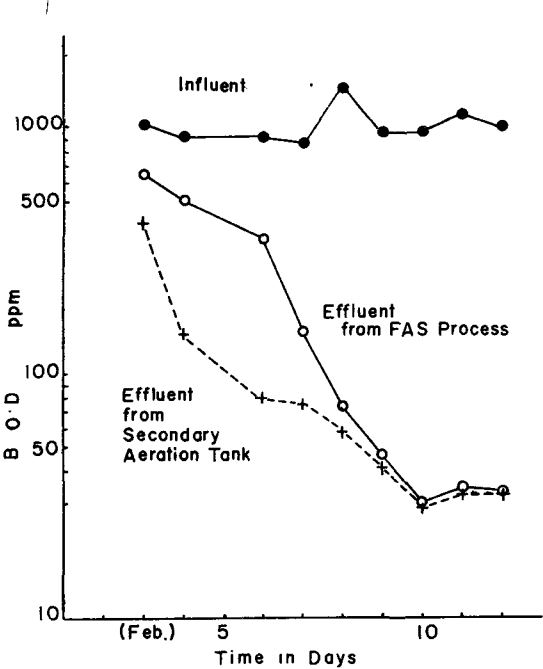


図-10 イソブタノール、オクタノールプラント

廃水の2段処理結果
 (FAS.D.T. 9.5hr 曝気槽負荷 24kg/m²・day)
 活性汚泥 4.0

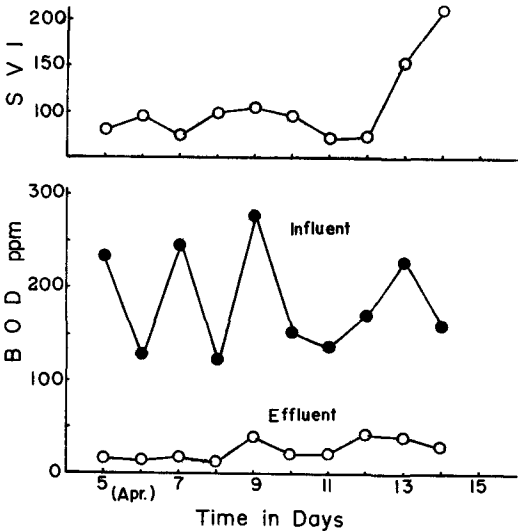


図-11 清涼飲料水工場廃水の

活性汚泥法による処理結果

5-2 FAS法による処理

図-1に示した装置を使用して実験を行なった。曝気槽への廃水の流入時間その他は活性汚泥法による処理実験の場合と同じにした。処理結果を図-2に示す。

廃水のPHは調整することなく処理を行なったため、流入水のPHが高い場合処理水が多少悪化したが、通常は処理水BOD20^{ppm}以下であり全く問題なく運転ができた。この処理実験の場合、支持体上の活性汚泥は大部分がSphaerotilusであつたがFAS法では前述したごとく運転に全く支障はかつた。

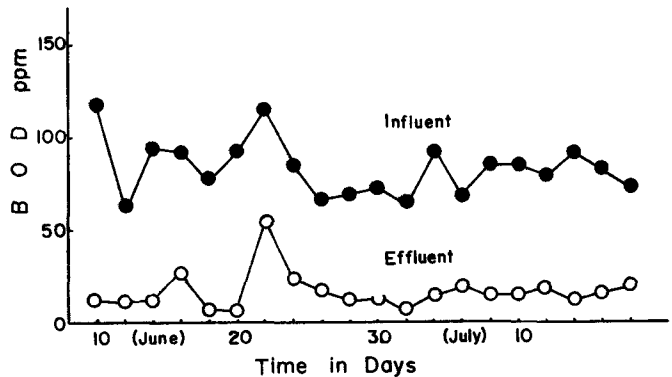


図-2 清涼飲料水工場廃水のFAS法による処理結果

6. 考 察

活性汚泥処理に際しバルキングを起しやすい工場廃水にFAS法を使用した結果、FAS法がバルキングの障害を装置面から解決する方法の一つであることを確認した。

バルキングの原因は水質に由来するものと操作条件に由来するものとに大別されるが、この両者が相互に関連してバルキングをひき起すと考えられる。下水におけるバルキングはほとんどがSphaerotilusの発生に関連して検討され、炭水化物がSphaerotilusの増殖を促進すると指摘したもの¹⁾²⁾、炭水化物と窒素・リンの比率が関係すると指摘したもの³⁾⁴⁾、さらに汚泥負荷が関与するとしたもの⁵⁾など数多くの報告がある。

処理例-3において述べた清涼飲料水工場廃水においては廃水中の糖がSphaerotilusの発生を促進したものと考えられる。

Sphaerotilusのごとく微生物の形状が汚泥の沈降性を悪化させこれがバルキング状態の原因となるもののほか、微生物の形状とは無関係なバルキングの原因については不明な点が多い。汚泥負荷によりBond Waterの量⁶⁾が変化し、これがバルキング状態をひき起す原因だとしているものもある。しかし糸状の微生物が増殖していない状態のバルキングも廃水中の基質、窒素・リンなどのバランスなどが関与することは確かであり、アルテヒド、フェノールなどの処理に際しては汚泥負荷が高くなると容易にバルキングを起すことが報告されている⁷⁾。

従来より試みられているバルキング対策は曝気量の調節、汚泥負荷の適正化、栄養的なバランスの調整、凝集剤の添加など操作面からのものであり、全ての場合に有効な方法はない。

これに対しFAS法は装置面からバルキング対策と見られるものであり、曝気槽内の支持体により活性汚泥を固定させるため、最終沈降池での汚泥分離は全く問題とならない。図-13に本報告で述べた処理例の支持体表面に対するBOD負荷および除去量を示す。図-13から明らかなごとく、負荷と除去量は廃水の種類と無関係にあることがわかる。これは微生物の種類によつて処理能力に差の

ないことを示すものと考える。

高負荷におけるFAS法の単独処理にもなう欠点を補う目的で2段処理について検討を行なつたが単独処理と比較し、処理水質曝気槽負荷の面からもすぐれていた。また2段処理後段の活性汚泥はそれ単独の場合に比較しSVIが低くなつてゐる。この原因は前述したバルキングの原因から考へ、前段処理により汚泥に対する負荷が軽減されると共に、バルキングの原因となる有機物が大部分分解されたためと考える。

7. 結 言

活性汚泥処理に除くバルキングを起しやすい工場廃水にFAS法の適用を試みた。その結果、FAS法はバルキングに対処し

うる一つの方法であることを認めた。バルキングを起しやすい廃水では活性汚泥単独の場合、曝気槽負荷を高くとれないためFAS法の方が建設費の面からも有利であり運転も容易であつた。

FAS法を前段、活性汚泥法を後段とした2段処理法は曝気槽負荷、処理水質の面から各々の単独処理より優れている。

参 考 文 献

- 1) Lackey, J.B. and Wattie, E., "The Biology of *Sphaerotilus natans* Kütz in Relation to Bulking of Activated Sludge", Public Health Report (US), 55, 957, (1940).
- 2) Heukelekian, H. and Ingols, R.S., "Studies on Activated Sludge Bulking. II Bulking Induced by Domestic Sewage", Sewage Works Journal, 12, 694, (1940).
- 3) Hattings, W.H.J., "Activated Sludge Studies 1. The Nitrogen and Phosphorus Requirements of the Micro-Organisms", Water and Waste Treatment, 2, 380 (1963).
- 4) Hattings, W.H.J., "Activated Sludge Studies 3. Influence of Nutrition on Bulking", 2, 476 (1963).
- 5) Genetelli, E.G. and Heukelekian, H., "The Effect of Chemical Composition of Substrates and Loading on the Performance and Bulking of Activated Sludge", Proceedings of the Seventeenth Industrial Waste Conference, Purdue University, Lafayette, Indiana, 153, (1962).
- 6) Heukelekian, H. and Weisberg, E., "Bound Water and Activated Sludge Bulking", Sewage and Industrial Wastes, 28, 558 (1956).
- 7) 鈴木., "活性汚泥法における負荷と基質の影響" 第3回下水道研究発表会講演集,

167 (1966)

FAS法に関するもの

増田・関川., "小型下水処理の一変法", 第2回下水道研究発表会講演集, 28 (1965).

関川・増田・岩崎., "接触エアレーション法による小型下水処理装置", 第3回下水道研究発表会講演集, 183 (1966).

関川・岩崎., "接触曝気法による工場廃水処理", 第4回下水道発表会講演集, 145 (1967).

関川・増田・田中・石過., "接触曝気法による下水処理装置", 第3回衛生工学討論会講演論文集, 17 (1966)

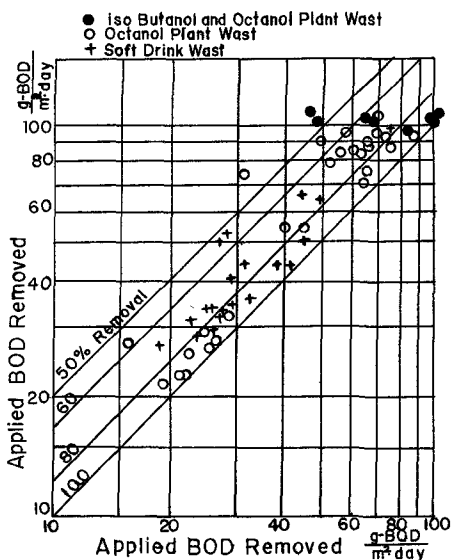


図-13 支持体単位面積当りのBOD負荷と除去量