

ISSN 0386—5878

土木研究所資料第2753号

土木研究所資料

下水性状の生化学的特性に関する研究

平成元年3月

建設省土木研究所
下水道研究室

Copyright © (1989) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

下水性状の生化学的特性に関する研究

下水道部下水道研究室 室 長 竹石和夫

研究員 榑原 隆

小沢 登

要 旨

下水中の固形物の特性を把握するため、いくつかの下水処理場や実験施設の様々な下水を対象とした粒径分画調査を行い、流域面積の大きい処理場ほど、粒径の全範囲にわたって均等に固形物が存在する等の結果を得た。また、嫌気性処理における最適な指標を開発するため、室内実験を行い、硫酸イオンと他の水質項目の相関を明らかにした。

キーワード：下水道、固形物、粒径分画、嫌気性処理、指標

目 次

第1章 はじめに	1
第2章 既往の研究	2
2.1 固形物負荷と分画方法	2
2.2 嫌気性処理指標	4
第3章 Y処理場における下水の粒径分画調査	6
3.1 目 的	6
3.2 予備実験	6
3.3 本調査	7
第4章 4つの処理場における流入下水の粒径分画調査	16
4.1 目 的	16
4.2 方 法	16
4.3 結果と考察	16
第5章 嫌気性処理における下水の粒径分画調査	21
5.1 目 的	21
5.2 方 法	21
5.3 結果と考察	22
第6章 バッチ式嫌気性処理実験	26
6.1 目 的	26
6.2 方 法	26
6.3 結果と考察	26
6.4 結 論	27
第7章 BOD, COD試験における硫化物の影響実験	28
7.1 目 的	28
7.2 硫化ナトリウム添加影響実験その1	28
7.3 硫化ナトリウム添加影響実験その2	29
7.4 嫌気処理水を用いた酸素固定時間影響実験	29
7.5 硫化ナトリウムを用いた予備実験	30
7.6 嫌気処理水を用いたばっき効果予備実験	31
7.7 嫌気処理水を用いたばっきによる硫化物減少速度測定実験	31

7.8 嫌気処理水を用いたCODへのばっき効果実験	32
7.9 結 論	32
第8章 連続式嫌気性処理実験	36
8.1 目 的	36
8.2 方 法	36
8.3 結果と考察	37
8.4 結 論	38
第9章 結論と今後の課題	49
9.1 結 論	49
9.2 今後の課題	49
参 考	
第10章 管渠内流下に伴う下水性状変化調査	50
10.1 目 的	50
10.2 方 法	50
10.3 結果と考察	51
参考文献	54
謝 辞	55

第1章 はじめに

下水処理施設の設計及び維持管理においては、特定の物質を対象とした水質項目だけでなく、非特定の水質項目である生物化学的酸素要求量（BOD）や浮遊物質（SS）が重要な指標となっている。わが国を含めて、現在世界における都市下水処理の主流は、好氣的条件下で処理に関与する微生物を浮遊させる、いわゆる活性汚泥法である。活性汚泥法のように好氣的条件下で下水中の有機物除去を行うプロセスにとっては、BODはなくてはならない指標となっている。しかしながら、最近では同じ好氣的条件下でも微生物を浮遊させずに何らかの担体表面に微生物の薄い層（生物膜）を形成させて下水中の有機物除去を行なう方法や、酸素の無い嫌氣的条件下で下水処理を行なう方法が、新しい下水処理プロセスとしての開発対象となっている。一般の下水処理施設の設計および維持管理においては、そのプロセスで除去あるいは分解され得る有機物の単位時間、単位反応槽容量当りの量（容積負荷、 $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ ）と除去速度（反応回数によって異なるが、一次反応であれば1/日の次元を持つ）との関係を経験的に求め、その関係に基づき所要の反応槽容量を決定している。従って、とくに嫌氣的条件下で下水中の有機物除去を行うプロセスについては、在来の好氣的条件下で下水処理を行う施設の設計に用いられてきたBOD容積負荷等では反応槽への有機物負荷を適切に反映しない恐れがある。

一方、都市下水中に含まれる有機物の多くは、水中に溶解している状態ではなく、固形物として浮遊している状態で、処理を行なう反応槽に導かれている。物理化学的なプロセスのみならず生物学的なプロセスにおいても、流入下水中の固形物の大きさの分布は処効率に大きな影響をもっている。

以上の状況をふまえて、本研究では、流入下水中の固形物分布や有機物分布の特性を調べ、様々な生物学的下水処理プロセスにとってあるべき有機物負荷指標の開発を行ない、新しい下水処理プロセスの開発に資することを目的としている。

第2章 既往の研究

2.1 固形物負荷と分画方法

(1) 粒径分画方法のレビュー

下水中の固形物の特性を表現する指標としては、粒径の他に、比重や含水率などが挙げられる。このなかで、粒径が用いられた理由は、分画方法が比較的容易であり、分画後も試料を用いて、BODやCODなどの分析が可能である点にある。

粒径分画の方法のうち、溶解性成分に関しては、ゲルクロマトグラフィーや液体クロマトグラフィーを用いた分子量分画方法が一般に用いられており、わが国でも丹保らにより多くの研究が行われている^{(1),(2)}。

固形物を含んだ下水の分画手法については、文献調査によりいくつかの研究例がみられたので以下に概要を示す。

1) Balmat⁽³⁾ 他

分画された試料の酸素消費量 $L(t)$ を求め、一次反応式 $dL/dt = -kL$ における速度定数 k が粒径の小さいものほど大きいことを示した。分画方法は表2-1に示す通りである。

表2-1 Balmatの分画方法

区分	分画方法
Raw	
Settleable(>100 μ m)	Standard Method掲載、Imhoff coneで1時間沈殿させたもの
Nonsettleable	上記の上澄水
Supercolloidal(1-100 μ m)	Sharples社超遠心分離(14000rpm, 100ml/分)で凝集させたもの
Colloidal-Soluble	上記から得られた分離液
Colloidal(0.08-1 μ m)	高圧(800psi, 250-300ml/分)で限外ろ過したもの
Soluble	上記のろ液

2) Heukelelian⁽⁴⁾ 他

Balmatの方法で分画を行い、画分別に各種金属、TS、VTS、脂質、アミノ酸などの窒素含有化合物、炭化水素などの濃度を求めている。

3) Rickert⁽⁵⁾ 他

Balmatの方法の中で、限外ろ過の代わりとして、Sharples社のタービン超遠心分離(5,000 rpm, 100ml/分)を行い、0.2 μ m以上のものを除去、50 μ m以下の物質を分離した。また、BOD/CODなどの指標間の比率について議論した。

4) 小倉⁽⁶⁾ 他

ふるい(980, 250, 74, 20, 8 μ m)、メンブランフィルター(8, 0.45, 0.10, 0.025)、限外ろ紙(0.0094, 0.0011)を用いて分画を行い、下水処理場の各プロセスにおけるCOD、TOC等を測定している。

5) Levine⁽⁷⁾ 他

粒子径の特性化に関して、図2-1のような分析方法を示した。また、0.1 μ m以上の粒子におけ

る分画方法としてFFF (field flow fractionation)を提案し、この手法がメンブランフィルターを用いたろ過法と本質的な差がないことを明らかにした。

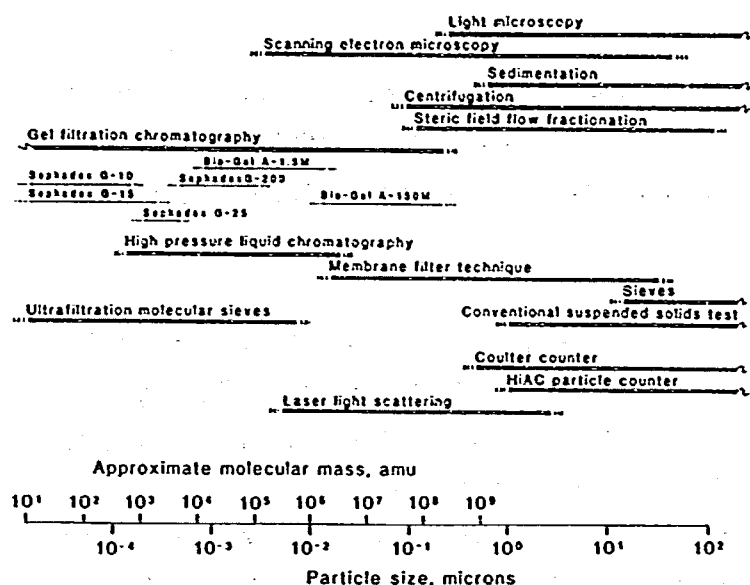


図 2 - 1 粒子の特性化手法

(2) 粒径分画方法としてのふるい、ろ紙法の評価

ふるい、ろ紙法の評価については、他法と合わせて小越らが表 2 - 2 のようにまとめている。⁽⁸⁾ 今回の研究でふるい、ろ紙法を選択した理由は、粒径分布のみならず他の項目の分析を必要としたこと、

表 2 - 2 粒径分布測定方法の特徴

方法	測定原理	測定量	特 徴
ふるい ろ紙法	機械的阻止	重量	◎特殊な装置を必要としない ○目詰まりに対する配慮が必要 ○時間がかかる ○ふるい作用による粒子の微細化
電気 抵抗法	電気抵抗の 変化が粒径 に比例	体積	◎迅速に測定できる ○広範囲の分布測定には問題がある ○粒子を分散状態で計るので機械的攪乱に弱い凝集性フロックは正確に測定できない ○電解液に分散させる機種の場合は荷電状態の変化による影響がありうるので注意が必要である
画像 処理法	顕微鏡で拡大して直接測定	面積 または 直径	◎ありのままの粒子を測定できる ○微小な粒子の正確な計数が難しい ○個人誤差の入り込む可能性が大きい ○電気抵抗法より時間がかかる ○重量換算時に平板状の粒子を過大評価

分画の区分が明確であること、特殊な機器を要しないことである。ところで表 2 - 2 の特徴にあるようなふるい、ろ紙法の欠点により、500 μm 通過下水の濃度が、原水のそれを上回るというような逆転がみられた。これを完全に解消するためには、ふるい分けの操作を出来るかぎり迅速かつ精確に行うことが必要である。

2.2 嫌気性処理指標

(1) 既往の研究

嫌気性処理そのものに関する研究は、文献9, 10, 11にまとめられているのでここでは省略する。文献中の各研究で用いられている処理性指標をみると、CODや酢酸、プロピオン酸などの有機酸がほとんどの研究で用いられている。他にTOC, BOD, 消化ガス発生量が用いられている。嫌気処理装置への流入負荷条件としては、BOD容積負荷、COD容積負荷が用いられている。

(2) 水質指標の評価

1) BOD

BOD試験は、好気性微生物による酸素消費量を測定しており、好気性処理プロセスをある程度モデル化していると考えられるので、BODは好気性処理への流入負荷量を表現するのに用いられている。この場合、BODは有機物の絶対量を表すものではなく、あくまで好気性微生物により酸化される有機物量に近いものを表していると考えべきである。

従って、嫌気性菌あるいは通性菌によって有機物の分解を行なう嫌気性処理への流入負荷量をBODで表すのは、分解に関与する菌が異なる点から不適切であると考えられる。

しかし、反応速度が異なるが、対象となる有機物については、好気性処理と嫌気性処理の間に大きな違いはないと考えられることから、嫌気性処理の流入負荷量を概略表すものとしてBODが用いられている。ここで、嫌気性処理の処理性の評価のため、嫌気性処理水水質をBODで測定する場合、硫化物などの還元性物質が存在するので、その酸化のために酸素が余分に消費される。第7章では、硫化物の有無によるBOD値の相違について述べている。

2) COD

COD試験も酸化剤の酸素消費量を測定しており、有機物そのものの量を直接表すものではないが、自動分析のTOC計が溶解性のものしか測定できないことから、有機物量を表すものとして用いられている。

ここで、嫌気性処理性の評価のため、嫌気性水水質をCODで測定する場合、BODと同様に硫化物の影響を受ける。その影響を排除するための前処理（窒素ガスによるばっきなど）が必要となる。第7章では、この前処理のばっきとCOD試験について述べている。

3) TOC

TOCは、有機物の炭素量の絶対量を測定するものであるが、自動分析のTOC計が溶解性のものしか測定できず、また手分析法は煩雑かつ再現性が乏しいという欠点を有する。

4) 有機酸

有機酸は、図2-2でみられる分解過程における酢酸やプロピオン酸などの低級脂肪酸を測定することにより嫌気性発酵における酸生成菌の活動の指標となるものである。容易に揮発するので測定時に注意を要する。

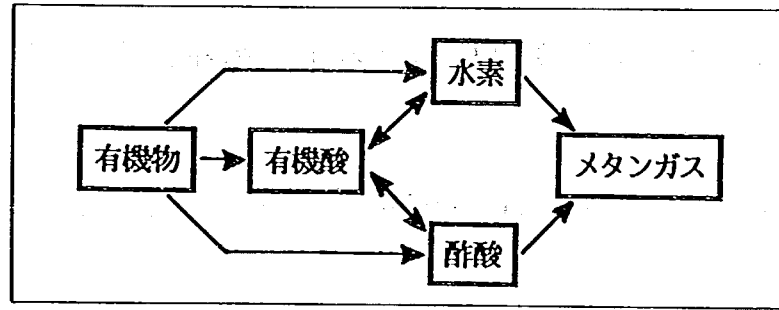


図 2 - 2 嫌気性処理における有機物の分解

(3) 理想的な嫌気性処理の処理指標

BODの代替として嫌気処理における処理性を表す理想的な試験方法を、BOD試験方法と比較して図 2 - 3、図 2 - 4 に示す。すなわち、対象となる流入基質を標準嫌気性微生物（群）中に混入し、一定時間後の基質の除去性を調べればよい。しかし、標準嫌気性微生物（群）の定義の方法、除去性の指標、攪拌の有無、嫌気性微生物（群）と基質の分離方法が大きな課題となる。

除去性の指標として、硝酸イオンや硫酸イオンが考えられる。これらのイオンは、脱窒菌や硫酸還元菌の働きにより窒素ガスや硫化物に還元される。従ってこれらのイオン濃度の減少の程度を調べれば良い。第 6 章、8 章ではこのうち硫酸イオンに着目した処理実験について述べている。

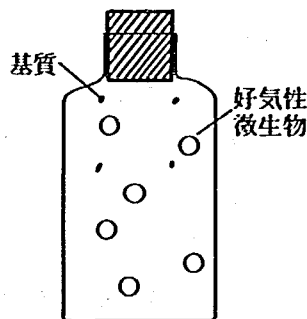


図 2 - 3 BOD試験方法

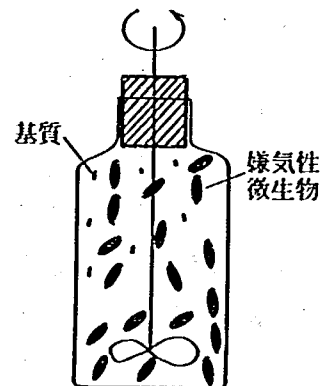


図 2 - 4 理想的な嫌気性処理試験方法

第3章 Y処理場における下水の粒径分画調査

3.1 目的

下水処理場の流入水、処理水を対象とし、粒径分布および粒径別の有機物濃度を調べるものとする。

3.2 予備実験

(1) 通水量の決定

ろ紙やふるいは、通水量が増加するに従って目詰まりが進行し、通水速度が次第に低下すると共に、公称径以下の性能しか示さなくなる。そこで、ふるいの洗浄やろ紙の交換の頻度を決定するための予備実験を行った。ふるいの場合には20ml毎に100mlまで、ろ紙の場合には10ml毎に50mlまで下水を通水したときのろ液のTOCを分析した。なお、用いたふるいは口径20cmのものであるが、網目の真中にテープを貼り、5cm四方のワクを作り、ワク内に下水を通水した。

分析の結果を表3-1に示す。

ふるいの場合、各ろ液間で水質の差が殆どないことから、1回のろ液水量が100ml以内では目詰まりの影響は無視できると考えられる。

表3-1 ふるいの場合の累積通水量とTOCの関係

(TOC - mg/l)

累積通水量 孔 径	20ml	40ml	60ml	80ml	100ml
1,000 μ	129	135	129	132	136
500 μ	132	134	138	142	143
125 μ	127	128	130	138	135
63 μ	118	133	126	131	143
20 μ	81	88	84	—	—

本調査ではふるいの全面(314cm²)を用いて通水を行なうが、これは $5 \times 5 = 25$ cm²の通水面積の約12倍に相当する。従って、100ml $\times$ 12 = 1,200 mlの通水量毎にふるい洗浄を行うものとした。ただし、63 μ m, 20 μ m 径の場合、水質的に問題がなくとも、累積通水量が多くなる程通水には時間がかかるようになったので、作業性を考慮して、480mlの通水量毎にふるい洗浄を行うものとした。

ろ紙の場合、5 μ mおよび1 μ m径のろ紙は50mlのろ過水量で問題はないが、0.65 μ m径のろ紙では20ml以上で、0.1 μ m径のろ紙では10ml以上で目詰まりの影響が現われていることがわかった。しかし、各ろ紙とも水質的には問題がなくとも、累積通水量が多くなるほど通水には時間がかかるようになるので、作業性を考慮して、5 μ m, 1 μ m径のろ紙では20ml毎に、0.65 μ m, 1 μ m径のろ紙では10ml毎にろ紙の交換をするものとした。

(2) ろ紙の洗浄水量の決定

ろ紙を用いた分画においては、試料を通水する直前にろ紙を洗浄する必要がある。図3-1は実下水を用いた分画の例である。ろ紙の洗浄は試料のろ過の前日に行ったが、ろ紙の孔径が小さくなるに従い水質が高くなる傾向がみられた。

ろ紙を洗浄せずに用いると、ろ紙からの溶出が見られ、試料の分析値に誤差が生ずるので試料通過前にろ紙を蒸留水で洗浄する必要がある。そこで、蒸留水を100mlろ紙に通水し、20ml毎に採水、TOCの分析を行った。結果を表3-2に示す。

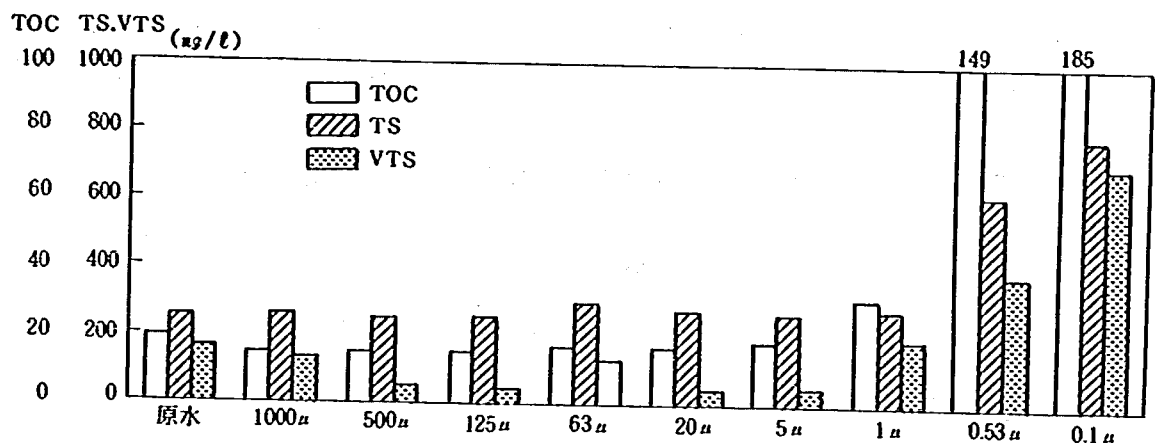


図 3-1 分画後の水質 (例-Y処理場沈砂池流入水 8時採水試料)

累積通水量が100mlに達すると、ろ紙からの流出の影響は殆どなくなることがわかったが、今回の調査では多量の試料を扱うので、作業性を考慮して洗浄水量を5μm, 1μm径は50ml, 0.65μm, 0.1μm径は20mlとした。

3.3 本調査

(1) 方法

調査対象としたY終末処理場は、一部合流で主として家庭下水を処理している。処理方式は標準活性汚泥法である。調査当時は94,000 m³の日平均流入量に対し、現有能力は102,000 m³/日であった。

対象とした下水は、沈砂池流入水、最初沈殿池流出水、最終沈殿池流出水の3種類である。最初沈殿池流出水、最終沈殿池流出水は、沈砂池流入時刻からの滞留時間を考慮して採水した。

粒径分画の方法としては、土質試験で用いる直径20 cmのふるいと直径4.7 cmのろ紙 (Advantec社製ニトロセルロースメンブランフィルター) を用いた。

分画の手順は図3-2に示すように、孔径の大きいふるい (ろ紙) から順に試料を通過させるものである。

表 3-2 累積通水量 (蒸留水) と TOC との関係

孔径 (μ)	累積通水量 (ml)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
5	3.1	2.9	2.5	1.8	0.8
1	4.7	4.3	2.1	1.8	0.9
0.65	4.2	2.6	0.9	0.4	0.4
0.1	13.8	3.3	0.8	0.2	0.1

注) 蒸留水の TOC 1mg/l を差しひいた値である。

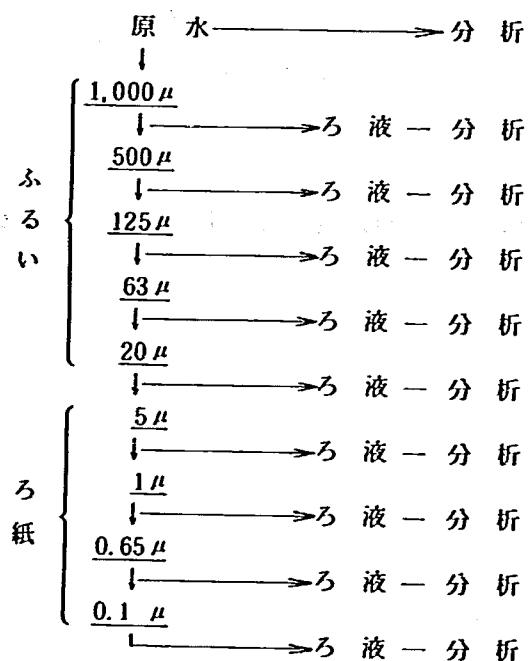


図 3-2 分画の手順

(2) 結果と考察

各地点における分画前の水質分析結果を表3-3、図3-3に、また、分画後の水質分析結果を表3-4、図3-4～3-6に示す。沈砂池流入水、最初沈殿池流出水、最終沈殿池流出水の粒径によ

表3-3 処理場調査における各地点の分画前の水質分析結果

試料 項目	沈砂池流入前	最初沈殿池 流出水	最終沈殿池 流出水
水温 (°C)	17.0	17.5	17.5
PH	7.5	7.6	6.9
DO (mg/ℓ)	—	—	—
SS (mg/ℓ)	74.0	34.0	23.5
COD (mg/ℓ)	42.8	43.3	11.4
BOD (mg/ℓ)	121	110	23.5
TOC (mg/ℓ)	62	63	9
TS (mg/ℓ)	449	507	445
VTS (mg/ℓ)	134	151	108
硫酸イオン (mg/ℓ)	38.2	46.5	46.9
たんぱく質 (mg/ℓ)	61.2	51.0	8.6
脂 質 (mg/ℓ)	47.2	43.6	5.0
揮発性有機酸 (mg/ℓ)	37.9	117	54.7
炭水化物 (mg/ℓ)	48.9	15.2	5.7
大腸菌群数 (個/ml)	90×10^4	107×10^4	10×10^2
一般細菌数 (個/ml)	172×10^5	109×10^5	35×10^2

る累積BOD、TOCを図3-7に示す。なお分析方法は表3-5に示す通りである。

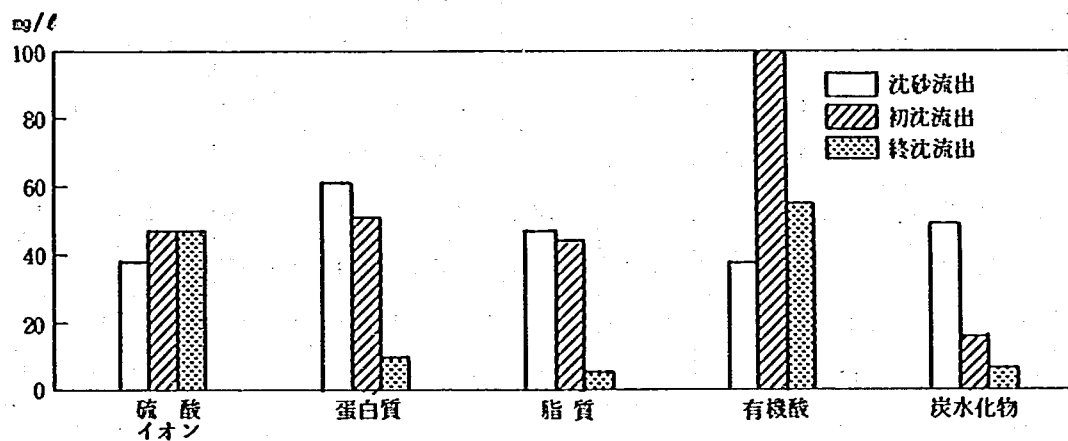
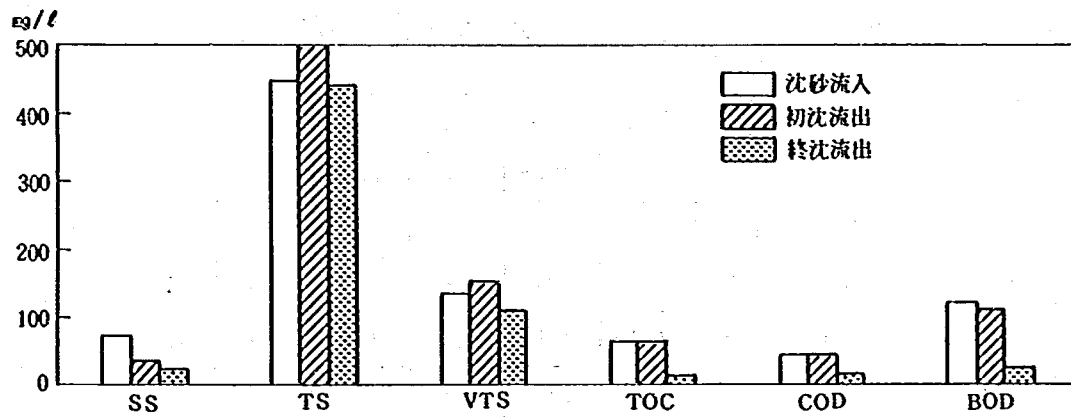


図 3-3 処理場調査における各地点の分画前の水質

表3-4 処理場調査における各地点の分画後の水質分析結果

項 目		孔 径 分画前	ふるいによる分画					ろ紙による分画			
			1000 μ	500 μ	125 μ	63 μ	20 μ	5 μ	1 μ	0.65 μ	0.1 μ
沈砂地 流入前	BOD	121	115	115	96.2	86.5	77.8	50.1	35.7	33.8	33.4
	TOC	62	60	56	37	36	29	21	16	17	18
	TS	449	450	454	439	423	399	391	411	355	361
	VTS	134	157	142	135	121	98	80	45	30	52
	硫酸イオン	38.2	38.7	35.3	39.7	41.3	38.9	41.3	42.2	43.4	36.9
	たんぱく質	61.2	56.9	63.6	53.5	54.1	51.2	43.4	36.2	32.1	38.5
	脂 質	47.2	41.2	45.3	34.8	28.5	22.4	19.3	18.7	13.5	14.2
	揮発性有機酸	37.9	24.7	19.4	20.6	20.2	20.5	23.2	22.8	23.8	20.4
	炭水化物	48.9	24.6	22.7	16.4	10.9	8.8	7.0	3.7	3.1	1.8
	大腸菌群数	90 $\times 10^4$	311 $\times 10^4$	151 $\times 10^4$	387 $\times 10^4$	270 $\times 10^4$	130 $\times 10^4$	211 $\times 10^4$	221 $\times 10^2$	0	0
	一般細菌数	172 $\times 10^5$	547 $\times 10^5$	440 $\times 10^5$	333 $\times 10^5$	206 $\times 10^5$	163 $\times 10^5$	237 $\times 10^5$	460 $\times 10^5$	183 $\times 10^5$	29
最 初 沈殿池 流出水	BOD	110	122	132	119	105	93.1	52.8	39.9	36.2	28.6
	TOC	63	63	41	60	49	41	22	19	18	17
	TS	507	516	511	521	494	473	456	417	396	358
	VTS	151	157	140	143	135	110	86	92	63	42
	硫酸イオン	46.5	46.5	45.8	46.8	50.4	50.8	52.4	53.8	46.5	42.5
最 終 沈殿池 流出水	BOD	23.5	25.0	24.0	22.1	17.5	7.1	6.4	7.6	6.5	12.7
	TOC	9	9	8	8	8	8	6	8	8	10
	TS	445	442	433	436	458	392	405	473	478	404
	VTS	108	122	101	107	100	69	85	86	75	83
	硫酸イオン	46.9	46.2	43.8	46.9	41.2	47.1	43.8	45.1	46.5	48.9

注) 単位は大腸菌群数、一般細菌数が個/mg、その他の項目はmg/lである。

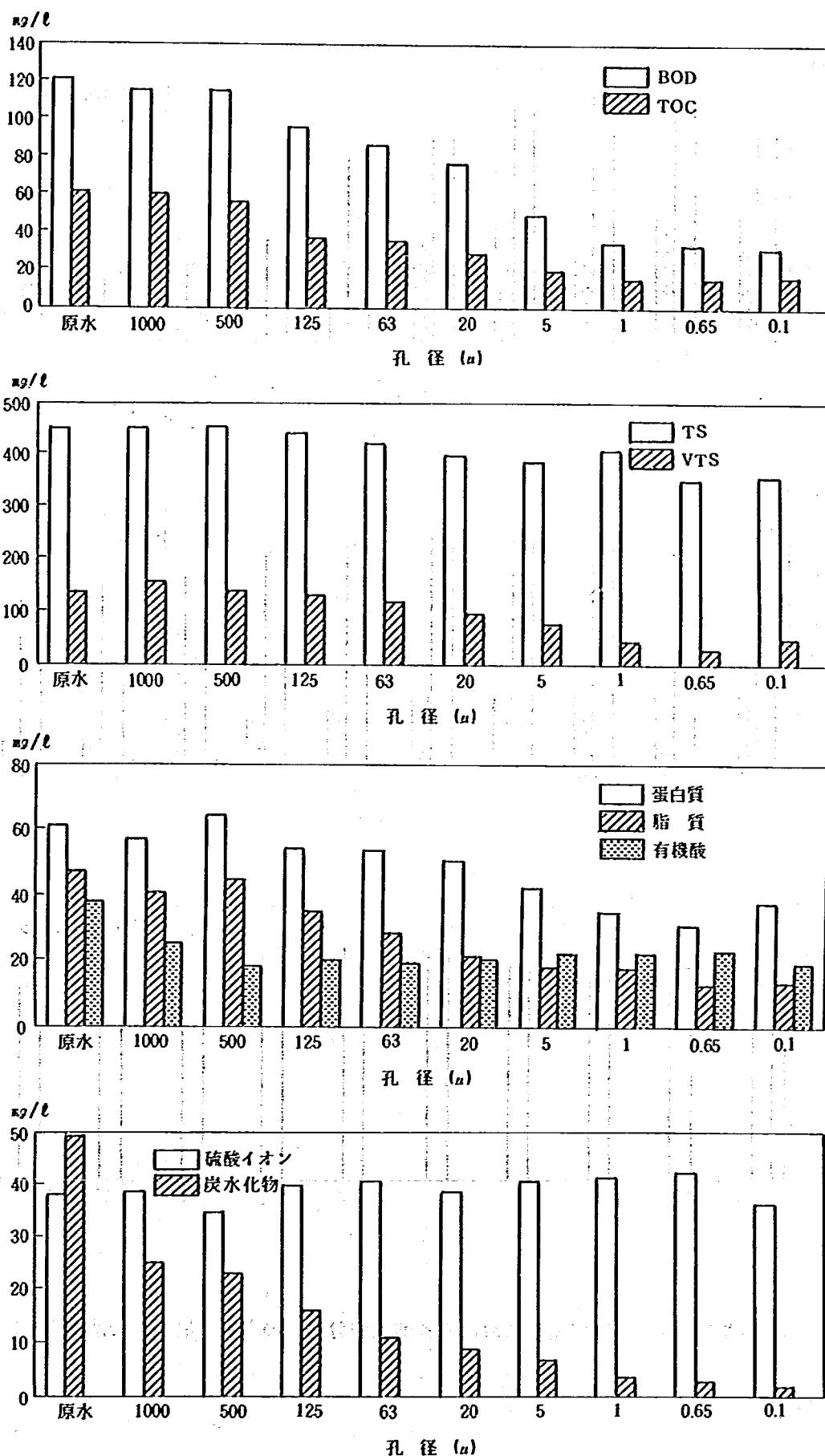


図 3-4 処理場調査における各地点の分画後の水質 (沈砂池流入水)

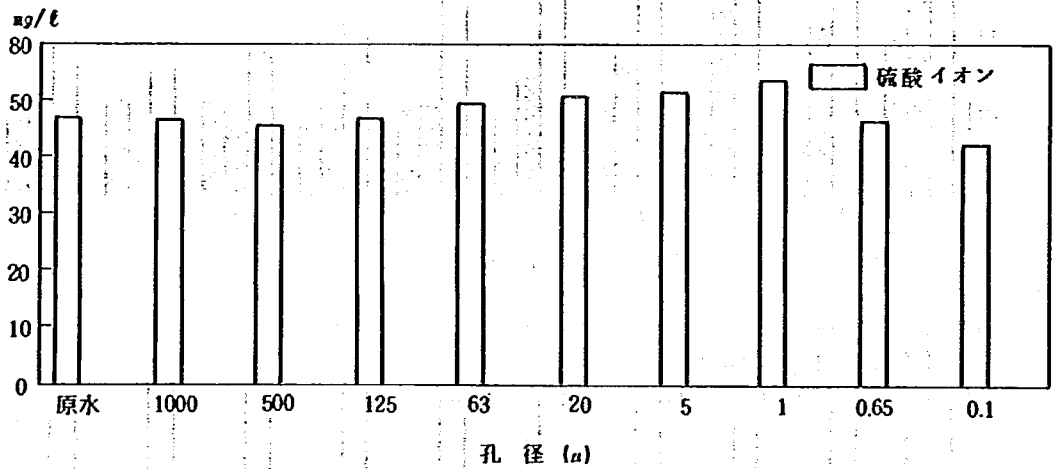
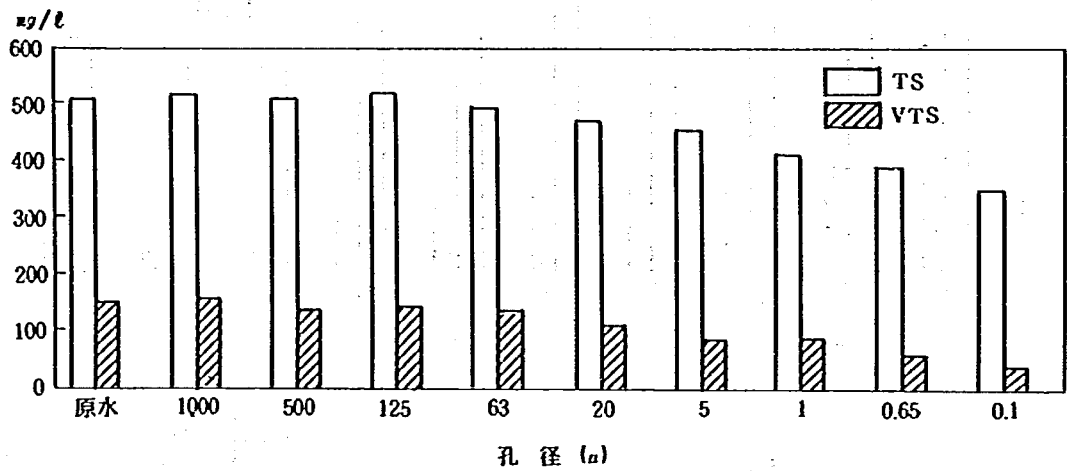
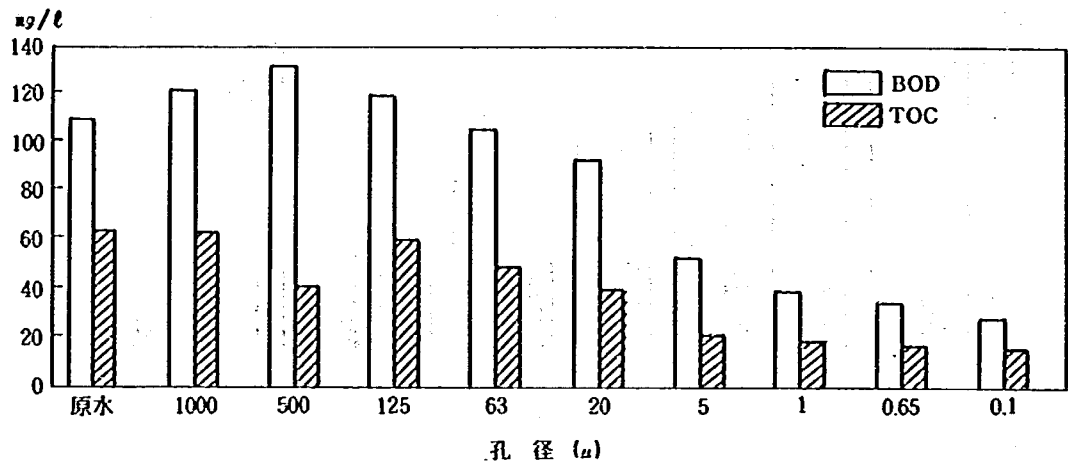


図 3-5 処理場調査における各地点の分画後の水質 (最初沈殿池流出水)

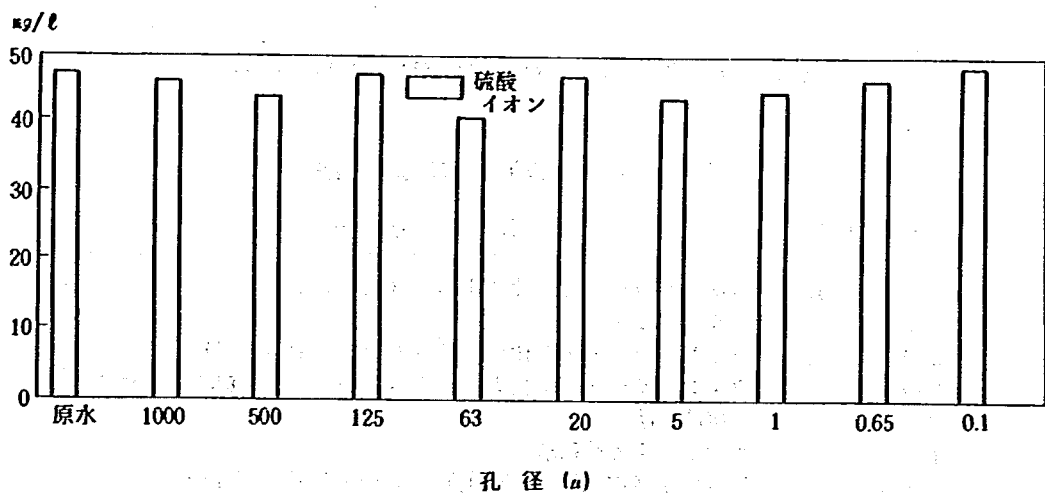
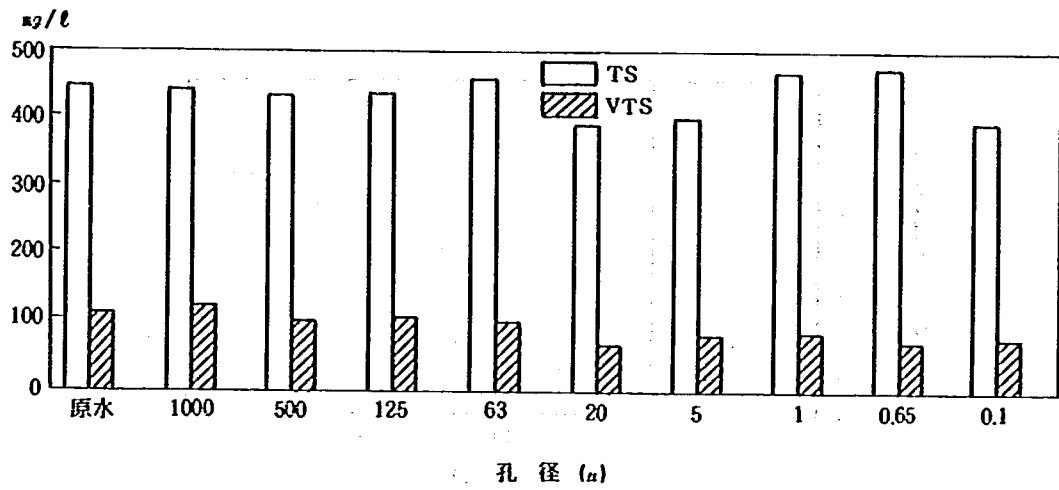
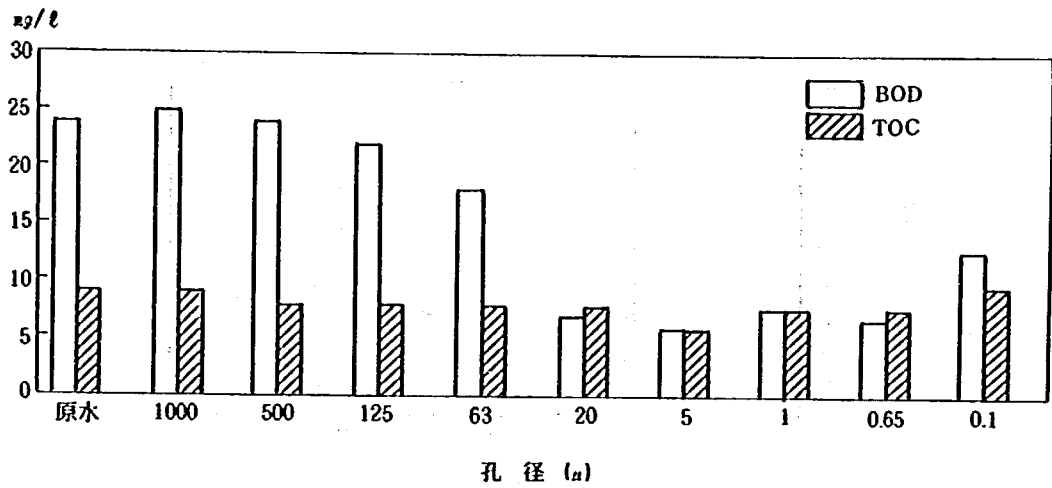


図 3-6 処理場調査における各地点の分画後の水質（最終沈殿池流出水）

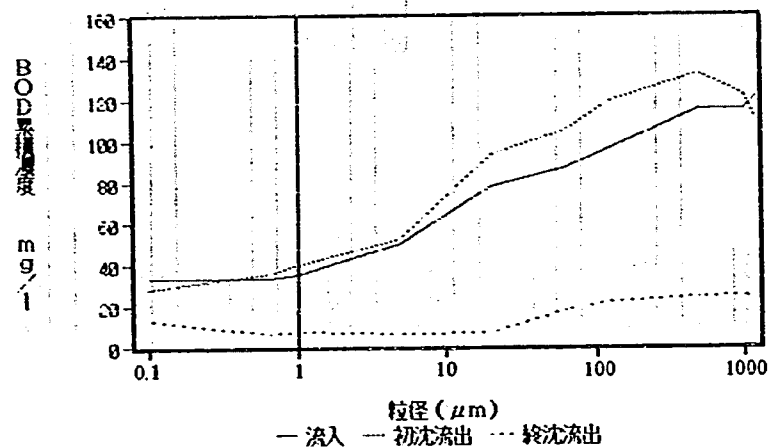
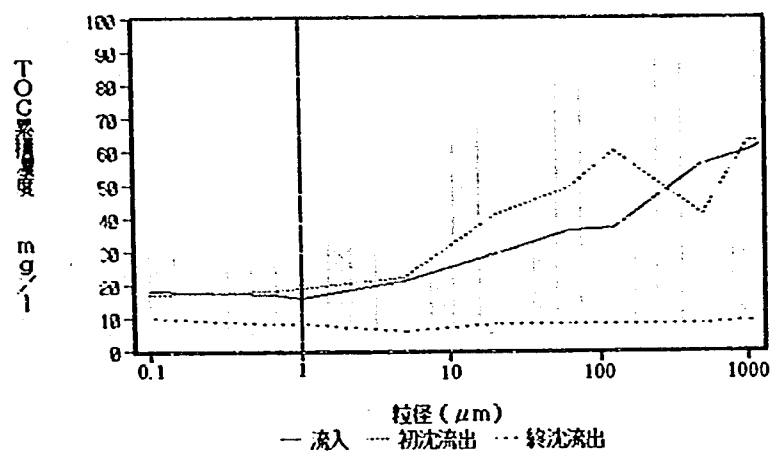


図3-7 各地点における粒径累積TOC, BOC

表3-5 分析項目及び分析方法

分析項目	分析方法
水 温	棒状アルコール温度計による。(現地測定)
pH	ガラス電極法
DO	ウィングラー・アジ化ナトリウム変法(現地固定)
BOD	ウィングラー・アジ化ナトリウム変法 直接希釈法 植種法 ¹⁾
TOD	直接注入法
TS	ルツボによる重量法
VTS	TS測定後電気炉(600℃)で30分間加熱して秤量
硫酸イオン	塩化バリウムによる比濁法
たんぱく質	ケルダール窒素からのたんぱく質換算法
炭水化物	アンスロン法(グルコース濃度に換算)
揮発性有機物	水蒸気蒸留法
脂 質	ヘキサン抽出法(ソックスレイ法)
一般細菌	標準寒天培地による平板培養法
大腸菌群数	デソオキシコーレイト培地による平板培養法

注 ¹⁾ 植種液としてY処理場の初沈水のろ液を使用

1) 洗浄量を小さくしたため、ろ紙からの溶出の影響がみられることが予想されたが、ろ紙の成分であるニトロセルロース（炭水化物）の粒径 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以下での割合が小さいことから、溶出の影響は無視できると考えられる。

2) 炭水化物とたん白質をみると、生分解反応速度の大きい前者が大きな粒子に多く、生分解反応速度の小さい後者が小さな粒子に多いという結果となった。これは参考文献に示した結果とは異なる。

3) 揮発性有機酸の濃度をみると、 $1,000\text{ }\mu\text{m}$ 以上のものが 13.2 mg/l と全体 (37.9 mg/l) 35%も存在した。これらは粒子に吸着する形で存在していたと考えられる。

4) BOD, TOC 共に、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 径以上の区分で、最初沈殿池流出水の濃度が沈砂池流入水を上回っていた。これは最初沈殿池には汚泥処理系統からの返流水が残っていたためと推測される。このことは、最初沈殿池流出水の TS や有機酸の濃度が沈砂池流入水を上回っていたことからもうなずける。

5) 最終沈殿池流出水採水時には、脱窒の影響で、最終沈殿池における活性汚泥の沈降性が低下していた。このため、粒径 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上の BOD 濃度の上昇がみられた。

第4章 4つの処理場における流入下水の粒径分画調査

4.1 目的

前章において、下水処理場流入水、最初沈殿池流出水、最終沈殿池流出水を対象とした粒径分画を行なったが、汚泥系返流水の影響により、処理プロセスにおける固形物の除去特性については明確にならなかった。

そこで、今回は流入下水に焦点を絞り、処理区の特徴の異なる4つの下水処理場の流入下水の粒径分画を行なうこととした。

4.2 方法

表4-1に示すA, B, C, Dの4下水処理場流入下水について自動採水器により1時間毎に採水を行い、24時間流量比例コンポジットサンプルを作成した。次に前掲の図3-2に示す方法で粒径分画を行い、各水質項目について分析を行った。なお、分析方法は表4-2に示す通りであった。

表4-1 各下水処理場の概要

処理場	処理区域 面積 (ha)	処理人口 (人)	処理水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)
A	1080	84900	49700
B	1210	156700	37200
C	3500	648400	383000
D	131	11300	2600

表4-2 分析項目及び分析方法

分析項目	分 析 方 法
BOD ₅	ウィンクラー法
COD	100℃における過マンガン酸カリウム法
TOC	TOC Analyzer
TS	ルツボによる重量法
VTS	600℃, 30分強熱法
蛋白質	ケルダール法
脂 質	ヘキサン抽出法
炭水化物	アンスロン法
有機酸	水蒸気蒸留法

4.3 結果と考察

各処理場の水質分析結果を表4-3～4-6に示す、また、粒径に関する累積TS, BOD, TOCを図4-1～4-3に示す。

表 4-3 分画水の水質分析結果

A 下水処理場

分析項目 孔径	TS (mg/ℓ)	VTS (mg/ℓ)	VTS (%)	TOC (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	全蛋白質 (mg/ℓ)	全脂質 (mg/ℓ)	炭水化物 (mg/ℓ)	全アミノ酸 (mg/ℓ)	有機酸 (mg/ℓ)
原 水	504	218	43.3	96	96.1	220	73.9	18.9	6.9	20.5	27.1
500 μ	458	185	40.4	89	87.9	202	84.6	18.7	5.5	37.3	28.8
125 μ	426	149	35.0	86	77.9	181	66.0	11.7	7.4	34.0	26.7
63 μ	429	164	38.2	82	68.7	178	49.6	12.3	8.5	30.0	27.7
20 μ	405	139	34.3	74	62.2	162	30.6	9.3	8.7	21.1	27.4
5 μ	346	83	24.0	50	41.8	107	30.6	7.3	8.2	22.3	27.4
1 μ	333	64	19.2	42	36.4	90.4	22.9	6.9	5.8	17.3	23.2
0.65 μ	303	67	22.1	38	32.7	81.7	21.8	4.0	5.6	16.8	18.0
0.1 μ	307	65	21.2	34	30.4	70.8	10.9	3.6	4.9	12.6	10.2

表 4-4 分画水の水質分析結果

B 下水処理場

分析項目 孔径	TS (mg/ℓ)	VTS (mg/ℓ)	VTS (%)	TOC (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	全蛋白質 (mg/ℓ)	全脂質 (mg/ℓ)	炭水化物 (mg/ℓ)	全アミノ酸 (mg/ℓ)	有機酸 (mg/ℓ)
原 水	553	268	48.5	92	119	230	64.6	36.7	8.2	16.9	28.3
500 μ	500	218	43.6	93	94.1	215	62.8	21.1	14.7	27.6	16.4
125 μ	474	187	39.5	84	80.5	193	89.0	15.6	12.8	31.1	10.9
63 μ	462	193	41.8	84	75.3	163	70.4	16.3	13.8	36.7	15.9
20 μ	446	147	33.0	71	64.1	74.9	29.7	11.3	11.8	32.0	14.2
5 μ	386	85	22.0	44	43.6	65.1	21.7	11.8	12.0	32.6	13.3
1 μ	377	81	21.5	35	38.4	71.4	24.4	14.9	8.7	23.7	7.3
0.65 μ	358	72	20.1	32	33.9	61.5	20.6	12.0	8.7	22.3	6.6
0.1 μ	348	70	20.1	31	33.8	60.0	21.9	7.3	5.6	24.3	4.5

表 4-5 分画水の水質分析結果

C 下水処理場

分析項目 孔径	TS (mg/ℓ)	VTS (mg/ℓ)	VTS (%)	TOC (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	全蛋白質 (mg/ℓ)	全脂質 (mg/ℓ)	炭水化物 (mg/ℓ)	全アミノ酸 (mg/ℓ)	有機酸 (mg/ℓ)
原 水	484	210	43.2	70	87.8	176	70.6	21.5	5.6	17.0	19.4
500 μ	459	192	41.8	70	83.5	157	58.8	21.0	5.7	21.3	19.4
125 μ	421	151	36.1	65	70.4	137	72.5	20.0	6.4	21.3	18.0
63 μ	406	142	35.0	61	65.4	129	66.9	14.0	5.8	26.4	13.5
20 μ	379	123	32.5	51	54.7	103	53.8	18.9	6.3	26.9	15.1
5 μ	373	72	19.3	35	33.6	65.2	19.4	17.3	5.3	17.9	13.6
1 μ	355	67	18.9	31	32.8	52.7	21.3	13.8	5.8	17.9	11.9
0.65 μ	343	64	18.7	29	32.1	51.6	20.0	8.2	5.6	24.6	9.8
0.1 μ	327	70	21.4	27	29.7	51.6	19.4	7.3	4.7	22.3	4.0

表 4-6 分画水の水質分析結果

D 下水処理場

分析項目 孔径	TS (mg/ℓ)	VTS (mg/ℓ)	VTS (%)	TOC (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	全蛋白質 (mg/ℓ)	全脂質 (mg/ℓ)	炭水化物 (mg/ℓ)	全アミノ酸 (mg/ℓ)	有機酸 (mg/ℓ)
原 水	534	268	50.2	82	106	213	81.3	28.0	6.0	21.3	15.9
500 μ	528	234	44.3	85	102	202	74.4	16.8	4.7	23.8	13.5
125 μ	485	194	40.0	79	81.5	160	68.8	11.6	5.0	26.3	12.1
63 μ	467	186	39.8	74	76.8	154	68.1	6.7	5.0	29.7	8.5
20 μ	408	145	35.3	63	63.0	115	56.9	5.6	7.2	27.4	9.3
5 μ	326	96	29.4	42	43.3	80.8	25.6	5.2	6.7	27.4	6.4
1 μ	335	89	26.6	39	41.6	66.0	25.6	4.9	10.1	25.0	4.5
0.65 μ	324	75	23.1	36	38.6	63.3	24.4	4.2	11.7	22.3	1.9
0.1 μ	329	75	22.8	34	38.1	60.8	30.0	4.0	7.4	15.0	1.9

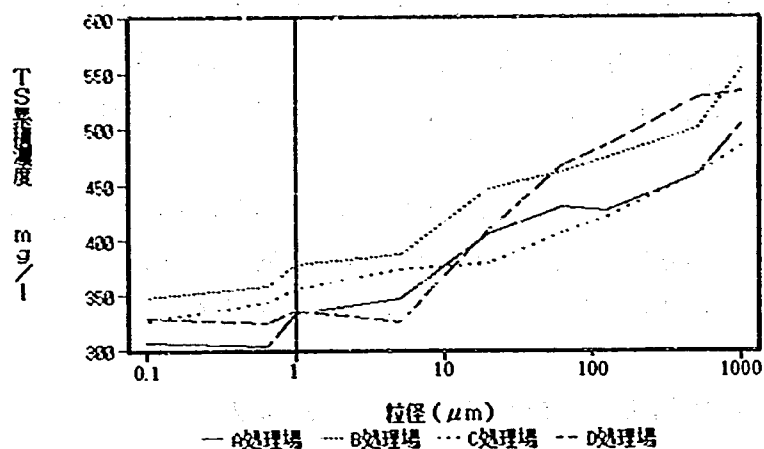


図4-1 各処理場流入水の粒径による累積TS濃度

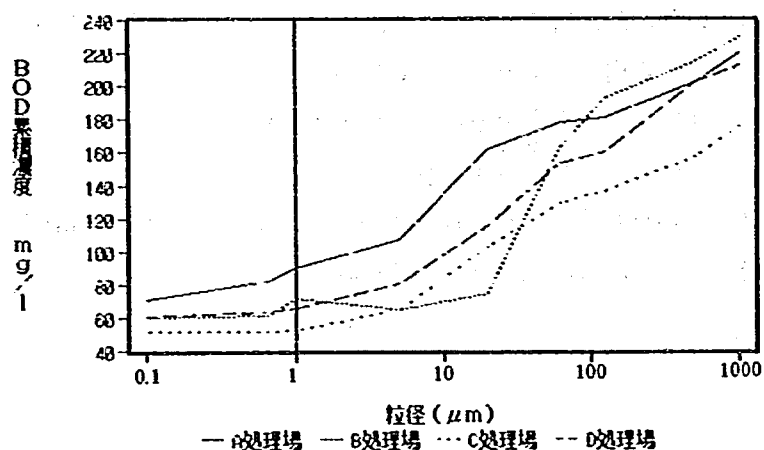


図4-2 各処理場流入水の粒径による累積BOD濃度

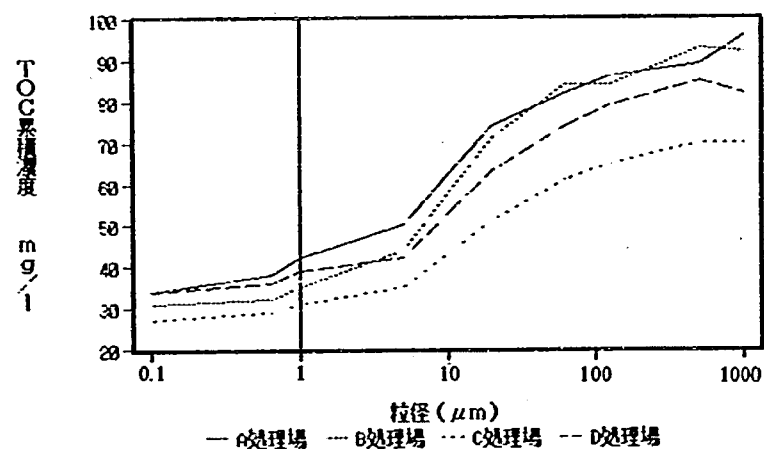


図4-3 各処理場流入水の粒径による累積TOC濃度

- 1) 4 処理場の TS は $450 \sim 550 \text{ mg/l}$ の範囲にあり、各処理場間での大きな差異は認められなかった。また $0.1 \mu\text{m}$ 以下の TS も $300 \sim 350 \text{ mg/l}$ の範囲にあり、大きな差異はなかった。
- 2) C 処理場を除く 3 処理場において $5 \sim 20 \mu\text{m}$ の粒径区分にかなりの TS 量が寄与していた。特に D 処理場においてはその傾向が顕著であった。

一般的には流域面積が大きい程流下距離が長くなり、物理的な破砕や分解が進み、小さな粒径の割合が増加すると考えられる。今回の調査結果をみても、最も流域面積の大きいC処理場では累積TS濃度の粒径に対する増加率が低く、粒径の全範囲にわたって均等に固形物が存在する結果となっていた。

- 3) BOD A処理場を除き、0.1～5 μm の粒径区分に殆どBODは存在しない。5～63 μm の粒径区分への分布が大きく、TSの粒径分布と同様な傾向を示した。
- 4) TOC SS、BODと比較して、4処理場間の差異が小さく、4処理場とも同様の傾向を示した。
 SS、BOD同様5～63 μm 粒径区分への分布が大きかった。
- 5) たん白質 たん白質、脂質、炭水化物の濃度を比較すると4処理場共にたん白質の濃度が他を卓越していた。また、各処理場ともにたん白質の50%以上が1～125 μm の粒径分布に寄与していたことから、5～63 μm の粒径区分におけるBOD、TOCの増加に寄与している成分はたん白質であると推定される。
- 6) 炭水化物 各処理場共に1 μm 以下の粒径区分への分布が殆どであった。これは、流下中に分解可溶化が進行したためと考えられる。
- 7) 脂質、有機物 2)で述べたようにC処理場において、1 μm 以下の粒径区分の全体に占める割合が脂質で64%、有機酸で61%と多かった。

第5章 嫌気性処理における下水の粒径分画調査

5.1 目的

嫌気性処理における最適な固形物負荷を得るためには、流入する固形物量を変化させた時の処理性を調べる必要がある。今回はその前段階として、後段に沈殿槽・ばっ気槽・最終沈殿池を伴う加温式嫌気性処理槽への流入水、処理水を分画し、固形物除去特性を調べることを目的とする。

5.2 方法

装置の概要を図5-1に示す。嫌気性処理槽は消化汚泥を種汚泥とし、30℃を保つよう湯浴で暖め

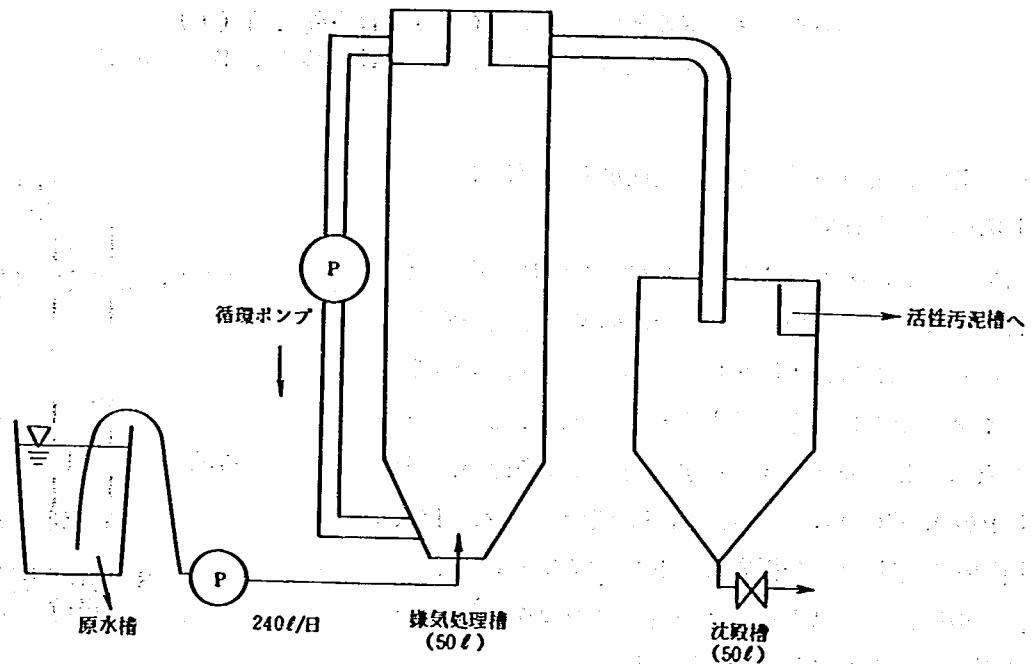


図5-1 嫌気処理装置の概要

られた上向流式の装置である。処理水の一部はポンプで槽下部へ返送されている。

試料の採水は図5-2のA～Eの5か所にて行った。これより嫌気性処理のX系を好気法のY系と比較するものである。採水は1988年2月24日から24時間、毎時5分間タイマーでポンプを作動させることで行った。この試料を原水とし、図5-3に示す方法で分画を行い、画分毎にBOD、COD_{cr}、TS、VTS、硫酸イオン、TOC、有機酸を測定した。分析方法は下水試験方法に依った。分画に用いたろ紙はAdvantec社のメンブランフィルターであり、使用前に蒸留水で洗浄した。

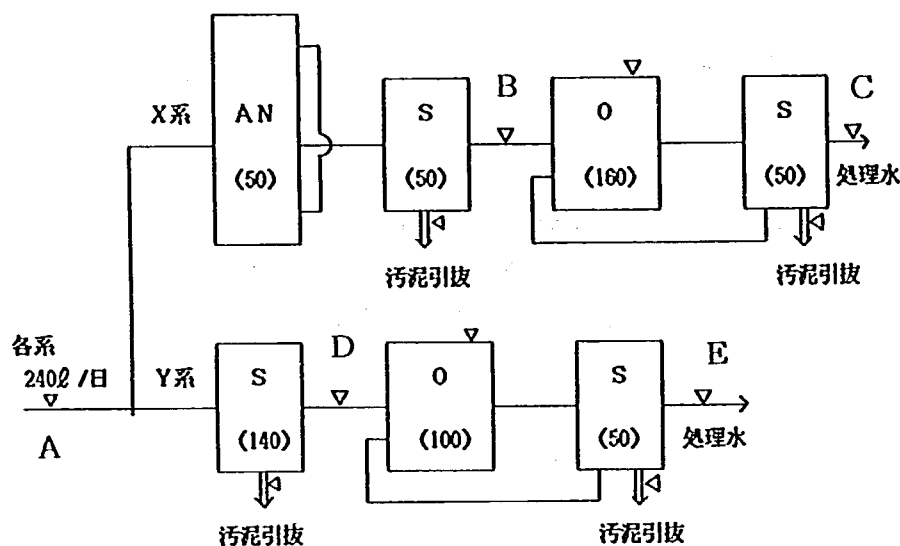


図5-2 実験装置の概要 ()内は有効容積 (ℓ)
AN:嫌気性処理槽, O:活性汚泥槽, S:沈殿槽

られた上向流式の装置である。処理水の一部はポンプで槽下部へ返送されている。

試料の採水は図5-2のA～Eの5か所にて行った。これより嫌気性処理のX系を好気法のY系と比較するものである。採水は1988年2月24日から24時間、毎時5分間タイマーでポンプを作動させることで行った。この試料を原水とし、図5-3に示す方法で分画を行い、画分毎にBOD, COD_{cr} , TS, VTS, 硫酸イオン, TOC, 有機酸を測定した。分析方法は下水試験方法に依った。分画に用いたろ紙はAdvantec社のメンブランフィルターであり、使用前に蒸留水で洗浄した。

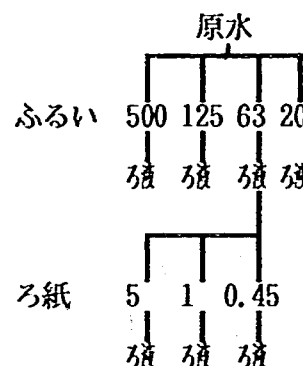


図5-3 分画方法 (単位 μm)

5.3 結果と考察

分析結果を表-1に示す。また, BOD, COD_{cr} , TS, VTSの累積通過重量をそれぞれ図5-4, 5-5, 5-6, 5-7に示す。

今回用いた実験装置のHRTは、嫌気性処理槽を除けば、どれも実プランよりかなり大きいため処理性は良好であることが予測された。事実C, Eでの水質は、BODでそれぞれ3.4 ppm, 3.5 ppmときわめて小さかった。

嫌気系列と好気系列の比較を行う。初沈処理水の流入水に対する $5\mu m$ 以下のBOD, CODが好気系列ではまったく除去されないのに対し、嫌気系列では、それぞれ39%, 29%の除去率を示した。BではAに比べて有機酸の濃度がわずかながら増加していること、硫酸イオン濃度が減少していることから、有機物の加水分解、酸発酵、水素あるいは有機酸を利用した硫酸塩還元が嫌気処理槽で進行し、この際に溶解性有機物が分解されたものと考えられる。なお、固形物を含めた全体としての除去率も

表 5 - 1 分析結果一覽表

No.	項目 分國 メッシュ	BOD (mg/l)	COD (Cr) (mg/l)	有機酸 (mg/l)	T-S (mg/l)	V S (mg/l)	TOC (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
A	原 水	176.9	286.2		439	146		
	500μ通過	157.8	225.6		573	217		
	125μ通過	141.4	178.3		520	183		
	63μ通過	117.0	142.1		451	175		
	20μ通過	111.3	115.7		466	165		
	5μ通過	66.5	72.2		382	100	55	28
	1μ通過	58.0	64.6	9.3	395	90	49	26
	0.45μ通過	54.1	56.8	8.1	388	66	40	24
B	原 水	63.5	93.2		381	99		
	500μ通過	62.7	91.8		422	115		
	125μ通過	62.0	91.5		423	112		
	63μ通過	58.3	90.0		415	97		
	20μ通過	51.0	72.6		409	89		
	5μ通過	40.8	51.2		380	81	43	14
	1μ通過	29.7	47.2	10.1	370	74	35	14
	0.45μ通過	26.4	38.2	10.1	376	68	44	13
D	原 水	105.8	119.2		464	155		
	500μ通過	104.8	117.2		463	121		
	125μ通過	103.1	114.7		437	88		
	63μ通過	102.8	112.2		437	153		
	20μ通過	92.7	107.8		436	154		
	5μ通過	65.5	72.0		423	99	58	23
	1μ通過	57.6	64.5	8.5	436	120	54	22
	0.45μ通過	53.6	56.4	8.5	432	158	50	22
C	原 水	3.4	17.4		406	86		
	500μ通過	3.2	16.2		504	138		
	125μ通過	3.0	15.3		480	142		
	63μ通過	2.6	14.1		497	154		
	20μ通過	2.4	13.7		493	155		
	5μ通過	2.0	11.6		421	115	10	32
	1μ通過	2.0	11.1	6.5	423	116	10	32
	0.45μ通過	1.9	10.0	6.5	406	92	11	32
E	原 水	3.5	20.8		421	51		
	500μ通過	2.9	18.8		411	102		
	125μ通過	2.4	16.2		413	139		
	63μ通過	2.1	14.5		443	140		
	20μ通過	2.1	14.1		415	111		
	5μ通過	2.0	13.3		412	109	12	34
	1μ通過	2.0	12.8	6.2	409	101	14	35
	0.45μ通過	1.5	11.4	6.2	419	90	13	43

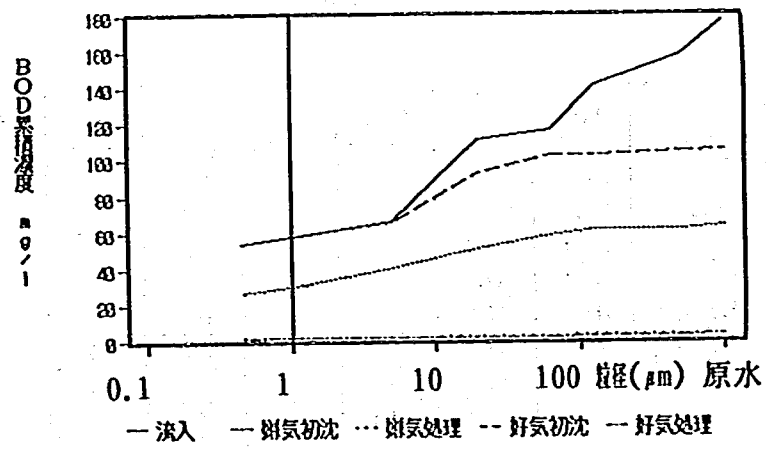


図 5-4 粒径による累積BOD濃度

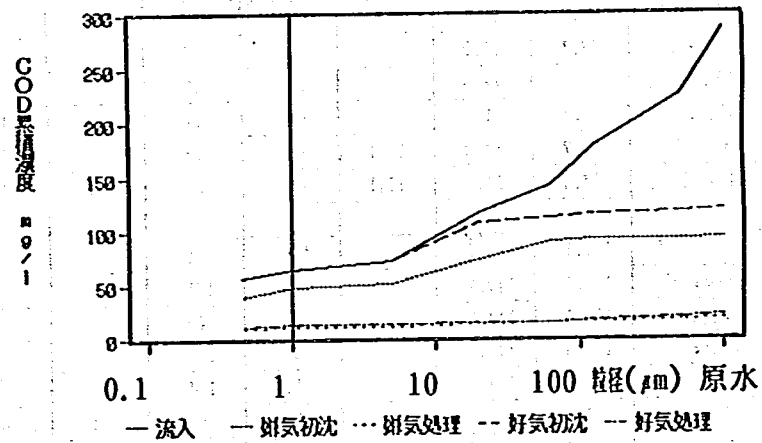


図 5-5 粒径による累積COD濃度

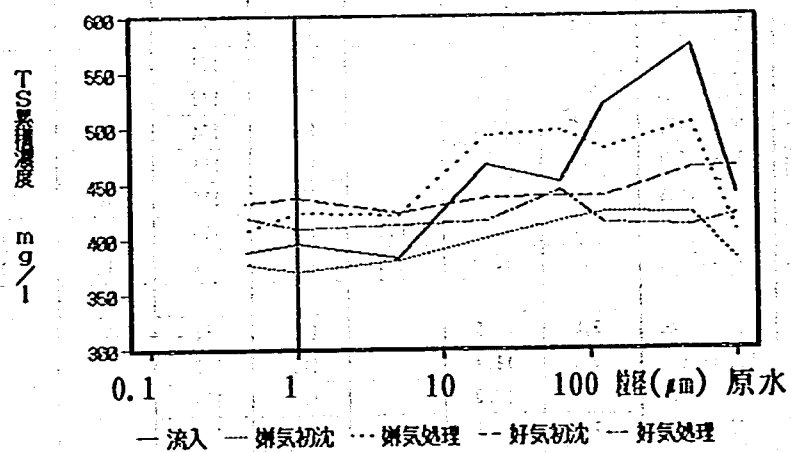


図 5-6 粒径による累積TS濃度

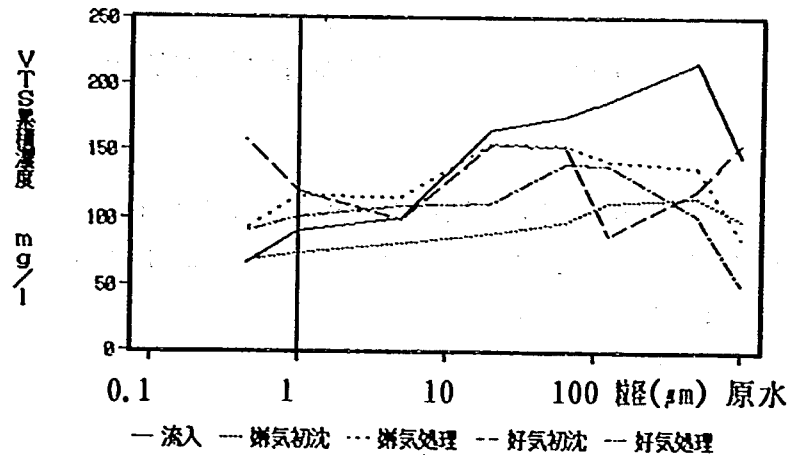


図5-7 粒径による累積VTS濃度

BODで64%, CODで67%と高く、嫌気性処理槽からキャリーオーバーした汚泥の沈降性も良好であることを示している。

TS, VTSについては逆転データが多いので、1 μm以上を固形物(SS), 1 μm以下を溶解物(DS)として図5-8のように整理した。これにより、以上のことがいえる。

- 1) SS成分に関して初沈処理水を原水と比べると、嫌気系列では除去率47%と良好であるが、好気系列では逆に処理水の濃度が増加していた。特に有機成分が53 ppmから62 ppmと上昇していた。
- 2) DS成分の嫌気系列の除去率は7%, 好気系列は0%であった。
- 3) 最終処理水中のSS成分は嫌気, 好気系列共に有機成分であった。
- 4) 初沈処理水と終沈処理水を比べると、有機性DSについては嫌気系列では値が増加したが、好気系列では51%除去された。無機性DSは双方とも上昇していた。

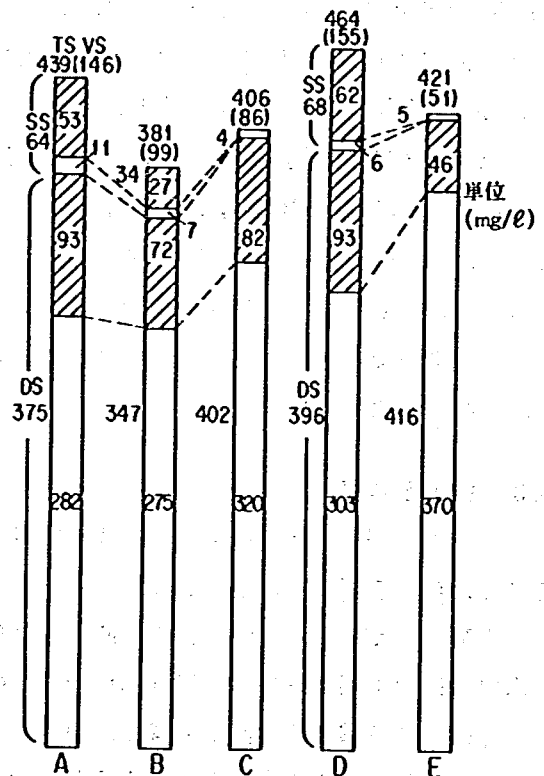


図5-8 嫌気性処理, 好気性処理におけるTS, VS (斜線部はVS)

第6章 バッチ式嫌気性処理実験

6.1 目的

嫌気性菌の中の硫酸塩還元菌が利用する硫酸イオンに着目し、硫酸イオンの減少が嫌気性処理の進行を表す指標となり得るかどうかを検討した。同時に嫌気性処理における固形物の影響を調べるため、粒径で分画した下水を用いた実験を行った。

6.2 方法

実験装置を図6-1に示す。装置は汚泥濃縮槽として用いられていたもので、全3台からなり、20℃の恒温槽に置かれている。これらに土木研究所湖北総合実験施設の流入下水、250 μ mふるい通過下水、20 μ mふるい通過下水を20 ℓ 投入した後上部の気相部を窒素ガスで置換し、攪拌速度を1rpmに調整し、定期的に採水（約100m ℓ ）を行った。分析項目はCOD_{cr}、TOC、硫酸イオンであった。試験方法は下水試験方法（1934年）に依った。ただし硫酸イオンは0.45 μ mのメンブランフィルターでろ過後、イオンクロマトグラフィー法で測定した。

6.3 結果と考察

実験結果を図6-2に示す、槽内は十分嫌氣的であったが、攪拌速度が小さかったため下水の混合が十分でなく、また温度が20℃と低かったため、採水口付近の上部における嫌気反応が十分進行せず、そのため硫酸イオン濃度の減少が小さかった。

粒径分画した下水の水質を比較すると、殆ど差がないといえる。ただしTOCが原水のみ0日目から1日目にかけて上昇しているが、これは嫌気性菌による固形物の可溶化が進行したためと考えられる。

なお、実験終了後、槽底部の下水を分析したところ、流入原水、250 μ m通過下水、20 μ m通過下水でそれぞれpH = 6.7, 7.3, 7.3, COD_{cr} = 6,100, 8,500, 145 ppmであった。流入原水、250 μ m通過下水のCODが高かったのは、汚泥が存在したためであるが、20 μ m通過下水を嫌気攪拌しても汚泥が存在せず、検鏡でも生物が確認されなかった。このことより、20 μ m通過下水には菌の活動に十分な基質が存在していなかったことがわかる。

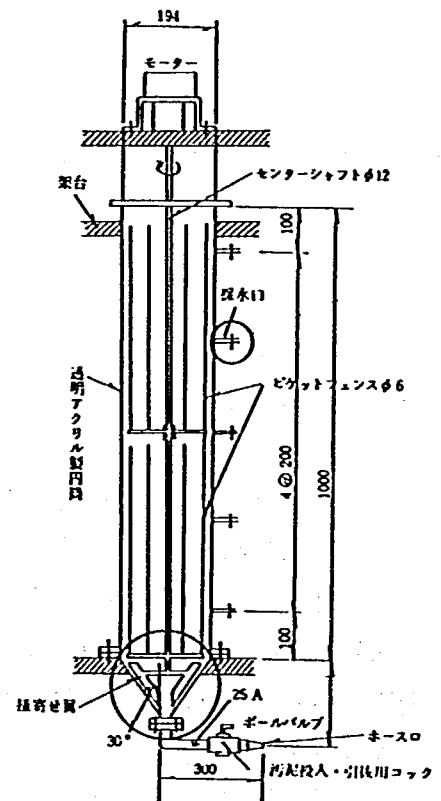


図6-1 実験装置

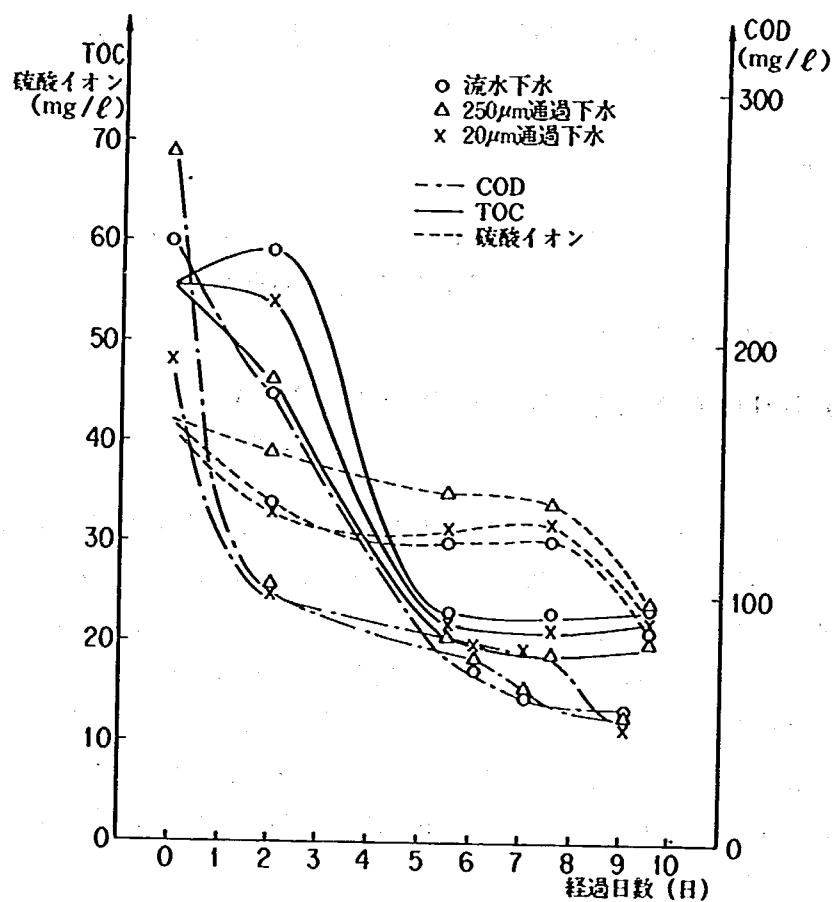


図6-2 COD, TOC, 硫酸イオンの経時変化

6.4 結 論

この実験では、実験条件の設定がうまくゆかず、硫酸イオンの嫌気性処理指標としての妥当性については結論づけることは出来なかった。また、粒径分画した下水間の水質の差は槽上部ではみられなかったが、20μm以下の粒径の小さい下水を嫌気攪拌しても槽底部では汚泥が生じないことがわかった。

第7章 BOD, COD試験における硫化物の影響実験

7.1 目 的

嫌気処理水のBOD, CODの測定をする際、嫌気処理水中に含まれる硫化物の酸化に酸素が消費される分だけ値が増加する。この増加量を理論値と実験値から求めると共に、ばっきによる硫化物の減少の程度を求めることを実験の目的とする。

7.2 硫化ナトリウム添加影響実験その1 (実験B1)

(1) 原 理

ウインクラ法による溶存酸素量の試験においては、酸素消費率が40~70%になることが望ましいとされている。飽和溶存酸素量 $C_s = 8.8 \text{ mg/l}$ (20℃) とすると、 5 mg/l 程度の酸素消費が望ましいことになる。ふらんビンの容量を 100 ml とすると、これは 0.5 mg の酸素消費に相当する。

今、ふらんビン中の酸素消費が、人工下水と硫化物で等量行なわれるように設定するものとする。そのためには、硫化物によって $0.5 / 2 = 0.25 \text{ mg}$ の酸素消費が行なわれる必要がある。イオウ酸化菌の働きにより、硫化物が全量硫酸塩に酸化されると仮定すると、 $\text{S}^{2-} + 4\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$, $\text{S} = 32$, $\text{O} = 16$ であるから、硫化物 1 mg に対し、酸素は 2 mg 必要となる。従って、酸素 0.25 mg に対し、 0.125 mg のイオウが必要となる。

(2) 方 法

硫化物を添加した試料、添加しない試料を、希釈倍率を変えて用意し、0, 1, 2, 3, 4, 5 日後の溶存酸素量を求めて、それぞれのBODを求めた。硫化物の添加は、硫化ナトリウムを無酸素水で溶解して作成した 1 mg-S/ml の標準原液を40倍希釈したものを 5 ml 、ふらんビン中に加えることにより行った。

検水として表7-1に示す組成をもつ人工下水を用いた。検水の希釈には、生下水を植種した希釈水を用いた。

(3) 結 果

結果を図7-1に示す。植種水BODの $\text{BOD}_1 \sim \text{BOD}_4$ を行なわなかったため、硫化ナトリウム添加なしの $\text{BOD}_1 \sim \text{BOD}_5$ の値から $\text{BOD}_1/\text{BOD}_5$, $\text{BOD}_2/\text{BOD}_5$, ……をそれぞれ算出し、植種 $\text{BOD}_n = (\text{BOD}_n/\text{BOD}_5) \times \text{植種水BOD}_5$ で植種 BOD_n を求めた。

(4) 考 察

硫化物を添加したBODは添加しないBODと比べて理論的に2倍の値となるが、 20 ppm 程度のみ上昇した。この原因として以下の2つが考えられる。

① 希釈操作の際硫化物が硫化水素として放散した。

② $\text{S}^{2-} + 4\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$ の反応が最後まで進行しなかった。

①の対策としては、pHをあげ揮散を防ぐことが考えられる。

②に対しては、 SO_4^{2-} および S^{2-} を BOD_0 と BOD_5 で測定してみると判明すると考えられる。また、

イオウ酸化菌の活動がpH等の影響で阻害されていることも考えられる。

7.3 硫化ナトリウム添加影響実験その2（実験B2）

(1) 方法

実験B1の再実験を実験B2として行った。実験方法は実験B1と同様であるが、今回用いた人工下水（表7-2）が調整後2日経過しており、好気性菌が十分繁殖していると判断し、植種は行わなかった。また、2～5日目に、硫化ナトリウム5mlと希釈した人工下水の混合液の硫化物と、硫化ナトリウム5mlと希釈水の混合液の硫化物を $BOD_2 \sim BOD_5$ と共に測定した。

(2) 結果と考察

硫化ナトリウムの添加の有無によるBODの結果を図7-2に示す。また硫化ナトリウム5mlと希釈水の混合液の硫化物濃度を図7-3に示す。2～5日経過後の硫化ナトリウム5mlと希釈した人工下水の混合液からは硫化物は検出されなかった。

この実験では、硫化物添加ありとなしのBOD値は殆ど差がなく、逆転さえみられる結果となった。その原因はとして以下の2つが考えられる。

- ① 好気性菌が十分に存在しなかったため、硫化物の酸化がおこなわれなかった。
- ② 硫化ナトリウムを添加後、ただちに固定を行わなかったため、その間に酸素消費が進行し、 DO_0 値が低くなった。飽和溶存酸素 8.93 mg/l に対し、添加ありの DO_0 が $6.67 \sim 7.60\text{ mg/l}$ 、添加なしの DO_0 が $8.08 \sim 8.93\text{ mg/l}$ であった。

好気性菌が十分存在しなかったと仮定したとき、硫化ナトリウム5mlと希釈水の混合液の硫化物が2日後には検出されなかったことの理由として、好気性菌の有無とは無関係に硫化物の減少が起きたと考えざるをえないが、その機構については不明である。

7.4 嫌気処理水を用いた酸素固定時間影響実験（実験B3）

(1) 目的

実験B1、B2より、硫化ナトリウム添加下水のBODが理論値より低かったのは、硫化ナトリウムを希釈した瞬間から酸素消費がはじまり、 DO_0 のための酸素固定を行う以前にすでに相当量の溶存酸素が消費されたため、見掛け上BOD値が小さくなったためと考えられる。この影響を排除するには、酸素固定を希釈後すみやかに行えばよいが、手順の都合でかなり時間が経過した後になることもありえる。ここでは、 DO 、硫化物濃度に対する希釈時から固定時までの時間の影響を調べることが目的とする。

(2) 方法

第5章で用いた嫌気処理水（ $BOD\ 100\text{ mg/l}$ 、 $COD\ 230\text{ mg/l}$ 、硫化物 8 mg/l ）をBOD用希釈水で20倍希釈した検水をふらんビンにつめ、0分、5分、10分、15分、20分後に酸素固定を行い、 DO を測定すると同時に硫化物を分析した。

(3) 結果

結果を表7-3に示す。固定までの時間が長くなっても、 DO 、硫化物濃度は全く変化しなかった。なお、原水の水温、pH、ORPは、それぞれ 12.8°C 、6.7、 -188 mV で十分嫌氣的であった。

(4) 考 察

今回の試験では、希釈した嫌気処理水を検水として用いたため、ふらんビン中には好気性菌が十分存在しなかったと考えられる。硫化物は、 $8\text{ mg}/\ell$ と、前回の $1.25\text{ mg}/\ell$ より高濃度であったが、嫌気性菌の反応速度が遅く、20分ではDOや硫化物濃度に変化が生ずるに至らなかったと考えられる。

7.5 硫化ナトリウムを用いた予備実験（実験C1）

(1) 原 理

COD_{cr}試験においては、酸化剤の酸素消費率が50%前後になることが望ましいとされている。酸化剤として、N/40の重クロム酸カリウムを用いる場合のCODは、次式で表される。

$$\text{COD} = (b - a) \times 200 / V$$

酸化剤添加量を 10 mL 、検水量 V を 20 mL とすると、検水のCODとしては、

$$10 \times 0.5 \times 200 / 20 = 50 (\text{mg}/\ell)$$

程度であるのが望ましいことになる。

7.2でも述べたように、硫化物が完全に酸化されると仮定したときのイオウと酸素の重量比は1:2であるから、イオウ濃度が $25\text{ mg}/\ell$ 、すなわち $0.025\text{ mg}/\text{mL}$ の溶液を検水として用いればよい。

(2) 方 法

1) 試料を 20 mL 入れた後の放置時間の影響時間

試料を 20 mL 入れた後、重クロム酸 10 mL を加えるまでの放置時間を0分、5分、15分、1時間としたときのCODの値を調べた。

2) 重クロム酸 10 mL を入れた後の放置時間の影響実験

重クロム酸 10 mL を入れた後、硫酸-硫酸銀溶液 30 mL を加えるまでの放置時間を0分、15分、1時間とした時のCODの値を調べた。

3) 予め試料を窒素ガスでばっ気した時の影響実験

試料を 200 mL ビーカーに入れ、窒素ガスでばっきした時のCODの値を調べた。ばっ気時間は5分、10分とした。また、濃硫酸を3滴加えた実験も同様に行なった。

試料として、硫化ナトリウムを溶解させて作った $1\text{ mg-S}/\text{mL}$ の標準原液をさらに希釈した $0.025\text{ mg-S}/\text{mL}$ の溶液を用いた。なお、希釈としては N_2 ガスで1時間程度ばっきした溶存酸素のない水を用いた。

(3) 結果と考察

表7-4に分析結果を示す。

1) 0分、5分と経過するにつれ、CODは $51\text{ mg}/\ell$ 、 $47\text{ mg}/\ell$ と減少したが、15分、1時間では逆に $49\text{ mg}/\ell$ 、 $52\text{ mg}/\ell$ と上昇した。しかし明確な差ではなく、全て同値とみなせば、放置時間の影響はなかったといえる。すなわち、試料添加と重クロム酸添加の間において、空気との接触による硫化物の酸化はなかったといえる。

また、実験値は理論COD $50\text{ mg}/\ell$ とほぼ同一であったので、添加した硫化物は全て酸化されたと考えられる。

2) 放置時間0分、15分、1時間において、COD値はそれぞれ $47\text{ mg}/\ell$ 、 $48\text{ mg}/\ell$ 、 $51\text{ mg}/\ell$ であり、明確な差はなかった。従って、1)同様放置時間中に硫化物の酸化はなかったといえる。

3) 硫酸を添加しない場合 (pH 10.2), ばっき時間 5 分の値が大きめであったため, 10 分の場合との比較はできないが, 10 分の COD 値は大きく減少していないため, 硫化物より生じた硫化水素の揮散については明確でない。一方硫酸を添加した場合 (pH 2.0), COD が殆どなかったことから, 殆どの硫化物は硫化水素となり揮散したといえる。またばっき時間 5 分, 10 分間で差はなかった。

(4) 考 察

COD_{cr} 試験においては, 塩素イオンの妨害を防ぐために予め硫酸水銀をいれる。検水を硫酸水銀入りのフラスコに入れると, pH が 2 付近まで低下した。このとき硫化水素の電離平衡式 $\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HS}^-$ において平衡が左にずれ, 硫化物が硫化水素となって揮散したと考えられる。しかし, 試験中において硫化水素の臭いは感じられなかった。これは試料が 20ml と少なかったこと, 硫化水素が検水中に溶解することが原因と考えることができる。

一方, きわめて低い pH にもかかわらず硫化水素は揮散しなかったと考えることもできる。すなわち, 硫化ナトリウムがフラスコ内の硫酸水銀と添加直後に反応し, 極めて難溶解性の硫化水銀 HgS を生成するが, 硫化水銀は重クロム酸や硫酸-硫酸銀を添加し, pH が 0 以上に低下しても溶解せず, 2 時間の加熱中に溶解し, 重クロム酸を消費するものとする。このように仮定すると, 硫酸水銀を適量入れる限りにおいて, 硫化物は全量 COD の増加に影響するといえる。

注) 0.4 g の硫酸水銀 ($M_w = 200.6 + 96 = 296.6$) は 0.0013 モルに相当する。一方 $0.025 \text{ mg} \cdot \text{S} / \text{ml}$ の硫化ナトリウム溶液 20ml 中のイオウ量は $0.5 \text{ mg} \cdot \text{S}$ であり, これは 0.000002 モルに相当する。従って硫化物は全量硫化水銀に変わり得る。

7.6 嫌気処理水を用いたばっき効果予備実験 (実験 C 2)

(1) 方 法

湖北総合実験施設に設置した嫌気処理装置から発生する処理水を用いて, BOD, COD 試験における検水の前ばっきの効果を調べた。ばっきには窒素ガスを用いた。ばっき量は $18 \sim 23 \text{ ml} / \text{秒}$ であった。BOD 試験では, 1) ばっきあり, 植種なし, 2) ばっきなし, 植種なし, 3) ばっきなし, 植種ありの 3 種類の検水を作成した。なお COD 試験では, 空気によるばっき試験を合わせて行った。

(2) 結果と考察

結果を表 7-5 に示す。BOD, COD とともにばっき後にわずかに値が減少した。しかし, 硫化物量の減少量を測定しなかったため, これが硫化物の減少によるものかについては明確でない。

7.7 嫌気処理水を用いたばっきによる硫化物減少速度測定実験 (実験 C 3)

(1) 方 法

実験 C 2 では, 実下水中の硫化物量の測定は行わなかったため, 今回は, ばっきによる硫化物の除去量を調べた。ばっきには窒素ガスと空気を用い, ばっき量が $18 \sim 23 \text{ ml} / \text{秒}$ になるよう調整した。

(2) 結果と考察

結果を表 7-6 に示す。ばっきがすすむにつれ, pH が上昇した。これは硫化物が硫化水素のかたちで揮散し, 水中の水素イオン濃度が減少したためである。一方空気ばっきでは, ばっきの進行により ORP が上昇した。これは, ばっきにより溶存酸素が増加したためである。窒素ガスのばっきによる硫化水素の揮散による ORP の上昇がなかった理由は不明である。

ばっき時間 t と硫化物残存率 C/C_0 との関係を図 7-4 に示す。 t と C/C_0 との関係式を、 $\log(C/C_0) = -kt + b$ で表したときの速度定数 k (単位 1/分) を図から求めると、窒素ガスばっきで 0.02, 空気ばっきで 0.06 となった。すなわち、空気による速度定数が窒素の 3 倍大きいという結果となった。

7.8 嫌気処理水を用いた COD へのばっき効果実験 (実験 C 4)

(1) 方法

実験 C 2 の継続実験として、窒素ガスばっきの前後で硫化物を測定するとともに、COD 試験を行った。検水は、実験 C 2 と同様のものを用いた。ばっき量は 18~23 ml/秒になるよう調整した。

(2) 結果と考察

結果を表 7-7 に示す。20 分の窒素ガスばっきで、硫化物は 7.3 mg/l から 0.73 mg/l へと確実に減少したが、COD はばっき後にわずかに上昇した。この結果は実験 C 1 の結果と矛盾するが、原因は不明である。

7.9 結 論

(1) BOD

1) 硫化物添加により BOD の測定値は増加したが、実験による増加値は理論値より低かった。その理由として、DO₀ 測定時の酸素固定までの時間が長かったことや、理論通りに反応が進まなかったことが考えられる。

2) ふらんビン中の硫化物は、好気性菌によって速やかに酸化された。好気性菌が不足すると、酸化は進行しなかった。

3) 硫化物を添加した検水の窒素ガスばっきにより、BOD はわずかに減少した。

(2) COD

1) 硫化物は COD 試験操作時の放置時間には影響を受けず、全量が COD 値の増加に寄与した。

2) 硫化物を添加した検水の pH を 2 まで低下させ窒素ガスばっきを行うと、硫化物は硫化水素となり揮散し、COD はわずかであった。pH = 7.0 付近で窒素ガスばっきを行うと、硫化物は減少したが、COD はわずかに変化した。

3) 硫化物残存率 C/C_0 とばっき時間 t との関係を $\log(C/C_0) = -kt + b$ で表したときの速度定数 k を、窒素ガスと空気について求めた結果、空気による速度定数は窒素のその 3 倍であった。

表7-1 人工下水の組成 (実験B1)

デキストリン	2.3 g
肉エキス	4.9 g
酵母エキス	5.6 g
ペプトン	4.9 g
塩化ナトリウム	0.5 g
リン酸第一カリウム	1.4 g
塩化カリウム	1.0 g
塩化第二マグネシウム六水和塩	0.84 g
硫酸マグネシウム	1.2 g
希釈水量 51×21/13.3 ml	

表7-2 人工下水の組成 (実験B2)

デキストリン	18 g
肉エキス	50 g
酵母エキス	50 g
ペプトン	20 g
塩化ナトリウム	2.5 g
リン酸第一カリウム	17.5 g
塩化第二マグネシウム六水和塩	2.5 g
硫酸ナトリウム	13.2 g
希釈水量 51×251/250 ml	
炭酸水素ナトリウム	0.75 g
希釈水量 51×21/13.3 ml	

表7-3 嫌気処理水のIBOD
実験 (実験B3)

経過時間	DO (mg/l)	硫化物 (mg/l)
ブランク	9.0	0.07
0	8.0	0.33
5	8.0	0.35
10	8.2	0.33
15	8.0	0.31
20	8.0	0.30

表7-4 様々な条件によるCOD値 (実験C1)

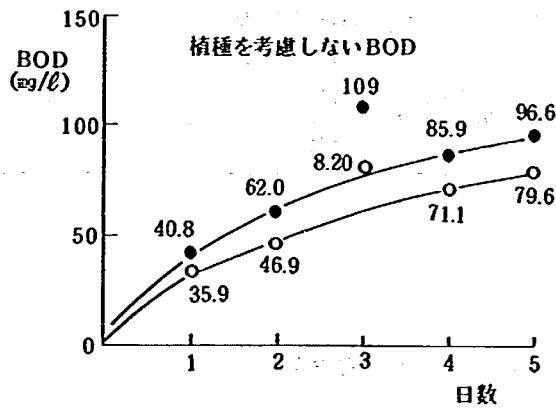
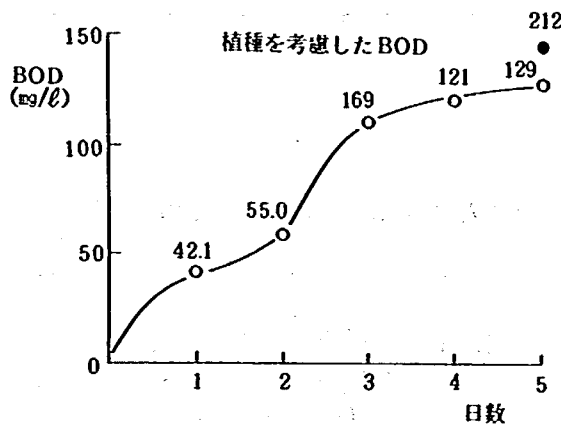
条件	COD (mg/l)
1. 硫酸水投入リフラスコに試料添加後 0分放置して重クロム酸を添加	51
2. 硫酸水投入リフラスコに試料添加後 5分放置して重クロム酸を添加	47
3. 硫酸水投入リフラスコに試料添加後 15分放置して重クロム酸を添加	49
4. 硫酸水投入リフラスコに試料添加後 60分放置して重クロム酸を添加	52
5. 硫酸水投入リフラスコに試料と重クロム酸を添加後 0分放置して硫酸-硫酸水銀を添加	47
6. 硫酸水投入リフラスコに試料と重クロム酸を添加後 15分放置して硫酸-硫酸水銀を添加	48
7. 硫酸水投入リフラスコに試料と重クロム酸を添加後 60分放置して硫酸-硫酸水銀を添加	51
8. 試料を窒素ガスで 5分間ばっき (pH=10.2)	58
9. 試料を窒素ガスで 10分間ばっき (pH=10.2)	47
10. 試料を窒素ガスで 5分間ばっき (pH=2.0)	5
11. 試料を窒素ガスで 10分間ばっき (pH=2.0)	5

表7-5 様々なばっき条件による実験 (実験C2)

	BOD (mg/l)	COD (mg/l)
ばっきなし	128	254
(植種あり)	103	215
ばっきあり (窒素)	113	237
(空気)		209

表 7-6 様々なばっき条件による水質値 (実験 C 3)

	水温 (°C)	pH	ORP	硫化物 (mg/l)	硫化物残留率
ばっき前	11.6	7.06	-166	2.4	1.00
窒素ばっき後5分	12.0	7.71	-174	1.2	0.50
同 10分	12.6	7.99	-174	0.88	0.37
同 20分	13.8	8.37	-169	0.51	0.22
ばっき前	12.4	7.11	-157	1.9	1.00
空気ばっき後5分	13.9	7.82	-111	0.86	0.45
同 10分	14.9	8.22	-90	0.48	0.25
同 20分	15.6	8.36	-68	0.35	0.18



上昇倍率 (1.14) (1.32) (1.34) (1.21) (1.21)

図 7-1 硫化物の添加による BOD の上昇 (実験 B 1 ●硫化物添加, ○硫化物添加なし)

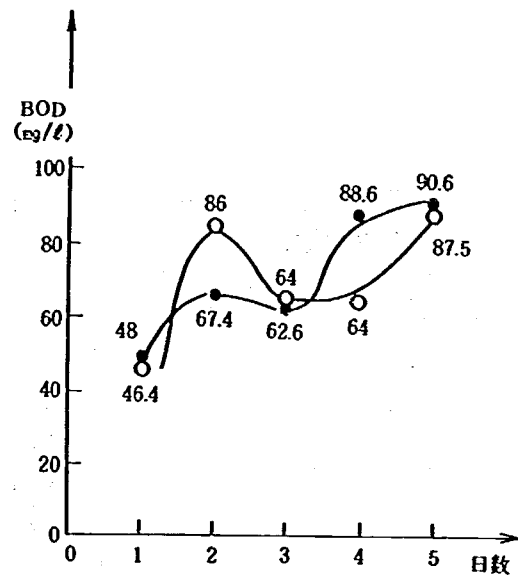


図 7-2 硫化物の添加による BOD の上昇 (実験 B 2, ●硫化物添加, ○硫化物添加なし)

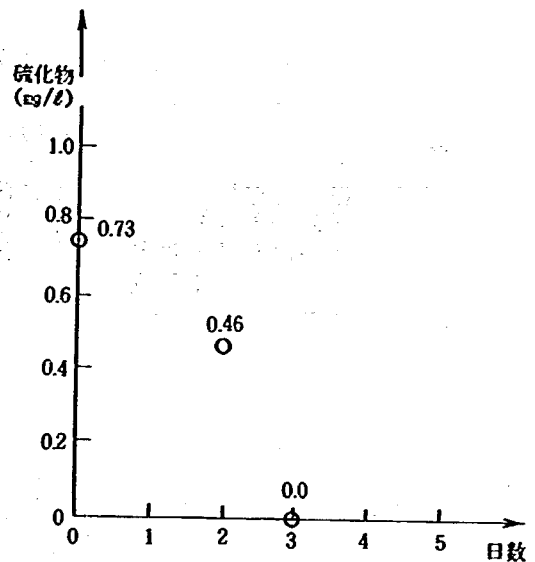


図 7-3 硫化物量の経時変化 (実験 B 2)

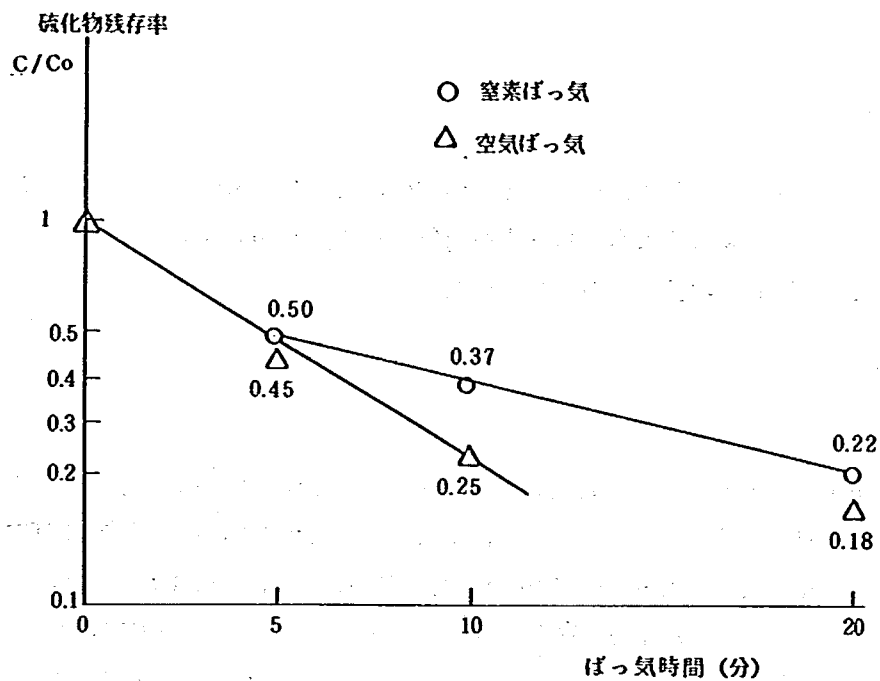


図 7-4 ばっ気時間と硫化物残存率 (実験 C 3)

表 7-6 ばっ気前後の水質値 (実験 C 4)

	水温(°C)	pH	ORP	硫化物(mg/ℓ)	COP(mg/ℓ)
ばっき前	12.4	5.81	-173.0	7.3	208
後	13.3	8.49	-171.7	0.73	221

(空気量は18~23 mℓ/S)

第8章 連続式嫌気性処理実験

8.1 目 的

第6章では、嫌気性処理指標として、硫酸イオンの減少に着目した実験について述べた。本章では、連続流入式嫌気性処理実験装置の流入水と処理水を対象として、BOD、COD、TOC、硫酸イオンを中心とした水質項目を分析し、項目間の相関を調べた。

8.2 方 法

(1) 実験の概要

実験装置の概要を図8-1に示す。実験装置は、重金属の汚泥中への蓄積量を調べることを目的としたものであり、昭和62年7月から運転開始され、新しく水質分析を始めた昭和63年10月には安定した処理が行なわれていた。装置の大きさ直径10 cm、有効長さ50 cm、容積4 ℓの上向流式で攪拌は行なわなかった。装置および人工下水槽は30℃恒温室に置かれた。流入水の入口には砂を敷き、汚泥の堆積による閉塞を防止した。流入水量は10 ℓ/日であり、滞留時間は9.6時間であった。

流入下水の組成は表7-2に示したものに塩化第二銅1.33 g、塩化ニッケル2.03 g、塩化亜鉛1.05 gを加えたものであった。なお、実験中、11月28日に汚泥をほぼ全量引き抜いたが、その後汚泥の生成速度が非常に遅く、処理水水質も悪化したままであったため、12月19日に遠心濃縮した消化汚泥を2.2 ℓ (4.200 mg/ℓ, 92.4 g) 投入した。また11月30日以降は人工下水中へ重金属の添加を中止した。

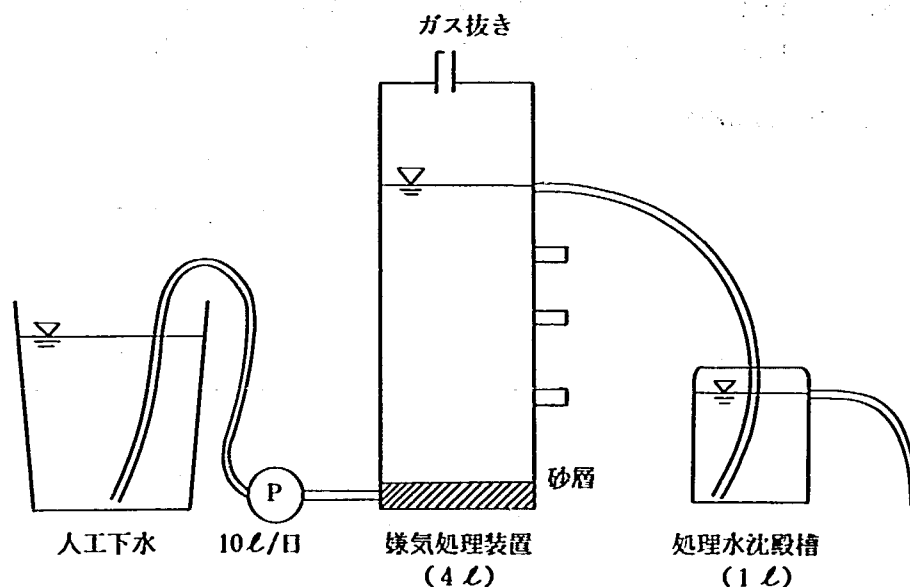


図8-1 装置の概要

(2) 分析方法、人工下水調整方法

採水および分析は、当初、BOD、CODなど分析の手間がかかるものは、日をずらして1週間に1検体の割合で分析を行っていたが、1月より、原則として毎週金曜日に採水したのに対し、全て

の項目の分析を行なうこととした。pH, ORP, TOC, 硫酸イオンなどの簡易に分析可能なものについては、毎日分析を行なった。

人工下水は、高濃度のものを週1回作成し、冷蔵庫に保存した。これを原則として月水金の週3回希釈、調整を行い、流入原水とした。

8.3 結果と考察

流入水の分析結果を表8-1および図8-2から8-9に、処理水の分析結果を表8-2および図8-10から8-18に示す。

(1) 流入水

流入水は3~4日毎に調整し、30℃の恒温室におかれたため、調整から時間が経過すると、嫌気化が進行し、pH, ORPが低下する傾向がみられた。また、調整時からの経過時間が各採水時で異なったため、BOD, SS, TOC, 硫化物が大きく変動したが、COD, 硫酸イオンには大きな変動はなかった。また11/30以降は重金属の投入を中止したため、硫化物が上昇すると共にORPが低下した。

実験期間中の平均水質は、BOD, COD, SS, TOC, 硫酸イオンで、それぞれ102, 202, 41, 61, 19 mg/ℓであった。

(2) 処理水

汚泥引抜きを行なった11月28日直後の水質が極端に悪化した他は、比較的水質は安定していた。特に1月後半から実験終了時までは、BODが10 mg/ℓ以下、SSが20 mg/ℓ以下と大変に安定していた。相対的にみて、pH, ORP, BOD, SBOD, SCOD, TOC, アンモニア性窒素, リン酸の変動が小さく、COD, SS, 硫酸イオン, 硫化物の変動が大きかった。

実験期間中の平均水質は、BOD, COD, SS, TOC, 硫酸イオンで、それぞれ24, 88, 33, 16, 6.3 mg/ℓであったが、処理が安定した1月26日以降の平均水質は、それぞれ6.6, 37, 12, 11, 4.2 mg/ℓと全期間中に比べ低下した。特に、BOD, COD, SSでは全期間平均値の1/2~1/3近くまで低下した。

(3) 硫酸イオンと他項目間の相関

硫酸イオンの他項目間の相関を、図8-19から8-26に示す。比較的相関が強かったのは、BOD, COD, NH_4 の3つであった。他の項目については相関が殆どみられなかった。特に硫化物とは負の相関があると思われるが、明確にあらわれなかった。

(4) 硫酸イオン以外の項目間の相関

硫酸イオン以外の項目間の相関が比較的強かったものを図8-27から8-36に示す。この中でもBODとSBOD, BODとTOC, SBODとSCOD, SBODとTOC, CODとSCOD, SCODとTOCの間に特に強い相関がみられた。

(5) 硫酸イオンの除去率と他項目の除去率

(3)で硫酸イオンと他項目間に相関がみられなかったため、除去率を比較することとした。各指標の除去率を図8-37から8-41に示す。BOD, COD, SSの除去率は比較的安定していた。特に1月後半から実験終了にかけては、BODで90%以上、CODではほぼ75%以上、SSではほぼ70%以上の除去率を示した。一方TOC, 硫酸イオンは除去率に変動が大きかった。これは、人工下水の調整から時間が経過すると、易分解性の有機物が除去され、難分解性の有機物が流入するため、除去率が低下す

るためと考えられる。

BOD除去率とCOD除去率との相関を図8-42に示す。両者の相関は強くなかった。

硫酸イオン除去率とBOD, COD, TOC, SS除去率との相関を図8-43, 8-44に示す。これによると, BOD, COD, TOC, SS除去率との相関が殆どなかったことがわかる。相関係数は対BODで-0.0, 対CODで-0.3であった。

8.4 結 論

嫌気性処理における硫酸イオンの処理指標としての妥当性を検討するため, 人工下水を流入水とした嫌気性処理室内実験を行い, 流入水, 処理水のBOD, COD, TOC, SS等の水質項目との相関を調べたところ, 処理水の硫酸イオン濃度と他項目の処理水濃度, 硫酸イオンの除去率と他項目の除去率とのあいだに殆ど相関がないことがわかった。ただし, BOD, SBOD, COD, SCOD, TOCの間にはかなり強い相関があった。

なお, 処理水沈殿槽に貯留された汚泥量と濃度を測定したところ, 表8-3のようになった。すなわち, MLSSで1.9mg/ℓ, MLVSSで1.0mg/ℓであることがわかった。

実験終了時に汚泥を引抜いたところ, 汚泥量3.7ℓ, MLSS 34,800mg/ℓ, MLVSS 13,200mg/ℓであった。

<参考>

処理水の分画実験を, 第3章~5章の粒径分画調査に準じて行なった。結果を表8-4に示す。ただし, 2月8日は, 第5章に述べた実験装置による嫌気処理水を用いた。1月24日, 1月25日の処理水は, 20μm以下の画分が少なかったが, 2月8日のものは, BOD, SS共に, 20μm以下の占める割合が大きかった。

表 8-1 流入水の水質 (単位mg/ℓ)

流入水										単位 mg/l										
日付	水温 (℃)	pH	ORP (mv)	BOD	S-BOD	COD	S-COD	SS	VS	TOC	SO4	S2	TP S	T	KN S	T	NH4	NO2	NO2+3	PO4
10/11	27.3	6.5	207	102				44		32.6	32.6									
10/12	27.4	5.88	178			246		47		35.9	35.9									
10/18	26.3	5.36	163			190		39		75.1	33						7.1	0.01	0.02	8.6
10/20	25	6.42	62.3										10.2	11.6	7.1	8.9				
10/21	26	5.41	167	136						80.6	46.6	0.09								
10/24	24.7	6.01	-6.3							48.1	19.7									
10/25	25.4	5.37	149		23.6			40		78	20.4		8.6	9.2	15.2	18.9	10.4	th	th	8.5
10/26								39	18											
10/28	26.3	6.23	168	74.5						50.9	19.2	0.1								
11/01	25.1	5.31	223		243			40		74.7	18.1		9.75	9.85	15.2	19.1	8.22	th	0.03	9.7
11/04	24.6	5.89	15	97.3						45.6	19.4	0.15								
11/08	23.8	6.36	54.8		190			65		53.6	19.4		11.6	11.9	13.9	21.2	7.7	0.01	0.01	11.5
11/11	24.5	5.81	27	69.3						35.8	30.5	0.15								
11/15	24.5	4.86	220		23.8			36		81.8	19.1		8.65	8.9	15.3	19.2	7.35	th	th	7.9
11/18	23.2	6.46	148	98.3						45.7	19.4	0.25								
11/22	23.9	5.14	237		223		27.5			88	18.4		9.35	9.8	10.2	23.3	5.85	th	th	9.1
11/25	24.3	5.6	240	126						66.8	20	0.09								
11/30	25	5.54	196		247		44			72.2	20.7		10.1	10.2	17.6	26.5	7.7	th	0.01	9.35
12/02	24.4	5.34	103	176						74.5	19.1	0.08								
12/06	25.4	4.96	105					20		83.9	20.9		10.3	10.9	21.2	28.7	9.04	th	0.01	9.65
12/09	26	5.18	-30	76.8						92.3	19.6	0.18								
12/13	27	5.21	-103		176		50			49.6	13.2		10.3	10.9	20	22.6	9.48	th	th	6.45
12/16	26.3	6.28	-81	89.6						40.6	17	0.69								
12/20	26.1	5.54	44.5		218		51			73.4			9.4	10.1	30.4	59.5	7.99	th	th	9.3
12/23	25.1	6.16	-44	85							16.3	0.47								
12/27	25	5.02	42.5		234		39			89.5	19.5		9.85	10.9	26.4	26.4	7.85	th	th	9.6
01/06	26.1	6.85	-144	23.9						34.2	10.2	1.2								
01/09	27.5	7.28	140							20.1	14.3									
01/10	27.2	5.3	22							90.2	20.5		9.6	9.8	12.9	19.8	6.73	th	th	9.5
01/12	26.8	6.76	-160							34.7	14.1									
01/13	26.4	5.41	24	137	230		35.5			74.6	19.0	0.1	9.5	11.4	24.4	32.8	6.86	th	th	9.75
01/17	26.4	7.06	-147							38.5	12.1									
01/18	26.7	5.36	119							85.7	20.8									
01/19	26.7	6.25	-164							84.3	21.9									
01/20	26.7	5.23	-14	149	285		41.5			86	20.2	0.15	9.65	10.2	16.3	25.8	6.97	th	th	9.65
01/23	26.4	6.85	-189							46.1	13.9									
01/24	26.1	5.22	-38							53.5	24.6									
01/25	26.3	6.04	-149							53.5	10.1									
01/26	26.3	5.28	-35	96.8	236		29			76	14.3	0.2	10.4	11.8	19.6	33.5	6.04	th	th	10.3
01/27	26	6.54	-161							34.7	30.4									
01/30	26.5	6.3	-185							32.7	13.9									
01/31	27	5.52	-48							63.6	19.5									
02/01	27	6.46	-160							52.1	12.9									
02/02	27.2	5.22	-22							90.6	21									
02/03	26.3	5.93	-190	94.5	205		43			54.8	15.9	1.48	10.4	11.2	11.8	21.5	11.3	th	th	9.9
02/06	26.5	6.87	-146							34.7	16.1									
02/07	26.3	5.43	-45							77	18.2									
02/08	25.8	5.94	-182							51.7	13.3									
02/09	26.1	5.25	-40							82.6	20.5									
02/10	25.5	5.92	-172	0.8	199		57			49.4	16.5	0.78	9.35	11.2	10.8	21.5	10.8	th	th	8.65
02/14	26.9	6.03	-45							107	22.5									
02/15	25.3	5.19	-86							77.1	22.7									
02/16	25.9	6.71	-130							34.2	18.3									
02/17	26.9	5.67	-90	128	229		42			68.1	20.8	0.01	11.3	11.7	24.1	24.7	10.1	th	th	10.1
02/20	26.1	6.94	-127							26.3	15.1									
02/21	26.5	5.39	-43							81.3	20.7									
02/22	25	5.75	-134							55	11.7									
02/23	26.9	5.24	-45	164	253		33			78.3	21.9	0.17	9.35	11.3	23	24.2	8.21	th	th	8.55
02/27	26.3	7.44	-62							32.6	17.4									
02/28	27	5.49	-50							73.2	20.5									
03/01	27.2	5.99	-132							70.5	18.1									
03/02	27.8	5.64	-323	155	220		37			84.7	19.4	0.81	9.8	10.4	18.3	25.9	7.26	th	th	2.18
03/06	26.9	7.15	-154							24.7	9.8									
03/07	27.4	5.67	-38							87.4	21.1									
03/08	27.2	6.48	-188							54.9	14.9									
03/09	27.2	5.42	-47							91.1	20									
03/10	26.9	6.12	-172	92	181		32			52.6	12.8	2.55								
全期間平均				102.		202.		40.5		60.9	19.0	0.48	9.89	10.0	17.6	25.2	8.14	0.00	0.00	8.91
1/26以降平均				104.		217.		39		59.6	17.9	0.85	10.1	9.31	17.9	25.2	8.95	0	0	8.28

表 8-2 処理水の水質 (単位mg/ℓ)

処理水 日付	単位 mg/ℓ															
	水温 (℃)	pH	ORP (mv)	BOD	SBOD	COD	SCOD	SS	VS	TOC	SO4	S2	TP S	T T	KN S	T
10/11	27.2	7.23	180	55	10			83	19	16.4	16.4					
10/12	28	6.97	201			60	44	59		14.9	14.9					
10/18	27.1	6.81	68.7			35	20.4	52	14	8.7	30				12.7	th
10/20	26.4	7.02	-53										8.7	9.4	13.4	14.6
10/21	29.1	6.34	-104	27.4	26					19.6	35.6	1.5				
10/24	28.2	6.24	-121							16	38.7					
10/25	29.9	6.31	-137			62.4	27.5	21	14	11.8	17.1		8.8	9.1	17.7	18.1
10/26								19		2						
10/28	30	6.33	-97	17.1	12.6					18	4.4	2.2				
11/01	29.5	6.05	-124			80.2	39.6	11.5	11.5	15.9	2.3		9.75	9.9	15.2	17.3
11/04	28.2	6.12	-109	23.5	12					14.8	3.5	2.5				
11/08	28.7	6.37	-98			55.1	29.7	22.5	17.5	15.2	2.94		12	12.3	16.9	18.9
11/11	28.3	5.98	-120	27.3	9.78					16.5	4.07	3.19				
11/15	29	6.07	-165			45	24	14	13	1.84			9	9.5	16.3	20.8
11/18	28.1	6.47	-198	21	8.05					12.8	3.34	1.77				
11/22	28.1	6.16	-161			86	28	11.5	10	15.9	0		10.1	10.5	17.6	25.7
11/25	29.3	6.36	-142	16.1	8.8					8.3	1.5	1.3				
11/30	29.4	6.87	-123			143	109	42	12	39.7	0.3		9.35	9.9	19	24
12/02	29.1	5.85	-134							36.3	3.4	1.65				
12/06	27.6	5.84	-130					32	22	45.1	1		9.45	10.4	20.7	27.2
12/09	29.3	6.17	-154	148	112					45.5	1.4	4.19				
12/13	29.5	6.11	-140			107	75	24	21	35.1	7.4		10.5	10.6	21	24.1
12/16	29.6	6.04	-120	44.6	28.1					26	6	0.91				
12/20	29.4	6.41	-39			615	79	60.5	53	41.8			20.7	20.8	66.5	14.9
12/23	29.6	6.11	-173	27.9	4.9						21	3.19				
12/27	29	6.1	-150			26.9	147	137	23.5	20.4			11.9	15.4	26.8	36.9
01/06	29.7	6.54	-113	14.5	3.54					22.1	2.7	1.96				
01/09	30.1	6.71	-51							16.3	3.3					
01/10	29.7	6.28	-111							17.6	3.6		8.9	10.3	23.6	26.7
01/12	30	6.27	-144							34.5	3.5					
01/13	30.2	6.45	-140	9.46	3.4	81	19	44.5	5.5	7.8	2	2.14	10.6	10.8	23.1	32
01/17	30.1	6.8	-39							18.1	8.2					
01/18	29.9	6.21	-107							8.71	4.6					
01/19	29.2	6.39	-109							13.7	11.7					
01/20	29.6	6.36	-169	11	7	59	30	43	5	8.6	6.1	1.6	11.2	11.4	30.3	31.2
01/23	29.5	6.38	-153							32	9.6					
01/24	29.3	6.11	-141							10.8	4.3					
01/25	29.3	6.06	-166							10.8	4.1					
01/26	29.4	6.03	-184	5.8	3	60	21	19	3	11.6			3	10.5	12.3	27.4
01/27	29.4	6.18	-177							13.5	1.9					
01/30	29.3	6.09	-117							11.2	5.4					
01/31	30	6.62	-111							13.7	4.7					
02/01	29.3	6.52	-32							12.5	5.4					
02/02	29.7	6.38	-111							15.1	2.3					
02/03	29.2	6.04	-179	8.5	3.7	42	23.6	9	5	12.1	3.9	1.02	14.9	15.6	28.3	30.8
02/06	29.4	6.36	-145							14.6	3.2					
02/07	29.4	6.23	-161							8.6	0.2					
02/08	29.4	6.21	-167							8	0.7					
02/09	29.1	6.17	-158							10.6	4.6					
02/10	29.1	6.23	-132	6.12	1.55	41	16.4	17	3	8.2	11.8	0.13				
02/14	29.1	6.07	-142							13.5	4.1					
02/15	29.4	6.11	-130							8.1	4					
02/16	29.2	6.36	-86							7.5	6					
02/17	29.4	6.08	-90	7.6	2.8			18	5	7.7	8.1	0.01				
02/20	29.5	6.38	-171							13.5	3.1					
02/21	29.6	6.16	-165							10.1	3.6					
02/22	29.2	6.08	-142							11.2	0.7					
02/23	29.1	6.29	-170	6.5	3.4	30	21	7.5	5	10.1	13.3	2.79	13.4	13.6	27.1	38.2
02/27	29.9	6.85	-197							12.2	4.3					
02/28	30	6.57	-168							8.3	2.3					
03/01	29.5	6.36	-168							9.6	4.1					
03/02	29.5	6.44	-226	4.7	2.3	25	19	8	5.5	8.6	11.3	1.42	11.1	11.2	30.3	31.5
03/06	29.9	6.62	-181							11.9	2.7					
03/07	30.3	6.51	-257							10.1	1.5					
03/08	30.1	6.48	-255							14.8	3.4					
03/09	30.2	6.46	-193							12.5	3.9					
03/10	30	6.61	14	6.7	2.2	23	22	7.3	7.3	12.6	9.5	2.46				
全期間				23.9	13.2	88.2	41.8	33.1	12.7	16.1	6.62	1.94	11.1	11.8	24.5	26.0
1/26以降				6.56	2.70	36.8	20.5	12.2	4.82	11.1	4.64	1.54	12.4	13.1	28.2	34.2
															0	0.00
															0	9.00

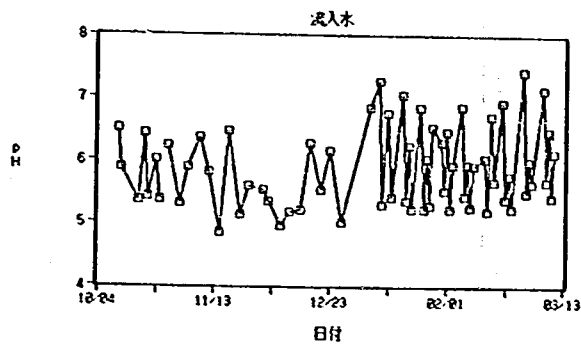


図 8-2 流入水の pH

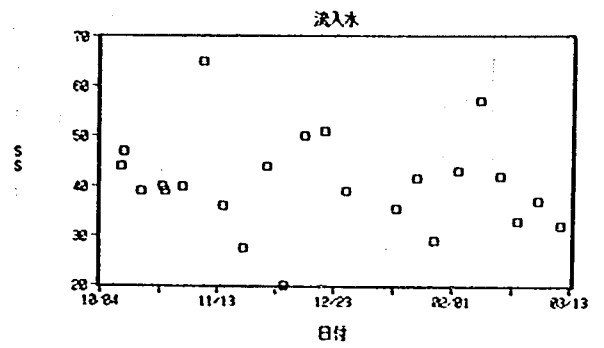


図 8-6 流入水の SS

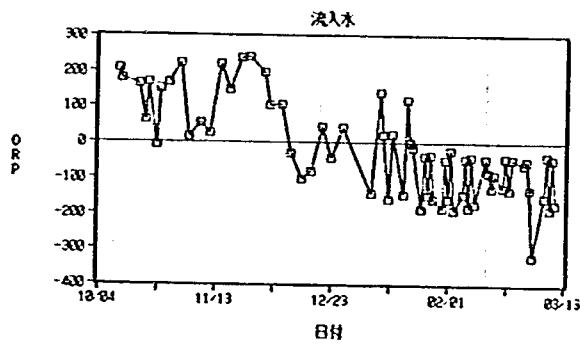


図 8-3 流入水の ORP

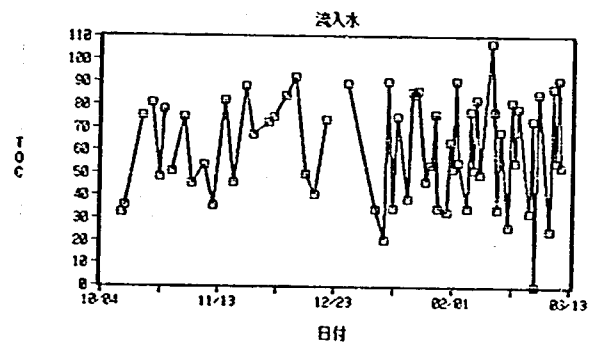


図 8-7 流入水の TOC

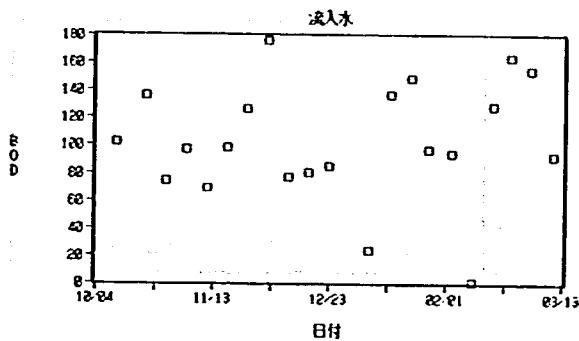


図 8-4 流入水の BOD

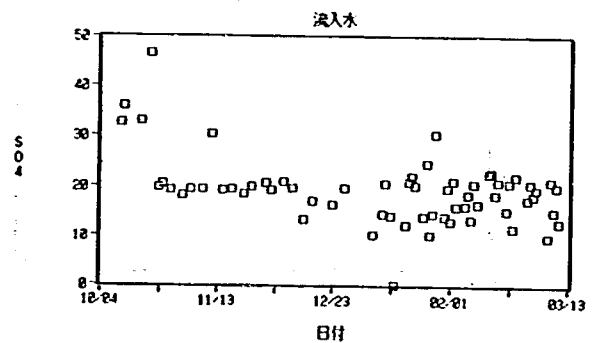


図 8-8 流入水の硫酸イオン

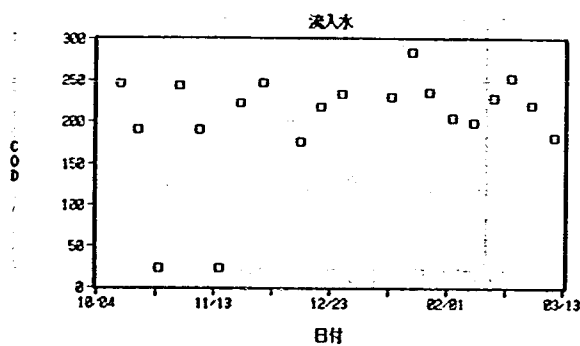


図 8-5 流入水の COD_{cr}

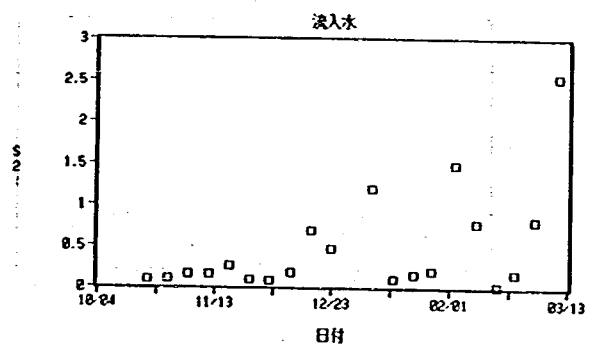


図 8-9 流入水の硫化物

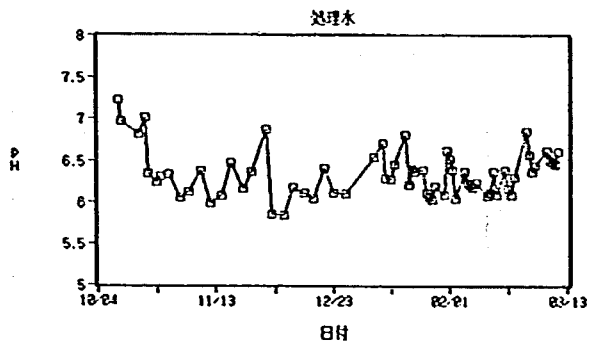


図 8-10 処理水の pH

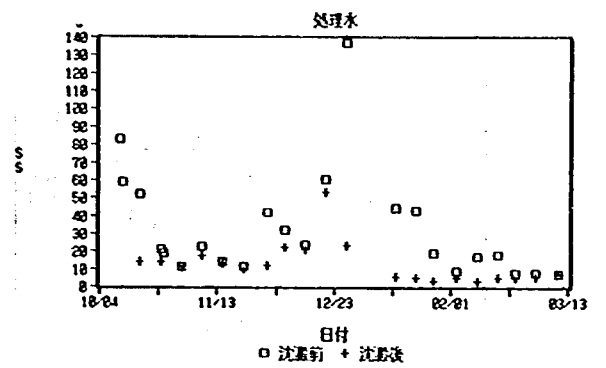


図 8-14 処理水の SS

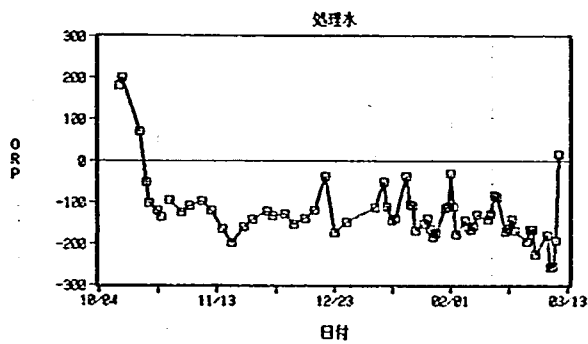


図 8-11 処理水の ORP

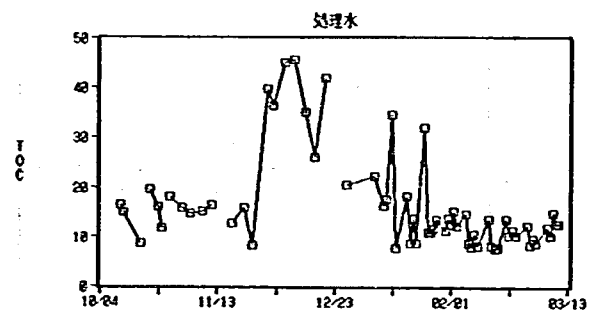


図 8-15 処理水の TOC

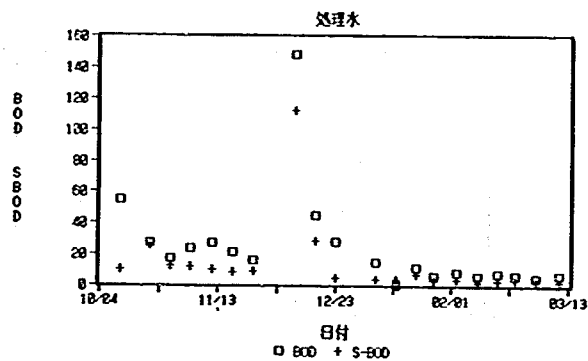


図 8-12 処理水の BOD, SBOD

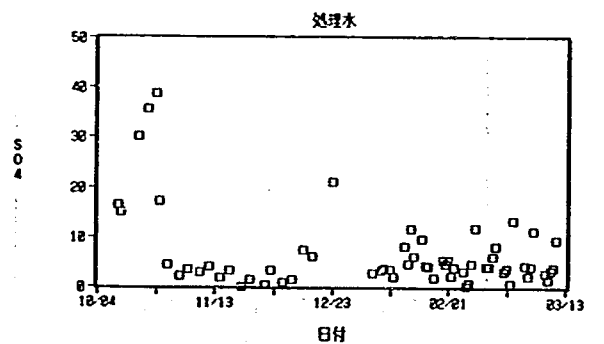


図 8-16 処理水の硫酸イオン

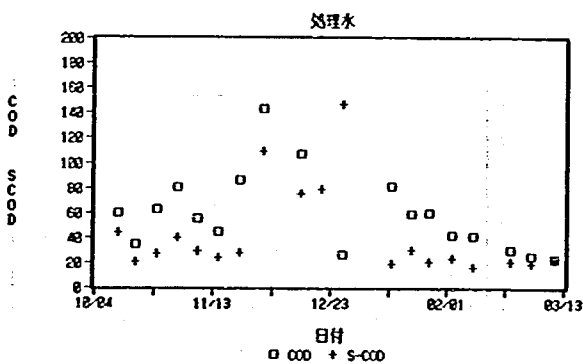


図 8-13 処理水の COD, SCOD

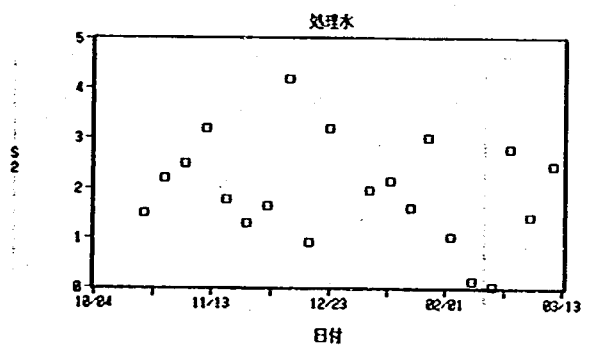


図 8-17 処理水の硫化物

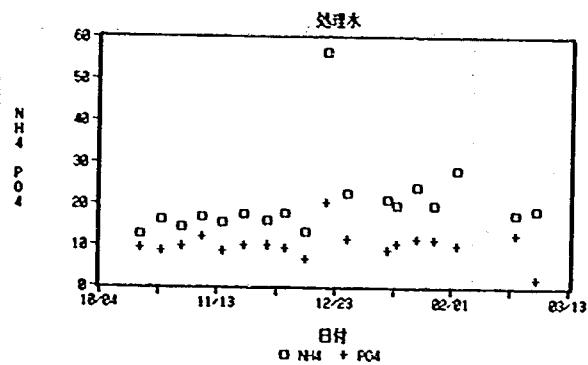


図8-18 処理水のアンモニア性窒素, リン酸

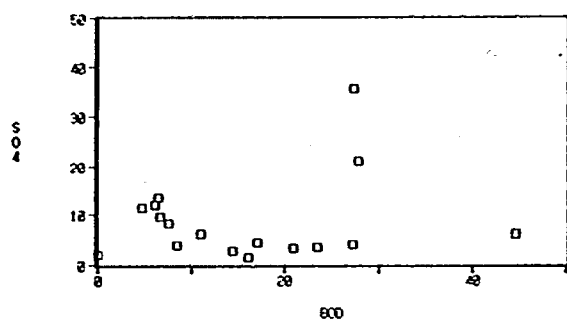


図 8-19 処理水のBODと硫酸イオンの相関

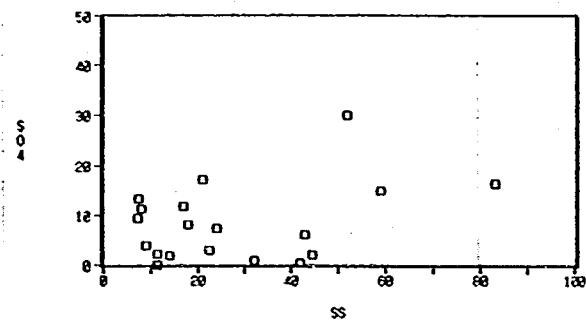


図 8-23 処理水のSSと硫酸イオンの相関

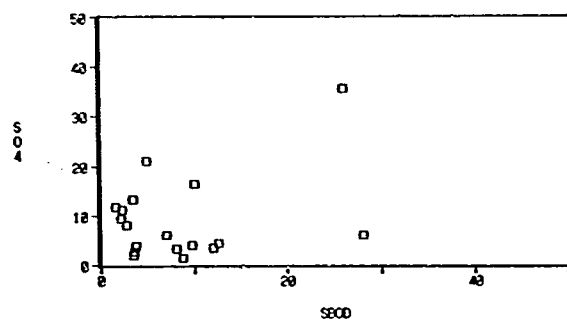


図 8-20 処理水のSBODと硫酸イオンの相関

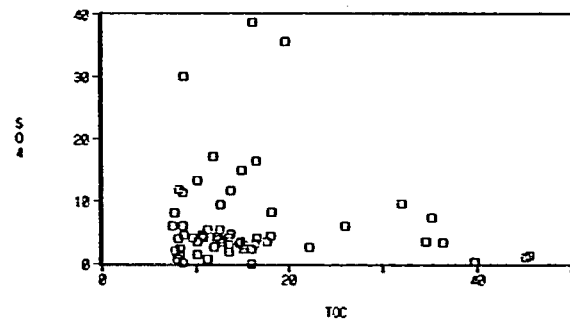


図 8-24 処理水のTOCと硫酸イオンの相関

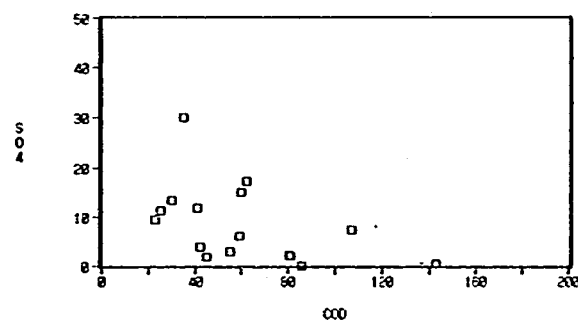


図 8-21 処理水のCODと硫酸イオンの相関

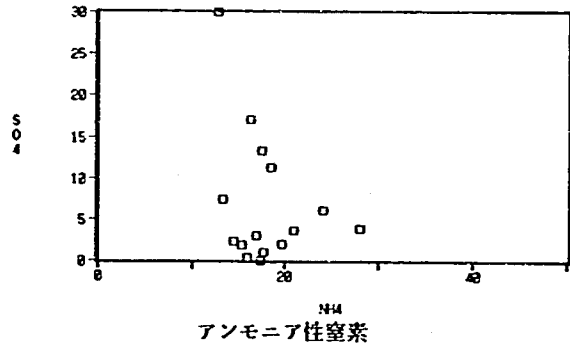


図 8-25 処理水のアンモニア性窒素と硫酸イオンの相関

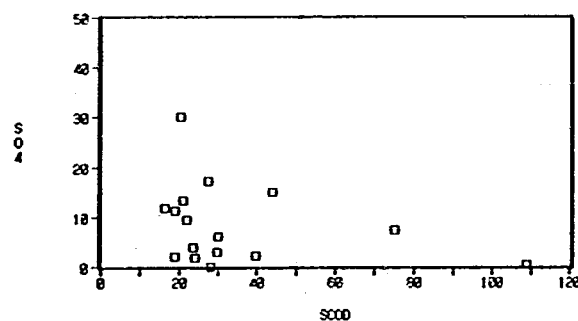


図 8-22 処理水のSCODと硫酸イオンの相関

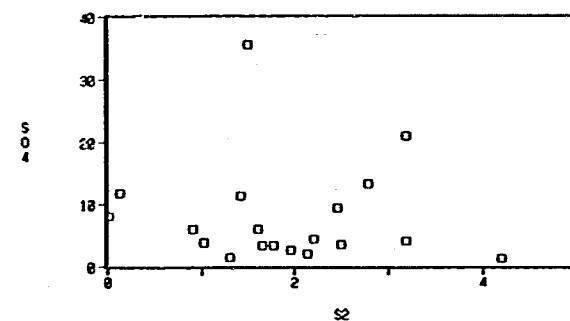


図 8-26 処理水のTOCと硫酸イオンの相関

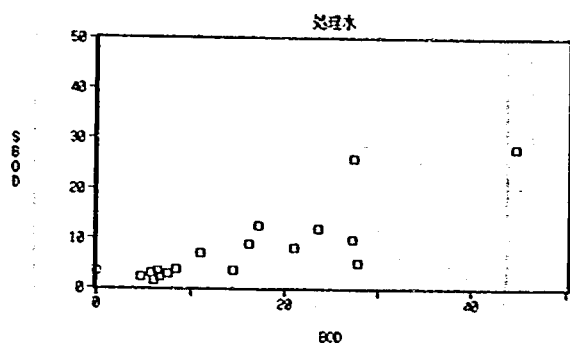


図 8-27 処理水のBODとSBODの相関

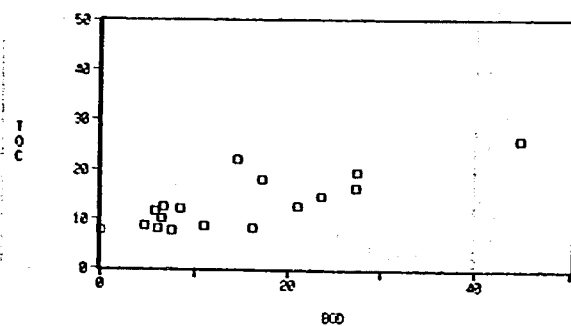


図 8-30 処理水のBODとTOCの相関

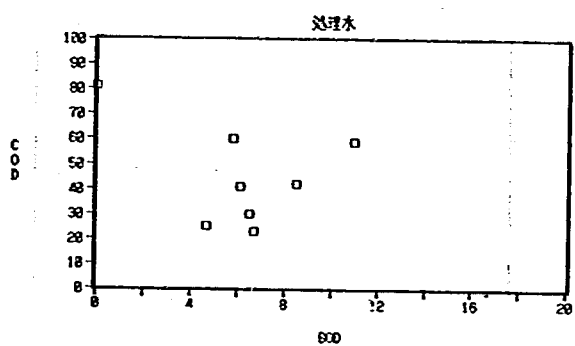


図 8-28 処理水のBODとCODの相関

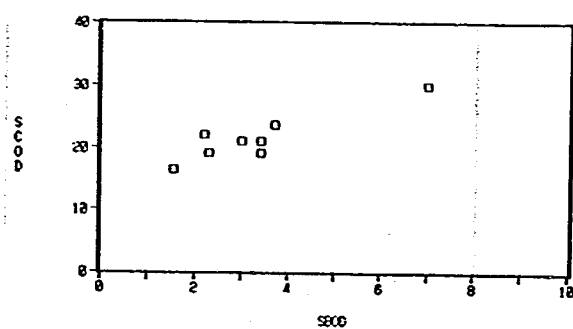


図 8-31 処理水のSBODとSCODの相関

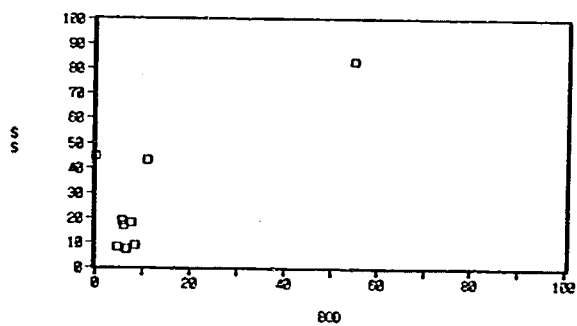


図 8-29 処理水のBODとSSの相関

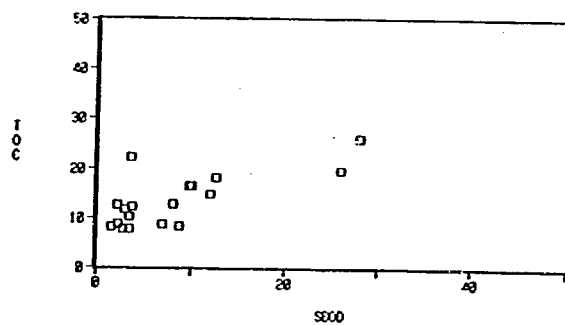


図 8-32 処理水のSBODとTOCの相関

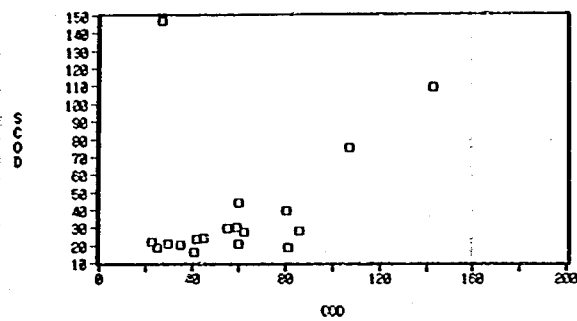


図 8-33 処理水の COD と SCOD の相関

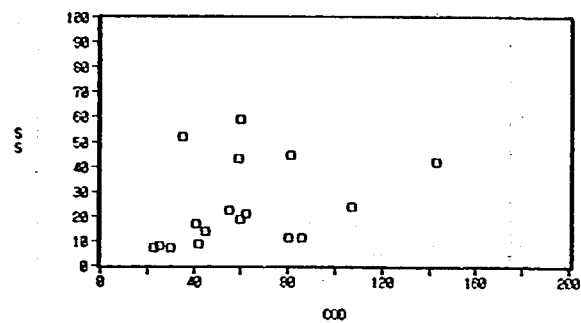


図 8-34 処理水の COD と TOC の相関

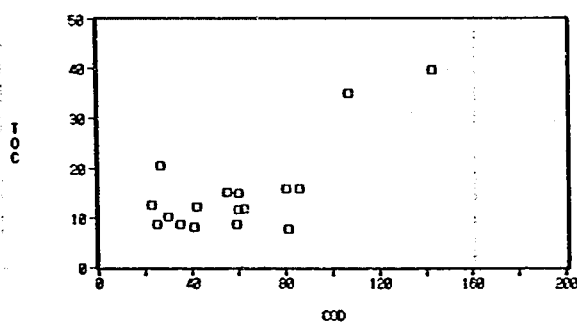


図 8-34 処理水の COD と SS の相関

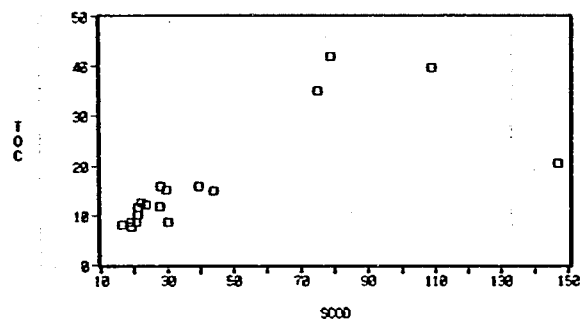


図 8-36 処理水の SCOD と TOC の相関

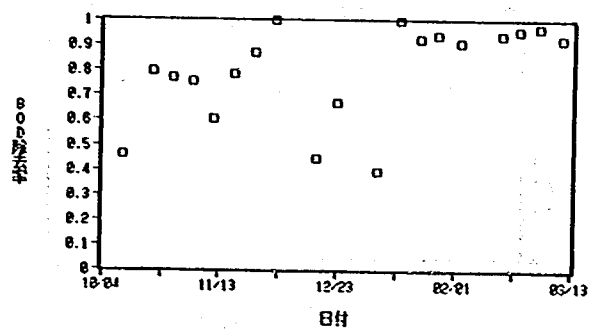


図 8-37 BOD除去率

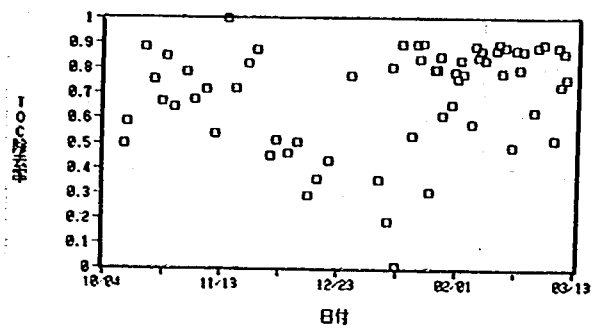


図 8-40 TOC除去率

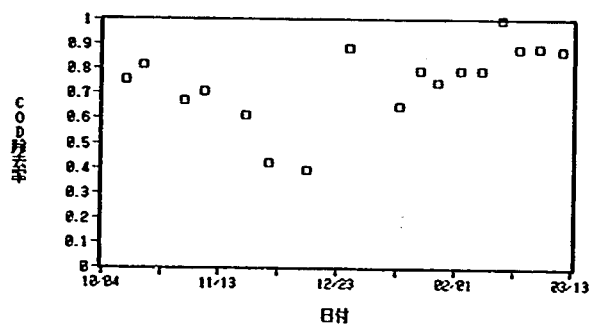


図 8-38 COD除去率

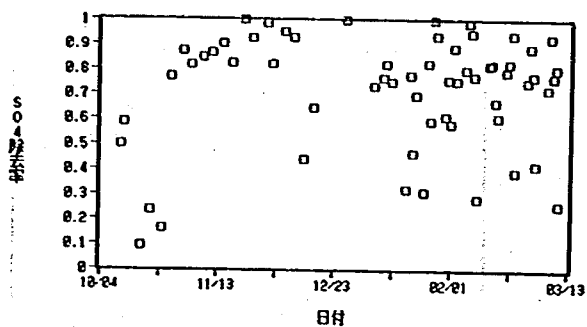


図 8-41 硫酸イオン除去率

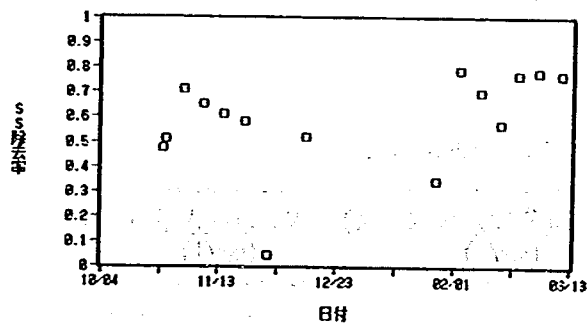


図 8-39 SS除去率

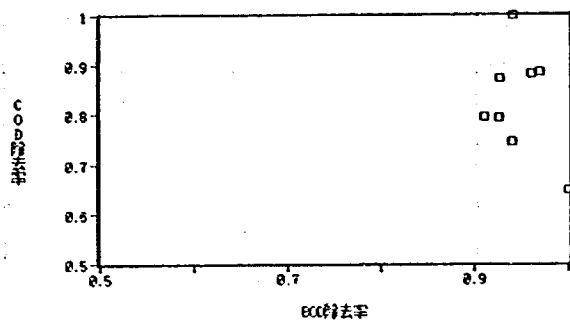


図 8-42 BOD除去率とCOD除去率の相関

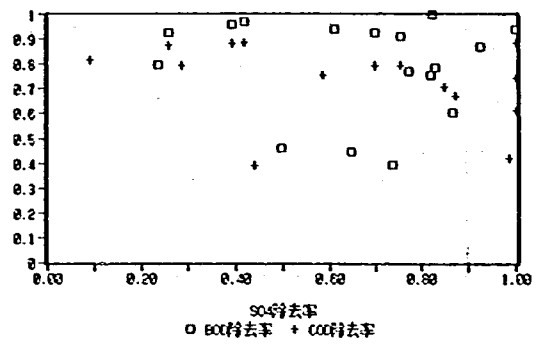


図 8-44 硫酸イオン除去率とTOC除去率, SS除去率の相関

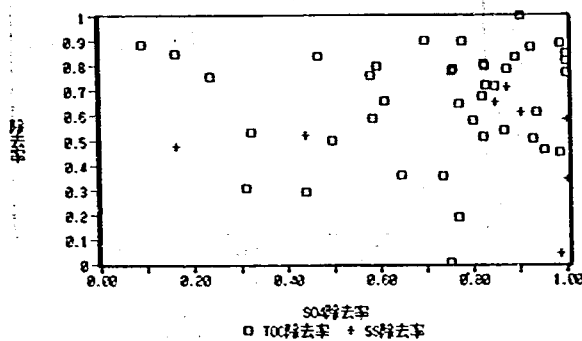


図 8-43 硫酸イオン除去率とBOD除去率, COD除去率の相関

表 8-3 処理水沈殿槽の汚泥量と汚泥濃度

採取日	採取量 (ml)	MLSS (mg/l)	MLVSS (mg/l)	SS (mg)	VS (mg)	SS(処理水量ベース) (mg/l)	VS(処理水量ベース) (mg/l)
2月20日	1530	29100	15700				
2月28日	1060	139	139	147	81	1.8	1.0
3月7日	1120	116	116	130	64	1.9	0.9

表 8-4 嫌気性処理の分画実験 単位mg/ℓ

	SS(1/24)	SS(1/25)	SS(2/8)	BOD(2/8)
原水	25	19	64	120
250μm以下	21	14	52	106
105μm以下	14	13	47	102
53μm以下	9	5	45	109
20μm以下	4	3	30	89

第9章 結論と今後の課題

9.1 結 論

(1) 下水中の固形物負荷の特性

固形物負荷の特性を把握するため、いくつかの下水処理場や実験施設の様々な下水を対象とした粒径分画調査を行い、以下の結論を得た。

1) 処理区の特性の異なる4つの処理場の流入下水において、流域面積の大きい処理場ほど、粒径の全範囲にわたって均等に固形物が存在した。

2) 家庭下水を主とする実下水における粒径1 μm 以下の画分における除去率は、嫌気処理（滞留時間5時間の上向流式加温型嫌気処理槽および滞留時間5時間の沈殿槽）で7%，最初沈殿池（滞留時間14時間）で0%であった。

3) 画分20 μm 以下の下水を直径19.4 cmの円筒管に20 ℓ 入れ、20℃、1 rpmで攪拌したが嫌気汚泥は発生しなかった。

(2) 嫌気性処理指標の開発

嫌気性処理における最適な指標を開発するため、室内実験を行い、以下の結論を得た。

1) 嫌気処理水のBOD測定時において、DO₀における酸素固定までの時間中に好気性菌による硫化物の酸化が速やかに進行することがわかった。

2) 嫌気性処理のCOD測定時において、硫化物はCOD値の増加に寄与した。また、窒素ガスばっきを行なうと硫化物は揮散したが、COD値の変化はわずかであった。

3) 硫酸イオンと他の水質項目の相関は殆どなかった。しかし、BOD、COD、TOCの間にはかなり強い相関がみられた。

9.2 今後の課題

(1) 下水中の固形物負荷の特性

下水処理場の各処理過程、特に前段固液分離槽における、固形物の除去特性を、流入負荷量や容積負荷量をの設定条件を変化させ、粒径別に調査し、生物処理にとって最適な固形負荷を求める。

(2) 嫌気性処理指標の開発

硫酸イオンにかわる嫌気性処理指標の探求を行う。

第10章 管渠内流下に伴う下水性状変化調査

10. 1 目的

各家庭や事業所から排水される下水が下水管を流下して、終末処理場に到達するまでには、下水管で沈降・堆積・付着あるいは生分解などの作用を受けて、下水の性状が変化している。合流式下水道などでは、晴天時に管内に蓄積された負荷が雨天時に掃流されるが、分流式下水道の污水管で、雨水の侵入があまり見られないところなどでは、管内蓄積負荷の掃流はみられず、管内清掃によってのみ負荷の除去が行われる。管内清掃の頻度は多いところでも年に2回程度であるから、殆ど常に負荷が管内に存在する状況であり、これが流下する下水の水質や、管内環境に悪影響を及ぼす可能性が考えられる。

ここでは、流入のない十分に長い下水管の2点の水質を調べることによって下水性状の変化がどれくらい起きているのかを把握することを目的とする。

10.2 方法

流入のない十分に長い下水管の区間として、流域下水道の幹線に焦点を絞り、候補地を探したところ、神奈川県相模川流域下水道左岸幹線の一部約4 kmが適当であることがわかったので、ここを調査区間とした。

図10-1に調査地点を示す。図中のB、C間が流入のない区間である。Aは参考のため採水を行った地点である。

採水は、1986年3月12日に行ったが、試料のろ過の前日にろ紙の前洗浄を行ったためか孔径が小さくなる程濃度が高くなってしまったので、4月17日に再調査を行った。採水においてA、B、Cと同一水塊を得るよう考慮した。すなわちAでの流速から流量を求め、縦断面図から管きょ区間の区間長、管径、勾配を知りマンニング式より流速を求め、区間毎の流下時間を求め足し合わせていった。A点での流量はB点、C点の流量の7割近くを占めるので、途中流入の影響は無視した。また、A点からB点まではかなりの地表勾配を持つため、A B間にはいくつかの落差工があったが、その影響は無視した。A B間、B C間の管渠の諸元を表10-1に示す。

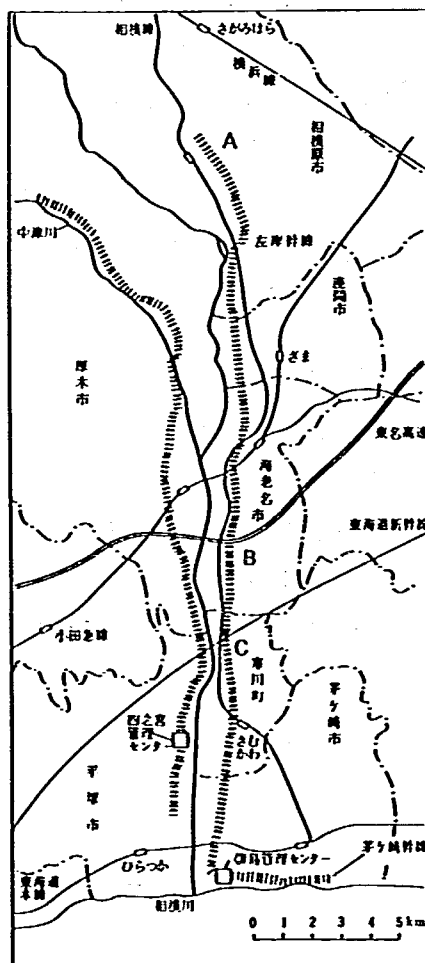


図10-1 調査地点

採水時刻はA点, 8:00, B点, 12:30, 13:00, 13:30, C点, 14:30, 15:00, 15:30であった。

B, Cについては1:2:1の量比でコンポジットサンプルとした。採水された試料は直ちに分析場所に移送され, 分画が行われた。

分画の区分は, 1,000 μm , 500 μm , 125 μm , 63 μm , 20 μm (口径20 cmのふるい), 5 μm , 1 μm , 0.65 μm , 0.1 μm (口径4.7 cmのろ紙)であった。目詰まり防止のためのふるいの洗浄, ろ紙交換, および溶出防止のためのろ紙の使用直前洗浄を行ったため, 時間と労力を多く費やした。

10. 3 結果と考察

表10-2に分析結果を示す。BC間では流量が同一となるよう計算して採水したにもかかわらず, Bで0.99 m^3/s , Cで0.79 m^3/s と20%近い誤差が出てしまった。これはB点で横流入があり, その影響を受けたものと考えられる。

A, B, C 3点で流量が異なるので, 流量×水質=負荷量を計算してみると表10-3のようになった。まずAとBを比較すると, 大腸菌群数と一般細

表10-1 管渠の諸元

	A~B	B~C
区間距離L (m)	15247	4011
管径 (mm)	2400~3600	3600~3700
主たる落差工の数	5	1(2.6m)
管底の高低差H (m)	63	6.7
管底勾配 (%)	1.1~0.8	0.8
みかけの勾配H/L (%)	4.5	1.7

表10-2 管渠内の堆積調査—流入水のない2点における水質

項 目	A地点	B地点	C地点
流量 (m^3/s)	0.59	0.99	0.79
流速 (m/s)	1.51	1.30	0.98
水温 ($^{\circ}\text{C}$)	15.8	16.9	17.0
pH	7.4	7.4	7.5
DO (mg/ℓ)	6.2	0.0	0.4
SS (mg/ℓ)	296	263	133
COD(Mn) (mg/ℓ)	132	120	62
BOD (mg/ℓ)	339	272	132
TOC (mg/ℓ)	162	138	70
TS (mg/ℓ)	674	633	470
VTS (mg/ℓ)	395	330	165
硫酸イオン (mg/ℓ)	34	43	54
蛋白質 (mg/ℓ)	185	184	72
脂質 (mg/ℓ)	70	56	29
炭水化物 (mg/ℓ)	229	159	75
揮発性有機酸 (mg/ℓ)	41	38	29
大腸菌群数 (個/ml)	110×10^4	149×10^3	173×10^3
一般細菌数 (個/ml)	240×10^5	520×10^4	140×10^4

表10-3 管渠内流下に伴う下水性状変化—負荷量ベース

	A地点	B地点	C地点
流 量 (m^3/s)	0.59	0.99	0.79
SS (kg/s)	0.17	0.26	0.11
COD (kg/s)	0.078	0.12	0.049
BOD (kg/s)	0.20	0.27	0.10
TOC (kg/s)	0.096	0.14	0.055
TS (kg/s)	0.40	0.63	0.37
VTS (kg/s)	0.23	0.33	0.13
硫酸イオン (kg/s)	0.020	0.043	0.043
たん白質 (kg/s)	0.11	0.18	0.057
脂 質 (kg/s)	0.041	0.055	0.023
炭水化物 (kg/s)	0.14	0.16	0.059
有 機 酸 (kg/s)	0.024	0.038	0.023
大腸菌群数 ($10^6/\text{s}$)	65×10^4	148×10^3	137×10^3
一般細菌 ($10^6/\text{s}$)	142×10^5	515×10^4	111×10^4

菌数を除いた全ての項目で負荷量が増加している。これはA B間で流入があったためである。一方、BとCを比較すると、全ての項目において負荷量が減少している。またBOD、COD、SSなどの項目において負荷量が半分かそれ以上減少しているのに対し、揮発性有機酸が40%の減少のみであるのが特徴的である。これは、B C間において揮発性有機酸の生成を示唆するものと推論されるが、一方硫酸イオンの負荷量が一定のため確かなことはいえない。

分画した試料の水質試験結果を表10-4に示す。ろ紙を用いた粒径5 μm 以下の分画の値がどの項目とも上昇していることから、ろ紙からの溶出が起こったと考えられる。従って粒径5 μm 以下の値についてはここでは言及しない。

表10-4 管渠調査における分画後の水質試験結果

項 目		ふるいによる分画					ろ紙による分画			
		1000 μ	500 μ	125 μ	63 μ	20 μ	5 μ	1 μ	0.65 μ	0.1 μ
A 地点	BOD	330	287	192	196	150	152	141	279	
	TOC	162	166	113	123	60.1	37.1	52.0	92.3	86.3
	TS	832	768	694	616	330	378	348	424	586
	VTS	55.3	58.6	42.9	50.6	20.0	93.7	82.2	41.7	53.9
	たんばく質	179	157	91.3	133	93.9	60.6	74.9	50.1	2.3
	脂 質	67.6	40.8	44.0	82.8	33.2	42.4	38.0	16.4	5.6
	揮発性有機酸	110	126	100	104	89.3	60.4	94.8	90.5	95.1
	炭 水 化 物	47.5	34.0	12.2	16.3	12.6	4.5	5.5	11.9	23.8
	大腸菌群数	82×10^4	107×10^4	69×10^4	127×10^4	93×10^4	30×10^4	31×10^3	64×10	0
	一般細菌数	402×10^4	232×10^4	400×10^4	328×10^4	412×10^4	50×10^4	23×10^4	23×10^3	5
B 地点	BOD	191	197	169	125	107	409	93.5	276	278
	TOC	82.8	86.0	81.7	61.9	35.3	35.8	46.3	82.9	79.0
	TS	570	549	549	436	392	346	347	464	651
	VTS	43.5	47.0	50.5	53.2	40.8	31.2	33.1	43.8	62.2
C 地点	BOD	167	96.6	101	93.5	86.3	154	183		
	TOC	49.3	49.7	52.6	48.7	41.2	48.7	55.0	87.3	179
	TS	412	396	372	380	361	374	316	430	738
	VTS	57.5	30.3	87.1	38.4	28.0	71.4	30.4	41.2	62.5

TS, VTS, TOC, BODの4項目に関して,
 (20 μ mふるい通過水濃度) / (原水濃度) を求
 めたのが表10-5である。この値は4項目ともに
 増加していることから, AB間, BC間で, 堆積,
 付着等による固形物の管内への蓄積, 固形物の可
 溶化が確実に起きていることがわかった。

表10-5 (20 μ mふるい通過水濃度) /
 (原水濃度)

	A	B	C
TS (mg/l)	.61	.67	.91
VTS (mg/l)	.40	.48	.81
TOC (mg/l)	.23	.42	.74
BOD (mg/l)	.36	.51	.74

参 考 文 献

- 1) 例えば, 丹保, 亀井, 高橋, 「好気性化学プロセスからの代謝産成分の挙動と性質 (I)」下水道協会誌 V18, N 210, 1981
- 2) 何, 丹保, 亀井, 「高速液体クロマトグラフィーによる凝集処理性の評価」土木学会第41回年講第2部門講演概要集 pp935~936, 1986
- 3) J, V, Balmat. et al, Biochemical oxidation of various particulate fractions of sewage, Sewage and industrial wastes. Vol.29, No 7, 1957
- 4) H, Heukelekian. et al, Chemical Composition of the particulate fractions of domestic sewage Sewage and industrial wastes. Vol.31, No 4, 1959
- 5) D, A, Rickert. et al, General nature of soluble particulate organics in sewage and secondary effluent Water Research. V 5 pp421~436, 1971
- 6) 小倉啓宏他「粒径分布からみた下水処理場内の有機物の挙動」土木学会第38回年講第2部門講演概要集 pp825~826, 1983
- 7) A, D, Levin. et al, Characterization of the size distribution of contaminants in wastewater : treatment and reuse implications. J. WPCF. V57 N 7, 1985
- 8) 京才, 佐藤, 小越, 「物理化学処理の評価に関する研究」土木研究所資料第2509号 pp 397~402, 1987
- 9) 木全, 「嫌気性排水処理プロセスの開発と下水処理への適用」技術開発部技術資料61-005 日本下水道事業団技術開発部, 1987
- 10) 「下水の嫌気性処理に関する調査 (昭和61年度)」建設省都市局下水道部, 土木学会, 1987
- 11) 「下水の嫌気性処理に関する調査 (昭和62年度)」建設省都市局下水道部, 土木学会, 1988

謝 辞

研究を進めるにあたって、Y下水処理場、A、B、C、D下水処理場、茨城県霞ヶ浦浄化センター、神奈川県、神奈川県下水道公社の諸氏には下水の採水等に関して、㈱日水コン、東京水処理管理株式会社、㈱建設技術研究所の諸氏、土木研究所水質水文共同実験棟の酒井弘子さん、片岡節子さんには実験装置の管理および下水の分析等に関して、竹石和夫室長をはじめとする下水道研究室のメンバーには研究全般について、それぞれ多くの協力や助言を得た。ここに記して感謝いたします。

下水性状の生化学的特性に
関する研究

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2753号
平成元年3月(1989)

下水道部 下水道研究室 室長 竹石和夫
樽原 隆
小沢 登

要 旨 下水中の固形物の特性を把握するため、いくつかの下水処理場や実験施設の様々な下水を対象とした粒径分画調査を行い、流域面積の大きい処理場ほど、粒径の全範囲にわたって均等に固形物が存在する等の結果を得た。また、嫌気性処理における最適な指標を開発するため、室内実験を行い、硫酸イオンと他の水質項目の相関を明らかにした。

キーワード：下水道、固形物、粒径分画、嫌気性処理、指標

郵便はがき

いは41
って円
下手を
下さ

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
下水道研究室 御中

No. _____

No. _____

土研資料 第2753号

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2753号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印