

ISSN 0386 — 5878

土木研究所資料 第2322号

土木研究所資料

下水汚泥の埋立に伴う浸出水・ 余水の性状調査報告書

昭和61年3月

建設省土木研究所
下水道部汚泥研究室

「Copyright © (1986) 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、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

下水汚泥の埋立に伴う浸出水・余水の 性 状 調 査 報 告 書

汚泥研究室 京 才 俊 則
大 嶋 吉 雄
岡 久 宏 史

要 旨

下水処理場の増加に伴い、発生する汚泥の量も年々増加の傾向にある。この汚泥の約8割は陸上及び、海面埋立されているが、下水汚泥の埋立地からは、水質が悪いと言われる浸出水・余水が発生している。

しかし、この水質に関しては、十分なデータは存在していない。本資料は、汚泥性状・埋立方式・温度別に浸出水・余水の水質を測定し、浸出水および余水の処理のための基礎データを提供している。

キーワード：下水汚泥，浸出水，余水，埋立，表面流出，温度

序

本報告書は、建設省土木研究所下水道部汚泥研究室が、昭和55年度から昭和58年度にかけて行った、「下水汚泥の海域埋立処分に関する調査」の研究資料をまとめたデータ集である。

今日、下水汚泥の処分方法は、埋立処分が中心となっており、昭和56年11月から昭和57年10月までの統計によると、処分汚泥量（約240万 m^3 ）の43%が陸上埋立処分、35%が海面埋立処分されている。また、下水汚泥は日々発生するものであり、今後、下水道の普及率が上昇するに従って、増加してくる。近年、下水汚泥の焼却、有効利用法の開発などにより、処分しなければならない下水汚泥の減量化が計られているが、やはり、処分地の確保に苦慮しながらも、埋立処分に頼らざるを得ない状況である。

このような処分状況をかんがみ、本調査では、下水汚泥を埋立処分する場合に解決しなければならない問題点の中から、埋立処分に伴って発生するであろう浸出水及び余水に焦点をあて、主として、その水質特性について調査した。

昭和61年3月

建設省土木研究所 下水道部 汚泥研究室

目 次

第1章 まえがき	1
第2章 室内埋立実験	1
2.1 浸出水調査	1
2.1.1 実験目的	1
2.1.2 実験方法	1
1) 実験装置	2
2) 実験条件	2
(1) 供試汚泥	2
(2) 実験温度	3
(3) 供試汚泥のカラムへの充填形式	3
(4) 供試汚泥のカラムへの充填方法	4
(5) 散水量	5
2.1.3 溶出試験	5
2.1.4 調査項目	5
2.1.5 調査結果及び考察	6
1) 供試汚泥の種類による浸出水水質の相違	6
(1) pH	6
(2) BOD ₅	7
(3) COD _{Mn}	8
(4) TOC	9
(5) K-N	9
(6) T-P	9
(7) まとめ	10
2) 供試汚泥の充填形式の種類による浸出水水質の相違	10
(1) pH	10
(2) SS	13
(3) BOD ₅	13
(4) TOC	14

(5) K-N	15
(6) T-P	16
3) 温度による浸出水水質の相違	17
(1) pH	17
(2) BOD ₅	18
(3) TOC	22
(4) K-N	24
(5) T-P	26
2.2 余水調査	28
2.2.1 実験目的	28
2.2.2 実験方法	28
2.2.3 実験データ	29
2.2.4 実験結果と考察	30
1) 供試汚泥による余水水質の相違	30
(1) pH	30
(2) 有機成分指標 (COD _{Mn} , TOC)	30
(3) K-N, NH ₄ -N	31
(4) T-P	32
(5) 重金属 ① Cd	32
② Pb	32
③ T-Cr	33
④ As, Hg	33
2) 温度による余水水質の相違	33
(1) pH	33
(2) 有機成分指標	33
(3) K-N, NH ₄ -N	34
(4) T-P	35
第3章 屋外埋立実験	38
3.1 浸出水調査	38
3.1.1 実験目的	38
3.1.2 実験方法	38

1) 実験装置	38
2) 供試汚泥の種類	39
3) 供試汚泥の充填方法	39
4) 浸出水・表面流出水の種類	39
3.1.3 実験データ	39
1) 浸出水量, 表面流出水量データ	40
2) 降雨量, 蒸発量データ	40
3) 水質項目 ①余水	40
②間げき水	40
3.1.4 実験結果	40
1) 浸出水量	40
(1) 消化脱水汚泥槽	40
(2) 混練固化汚泥槽	42
(3) 浸出水量の比較	44
2) 浸出水質	44
(1) pH	44
(2) BOD ₅ , COD _{Mn} , TOC ①LD	45
②LM	46
(3) K-N, NH ₄ -N ①LD	46
②LM	47
(4) 重金属	47
(5) T-P ①LD	47
②LM	47
3.2 余水調査	48
3.2.1 実験目的	48
3.2.2 実験方法	48
1) 実験装置	48
2) 供試汚泥の種類	49
3) 供試汚泥の充填方法	49
4) 余水・間げき水の種類	49
3.2.3 実験結果	49
(1) pH	49

(2) COD _{Mn} , TOC	① EC	50
	② EM	50
(3) K-N, NH ₄ -N	① EC	52
	② EM	52
(4) T-P		52
(5) 重金属		53
第4章 埋立地現場調査		54
4.1 調査目的		54
4.2 調査方法		54
4.2.1 調査期間		54
4.2.2 調査場所		54
4.3 調査結果と考察		56
4.3.1 地質・土質の調査		56
1) 調査概要		56
2) 埋立物の性状		56
(1) 地点 A, B		56
(2) 地点 C, D		59
(3) 地点 E		59
(4) 地点 F		59
(5) 地点 G		59
(6) 地点 H		59
3) 埋立地の断面推測		60
4) 浸出水の水質		60
(1) St. 1		61
(2) St. 2		64
5) 浸出水と降雨量の関係		67

第1章 まえがき

この資料は、大別して、(1)室内埋立実験、(2)屋外埋立実験、(3)下水汚泥埋立地現場調査、の3調査からなっている。以下に調査の概要を示す。

(1) 室内埋立実験 (第2章)

1) 浸出水調査

室内恒温室において、カラムに種々の下水汚泥を充填し、上部から散水を行い、適宜下部より浸出水を採取し、その水質の変化を調べた。下水汚泥は7種類、温度は3種類とし、各種汚泥から発生する浸出水の水質を調べるものである。

2) 余水調査

各種汚泥による余水の水質を調べるものである。

約21のポリビンに汚泥を入れ、上部に人工海水を加えて静置し、その上澄水を適宜測定した。汚泥は、4種類、温度は、2種類とした。

(2) 屋外埋立実験 (第3章)

1) 浸出水調査

屋外に埋立槽を設置し、そこから得られる浸出水の水質を測定するとともに、雨量蒸発量、表面流出量、浸出水量を測定し、浸出率を調べるものである。汚泥は2種類とした。

2) 余水調査

屋外に埋立槽を設置し、自然環境下での余水の水質変化を調べるためのものである。さらに、埋立汚泥と海水とを接触させ、海水面の上下変化を与えて、その洗い出し効果も調べた。

(3) 下水汚泥埋立地現場調査 (第4章)

下水汚泥単独埋立地において、浸出水を定期的に採取し、その水質の経時変化を調べた。同時に、雨天時の浸出水の流出パターンを把握しようと試みた。

第2章 室内埋立実験

2.1 浸出水調査

2.1.1 実験目的

この調査は、下水汚泥からの浸出水の水質について、経時変化の特性を解明すると共に、それが下水汚泥の種類、温度、下層地盤(砂層またはシルト層)の有無によってどのように変化するかを調査するものである。

2.1.2 実験方法

実験方法としては、各種の汚泥をカラムに詰め、カラムの上部から散水を行い、下部から浸出水を採水することとした。

1) 実験装置

本実験に用いた実験装置を、図 2.1.1 に示す。この装置の中央部には、自動散水装置があり、それを中心とした円周上に、カラムを 24 本セットできるようになっている。自動散水装置は、一定時間カラムの上に停止し、一定量の蒸留水を散水した後、隣のカラムへ回転移動し、その後、同じ動作を繰り返す。カラムは、内径 20 cm、高さ 1 m の透明塩ビ製である。カラムの中央部には集水管、下部に採水用のドレインコックが取り付けられている。

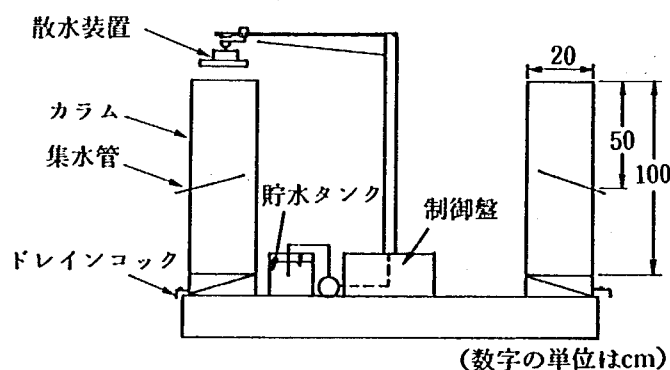


図 2.1.1 室内埋立実験装置

2) 実験条件

(1) 供試汚泥

カラムへの充填物としては、7種類の汚泥を使用した。それらの汚泥は、①生脱水汚泥、②消化脱水汚泥、③焼却灰、④混合液状汚泥（生汚泥と消化汚泥とを容積比で約1:1に混合した汚泥）、⑤混合脱水汚泥（混合液状汚泥を脱水した汚泥、混脱）、⑥コンポスト汚泥、⑦混練固化汚泥（混合脱水汚泥、焼却灰、セメントを容積比で約8:1:1の割合で混合し、ミキサーで練って固めた汚泥。混練）である。混練は、主として、埋立時の作業性の向上と有害物質の溶出防止を目的としてつくったものである。これらの供試汚泥の性状及び成分を表 2.1.1 に示す。なお、消化脱水汚泥は、実験開始時期がその他の供試汚泥に比べて約 100 日ほど遅れた。

表 2.1.1 供試汚泥の性状及び成分

項 目 供試汚泥	含水率 (%)	強熱減量 (%)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	T-Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	CN ⁻ (mg/kg)	T-P (mg/kg)
混合液状汚泥	97.2	72.3	6.48	167	288	412	142	1240	2.83	2.53	6.80	13600
生脱水汚泥	78.3	75.7	14.2	541	317	617	271	1610	2.31	1.63	0.80	12600
混合脱水汚泥	81.2	58.1	8.62	261	202	325	129	999	0.76	1.28	3.25	9660
焼 却 灰	0.2	0	4.67	173	107	685	187	1680	1.10	0.42	0.06	3260
コンポスト汚泥	30.3	32.9	4.89	93.1	22.2	149	47.7	795	1.63	1.24	3.72	5510
混練固化汚泥	54.3	18.5	4.04	94.3	99.1	352	114	958	0.24	0.67	1.02	9560
消化脱水汚泥	80.3	36.1	5.97	140	47.8	388	111	106	5.01	3.30	1.54	9710

実験温度は、10℃、20℃、30℃の3段階とし、各々の恒温室に装置を設置した。

供試汚泥のカラムへの充填形式は、図 2.1.2 に示すように、A 型、B1 型、B2 型、C 型、D 型の 5 種類がある。A 型は、供試汚泥を単独で充填したものである。B1 型及び B2 型は、下層地盤として砂またはシルトを詰め、下層地盤の有無による浸出水の水質の相違をみるものである。C 型は、それに加えて、実際の埋立地を想定し、中間及び上部に覆土を行ったものである。また、D 型は、埋立途上を想定し、下部に供試汚泥、上部に蒸留水を湛水したものである。供試汚泥と充填形式の組合わせを図 2.1.3 に示す。

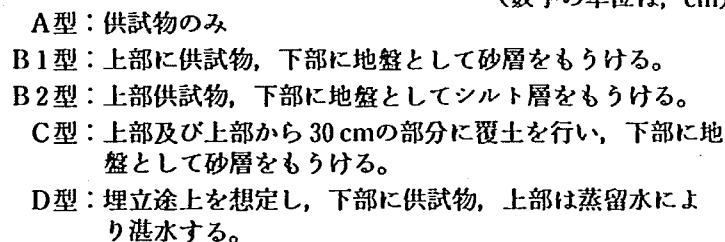


図 2.1.2 供試汚泥のカラムへの充填方法

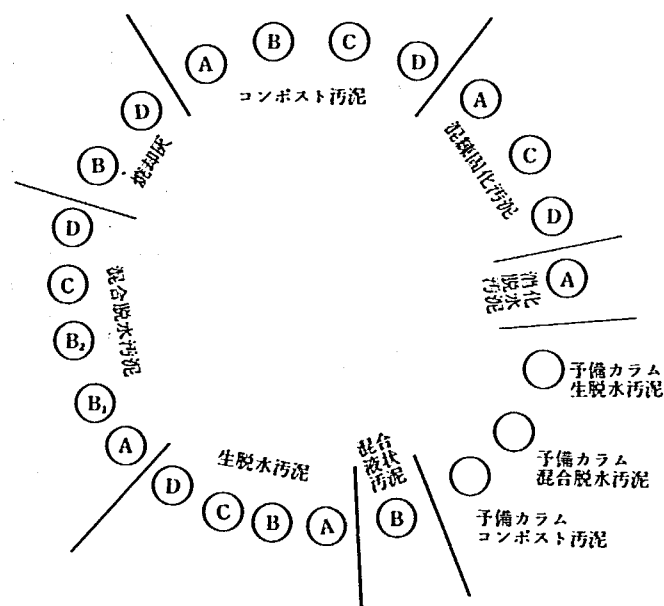


図 2.1.3 供試汚泥と充填形式との組合せ

(4) 供試汚泥のカラムへの充填方法

供試汚泥のカラムへの充填方法は、非常に難しい問題であり、実際の埋立地を再現することは不可能である。従って、ここでは、供試汚泥を棒で突き固めることにより、カラムへ充填可能な量だけ詰め込むこととした。表 2.1.2 には、供試汚泥、砂、シルト、覆土の充填した重量を示してある。また、下層地盤として用いた砂は、カラムへ充填する前に希塩酸により洗浄した。砂、シルト、覆土の性状及び成分を表 2.1.3 に示す。

表 2.1.2 カラムへの充填物重量

供試汚泥	温度	A 型	B 1 型		B 2 型		C 型			D 型
		供試汚泥 (kg)	供試汚泥 (kg)	砂 (kg)	供試汚泥 (kg)	シルト (kg)	供試汚泥 (kg)	砂 (kg)	覆土 (kg)	供試汚泥 (kg)
混合液状汚泥	10°C		0.4	14.1						
	20°C		0.4	17.7						
	30°C		0.4	16.0						
生脱水汚泥	10°C	4.4	1.7	15.6			2.7	14.5	2.3	3.0
	20°C	4.8	1.9	16.6			2.3	14.1	2.4	3.0
	30°C	4.3	1.8	16.6			2.0	14.1	2.6	3.0
混合脱水汚泥	10°C	4.7	2.7	16.6	3.7	9.2	3.1	14.3	2.1	2.4
	20°C	4.7	3.3	18.0	3.7	7.7	3.0	14.9	2.2	2.4
	30°C	4.7	3.4	16.3	4.0	8.8	3.0	15.3	2.2	2.4
焼却灰	10°C		17.4	16.1						12.0
	20°C		16.9	16.6						12.0
	30°C		17.5	1.9						12.0
コンポスト汚泥	10°C	23.0	14.5	16.1			13.0	13.4	3.1	10.6
	20°C	20.9	13.9	16.0			13.6	15.1	1.9	10.7
	30°C	20.9	14.8	16.0			14.4	14.1	3.2	10.2
混練固化汚泥	10°C	15.1					9.7	12.8	3.6	8.7
	20°C	15.0					9.2	13.5	4.5	8.2
	30°C	15.6					9.1	14.9	4.2	8.2
消化脱水汚泥	10°C	5.3								
	20°C	5.3								
	30°C	5.4								

表 2.1.3 カラム充填物の性状及び成分

性状及び成分 カラム充填物	含水率 (%)	強熱減量 (%)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	T-Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	CN ⁻ (mg/kg)	T-P (mg/kg)	T-N (mg/kg)
砂	1.38	0.5	0.99	10.1	3.65	3.73	6.04	43.5	3.63	0.04	0.004	2.61	30.0
シルト	7.59	5.9	2.24	54.4	3.22	33.7	20.7	103	3.66	0.13	0	371	250
覆土	3.60	4.9	7.06	12.0	16.2	138	171	369	1.36	0.11	0.018	6.02	1640

(5) 散水量

散水量は、年間降雨量として約 1500 mm に相当する量とするため、8 日に 1 回蒸留水を 1ℓ 散水することとした。(年間降雨量、約 1460 mm)。しかしながら、カラム中への浸透量が少なく、カラム上部から散水した蒸留水があふれそうになったため、実験途中より、原則として、10 日に 1 回、500 ml を散水することとした。

2.1.3 溶出試験

産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法(昭和 48 年環境庁告示第 13 号)により供試汚泥の溶出試験を行った。その結果は表 2.1.4 に示す通りであり、各測定項目とも規制値以下であった。

表 2.1.4 溶出試験結果

測定項目 供試汚泥	Cd mg/l	Pb mg/l	Cr mg/l	Cr ⁶⁺ mg/l	As mg/l	Hg mg/l	R-Hg mg/l	CN ⁻ mg/l
混合液状汚泥	0.052	0.37	0.73	<0.5	0.054	<0.0025	<	<0.001
生脱水汚泥	<0.05	<0.2	0.82	0.59	<0.05	<0.0025	<	0.0011
混合脱水汚泥	<0.05	0.23	<0.5	<0.5	<0.05	<0.0025	<	0.0012
焼却灰	<0.05	<0.2	<0.5	<0.5	<0.05	<0.0025	<	<0.001
コンポスト汚泥	<0.05	<0.2	<0.5	<0.5	<0.05	<0.0025	<	<0.001
混練固化汚泥	<0.05	<0.2	<0.5	<0.5	<0.05	0.0035	<	<0.001
消化脱水汚泥	<0.05	<0.2	<0.5	<0.5	0.026	<0.0025	<	0.0019
基準値	0.3	3.0		1.5	1.5	0.005	検出されないこと	1.0

2.1.4 調査項目

以下に調査項目を示す。

- ① サンプル量 ② pH ③ ORP ④ SS ⑤ BOD₅
 ⑥ COD_{Mn} ⑦ COD_{Cr} ⑧ TOC ⑨ T-P ⑩ K-N ⑪ Cd
 ⑫ Pb ⑬ Cr ⑭ As ⑮ Hg

2.1.5 調査結果及び考察

浸出水の水質に関する結果を示すが、本実験の因子としては、大別して供試汚泥の種類、供試汚泥の充填形式の種類、温度がある。従って、ここでは、(1)供試汚泥の種類、(2)供試汚泥の充填方式の種類、(3)温度による浸出水水質の相違、の3つに分類してまとめることとする。

1) 供試汚泥の種類による浸出水水質の相違

ここでは、供試汚泥の種類に主眼をおき、浸出水水質の相違を考察する。

グラフ中の記号は、以下のようになっている。

- 生脱水汚泥 (生脱)
- ×—× 混合脱水汚泥 (混脱)
- △—△ コンポスト汚泥 (コンポスト)
- 混練固化汚泥 (混練)
- …○ 消化脱水汚泥 (消脱)

また、考察に使用したデータは、汚泥の充填形式 A 型、温度 20°C を対象とした。

(1) pH

各供試汚泥とも、それぞれの汚泥の性状に応じた pH 値となっている (図 2.1.4 図 2.1.5)。生脱は、5.8 から 6.8 と中性に向かい、混脱は、12 程度の強アルカリ性から 10 程度まで低下し、コンポストは、中性の 7.2 から 8.3 の間を変化している。消脱は、13 から 12 程度と約 1000 日の実験期間を通じてあまり変化は見られなかった。混練については、400 日目以降、浸出水が採取できなかった。

以上のように、pH の変化はあまり生じず、どの供試汚泥についても、ほぼ一定の値であった。

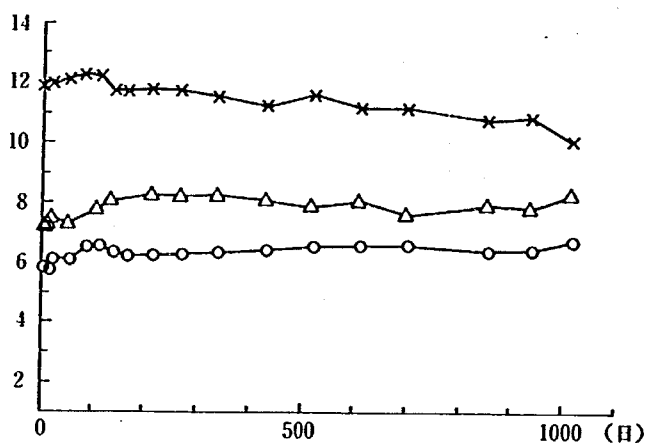


図 2.1.4 pH (A型, 20°C) 経時変化

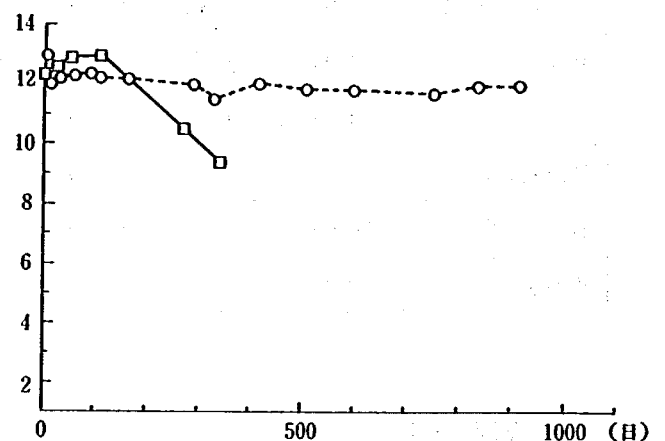


図 2.1.5 pH (A型, 20°C) 経時変化

(2) BOD₅ (図 2.1.6, 図 2.1.7)

生脱は、実験開始後 150 日目には、100,000 mg/l という高濃度を示しその後は、急激に低下し、270 日目ぐらいには、7300 mg/l まで減少している。ところが、340 日目あたりからは、約 200 日間 55000 mg/l 付近で一定値を示している。浸出水中の BOD₅ 成分に違いがあるためなのか、濃度が大きく減少する時期がみられた。

混脱は、生脱と同じ頃に、濃度の最高値 (34000 mg/l) が現れ、その後は、20000 mg/l 前後の浸出水が約 800 日という長期にわたって出てきている。

コンポストは、50 日目に 5800 mg/l 値を示した後、以後は値の増減はあるものの、2000 mg/l から 500 mg/l へと減少している。

混練は、20°C においては 200 日目でのデータしか得られていないが、200 日目で約 9000 mg/l の濃度を示している。参考として、全実験期間のデータが得られている 30°C の結果をみると、10000 mg/l から 20000 mg/l の間を推移している。

消脱は、230 日目の 4800 mg/l まで徐々に増加しているが、その後は、急激な増減を繰り返している。

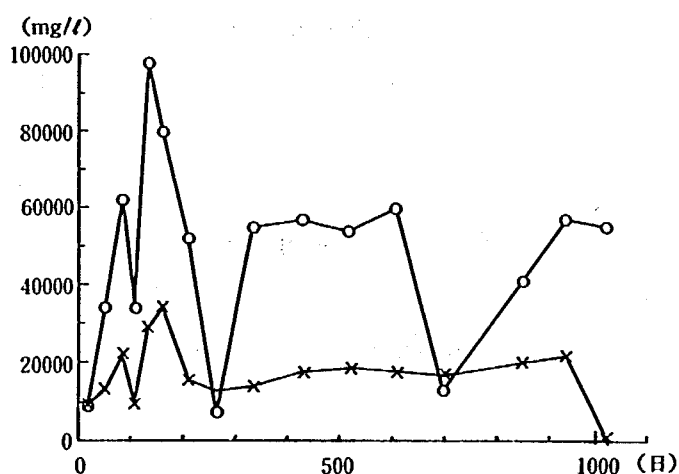


図 2.1.6 BOD₅ (A型, 20°C) 経時変化

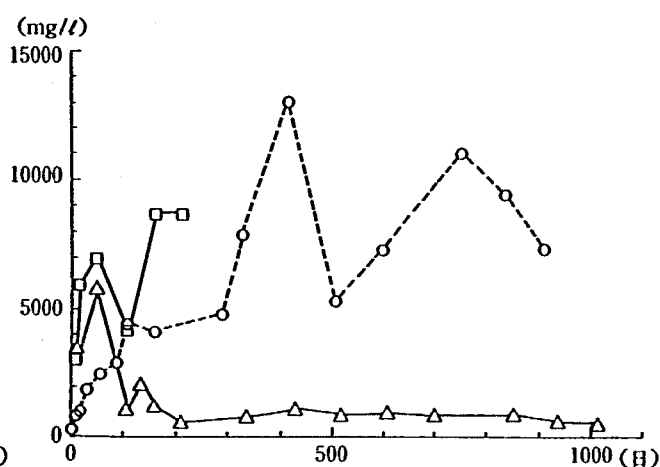


図 2.1.7 BOD₅ (A型, 20°C) 経時変化

(3) COD_{Mn} (図 2.1.8, 図 2.1.9)

生脱は、BOD₅でも見られたように、大きく減少する時期がみられた。

混脱、コンポストは、ほぼ同様の傾向を示し、どちらも 10000 mg/l 前後と、BOD₅で見られた程の大きな差はない。

混練は、やはり 30°C のデータでみると初期 200 日までは、上下の変動を示しているが、その後は、5000~6000 mg/l の間で増加傾向にある。

消脱は、全期間を通じて増加傾向にあり BOD₅に見られたような変動は、生じていない。(30 日目に非常に高い値となっているが)、1000 日目で、6000 mg/l 程度であった。

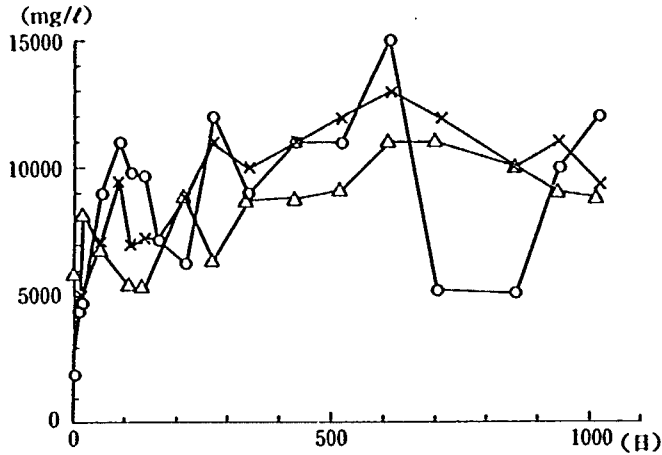


図 2.1.8 COD_{Mn} (A型, 20°C)経時変化

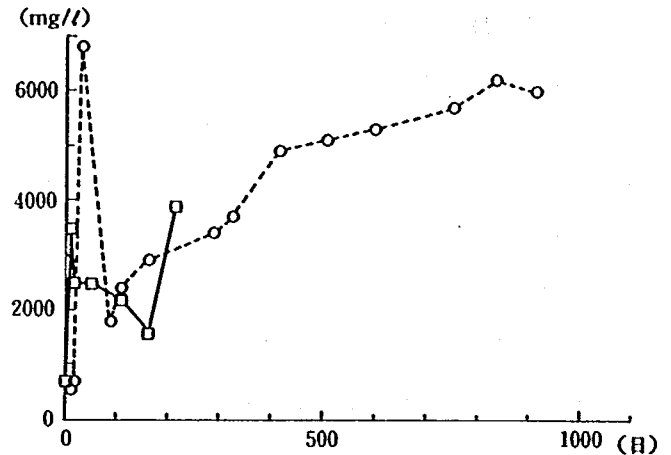


図 2.1.9 COD_{Mn} (A型, 20°C)経時変化

(4) TOC (図 2.1.10, 図 2.1.11)

ここでの TOC は、ろ液 (GF/B でろ過) について測定したものである。

生脱は、200日目あたりに、74000mg/lのピーク値を示し、その後、約20000mg/lに減少し、その後は、ほぼ一定値である。BOD₅、COD_{Mn}とも、実験初期にピーク値を持つが、その日数は、140日目付近であることと比べると、約60日程ずれている。

混脱は、あまり大きな変化はなく、13000mg/l付近で一定である。

コンポストは、増減を繰り返しながら、増加の傾向があり1000日目で6000mg/l程度である。

混練は、30°Cで500日以降は、ほぼ一定で10000mg/lであった。

消脱は、全体的にみて、増加傾向にあり、1000日目ごろには、7000mg/lとなっている。

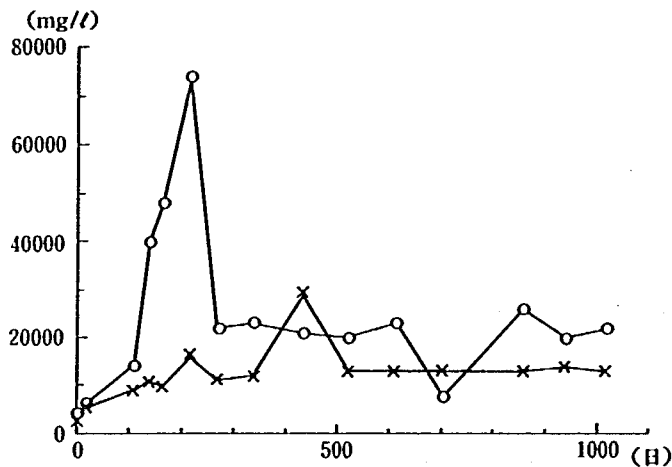


図 2.1.10 TOC (A型, 20°C)経時変化

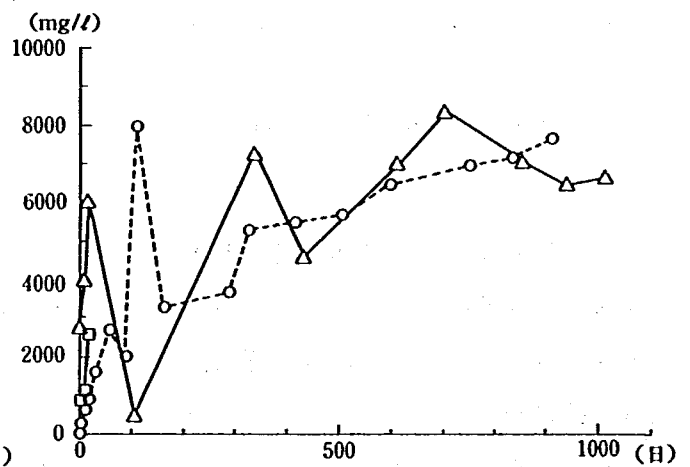


図 2.1.11 TOC (A型, 20°C) 経時変化

(5) K-N (図 2.1.12, 図 2.1.13)

生脱は、BOD₅等のパターンと同様の動きを示し、最高値で 13500 mg/l、その後は、約 8000 mg/l 付近の値であった。

混脱は、300 日程かけて徐々に増加し、その後は、ほぼ 3500 mg/l であった。

コンポストは、混脱よりも高い値を示し、5000 mg/l 程度であった。

混練は、やはり 30°C のデータであるが、2500 mg/l から 3000 mg/l であり増減はあるものの、全体的には増加傾向が見られる。

消脱は、1000 日程経過してもまだ増加しており、約 2000 mg/l となっている。

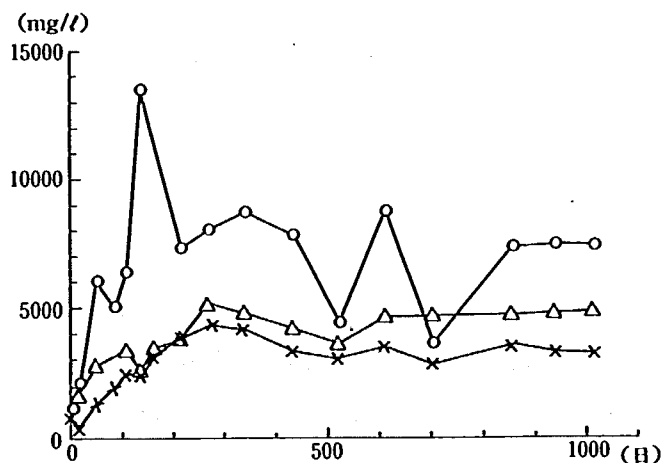


図 2.1.12 K-N (A型, 20°C) 経時変化

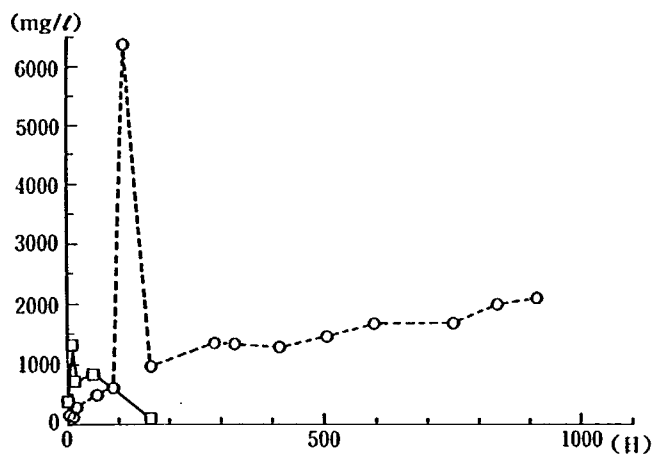


図 2.1.13 K-N (A 型, 20°C) 経時変化

(6) T-P (図 2.1.14, 図 2.1.15)

生脱は、他の供試汚泥に比べて、非常に高い濃度である。最高 600 mg/l の値を示し、その後は低下しているが、1000 日目でも 115 mg/l の濃度となっている。

混脱は、あまり大きな変動を示さず、約 30 mg/l 前後である。

コンポストは、約 50 mg/l 程度まで増加し、その後 1.7 mg/l まで低下した後、再び増加し、20~30 mg/l 程度の増加を示している。

混練は、30°C のデータで、140 日目ぐらいまでは、2~8 mg/l の値となっているが、300 日以後は、0.5~1.0 mg/l の間の値で、ほぼ一定であった。

消脱は、50 日目ぐらいまで、大きな変動を見せたが、その後は、4~5 mg/l でほぼ一定値となっている。

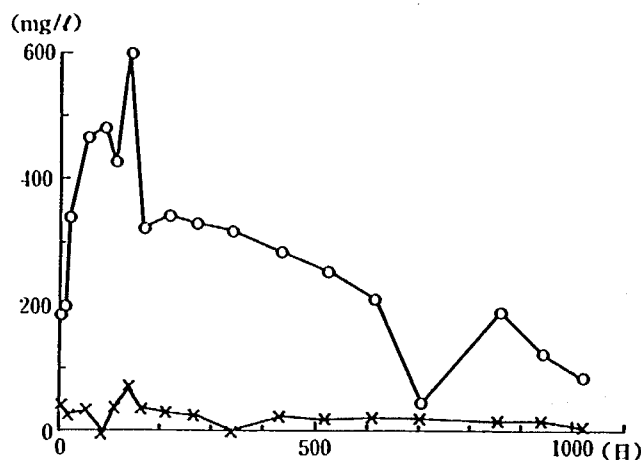


図 2.1.14 T-P(A型, 20°C)経時変化

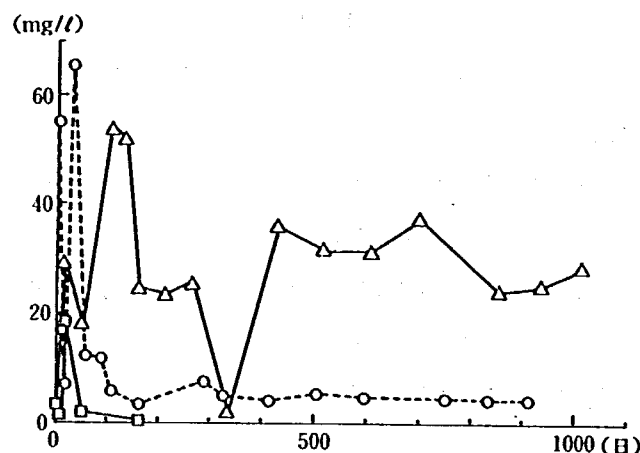


図 2.1.15 T-P(A型, 20°C)経時変化

(7) ま と め

供試汚泥別に浸出水の特徴をまとめると次のようになる。

各水質項目にわたって、一番大きな濃度となったのは生脱汚泥である。生脱汚泥からの浸出水水質は、初期にピーク値が見られ、その後は増減の激しさが見られる。また、約1000日間を経過した後も、依然として濃度は高く、 BOD_5 で55000 mg/l、 COD_{Mn} で12000 mg/l、K-Nで7500 mg/l、T-Pで120 mg/lであった。その他は、やはり混脱、コンポスト、消脱、混練の順に、各水質項目の濃度は、低くなっている。ただし、K-Nについては、コンポストは、混脱と同程度またはそれ以上の濃度を示し、N成分の多い浸出水であることがうかがわれる。また、各水質項目の初期値、最大値、最小値、最終値（1017日目の結果。ただし、消脱は、910日目の結果）を、表2.1.5にまとめた。

2) 供試汚泥の充填形式の種類による浸出水水質の相違

ここでは、供試汚泥の充填形式に主眼をおき、主として20°Cのデータを用いて浸出水水質の相違を考察する。

グラフの中の記号は以下の通りである。

- A 型
- ×—× B1 型
- △—△ B2 型
- C 型

(1) pH (図 2.1.16, 図 2.1.17, 図 2.1.18, 図 2.1.19)

下部に砂層のあるB1型、C型では、一般にpHが上昇傾向にあるが、pHが12～10である混脱においては、pHを下げる役目を果たしている。また、A型でpHが8程度であるコンポストでは砂層を通過してもpHはあまり変化しないが、pHが12前後である混練の場合、pHは8程度まで低下している。

このように、pHが8以上または8以下の浸出水が砂層を通ると、pHが約8程度になることが判った。しかもそのpH作用は、約1000日目まで持続している。

表 2.1.5 汚泥の種類別水質項目の最大値・最小値
(A型, 20°C)

項 目	汚泥の種類	初 期 値	最 大 値	最 小 値	最 終 値
	生 脱	5.83	6.77	5.76	6.77
	混 脱	11.94	12.30	10.10	10.10
pH	コンポスト	7.15	8.31	7.15	8.31
	混 練	12.38	12.76	10.36	12.55
	消 脱	12.96	12.96	11.50	11.96
	生 脱	9,000	98,000	7,300	55,000
	混 脱	8,900	34,000	2,000	2,000
BOD	コンポスト	3,500	5,800	500	500
(mg/l)	混 練	5,900	21,000	4,000	15,000
	消 脱	320	11,000	320	7,300
	生 脱	1,900	15,000	1,900	12,000
	混 脱	2,500	13,000	2,500	9,400
COD _{5h}	コンポスト	5,900	11,000	4,300	8,800
(mg/l)	混 練	1,200	12,000	1,200	7,100
	消 脱	750	6,800	540	6,000
	生 脱	4,100	74,000	4,100	22,000
	混 脱	2,700	29,000	2,700	13,000
TOC	コンポスト	2,800	8,400	480	6,700
(mg/l)	混 練	1,500	10,000	1,500	10,000
	消 脱	270	8,000	270	7,700
	生 脱	1,200	14,000	1,200	7,500
	混 脱	760	4,400	450	3,300
K-N	コンポスト	1,300	5,200	1,300	4,900
(mg/l)	混 練	520	3,700	520	3,700
	消 脱	160	6,400	120	2,100
	生 脱	190	600	61	120
	混 脱	38	68	0.24	7.5
T-P	コンポスト	1.7	54	1.7	24
(mg/l)	混 練	5.6	8.5	0.45	0.63
	消 脱	55	66	3.4	3.8

註：(1) 最終値とは消脱以外は1,017日目の結果
消脱は 910日目の結果
(2) 混練は30°Cにおける結果
(3) 有効数字は2ケタとした。

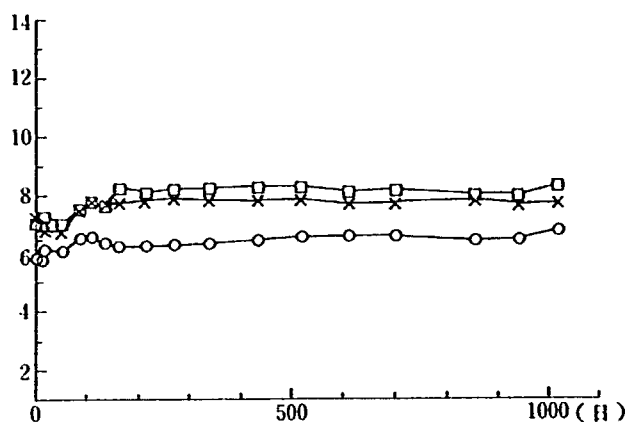


図 2.1.16 pH (生脱水汚泥, 20°C) 経時変化

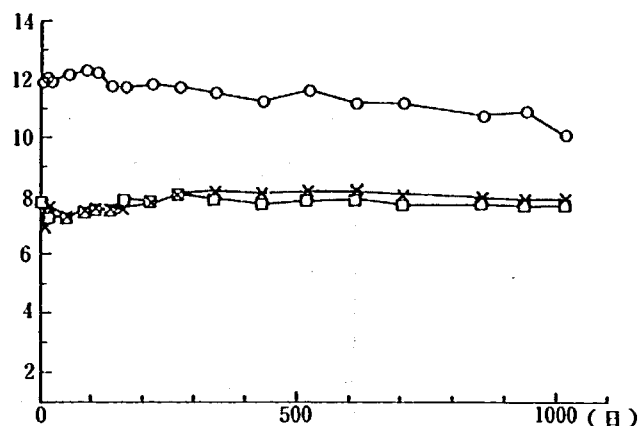


図 2.1.17 pH (混合脱水汚泥, 20°C) 経時変化

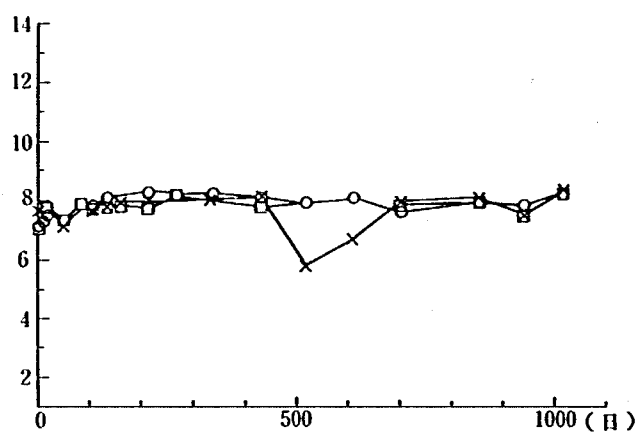


図 2.1.18 pH (コンポスト汚泥, 20°C)
経時変化

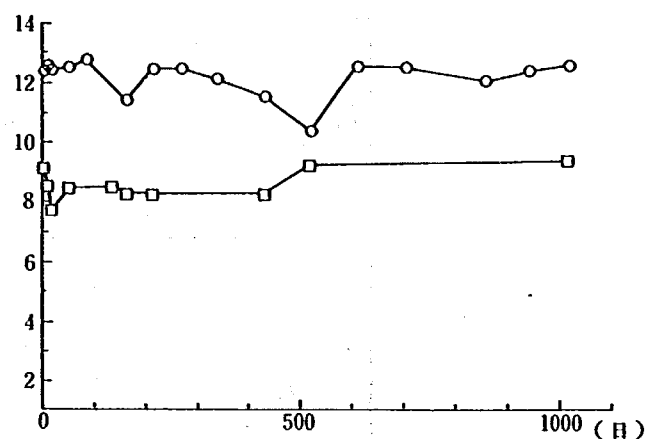


図 2.1.19 pH (混練固化汚泥, 20°C) 経時変化

また、シルト層による作用は、図 2.1.20 に示すように、砂層の場合と大差はないが、シルト層では、pH 7 程度となっている。

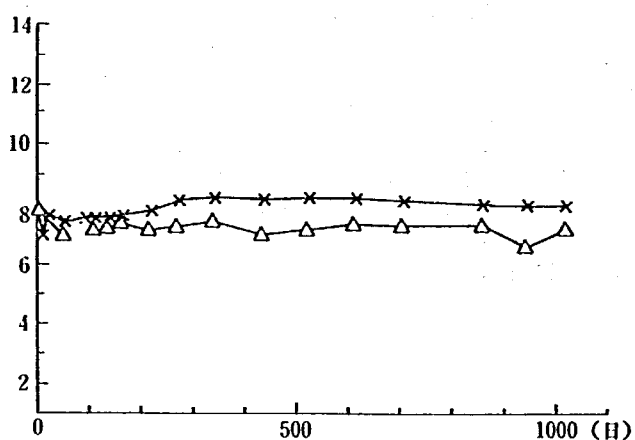


図 2.1.20 pH (混合脱水 B 1, B 2, 20°C) 経時変化

(2) SS (図 2.1.21, 図 2.1.22)

砂層によって、SS がどれ程取り除かれるかを示したものが、図 2.1.21, 図 2.1.22 である。これを見ると、生脱、混脱とも、A 型と B1 型、C 型との間に大きな差はなく、砂層による SS 成分の除去は明確ではなかった。混脱は、500 日以降、A 型においても SS 濃度は、10~50 mg/l であり SS 成分の流出が小さなものとなっている。また、シルト層である混脱、B2 型では、シルト自体の流出が見られ、そのため SS 濃度が高くなる場合があった。

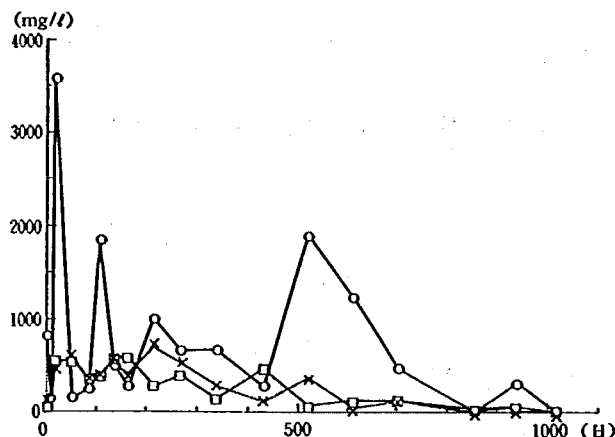


図 2.1.21 SS (生脱水汚泥, 20°C) 経時変化

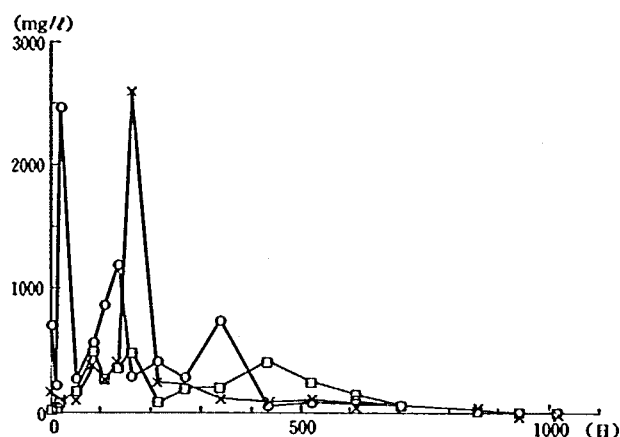


図 2.1.22 SS (混合脱水汚泥, 20°C) 経時変化

(3) BOD₅ (図 2.1.23~28)

生脱水、混脱などでは、A 型に比較して B1 型 C 型の砂層による濃度低下効果が大きい。これは砂層が生物分解の場として寄与していると考えられる。

また、温度効果との相乗作用が表れた汚泥もあった (図 2.1.28)。

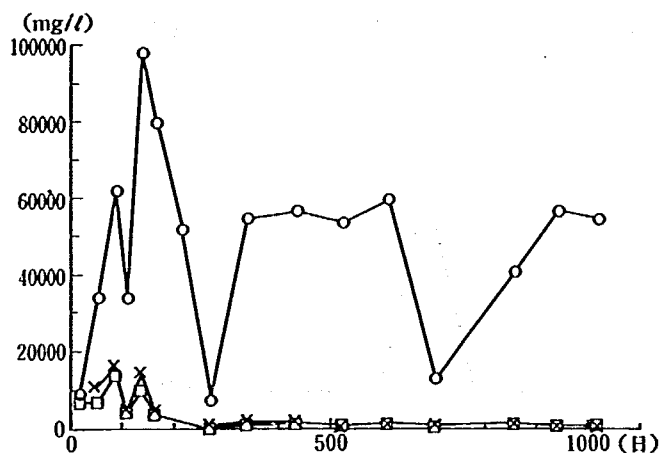


図 2.1.23 BOD₅ (生脱水汚泥, 20°C) 経時変化

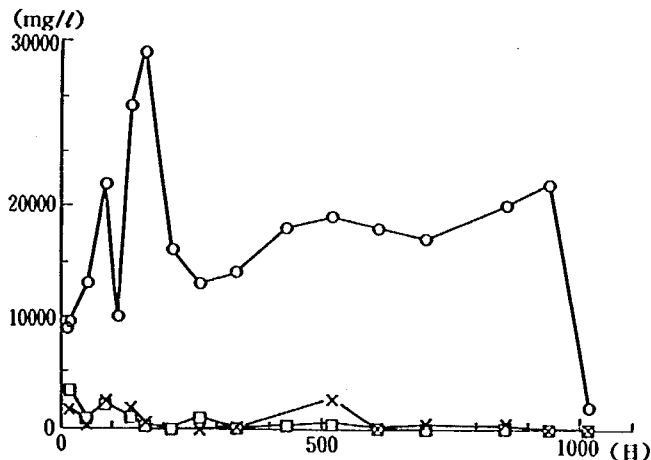


図 2.1.24 BOD₅ (混合脱水汚泥, 20°C) 経時変化

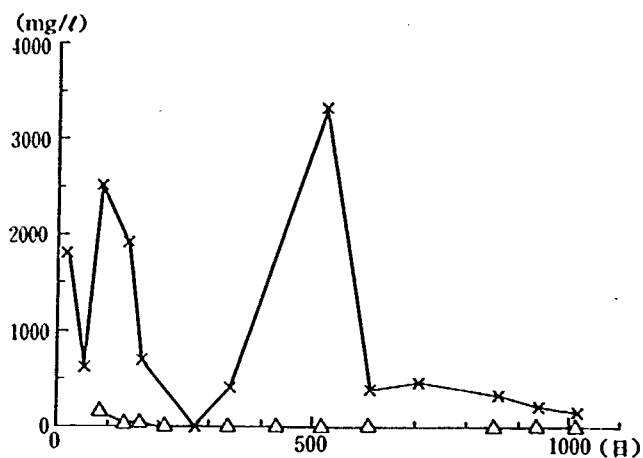


図 2.1.25 BOD₅ (混合脱水汚泥, B1 型, B2 型, 20°C) 経時変化

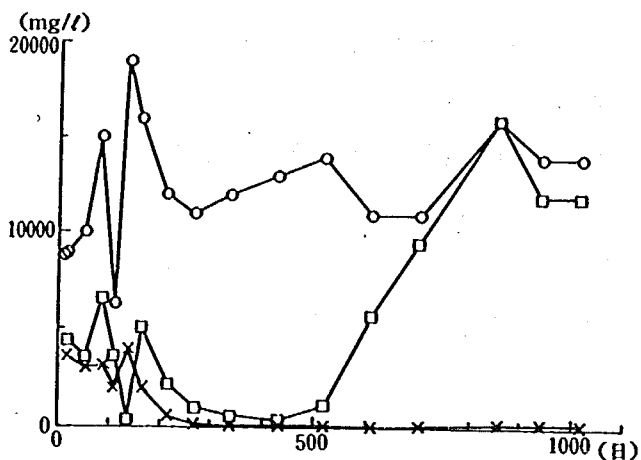


図 2.1.26 BOD₅ (混合脱水汚泥, 10°C) 経時変化

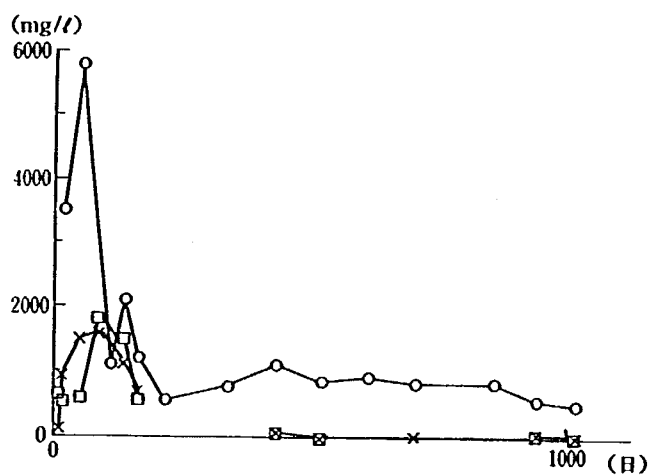


図 2.1.27 BOD₅ (コンポスト汚泥, 20°C) 経時変化

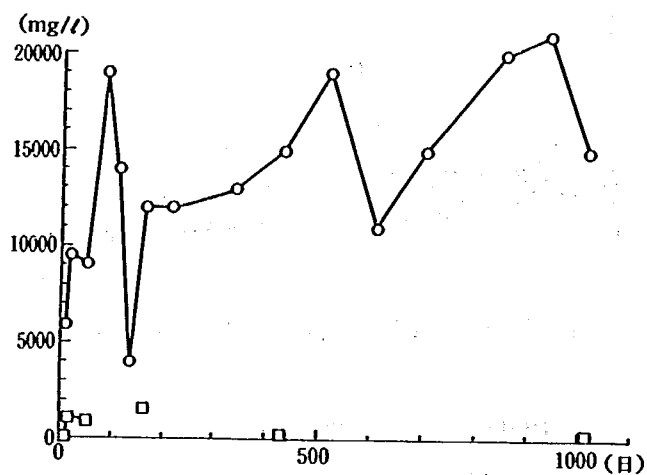


図 2.1.28 BOD₅ (混練固化汚泥, 30°C) 経時変化

(4) TOC (図 2.1.29~33)

BOD と同様, 砂層による有機物除去効果は大きい。TOC は溶解性成分の測定であるが A 型でもかなり初期から高濃度であることがわかる。

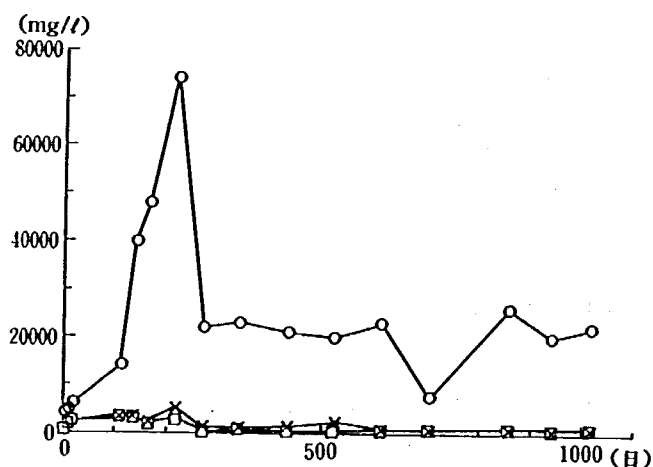


図 2.1.29 TOC (生脱水汚泥, 20°C) 経時変化

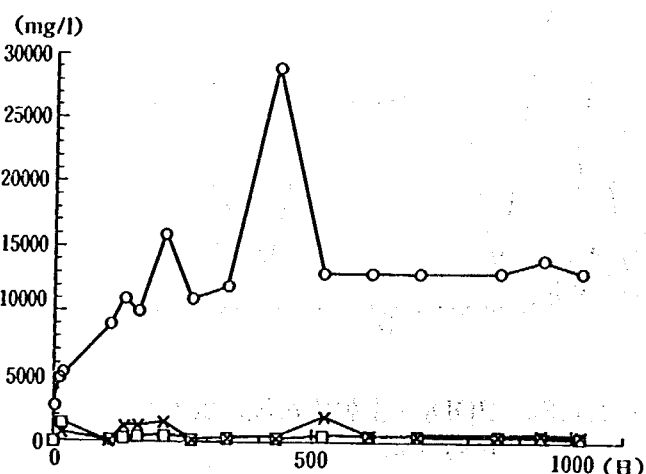


図 2.1.30 TOC (混合脱水汚泥, 20°C) 経時変化

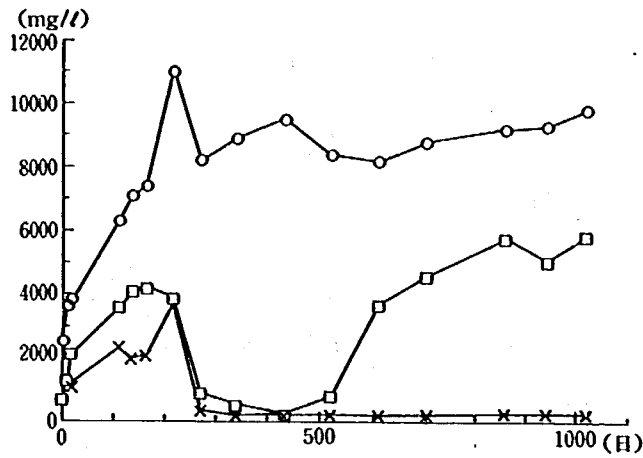


図 2.1.31 TOC (混合脱水汚泥, 10°C) 経時変化

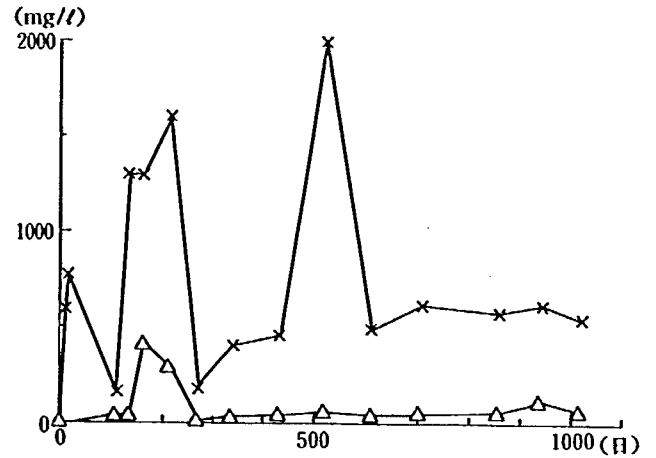


図 2.1.32 TOC (混合脱水汚泥, B1 型, B2 型, 20°C) 経時変化

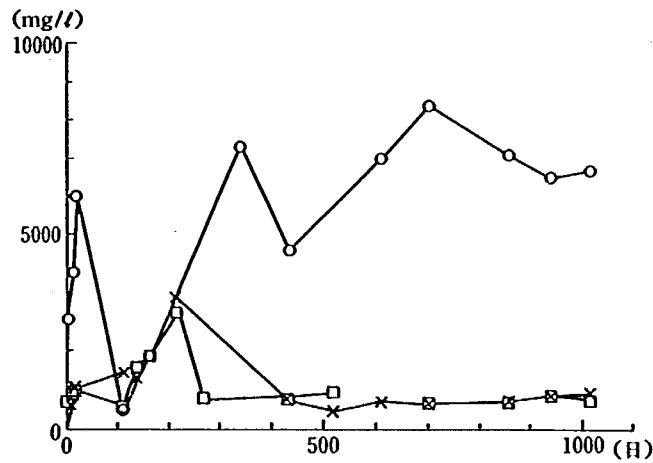


図 2.1.33 TOC (コンポスト汚泥, 20°C) 経時変化

(5) K-N (図 2.1.34~38)

BOD, TOC に比較し, 砂層による浄化力は弱い。しかしながら, 約半分の除去効果が見られた。

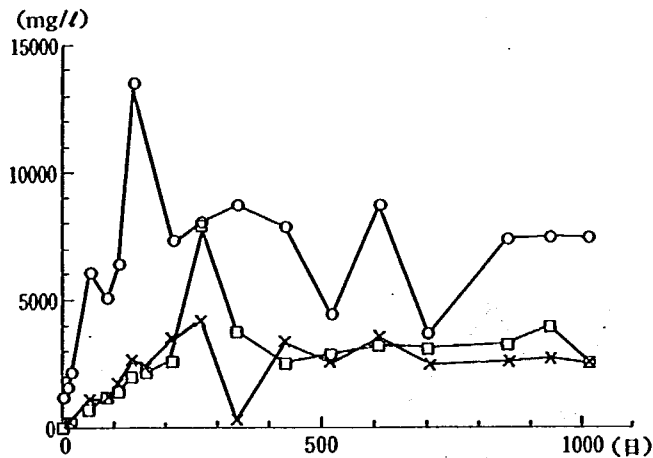


図 2.1.34 K-N (生脱水汚泥, 20°C)

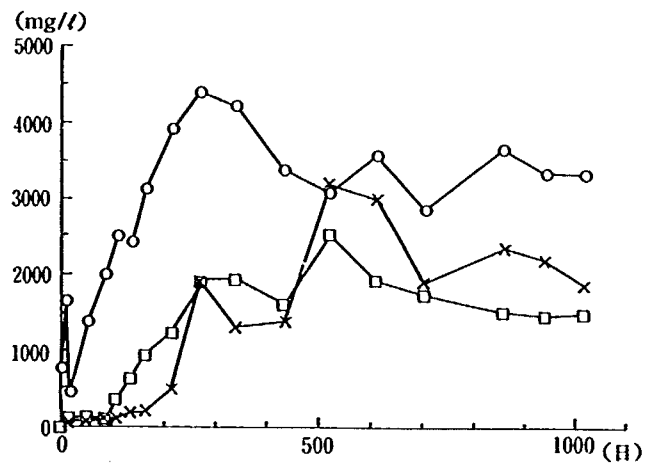


図 2.1.35 K-N (混合脱水汚泥, 20°C) 経時変化

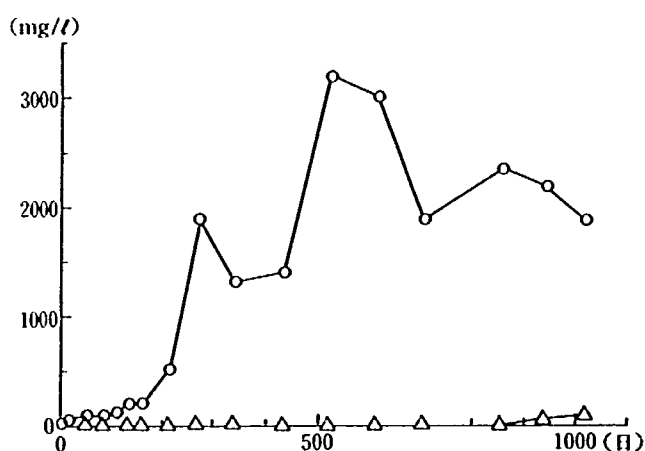


図 2.1.36 K-N (混合脱水汚泥, B1 型, B2 型, 20°C) 経時変化

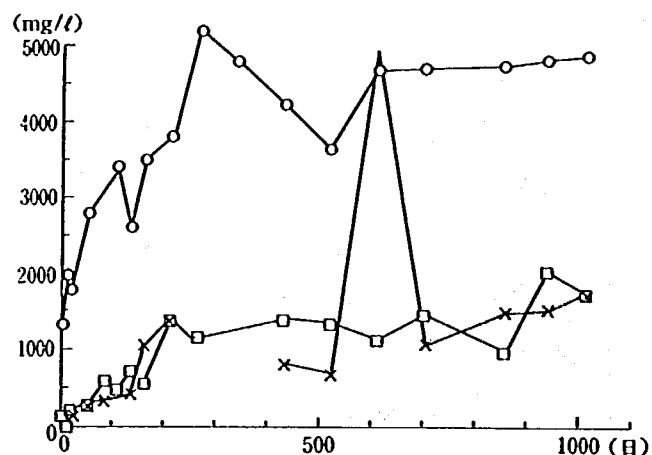


図 2.1.37 K-N (コンポスト汚泥, 20°C) 経時変化

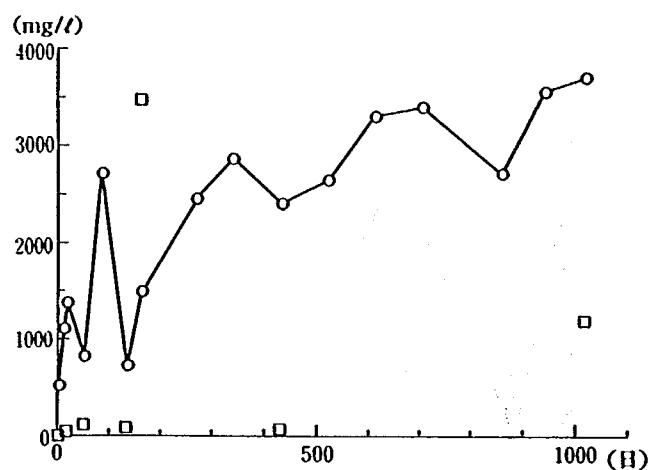


図 2.1.38 K-N (混練固化汚泥, 30°C) 経時変化

(6) T-P (図 2.1.39~43)

T-P は、初期から A 型に比較して B 型, C 型ではかなり低濃度の浸出水となった。これは、砂中の Fe, Al, Ca などとの吸着が大きいと考えられる。

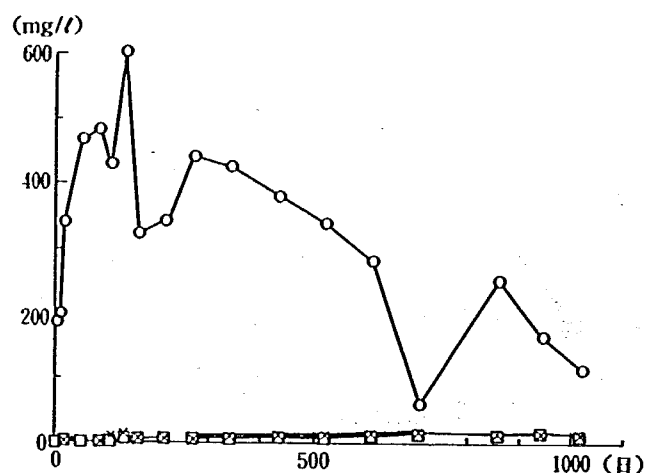


図 2.1.39 T-P (生脱水汚泥, 20°C) 経時変化

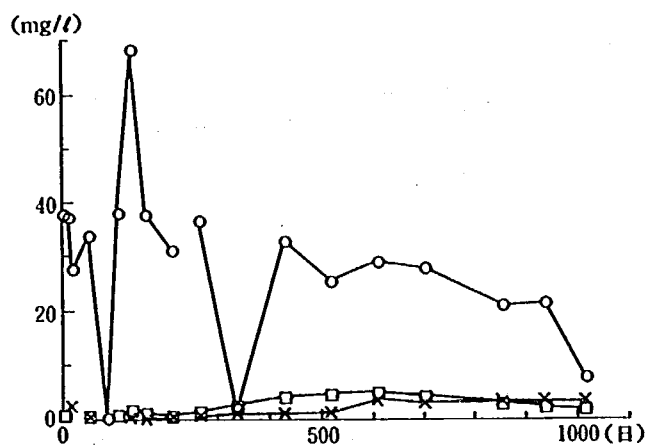


図 2.1.40 T-P (混合脱水汚泥, 20°C)
経時変化

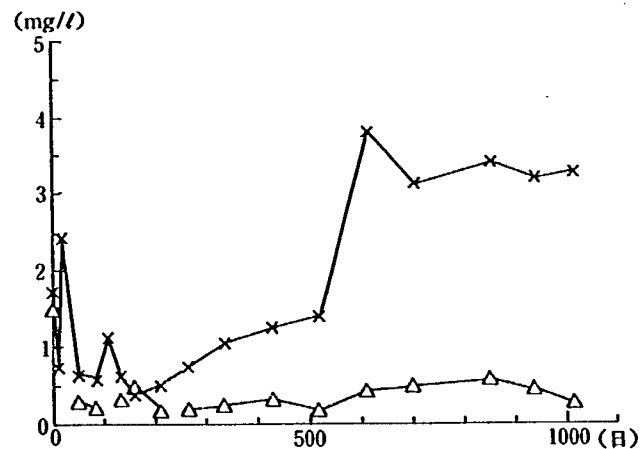


図 2.1.41 T-P (混合脱水汚泥, B1 型,
B2 型, 20°C) 経時変化

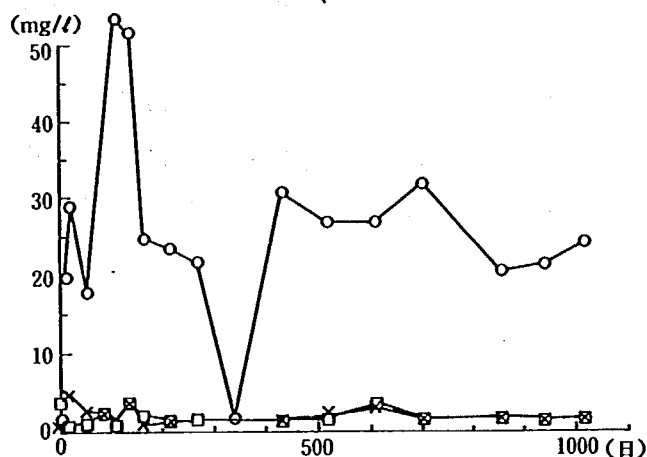


図 2.1.42 T-P (コンポスト汚泥, 20°C)
経時変化

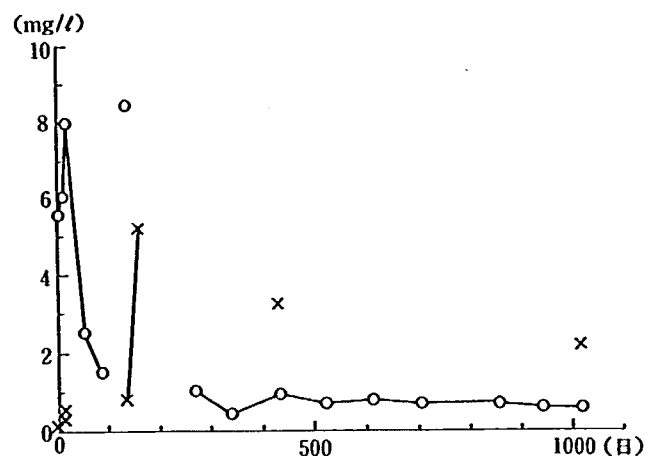


図 2.1.43 T-P (混練固化汚泥, 30°C)
経時変化

3) 温度による浸出水水質の相違

ここでは、温度 (10°C, 20°C, 30°C) に主眼をおき、浸出水水質の相違を考察する。

グラフ中の記号は、以下の通りである。

○—○ 10°C

×—× 20°C

□—□ 30°C

(1) pH (図 2.1.44~48)

生脱、混脱ともに、200 日目ぐらいから温度による差が現れている (図 2.1.44, 図 2.1.45)。生脱では、30°C が pH 8 程度まで上昇している。また、400 日目あたりから、10°C と 20°C との差も少しずつ生じてきている。一方、混脱では 10°C は全期間を通じて、pH 12 程度ではほぼ一定であるが、20°C, 30°C は、pH が低下している。特に、30°C は、200 日目以後、大きく低下し、400 日目あたりからは、ほぼ中性となっている。

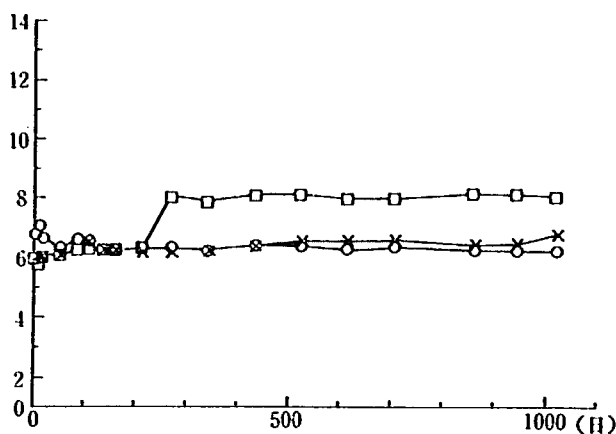


図 2.1.44 pH (生脱水汚泥, A 型) 経時変化

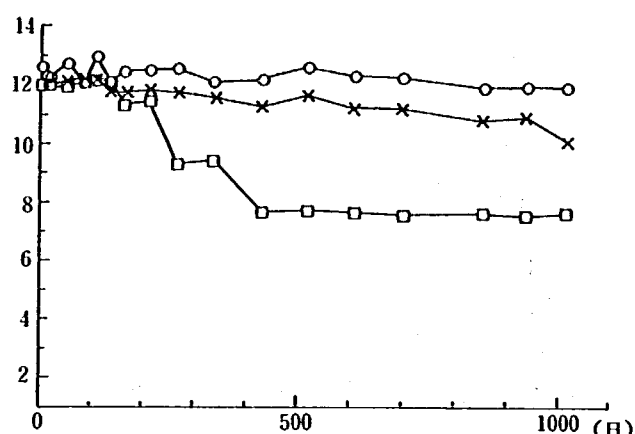


図 2.1.45 pH (混合脱水汚泥, A 型) 経時変化

ところが、消脱では、混脱のような現象は見られず 10℃、20℃とも pH 12 前後ではほぼ同じ値であった (図 2.1.46)。

また、コンポストも、pH が約 8 であることから温度による差は生じなかった (図 2.1.47)。

さらに、下層に砂がある B1 型について見ると、前述したように、砂層には pH を約 8 程度にする作用があるので、10℃、20℃、30℃ についてはそれ程大きな差は生じず、どの供試汚泥においてもほぼ 8 程度で一定であった。1 例として、混脱の場合を図 2.1.48 に示す。

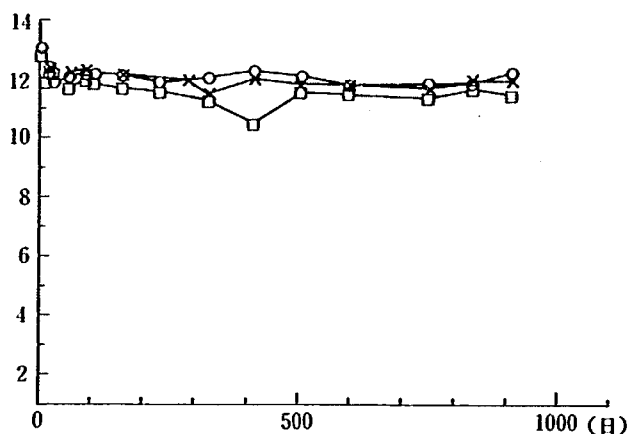


図 2.1.46 pH (消化脱水汚泥, A 型)
経時変化

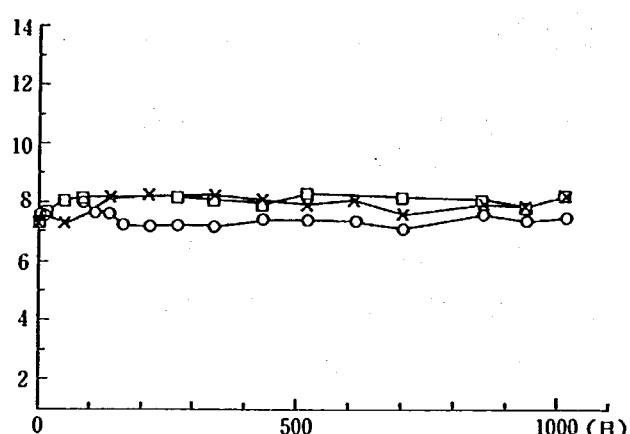


図 2.1.47 pH (コンポスト汚泥, A 型)
経時変化

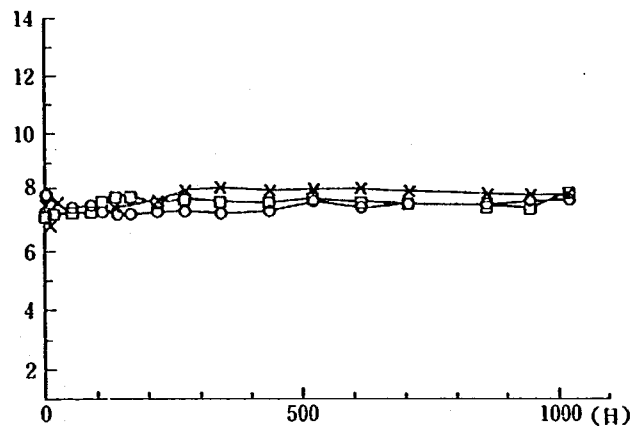


図 2.1.48 pH (混合脱水汚泥, A 型) 経時変化

(2) BOD₅ (図 2.1.49~58)

BOD₅と温度との関係は、各種供試汚泥の種類により相違が見られる。

まず、生脱では、300 日目までは、どの温度における浸出水も同様の推移を示し、200 日目ぐらいにピーク値を示し、その後は減少している (図 2.1.49)。温度による差が現れるのは、300 日以降である。20°C については、変動が見られるものの、BOD₅濃度は、30°C、10°C、20°C の順に高くなっている。

このようなパターンは、混脱の場合にも見られ、BOD₅濃度は、30°C、10°C、20°C の順に高くなっている。特に、30°C においては、400 日目において急激に濃度が低下しており、950 日目には、20°C で 22000 mg/l、10°C で 14000 mg/l であったが、30°C では 160 mg/l、と約 1/100 程度の濃度になっている (図 2.1.50)。

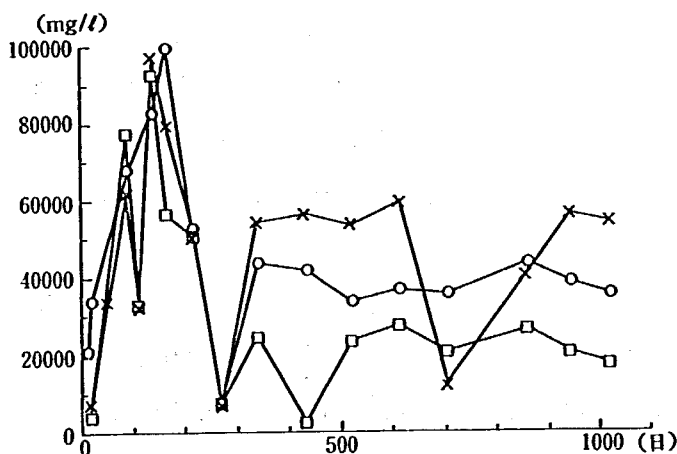


図 2.1.49 BOD₅ (生脱水汚泥, A 型) 経時変化

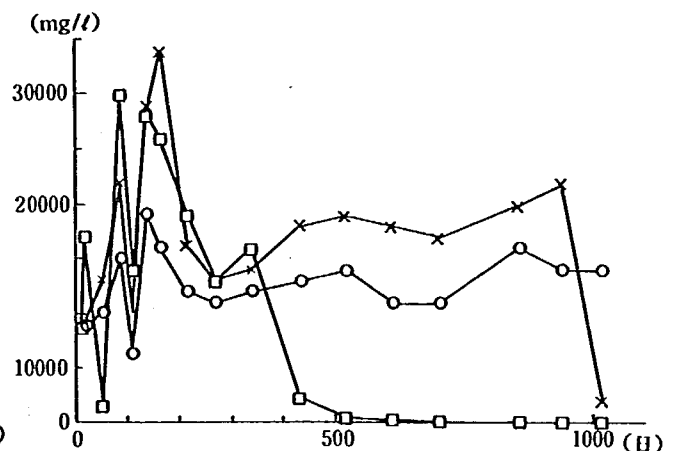


図 2.1.50 BOD₅ (混合脱水汚泥, A 型) 経時変化

これが、コンポストになると、図 2.1.51 に示すように、20°C、30°C は、初期 100 日目ぐらいで、大きく減少し、その後は、500 mg/l~1000 mg/l の間で変動している。ところが、10°C は、かなり大きな値を示し、400 日目から 900 日目ぐらいまでは、20000 mg/l の濃度であった。

一方、消脱になると、温度による差は、300 日以降から見られ、濃度は、10°C、20°C、30°C の順に高くなっている。また、10°C に比べて、20°C、30°C の方が変動が激しい (図 2.1.52)。

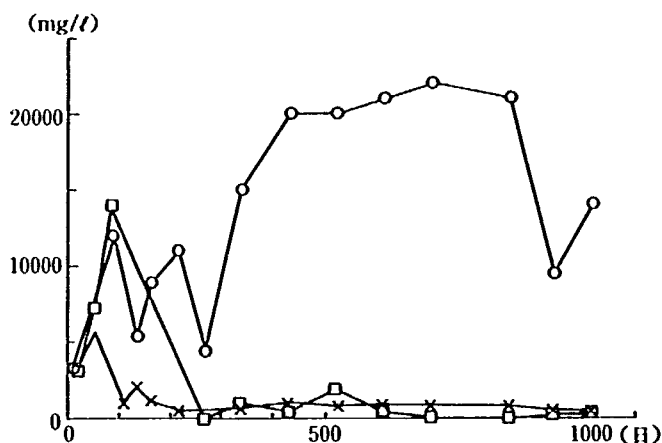


図 2.1.51 BOD₅ (コンポスト汚泥, A 型)
経時変化

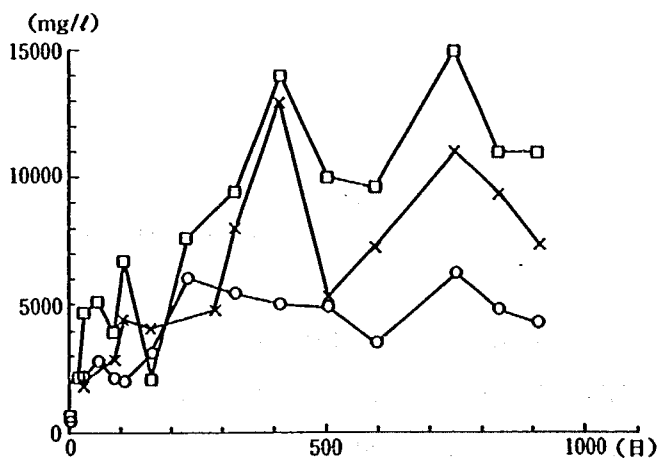


図 2.1.52 BOD₅ (消化脱水汚泥, A 型)
経時変化

次に、カラム下部に砂層のある B1 型、C 型をみる。前述したように、砂層による浸出水の浄化作用が見られるが、ここでは、温度差によるその浄化作用の違いを見ることができる。

生脱、B1 型では、図 2.1.53 に示すように、10°C の場合の浄化作用が劣っている。一方、混脱、B1 型は、図 2.1.54 のようになっており、20°C において 500 日目付近に高い値が見られるが、その他の期間では、生脱のような温度差による大きな差は見られていない。混脱 A 型を見ると、10°C、20°C と 30°C との濃度は、100 倍程度の差が見られているのに、このような浸出水が砂層を通ると、大きな濃度差はみられなくなっている。また、シルト層のある混脱、B2 型になると、図 2.1.55 に示すように、濃度差は、生脱、B1 型ほど大きくないが、20°C、30°C、10°C の順に濃度が高くなっている。これも A 型における浸出水濃度との対応が見られていない。A 型は、30°C、10°C、20°C の順に高くなっている。なお、シルト層内での生物分解が温度に影響していると思われる。

コンポスト、B1 型も、図 2.1.56 に示すように、初期 200 日までは、温度による差はなく、その後は、20°C、30°C、10°C の順に高くなっている。ここでも、10°C については、A 型が 20000 mg/l あるものが、500~800 mg/l まで濃度が低下しており、BOD₅ 成分除去率は、20°C、30°C より大きくなっている。

また、B1 型と同じ砂層が下部にある C 型では、生脱、混脱で B1 型と異なる現象がみられる。生脱 C 型を図 2.1.57 に示すが、20°C、30°C では 300 日以降は 20°C で 1000 mg/l 前後 30°C で 200 mg/l 前後とはほぼ一定であるのかかわらず、10°C については、300 日目から、直線的な増加が見られる。A 型 (図 2.1.49) における 10°C での浸出水濃度には、このような増加がみられず、原因は不明であるが、

10℃において、砂層による浄化能力が低下している。これは、偶然であるのか、混脱、C型(図2.1.58)にも同様の傾向が見られる。このことは、温度による生物分解力の低下と、覆土による汚泥内の嫌気分解化が10℃で緩やかに起こり、浸出水の濃度上昇を起こしたと考えられる。

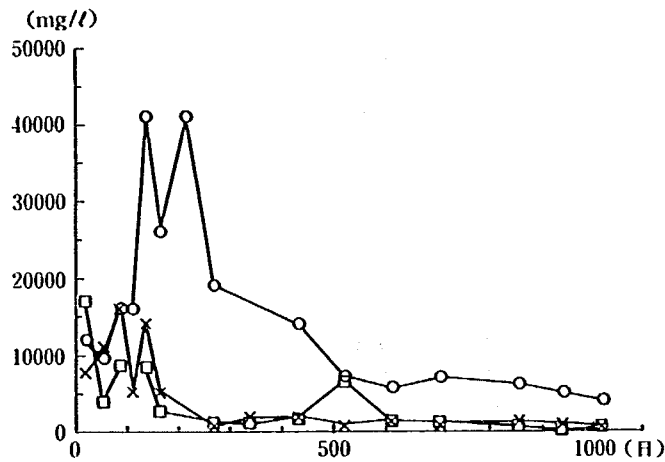


図 2.1.53 BOD₅ (生脱水汚泥, B1型)
経時変化

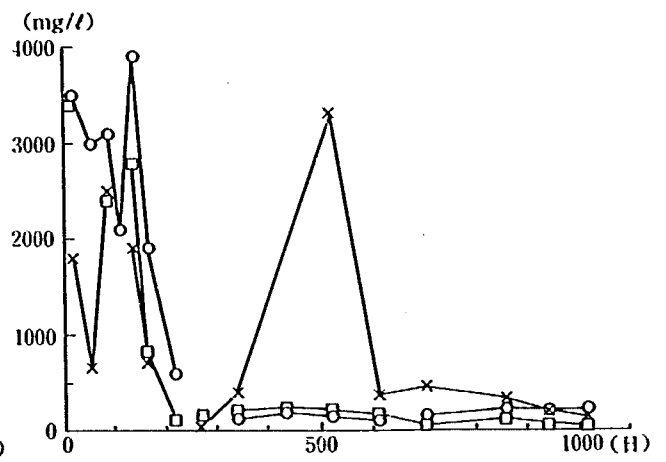


図 2.1.54 BOD₅ (混合脱水汚泥, B1型)
経時変化

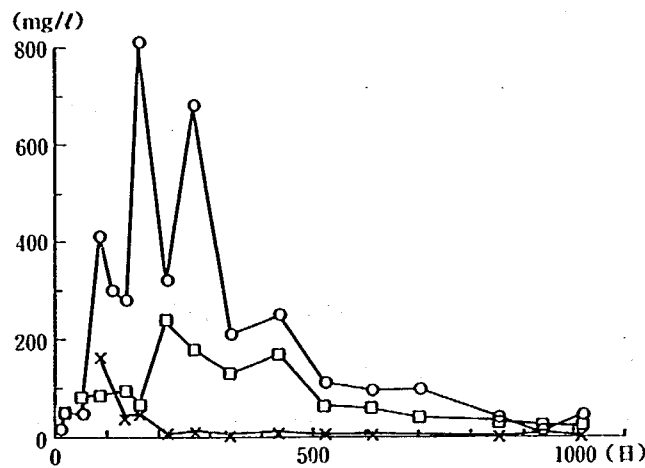


図 2.1.55 BOD₅ (混合脱水汚泥, B2型)
経時変化

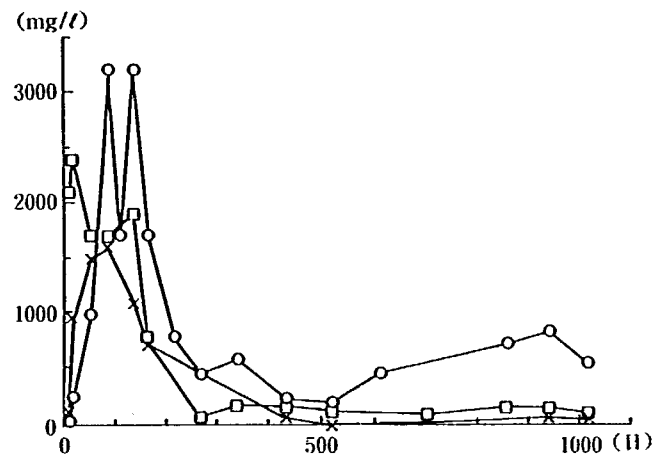


図 2.1.56 BOD₅ (コンポスト汚泥, B1型)
経時変化

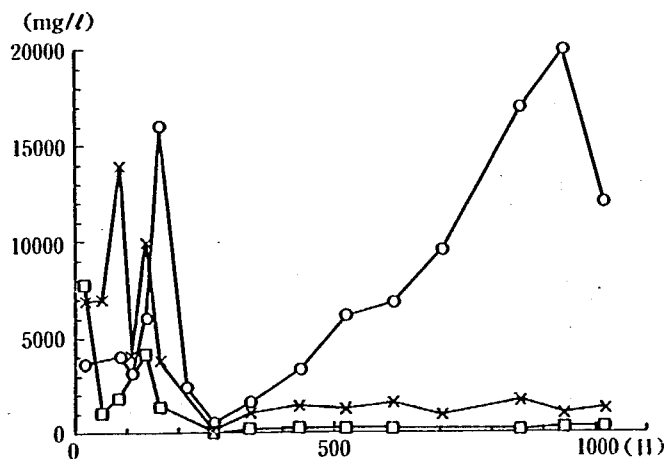


図 2.1.57 BOD₅ (生脱水汚泥, C型)
経時変化

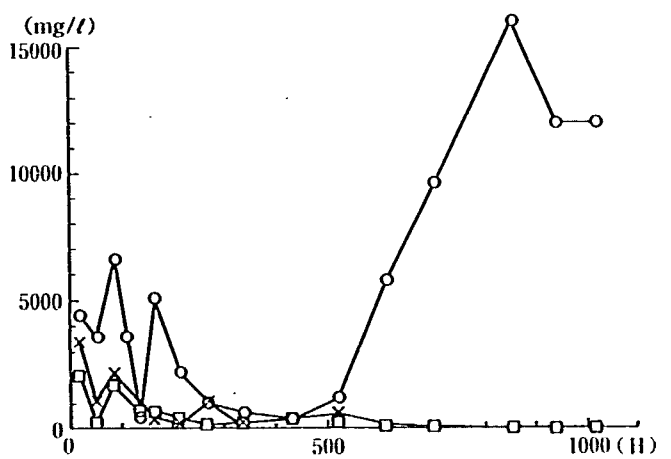


図 2.1.58 BOD₅ (混合脱水汚泥, C型)
経時変化

(3) TOC (図 2.1.59~68)

ここでの TOC は溶解成分である。

生脱は、 BOD_5 と同様の傾向が見られ、200 日目までは 10°C 、 20°C 、 30°C の差は見られないが、それ以降、ほぼ 30°C 、 10°C 、 20°C の順に濃度が高くなっている (図 2.1.59)。

混脱は、 BOD_5 とは少し異なり、100 日目付近から温度による差が出ている。100 日目から 200 日目ぐらいまでは、 10°C 、 20°C 、 30°C の順で濃度が高く、温度が高い方が溶出し易くなっている。その後は、 30°C の場合が急激に値が低下している (図 2.1.60)。

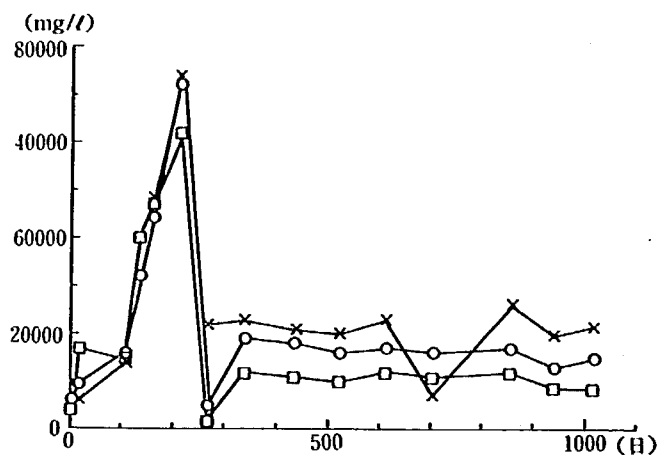


図 2.1.59 TOC (生脱水汚泥, A 型)
経時変化

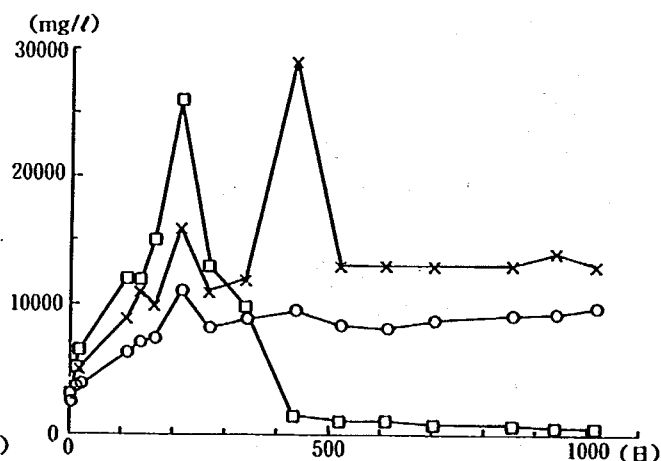


図 2.1.60 TOC (混合脱水汚泥, A 型)
経時変化

コンポストは、 BOD_5 と同じで、 20°C と 30°C とが同じような傾向を示し 10°C の濃度が高くなっている。しかしながら、 10°C と 20°C 、 30°C との差は、 BOD_5 ほどは見られない (図 2.1.61)。

消脱は、図 2.1.62 に示すように、傾向としては、 BOD_5 と同じであるが、300 日以降は傾向が明確になり、 10°C 、 20°C 、 30°C の順に濃度が高くなっている。500 日以降は、 10°C は約 3500 mg/l 、 30°C は約 9000 mg/l とほぼ一定であるが、 20°C は約 5000 mg/l から約 8000 mg/l まで増加している。

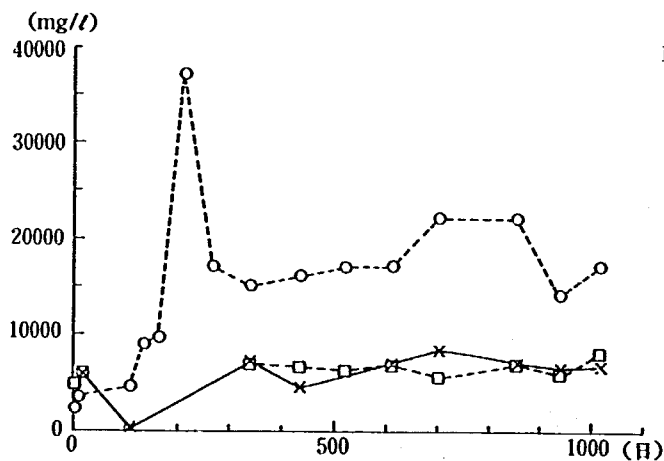


図 2.1.61 TOC (コンポスト汚泥, A 型)
経時変化

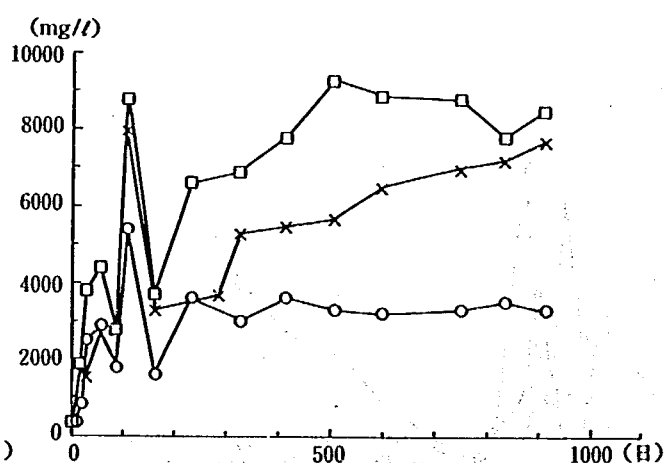


図 2.1.62 TOC (消化脱水汚泥, A 型)
経時変化

次に、砂層のある B1 型、C 型について見てみる。

生脱、B1 型を図 2.1.63 に、混脱、B1 型を図 2.1.64 に示す。

生脱、B1 型は、100 日目以降から、温度差が生じ、10℃ は大きな増加が見られ 200 日目には 30000 mg/l となっている。その後は、50 日ほどで約 1/3 の濃度にまで低下している。一方、20℃、30℃ は、大差なく、初期から、2000~3000 mg/l 前後で推移している。

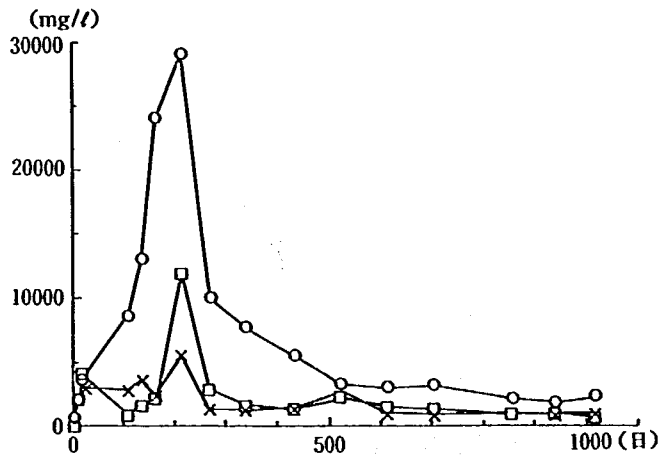


図 2.1.63 TOC (生脱水汚泥, B1 型)
経時変化

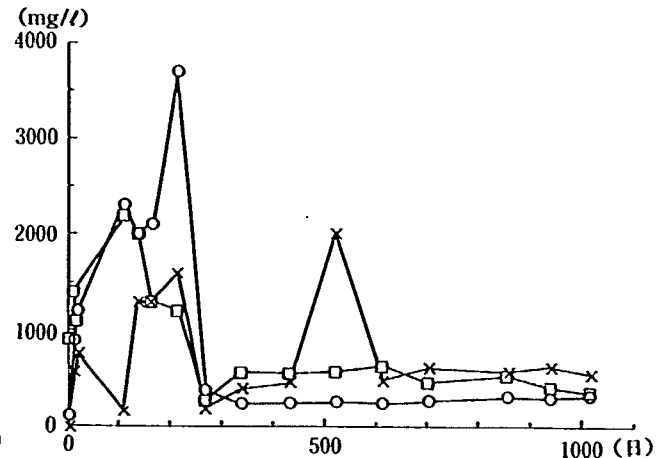


図 2.1.64 TOC (混合脱水汚泥, B1 型)
経時変化

混脱、B1 型では、生脱とは異なり、300 日目以降、10℃ が一番低い濃度となり 1000 日目では、10℃、20℃、30℃ とともにそれほど大きく異なっていない。また、シルト層の B2 型は、図 2.1.65 に示すように、200 日目までは、10℃ が高い値を示していたが、その後は、20℃、10℃、30℃ の順に濃度が高いという状態で推移している。

コンポスト、B1 型は、図 2.1.66 に示すように、500 日目を過ぎると、20℃ が 700 mg/l、10℃ が 2000 mg/l、30℃ が 2000~3000 mg/l 程度であった。これは、BOD₅における傾向とは異なったものとなっている (BOD₅では 20℃、30℃、10℃ の順に濃度が高くなっている)。また、BOD₅で、急激な濃

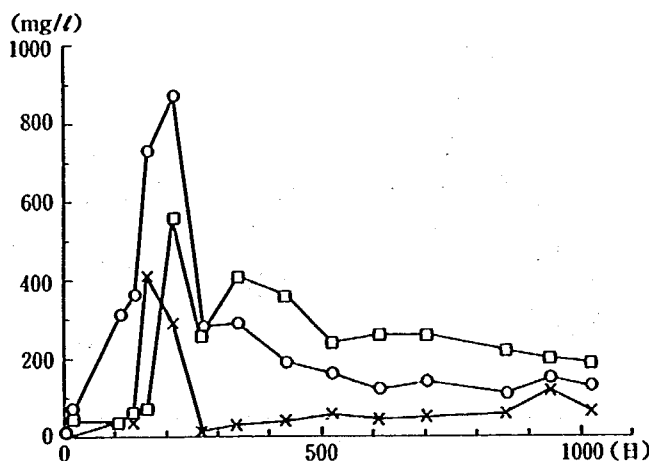


図 2.1.65 TOC (混合脱水汚泥, B2 型)
経時変化

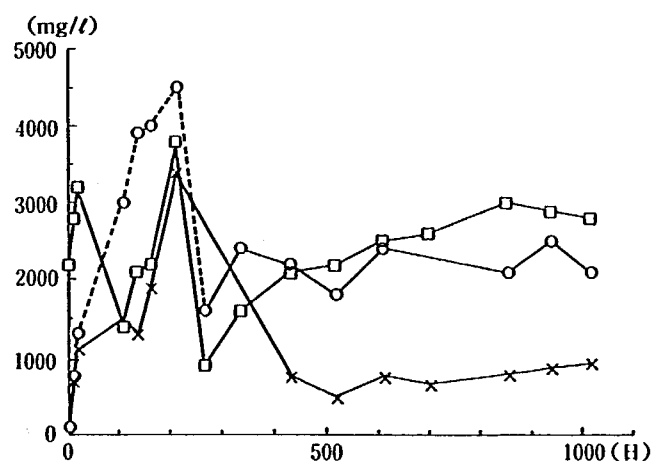


図 2.1.66 TOC (コンポスト汚泥, B1 型)
経時変化

度増加が見られた生脱C型、混脱C型をみる（図2.1.67,図2.1.68）。

生脱，C型は，やはりBOD₅と同様に，300日目あたりから，1000 mg/l程度から6000 mg/lへ増加している。

混脱，C型でも，同様の現象が見られる。ただ，BOD₅と異なる点は，200日目付近でも濃度の増加があり，その後減少し，500日目あたりから急激に，1000 mg/lから6000 mg/lへ増加しているように，2回のピークがあることである。

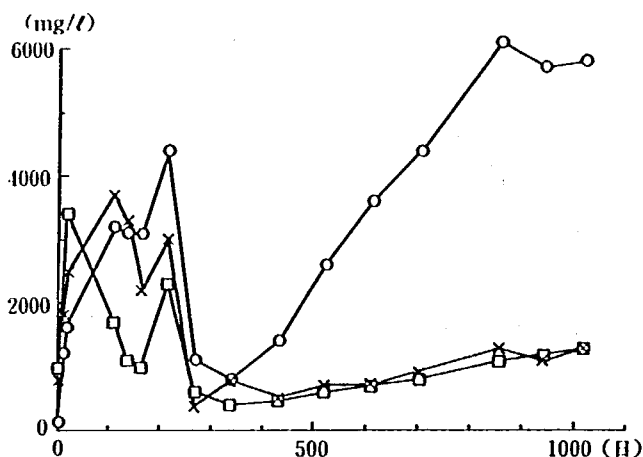


図 2.1.67 TOC (生脱水汚泥, C型)
経時変化

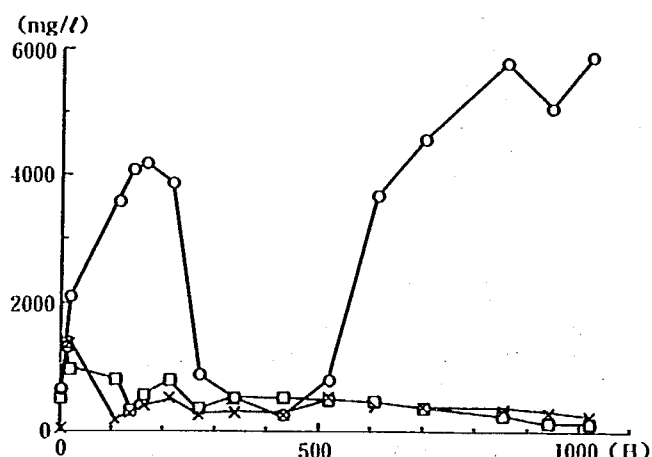


図 2.1.68 TOC (混合脱水汚泥, C型)
経時変化

(4) K-N (図2.1.69～76)

まず，A型において違いを見てみる。

生脱を，図2.1.69に示す。200日目あたりから，温度による差が生じ始めている。それ以後10℃は，約6000 mg/lで一定である。20℃，30℃は，20℃において約9000 mg/lから約4000 mg/lの間で，2度大きな変動があるが，900日目以降，20℃で約7000 mg/l，30℃で約6000 mg/lの値を示している。

混脱は，図2.1.70に示すように，100日目ぐらいから差が生じ，300日目あたりでは，30℃，20℃がピークを示し，30℃，20℃，10℃の順で濃度が高くなっている。その後は，30℃は，約3000 mg/lか

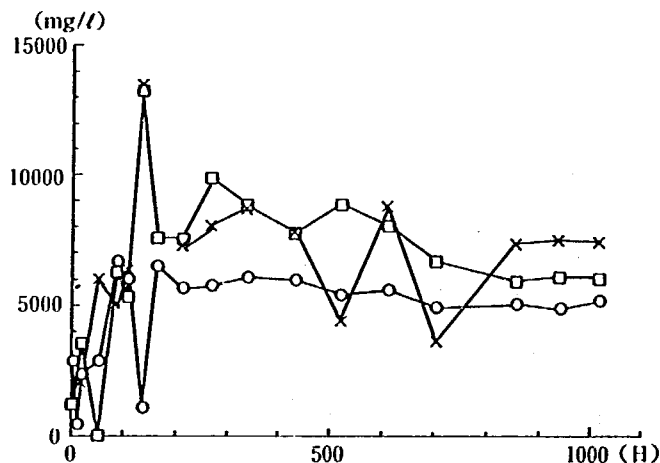


図 2.1.69 K-N (生脱水汚泥, A型)
経時変化

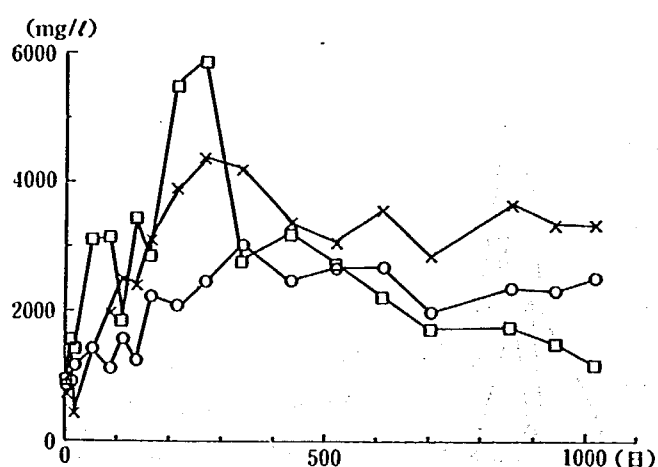


図 2.1.70 K-N (混合脱水汚泥, A型)
経時変化

ら 1000 mg/l まで、減少しているが、10℃、30℃は、それぞれ、約 2500 mg/l、約 3500 mg/l 前後の値を示している。

コンポストでは、30℃で初期にピークを示し、300 日以降で 10℃が約 7000 mg/l、20℃ 30℃が約 5000 mg/l 前後の値を示している（図 2.1.17）。消脱は、20℃で 100 日目に約 6000 mg/l のピークを示し、その後は、10℃、20℃、30℃の順に高くなっている（図 2.1.72）。

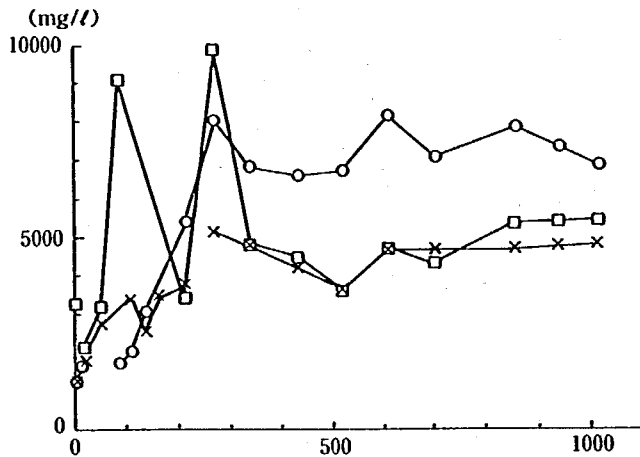


図 2.1.71 K-N (コンポスト汚泥, A 型)
経時変化

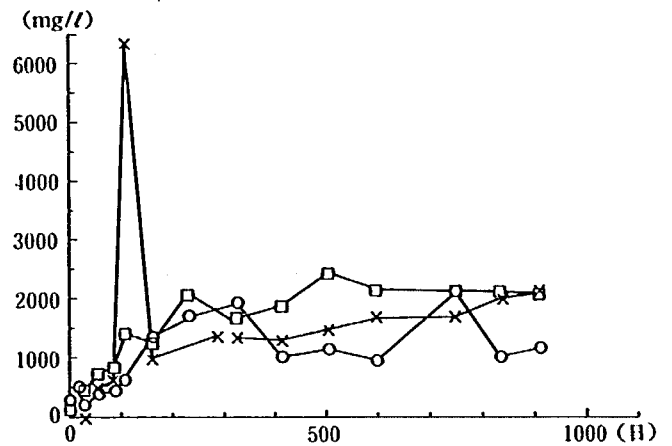


図 2.1.72 K-N (消化脱水汚泥, A 型)
経時変化

次に、砂層を充填した B 型についてみる。

生脱水では、200 日目と 900 日目の 30℃にピークを示すが、温度による大きな差はなくなっている（図 2.1.73）。

混合脱水では、20℃でかなり変動があるが、10℃、30℃、20℃の順に高くなっている（図 2.1.74）。

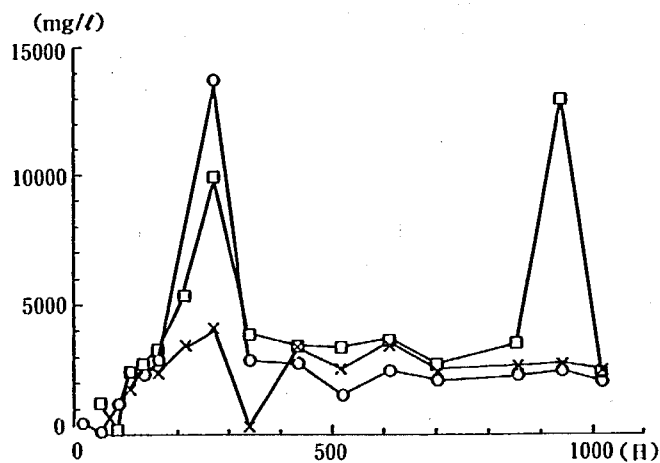


図 2.1.73 K-N (生脱水汚泥, B1 型)
経時変化

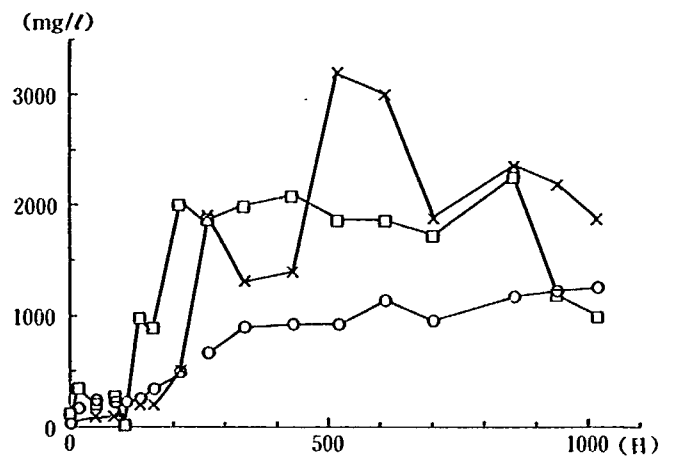


図 2.1.74 K-N (混合脱水汚泥, B1 型)
経時変化

また、シルト層をひいた B2 型では 10℃、20℃で濃度低下がみられるが、30℃では高濃度のまま浸出水が通過している（図 2.1.75）。

コンポストでは、100 日目と 500 日目前後にピークを示すが、20℃、10℃、30℃の順に高くなってい

る。また、低減効果も少ない（図 2.1.76）。

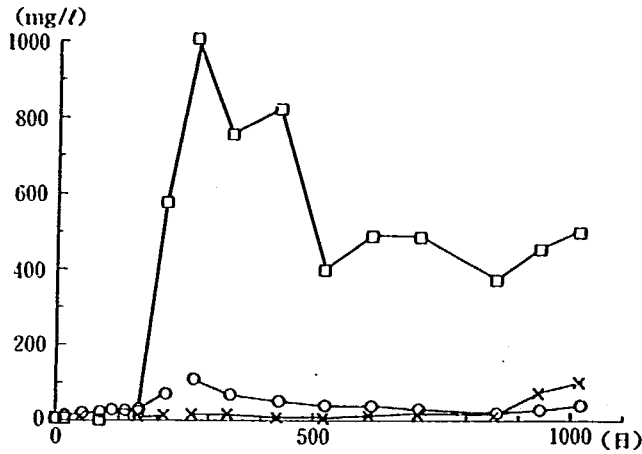


図 2.1.75 K-N（混合脱水汚泥，B1型）
経時変化

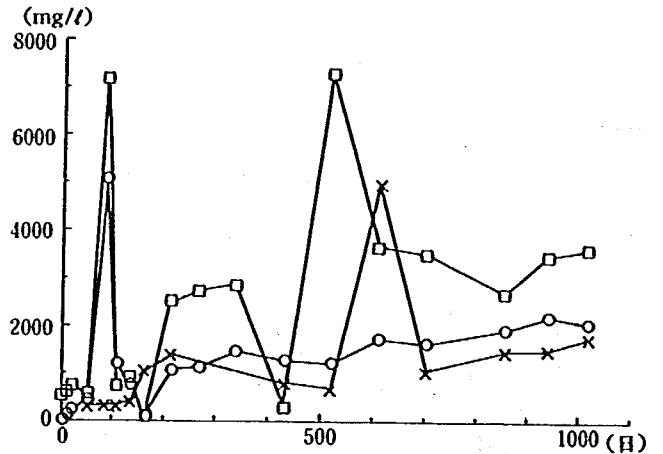


図 2.1.76 K-N（コンポスト汚泥，B1型）
経時変化

(5) T-P（図 2.1.77～87）

まず、汚泥のみの A 型であるが、各汚泥とも温度による濃度差は少なく、時間が経過するにしたがい、濃度はゆるやかに減少している（図 2.1.77，図 2.1.78，図 2.1.79，図 2.1.80）。

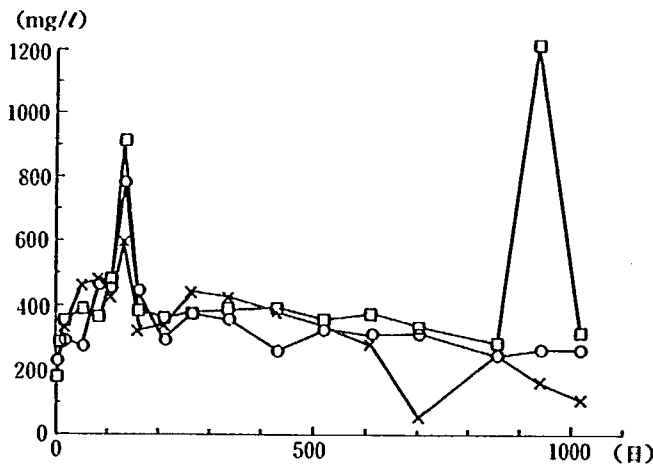


図 2.1.77 T-P（生脱水汚泥，A型）
経時変化

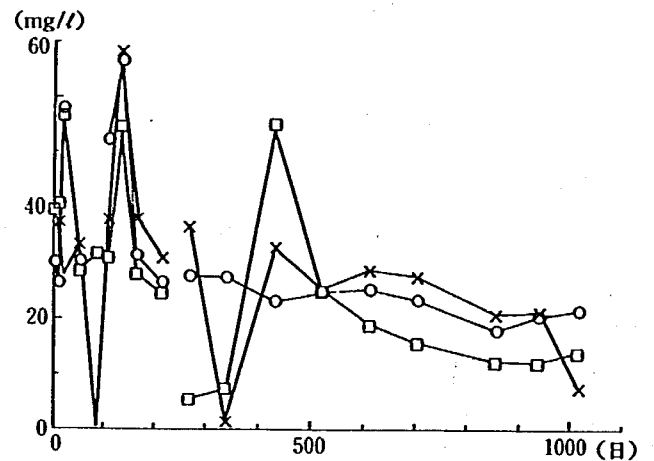


図 2.1.78 T-P（混合脱水汚泥，A型）
経時変化

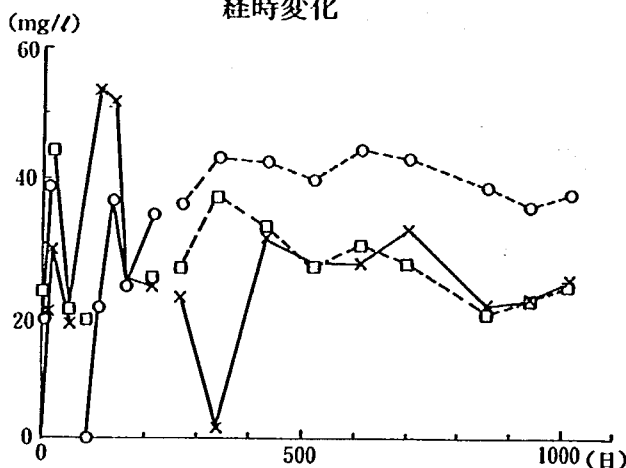


図 2.1.79 T-P（コンポスト汚泥，A型）
経時変化

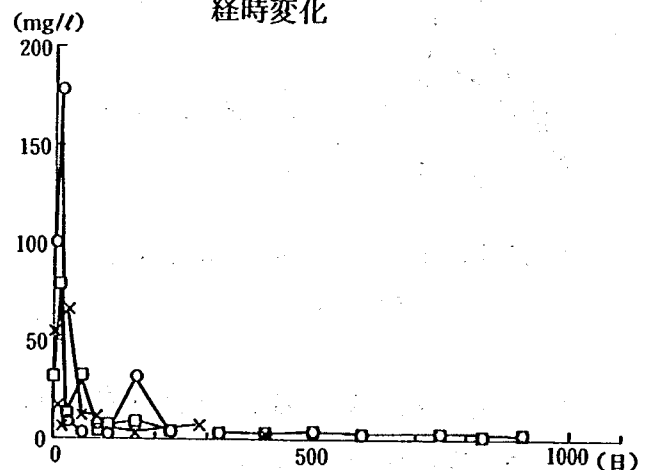


図 2.1.80 T-P（消化脱水汚泥，A型）
経時変化

次に、砂層充填の B1 型であるが、全体的に砂による吸着低減効果は大きく、A 型に比べ 10 分の 1 以下の濃度となっている。生脱水では、10℃、20℃、30℃ の順に高くなっている（図 2.1.81、図 2.1.82）。

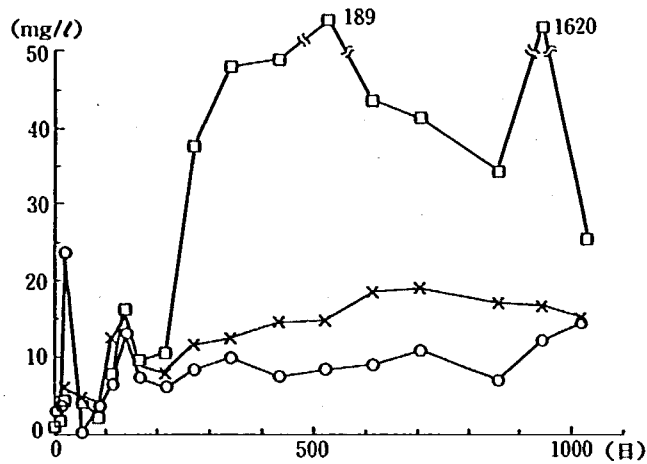


図 2.1.81 T-P (生脱水汚泥, B1 型)
経時変化

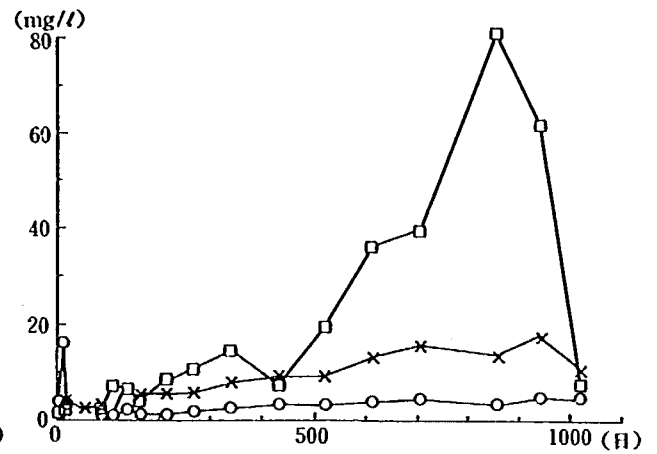


図 2.1.82 T-P (生脱水汚泥, C 型)
経時変化

混合脱水の B 型、C 型では、生脱と同様に 10℃ が初期吸着以後横ばい状態である。20℃、30℃ では、500 日目まで増加傾向がみられ、その後に再び低減効果がみられた（図 2.1.83、図 2.1.84）。

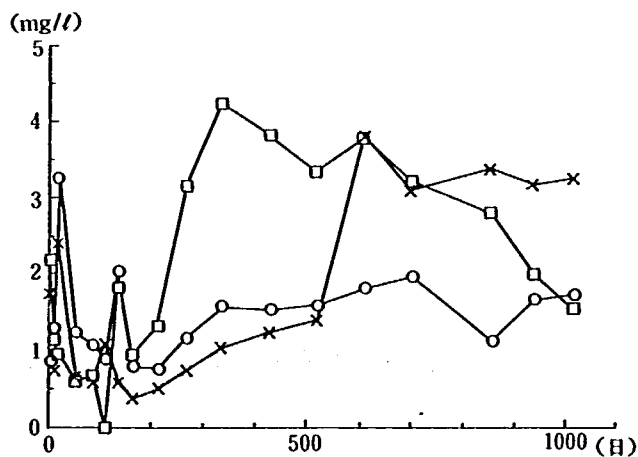


図 2.1.83 T-P (混合脱水汚泥, B1 型)
経時変化

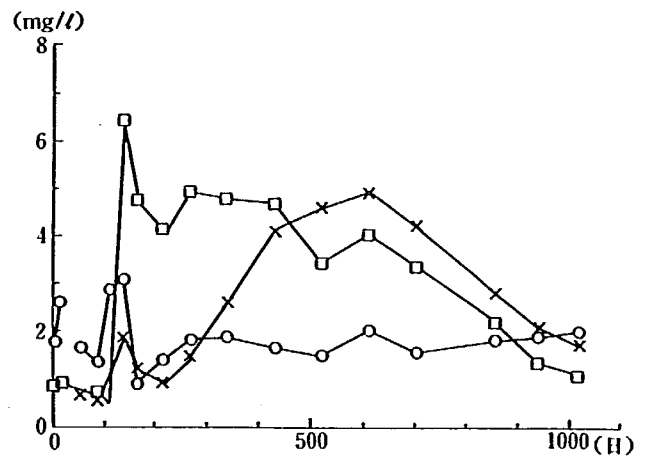
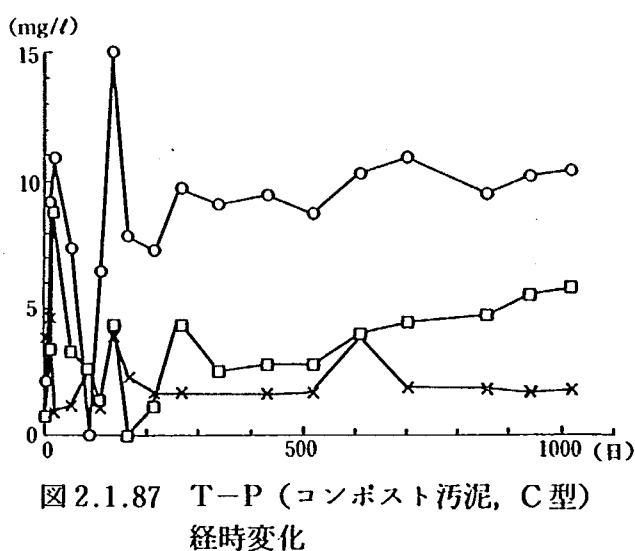
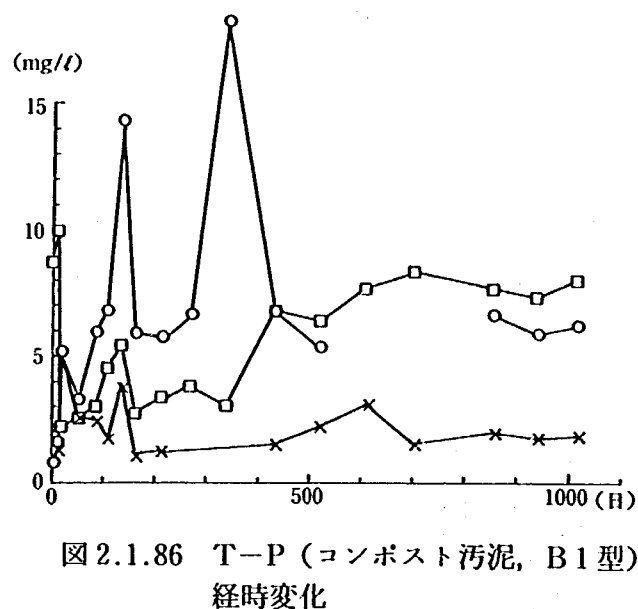
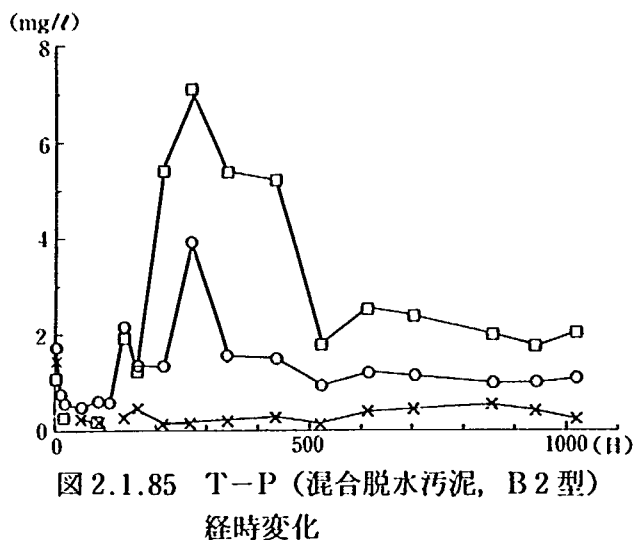


図 2.1.84 T-P (混合脱水汚泥, C 型)
経時変化

また、シルト層の B2 型では、10℃ より 20℃ の方が低い値となっており、20℃、10℃、30℃ の順に高くなっている（図 2.1.85）。

コンポストは、B1 型で 20℃、10℃、30℃ の順で、C 型では 20℃、30℃、10℃ の順になっているが、浸出水濃度はほとんど横ばいであった（図 2.1.86、図 2.1.87）。



2.2 余水調査

2.2.1 実験目的

この調査では、海域埋立時に発生する余水の水質について、その経時的な変化を調べることとし、下水汚泥の種類による相違、温度による相違を調査する。

2.2.2 実験方法

ポリ容器（外径9.3cm，高さ13.0cm）に供試汚泥を約4cmほど充填し，その上部に人工海水を湛水し，10℃及び20℃の恒温室に静置した。供試汚泥としては，実際の埋立時の作業性を考慮し，取り扱いの良いものとして，焼却灰，コンポスト汚泥，混練固化汚泥（混練）を選び，さらに，作業性には問題があるものの焼却せずに埋立処分可能である消化脱水汚泥（消脱）を加えた。ただし，消脱は，20℃のみについて実験を行った。これら供試汚泥の性状及び成分を，表 2.2.1 に示す。

ポリ容器は，各供試汚泥あたり 11 本（消脱用は，6 本）同意し，サンプリング日に 1 本ずつ，分析用として使用することとした。

サンプリングした上澄水は，ろ過（GF/B）した後，そのろ液を検水として分析を行った。

表 2.2.1 供試汚泥の性状及び成分

性状及び成分 供試汚泥	含水率 (%)	強熱減量 (%)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	T-Cr (mg/kg)	As (mg/kg)	T-P (mg/kg)	T-N (mg/kg)	T-C (mg/kg)
焼 却 灰	0.0	0.32	6.34	112	89.3	0.934	1200		
コンポスト汚泥	15.7	28.0	2.37	46.0	22.2	1.38	7370	18100	164000
混練固化汚泥	62.3	26.8	3.29	118	172	0.896	11240	31300	130000
消化脱水汚泥	77.1	35.80	8.92	208	22.7	0.333	11660	16600	180000

なお、ここで使用した焼却灰、コンポスト、混練、消脱は、脱水時に脱水助剤として石灰を添加したものである。また、ポリビンに充填した各種の汚泥乾重量を表 2.2.2 に示す。

表 2.2.2 各種汚泥の充填重量

① 焼却灰 (g)											
温度 ポリビン No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10°C	200	200	200	200	200	200	200	204	206	201	203
20°C	202	200	200	202	200	200	200	200	200	200	200

② 混練固化											
温度 ポリビン No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10°C	97.9	99.0	97.4	97.8	99.1	99.1	98.6	98.3	97.5	97.5	100
20°C	99.3	98.3	99.7	101	99.2	98.2	97.5	99.4	98.4	97.7	98.4

③ コンポスト											
温度 ポリビン No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10°C	212	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211
20°C	211	211	211	211	211	211	209	211	211	211	211

④ 消化脱水						
温度 ポリビン No	1	2	3	4	5	6
20°C	58.4	57.7	59.1	59.4	59.6	58.5

2.2.3 実験データ

以下に実験データを示す。

実験・分析項目

- ① サンプル量 ② 水温 ③ pH ④ ORP ⑤ SS ⑥ DO
 ⑦ COD_{Mn} ⑧ TOC ⑨ K-N ⑩ NH₄-N ⑪ T-P ⑫ Cd
 ⑬ Pb ⑭ T-Cr ⑮ As ⑯ Hg

2.2.4 実験結果と考察

1) 供試汚泥による余水水質の相違

以下図中の記号は、○が焼却灰、×が混練、□がコンポスト、△が消化脱水である。また、ここでは供試汚泥による余水水質の相違を考慮するのが主目的であるから、20℃におけるデータについて考察する。

(1) pH

図2.2.1に、20℃ pH値の経時変化を示す。焼却灰は、石灰系であるためpHは約11、混練は、石灰系の脱水汚泥に石灰系焼却灰、セメントを混ぜたものであるため、pH 10前後とアルカリ性を示している。また、コンポスト、消脱はpH 7.5前後である。これらの値は、実験期間中約750日間ほぼ一定であった。

(2) 有機成分指標 (COD_{Mn}, TOC)

本実験では、サンプルを分析時に1個ずつとりつぶす方式（バッチ方式）で行ったため、各容器によって、また、各供試体によって、サンプリング量に差が生じている。従って、以下、負荷量が計算できる項目については、各負荷量を供試汚泥と海水との接触面積で除した値（単位面積当たりの負荷量 mg/cm²）でその傾向を調べることとする。また、感覚的に判り易くするために単位面積当たりの負荷量値の後にカッコ書で濃度も示すこととした。この濃度は、サンプリング量を650 mlと考えた場合の濃度である（単位面積当たりの負荷量を濃度に直すには約100倍すればよい）。

COD_{Mn}の経時変化を図2.2.2に示す。混練は、750日間増加の傾向にあり、750日目で約7.5 mg/cm² (780 mg/l) の溶出量を示している。一方、コンポストは、1日目0.56 mg/cm² (60 mg/l) から150日目16.8 mg/cm² (1750 mg/l) まで約30倍の直線的な増加を示し、その後750日目で5.9 mg/cm² (610 mg/l) まで、減少している。

このような増加の後の減少傾向は、余水中で微生物による有機物の分解が、COD_{Mn}成分の溶出よりも、上まわっているためと思われる。

混練において、コンポストのような急激な増加が見られないのは、下水汚泥をセメントにより固化したためであろう。また、COD_{Mn}成分の減少が見られないのは、混練の余水のpHが10前後と強アル

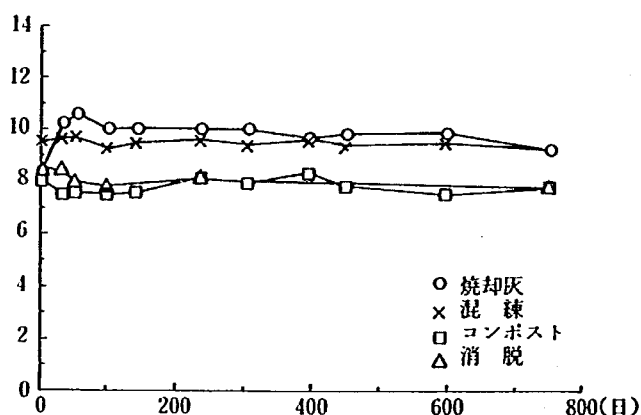


図 2.2.1 pH (20℃) 経時変化

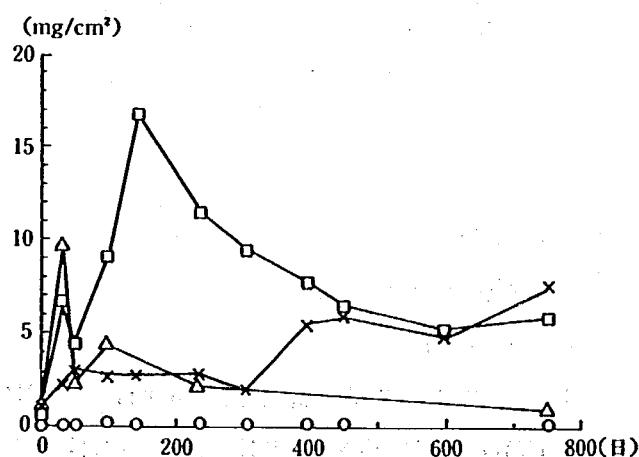


図 2.2.2 COD_{Mn} (20℃) 経時変化

カリ性のため、微生物の活動が弱いと思われる。消脱については、30日間に 9.6 mg/cm^2 (1000 mg/l) のピーク値が現れているが、その後徐々に減少し、750日目では 0.98 mg/cm^2 (100 mg/l) とピーク値の10分の1の値まで減少している。この傾向は、TOC成分についても図2.2.3に示すように、同様の傾向が見られる。有機成分指標についてまとめると、下水汚泥をセメント固化した混練では、固まっているために急激な溶出は見られず、徐々に分解・溶出が進んでいる。また、余水のpHが高いため余水中での有機成分の分解はあまり進まないようである。

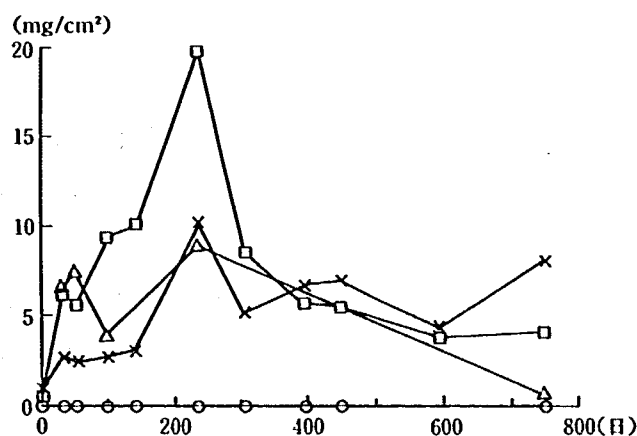


図2.2.3 TOC (20°C) 経時変化

一方、コンポストでは、初期150日程度まで急激に増加し、その以降は、余水中での有機物の分解が進み、みかけの量は減少する。消脱についても、コンポストに類似した傾向を示し、ピーク値は、コンポストより低い値となっている。

(3) K-N, $\text{NH}_4\text{-N}$

次に、各余水の窒素成分をみる。図2.2.4にK-N、図2.2.5に $\text{NH}_4\text{-N}$ の単位面積当たりの溶出量を示す。実験開始直後(1日目)で、混練、コンポスト、消脱ともK-Nは、それぞれ 4.9 mg/cm^2

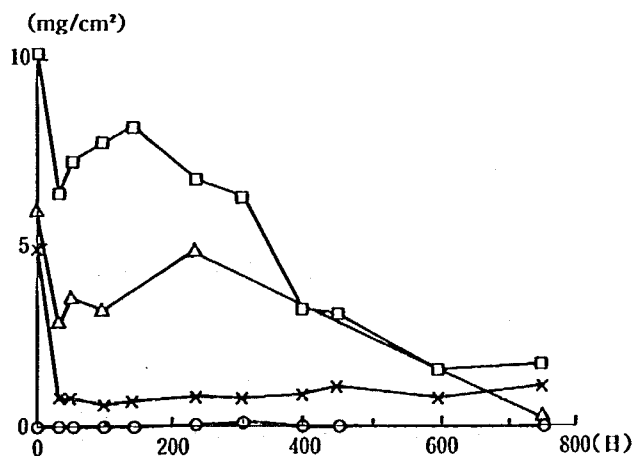


図2.2.4 K-N (20°C) 経時変化

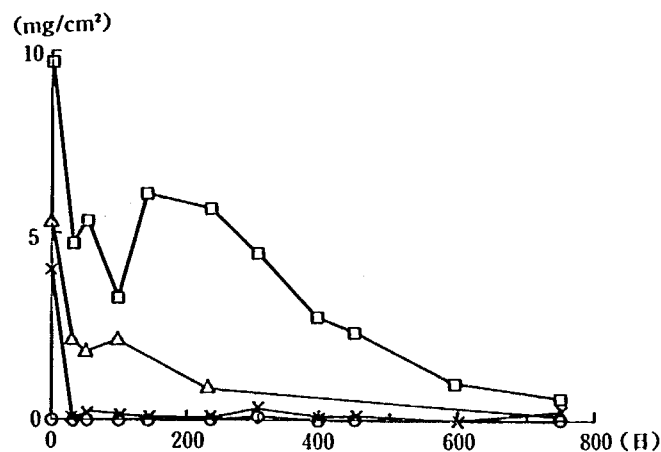


図2.2.5 $\text{NH}_4\text{-N}$ (20°C) 経時変化

(510 mg/l), 10.2 mg/cm² (1070 mg/l), 5.88 mg/cm² (610 mg/l) と高い値を示した。その後1か月目には、それぞれ減少している。コンポストは、少し増加の傾向を示した後、減少に転じ、750日目では、2.0 mg/cm² (200 mg/l) まで低下している。消脱もほぼコンポストと同様の傾向を示し、0.30 mg/cm² (30 mg/l) まで低下している。また、混練は、1か月以後大きな増減はなく、0.8 mg/cm² (85 mg/l) 前後ではほぼ一定である。

また、1日目のK-Nの大部分は、NH₄-Nであり、NH₄-Nの割合は、混練、コンポスト、消脱それぞれ、84%、96%、92%である。その後、この割合は低下し、値の変動はあるものの、混練で30%前後、コンポストで75%前後、消脱では40~70%である。

(4) T-P

コンポストは、有機成分指標 (COD_{Mn}, TOC), K-N, NH₄-N ほど大きな変動はない。300日目付近に最大値、約0.051 mg/cm² (5.3 mg/l) を示すが、その前後は、0.02~0.03 mg/cm² (20~30 mg/l) でほぼ変化はない。

混練については、コンポストとオーダーが異なり0.001~0.005 mg/cm² (0.1~0.5 mg/l) であり、消脱は30日目0.005 mg/cm², 230日目0.015 mg/cm², 750日目0.026 mg/cm²と徐々に増加している。

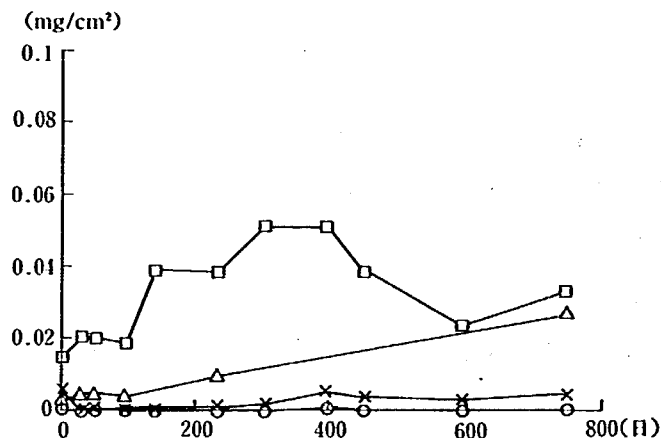


図 2.2.6 T-P (20°C) 経時変化

(5) 重金属

① Cd (図 2.2.7)

各汚泥とも、750日目の焼却灰を除いて、それほど大きな相違は見られない。600日目付近で見ると、各汚泥とも約0.001 mg/cm² (0.1 mg/l) 程度の溶出量となっている。

この溶出量を、各汚泥の含有量に対する割合を600日目のデータで見ると、焼却灰で4.5%、混練で16%、コンポストで12%であり、消脱は750日目で9%であった。

② Pb (図 2.2.8)

焼却灰、混練、コンポストについては、600日目まで、初期溶出量から減少傾向が見られるが750日目になると、混練、コンポストとも、大きく増加している。Pbのような重金属が減少するのは、化学反応による沈殿が主な原因であると考えられるが、600日という長期間にわたる減少傾向増加を説明す

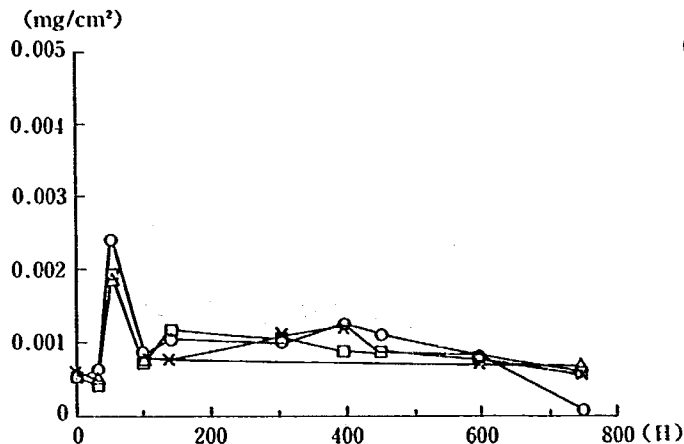


図 2.2.7 Cd (20°C) 経時変化

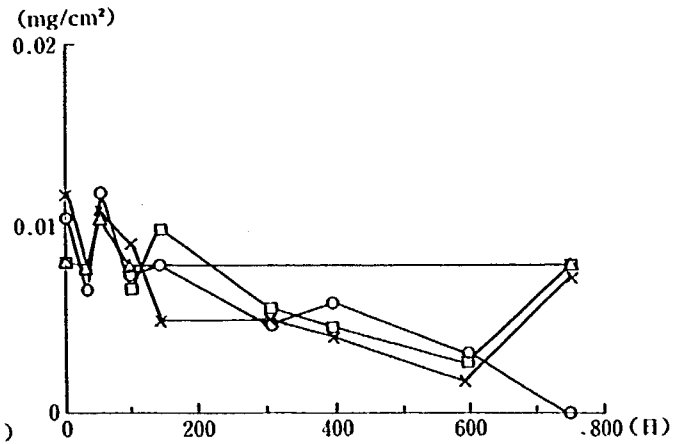


図 2.2.8 Pb (20°C) 経時変化

るのは難しい。従って、同じ供試汚泥でも、溶出量で 0.01 mg/cm^2 から 0.003 mg/cm^2 程度のばらつきがあると考えた方が良いかもしれない。

③ T-Cr

T-Cr は、焼却灰、混練が初期に、溶出が見られた場合があるが、ほとんどが濃度で 0.2 mg/l (0.0019 mg/cm^2) 以下であった。コンポスト、消脱も、すべての実験期間にわたって、 0.2 mg/l 以上の溶出は見られなかった。

④ As, Hg

As, Hg に関しては、各汚泥とも As が 0.05 mg/l (0.0005 mg/cm^2 以下, Hg が 0.005 mg/l (0.00005 mg/cm^2) 以下であり、これらの値以上の溶出は見られなかった。

重金属に関しては余水の排水基準でみると、Ca が 0.1 mg/l 、Pb が 1 mg/l 、As が 0.5 mg/l 、Hg が 0.005 mg/l 、Cr が 0.5 mg/l であり、Pb, As, Hg, Cr, (T-Cr で 0.5 mg/l を超える値はなかった) は、排水基準を満足している。一方、このような実験方法では、上澄水の量によりその濃度は、変化じうと考えられるから、一概に、Cd が排水基準を超える恐れがあるとはいえないが、Cd については、 0.1 mg/l を超えており、注意が必要であろう。

2) 温度による余水水質の相違

(1) pH

pH については、焼却灰、混練、コンポストとも、温度の相違による変化は見られなかった。 20°C における余水水質で述べたように、焼却灰は 10.5 前後、混練は 9.5 前後、コンポストは 7.5~8.0 の間であった。

(2) 有機成分指標

COD_{Mn}, TOC のデータを見てみる。混練については、COD_{Mn} を図 2.2.9 に、TOC を図 2.2.10 に示す。また、コンポストについては、COD_{Mn} を図 2.2.11 に、TOC を図 2.2.12 に示す。

混練は、COD_{Mn}, TOC とも、温度による経時変化の相違は、ほとんどない。あえていうならば 300 日目程度までは、 20°C の方が 10°C に比べて、汚泥より溶出が多く、600 日以降は、余水中での分解の

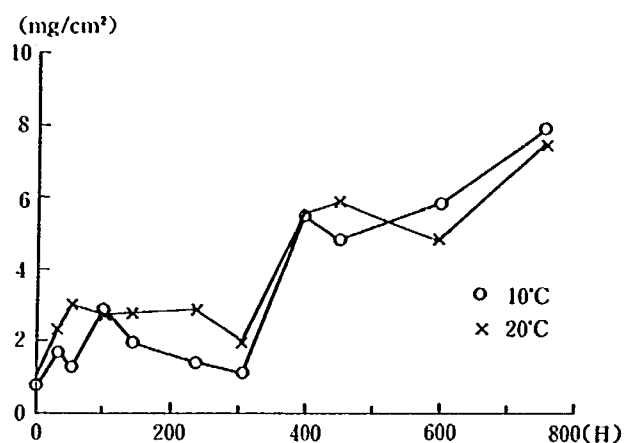


図 2.2.9 COD_{Mn} (混練) 経時変化

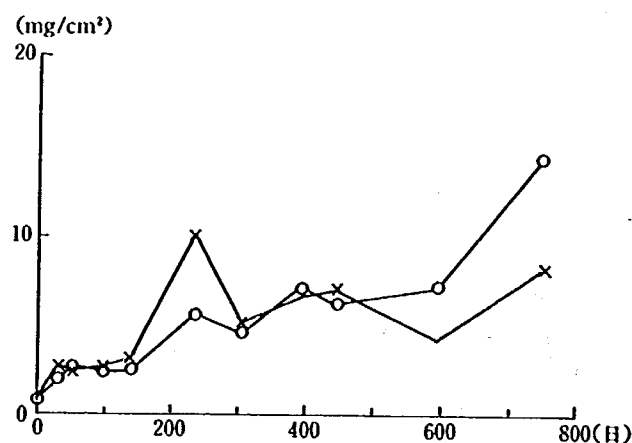


図 2.2.10 TOC (混練) 経時変化

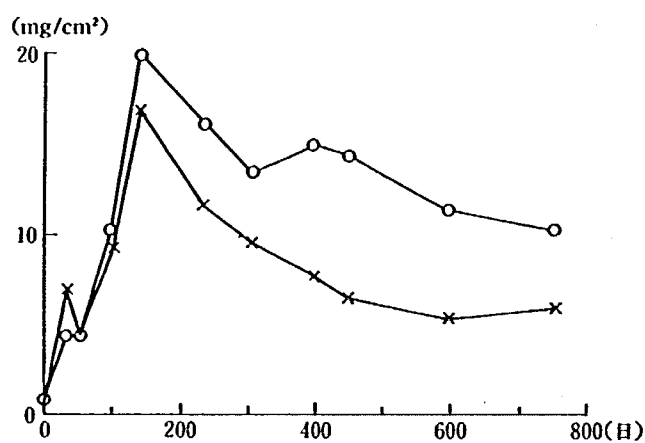


図 2.2.11 COD_{Mn} (コンポスト) 経時変化

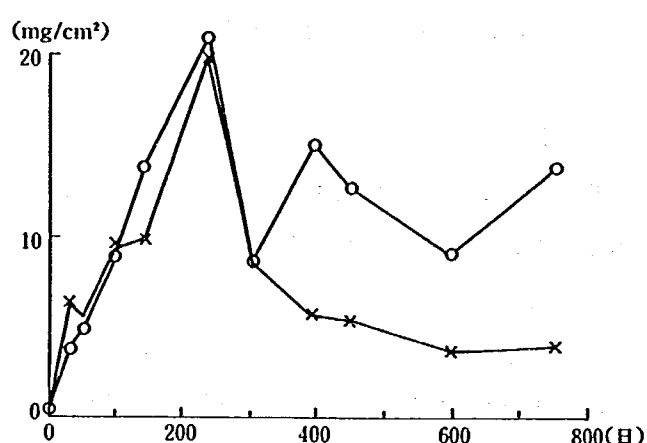


図 2.2.12 TOC (コンポスト) 経時変化

影響が現れて、20°Cの方が、みかけの溶出量が小さくなっている。ただ、余水のpHが9.5とアルカリ性が強いいため微生物による分解作用もそれほど活発ではなく、大きな差となっていない。また約750日にわたっても、まだ増加の傾向が見られている。

一方コンポストでは、pHが中性に近いため、余水中での微生物が活動しやすく400日目以降では、みかけの溶出量が大きく差が出ている。750日目では、10°Cに比べて20°Cのみかけ溶出量は、COD_{Mn}で約3分の1程度になっている。また、初期からの増加傾向は、両方の指標とも、10°C、20°Cは同様の動きをし、COD_{Mn}で150日目にピークが、TOCで230日目にピークがそろって見られたCOD_{Mn}とTOCのピーク値が約90日ほどずれている理由は良くわからないがCOD_{Mn}で測定可能な分解しやすい物質が、溶出し終わった後でも、過マンガン酸カリウムでは分解されない、炭素化合物が溶出していることがわかる。

(3) K-N, NH₄-N

① 混練 (図 2.2.13, 図 2.2.14)

K-N, NH₄-Nとも、温度による相違は見られない。また、COD_{Mn}, TOCでみられたようなピー

クは見られない。

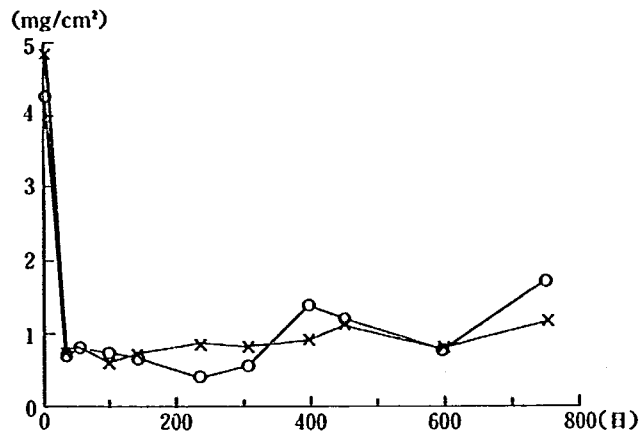


図 2.2.13 K-N (混練) 経時変化

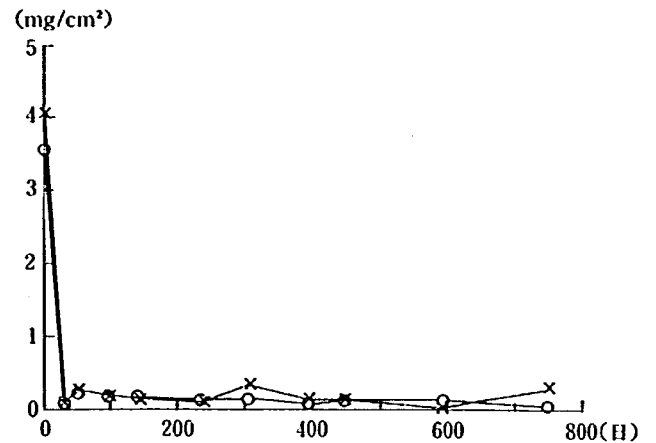


図 2.2.14 NH₄-N (混練) 経時変化

② コンポスト (図 2.2.15, 図 2.2.16)

K-N では, 200 日目前後から, NH₄-N では, 300 日目付近から, 20°C における溶出量に減少が見られる。10°C は, 20°C に比べてあまり変化はない。750 日目の溶出量を比べると, K-N は, 10°C で, 5.87 mg/cm² (610 mg/l), 20°C は, 1.71 mg/cm² (180 mg/l) で, 20°C は, 10°C の約 0.3 倍になっている。

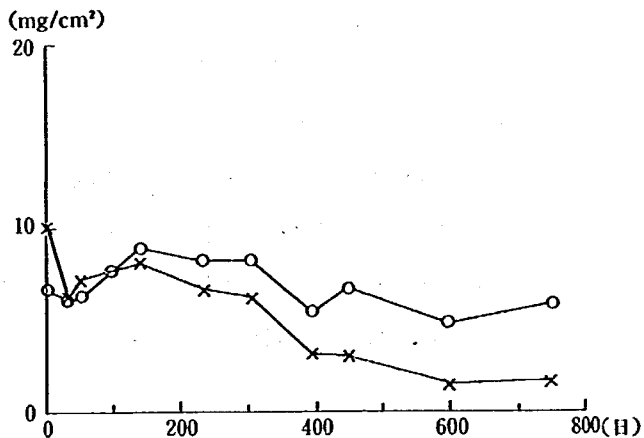


図 2.2.15 K-N (コンポスト) 経時変化

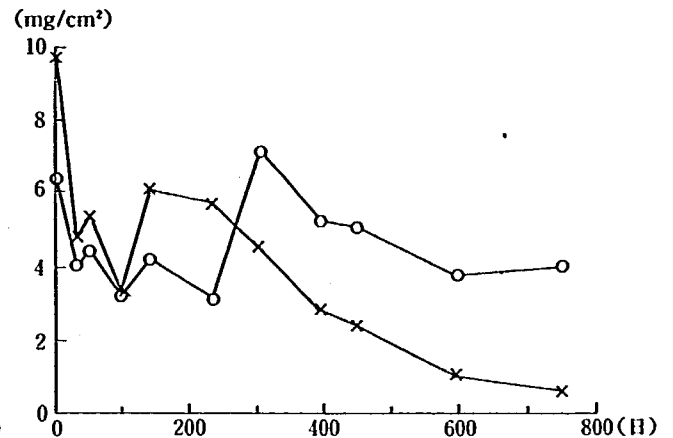


図 2.2.16 NH₄-N (コンポスト) 経時変化

(4) T-P

① 混練 (図 2.2.17)

10°C, 20°C とともに, 実験開始後1日目では, 約0.006mg/cm² (0.63mg/l) の溶出が見られたが, その後は, 200 日目までどちらも同じ値で, ほぼ一定であり, 200 日以後増加が見られる。400 日目以降, 10°C と 20°C で, 差が見られはじめるが, その差もそれほど大きなものではない。

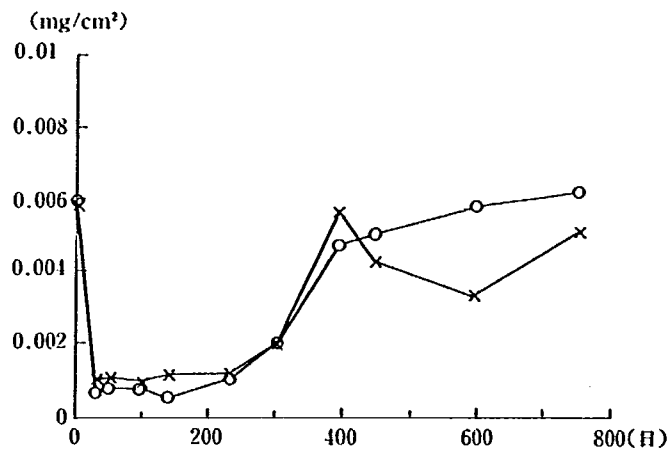


図 2.2.17 T-P (混練) 経時変化

② コンポスト (図 2.2.18)

コンポストも、10°C、20°C であまり大きな差は見られない。また、COD_{Mn}、TOC でみられるようなピークは見られない。ただ、300 日目前後で 20°C においては、みかけ上最大の値が現れている。400 日目以降の減少傾向も、COD_{Mn}、TOC に見られるように大きな差は見られず、ほぼ同様に減少傾向がある。

全体をまとめると、混練は、セメント等により固化されているため汚泥からの溶出量は少ないが、やはり時間をおって徐々に溶出が見られる。また、余水中での有機物等の分解は pH が高いため、みかけの溶出量を減少させるほどには、生じていないようである。また、温度による差もほとんどの項目において見られなかった。

一方、コンポストは、本実験で用いた供試汚泥中で一番溶出量が多く、好氣的に安定化されているとはいえ、海水中へ投入され、嫌気状態になるとかなりの溶出がみられるようである。また、200~300 日程度経過したあたりから、余水中での分解作用が見られ特に 20°C では、みかけの溶出量のピークが見られたが、K-N、NH₄-N、T-P 等には、大きなピーク値は見られなかったのもひとつの特徴である。さらに、温度の違いによる変化も T-P、重金属類を除き、各項目の溶出量の減少が見られるあたりから、その差が顕著に現れている。

消脱については、コンポストと混練との中間的な溶出量であり、減少傾向はコンポストに類似している。

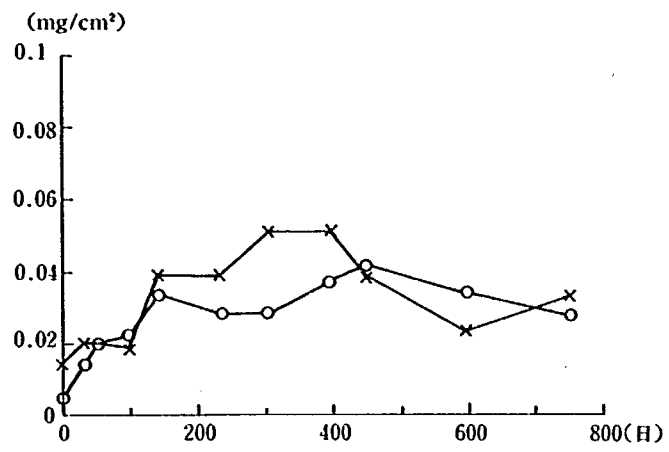


図 2.2.18 T-P (コンポスト) 経時変化

第3章 屋外埋立実験

3.1 浸出水調査

3.1.1 実験目的

この調査は、屋外に埋立槽をつくり、自然条件下で下水汚泥からの浸出水の水質及びその量について調べるものである。浸出水の量については、量を測定することはもちろんのこと、降雨量、表面を流出するもの（表面流出水）をも測定し、浸出水の浸出率を把握することを目的とした。

3.1.2 実験方法

1) 実験装置

図3.1.1に示すような埋立槽Ⅰを作った。ここでは、埋立地における水収支の基本的なモデルを図3.1.2のように考え、浸出水、表面流出水、雨量、蒸発量を測定する。この埋立槽においては、浸出水量と表面流出水量とを測定することができる。ここでいう浸出水とは、一度埋立物中に浸透した後、流出してくるものであり、覆土表面、もしくは、覆土と埋立物との境界面にそって流出してくる水とし、集水マスbに流れ込むものである。

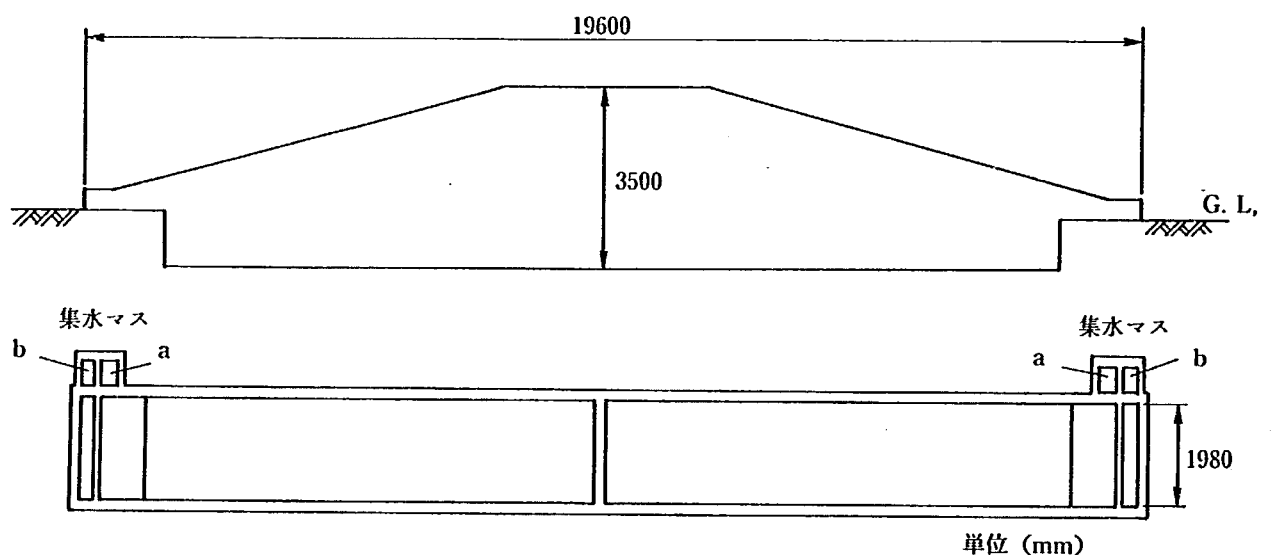


図 3.1.1 屋外埋立実験槽Ⅰ

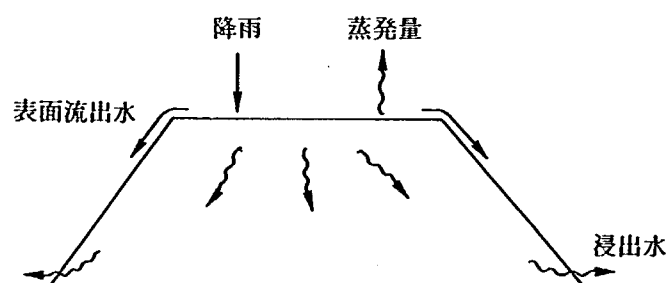


図 3.1.2 埋立地モデル

これらの水量は、雨量測定用の転倒マスを使って測定した。さらに、浸出水については、pH と、ORP を連続測定し、埋立物中の地温も上部から 1 m 間隔で連続測定した。

2) 供試汚泥の種類

供試汚泥としては、混練固化汚泥（脱水汚泥と焼却灰とセメントを重量比約 8：1：1 で混練したもの）、消化脱水汚泥の 2 種類を用いた。これら供試汚泥の性状及び成分を表 3.1.1 に示す。

表 3.1.1 供試汚泥の性状及び成分

項 目 供試汚泥	含水率 (%)	強熱減量 (%)	T-C (mg/kg)	T-N (mg/kg)	T-P (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	T-Cr (mg/kg)	As (mg/kg)
消化脱水汚泥	60.1	37.3	192000	16500	13200	9.99	111	99.2	0.508
混練固化汚泥	51.4	16.4	82000	16700	6770	5.99	53.9	232	1.12

3) 供試汚泥の充填方法

供試汚泥の埋立槽への充填方法は、シャベルカーによって汚泥を槽内に投入し、入力によって、汚泥表面を埋立槽の斜面形状に合うように整形した。整形後、約 0.5 m の覆土を山砂を使って行った。ただし消化脱水汚泥は、高含水率であったため槽の斜面形状に合わせた整形はできず、埋立槽 I の最上部から約 1 m 下がった地点から埋立槽の下端部に向かってなだらかな斜面を形成した。

4) 浸出水・表面流出水の種類

浸出水および表面流出水の記号を以下に示す（図 3.1.3 参照）。

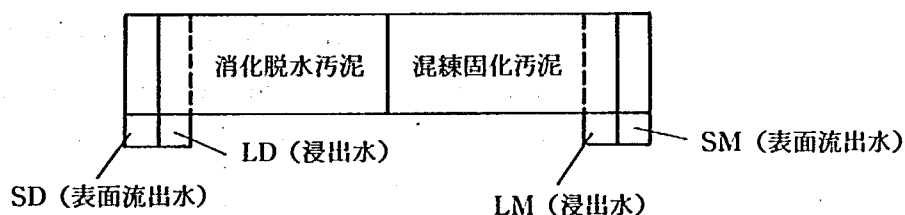


図 3.1.3 浸出水および浸出水の名称

LD：浸出水，消化脱水汚泥

LM：浸出水，混練固化汚泥

SD：表面流出水，消化脱水汚泥

SM：表面流出水，混練固化汚泥

また、消化脱水汚泥を充填した槽を、消化脱水汚泥槽、混練固化汚泥を充填した槽を混練固化汚泥槽と呼ぶこととする。

3.1.3 実験データ

以下に調査水質項目を示す。

1) 浸出水量，表面流出水量データ

実験期間中の浸出水量、表面流出水量のデータを示す。

2) 降雨量、蒸発量データ

実験期間中の実験場所における降雨量と蒸発量のデータを示す。

3) 水質項目

① 余水

pH, ORP, SS, BOD₅, COD_{Mn}, TOC, K-N, NH₄-N,
T-P, Cd, Pb, T-Cr, As, Hg

② 間げき水

SS, BOD₅, COD_{Mn}, TOC, K-N, NH₄-N,
T-P, Cd, Pb, T-Cr, As, Hg

ただし、TOC は、ろ液 (GF/B でろ過) について測定した。

3.1.4 実験結果

1) 浸出水量

本調査では、昭和 57 年 4 月から昭和 58 年 12 月までの 21 か月にわたるデータを得た。

(1) 消化脱水汚泥槽

毎日のデータを図 3.1.4 に示す。浸出水 (LD) は、昭和 57 年 4 月から 12 月までと昭和 58 年 2 月から 12 月までを比べると、後期の浸出水が前期より増加している。一方、表面流出水 (SD) を見ると、浸出水とは逆に後期の方が少なくなっている。つまり、前期に対して、後期の方が、降った雨が地中へ浸透し易くなっているようである。

この結果は、各月毎に降雨量、浸出水量、表面流出量を累積した図 3.1.5 を見るとさらに明確になる。例えば、期間を、前期として昭和 57 年 4 月から 12 月、後期として昭和 58 年 4 月から 12 月として、浸出水の累積値を求めると、前期で、111 mm、後期で 365 mm と約 3 倍の浸出水量となっている。なお、この期間の降雨量は、前期で 1177 mm、後期で、1136 mm とほぼ等しい。

また、浸出水量と降雨量との関係を見ると、前期であまり関連性がないが、後期では、降雨があると直ちに浸出水が流出してくるようである。降雨量の少ない 12 月、1 月頃には、浸出水の流出はほとんどみられていない。この実験期間の最大浸出水量は、33.2 mm/日であった。

次に、実験期間を通じて、降雨量、浸出水量、表面流出量を累積しプロットしたのが図 3.1.6 である。実験期間である 21 か月間を通じての降雨量は、2514 mm、浸出水量は、536 mm、表面流出量は、242 mm であった。従って、全期間での浸出率は、約 21% である。さらに、浸出率を年毎に計算して見ると、昭和 57 年 4 月から 12 月で、降雨量 1177 mm、浸出水量 111 mm で 9.4%、昭和 58 年 1 月から 12 月で、降雨量 1337 mm、浸出水量 424 mm で約 32% であった。

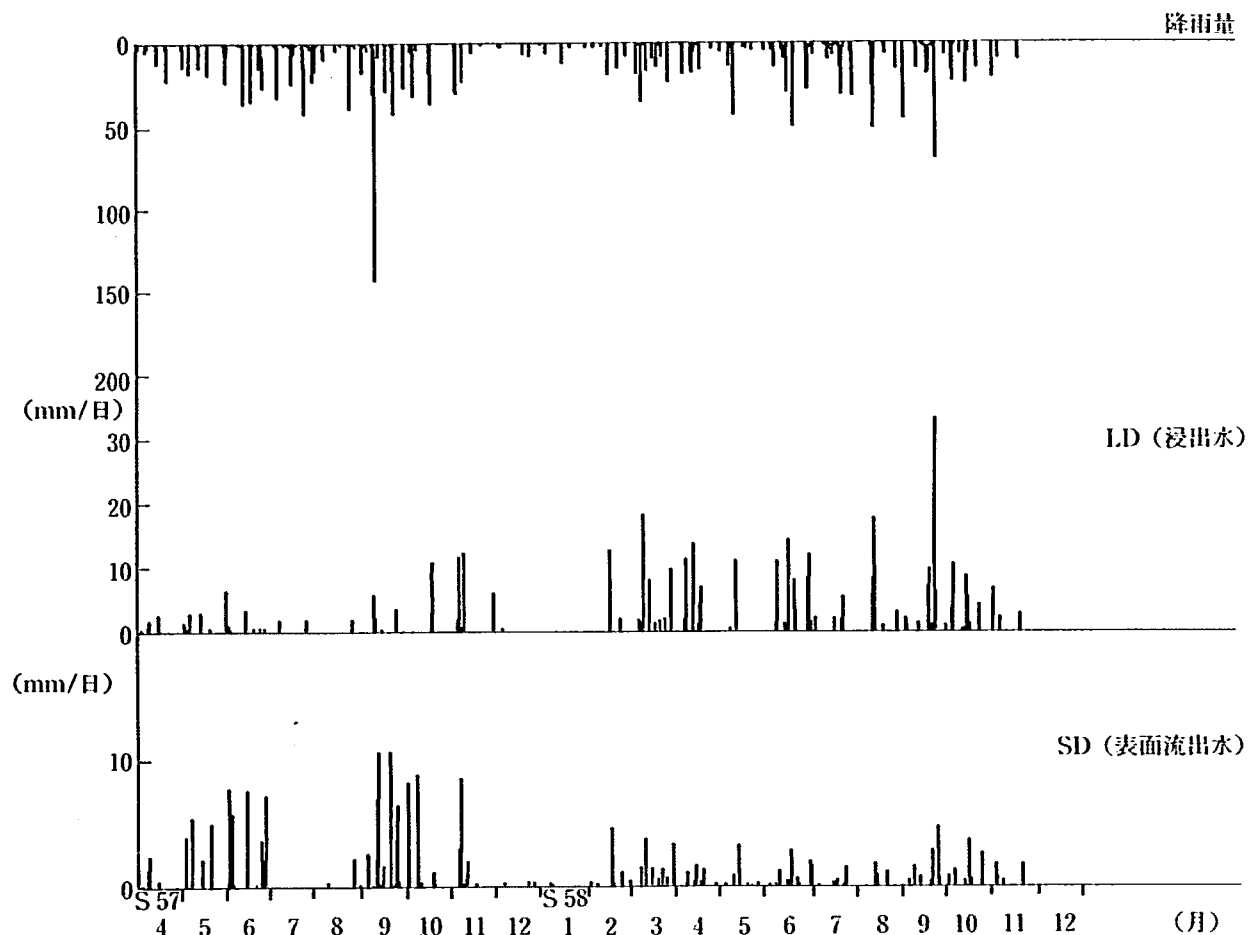


图 3.1.4 消化脱水污泥槽 (LD, SD)

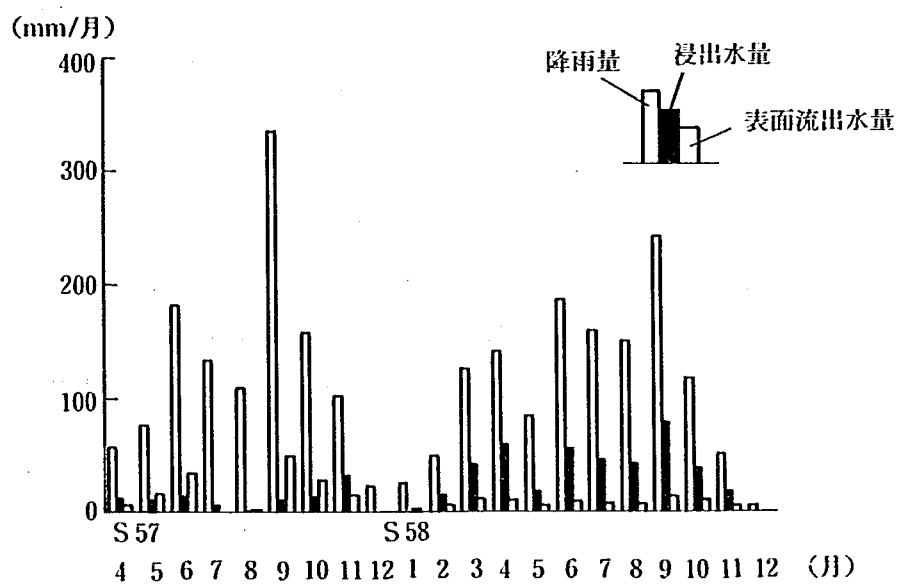


图 3.1.5 消化脱水污泥 (累积)

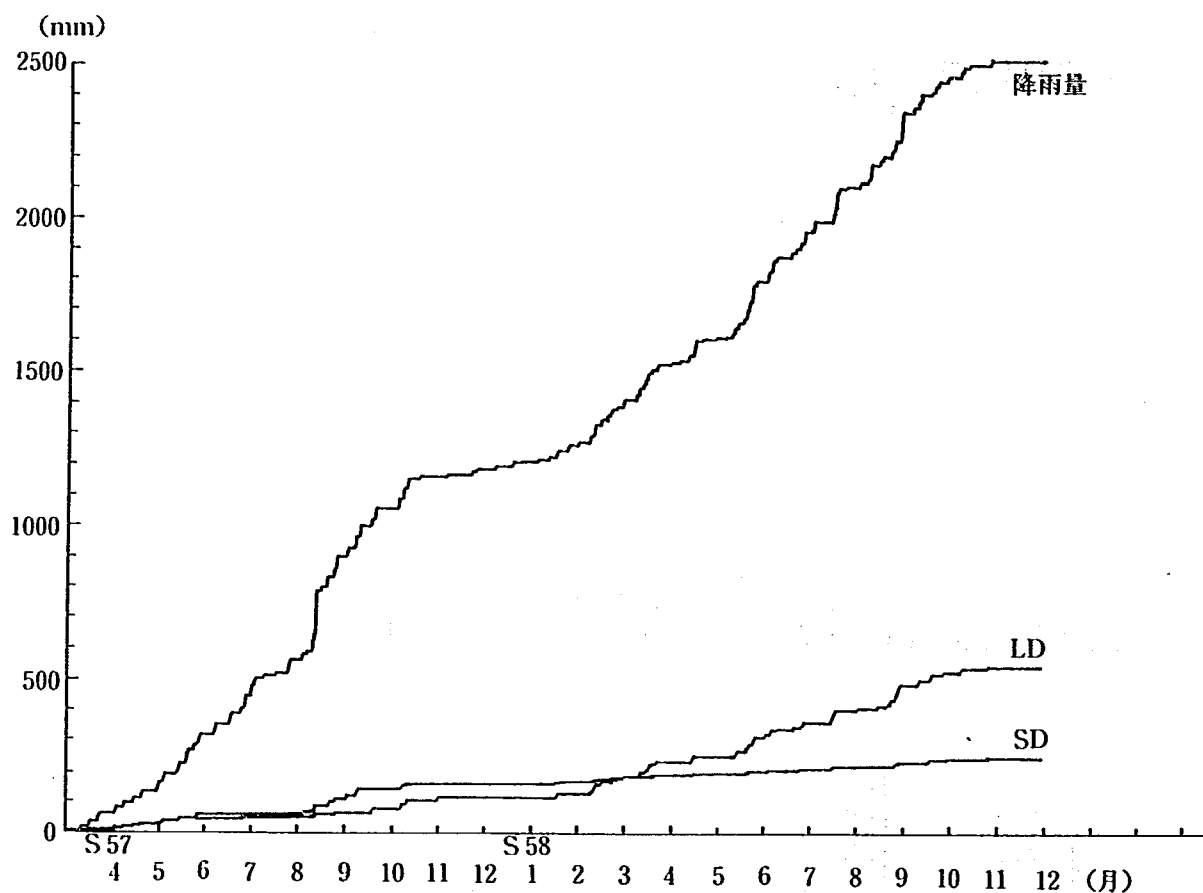


図 3.1.6 消化脱水汚泥槽（累積）

（２） 混練固化汚泥槽

毎日のデータを、図 3.1.7 に示す。実験開始初期（昭和 57 年 4 月から 6 月）には、浸出水（LM）および表面流出水（SM）は、雨水が地中へ浸透し吸収されるためか、ほとんど流出が見られなかった。また、降雨量の少ない 12 月、1 月頃には、ほとんど浸出水の流出がない。図 3.1.8 に、月毎の累計値を示した。この実験期間の最大浸出水量は、22.9 mm/日であった。

次に、実験期間を通じて、降雨量、浸出水量、表面流出量を累計し、プロットしたのが図 3.1.9 である。21 か月間の実験期間を通じての降雨量は 2514 mm 浸出水量は、311 mm、表面流出量は 187 mm であった。従って、全期間を通じての浸出率は、約 12% である。さらに、浸出率を年毎に計算して見ると、昭和 57 年 4 月から 12 月で、降雨量 1177 mm、浸出水量 90 mm で、浸出率は約 7.6%、昭和 58 年 1 月から 12 月で、降雨量 1337 mm、浸出水量 221 mm で、浸出率は約 17% であった。

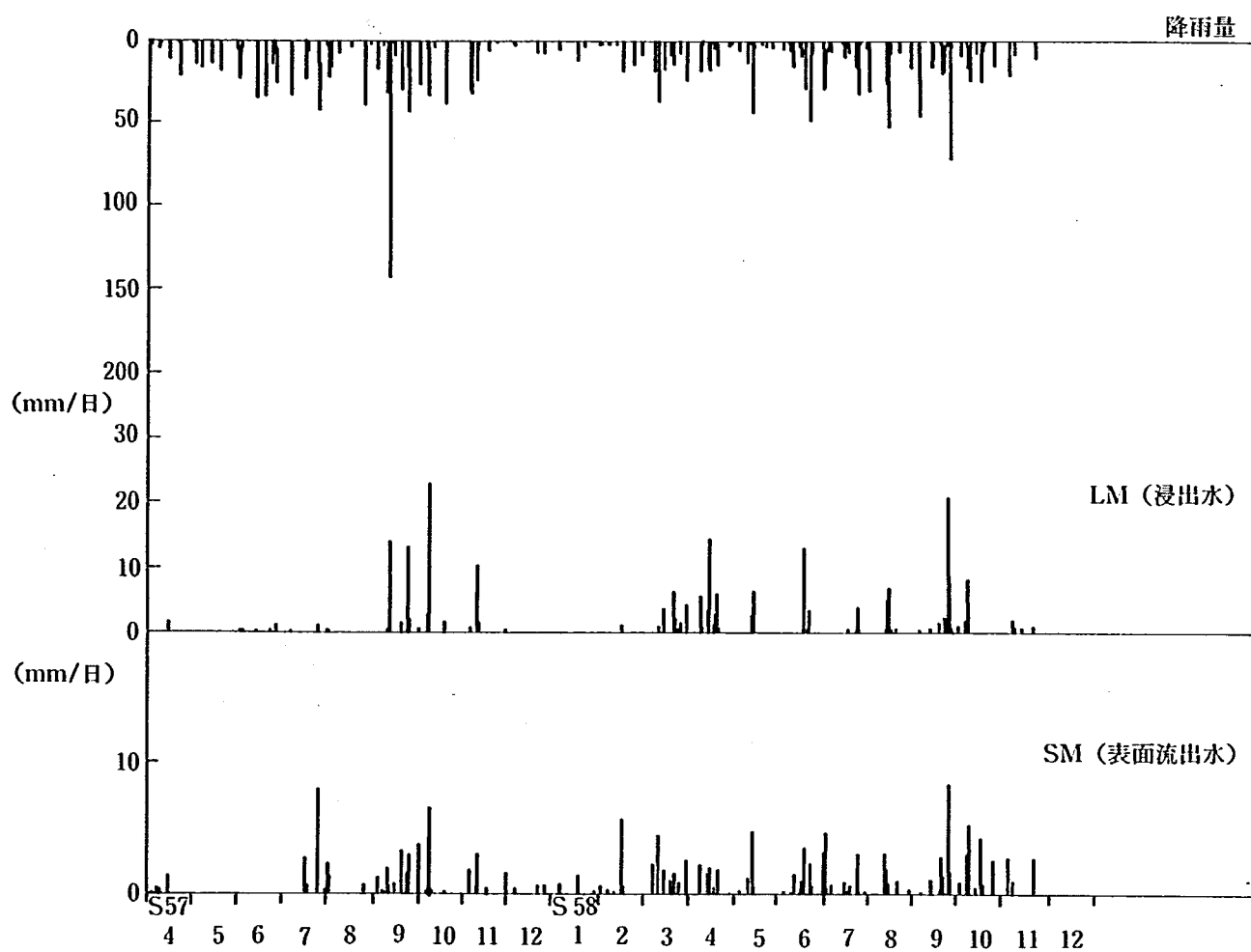


图 3.1.7 混練固化污泥槽 (LM, SM)

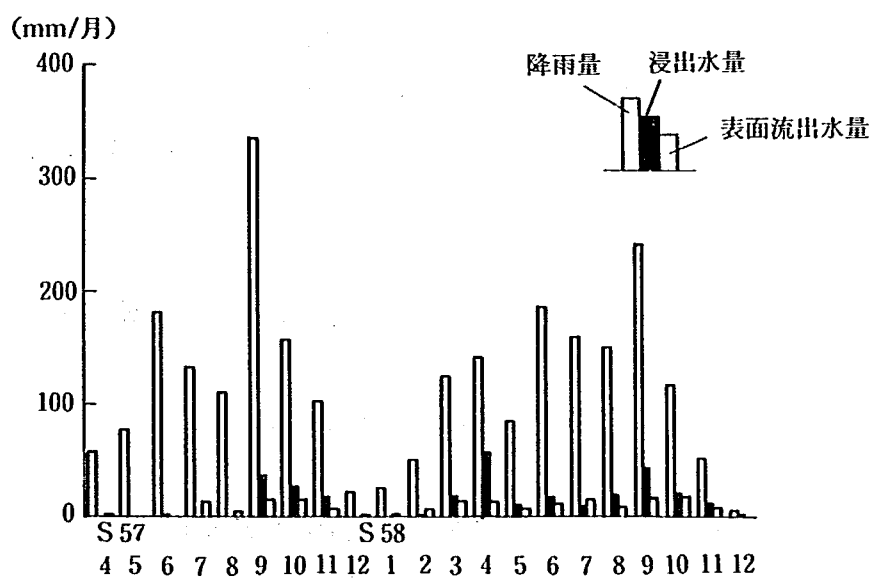


图 3.1.8 混練固化污泥 (累積)

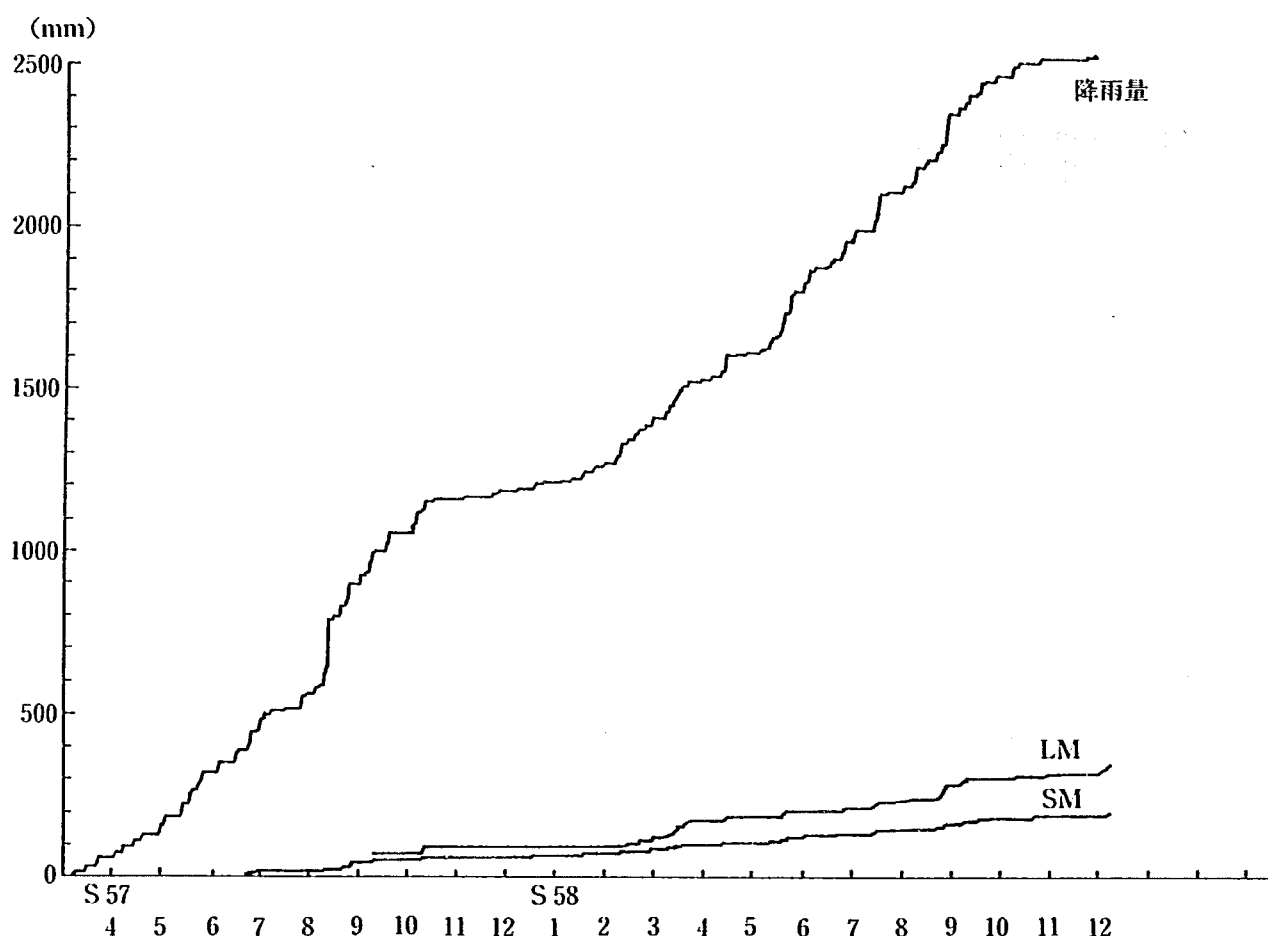


図 3.1.9 混練固化汚泥槽（累積）

（3） 浸出水量の比較

ここでは、消化脱水汚泥槽からの浸出水（LD）と混練固化汚泥槽からの浸出水（LM）とを比較する。図 3.1.10 に各月ごとの累積量を示す。この図を見ると、実験開始初期である昭和 57 年 4 月から 6 月の期間は、LD は 15 mm 程度の流出が見られるが、LM はほとんど流出していない。これは、供試汚泥中への雨水の浸透にも相違があろうが、消化脱水汚泥槽は、供試汚泥を充填した直後から浸出水の流出が見られたことより、汚泥中の水分が徐々に流出してきたためと思われる。

また、LD と LM との浸出率を比べると、昭和 58 年のデータでは、LD 約 32%、LM 約 17%と約 2 倍の差が見られた。

2) 浸出水質

ここでは、埋立実験槽 I より得られた浸出水 LD（消化脱水汚泥槽）と LM（混練固化汚泥槽）について、その水質の経時変化について検討する。

以下図中の記号は、○が消化脱水汚泥×が混練固化汚泥である。

（1） pH（図 3.1.11）

LD は、全期間通じて 8.0 前後であった。一方 LM は、実験開始直後である 6 月、7 月、8 月に、pH が 5～4 と pH の低下が見られる。混練固化汚泥は、下水汚泥をセメントで固化したものであるから、浸出水の pH はアルカリ側であると予測しており、このような pH の低下が現れた原因は不明であった。その後は 7.5～11 の間で変動している。

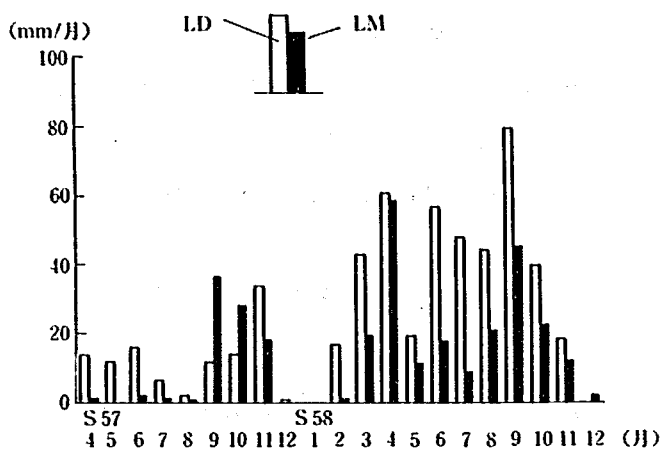


図 3.1.10 浸出水累積

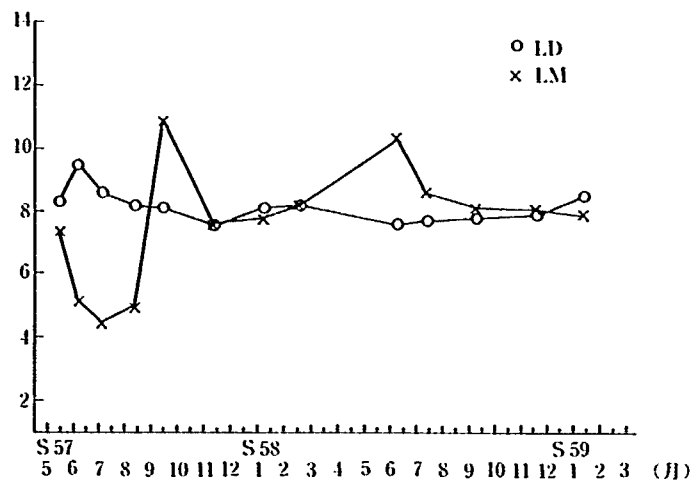


図 3.1.11 pH (埋立槽 I) 経時変化

(2) BOD₅, COD_{Mn}, TOC

図 3.1.12 に BOD₅, 図 3.1.13 に COD_{Mn}, 図 3.1.14 に TOC の経時変化を示す。

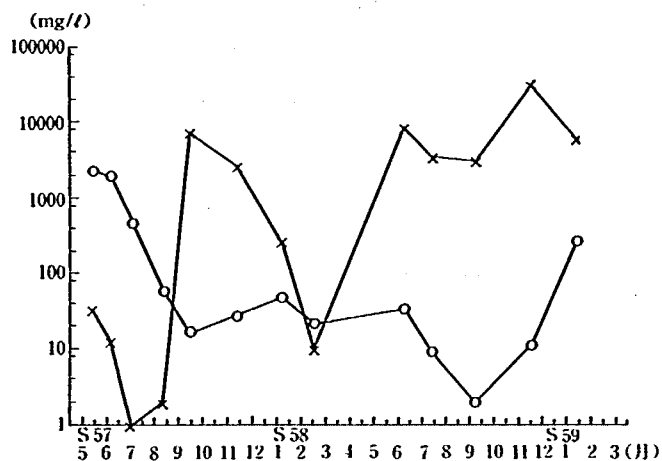


図 3.1.12 BOD₅ (埋立槽 I) 経時変化

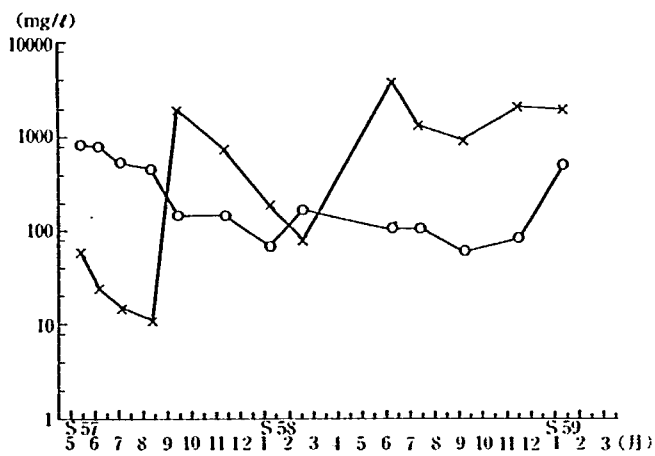


図 3.1.13 COD_{Mn} (埋立槽 I) 経時変化

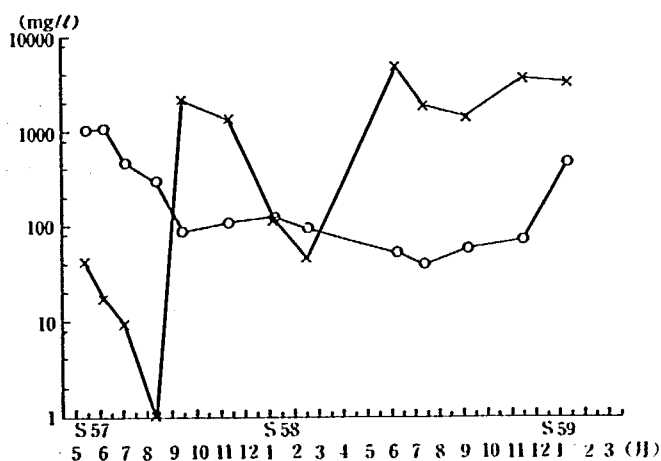


図 3.1.14 TOC (埋立槽 I) 経時変化

① LD

BOD₅, COD_{Mn}, TOC とも、全体でみると減少傾向にある。特に BOD₅ は減少率が大きく昭和 57 年 5 月には、2300 mg/l であったものが、その約 4 か月には 16 mg/l となっており、その後も 2～50 mg/l の間で変動しているにすぎない。一方、COD_{Mn} は BOD₅ に比べて、それ程大きな減少は示していないが、それでも昭和 57 年 5 月で約 840 mg/l であったものが、昭和 58 年 11 月には、約 80 mg/l まで減少している。

ただ、昭和 59 年 1 月のデータは、どの項目も大きな値となっており、このまま増加傾向を示すのかどうかは定かではない。

この実験で見られた特徴は、初期は、BOD₅ 濃度が COD_{Mn} 濃度より高く、その後 BOD₅ は急激に減少するが、COD_{Mn} の減少率は小さいということであろう。

② LM

LM は、BOD₅, COD_{Mn}, TOC とも同じような変動を示し、その変化は LD に比べて非常に大きい。初期は、pH の低下に伴って、各項目とも大きく減少し、昭和 57 年 9 月に、pH が約 11 程度になった時点で、その濃度は、BOD₅ で 7220 mg/l、COD_{Mn} で 1960 mg/l、TOC で 2190 mg/l と増大している。その後は、冬期にかけて減少し、昭和 58 年 6 月には、また 8000～2000 mg/l と値となっている。

LD に比べて、浸出水濃度は、経過日数が長くなるにつれて減少する傾向はなく、本データのみでは明確にはわからないが、季節によって大きく変動するようである。また、その濃度も LD より大きな値となっている。

(3) K-N, NH₄-N

K-N の経時変化を図 3.1.15 に、NH₄-N の経時変化を図 3.1.16 に示す。

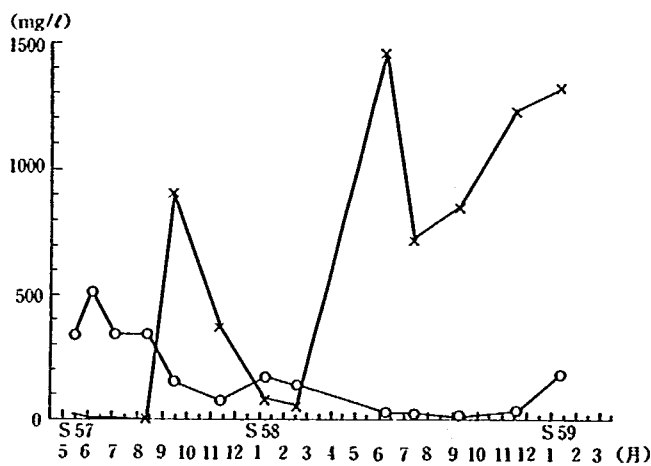


図 3.1.15 K-N (埋立槽 I) 経時変化

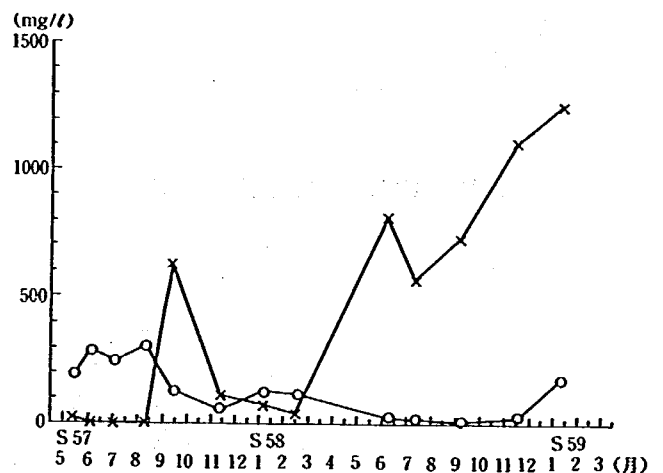


図 3.1.16 NH₄-N (埋立槽 I) 経時変化

① LD

実験開始初期は、K-N で約 340 mg/l、NH₄-N で約 190 mg/l の値を示したが、その後減少を続け、約 1 年後には、K-N で 32 mg/l、NH₄-N で 26 mg/l まで減少している。

② LM

K-N, $\text{NH}_4\text{-N}$ とも, BOD_5 等の指標と同じような動きを示しており, 実験開始1年後以降増加傾向にあり, 約2.5年後にはK-Nで1320 mg/l, $\text{NH}_4\text{-N}$ で1260 mg/lの濃度を示した。

(4) 重金属

Cd, Pb, T-Cr, As, Hg についての測定結果を表3.1.2に示す。

表3.1.2 重金属類(埋立槽I)経時変化

年・月・日 項 目		1982 5.28	6.19	7.17	8.25	9.27	11.24	1983 1.19	3.1	6.21	7.26	9.20	11.29	1984 1.24
Cd	LD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	LM	ND	0.073	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.056	ND	ND	ND	ND
Pb	LD	ND	ND	ND	ND	0.29	ND			0.29	ND	0.241	ND	0.300
	LM	ND	0.56	0.29	ND	0.30	ND			0.24	ND	ND	ND	ND
T-Cr	LD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	LM	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
As	LD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	LM	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hg	LD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.05	ND	ND	ND	ND
	LM	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

註: NDとは, $\text{Ca} < 0.05 \text{ mg/l}$, $\text{Pb} < 0.2 \text{ mg/l}$, $\text{T-Cr} < 0.5 \text{ mg/l}$, $\text{As} < 0.05 \text{ mg/l}$, $\text{Hg} < 0.05 \text{ mg/l}$

LD, LMとも, T-Cr, As, Hgの濃度が, 各々, 0.5 mg/l , 0.05 mg/l , 0.005 mg/l 以下であった。Cdは, LDで, 0.05 mg/l 以下であり, LMでは, ときどき 0.05 mg/l 以上の数値が得られている。Pbについては, LD, LMとも, ときどき 0.2 mg/l 以上の数値が得られている。

ただし, 各項目とも全期間を通じて排水基準値以下であった。

(5) T-P

T-Pの経時変化を図3.1.17に示す。

① LD

他の項目と異なり, 単調な減少傾向は見られず, 減少と増加を繰り返している。全期間を通じての最高値は 3.9 mg/l , 最小値は 0.52 mg/l であった。

② LM

他の項目と同様に, 昭和57年9月にピークがあり, その後, 減少し, 昭和58年6月頃に増大している。ただし, その後は, BOD_5 等のように増加は見られず, 約 1 mg/l 程度で一定値を示している。

また, 初期を除いて, LDとLMとの濃度差は, 他の項目ほどは見られなかった。

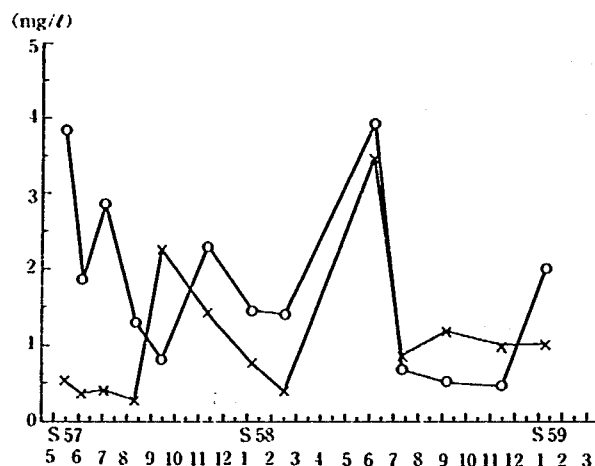


図 3.1.17 T-P (埋立槽 I) 経時変化

3.2 余水調査

3.2.1 実験目的

本調査は、自然条件下において、海水と汚泥とが接触したときの海水への汚泥成分の溶出効果を見るために行うものであり、海面埋立を行う際に生じる余水の水質変化を調査するものである。

3.2.2 実験方法

1) 実験装置

図 3.2.1 に屋外埋立実験槽 II (埋立槽 II) を示す。この埋立槽の中心に仕切り板を設け、一方に供試汚泥、もう一方に海水を入れる。仕切り板には、直径 10 mm の孔を約 100 mm 間隔で開けてある。また潮の干、満による洗いだし効果を考慮して、変動幅 1 m で 1 日 2 回、ポンプを使って海水の上下運動を繰り返した。なお、実験期間中海水の交換は行っていない。

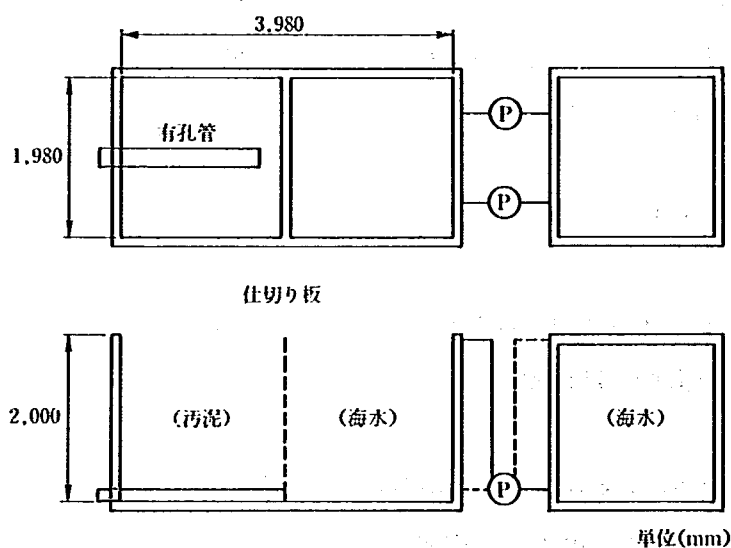


図 3.2.1 屋外埋立実験槽 II

また、供試汚泥を充填する側の底部には有孔管を設置し、汚泥中の間げき水（浸出水）を採取できるようにした。

2) 供試汚泥の種類

供試汚泥としては、混練固化汚泥（屋外埋立実験槽1に充填したものと同一）とコンポスト汚泥の2種類を用いた。これら汚泥の性状及び成分を表3.2.1に示す。

表 3.2.1 供試汚泥の性状及び成分

項 目 供試汚泥	含水率 (%)	強熱減量 (%)	T-C (mg/kg)	T-N (mg/kg)	T-P (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	T-Cr (mg/kg)	As (mg/kg)
混練固化汚泥	51.4	16.4	82000	16700	6770	5.99	53.9	232	1.12
コンポスト汚泥	37.5	32.9	183000	22000	16500	4.50	45.4	42.4	1.56

3) 供試汚泥の充填方法

供試汚泥の充填方法は、シャベルカーによって汚泥を槽内に投入し、入力によって上部を平らになるように整形した。さらに、その上に約0.5 mの覆土を行った。

4) 余水・間隙水の記号を以下に示す。

（図3.2.2参照）

EC : 余水, コンポスト汚泥

EM : 余水, 混練固化汚泥

IC : 間隙水, コンポスト汚泥

IM : 間隙水, 混練固化汚泥

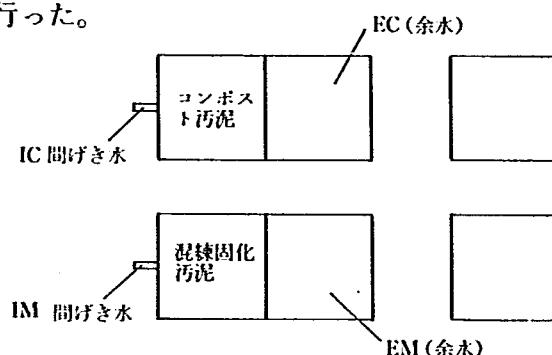


図 3.2.2 余水・間隙水の記号

3.2.3 実験結果

以下図中の記号は、○がコンポスト、×が混練固化汚泥である。

(1) pH

pHの経時変化を図3.2.3に示す。

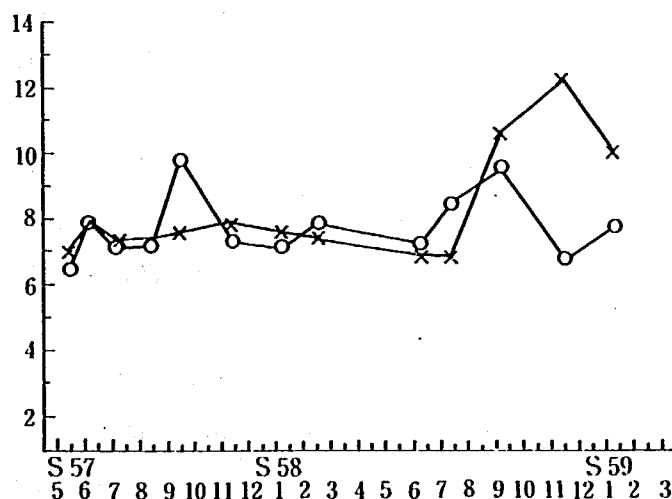


図 3.2.3 pH (EC, EM) 経時変化

EC（コンポスト槽）、EM（混練固化汚泥槽）とも、実験開始後1年間はあまり変化なく、7.5前後で推移している。

その後、ECは、10程度まで増加した、減少している。さらに、11～12程度まで増加している。

(2) COD_{Mn}, TOC

COD_{Mn}の経時変化を図3.2.4に、TOCの経時変化を図3.2.5に示す。

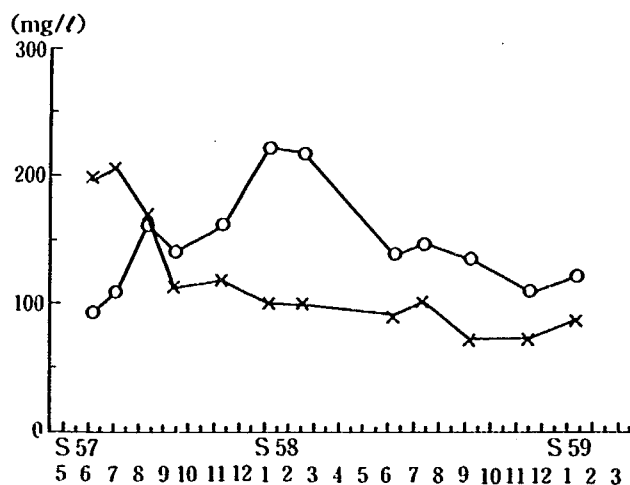


図3.2.4 COD_{Mn} (EC, EM) 経時変化

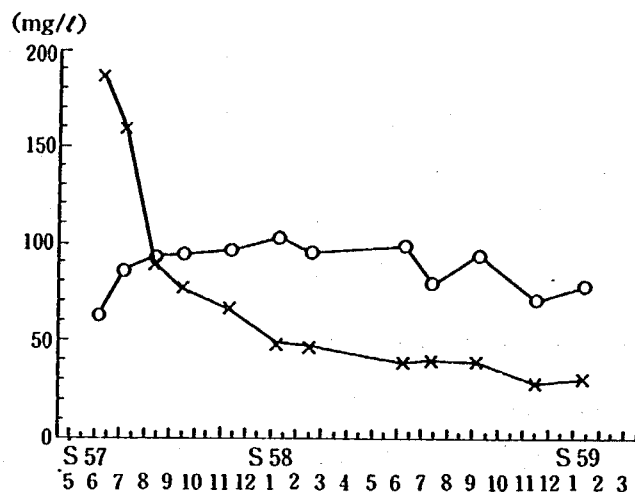


図3.2.5 TOC (EC, EM) 経時変化

① EC

COD_{Mn}は、昭和58年3月までに、初期濃度約100 mg/lから200 mg/lまで約2倍の増加を示し、その後は減少し、さらにわずかながらの減少傾向を示しながら、ほぼ100 mg/l前後の値を示している。

一方、TOCは、COD_{Mn}のような増減は見られず、全期間を通じて、95 mg/l付近の値を上下して推移している。

② EM

COD_{Mn}, TOCとも初期濃度が一番高く、その後は減少している。COD_{Mn}で約200 mg/lのものが、3～4か月後には100 mg/l程度に減少し、その後はあまり変化がない。一方、TOCはCOD_{Mn}よりも減少率が大きく、初期200 mg/l程度のものが指数関数的に減少し、1年後には、40 mg/l程度になっており、溶解性のTOC成分が分解されやすいことを示している。

次に、COD_{Mn}濃度を与えるSS濃度の影響を検討しておく。図3.2.6にSSの経時変化を示す。

まず、SSの経時変化をみると、実験開始直後は供試汚泥中の微細な粒子が、洗いだされるためかEC, EMとも100 mg/l程度のSSが見られる。ところが、その後は、図に示すような減少が見られる。(昭和58年6月には、異常点が見られる。)

SS濃度とCOD_{Mn}濃度との相関係数を求めると、ECで-0.34, EMで0.948であった。ECに関しては相関はなく、EMに関しては強い相関がある。しかしながら、EMに関しては、溶解性TOCとの相関もみられ(相関係数 0.964)、一概に、SS濃度がCOD_{Mn}濃度に影響を与えているとはいえないようである。

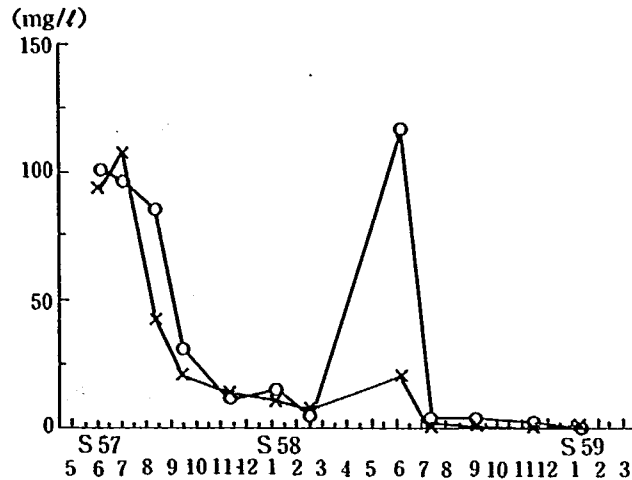


図 3.2.6 SS (EC, EM) 経時変化

さて、次には、各埋立槽における供試汚泥中の間げき水水質をみてみる。

図 3.2.7 に COD_{Mn} 、図 3.2.8 に TOC 濃度の経時変化を示す。これをみると、IC (コンポスト汚泥) は、 COD_{Mn} 、TOC ともに、初期濃度は、それぞれ 16300 mg/l、16500 mg/l と、EC と比べると、非常に高濃度であった。(EC は、それぞれ、93 mg/l、63 mg/l である。)

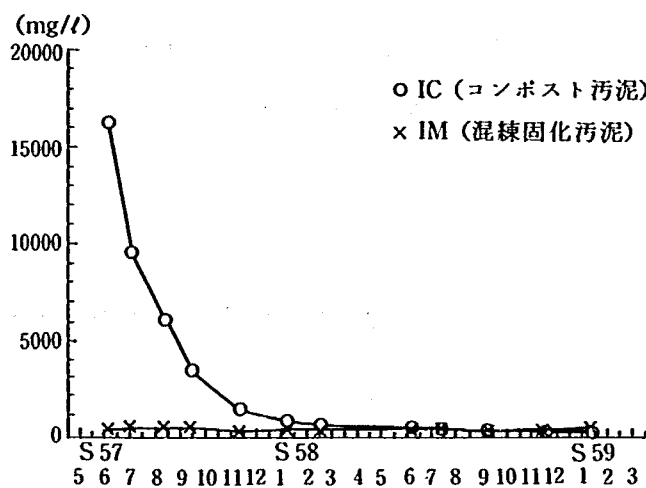


図 3.2.7 COD_{Mn} (IC, IM) 経時変化

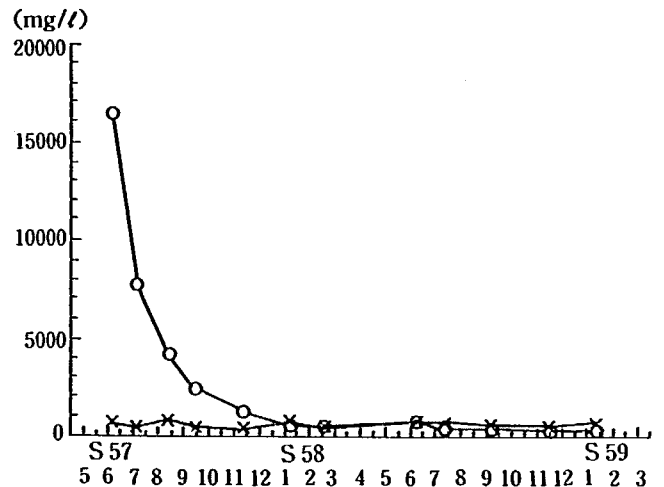


図 3.2.8 TOC (IC, IM) 経時変化

一方、IM (混練固化汚泥) については、全期間を通じて IC ほど大きな変動はなく COD_{Mn} で 500~600 mg/l、TOC で 400~900 mg/l の範囲であった。また、余水の濃度変化と間げき水の濃度変化を、SS の影響のない TOC で比較すると、コンポスト汚泥では、間げき水中の濃度変化が 16500 mg/l から 200 mg/l と約 80 倍もの大きな変動があるにもかかわらず、その変動は余水濃度の変動には投影されていない。ところが、これとは逆に、混練固化汚泥は、間げき水中の濃度変化が 400~900 mg/l の間で、しかも、減少傾向が明確に見られないにもかかわらず余水濃度の方は、指数関数的な減少を示している。

このような、傾向がどうして生じるのかは原因等ははっきりしなかった。

(3) K-N, $\text{NH}_4\text{-N}$

K-N の経時変化を図 3.2.9 に、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の経時変化を図 3.2.10 に示す。

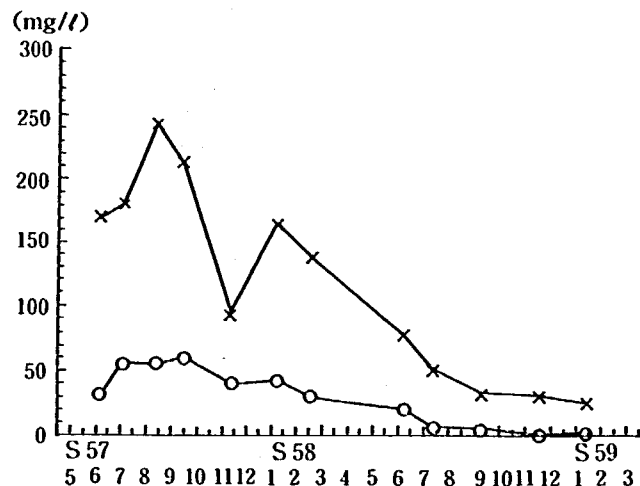
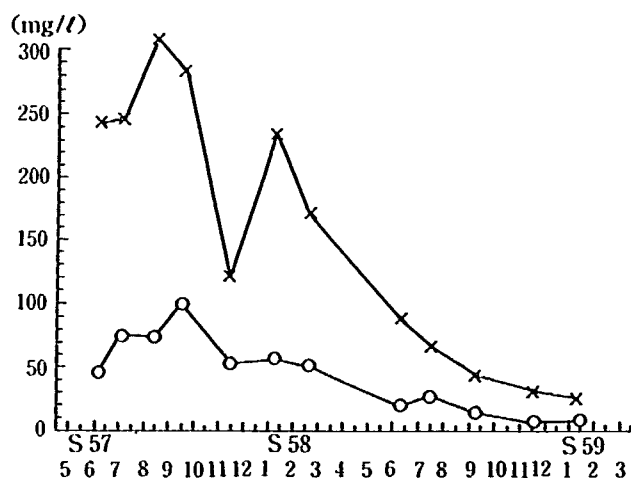


図 3.2.9 K-N (埋立槽 II) 経時変化 (余水) 図 3.2.10 $\text{NH}_4\text{-N}$ (埋立槽 II) 経時変化 (余水)

① EC

K-N, $\text{NH}_4\text{-N}$ とも、図にみられるような減少傾向がある。

② EM

他の項目と同じように、高い初期濃度から急激に減少する傾向がみられている。また COD_{Mn} , TOC 等では、コンポスト汚泥の方が、高い濃度を示していたが、これらの窒素化合物濃度では、EMの方が数倍の濃度を示している。

(4) T-P

T-P の経時変化を図 3.2.11 に示す。

EC は、実験開始後約 1 年間にわたり増加傾向がみられ、最高 0.8 mg/l の濃度を示し、3 か月あまり後には、約 0.2 mg/l まで減少している。

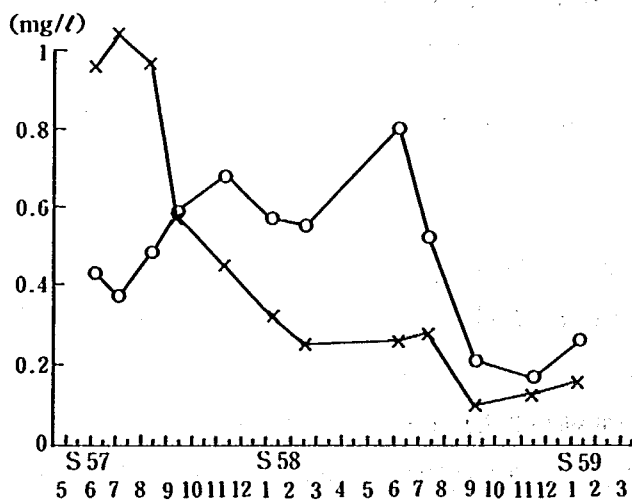


図 3.2.11 T-P (埋立槽 II) 経時変化 (余水)

一方、EM では、やはり、初期に約 1.0 mg/l の値であったものが、その後は、減少傾向にあり、21 か月後には、0.16 mg/l まで低下している。

(5) 重金属

余水および間引き水の重金属類の測定結果を表 3.2.2 と表 3.2.3 に示す。

ここでは、Cd, Pb, Hg が、ときどき検出されているものの、T-Cr, As は、全期間にわたって、ND (Pb<0.2 mg/l, T-Cr<0.5 mg/l, As<0.05 mg/l) であった。

表 3.2.2 重金属類 (EC, EM) 経時変化

年・月・日 項 目		1982 6.19	7.17	8.25	9.27	11.24	1983 1.19	3.1	6.21	7.26	9.20	11.29	1984 1.24
Cd	EC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.061	ND	ND	ND	ND	ND
	EM	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.051	ND	ND	ND	ND	ND
Pb	EC	ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
	EM	ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
T-Cr	EC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	EM	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
As	EC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	EM	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hg	EC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.08	ND	ND	ND	ND
	EM	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.012	ND	ND	ND	ND

註：ND とは、Cd<0.05 mg/l, Pb<0.2 mg/l, T-Cr<0.5 mg/l, As<0.05 mg/l, Mg<0.05 mg/l

表 3.2.3 重金属類 (IC, IM) 経時変化

年・月・日 項 目		1982 6.19	7.17	8.25	9.27	11.24	1983 1.19	3.1	6.21	7.26	9.20	11.29	1984 1.24
Cd	IC	ND	ND	ND	ND	ND	0.051	ND	0.053	ND	ND	ND	ND
	IM	ND	ND	ND	ND	ND	0.053	ND	0.053	ND	ND	ND	ND
Pb	IC	0.69	ND	0.23	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
	IM	0.39	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
T-Cr	IC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	IM	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
As	IC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	IM	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hg	IC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.005	ND	ND	ND	ND
	IM	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

註：ND とは、Cd<0.05 mg/l, Pb<0.2 mg/l, T-Cr<0.5 mg/l, AS<0.05 mg/l, Mg<0.005 mg/l

第4章 埋立地現場調査

本章では、実際の下水汚泥単独埋立地において発生する浸出水の調査概要およびその結果について述べる。

4.1 調査目的

下水汚泥を単独で埋立処分した埋立地は、全国でもその数は非常に少なく、しかも、浸出水を採取できるところは、ほとんど無いに等しい。そのためか、現在まで、下水汚泥単独埋立地からの浸出水についての報告は皆無である。

本研究室においては、自治体の協力により、下水汚泥単独埋立地における浸出水の状況を調査する機会を得ることができたので、ここに記述する。

この調査では、現場で発生する浸出水の水質を測定することを主目的とし、浸出水の流出パターンをしらべることを試みた。また、ボーリング調査により、埋立地内部の埋立物の状況を推測することも調査の目的とした。

4.2 調査方法

4.2.1 調査期間

本調査は2か年にわたって行った。第1回は、昭和56年10月から昭和57年2月まで、第2回は、昭和57年8月から昭和58年1月までである。

4.2.2 調査場所

図4.2.1に調査した埋立地の平面図を示す。また、埋立地の概要を表4.2.1に示す。

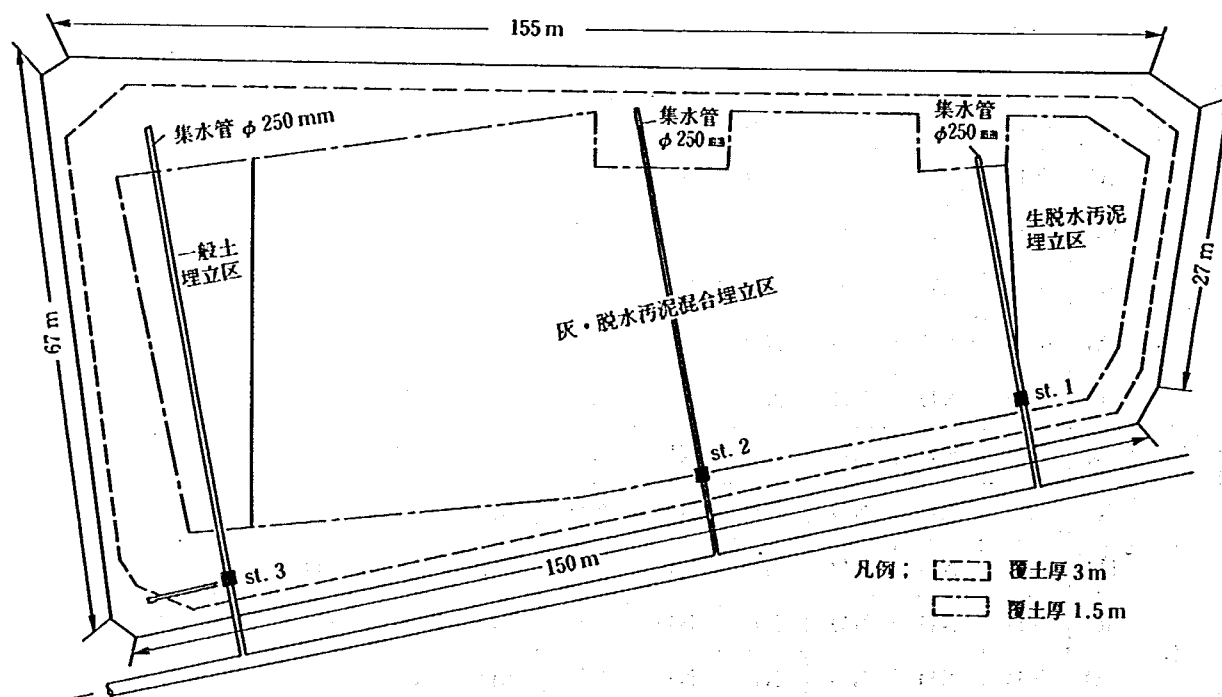


図4.2.1 下水汚泥埋立地（平面図）

表 4.2.1 下水汚泥埋立地の概要

全 面 積	約 8,080 m ²
埋 立 面 積	約 7,000 m ²
処分容量・面積	処分容量 約 17,426 m ³ 処分面積 約 5,809 m ²
埋 立 期 間	昭和 54 年 4 月 13 日～昭和 54 年 12 月 29 日

この下水汚泥埋立地は、長さ約 150 m、幅は、長辺約 67 m、短辺約 27 m の台形状であり、深さは、約 4 m である。

全面積約 8080 m²であり、その内埋立面積は、約 7000 m²である。この埋立地は、埋立物によって 3 区間に大別することができる。

これらの区間は、平面図に示すように、生脱水汚泥埋立区、焼却灰と脱水汚泥を埋立てた灰・脱水汚泥混合埋立区、堀削土等を埋立てた一般土埋立区の 3 区である（埋立物については、ボーリング調査結果として後述する）。

この埋立地における下水汚泥の処分容量は、生脱水汚泥埋立区、灰・脱水汚泥混合埋立区の 2 埋立区合わせて、約 17426 m³であり、処分面積は、約 5809 m²である。

また、埋立ては、昭和 54 年 4 月から同年 12 月にかけて行われた。

さらに、この埋立地には浸出水の集水管（φ 250 mm）が 3 本埋め込まれており、各集水管毎に採水ビットが設置されている。これらの採水ビット St. 1, St. 2, St. 3 において浸出水の採水を行った。採水ビットの断面図を図 4.2.2 に示す。

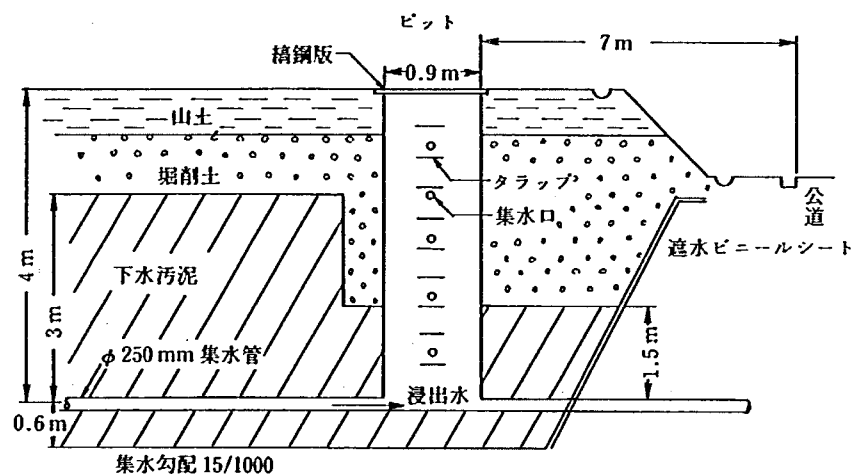


図 4.2.2 ビット付近断面図

4.3 調査結果と考案

4.3.1 地質・土質の調査

1) 調査概要

この埋立地より発生する浸出水の水質特性を的確に判断するためには、埋立物の種類を知ることが必要である。埋立物については、埋立時の作業計画、作業日誌等があり、ほぼ判断することができたが、さらに、それら資料の確証をえるためにボーリング調査を行い、埋立物の分布を推測することとした。また、同時に、ボーリングを行った埋立物の土質試験も行うこととした。

ボーリングの地点は、図4.3.1に示すように、8地点について行った。これらの地点より、地点C、地点F、地点Hについては、各埋立区を代表する地点として、上部と下部の2点について土質試験を行った。

さらに、地点A、地点D以外の埋立物については、各成分の含有量試験も行った。

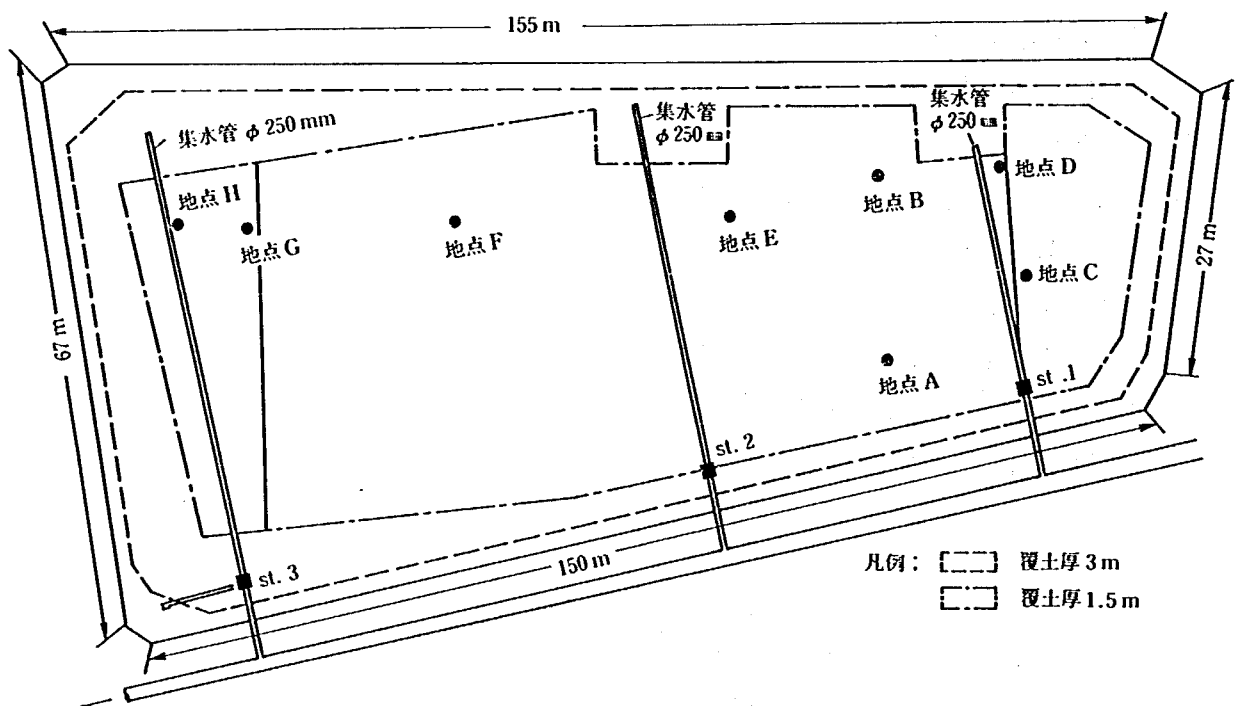


図4.3.1 地質・土質調査地点

2) 埋立物の性状

各ボーリングの地点の土質性状図を図4.3.2に示す。また、地点C、F、Hのサンプルの土質試験結果を表4.3.1に、地点B、C、E、F、G、Hの土質成分の分析結果を表4.3.2に示す。

(1) 地点A、B

地点AとBは、柱状図よりほぼ同じような層状をしている。これらの地点では、0～2.3m層が一般土である。その下層は、コアの色、みかけ状態と、強熱減量が、0.8%ということから、焼却灰が3mの深さまで埋め立ててあると思われる。3m以深は、地盤が固く掘り進めなかったが、おそらく焼却灰

表4.3.1 土質試験結果

試料番号	地点C	地点C	地点F	地点F	地点H	地点H	地点H	
深さ m	1.50~2.00	3.50~4.20	1.30~2.10	3.20~4.00	0.50~1.15	3.40~4.20	3.40~4.20	
検分(2000 μm以上)	%	0	0	5	8	24	2	1
砂分(74~2000 μm)	%	10	34	64	40	47	67	69
シルト分(5~74 μm)	%	63	44	18	32	15	21	15
粘土分(5 μm以下)	%	27	22	13	20	14	10	15
最大粒径	mm	0.25	0.42	19.1	9.52	9.52	4.76	4.76
均等係数 U_c		—	—	107.5	178.6	413.3	88.9	180.0
曲率係数 U_c'		—	—	11.4	0.3	7.4	2.3	4.9
液性限界 W_L	%	224.1	176.0					
塑性限界 W_p	%	25.8	56.1					
塑性指数 I_p		148.3	119.9					
日本統一土質分類			砂質土 SF 埋削土	細粒土 F 灰+汚泥	砂質土 SF 表土(山砂)	砂質土 SF 埋削土+灰+汚泥	砂質土 SF 灰+汚泥	
粒子の比重 G_s		2.117	2.247	2.670	2.558	2.657	3.038	3.001
含水比 W_n	%	134.79	120.80	14.3	95.2	12.1	85.3	87.6
湿潤密度 ρ_t	g/cm ³	1.247	1.288	2.071	1.417	2.096	1.530	1.504
孔隙比 e		2.936	2.852	0.473	2.524	0.421	2.679	2.743
飽和度 S_r	%	95.56	95.17	80.7	96.5	76.4	96.7	95.8
圧密 圧密降伏応力 P_c	kgf/cm ²	1.3	0.8					
試験 圧縮指数 C_c		1.00	1.27					
透水係数	cm/s	8.36×10^{-7}	1.56×10^{-7}	1.91×10^{-7}	3.93×10^{-7}	3.82×10^{-7}	4.68×10^{-7}	4.66×10^{-7}

表4.3.2 土質成分の分析結果

分析項目	地点B 150~195	地点B 250~290	地点C 190~195	地点C 405~420	地点E 300~310	地点E 360~370	地点F 200~210	地点F 320~400	地点G 350~400	地点H 310~420
性 状	砂	シルト	シルト	シルト	砂+シルト	砂+シルト	シルト+砂	シルト	シルト	シルト
含水率(%)	16.8	41.4	52.4	57.9	69.5	89.4	38.7	100	135	97.2
強熱減量(%)	2.0	0.8	28.8	31.0	45.6	18.5	2.9	30.3	44.8	17.9
T-P (ppm)	286	31000	18000	15300	11000	38900	23500	18000	16700	23600
T-N (%)	312	642	33400	30500	5650	4470	611	2870	4870	1930
AS (%)	4.23	7.69	7.43	8.91	8.7	22.4	17.1	15.8	11.5	22.5
CN ⁻ (%)	<0.1	<0.1	2.35	0.77	3.5	0.1	0.1	1.2	10.1	1.7
T-Hg (%)	0.03	<0.01	0.81	0.62	0.11	<0.11	0.11	0.16	0.09	0.05
T-Cr (%)	103	327	141	249	364	377	328	310	458	478
Cd (%)	0.08	0.64	3.91	2.69	1.41	2.59	2.02	1.64	2.04	1.03
Pb (%)	11.4	178	197	131	109	263	175	136	171	186
Cu (%)	53.6	696	503	541	404	885	733	512	672	1130
Zn (%)	64	1710	1160	1190	781	1430	1190	906	1620	2210
Ni (%)	6	473	158	241	263	574	389	224	440	658
Fe (%)					5.9	14.0	10.4	6.9	10.2	12.4
Mn (%)					1460	3930	2490	1350	2200	3290
K (%)					16.9	15.4	14.8	14.5	22.3	21.1
色 相	灰緑色	褐色	暗褐色	暗褐色	暗赤褐色	褐色	黄褐色	極赤褐色	褐色	褐色
臭 気	土臭	土臭	し尿臭	し尿臭	し尿臭	し尿臭	泥臭	し尿臭	し尿臭	し尿臭
備 考					汚泥+灰+埋削土	汚泥+灰	灰(固化)	汚泥+灰(粒状)	汚泥+灰	汚泥+灰

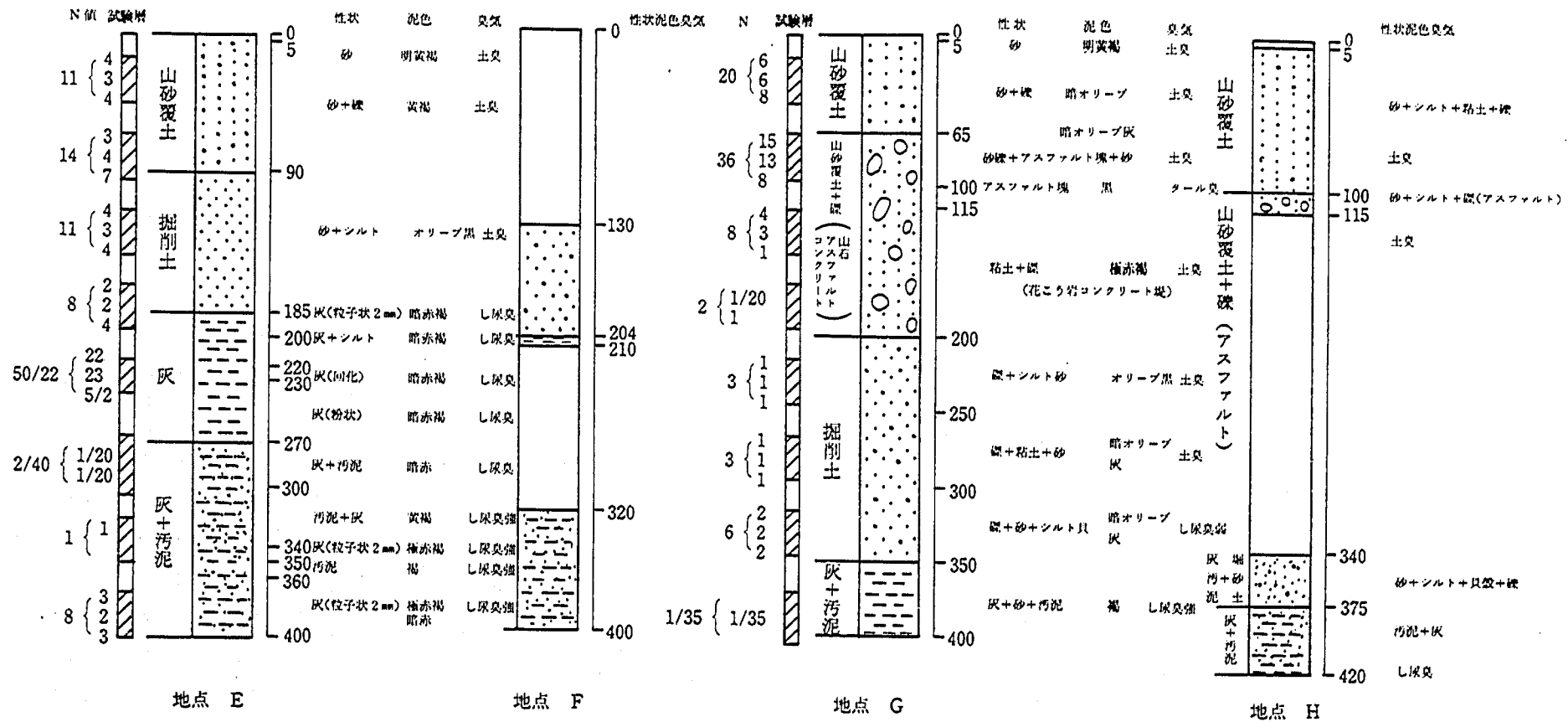


図 4.3.2 土質柱状図

と脱水汚泥が埋め立てられているものと思われる。

(2) 地点 C, D

地点 C と D も、ほぼ同じような層状をしていると思われる。これらの地点では、0~1.5 m 層が一般土であり、1.5~2.0 m 層は、サンプル土がシルト質で、暗褐色であり、しかも、し尿臭がし、強熱減量が 28.8% であることから脱水汚泥が埋立てられている。次の 2.0~3.5 m 層が再び一般土となり、さらにその下部にはやはり脱水汚泥が埋め立てられていると思われる。

地点 C における土質試験をみると、コンシステンシーとしては、塑性指数約 120~150、粒子の比重は、2.1~2.2、含水比は、120~130%、圧縮指数は、1.27 と 1.00 であった。また、透水係数は、上層 (1.5~2.0 m) が 8.36×10^{-7} であるのに比べて、下層 (3.5~4.2 m) では、 1.56×10^{-3} であり、大きな差が見られた。これは、下層のサンプルにクラックがあったためと思われる。下層の透水係数を、圧密試験の結果より計算して求めると、 0.1 kg/cm^2 の圧力時で 10^{-7} オーダーであった。従って、下層部分の透水係数も、クラックのない状態では、上層に近い値 (10^{-7} オーダー) であると推定される。

(3) 地点 E

地点 E は、山砂の覆土層が 90 cm 位まであり、その下に、185 cm まで堀削土と思われる砂の層があった。そこから、270 cm までは、性状で判るように焼却灰層があり、220~230 cm では、焼却灰が固化しているためか、非常に硬い焼却灰の層が存在し、N 値も大きな値となっている。270 cm 付近を過ぎると、突然、N 値が小さな値となり、焼却灰と脱水汚泥が混合している層となっていた。

(4) 地点 F

地点 F の上層 (130~210 cm) には、130~204 cm に堀削土があり、その下 6 cm の部分には、非常に硬い焼却灰があった。下層部分 (320~400 cm) は、すべて焼却灰と脱水汚泥との混合物であった。

さらに、ここでは、上層部分の堀削土、下層部分の焼却灰と脱水汚泥との混合物に対して土質試験も行った。堀削土については、砂分が 64% と多く、含水比は、14.3% と小さい。透水係数は、表層の山砂覆土層よりも低く、 1.91×10^{-4} であった。下層については、シルト及び粘土分が多く、含水比は、95.2% と高い値となっている。透水係数は、 3.93×10^{-5} と堀削土に比べて 1 オーダー低くなっている。

(5) 地点 G

地点 G では、65 cm まで山砂の覆土層があり、そこから 200 cm までは、数センチから数 10 センチの大きさのアスファルト塊、コンクリート塊、花こう岩などが山砂とともに埋め立てられていた。その下は、350 cm まで堀削土があり、さらにその下部に焼却灰と脱水汚泥の混合層が見られた。

(6) 地点 H

地点 H は、上層 (5~115 cm) は、すべて山砂覆土であり、その下部 15 cm ほどにアスファルト塊が混合されていた。(下層 340~420 cm) は、上部 35 cm が堀削土、下部が、焼却灰と脱水汚泥の混合物となっていた。

この地点でも、土質調査を行った。上層では、山砂覆土層を試験に供した。山砂はレキ分が、24% と多く、含水比が小さい。透水係数は、レキ分が多いわりには小さいが、均等係数が大きいことからみても比較的粘土・シルト分が多く目詰まりしているためと思われる。下層 (340~420 cm) には、上

部に堀削土層，下部に焼却灰と脱水汚泥の混合層があったため，2層に分けて試験に供した。外見上の違いに比べ粒土組成，比重，含水比，透水係数はほとんどわからなかった。このことより，おそらく上部には，堀削土と焼却灰・脱水汚泥が混合したものであろうと思われる。

3) 堀立地の断面推測

以上の地質・土質調査により堀立地内部の状況を推測したものが，図4.3.3である。St.1の集水管上には透水係数 $\times 10^{-7}$ cm/s程度の非常に透水係数の低い生脱水汚泥が表面から2m付近に約30cm層で存在し途中，堀削土をはさんで，340cmぐらいから，集水管を含んで最下部まで生脱水汚泥が埋められている。

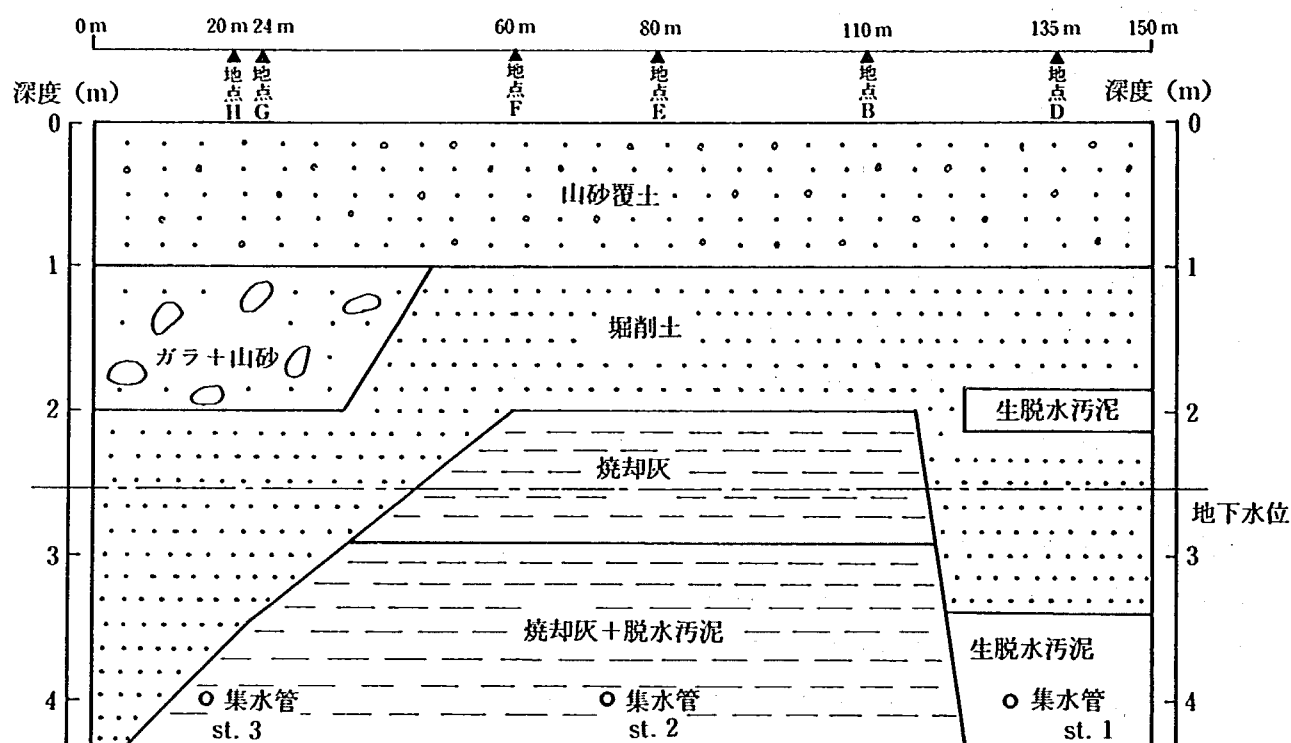


図4.3.3 下水汚泥埋立地予想断面図

St.2の集水管のまわりには，焼却灰と脱水汚泥の混合物が埋められており，埋立地中央部である St.2の上方2～3mには焼却灰が埋められている。その中間部には，10～20cmの非常に固い焼却灰の層がある。さらに表面から1mほど山砂の覆土がある。St.3の集水管のまわりも，焼却灰と脱水汚泥の混合物が埋められており，表面から1mほど山砂の覆土があり，その下部1mほどガラと山砂とが埋めこまれている。さらに，山砂の下には，堀削土が1～2.5mほど入っている。

また，土質試験による埋立地の飽和度，含水比などから，表面下2.5m付近に地下水位が存在しているものと予想される。

4) 浸出水の水質

各採水地点 (St.1, St.2, St.3) における浸出水の水質データを表4.3.3, 表4.3.4, 表4.3.5に示す。各表において昭和56年10月29日以降のものが当研究室が行った調査の結果であり，それ以前の

表 4.3.3 浸出水水質 (St. 1)

採取月日	S54 9.12	S55 1.25	7.21	9.17	12.12	S56 10.29	11.19	12.11	1.14	2.17
流量 (l/分)						0.20	0.38	0.27	0.23	0.20
気温 (°C)						17.8	16.4	12.7	6.8	2.5
水温 (°C)		16.5	22.0			19.4	17.6	16.2	12.1	10.2
PH	8.2	7.6	7.5			7.5	7.5	7.7	7.5	7.5
ORP						279	290	337	287	259
SS	4100	80	480			11	88	116	59	55
DO			0.5							
BOD	1400	79	41			6.0	14.7	31.1	41.4	45.6
COD _{mn}	680	150	130			63.8	54.0	62.4	53.9	55.6
COD _{Cr}						174	159	158	169	180
TOC						52.0	35.5	43.5	37.0	55.5
NH ₄ -N	1290	860	525			557	514	461	544	440
K-N	1470	910	550			578	531	472	574	490
T-P						1.03	0.99	2.48	4.12	2.07
Cd	ND	ND	ND			ND	ND	ND		ND
Pb	0.12	ND	ND			ND	ND	ND		ND
Cr	0.14	ND	ND			ND	ND	ND		ND
CN	ND	ND	ND			ND	ND	ND		ND
As	0.007	0.034	0.033			0.06	0.03	0.01		0.04
T-Hg	ND	ND	ND			ND	ND	ND		ND
Cu	0.41	0.007	0.010			0.02	ND	0.009		ND
Zn	24	0.081	0.052			0.001	ND	ND		0.009
Ni	0.78	0.15	0.14			ND	ND	0.985		0.017
Fe	94	6.1	5.5							
Mn	2.9	1.4	1.2							

註. NDとは

Hg<0.0005, Cr<0.03, Cu<0.005, Ni<0.05
 As<0.001, Zn<0.001, Fe<0.08
 Pb<0.02, CN<0.02, Cd<0.004, Mn<0.01

データは、埋立地の管理者が調査したものである。

St. 2 については、埋立初期には浸出水が流出していたようであるが、この調査を開始した直後ほとんど流出しなくなった。

各採水地点の水質をしてみる。(St. 2 については、浸出水が流出しないためデータが取れなかった。)

(1) St. 1

St. 1 からの浸出水流量は、0.1~0.5l/分程度であった。図 4.3.4 から判るように、降雨量の少ない冬期に向かって、流量も減少する傾向が見られた。

pH は、約 7.5 でほとんど変化しなかった。

BOD₅, COD_{Mn} は、埋立実施期間中(昭和 54 年 9 月 12 日)それぞれ 1400 mg/l, 680 mg/l と高い濃度を示しているが、埋立終了後 27 日目の昭和 55 年 1 月 25 日には、BOD₅ 79 mg/l, COD_{Mn} 150 mg/l

表 4.3.4 浸出水水質 (51.2)

採取月日	S54 9.12	S55 1.25	7.21	9.17	12.12	S56 10.29	11.19	12.11	1.14	2.17
流量(L/分)						0	0	0	0	0
気温(℃)						17.6				
水温(℃)				25.3	15.5	17.9				
pH				8.6	8.1	8.0				
ORP						- 167				
SS				1200	8	11				
DO				0.2	1.4					
BOD				2600	200	101				
COD _{Mn}				1100	260	189				
COD _{Cr}						427				
TOC						111				
NH ₄ -N				427	164	946				
K-N				578	190	1040				
T-P						3.14				
Cd				ND	ND	ND				
Pb				0.02	0.08	ND				
Cr				ND	ND	ND				
CN				ND	ND	0.044				
A _s				0.059	0.009	0.11				
T-Hg				ND	ND	ND				
Cu				ND	0.007	0.012				
Zn				0.027	0.014	ND				
Ni				1.5	0.47	0.479				
Fe				1.1	0.21					
Mn				0.27	0.02					

表 4.3.5 浸出水水質 (51.3)

採取月日	S54 9.12	S55 1.25	7.21	9.17	12.12	S56 10.29	11.19	12.11	1.14	2.17
流量(L/分)						0	5.71	4.95	0	0
気温(℃)						17.6	16.4	12.7	7.0	2.5
水温(℃)				25.0	15.0	16.7	17.8	17.3	10.2	10.1
pH				8.3	8.7	7.7	9.9	9.8	9.2	7.6
ORP						292	149	173	211	199
SS				13	17	1	96	46	3	6
DO				2.4	1.5					
BOD				3.0	73	0.6	4830	4920	9.4	3.1
COD _{Mn}				3.9	40	4.3	2780	2530	18.6	13.6
COD _{Cr}							7990	8280	70.8	55.8
TOC						1.9	2720	2840	11.1	13.7
NH ₄ -N				0.0	38.9	39.7	660	631	28.6	27.6
K-N				0.4	42.2	44.4	1400	1086	32.4	28.6
T-P						0.02	0.64	0.45	0.39	0.12
Cd				ND	ND	ND	ND	ND		ND
Pb				ND	ND	ND	ND	ND		ND
Cr				ND	ND	ND	ND	ND		ND
CN				ND	ND	ND	ND	ND		ND
A _s				0.009	0.004	ND	0.009	0.009		0.006
T-Hg				ND	ND	ND	ND	ND		ND
Cu				0.13	ND	ND	ND	ND		ND
Zn				0.014	0.007	0.003	ND	0.028		0.008
Ni				ND	ND	ND	ND	3.22		ND
Fe				0.52	1.5					
Mn				0.07	0.07					

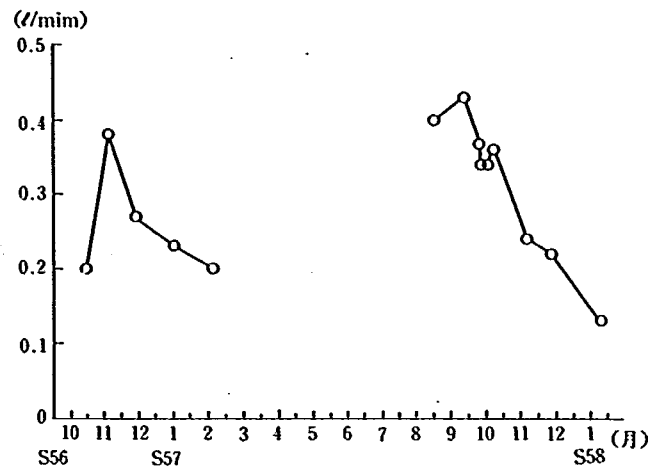


図 4.3.4 流出量 (St. 1)

l と急激に低下しており、その後、 COD_{Mn} は、 60 mg/l 前後であり変化していない (図 4.3.5, 図 4.3.6)。

また、図 4.3.6 から判るように、水温が低下するに従って、 BOD_5 の値は増加する傾向が見られた。

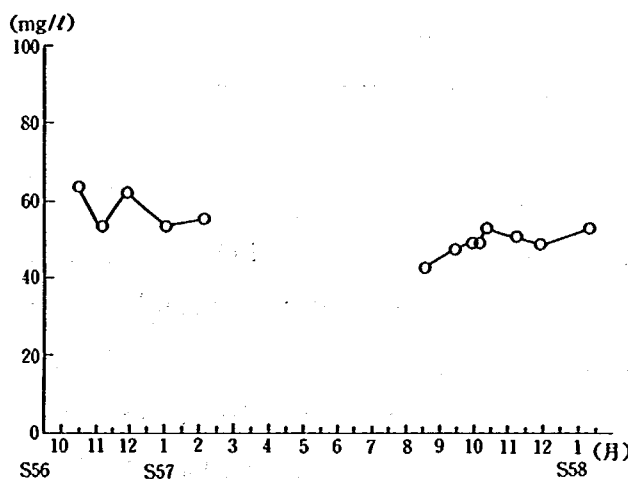


図 4.3.5 COD_{Mn} (St. 1)

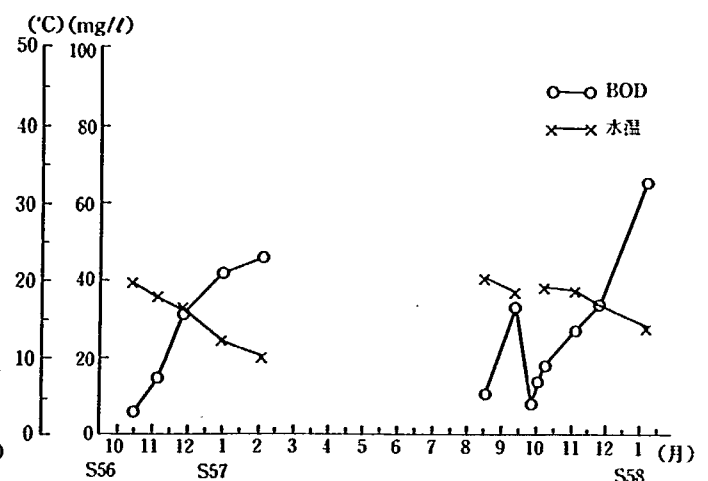


図 4.3.6 BOD_5 ・水温 (St. 1)

[水温と BOD_5 との相関係数は、 -0.783 , -0.810 , (4/27 のデータを除く)] これは、水温の低下により浸出水中の微生物活動が低下し、未分解の生物分解可能な有機物が増えるためであると推測される。

窒素については、調査期間中でみると、 NH_4-N , 500 mg/l 前後、 $K-N$ も同様に 500 mg/l 前後と、 BOD_5 , COD_{Mn} と比べ、非常に高い値となっている。また、 $K-N$ 中の大部分がアンモニア態の窒素であることが判る (図 4.3.7)。

Cd , Pb , Cr , CN , As , $T-Hg$ という重金属は、 As を除いて ND (ND とは、 $Cd < 0.004 \text{ mg/l}$, $Pb < 0.02 \text{ mg/l}$, $Cr < 0.03 \text{ mg/l}$, $CN < 0.02 \text{ mg/l}$, $T-Hg < 0.0005 \text{ mg/l}$ である) であり、各項目とも排水基準値以下であった。

Cu , Zn , Fe に関しては、埋立期間中に、多くの流出が見られたようであるが以後は、大きく減少し

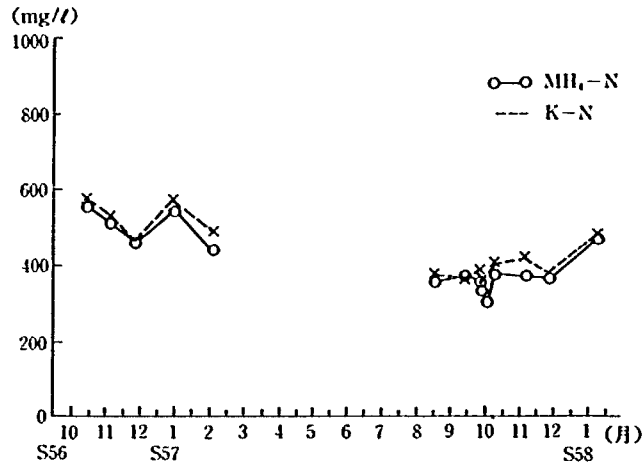


図 4.3.7 NH₄-N, K-N (St. 1)

ている。

(2) St. 3

St. 3における流出量を図 4.3.8 に示す。図 4.3.8 中で流出量が 0 ml/min となっているところは採水ビットからの排水管が詰まっていたため、ビット内で溜り水となっている状態である。この詰まりを除くと、浸出水は約 5~6 l/min となり、St. 1 の 10 倍以上の量で流出した。

pH は、8~10 と高く、石灰系の脱水ケーキ、焼却灰等の埋立物中を浸透してきた浸出水ではないかと思われる。St. 1 とは、大きな違いが見られる。

BOD₅については、排水管の詰まりを取り除き浸出水が流出すると、急激に増加している。(図 4.3.9) さらに、不思議なことには、これらの浸出水の流出が止まり溜り水になると、その BOD₅値が激減することである。このような傾向は、2 年間のどちらの調査でも見られ、増加現象は、昭和 56 年 10 月 29 日には、浸出水が流れていない状態で BOD₅が 0.6 mg/l とかなり清浄であったものが、浸出水が流れていた同年 11 月 19 日には、4830 mg/l と約 8000 倍の濃度になっている。また、昭和 57 年 8 月 11 日には、1190 mg/l であったものが、詰まりを取り除いた 20 日後の 8 月 31 日には、3870 mg/l と約 3 倍

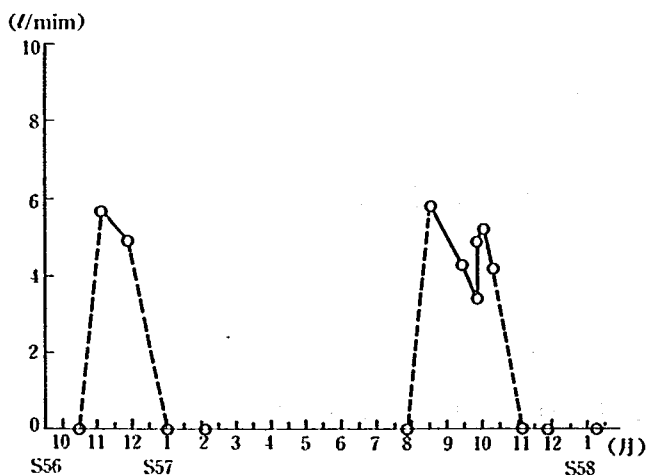


図 4.3.8 流出量 (St. 3)

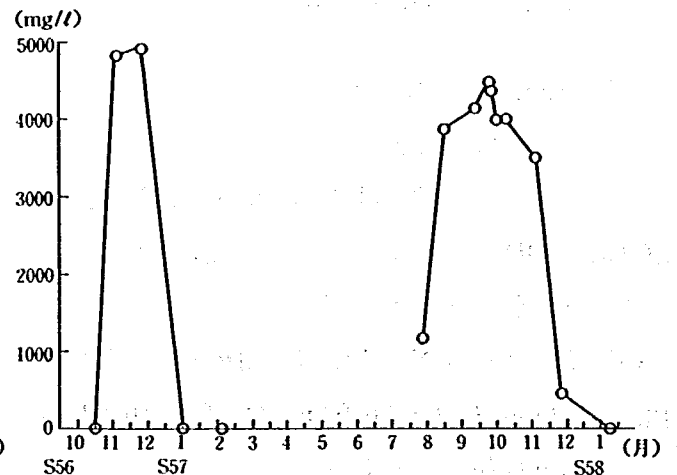


図 4.3.9 BOD₅ (St. 3)

の濃度となっている。一方、減少現象は、昭和57年1月14日に見られ、約1か月前後の調査では、4920 mg/lであったものが、9.4 mg/lとなっており、昭和57年12月、昭和58年1月の調査でも減少している。

COD_{Mn} (図4.3.10) でも、BOD₅と同様であり、これらの濃度はSt.1に比べて、BOD₅で約100倍、COD_{Mn}で約50倍になっている。

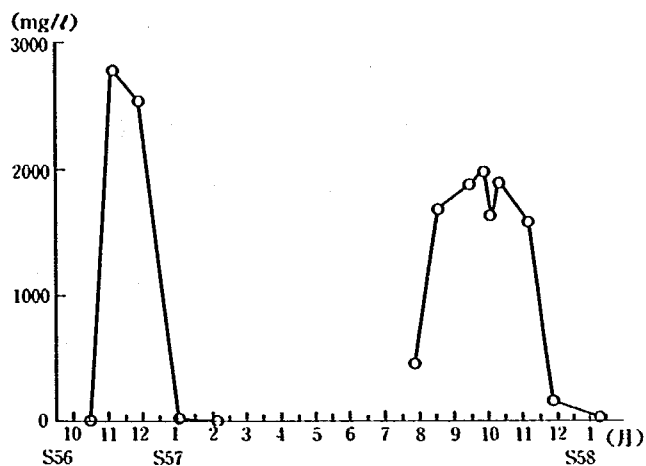


図4.3.10 COD_{Mn} (St. 3)

St.3における浸出水は、埋立計画、土質調査により、山砂あるいは堀削土を浸透してくるものであり、その水質は、清浄なものと考えていたため、このように、BOD₅、COD_{Mn}値がSt.1に比べて非常に高く、pH値もアルカリ値であることは、意外であった。

この結果は、5)埋立地の断面図予想と、浸出水の溶出パターンを推測する原因となった(後述)。ところが、NH₄-N、K-Nは、浸出水が流出しているときの濃度で見ると、それぞれ約500 mg/lとSt.1とはほぼ同じ値であった(図4.3.11)。

一方、T-Pに関しては、図4.3.12をみると判るが、1オーダー、St.3の浸出水の方が低い値となっている。

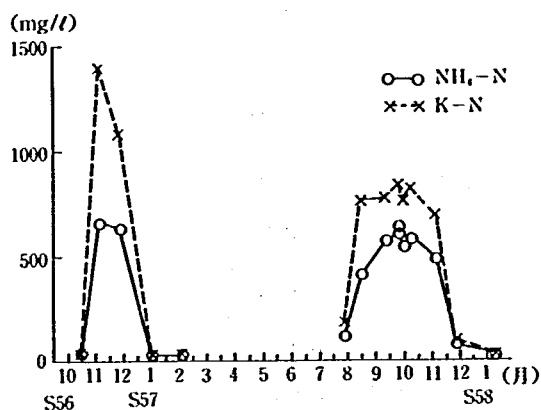


図4.3.11 NH₄-N, K-N (St. 3)

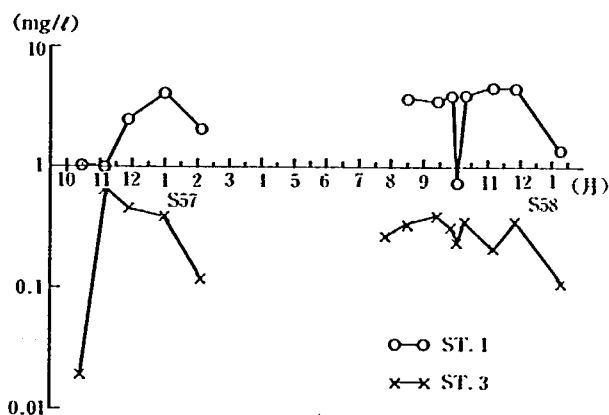


図4.3.12 T-P (St. 1, St. 3)

Cd, Pb, Cr, CN, As, T-Hg は, St. 1 と同様, 排水基準値以下であった。

次に, St. 3 における浸出水水質の流出形態をさらに詳しくみるために, 埋立地の埋立物の溶出試験 (環境庁告示第 13 号の方法) を行い, その水質と比較してみた。

表 4.3.6 に, 溶出試験の結果を示す。

ここで, 浸出水の水質が埋立物からの溶出により決定されるとすれば, この溶出試験結果となんらかの関係があるはずである。そこで, まず, 溶解の指標として電気伝導度を取り上げ, St. 3 で得られた電気伝導度と溶出試験で得られた電気伝導度とを等しくなるように, 溶出試験後の水質を補正した。その結果を表 4.3.6 に示す。これを見ると, COD_{Mn} , $\text{NH}_4\text{-N}$, K-N , TOC は浸出水の水質と近い値となる。つまり, これらの項目として測定される物質は, 溶解イオンと同じような形態で溶出していると考えられる。

ところが, T-P, Cu, Zn, Ni, Ca は, 浸出水の水質よりもかなり高い値となる。これらの項目は, 水酸化物になったり, リンなどは Ca と結合したりして SS 分となり, 溶解性物質としては低濃度となると考えられる。そこで, 今度は, Ca の濃度を等しくなるように補正した (表 4.3.6)。このように補正すると, T-P, Zn は, 浸出水の水質と近い値になった。

以上の結果より, Cu, Ni については明確な傾向は見られなかったが, COD_{Mn} , $\text{NH}_4\text{-N}$, K-N , TOC 成分は, 溶解イオンとよく似た溶出形態を示し, T-P, Zn は, 水酸化物とか, カルシウムとの結合とか, 懸たく物になり, 浸出水中には, 流出しづらいものと考えられる。

表 4.3.6 溶出試験結果と St. 3 浸出水水質の関係

項 目	St. 3 平均濃度	溶出試験	計 算 値	
			EC値	Cu濃度
EC(mU/cm)	11.3	0.305	11.3	2.18
$\text{COD}_{\text{Mn}}(\text{mg/l})$	1990	63.1	2370	451
$\text{NH}_4\text{-N}(\text{mg/l})$	567	12.3	463	88.0
$\text{K-N}(\text{mg/l})$	886	21.7	818	155
$\text{TOC}(\text{mg/l})$	2460	78.9	2970	564
T-P(mg/l)	0.360	0.072	2.71	0.515
Cu(mg/l)	ND(<0.005)	0.77	29.0	5.51
Zn(mg/l)	0.020	0.003	0.113	0.021
Ni(mg/l)	2.02	0.124	4.67	0.887
Ca(mg/l)	638	89.1	3350	638

註 1 : St. 3 平均濃度は, 浸出水の流出量が, 0mg/l 以上の場合のデータを使って求めた。

註 2 : Cu は昭和 57 年 10 月 11 日以降のデータである。

5) 浸出水と降雨量の関係

ここでは、浸出水の流出パターンを調べるために、降雨後の浸出水の流出量を調査した。降雨があった直後から、7日目にわたって、連続的に浸出水の流量測定を行った。その結果を表4.3.7と表4.3.8、及び、図4.3.13と図4.3.14に示す。

表4.3.7 St. 1における流量測定結果

時 月日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10/10										0.35	0.37	0.37	0.37	0.37	0.38	0.37	0.30	0.37	0.35	0.37		0.37		
10/11							0.37		0.36		0.35	0.37		0.37		0.34		0.33		0.33		0.34		0.34
10/12				0.34				0.33		0.34		0.34		0.35				0.33	0.32					
10/13						0.33	0.33	0.32	0.33	0.34	0.35	0.35	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32						
10/14								0.36	0.33	0.35	0.34	0.36	0.36	0.36	0.36	0.33	0.34	0.35						
10/15								0.34	0.35	0.34	0.36	0.36	0.37	0.34	0.36	0.34	0.35	0.34						
10/16								0.33	0.32	0.36	0.35	0.33	0.36	0.34	0.35	0.31	0.33							

表4.3.8 St. 3における流量測定結果

時 月日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10/10										3.4	3.4	3.6	3.6	3.7	3.7	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9		4.2		
10/11								4.8		4.9		5.0		4.9		4.9		4.9		4.8		4.8		4.9
10/12				4.8				4.6		4.7		4.8		4.9		4.8		4.9		4.9				
10/13						4.8		4.8		4.8		4.9		5.0		5.1		5.0		4.9				
10/14								5.2		5.3		5.1		5.1		4.9		4.9		5.0				
10/15								5.0		5.2		5.4		5.3		5.3		5.3						
10/16								5.2		5.2		5.2		5.4		5.2								

St. 1では、浸出水の流量に大きな変動は見られず、7日間の調査期間には降雨の影響が現れていない。一方、St. 3では、調査開始直後に0.34t/minであった流動が、その後徐々に増加し最終日には、5.2t/minになった。

なお、表4.3.9には、調査期間中の日降雨量を示す。

次に、土質試験より得られた透水係数を用いて、St. 1およびSt. 3における表層から集水管までの浸透時間を計算してみる。

まず、St. 1では、

山砂覆土層1m、堀削土層2.5m、生脱水汚泥層0.5mとすると、それぞれの透水係数は、 3.82×10^{-4} 、 1.91×10^{-4} 、 8.36×10^{-7} であるから、浸透時間は、710日となる。また、例えば、生脱水汚泥層の透水係数を、クラックなどの影響を考え、 8.36×10^{-6} とオーダーを1つ上げて計算すると、87.3日となる。

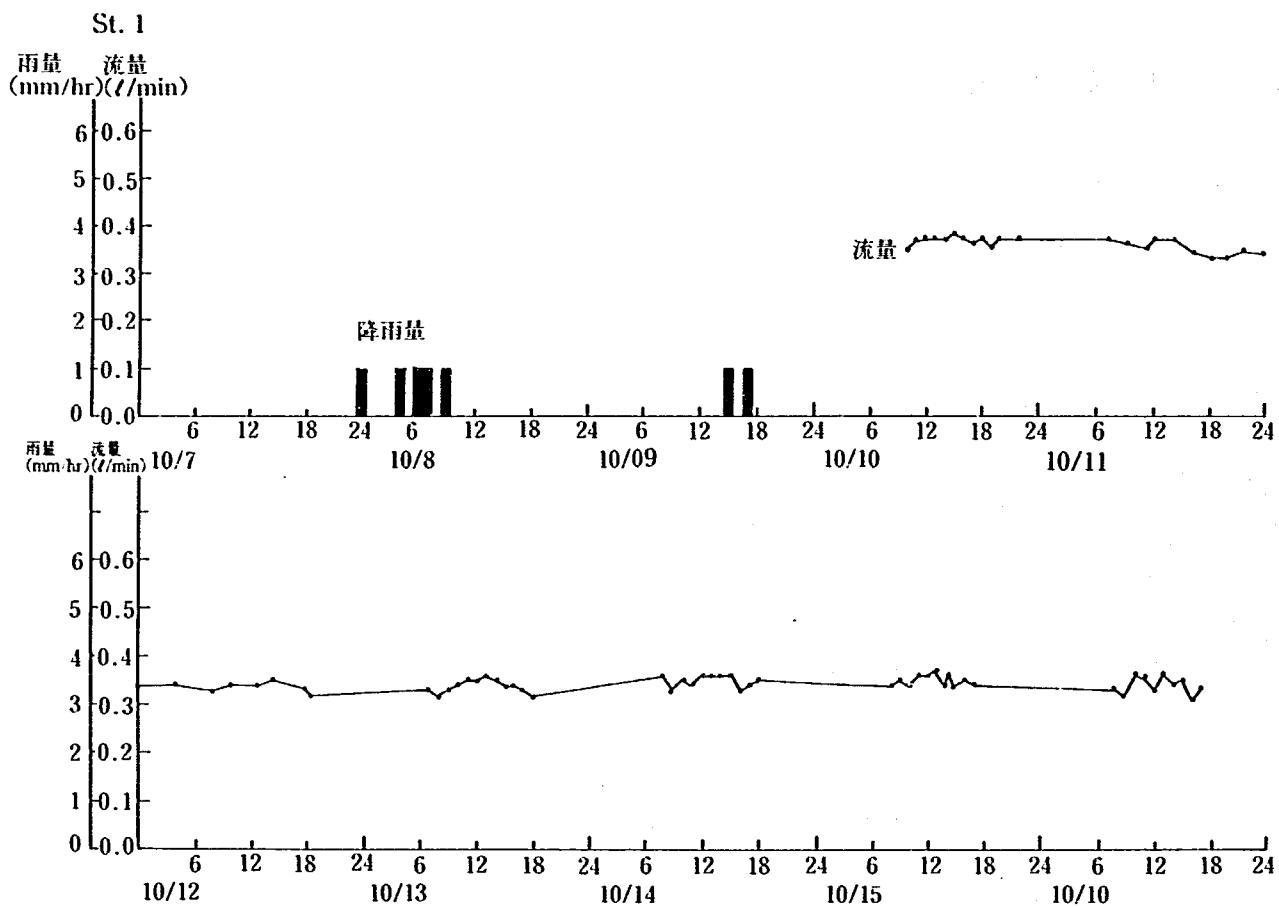


図 4.3.13 St. 1 における流量と降雨量の経時変化

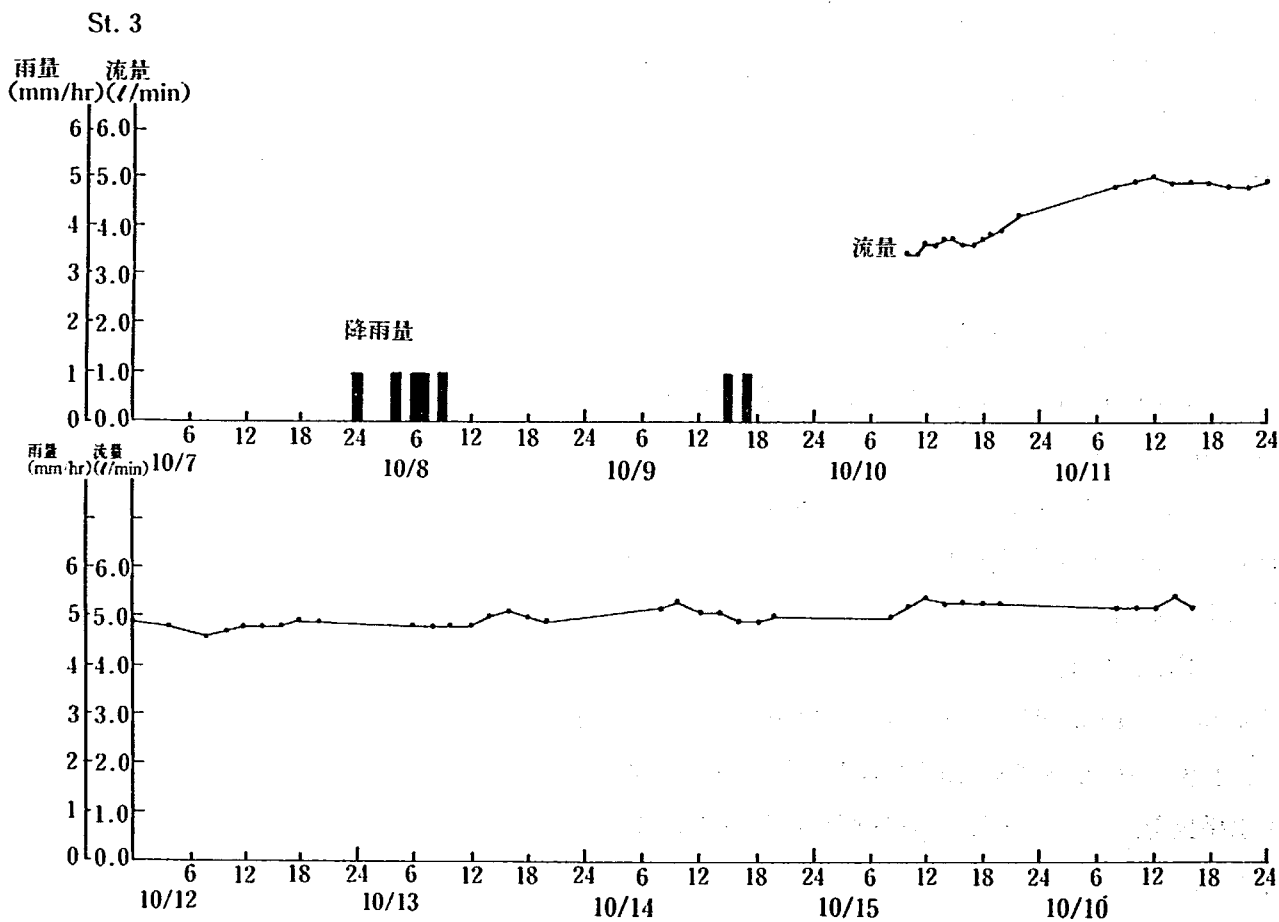


図 4.3.14 St. 3 における流量と降雨量の経時変化

表 4.3.9 日降雨量 (S. 57.8~S. 58.1)

単位 mm																																
日 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	月計
8	76	53	55				0	52		0	1	0	11	0	0	29	11	1	8	0				0		0	8	0	0	53		302
9	3	2				11	0	48		6	43	91				0			40	22		0	12	3	1	0				0		284
10	0	19	0			0	1	3	2	0	0				0	0			15	5				0							0	48
11	0		0	0	3	0	14	0	4	35	6	0			5	1	1					8							1	15		97
12					5						5						1					3				15						29
1					5	4	0	2	0	0	0		0	0	0			7	0			0		0						0		19

次に, St. 3 では,

山砂覆土層 2 m, 堀削土層 1.7 m, 焼却灰と脱水汚泥混合層 0.3 m とすると, 焼却灰と脱水汚泥混合層の透水係数は, 4.66×10^{-5} であるから, 浸透時間は 23.8 日となる。また, 途中の山砂とガラ混合層 1 m を考慮に入れ, その透水係数を 3.82×10^{-3} と仮定すると, その時間は 21.0 日となる。

以上の結果を見ると, 非常にラフな計算であるが, 1 週間程度では, 雨水は浸出しないこととなる。しかしながら, 地下水位が地表下 2.5 m にあるとして, 雨水が浸透し, この地下水位に達した時点で浸出水の流量に影響があるとすれば, St. 1 では, 12.1 日で, St. 3 では, 90 日, ガラの混入している層を考慮に入れると 6.3 日で浸出水流量に降雨の影響が出てくることとなる。

ところが, St. 1 では, 降雨後 13 日目のデータでは, 流量は, 0.36 l/min であり, 変動は現れていない。これは, 生脱水汚泥の難透水性により雨水の変動が平滑化されてしまうためであろうか。St. 3 については, 表 4.3.9 をみれば判るように, 10 月 2 日に 19 mm の雨が降っており, この雨量の影響ではないかと推定される。

次に, 埋立地中全体の浸出水の動きを, ① St. 3 からの流出量が一番多いこと, ② St. 2 では, ほとんど流出が見られないこと, ③ 各埋立物の透水係数, 等を考慮して, 以下のように推定した (図 4.3.15 参照)。

① 通常, 地下水位は地表から 2.5 m 付近にあり, AB の地下水は集水管 St. 3 より流出する。また C の地下水は, St. 1 の集水管から流出するが, 集水管付近の生脱水汚泥層の透水係数が非常に低いいため B へ流れていく。

② 降雨があると透水性の高い A, C の地下水位は大きく上昇し, B の上部へ浸透してくる水の多くは, そのまま B に浸透せず A, C に流れるため B の地下水位はわずかに上昇するだけである。

③ 地表からの浸透が止まると, A の水は St. 3 から流出するために, A の水位は下がる。B から直接 St. 3 から流出するが, A からの流出が速いため, A に流れ込む。C では, St. 1 からわずかに流出しないため地下水位はなかなか下らない。

④ B の水位が下がると C から B に水は流れる。

⑤ A, B, C の地下水位が一定となり最初の状態に戻る。

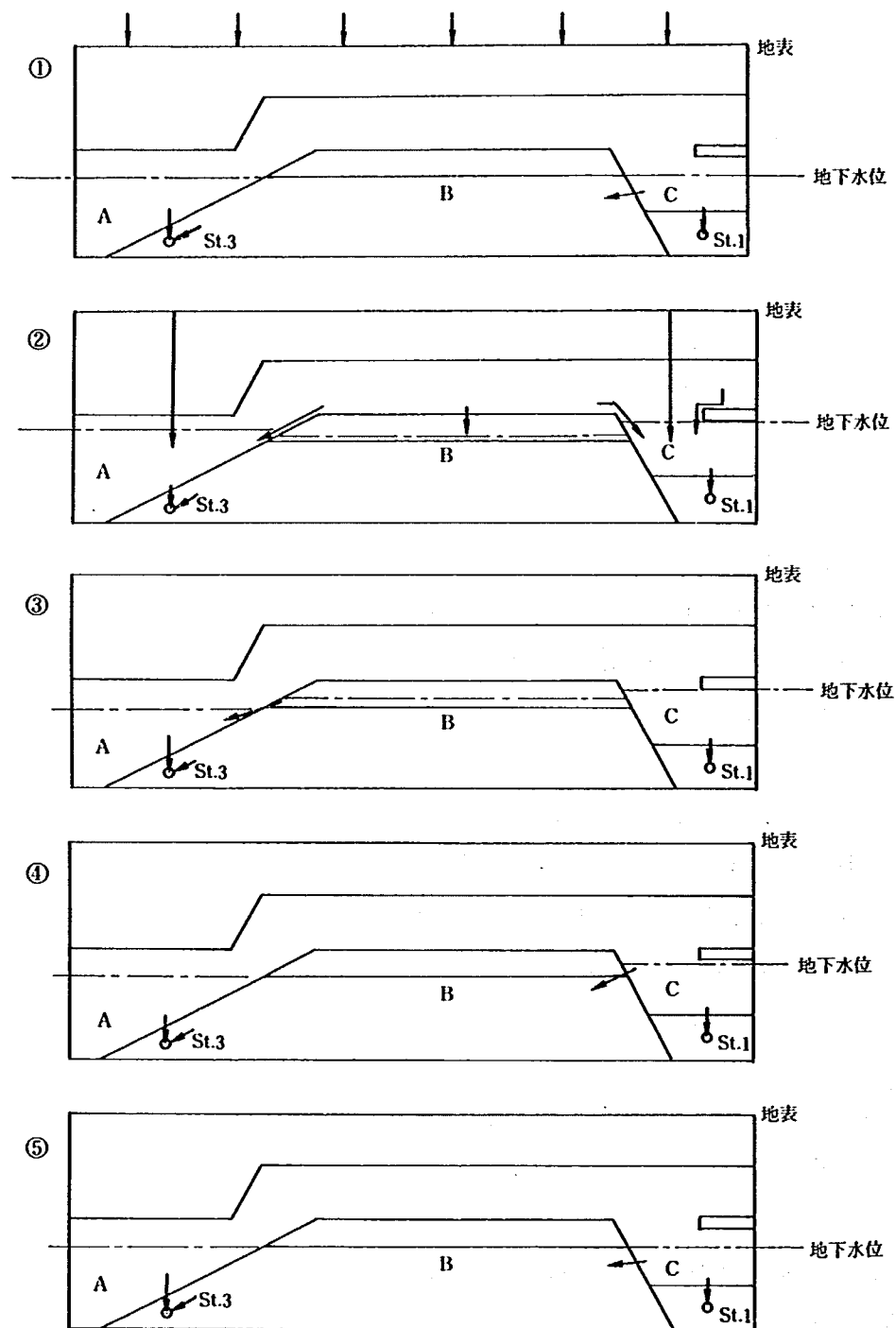


図 4.3.15 雨水の流出機構（想像図）

以上，述べたような浸出水と降雨との関連性を，おおまかにまとめてみた。埋立物の透水係数，埋立物の種類等，明確には把握することができず，降雨量との関連性を推測することは，かなり難しいものであった。

下水汚泥の埋立に伴う浸出水・余水の
性状調査報告書

ISSN0386-5878
土研資料第2322号
昭和61年3月
下水道部汚泥研究室

水質研究室：京才 俊則，大嶋 吉雄，岡久 宏史

要 旨

下水処理場の増加に伴い、発生する汚泥の量も年々増加の傾向にある。この汚泥の約8割は陸上及び、海面埋立されているが、下水汚泥の埋立地からは、水質が悪いと言われる浸出水・余水が発生している。

しかし、この水質に関しては、十分なデータは存在していない。本資料は、汚泥性状・埋立方式・温度別に浸出水・余水の水質を測定し、浸出水および余水の処理のための基礎データを提供している。

キーワード：下水汚泥，浸出水，余水，埋立，表面流出，温度

○

郵便はがき

3 0 5 - □ □

さを四
いは十
つ切
下手

建設省土木研究所

下水道部汚泥研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先住所

配布先氏名

○

土木研究所資料第 2322 号 部

上記のとおり受領しました。

配 属（住所）

氏 名

印

○