

論文

1. カーボンファイバー方式浄化実験

1. 目的

河川・公共用水域の水質浄化手法として、接触材充填による生物膜法がよく用いられている。接触材の種類には多くのものが考案されているが、繊維を素材とした接触材も多い。繊維を接触材として用いる利点は、繊維フィラメントが水中でばらばらになることにより、微生物が付着できる表面積が非常に多くなるという点にある。

繊維接触材による水質浄化の事例を表1-1に示す。

表1-1 繊維接触材による水質浄化事例

	接触材の形状	繊維素材	BOD除去率	適用場所	原水BOD
1	不織布スリット	ポリエステル	60～70%	都市河川	10 mg/L
2	ネット	塩化ビニリデン	60～70%	都市河川	10 mg/L
3	ひも状	ポリプロピレン	40～60%	都市河川	10 mg/L
4	ネット	ポリエステル	30～50%	都市河川	5～7mg/L
5	ひも状	炭素繊維(CF)	60～70%	池(循環)	12 mg/L

表1-1の1～4は、一定の性能があるということで建設省の評価を受けた技術である。カーボンファイバー（以降CFとする）については、まだ開発中の技術であり、河川への適用事例はほとんどない。CFには水質浄化において、次のような特徴があるといわれている。

- ①接触面積が非常に大きいため少量の充填でも効果が得られる。
- ②維持管理が不要である。
- ③強度があり、劣化しない。
- ④生物親和性が高く、微生物付着能に優れている。

本実験は、1997年度、1998年度の2ヶ年においてCFの基本的な浄化特性の検証、及び河川への適用の可能性について検討することを目的として行ったものである。

1.2 履行場所

滋賀県草津市志那町葉山川河口右岸
琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター内
水路型浄化実験施設

1.3 履行期間

平成9年4月26日～平成11年3月10日

2. 実験施設諸元

2.1 施設運転条件

実験条件を表2-1に示す。

表2-1 施設運転条件

項 目	1997年度				1998年度		
	A水路	B水路	C水路	E水路	B-1水路	B-2水路	B-3水路
実験目的	水質浄化実験		魚礁実験		水質浄化実験		
水路幅×長さ(m)	2.0×24		2.0×24		0.66×15		
水深(m)	0.4	0.4	0.8	0.8	0.3	0.3	0.3
流量(m ³ /h)	5	5	5	5	3	3	3
滞留時間(h)	4	4	8	8	1	1	1
CFの形状	延縄	充填せず	ストラット	立体ロープ	不織布	ひも状	無
CFの重量(g)/水路	1,870	0	—	—	4,330	2,460	0
CFの密度(g/m ³)	100	0	—	—	1,460	830	0
設置筏数(基)	6	6	6	6	—	—	—
植 生	有	有	無	有	無	無	無
遮 光	無	無	無	無	有	有	有
放流した魚	無	無	7+100匹	7+100匹	無	無	無

注-1) CFの重量は1水路あたりで表示

注-2) 不織布状のCFは化学繊維を50%含有する

2.2 1997年度実験

2.2.1 水路概要図

CFを水面から吊すためにフレーム構造の筏を作成し、図2-1のように設置した。A、C、E水路については、図2-2に示す形状のCFを筏の下部に吊り下げた。B水路はCFを吊り下げないで対照とした（D水路は未使用）。

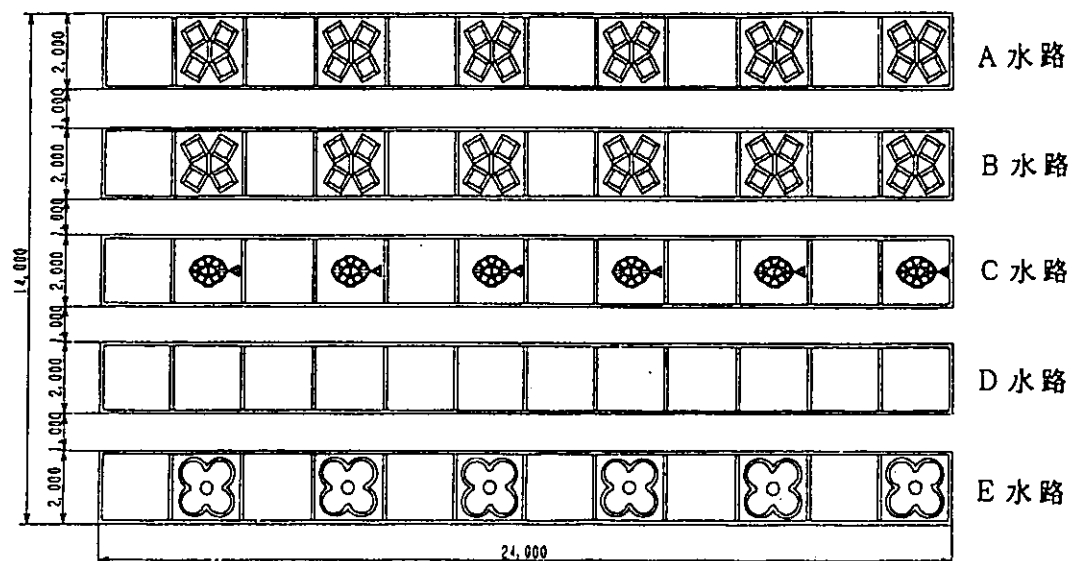
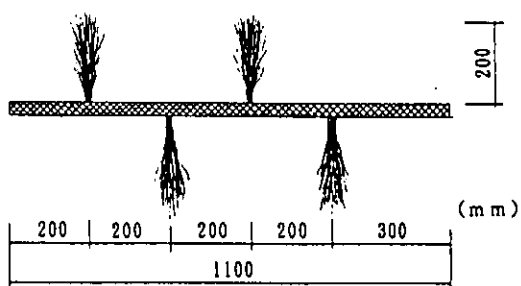
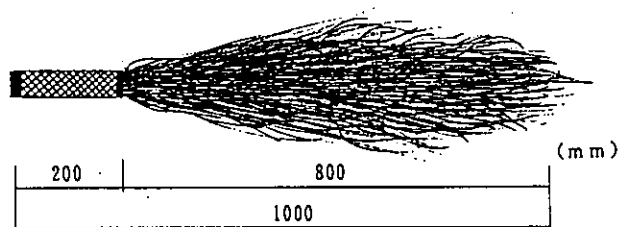
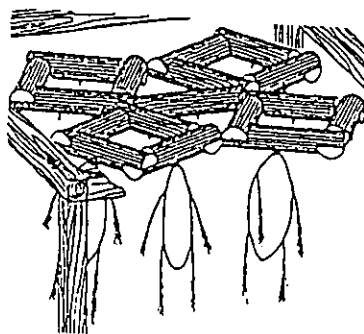


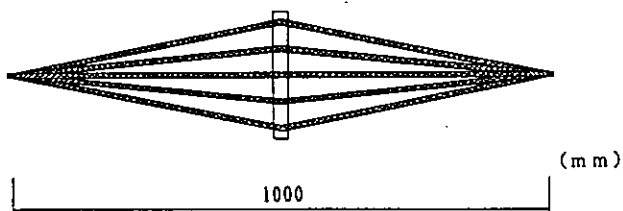
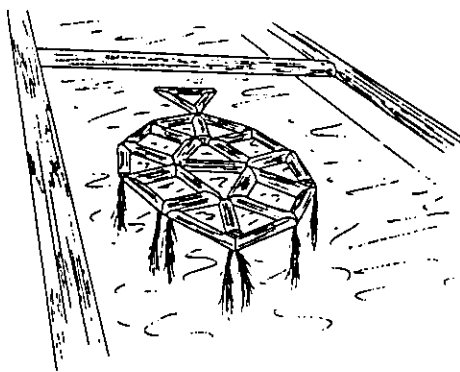
図2-1 水路概要図



A水路



C水路



E水路

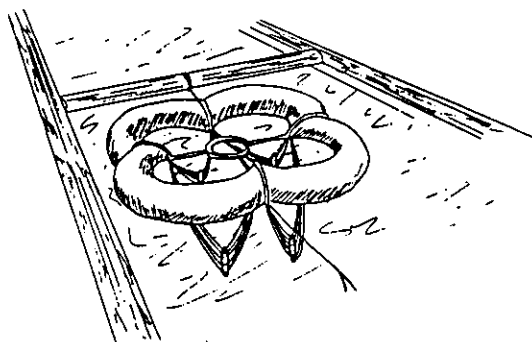


図2-2 C Fの形状

A、B水路の筏にはマットA～Dの4個のヤシマットを設置した。マットには表2-2に示す様に湿地を好むナンカイギボウシ、サワギキョウ、クサレダマ、ヨメナや、陸上植物であるニチニチソウ、インパチェンス、ピポ、アゲラタム、ペチュニア、カスミソウを植栽した。これらの植物はいずれも花や葉が美しいものである。また、E水路の筏には中央にカゴを設置し、カラーを植栽した。

表2-2 植栽を行った植物種

場所		植栽（6月）		補植（7月）	
		植物種	株数	植物種	株数
A, B水路	マットA	ナンカイギボウシ サワギキョウ	5 4	—	
	マットB	ナンカイギボウシ クサレダマ	5 4	—	
	マットC	ニチニチソウ ヨメナ	4 7	ピポ	2
	マットD	インパチェンス	5	アゲラタム ペチュニア カスミソウ	1 1 3
E水路		6月にカラーを植栽			

注）株数は1マットあたり

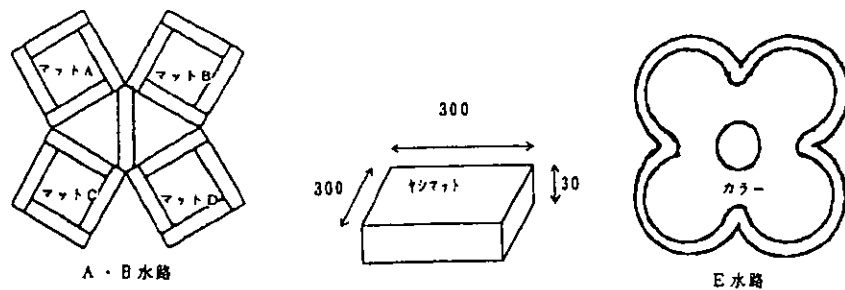
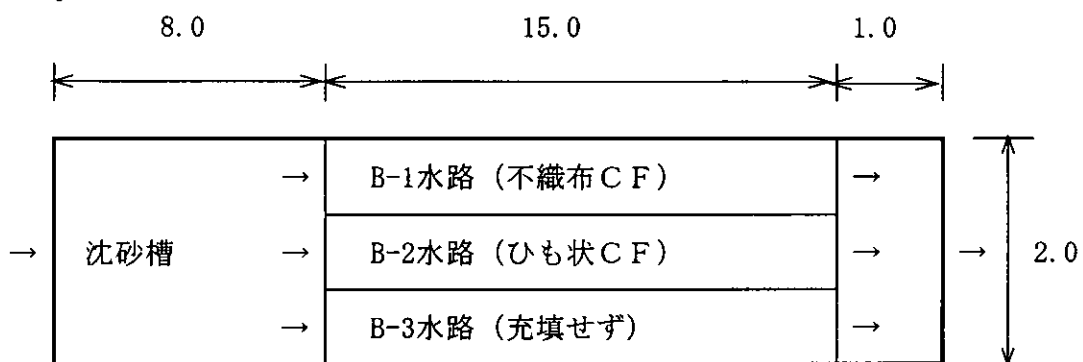


図2-3 植栽状況

2.3 1998年度実験

2.3.1 水路概要図

1998年度は図2-4に示すB水路のみを使用した。上流部に沈砂槽を設け、下流部は3区画に仕切った。



(単位;m、水深;約0.35m)

図2-4 水路概要図

2.3.2 接触材

充填した接触材は図2-5、図2-6に示す不織布CFとひも状CFである。不織布CFは50%がピッチ系のCFで50%が化学繊維である。ひも状CFは100%パン系のCFである。

不織布CFは約45cm間隔で32組をB-1水路に、ひも状CFは約48cm間隔で30組をB-2水路に充填した。短絡流が生じないようにCFはちどりに設置した。

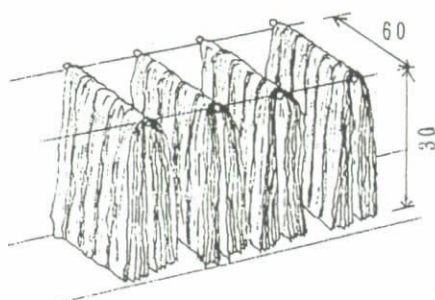
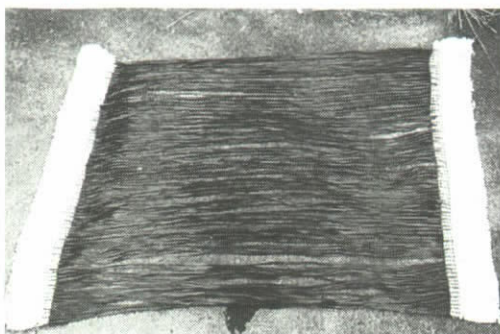


図2-5 不織布接触材 (CF 50%)

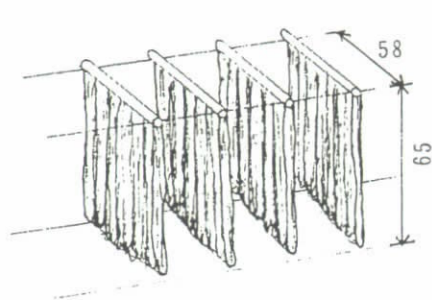
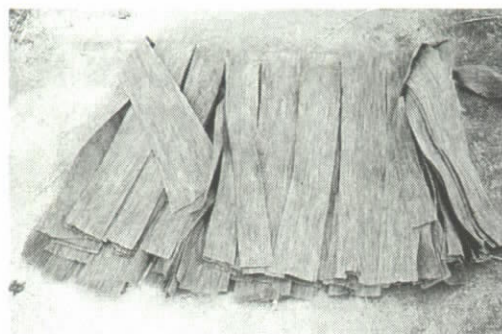


図2-6 ひも状接触材 (CF 100%)

注) ピッチ系：石油系と、石炭系がある。ピッチ系はPAN系より引張り弾性率は大きい、引張り強さは小さい。

PAN系：ポリアクリロニトリルを原料とする。

(出典：「炭素繊維と複合材料」奥田健介著 共立出版)

3. 業務内容

3.1 1997年度実験

3.1.1 水質調査

A, B水路を用いて、A水路の筏の下部に延縄式CFを吊り下げ、B水路を対象としたCF充填の有無による水質浄化能の比較実験を行った。

採水位置を図3-1に示す。調査は1997年6月～1998年1月まで毎月1回(計8回)行った。なお流出部の採水は滞留時間を考慮して流入部の採水から約4時間後に行った。

採水回数	1回/月 (1997.6月～1998.1月)
分析項目	DO、pH、SS、TN、TN(D)、NO ₃ -N、NO ₂ -N、NH ₄ -N、TP、TP(D)、PO ₄ -P、BOD

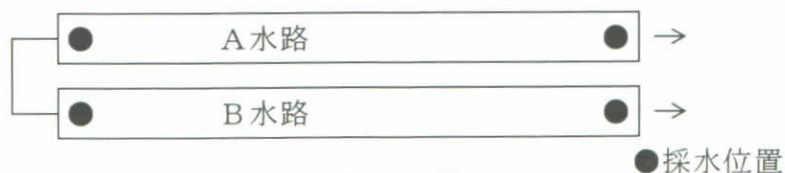


図3-1 採水位置

3.1.2 植生調査

植生による浄化効果を調べるために、植物種別に成分分析を行い、植物による窒素、リンの吸収量を算出した。

調査回数：2回/年 (6月、10月)

分析項目：窒素、リン、含水率、湿重量

3.2 1998年度実験

3.2.1 水質調査

藻類を抑制するために滞留時間を1時間と1997年度実験時より短縮し、水路によしずを覆うことで遮光し実験を行った。また、BODの除去効果を高めるために、CF充填密度を1997年度実験のおよそ10倍とした。CFは2種類の形状の異なるものを使用し比較した。

採水回数：4回（6月17日、8月2日、10月6日、12月3日）

分析項目：DO、pH、SS、BOD、T-N、T-P

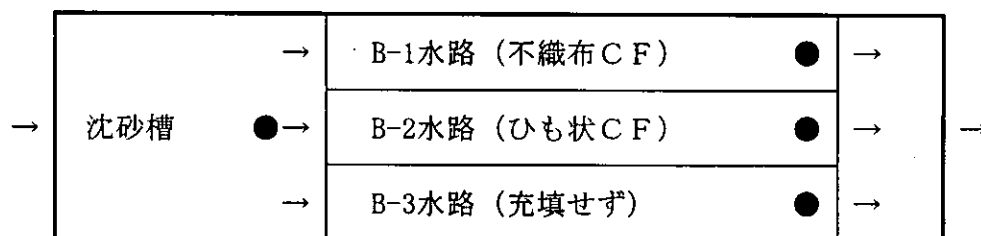


図3-2 採水位置

●：採水場所

3.2.2 堆積物調査

各水路の下流部底にトレー（53.4cm×34.8cm）を設置し、設置期間中のトレーに堆積した沈殿物の調査を行う。2月の調査では、トレーを各水路の上流、中流部底にも設置し、設置場所の違いによる堆積物の調査も行った。

採取回数：4回（8月4日、10月6日、12月3日、2月5日）

分析項目：T-P、IL、含水率

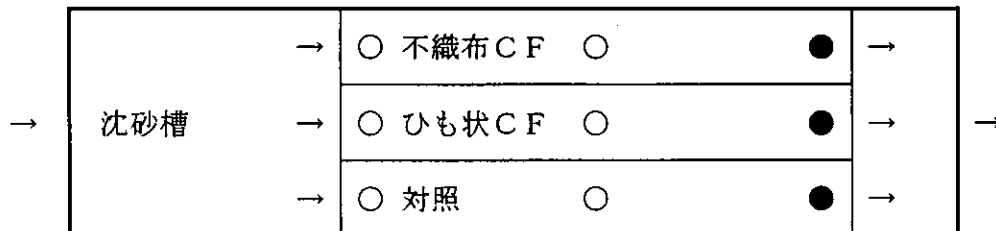


図3-3 堆積物調査位置

○：8、10、12、2月採取

●：2月採取

3.2.3 細菌分析

CFに付着した生物膜の分析を行う。

採取回数：3回（8月4日、12月12日、2月5日）

分析項目：一般細菌、有機物量、乾重量

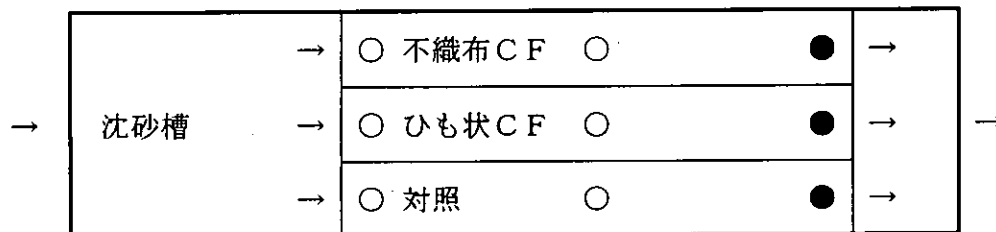


図3-4 付着物調査位置

○：8、12、2月採取

●：2月採取

4. 実験結果

4.1 1997年度

4.1.1 水質分析結果

各水質項目の平均濃度と平均除去率を表4-1に、主な水質項目の濃度と除去率を図4-1に示す。A水路（CF充填）、B水路（対照）のSS除去率はそれぞれ65.5%、52.8%、T-P除去率はそれぞれ26.6%、21.7%とA、B水路とも浄化効果が認められ両水路に大差はなかった。T-Nも両水路で浄化効果が認められ、A水路のほうが除去率19.9%とB水路の除去率10.2%より浄化効果が高かった。

実験期間中、アオミドロなどの藻類が水路一面に発生し、A、B水路とも入口より出口でpHが0.3～0.5上昇し、DOが3mg/l前後上昇した。これは水路内の藻類が光合成を行い、有機物を生産していたことを示唆している。このためBODの除去率は低くなったと考えられる。

表4-1 平均濃度と平均除去率（1997.6～1998.1）

項 目	A水路（CF充填）			B水路（対照）		
	流入濃度 (mg/l)	流出濃度 (mg/l)	除去率 (%)	流入濃度 (mg/l)	流出濃度 (mg/l)	除去率 (%)
pH	7.3	7.6	—	7.3	7.8	—
DO	8.8	11.7	—	9.0	12.6	—
BOD	3.3	3.4	-4.6	3.1	3.0	3.0
SS	21	8.6	21.9(65.5)	16	5.5	52.8
NH ₄ -N	0.20	0.12	43.7	0.18	0.12	38.8
NO ₂ -N	0.044	0.043	4.5	0.045	0.044	-1.1
NO ₃ -N	1.1	0.96	14.5	1.1	1.0	10.7
T-N	1.9	1.5	19.9	1.8	1.6	10.2
T-N(D)	1.7	1.4	14.8	1.6	1.5	8.0
PO ₄ -P	0.044	0.038	9.6	0.043	0.038	10.5
T-P	0.13	0.092	26.6	0.13	0.095	21.7
T-P(D)	0.049	0.044	6.2	0.049	0.043	9.8

注) ()は異常と思われる数値を除いた平均除去率

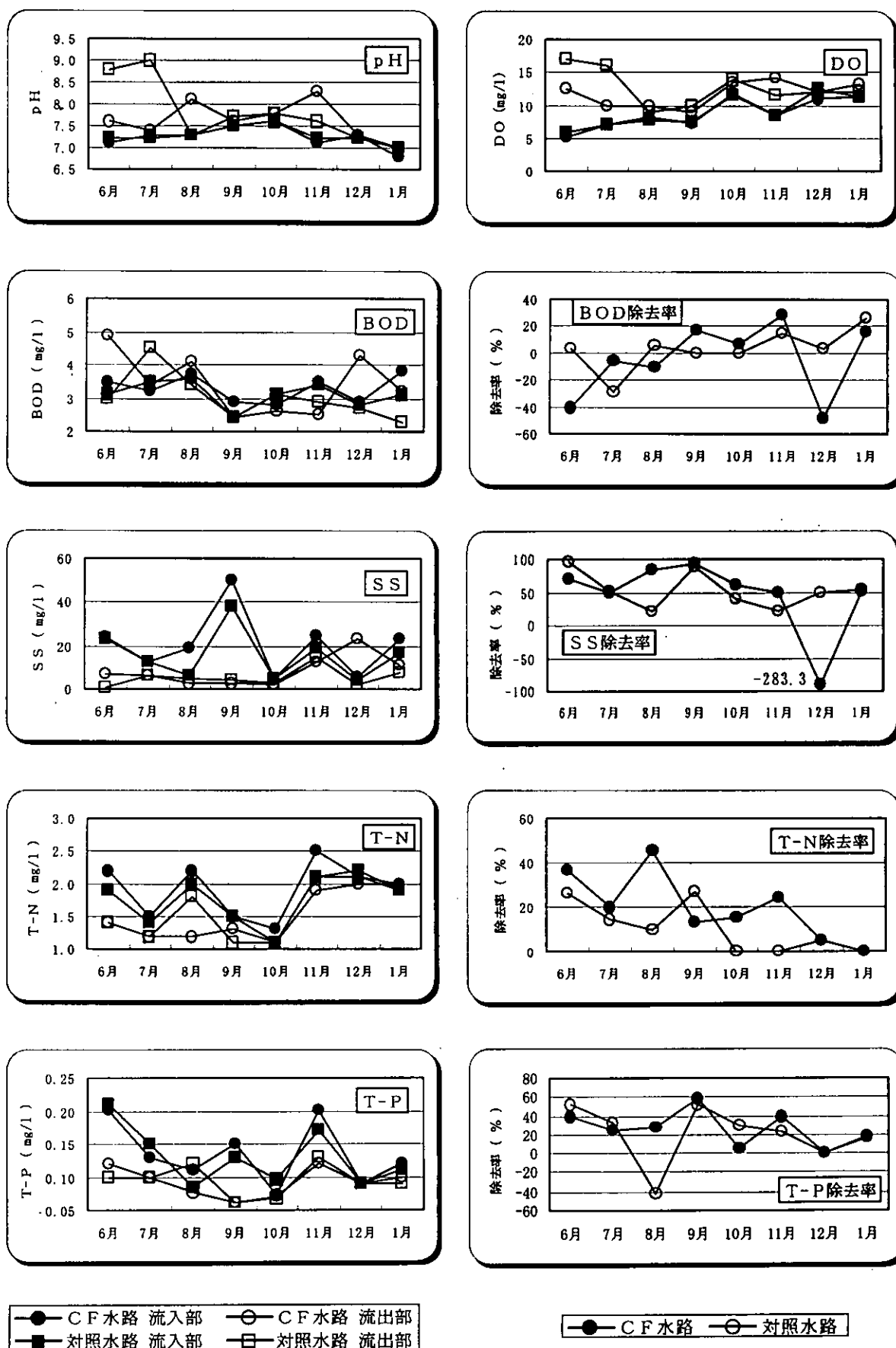


図4-1 主な水質項目の濃度及び除去率

4.1.2 植生調査結果

(1) 植物の状況

表4-2に植栽を行った植物の状況を示す。1997年6月9日に1回目の植栽を行った。ニチニチソウ、インパチェンスは生育不良のため1997年7月11日に2回目の植栽を行った。ピポとアゲラタムは陸上植物であるにも関わらず筏上の環境に良く適応し、植栽した10種類の植物のなかでは最も良く生育した。特にアゲラタムは7月～12月まで花期が続き、景観上も好ましい。12月から1月にかけて全ての植物の地上部が枯死した。1998年春には多年草であるナンカイギボウシ、サワギキョウ、クサレダマが芽を出し生育を始めた。

表4-2 植物の状況

	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
ナンカイギボウシ	植 栽			← 花 期 →		葉が黄化	枯 死	すべての植物が地上部枯死
サワギキョウ	植 栽			← 花 期 →		枯 死		
クサレダマ	植 栽	← 花 期 →				根のみ残る		
ヨメナ	植 栽			← 花 期 →		葉を落とす	枯 死	
ニチニチソウ	植 栽	← 花 期 →			枯 死			
ピポ		植栽 ←		花 期 →			枯 死	
インパチェンス	植 栽 開 花	枯 死						
アゲラタム		植栽 ←			花 期 →			
ペチュニア		植 栽 開 花						
カスミソウ		植 栽 開 花						

(2) 植生の成分分析

植物の成分分析結果を表4-3に示す。

窒素は湿地を好む植物（ナンカイギボウシ、クサレダマ、サワギキョウ、ヨメナ）より、陸生花卉植物（インパチェンス、ニチニチソウ、アゲラタム、ピポ）に豊富に含まれていた。リンの含有率は6月のサワギキョウとインパチェンスが0.84%と最も高く、10月のヨメナが0.1%と最も低かった。サワギキョウは6月（植栽時）には窒素もリンも豊富であるが、10月は含有率が低下していた。

表4-3 植物の成分

種 類		T-N (%)	T-P (%)	含水率 (%)	湿重量 (g/株)
6 月	ナンカイギボウシ	2.0	0.25	80.0	2.7
	クサレダマ	1.5	0.23	88.4	6.91
	サワギキョウ	3.4	0.84	94.1	6.96
	ヨメナ	1.1	0.17	61.4	3.71
	インパチエンス	4.3	0.84	94.1	30.71
	ニチニチソウ	3.9	0.39	88.9	6.15
10 月	ナンカイギボウシ	1.8	0.18	86.2	31.5
	クサレダマ	1.7	0.10	75.1	5.9
	サワギキョウ	2.0	0.19	84.6	24.4
	ヨメナ	2.0	0.08	78.5	1.0
	アゲラタム	3.1	0.12	87.5	1540.0
	ピポ	3.2	0.15	77.7	778.0

植物による栄養塩吸収量を表4-3に示す植物の成分と生長量から算出し表4-4、図4-2、図4-3に示す。表4-4の数値は7月～10月までの平均で、1日1株あたりの吸収量である。生育が良好であるアゲラタムとピポはT-Nの吸収量がそれぞれ46.50mg/株/日、43.77mg/株/日、T-Pの吸収量が1.80mg/日/株、2.05mg/日/株と大きかった。他の植物は生育量が小さかったため栄養塩の吸収量も僅かであった。

表4-4 植物による吸収量 (単位: mg/株/日)

植 物 種	T-N	T-P
ナンカイギボウシ	0.56	0.05
クサレダマ	0.11	0.00
サワギキョウ	0.51	0.03
ヨメナ	-0.10	-0.02
アゲラタム	46.50	1.80
ピポ	43.77	2.05

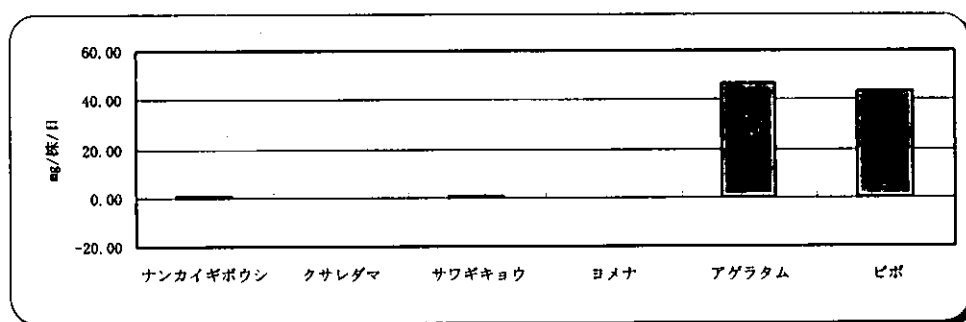


図4-2 T-Nの吸収量

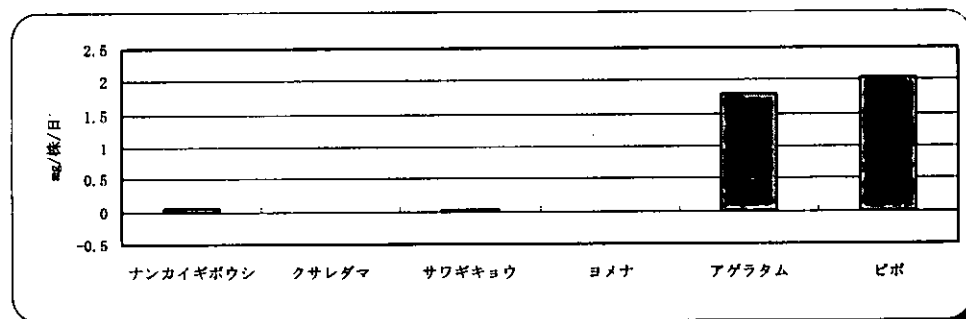


図4-3 T-Pの吸収量

4.2 1998年度

4.2.1 水質調査

各水質項目の平均濃度と平均除去率を表4-5、図4-4に示す。

pH : 夏期は流入水、各水路流出水とも7.1~7.3の間で推移した。冬期は流入水、各水路流出水とも7.2~7.4の間で推移しており、いずれも大きな変動はみられない。

DO : 流入水のDOは平均7.1mg/lであり、不織布水路の平均6.6mg/lと流入水よりやや低く、ひも状、対照水路は平均7.9mg/l、8.0mg/lとやや流入水より高かった。夏は流入水および各水路ともDOが低く、冬はいずれもDOが高かった。夏は有機物の分解が進みDOが低く、冬は有機物の分解が弱まりDOが比較的高いものと考えられる。

BOD : 流入水のBODは平均2.3mg/lと低く、浄化効果はほとんど得られなかった。冬の不織布水路除去率は-31.6%とマイナスであったが、これはベントスや魚類など水路に自然発生している植物によってBODが上昇したのではないかと推測される。

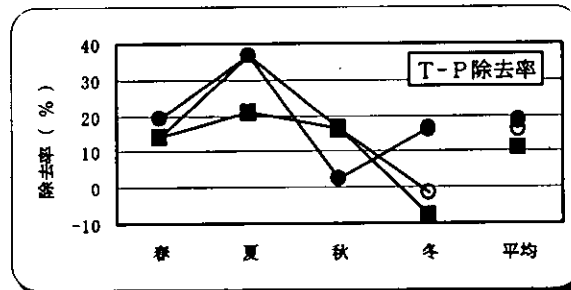
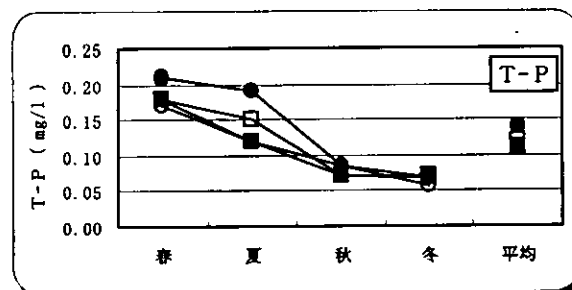
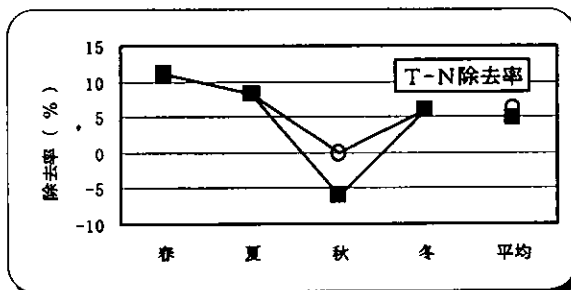
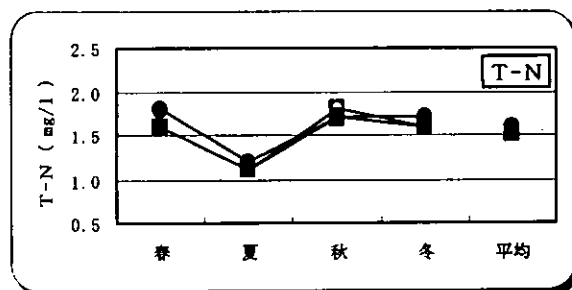
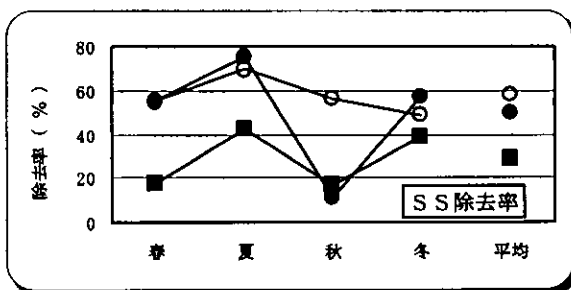
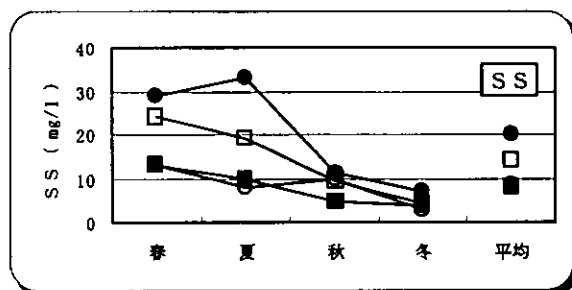
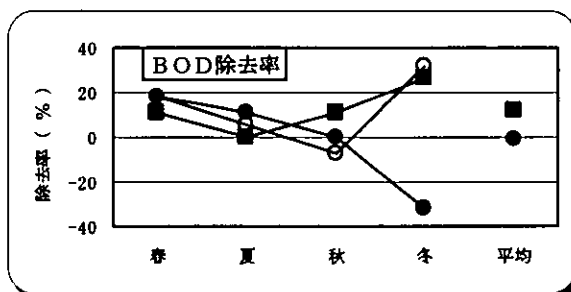
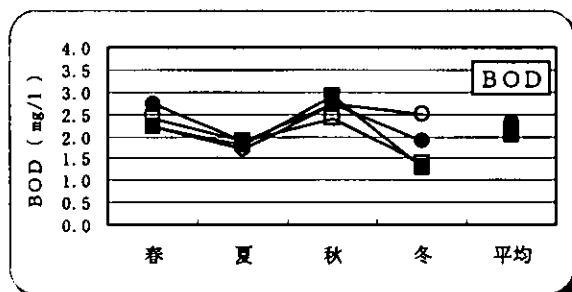
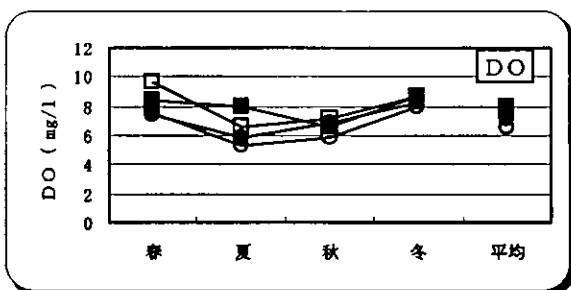
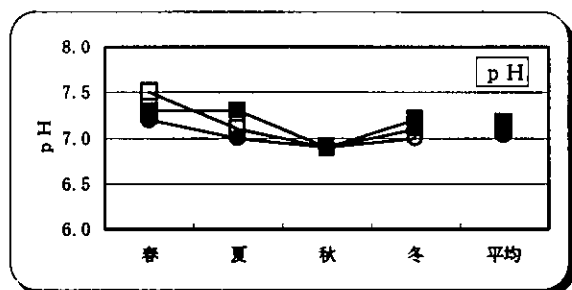
SS : 流入水のSSは夏が最も高く33mg/lで、冬は最も低く7.0mg/lであった。不織布CF水路の秋のSS除去率は10.9%と著しく低いが、秋以外は50%以上と高い除去率であった。ひも状水路は48.6~69.7%と安定した除去率であった。対照水路は平均除去率が28.7%と低いが、ろ材を充填しない場合もわずかながら沈殿効果によりSSが除去されることがわかる。

T-N : 流入水のT-Nは夏が1.2mg/lとやや低いが、春、秋、冬は1.7~1.8mg/lと変化はなかった。除去率の平均は4.9~6.3%と他の項目に比べ低く3水路で有意な差が認められなかった。

T-P : 流入水のT-Pは春が最も高く0.21mg/lで冬が最も低く0.056mg/lであった。不織布CF水路とひも状CF水路の除去率がそれぞれ18.6、16.5%で対照水路では11%であった。CFを充填することにより若干の浄化効果が確認できた。

表4-5 平均濃度と平均除去率（春・夏・秋・冬）

	濃度 (mg/l)				除去率 (%)		
	流入部	流出部			不織布CF	ひも状CF	対照水路
		不織布CF	ひも状CF	対照水路			
pH	7.1	7.0	7.2	7.2	—	—	—
DO	7.1	6.6	7.9	8.0	—	—	—
BOD	2.3	2.3	2.1	2.0	-0.7	12.0	12.1
SS	20.0	8.5	7.9	14.1	49.8	57.5	28.7
T-N	1.6	1.5	1.5	1.5	4.9	6.3	4.9
T-P	0.14	0.11	0.11	0.12	18.6	16.5	11.1



● 流入部 (mg/l) ○ 不織布CF水路流出部 (mg/l)
 ■ ひも状CF水路流出部 (mg/l) □ 対照水路流出部 (mg/l)

● 不織布CF水路流出部 (%) ○ ひも状CF水路流出部 (%)
 ■ 対照水路流出部 (%)

図4-4 各水質項目の平均濃度と平均除去率

4.2.2 堆積物調査

トレー（約 $0.53 \times 0.35 = 0.19\text{m}^2$ ）を水路下流に設置し、トレー内の堆積物のT-Pと強熱減量（以降ILとする）を調査した。T-P、ILの測定結果を表4-6、図4-5に示す。

T-P、ILとも不織布水路、ひも状水路では6月～12月にかけ次第に増加し12月～1月でやや減少したのに対し、対照水路では8月～10月が最も低く10月～1月にかけて増加した。

T-P、ILとも概ね不織布水路とひも状水路では大差がなく、対照水路はCF充填水路に比べ低い値であった。

表4-6 堆積物調査結果

		不織布水路	ひも状水路	対照水路	平均
T-P (mg/kg)	6月～8月	2,200	2,200	1,700	2,033
	8月～10月	2,400	2,200	1,500	2,033
	10月～12月	3,100	2,800	2,000	2,633
	12月～1月	2,700	2,700	2,500	2,633
	平均	2,600	2,475	1,925	2,333
IL (%)	6月～8月	13.9	14.1	13.0	13.7
	8月～10月	14.7	14.1	11.9	13.6
	10月～12月	14.8	15.4	13.0	14.4
	12月～1月	15.0	14.9	13.8	14.6
	平均	14.6	14.6	12.9	14.1

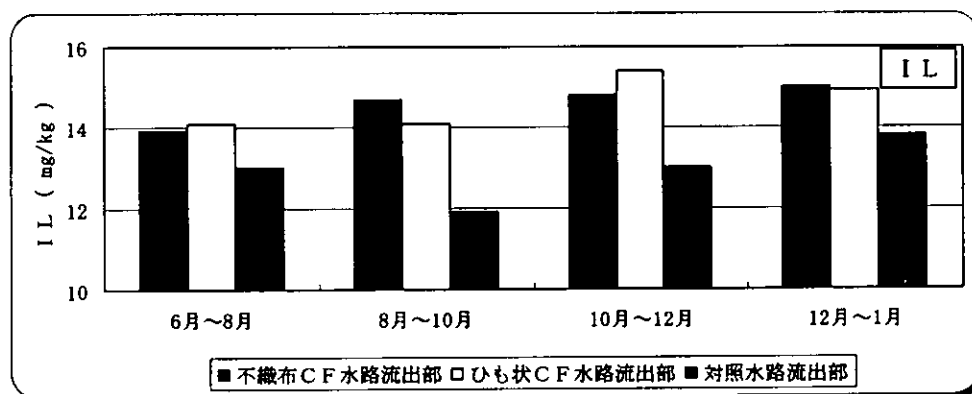
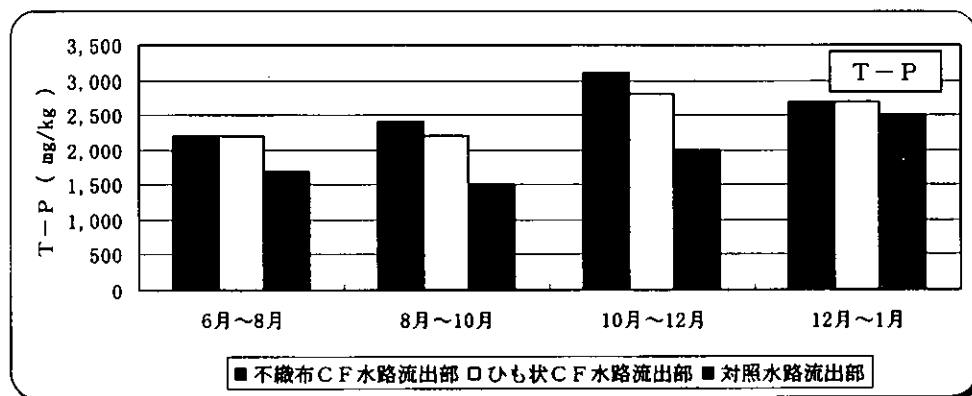


図4-5 堆積物調査結果

4.2.3 細菌分析

C Fに付着した付着物について乾重量、有機物量、一般細菌数を求めた。

(1) 乾重量

接触材1gあたりに付着した付着物の乾重量を表4-7、図4-6に示す。8月、12月、2月と次第に不織布及びひも状C F1gの付着物は増加していた。12月はひも状C Fのほうが不織布C Fより付着物が多いが、8月と2月は大差がない。

各調査とも平均では両者に差は見られないが、不織布は上流と下流で値が2倍近く異なる。8月と2月は上流が多く、12月は下流が多くなっていた。一方ひも状C Fは上流と下流で差がなく、このことからC Fによって付着物の付き方の違うことがうかがえた。

表4-7 乾重量の測定結果

		8月	12月	2月
不織布C F	上流	2.35	1.29	5.75
	下流	1.25	2.74	2.91
	平均	1.80	2.02	4.33
ひも状C F	上流	2.01	3.22	4.84
	下流	1.81	3.98	3.99
	平均	1.91	3.60	4.42

(g/接触材1g)

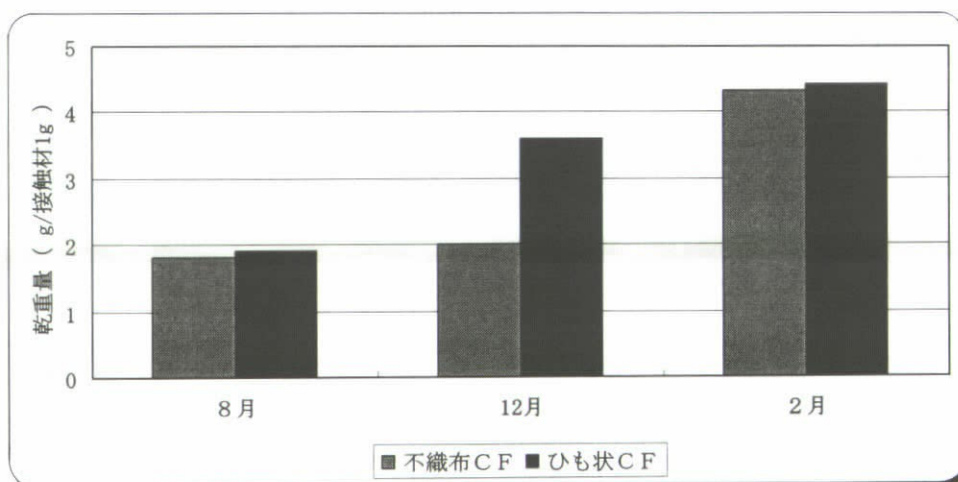


図4-6 乾重量の測定結果

(2) 有機物量

接触材1gあたりに付着した有機物を表4-8、図4-7に示す。

不織布CFでは8月、12月に接触材1gあたりの有機物は0.29g、0.34gとあまり変化しないが、2月は0.58gと増加が認められた。ひも状CFでは8月は0.27gであるが12月、2月は0.65g、0.67gと大きく増加していた。

不織布CF、ひも状CFとも12月には下流でほぼ上流の2倍の有機物が付着していた。

8月と2月では不織布CFとひも状CFの有機物量はほぼ同じ程度であった。

表4-8 有機物量の測定結果

		8月	12月	2月
不織布CF	上流	0.34	0.22	0.72
	下流	0.24	0.46	0.45
	平均	0.29	0.34	0.59
ひも状CF	上流	0.26	0.45	0.71
	下流	0.28	0.84	0.63
	平均	0.27	0.65	0.67

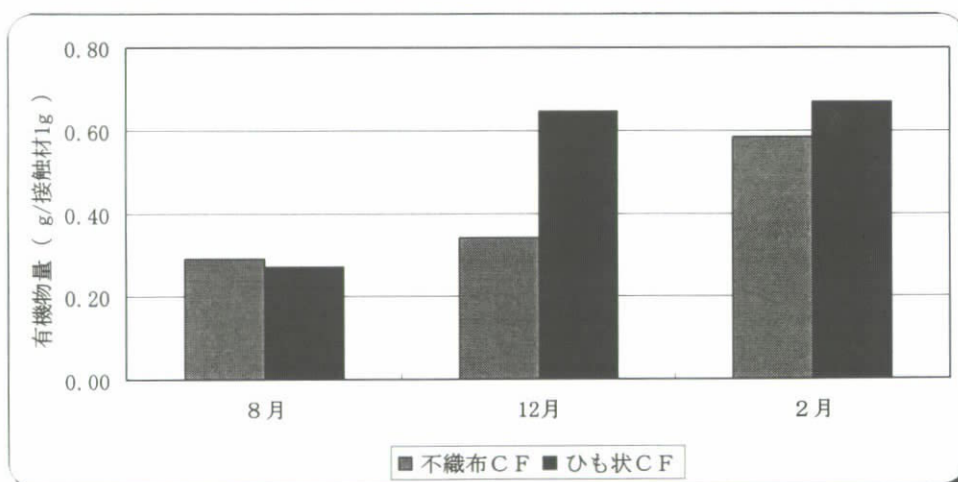


図4-7 有機物の測定結果

(3) 一般細菌

接触材1gあたりに付着した一般細菌数を表4-9、図4-8に示す。

不織布CF、ひも状CFとも接触材1gあたりに付着する一般細菌数は 10^7 個であり、上流、下流による違いや、季節による違いが認められない。

表4-9 一般細菌の測定結果

		8月	12月
不織布CF	上流	4.1×10^7	3.9×10^7
	下流	7.1×10^7	8.4×10^7
	平均	5.6×10^7	6.2×10^7
ひも状CF	上流	5.9×10^7	9.5×10^7
	下流	5.9×10^7	8.6×10^7
	平均	5.9×10^7	9.0×10^7

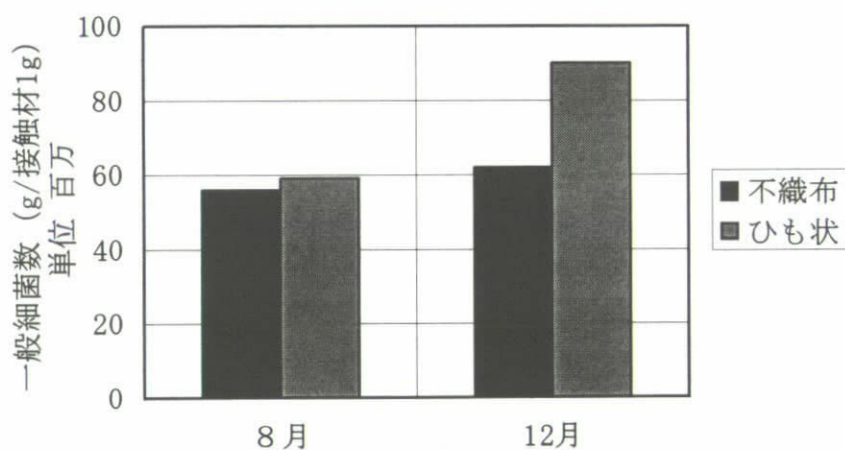


図4-8 一般細菌の測定結果

5. 考察

5.1 1997年度

5.1.1 植生の水質浄化特性

本実験に使用した植物による水質浄化効果について、表4-4の植物による吸収量算出結果から1筏あたりのT-N、T-P吸収量を求め、表5-1に示す。

表5-1 1筏あたりのT-N、T-P吸収量

マット名	植物名	株数	吸収量		各植物種の吸収量	
			T-N mg/株/日	T-P mg/株/日	T-N mg/日	T-P mg/日
マットA	ナンカイギボウシ	5	0.56	0.05	2.81	0.27
	サワギキョウ	4	0.51	0.03	2.04	0.12
マットB	ナンカイギボウシ	5	0.56	0.05	2.81	0.27
	クサレダマ	4	0.11	0.00	0.43	-0.01
マットC	ヨメナ	7	-0.10	-0.02	-0.67	-0.13
	ビバ	2	43.77	2.05	87.53	4.10
マットD	アゲラタム	1	46.50	1.80	46.50	1.80
1筏あたり					141.46	6.42

1水路あたり6基の筏を設置しているので、1水路1日あたりのT-N、T-P吸収量は

T-N : 0.85 g/日

T-P : 0.039 g/日

となる。

1997年度実験では流量が5m³/hあるから植物の吸収による水質の効果は

T-N : 0.007 mg/l

T-P : 0.0003mg/l

となり、極僅かの量であった。

5.1.2 窒素とリンの除去特性

図5-1は窒素の構成成分を示したものである。流入水はNO₃-Nが両水路とも1.1mg/lと多く、懸濁態窒素T-N (P)は僅かである。従ってT-Nは、物理的な作用ではほとんど除去されないことが分かる。

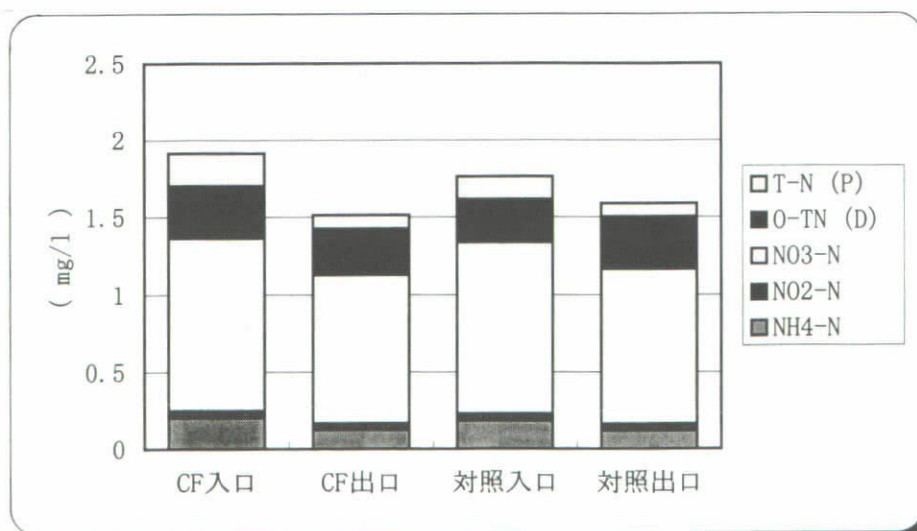


図5-2 窒素の構成成分

図5-2は水温とT-N除去率の関係を示す散布図である。A水路、B水路ともに水温とT-N除去率との間にかなりの相関が見られる。

A水路の回帰式 : $Y = 1.37X - 6.06$ (相関係数 0.81)

B水路の回帰式 : $Y = 0.95X - 6.59$ (相関係数 0.77)

水温と除去率が相関関係にあることは、T-Nの浄化メカニズムに生物が関与している可能性が大きいことを示す。またA水路の回帰式の係数がB水路より大きいことは、A水路の方がB水路より微生物の働きが活発であることを示唆している。このことよりA水路では充填したCFに細菌が付着し、T-Nの除去効果を高めていると考えられる。

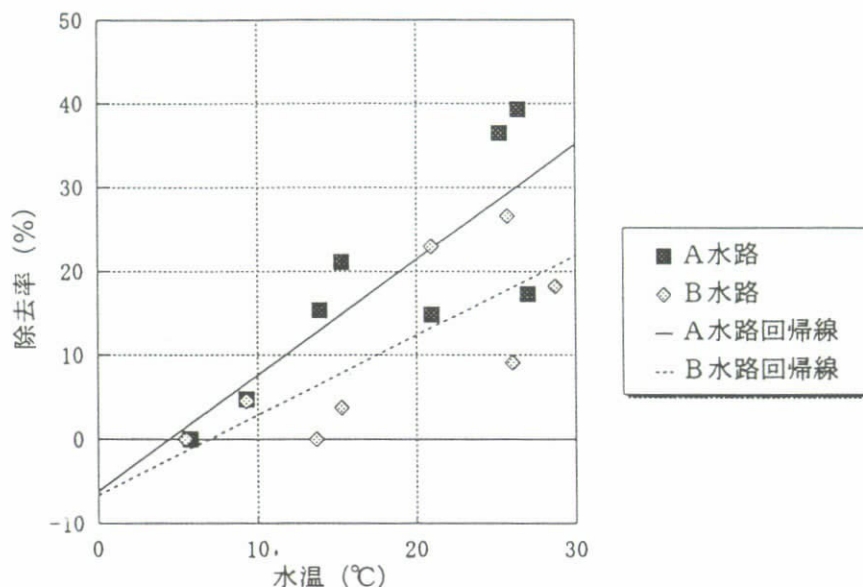


図5-2 水温とT-N除去率との関係

図5-3はリンの構成成分を示したものである。流入水のT-Pは、6割が懸濁態リンT-P (P) である。両水路においていずれも除去されたT-P (0.04mg/l) の内、懸濁態リンは約9割に相当しており、溶存態リンT-P (D) の除去は極僅かである。このことよりT-Pはろ過・沈降作用により除去されたものと推測される。

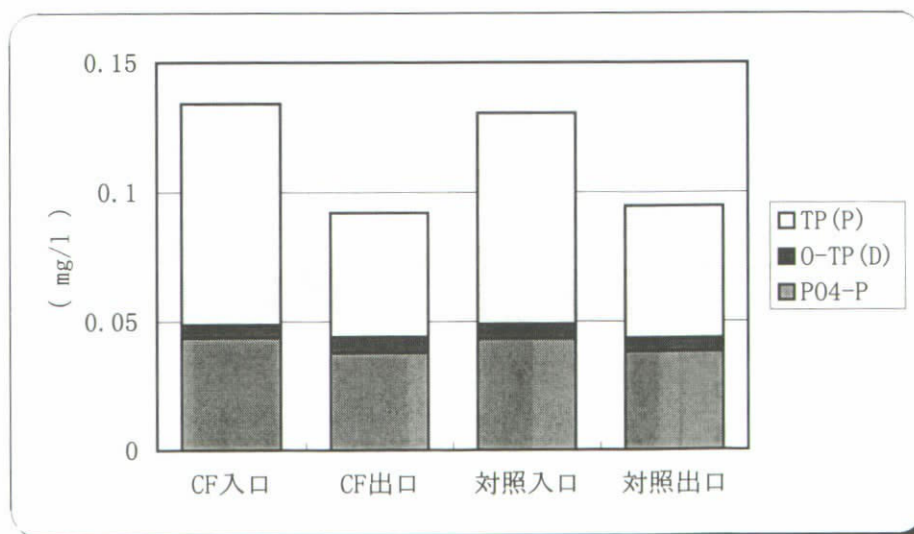


図5-3 リンの構成成分

5.2 1998年度

5.2.1 水路当たりの堆積量

堆積物調査結果より水路1日当たりの堆積量を求め表5-2、図5-4に示す。

6月～10月は乾重量、有機物量、T-Pともに多く、10月以降、堆積量が極めて減少した。10月以降は流入水のSS濃度が低下したためではないかと考えられる（図4-4参照）。

6月～8月で不織布CF水路が他の水路より3項目とも大きな値であったが、その他の期間では3水路間に明確な差は認められなかった。

表5-2 水路1日当たりの堆積量

		不織布水路	ひも状水路	対照水路
乾重量	6月～8月	878	524	626
	8月～10月	612	671	703
	10月～12月	163	73	48
	12月～1月	115	139	180
	平均	442	352	389
有機物量	6月～8月	122	74	81
	8月～10月	90	95	84
	10月～12月	24	11	6
	12月～1月	17	21	25
	平均	63	50	49
T-P	6月～8月	1.93	1.15	1.06
	8月～10月	1.47	1.48	1.05
	10月～12月	0.50	0.20	0.10
	12月～1月	0.30	0.40	0.50
	平均	1.05	0.81	0.68

(g/日)

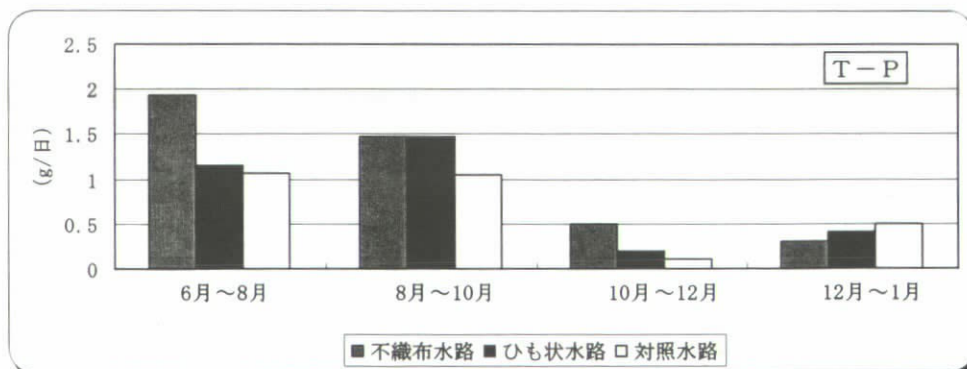
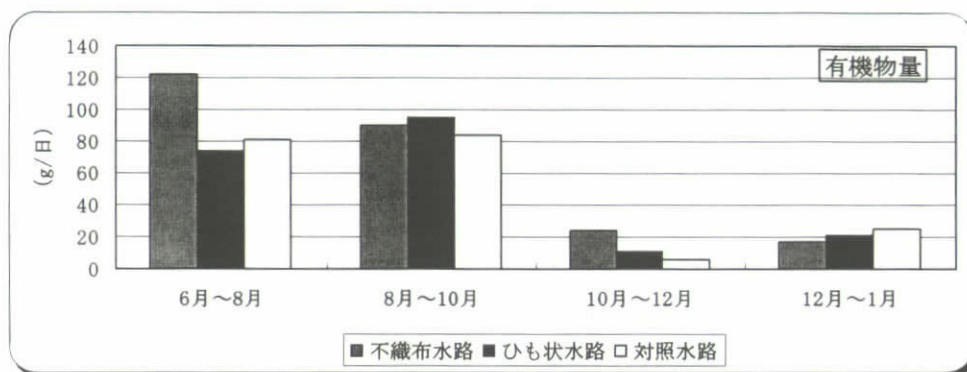
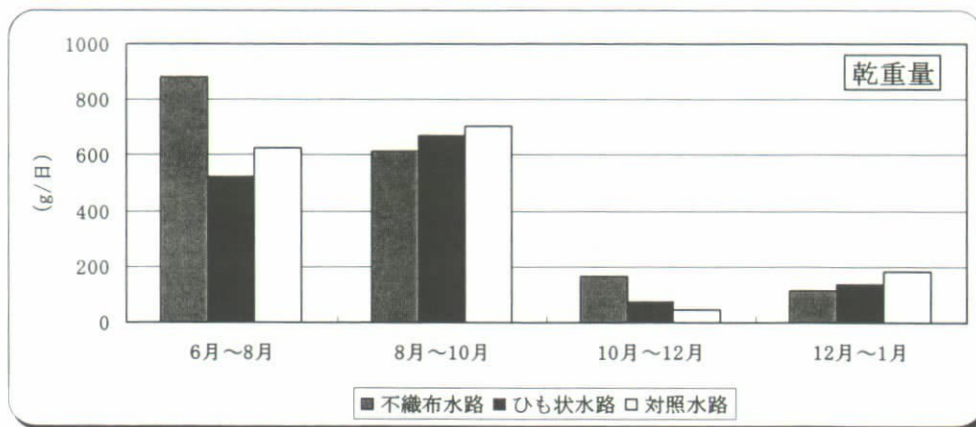


図5-4 水路1日当たりの堆積量

5.2.2 水路内の位置による堆積量の違い

水路内の位置により堆積量や含有量がどの位異なるかを調べるために平成11年2月の調査時に平成10年6月から上流と中流に設置しているトレー内の堆積物を分析した。

I Lの分析結果を表5-3、図5-5に示す。

下流は年4回分析した平均値と12月～2月に堆積したものの値を示す。いずれもI Lは11.1～14.6%、T-Pは1900～2700mg/kgの間にあった。堆積物の含有量は水路内の位置による差がほとんどなく、下流の堆積物の含有量は全水路の堆積物の含有量を代表していると考えても差し支えないと思われた。

表5-3 堆積物の成分

		不織布水路	ひも状水路	対照水路
I L (%)	上流	11.5	11.3	12.5
	下流	12.0	12.5	11.1
	下流 1	14.6	14.6	12.9
	下流 2	15.0	14.9	13.8
T-P (mg/kg)	上流	2,400	2,700	2,400
	下流	2,400	2,400	1,900
	下流 1	2,600	2,475	1,925
	下流 2	2,700	2,700	2,500

上流、中流：H10.6～H11.2

下流 1：年4回の平均（H10.6～H11.2）

下流 2：H10.12～H11.2

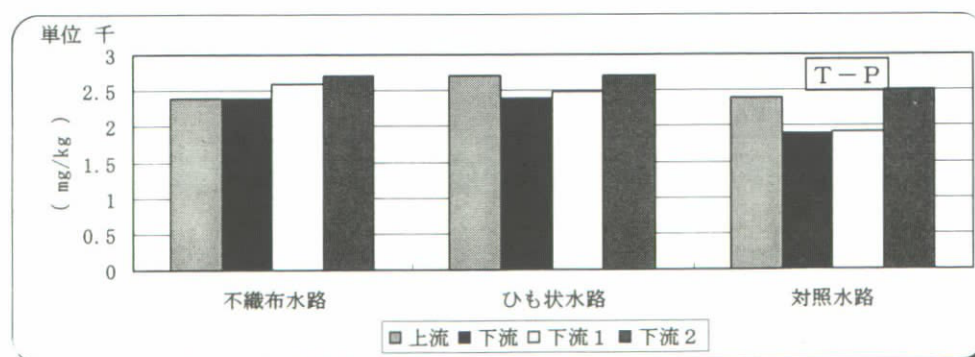
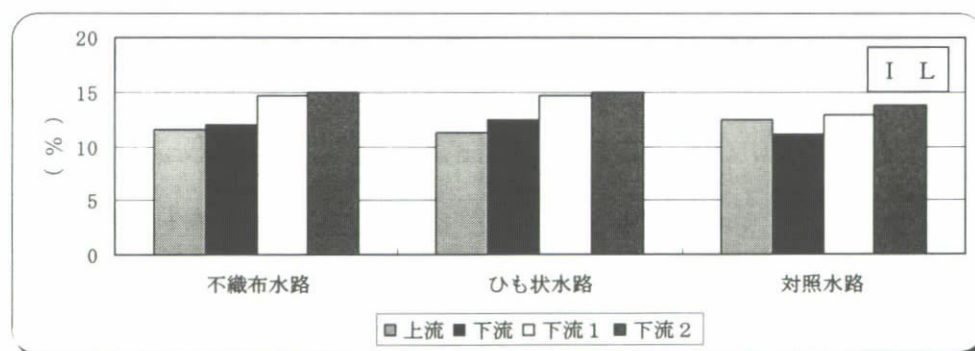


図5-5 堆積物の成分

次に堆積量について水路内の位置による差について検討する。

表5-4、図5-6にトレー1日当たりの堆積量を計算して示す。

中流は堆積量がやや少なく、下流の堆積物量から水路全体の堆積物量を試算するとやや実際より少なくなると考えられた。

表5-4 トレー1日当たりの堆積量

		不織布水路	ひも状水路	対照水路
乾重量	上流	7.30	7.40	7.50
	中流	3.50	4.40	5.60
	下流	7.80	6.40	7.10
有機物量	上流	0.84	0.84	0.94
	中流	0.42	0.55	0.62
	下流	1.12	0.92	0.89
T-P	上流	0.017	0.020	0.018
	中流	0.008	0.011	0.011
	下流	0.019	0.015	0.012

(g/日)

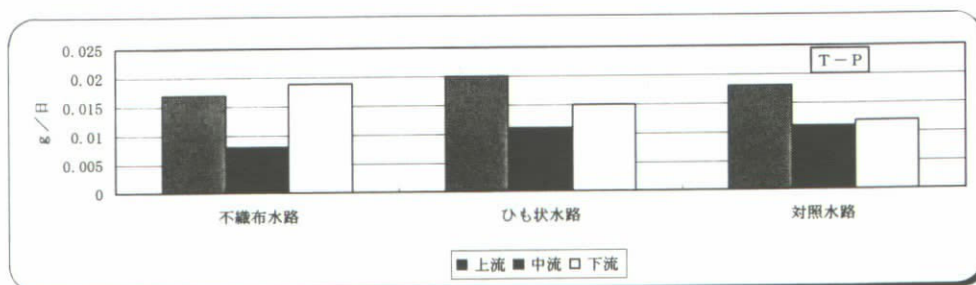
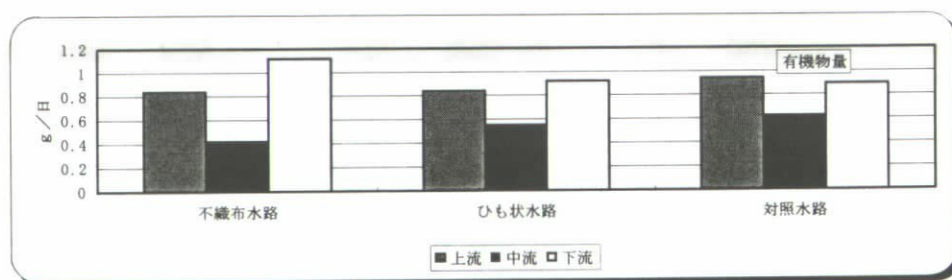
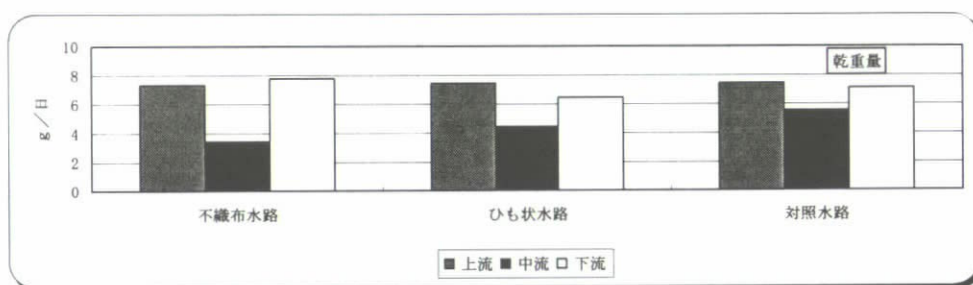


図5-6 トレー1日当たりの堆積量

5.2.3 物質収支

汚泥の発生量は浄化施設のメンテナンスを考える上で重要となる。四季調査の水質から水路内で除去されたSSの総量、堆積物量、および付着量SSの収支から、CFにより生物分解された量および生物分解率の算出を行い、表5-5、図5-7に示す。なお、生物分解量とは削減負荷量から堆積量およびCFへの付着量を差し引いたものとする。

CFに付着した量は2月調査の時の上流、中流、下流の3カ所の平均値から求めた。実際の堆積量は下流での年4回の調査の累計と2月の上流の、中流の値との平均から求めた。

対照水路では約50%のSSが流出負荷としてそのまま流れ出ていき、残りのSS量は、除去されたSS量と堆積量がほぼ同量であることから、水路内に入ってきたSSの大部分がそのまま水路底に堆積したことを示している。

表5-5 水路内における収支（234日間）

	項 目	流入部	不織布水路	ひも状水路	対照水路
S S	四季調査の平均水質 (mg/l)	20	8.5	7.9	14
	1)削減負荷量 (g)	—	194,594	204,703	98,982
	2)堆積量 (g)	—	77,290	75,628	83,938
	3)接触材付着量 (g)	—	15,000	18,000	0
	4)生物分解量(1-2-3) (g)	—	102,305	111,076	15,044
	生物分解率(4/1) (%)	—	52.6	54.3	15.2
	流失負荷量 (g)	—	142,366	132,257	237,978

注) 単位 g は234日間の負荷量

図5-7は積み重ねグラフであるが、積み重ねた総量が水路内で年間（234日間）に除去されたSSの総量である。不織布水路、ひも状水路により除去された総量にほとんど差がないが、CFを充填していない対照水路と比べるとその量は約2倍である。しかし堆積量ほどの水路も差がないことが分かる。

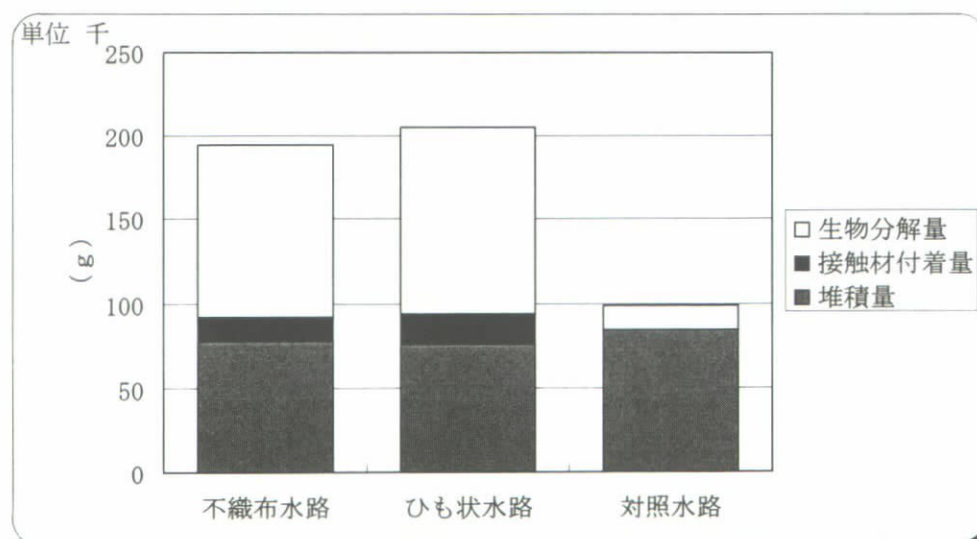


図5-7 水路内における収支（234日間）

図5-8にSSの生物分解量と生物分解率を示す。

SSの生物分解量と生物分解率は不織布CF水路、ひも状CF水路で差がなく対照水路で著しく低い。

CF充填水路の削減負荷量の内、約40%が堆積量で残りの60%が沈殿効果以外の作用、すなわちCFに付着した量および、CFに形成された生物膜により分解された量で除去されたものと考えられる。その生物分解率は不織布CF水路で52.6%、ひも状水路で54.3%であった。

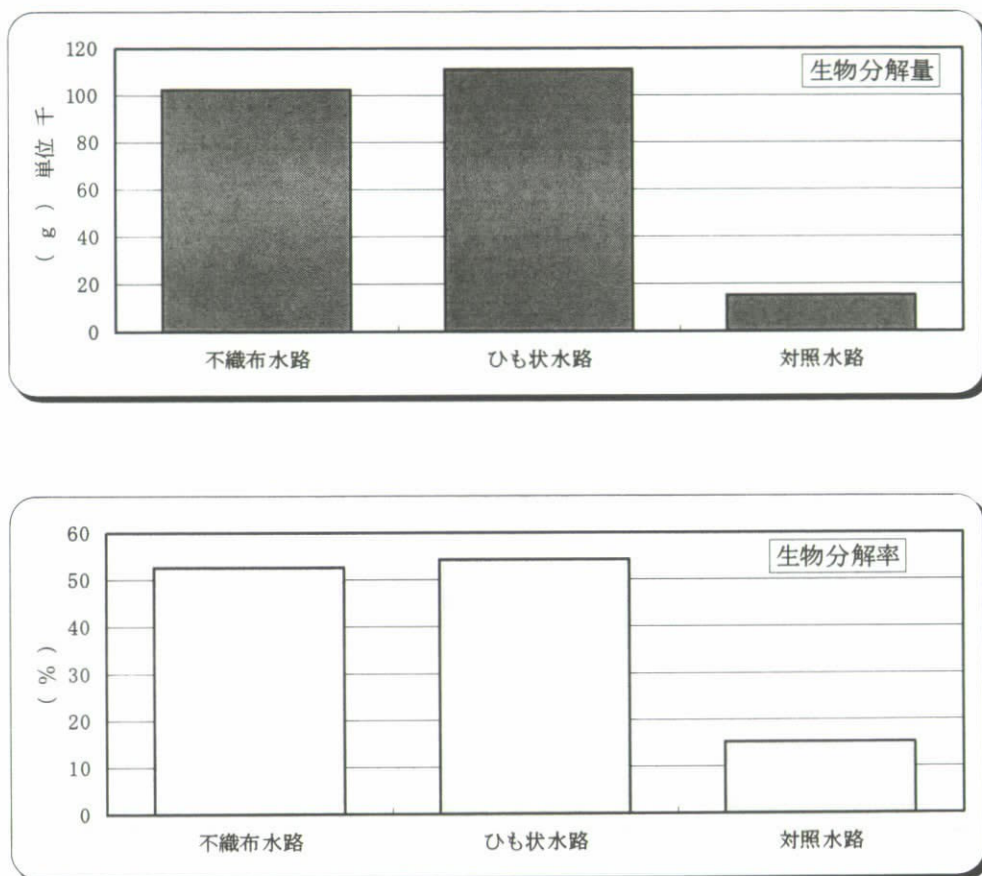


図5-8 SSの生物分解量と生物分解率

5.2.4 まとめ

本実験の2ヶ年から得られた知見をまとめると以下のとおりである。

(1) 1997年度

- ① 5.1.2で述べたようにCFは窒素の浄化能に優れており、対照水路の除去率(10.2%)に対して、CF充填水路では19.9%であった。
- ② 今回の植生実験から、植物によるT-N、T-Pの吸収量はそれぞれ0.007mg/l、0.0003mg/lと極僅かであり、植物による浄化効果は得られなかった。
- ③ SSの浄化能が高く、対照水路でも52.8%の除去率が得られた。
- ④ 流量が小さかったために、水路内でアオミドロが発生し、CFの浄化効果が充分確認できなかった。

(2) 1998年度

- ① SSは対照水路(28.7%)に比べて明らかにCF充填水路で除去率が高く、不織布CF水路で49.8%、ひも状CF水路で57.5%であった。
- ② CF充填水路では、SSがCFに付着した生物膜の作用により分解されており、その生物分解率は、不織布CF水路で52.6%、ひも状CF水路で54.3%であった。
- ③ 2種類のCFで浄化能に大きな違いは認められなかった。
- ④ BODについては流入濃度が低く除去されにくいほか、小さな実験水路内では、水路内に発生する藻類や水生生物の影響を受けやすく、CFの特徴を十分に引き出すことはできなかった。

5.2.5 今後の課題

2年間の実験から、CFはSSの除去に有効であることがわかった。しかし、対コスト面のことを考え、除去対象項目について最適なCF充填量を得ることが必要となる。1998年度実験では、2種類のCFを用いたが、形状の違いによる浄化効果について差が認められず、今後検証していく必要がある。また、他の繊維との比較実験も行う必要がある。さらに、生物膜はある程度CFにつけば、重みで自然落下するが、その処理をどのように行うのか、例えば、生物膜を系外に持ち出し、リサイクル出来るような方法を考慮する必要があると考えられる。

実験担当者

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構
財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構
帝人エコ・サイエンス株式会社

実験センター所長
実験センター研究員
環境アセスメント本部技術部技師

中山 繁
出倉 正人
坪田 智子

2. 不織布接触材方式浄化実験

1. 目的

代かき・田植え時あるいは降雨時に発生する濁水は、水田の土粒子とともに施肥由来の窒素、リン等を含むため下流の湖沼を汚染する原因となり、早急な対策の必要性が言われている。土粒子は滞留時間を十分確保できれば自然沈降するが、より短時間で効率よく除去、沈降させる手段が望まれている。一方不織布は適当な空隙率をもち、ろ過性能に優れており、濁水の土粒子をより効果的に除去できる可能性が考えられる。

今回、水路の前段、中段に開孔径の異なる不織布接触材（以下BFと略す）および後段に脱リン材（鉄繊維ブロック）を配し、底部からの曝気で旋回流を発生させる不織布接触材方式浄化実験施設における水質浄化効果の検証を行なった。

2. 実験施設諸元

2.1 施設概要

図2-1に不織布接触材方式浄化施設の全景写真を、図2-2に施設構造図を示す。開孔径の異なるBF a～cを接触材槽1、接触材槽2に吊り下げるとともに、脱リン材として鉄繊維ブロックを脱リン槽へ配置した。接触材槽1、接触材槽2、脱リン槽の底部には内径25mmの塩ビ管（穴径1～2mm、穴間隔100mm、千鳥配置）を3本ずつ配置し、曝気を常時行なった。また、1日1回各槽毎に午前0時から4分間の強曝気を行い、接触材及び脱リン材の逆洗を行なった。

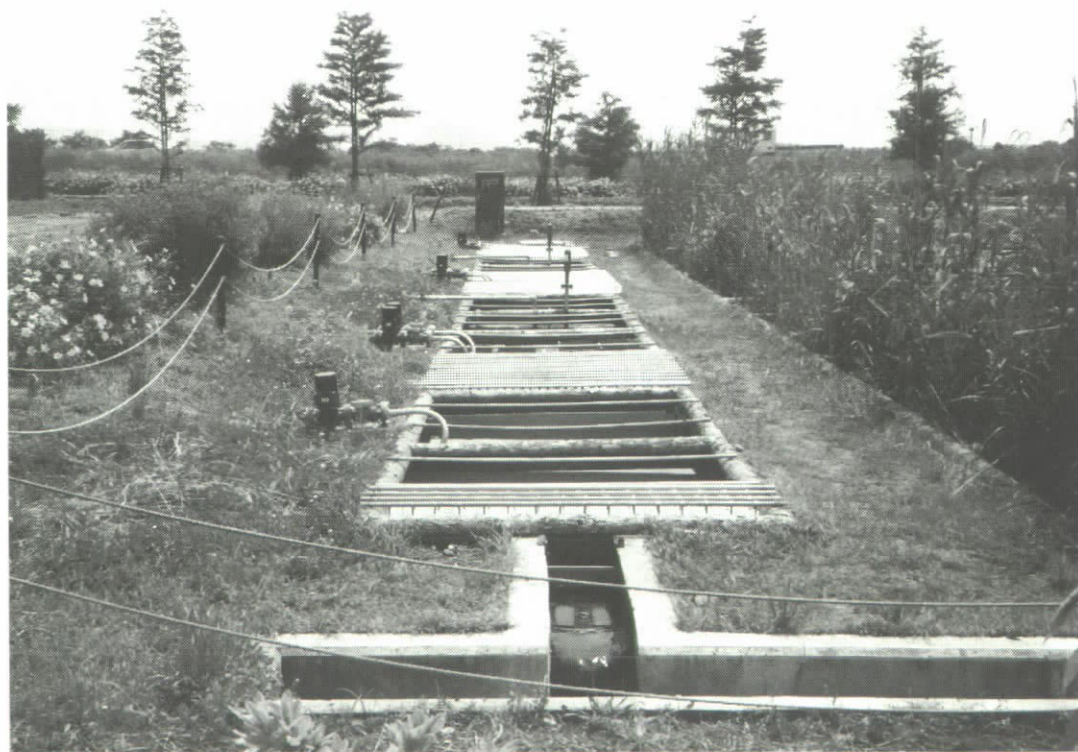
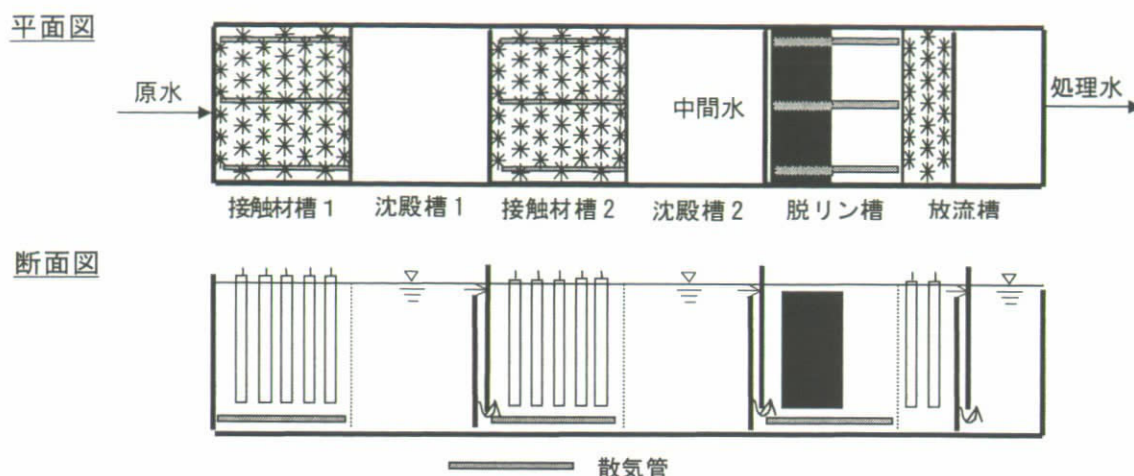


図2-1 施設全景写真



接触材槽1: 接触材a(開孔径 $620\mu\text{m}$)BF(144本)+接触材b(開孔径 $500\mu\text{m}$)BF(324本)
 接触材槽2: 接触材b(開孔径 $500\mu\text{m}$)BF(144本)+接触材c(開孔径 $260\mu\text{m}$)BF(324本)
 放流槽 : 接触材b(開孔径 $500\mu\text{m}$)BF(208本)
 脱リン材 : 鉄繊維ブロック16個
 散気管 : 穴開き塩ビ管(穴径 $1\sim 2\text{mm}$ 、穴間隔 100mm 、千鳥配置)

図2-2 施設構造図

図2-3にBF及び脱リン材(鉄繊維ブロック)の概要図を示す。
 BFのサイズは直径 10cm 、花卉数8枚、長さ 72cm で、水の流れを考慮して適当な間隔をあけて配置した。また、鉄繊維ブロックは $34\text{cm} \times 47\text{cm} \times 35\text{cm}$ のステンレスケースに鉄繊維を 0.55g/cm^3 の密度で充填し、10月13日まで16個、10月14日以降は8個配置した。

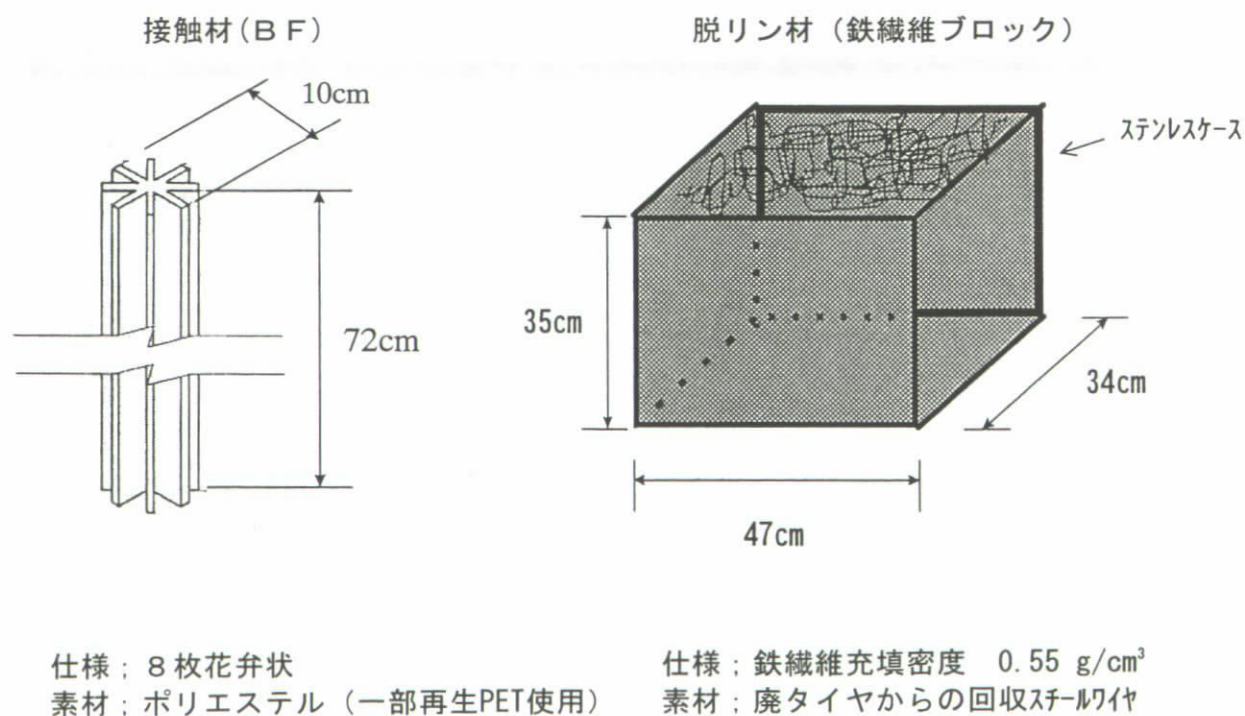


図2-3 接触材及び脱リン材の概要図

2.2 施設の諸元および運転条件

本施設の諸元および運転条件を表2-1に示す。

表2-1 施設の諸元および運転条件

	接触材槽1	沈殿槽1	接触材槽2	沈殿槽2	脱リン槽	放流槽	合計
長さ	4.00m	4.00m	4.00m	4.00m	4.00m	4.00m	24.00m
施設容積	6.24m ³	6.24m ³	6.24m ³	6.24m ³	6.24m ³	6.24m ³	37.44m ³
施設面積	7.80m ²	7.80m ²	7.80m ²	7.80m ²	7.80m ²	7.80m ²	46.80m ²
通水量	150m ³ /日						
滞留時間	1.0hr	1.0hr	1.0hr	1.0hr	1.0hr	1.0hr	6.0hr
充填材	BF468本	—	BF468本	—	鉄繊維	BF208本	—
充填率* ¹	47%	—	47%	—	16%→8%	27%	—
曝気量(常時)	240 l/分	—	240 l/分	—	240 l/分	—	720 l/分
(逆洗時)* ²	480 l/分	—	480 l/分	—	480 l/分	—	480 l/分

* 1 充填率は、BFを円筒状、鉄ブロックを直方体とみなして算出した。

* 2 逆洗の曝気は、1槽毎に1日1回行なった。

* 3 曝気による使用電気量は、18kwh/日であった。

3. 実験内容

3.1 調査期間

1998年4月21日～1999年1月20日

①代かき・田植え期間(農業排水の引込み)・・・採水 4回

5月1日～5月4日

②降雨時(葉山川河川水)・・・採水 2回

6月22日、9月21日

③曝気運転(通常期の葉山川河川水)・・・採水 10回

4月21日～4月29日、5月27日～10月11日、12月15日～1999年1月20日

④無曝気運転(通常期の葉山川河川水)・・・採水 4回

10月12日～12月14日

⑤汚泥の引抜き、脱リン材の交換

10月14日～10月15日

3.2 調査内容

3.2.1 水質

(1)測定項目

水温、pH、DO、粒径分布、電気伝導度、SS、COD、BOD、T-N、D-T-N、T-P、D-T-P

ただし、粒径分布、電気伝導度は、4月21日～5月4日のみ測定した。

(2)調査および採水方法

図2-2の平面図に示す原水、中間水、処理水の地点で、水温、pH、DO、電気伝導度を直接測定し、採水を行なった。その際、滞留時間を考慮し、それぞれ1時間間隔で行なった。

3.2.2 堆積汚泥

(1)測定項目

堆積汚泥容量、堆積汚泥乾燥重量、含有N、P量

(2) 調査および採取方法

施設内の水を抜き、1槽につき幅方向に5ヶ所、長さ方向に3ヶ所で汚泥の堆積高さをものさしで測定した。また、汚泥はひしゃくで採取した。

3.2.3 接触材付着物 (SS)

(1) 測定項目

付着物 (SS) 乾燥重量、含有N、P量

(2) 調査および採取方法

約6ヶ月間設置していたBF a～cを回収して水道水でよく洗浄し、その洗浄水についてSS、T-N、T-Pを測定した。

4. 水質の調査結果

4.1 水温、pH、DO、電気伝導度

原水と処理水の水温、pH、DO、電気伝導度の経時変化を図4-1、4-2、4-3、4-4に示す。

水温は気候の変化に伴い上昇あるいは低下しているが原水、処理水で差は見られなかった。pHは6.9～9.1の間にあり、原水、処理水で大きな差は見られなかった。また、DOは曝気の効果により処理水が原水より高くなる傾向があった。電気伝導度は代かき前から田植え期間まで測定したが、原水、処理水の差はほとんど認められなかった。

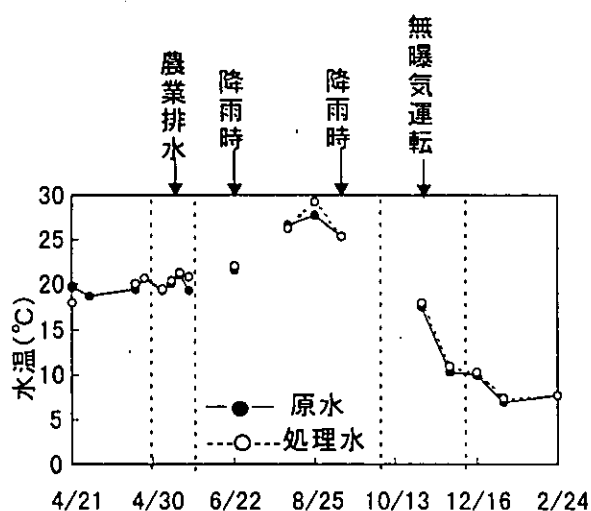


図4-1 水温の経時変化

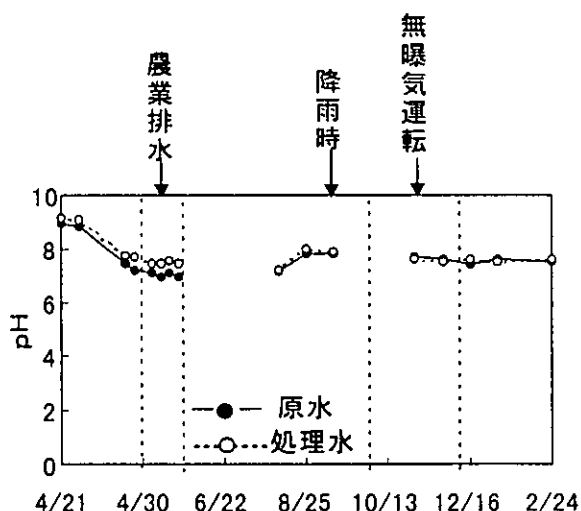


図4-2 pHの経時変化

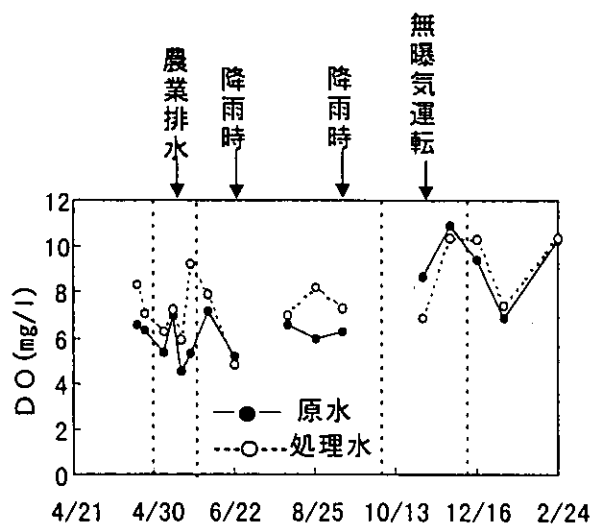


図4-3 DOの経時変化

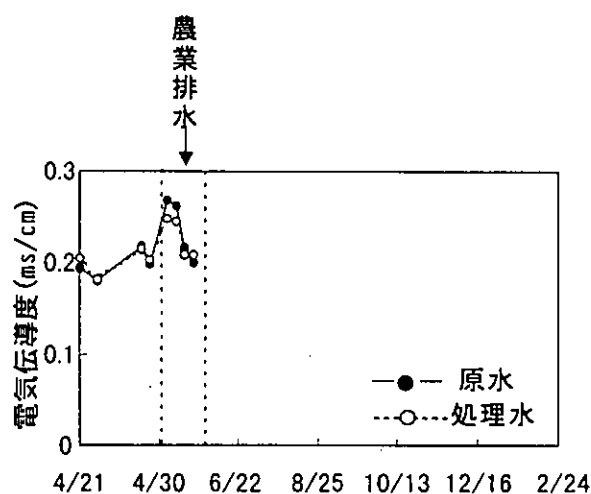


図4-4 電気伝導度の経時変化

4-2 SS濃度と除去率

SSの濃度と除去率の経時変化を図4-5に、平均除去率を表4-1に示す。葉山川河川水のSS濃度は通常2~22mg/lである1)が、本調査期間においては代かき・田植え期間以外の期間でも3~50mg/lと比較的高い値を示した。また代かき・田植え期間のSS濃度は40mg/l以上で、5月3日には153mg/lと高い値を示した。今回の降雨時のSS濃度は特に高い値にはならなかったが、これは、降雨強度による濁水の河川流出の有無、流達率等が関係し、今後は採水のタイミング等を考慮する必要がある。

除去率については、濃度の高くなった代かき・田植え期間中でも64.1%の除去率が得られ、曝気運転中の全期間では平均72.3%となった。通常期の曝気運転では平均75.1%と高い値を示していたが、無曝気運転中は22.8%と1/3以下の値になった。しかし、無曝気運転期間は約2ヵ月と短く、この期間中の原水の水質もそれまでの期間に比べるとかなり低かったため、その効果については今後継続して確認していく必要がある。

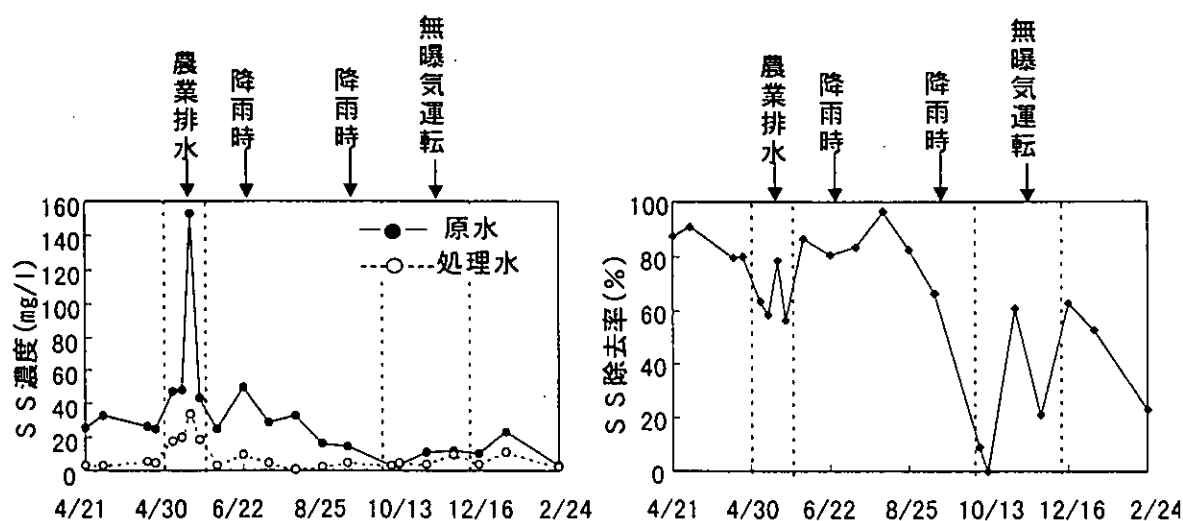


図4-5 SS濃度と除去率の経時変化

表4-1 S Sの平均除去率

運転条件	期 間	平均除去率
曝気	全期間	72.3%
	代かき・田植え期間 (5月1日～4日)	64.1%
	降雨時 (6月22日、9月21日)	73.4%
	通常期 (4月21日～2月24日までの他記以外)	75.1%
無曝気	通常期 (10月12日～12月14日)	22.8%

4-3 S Sの粒径分布

S Sの粒径分布は代かき前から田植え期間(4月21日～5月4日)まで測定を行なった。平均粒径を表4-2に、代表的な原水、中間水、処理水の粒径分布を図4-6に示す。なお、中間水とは脱リン槽の前で採水した水である。

原水のS Sの粒径分布は、4月21日～29日までの代かき前の期間は $10\mu\text{m}$ 以上にピークを持つ分布であり、平均粒径も $10\mu\text{m}$ 以上であったが、代かき・田植え期間に入ると、5月1日、2日は $1\sim 100\mu\text{m}$ の間に幅広い分布を、5月3日、4日は $2\sim 3\mu\text{m}$ にピークを持つ分布に変化し、より細かい粒子が増加し平均粒径も $5\mu\text{m}$ 以下となった。この変動が、代かき・田植え期間のS S除去率を低下させた要因と考えられる。また原水、中間水、処理水の粒径分布を比較すると、原水に比べ中間水、処理水の分布が広がっており、いずれも $2\mu\text{m}$ 以上の土粒子が多く除去されていることがわかった。

表4-2 S Sの平均粒径

日付	4月21日	4月23日	4月28日	4月29日	5月1日	5月2日	5月3日	5月4日
原水	10.4	14.0	10.2	13.9	3.8	5.1	4.0	3.1
処理水	21.8	9.8	16.2	27.7	2.8	9.4	3.5	14.2

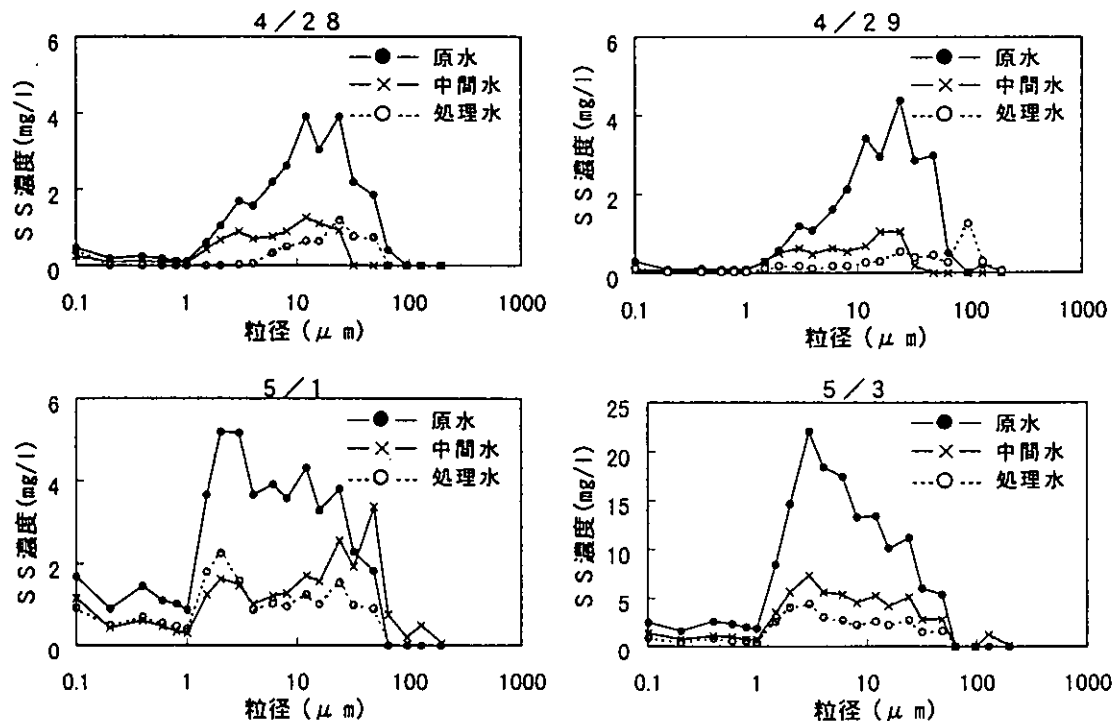
(単位 μm)

図4-6 S Sの粒径分布

4.4 COD濃度と除去率

CODのそれぞれの濃度と除去率の経時変化を図4-7に、平均除去率を表4-3に示す。代かき・田植え期間中の農業排水の原水COD濃度は通常期の葉山川河川水より高値を示したが、本実験期間中はいずれも10mg/l以下と一般河川の水質に比べ、非常に低い値であった。平均除去率は、曝気運転中はいずれの期間もほぼ同じで30.3～32.0%であったが、無曝気運転を行なうと、3.6%まで低下した。しかし、SSの場合と同様、無曝気運転については今後継続して確認していく必要がある。

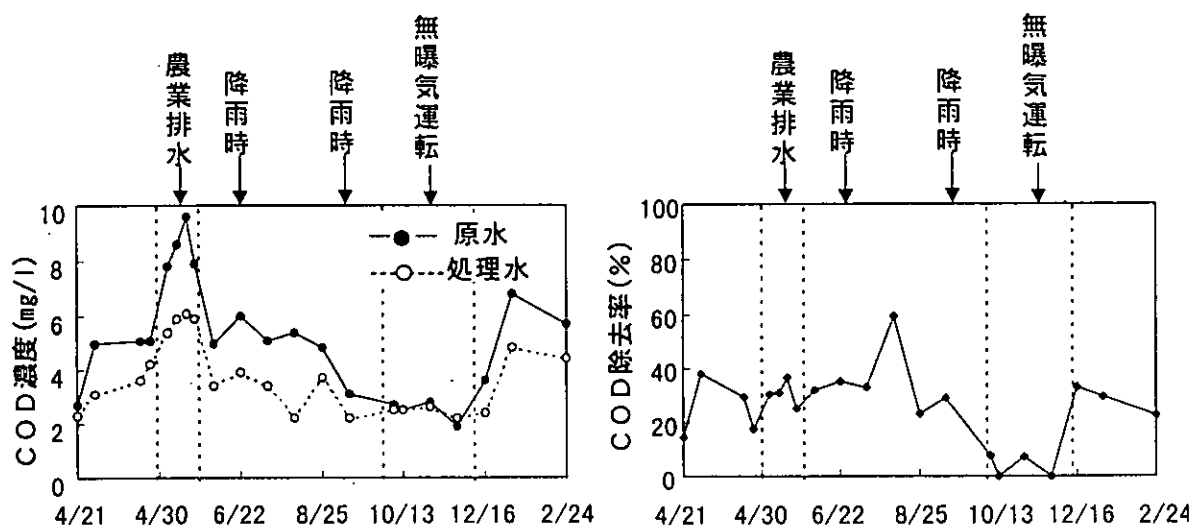


図4-7 COD濃度と除去率の経時変化

表4-3 CODの平均除去率

運転条件	期 間	平均除去率
曝気	全期間	30.6%
	代かき・田植え期間 (5月1日～4日)	31.0%
	降雨時 (6月22日、9月21日)	32.0%
	通常期 (4月21日～2月24日までの他記以外)	30.3%
無曝気	通常期 (10月12日～12月14日)	3.6%

4.5 BOD濃度と除去率

BODのそれぞれの濃度と除去率の経時変化を図4-8に、平均除去率を表4-4に示す。CODと同様、代かき・田植え期間中の農業排水の原水COD濃度は通常期の葉山川河川水より高値を示したが、本実験期間中はいずれも6mg/l以下と一般河川の水質に比べ、非常に低い値であった。

平均除去率は、曝気運転中はいずれの期間もほぼ同じで30.2～32.3%であったが、無曝気運転を行なうと、2.3%まで低下した。

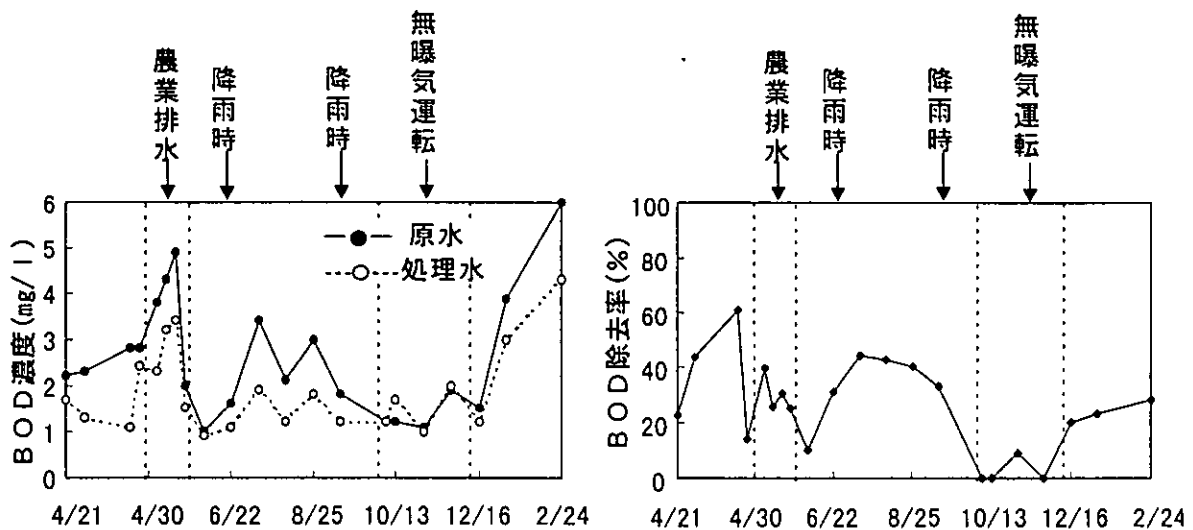


図4-8 BOD濃度と除去率の経時変化

表4-4 BODの平均除去率

運転条件	期 間	平均除去率
曝気	全期間	31.5%
	代かき・田植え期間 (5月1日～4日)	30.2%
	降雨時 (6月22日、9月21日)	32.3%
	通常期 (4月21日～2月24日までの他記以外)	31.8%
無曝気	通常期 (10月12日～12月14日)	2.3%

4.6 T-N、D-T-N濃度と除去率

T-N、D-T-Nに関して、原水中の濃度を表4-5に、原水、処理水の濃度と除去率の経時変化を図4-9、4-10に、平均除去率を表4-6に示す。

通常期における曝気、無曝気運転の差はほとんどなく、T-N平均除去率がそれぞれ9.0%、6.5%で、D-T-N平均除去率はそれぞれ4.5%、4.4%であった。また、本調査期間中、原水T-NのうちのD-T-Nは70.9～97.8%、平均86.6%を占めており、溶解性の窒素が多いため土粒子除去に伴う効果が低く、そのため曝気の有無に関係なくD-T-Nの除去率が低かったものと考えられる。

表4-5 原水中のT-N、D-T-N濃度

日付	T-N(mg/l)	D-T-N(mg/l)	D-T-N/T-N(%)	備考
4月 21日	1.12	1.04	92.9	
4月 23日	1.14	0.89	78.1	
4月 28日	1.72	1.43	83.1	
4月 29日	1.40	1.31	93.6	
5月 1日	3.38	2.87	84.9	農業排水
5月 2日	2.21	1.85	83.7	農業排水
5月 3日	2.31	1.72	74.5	農業排水
5月 4日	1.96	1.39	70.9	農業排水
5月 27日	1.47	1.29	87.8	
6月 22日	1.27	1.07	84.3	降雨時
7月 6日	1.44	1.10	76.4	
7月 22日	1.65	1.43	86.7	
8月 25日	1.10	0.93	84.5	
9月 21日	1.25	1.13	90.4	降雨時
10月 12日	1.37	1.24	90.5	無曝気
10月 13日	1.38	1.29	93.5	無曝気
10月 27日	1.40	1.25	89.3	無曝気
11月 19日	1.34	1.26	94.0	無曝気
12月 16日	1.67	1.61	96.4	
1月 20日	2.27	1.93	85.0	
2月 24日	1.83	1.79	97.8	
平均	1.65	1.42	86.6	

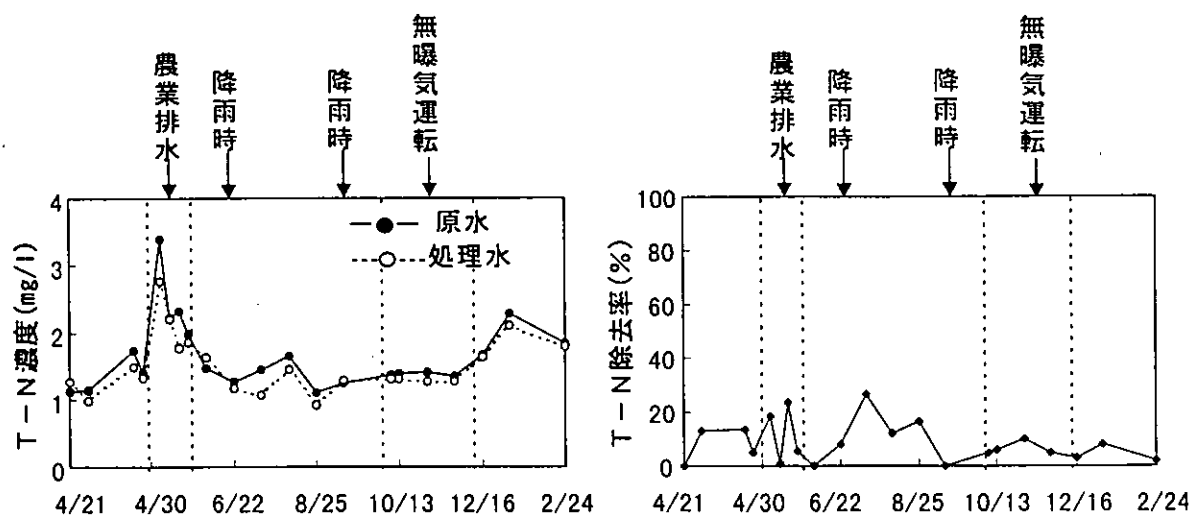


図4-9 T-N濃度と除去率の経時変化

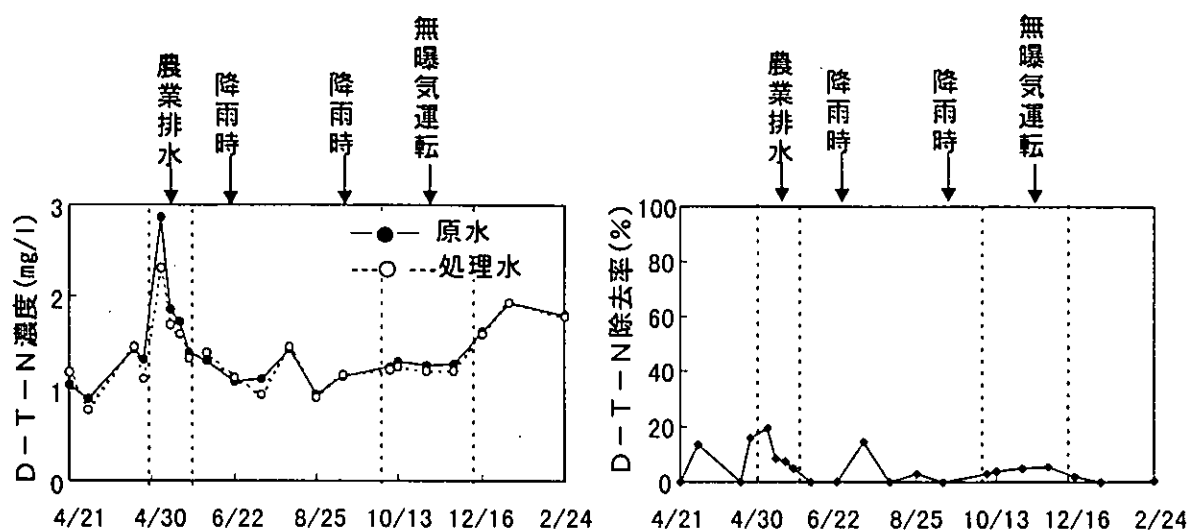


図4-10 D-T-N濃度と除去率の経時変化

表4-6 T-N、D-T-Nの平均除去率

運転条件	期 間	T-N	D-T-N
曝気	全期間	9.2%	5.3%
	代かき・田植え期間 (5月1日～4日)	12.2%	10.2%
	降雨時 (6月22日、9月21日)	3.9%	0.0%
	通常期 (4月21日～2月24日までの他記以外)	9.0%	4.5%
無曝気	通常期 (10月12日～12月14日)	6.5%	4.4%

4.7 T-P、D-T-P濃度と除去率

原水中のT-P、D-T-Pの濃度を表4-7に、T-P、D-T-Pの濃度と除去率の経時変化を図4-11、4-12に、平均除去率を表4-8に示す。

原水のT-P濃度は、最も高い代かき・田植え期間中でも0.5mg/l程度で、その他の期間中は0.1～0.3mg/l、本調査期間中の平均で0.2mg/lと比較的低い値を示した。D-T-P濃度も同様で、本調査期間中の平均値は0.07mg/lと非常に低い値を示した。

原水T-PのうちD-T-Pは17.3～60.2%、平均37.1%と、溶解性のリンがほとんど50%以下であったことから、土粒子(SS)除去に伴い、粒子態リンが効率よく除去されたものと推測され、曝気運転中のT-P平均除去率は44.8～45.6%であった。

D-T-Pの平均除去率は、曝気運転中で16.0～24.1%となったが、除去性能は6月中旬以降低下傾向が見られた。これは、鉄繊維がSSで被覆される等により水との接触機会が低下し、鉄の溶出が抑制されているためと推測され、10月14～15日に鉄繊維ブロックの交換を行なった。その結果、充填量は半分であったが除去性能の回復が見られた。今後は、鉄繊維表面が常に水と接触できるような維持・管理の手法を検討することが課題であると思われる。

無曝気の影響については、原水リン濃度が他の時期に比べ低下していることや、脱リン材の交換時期と重なってしまったことで、十分な確認ができなかった。今後の実験で確認していく必要がある。

表4-7 原水中のT-P、D-T-P濃度

日付	T-P(mg/l)	D-T-P(mg/l)	D-T-P/T-P(%)	
4月 21日	0.139	0.050	36.0	
4月 23日	0.129	0.043	33.3	
4月 28日	0.182	0.071	39.0	
4月 29日	0.142	0.059	41.5	
5月 1日	0.414	0.196	47.3	農業排水
5月 2日	0.398	0.161	40.5	農業排水
5月 3日	0.471	0.112	23.8	農業排水
5月 4日	0.327	0.142	43.4	農業排水
5月 27日	0.182	0.059	32.4	
6月 22日	0.316	0.156	49.4	降雨時
7月 6日	0.173	0.030	17.3	
7月 22日	0.228	0.062	27.2	
8月 25日	0.147	0.051	34.7	
9月 21日	0.148	0.050	33.8	降雨時
10月 12日	0.098	0.059	60.2	無曝気
10月 13日	0.089	0.045	50.6	無曝気
10月 27日	0.105	0.038	36.2	無曝気
11月 19日	0.093	0.023	24.7	無曝気
12月 16日	0.093	0.044	47.3	
1月 20日	0.185	0.057	30.8	
2月 24日	0.054	0.016	29.6	
平均	0.196	0.073	37.1	

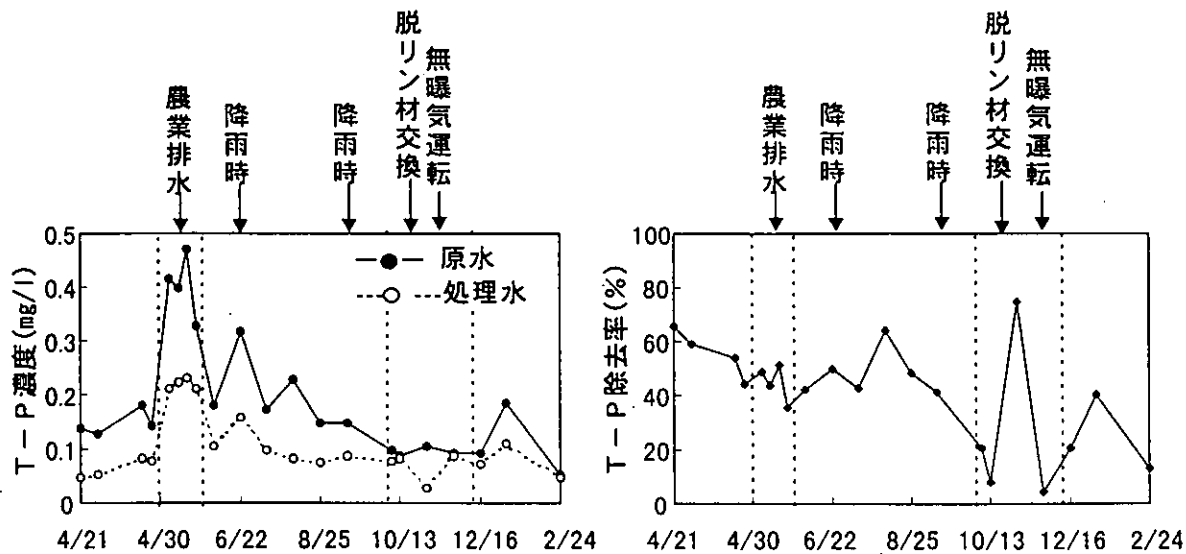


図4-11 T-P濃度と除去率の経時変化

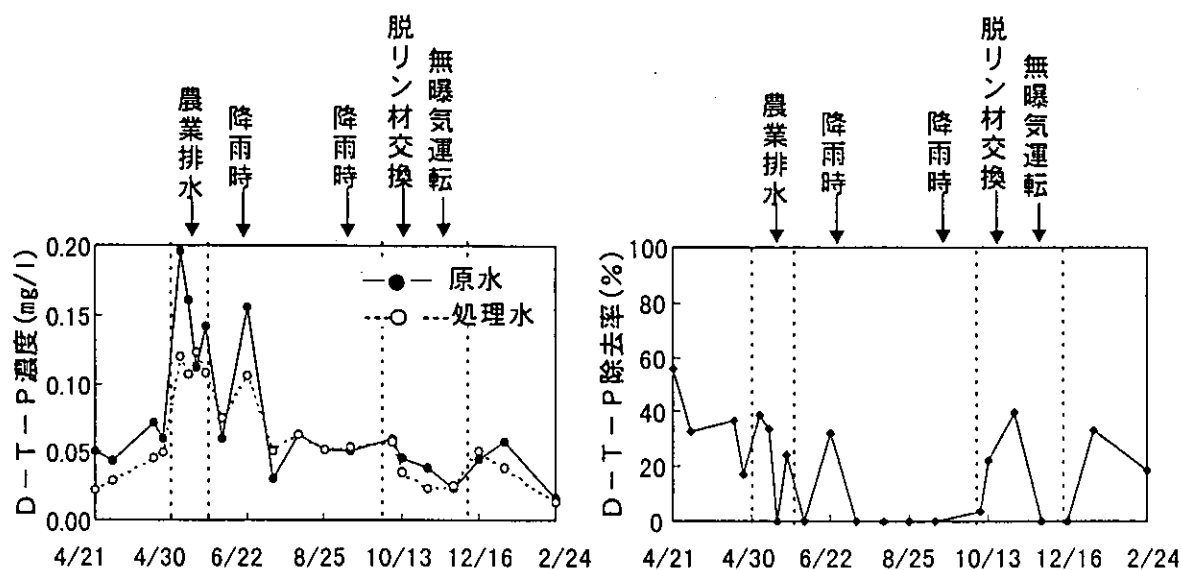


図4-12 D-T-P濃度と除去率の経時変化

表4-8 T-P、D-T-Pの平均除去率

運転条件	期 間	T-P	D-T-P
曝 気	全期間	44.9%	19.0%
	代かき・田植え期間 (5月1日～4日)	44.9%	24.1%
	降雨時 (6月22日、9月21日)	45.6%	16.0%
	通常期 (4月21日～2月24日までの他記以外)	44.8%	17.7%
無曝気	通常期 (10月12日～12月14日)	26.7%	16.3%

5. 汚泥および付着生物膜(S S)の調査結果

5.1 堆積汚泥量

1998年4月から9月までの約6ヶ月間に堆積した汚泥の調査結果を表5-1に示す。堆積汚泥量は、接触材槽1、接触材槽2、脱リン槽よりも沈殿槽1、沈殿槽2、放流槽の方が多くなった。これは、接触材槽1、接触材槽2、脱リン槽では底部からの曝気を常時行なっており、汚泥が沈降しづらかったためと推測される。しかし、施設前段の接触材槽1では、汚泥量が47.4(dry g/m²/day)と接触材槽2、脱リン槽に比べ非常に多かった。これは前段において、トラップされやすい砂質を含む土粒子が多量に除去され、沈降したためと推察される。一方、T-N、T-P濃度についても同様の傾向が見られ、土粒子の除去に伴ない、N、Pも除去されたものと推察される。

表5-1 堆積汚泥の特性

	堆積汚泥容量 (wet l/m ² /day)	堆積汚泥量 (dry g/m ² /day)	含有N量 (mg/m ² /day)	含有P量 (mg/m ² /day)
接触材槽1	0.222	47.4	226.9	122.2
沈殿槽1	0.444	94.7	453.3	244.2
接触材槽2	0.028	5.3	25.4	13.4
沈殿槽2	0.361	68.2	328.2	173.3
脱リン槽	0.028	4.4	23.0	12.0
放流槽	0.250	39.7	207.1	108.5
合 計	1.333	259.7	1263.9	673.6

5.2 接触材付着物(S S)

堆積汚泥調査時に採取した接触材付着物(S S)の調査結果を表5-2に示す。
開孔径の異なる3種のBFで付着量の差はほとんどなく、目視によっても目詰まりはおきていなかった。BFでの土粒子のろ過、除去は各層で比較的均等に行われたと推察できる。

表5-2 接触材付着物(S S)の特性

		付着物(S S)重量 (dry g/g-接触材)	含有N量 (mg/g-接触材)	含有P量 (mg/g-接触材)
接触材 槽1	接触材a	0.98	6.35	0.55
	接触材b	0.85	5.80	0.58
接触材 槽2	接触材b	0.71	6.56	0.52
	接触材c	0.76	6.56	0.66
放流槽	接触材b	0.81	8.05	0.38
水路全体での合計		67.5kg	542.9g	45.7g

6. まとめ

今回の不織布接触材方式浄化施設の調査において、S S平均除去率は曝気運転中、全期間で72.3%と高い値が得られた。また、代かき・田植え期間中の除去率は64.1%と若干低い値を示したが、これは濁水中に、より細かい土粒子が増加したためである。

T-N、D-T-Nの除去率については、通常期における曝気、無曝気運転の差はほとんどなく、T-N平均除去率がそれぞれ9.0%、6.5%で、D-T-N平均除去率はそれぞれ4.5%、4.4%であった。原水T-NのうちのD-T-Nは70.9~97.8%、平均86.6%を占めており、溶解性の窒素が多いため土粒子除去に伴う効果が低く、そのため曝気の有無に関係なくD-T-Nの除去率が低かったものと考えられる。

一方リンについては、原水T-PのうちD-T-Pが17.3~60.2%、平均37.1%と、溶解性のリンがほとんど50%以下であったことから、土粒子(S S)除去に伴い、粒子態リンが効率よく除去されたものと推測され、曝気運転中のT-P平均除去率は44.8~45.6%となった。D-T-Pの平均除去率は、曝気運転中で16.0~24.1%となったが、除去性能は6月中旬以降低下傾向が見られた。これは、鉄繊維がS Sで被覆される等により水との接触機会が低下し、鉄の溶出が抑制されているためと推測され、脱リン材の交換を行なった結果、充填量は半分であったが除去性能の回復が見られた。今後は、鉄繊維表面が常に水と接触できるような維持・管理の手法を検討することが課題であると思われる。

COD、BODについては、代かき・田植え期間に通常時の2~5倍の原水濃度の上昇が見られたが、各期間での平均除去率にはあまり差はなく、曝気運転中のそれぞれの平均除去率は、31.3~32.0%、30.2~32.3%となった。しかし、無曝気運転中は急激な性能低下が見られ、それぞれの平均除去率は、3.6%、2.3%となった。

本調査期間中、降雨時の採水は2回行なったが、通常期との水質の差はほとんど見られなかった。これは、降雨強度による濁水の河川流出の有無、流達率等が関係し、今後は採水のタイミング等を考慮する必要がある。

堆積汚泥調査の結果から、施設前段において、主にトラップされやすい砂質を含む土粒子が多量に除去され、沈降したと推察される。一方、T-N、T-P濃度についても同様の傾向が見られ、土粒子の除去に伴ない、N、Pも除去されたものと推察される。また、開孔径の異なるBFへの付着物重量(S S)の差は見られず、目視による目詰まりも起きていなかったことから、BFでの土粒子のろ過、除去は各層で比較的均等に行われたと推察できる。

以上のことから、不織布接触材を用いた本浄化施設において、

① 通常の河川水に加え、非常に細かい土粒子を含む農業排水でも高いSS除去性能を有する。

② 土粒子(SS)除去に伴い粒子態リンも非常に効率よく除去できる。
ことが確認された。

これらの効果は、不織布接触材特有のろ過効果によるものと考えられる。現在までのところSSおよびT-Pの除去性能の低下は見られていないが、今後降雨時の大量の濁水などによって接触材表面が覆われることのないよう、定期的あるいは不定期の逆洗が必要であると思われる。脱リン材（鉄繊維ブロック）による溶解性リンの除去については、初期性能を継続するよう鉄繊維表面が常に水と接触できるよう維持・管理する手法を検討することが今後の課題である。

また、無曝気で運転した場合、除去率の著しい低下や大きなばらつき等が見られた。今回の無曝気運転期間は約2ヵ月と短く、この期間の原水の水質もそれまでの期間に比べるとかなり低かったため、その効果については今後継続して確認していく必要がある。

7. 引用文献

- 1) 滋賀県環境白書資料編平成9年度版 P114

実験担当者

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構	実験センター所長	中山 繁
財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構	実験センター主任研究員	堀野 善司
日本バイリーン株式会社	水環境事業部第二部部長	山口 俊平
日本バイリーン株式会社	水環境事業部第二部主任	間 美香
日本バイリーン株式会社	水環境事業部第二部	西堀 寧

3. 深池型ヨシ帯浄化実験

1. 目的

平成8年度より深池型浄化実験を開始し、3年目を向かえた。

本年度実験は以下に示す7つの調査であり、それぞれの調査目的は平成8、9年度に生じた疑問を解決するものである。

<平成10年度の調査>

- ①トレーサー調査
- ②土壌調査
- ③滞留時間による浄化能の調査
- ④鉛直方向の水質調査
- ⑤ヨシ筏の調査
- ⑥ヨシ筏の移設
- ⑦ヨシ筏の生物調査

<平成8、9年度の疑問>

- 1. 水は土壌の深層を浸透しているか
- 2. 短絡流が生じていないか
- 3. 最も浄化効率のよい処理水量は?
- 4. 沈水区の池底近くの水は流れているのか
- 5. ヨシ筏の河川への適用の可能性は?

2. 実験方法

本年度業務においては深池型実験施設(以降「深池」とする)3槽の内A槽でヨシ原と沈水植物、B槽で土壌のみ、C槽でヨシ筏の浄化実験を行った。A槽のヨシ及び沈水植物については平成9年度実験終了後、手を加えず自然に繁茂した状態である。図2-1に示すようにA槽のヨシを植栽した区域をヨシ区、ヨシを植栽していない部分を沈水区とした。またC槽のヨシ筏は6月に草津川放水路に移設した。

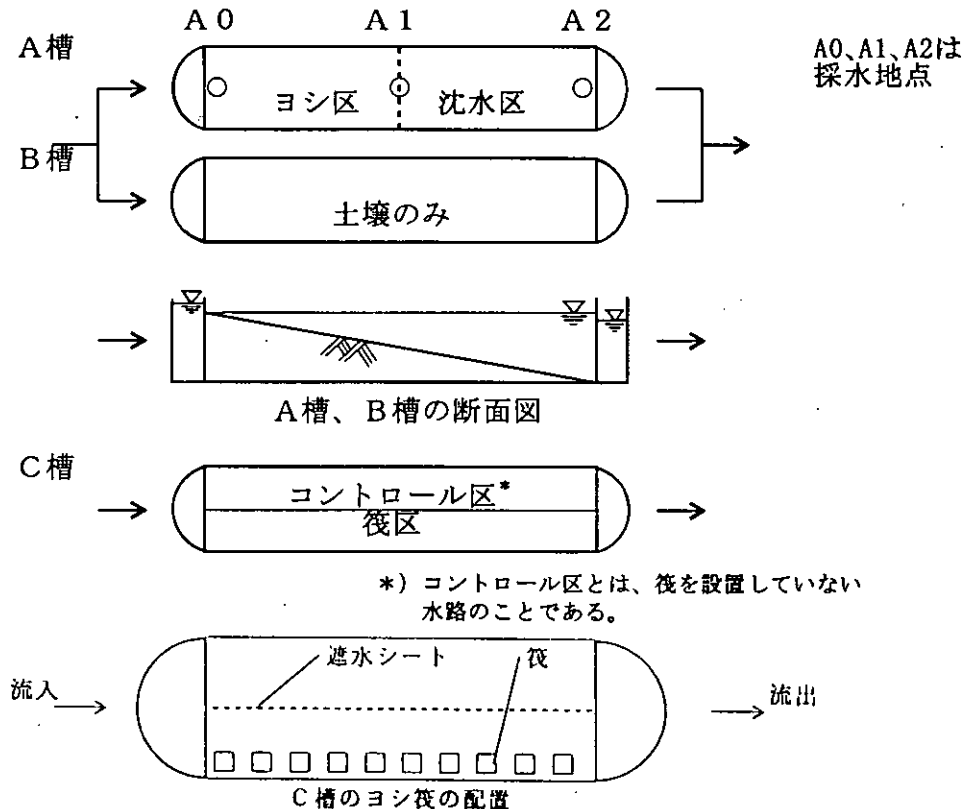


図2-1 深池各槽の構成

3. 調査結果

3.1 トレーサー調査

水の流れ方および平均滞留時間を調べるために、蛍光物質(ウラニン) 65gを流量調整槽に投入し、流出部で採水しウラニンの分析を行った。流量は $1\text{ m}^3/\text{時}$ 、 $10\text{ m}^3/\text{時}$ とした。

トレーサー試験の結果を図3-1～図3-4に示す。流量が $10\text{ m}^3/\text{時}$ の場合、ウラニン投入後約2.2時間後から2.7時間後にウラニン濃度 0.900 mg/l とピークが現れ、その後低下し、約3.2時間後から5.7時間後の間は 0.700 mg/l と一定の濃度であった。翌日(21.7時間後)は 0.014 mg/l に低下していた。

目視による観察から、水は土壌の崩れた部分を通り水面下数10cmの部分で直線的に流下していた。しかし数時間で着色水が池全体に拡がった。ウラニン投入から48時間後も池全体が薄い蛍光色を呈していた。

土壌部分の浸透量を無視した時の水が流下する容積(流入沈殿槽および流出沈殿槽を含む)は約 160 m^3 である。水が均一に流れるとすれば流達時間はおよそ16時間となる。実際には流入槽と池を隔てる有孔板に接する土壌の崩れた部分から水の一部が流入し短絡流が発生し約2時間で最初の水塊が出口に到達していた。しかしウラニン投入から数時間後には池全体が着色し、時間とともに池全体に流入水が拡がるのが目視確認された。

投入したウラニンは5.7時間でおおよそ50%が流出していた。5.7時間から21.7時間の間は採水を行っていないが、この間にウラニン濃度が直線的に低下したと仮定すれば21.7時間後には回収率が100%を超える。

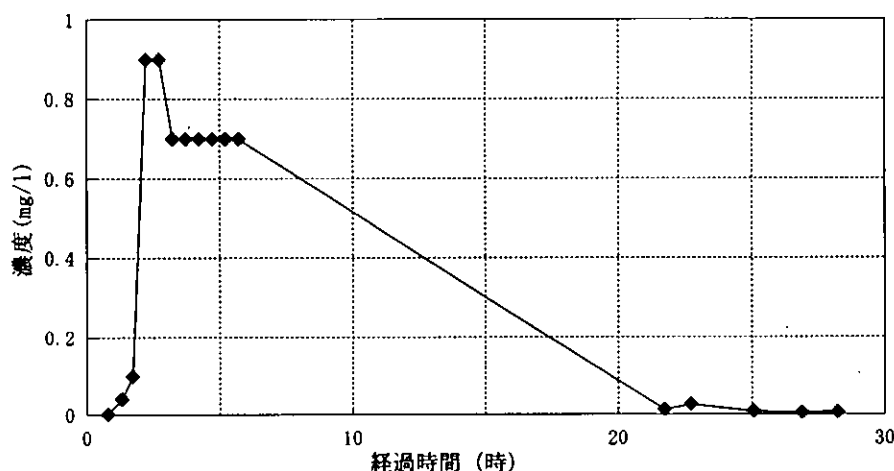


図3-1 深池流出部におけるウラニン濃度の経時変化 (流量 $10\text{ m}^3/\text{時}$)

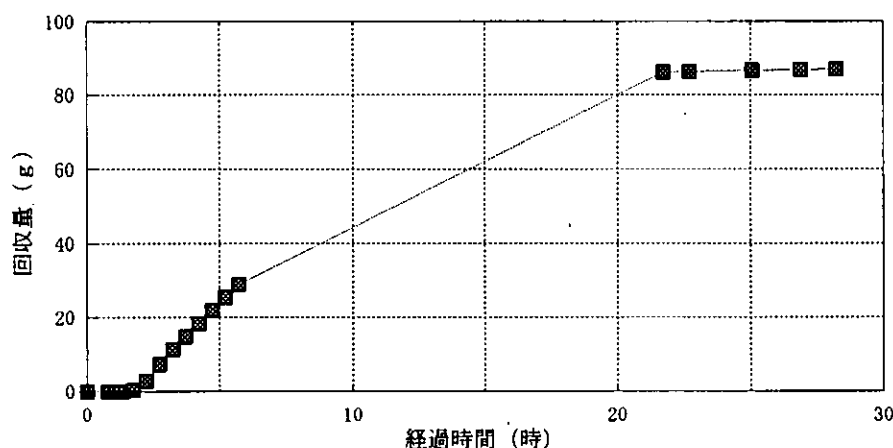


図3-2 ウラニンの回収量 (流量 $10\text{ m}^3/\text{時}$)

流量が $1\text{m}^3/\text{時}$ の場合、投入6時間後からウラニンの濃度は急激に増加し12時間後にA槽で 0.380mg/l 、B槽で 0.290mg/l と最高濃度となった。その後一旦濃度が低下するが、30時間後に再び増加し始め33時間後に1回目よりやや低めのピークとなった。3日目以降のウラニンの濃度は極めて低かった。

土壌部分の量を無視した時の水が流下する容積(流入沈殿槽および流出沈殿槽を含む)は約 160m^3 である。水が均一に流れるとすれば流達時間はおよそ160時間(約7日間)である。ところが実際には数時間後にピークが現れており、水の一部は表層を流れていることがわかった。

ウラニンの回収量をみると720時間を経過してもなお投入量 65g の13%程度しか回収されていないことから、ウラニンの大部分が土壌層に蓄積されていると推測される。

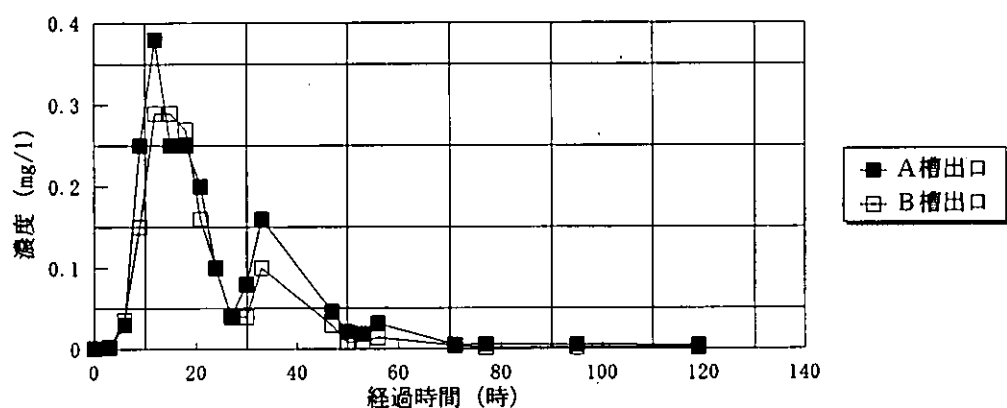


図3-3 深池流出部におけるウラニン濃度の経時変化 (流量 $1\text{m}^3/\text{時}$)

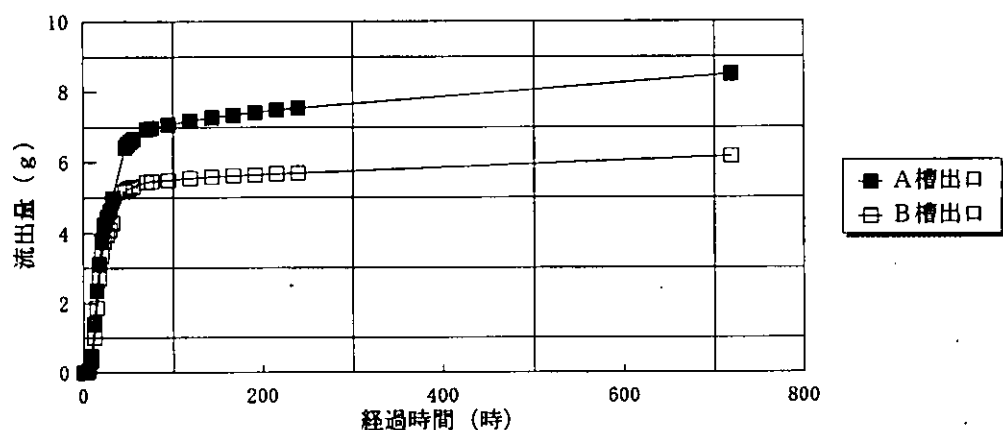
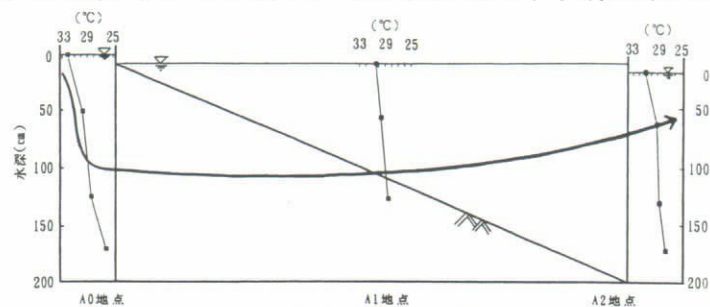


図3-4 ウラニンの回収量 (流量 $1\text{m}^3/\text{時}$)

夏季(8月1日)に行ったトレーサー試験においてウラン投入後6時間は、鉛直方向の濃度分布から推測される水流は、流入水温と深池内の同一水温帯を結ぶ線に沿っていた(図3-5)。水温分布から推測される水流が生じ、次第に池全体に拡散したと推察された。



水温分布と水流

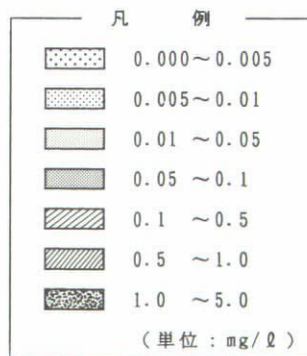
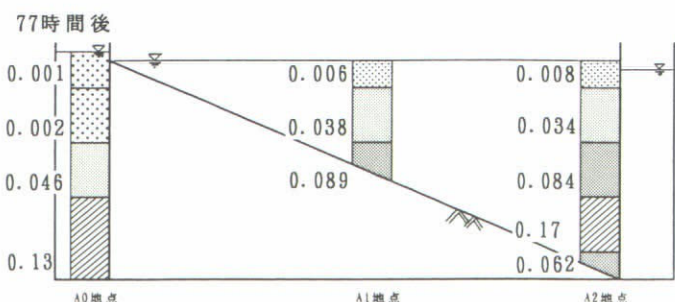
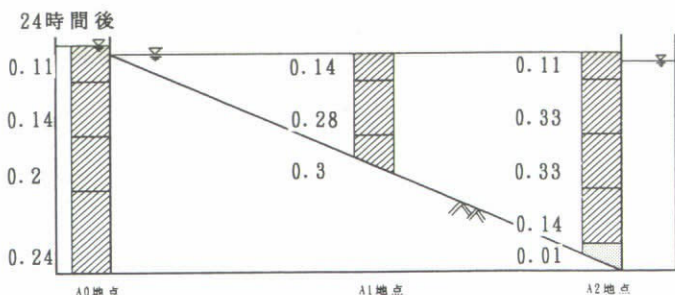
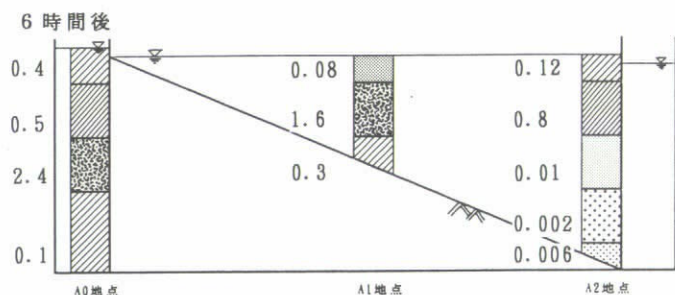
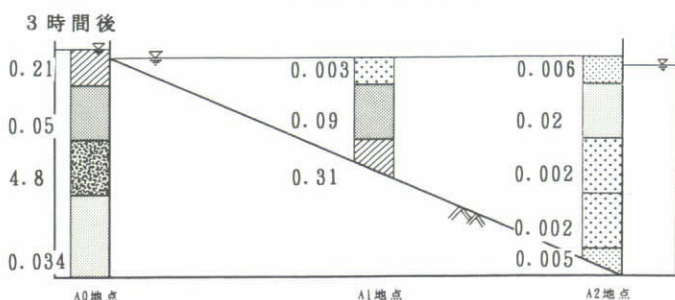


図3-5 ウランの濃度分布(鉛直方向)と水温から推測される水流
(A槽、流量: $1 \text{ m}^3/\text{h}$ 、調査期間: 平成10年8月1日~8月31日)

3.2 土壌調査

水が土壌を浸透しているかどうかを調べるために、土壌を水平・垂直にサンプリングし成分を調べた。土壌成分の分布を図3-6に示す。

3.2.1 A槽の調査結果

B槽に比べA槽は表層に汚濁物が蓄積しているようである。A槽は表層流れの割合が多くなっているのではないと思われる。

A槽No1の池底から80cm、120cm付近はいずれの項目も高濃度に蓄積されており、土壌中には「みずみち」ができていることがうかがわれる。

3.2.2 B槽の調査結果

表層は覆砂をしており充填時からT-N、T-P、T-C、I Lとも低濃度であったと予測されるため明確ではないが、B槽の表層部分に汚濁物が堆積している様子がない。

また表層を除く部分の土壌成分は充填時には均一であったはずだが調査時には不均一になっている。ヨシの根や地下茎が分布している上層（池底120～200cm付近まで）はヨシにより土壌が浄化されることが予想される。汚濁物は水か土壌を浸透しているとすれば中・下層の比較的前半部に蓄積することになる。図3-6をみると比較的这一様な現象がみられる。

3.2.3 A槽とB槽の比較

T-N、T-P、T-CともB槽よりA槽の方に多く蓄積されていた(表3-1参照)。

表3-1 土壌成分 (平均) (mg/kg)			
槽名	T-N	T-P	T-C
A槽	573	343	6,247
B槽	515	307	5,260

A槽は27ヶ月通水し、B槽は18ヶ月通水した。また、A槽では平成10年9～10月に処理水量を通常の5倍～20倍に上げて通水しており、A槽とB槽の負荷量は大きな差がある。このように、A槽はB槽に比べ通水期間、通水量が上回っておりA槽の方が高い値を示したものと考えられる。

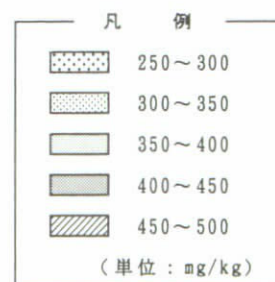
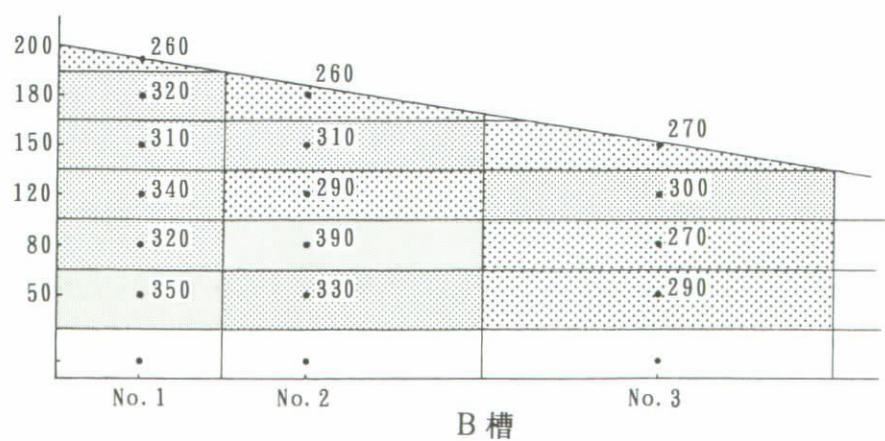
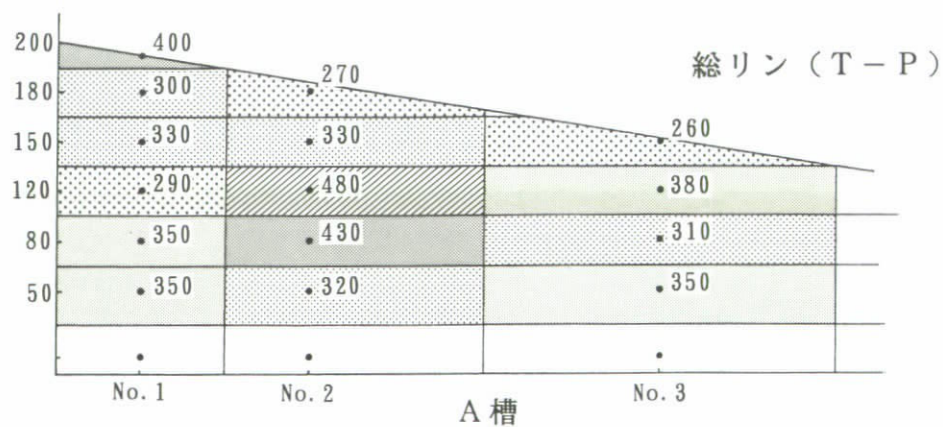
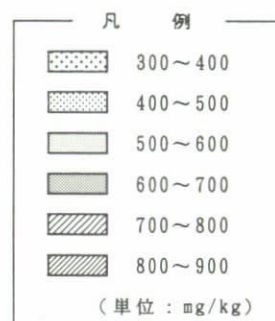
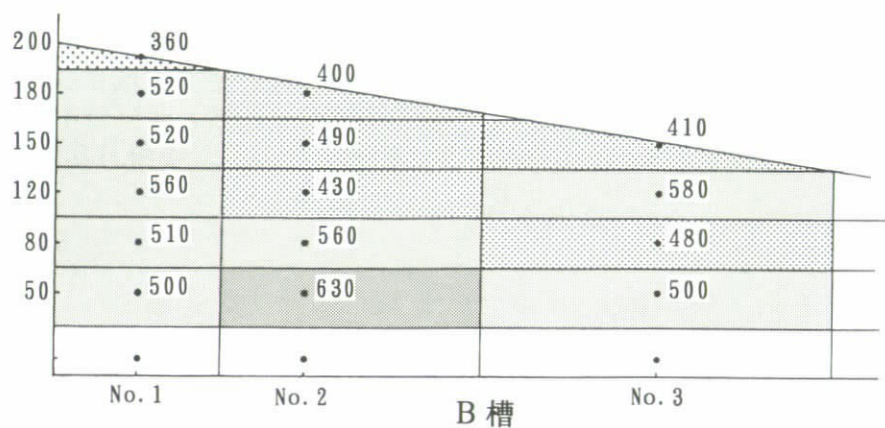
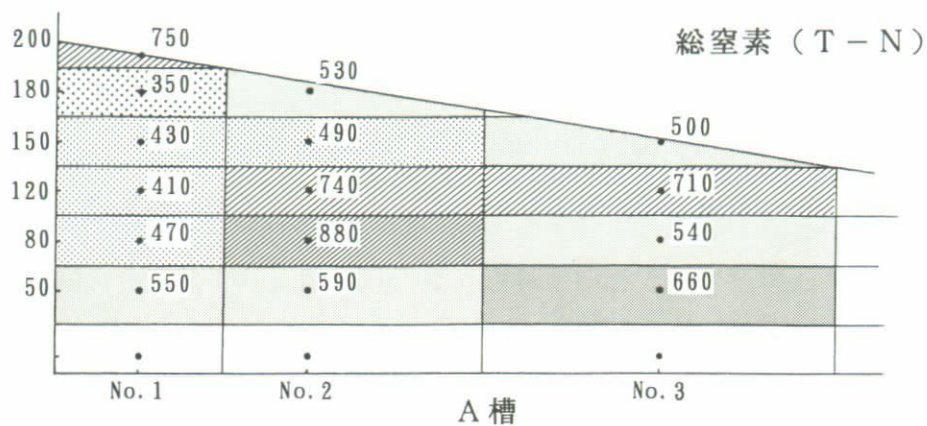
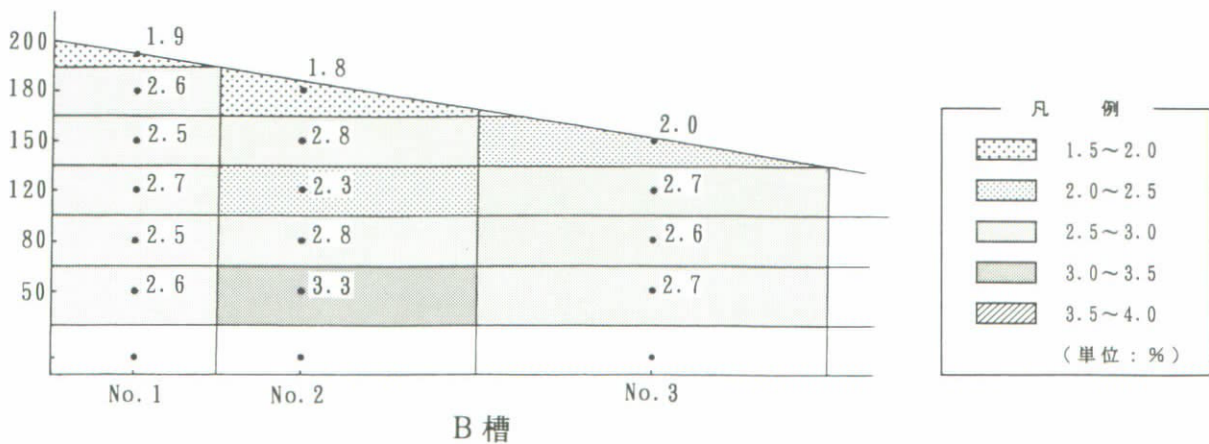
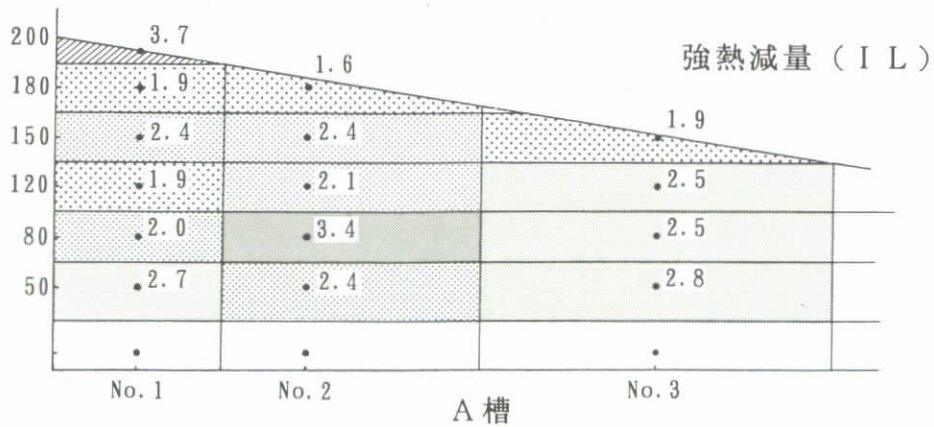
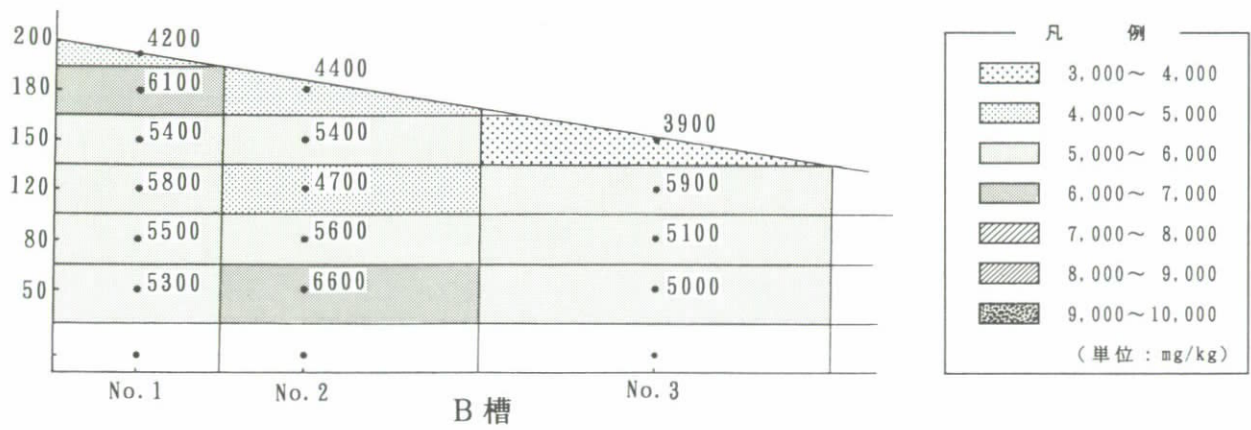
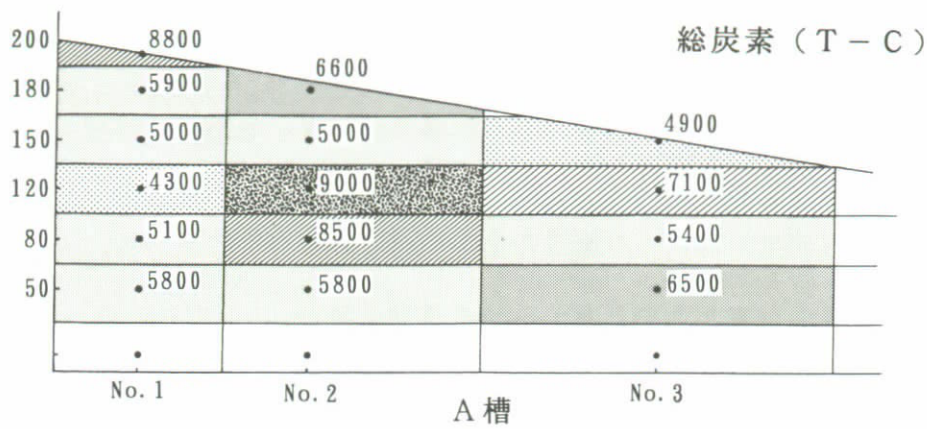


図3-6 層別の土壌成分量



3.3 流量（滞留時間）変化の調査

最も浄化効率が良い流量を求めるため、流量を変化させ水質調査を行った。

負荷削減量を（流入濃度－処理濃度）×1日の処理水量とし、処理水量との関係を主な水質項目について図3-7、図3-8に示す。1日あたりの負荷削減量の大きい処理水量が最も効率がよいことになる。最も効率がよいと考えられる処理水量を表3-2に示す。

最も効率のよい処理水量は平成9年度では $10\text{m}^3/\text{h}$ 、平成10年度では $5\sim 10\text{m}^3/\text{h}$ と考えられる。しかし $5\sim 10\text{m}^3/\text{h}$ では目詰まり等により施設寿命が短縮される可能性がある。

表3-2 最も効率がよいと考えられる処理水量

項 目	平成9年度	平成10年度
BOD	$10\text{m}^3/\text{h}$	$10\sim 20\text{m}^3/\text{h}$
COD	$10\text{m}^3/\text{h}$	$5\sim 10\text{m}^3/\text{h}$
SS	$10\sim 20\text{m}^3/\text{h}$	$5\text{m}^3/\text{h}$
T-N	$10\text{m}^3/\text{h}$	$10\text{m}^3/\text{h}$
T-N(D)	$10\text{m}^3/\text{h}$	$10\text{m}^3/\text{h}$
T-P	$10\text{m}^3/\text{h}$	$5\text{m}^3/\text{h}$
T-P(D)	$40\text{m}^3/\text{h}$	$5\text{m}^3/\text{h}$
総合判定	$10\text{m}^3/\text{h}$	$5\sim 10\text{m}^3/\text{h}$

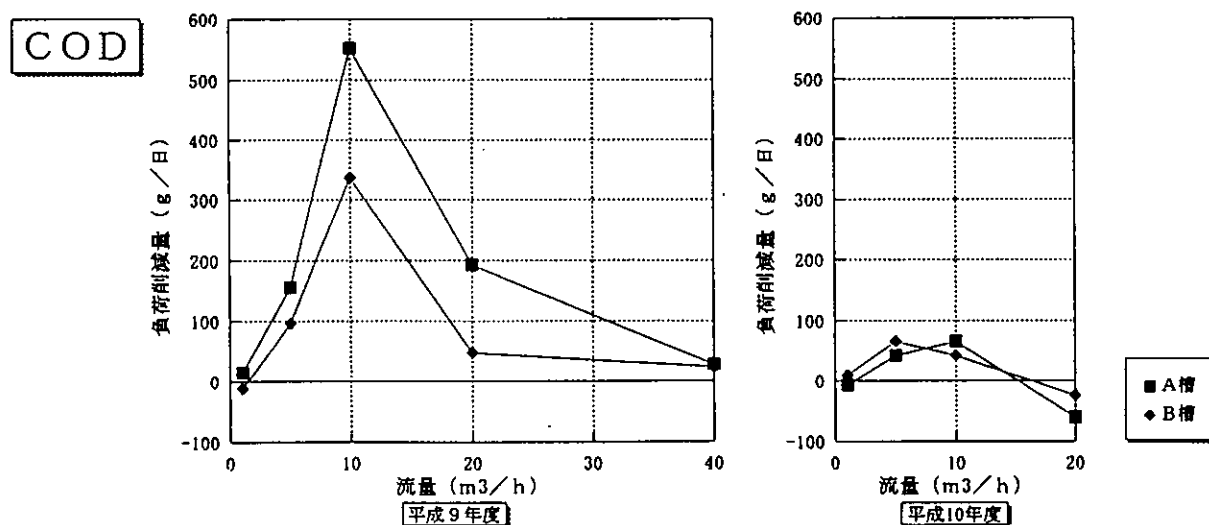
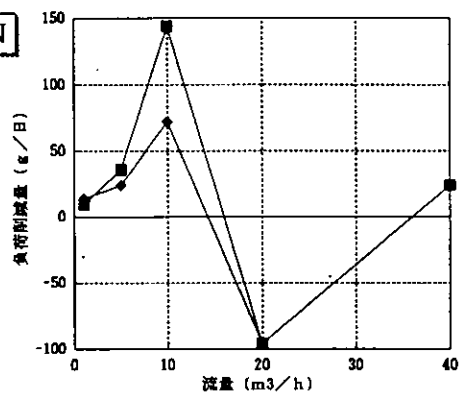
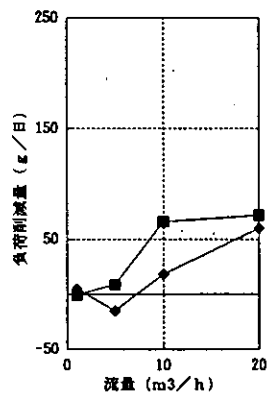


図3-7 処理水量と負荷削減量(1)

T-N

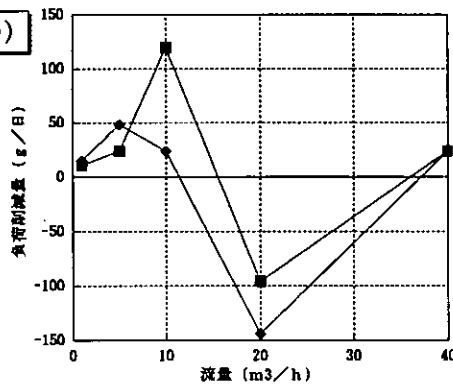


平成9年度

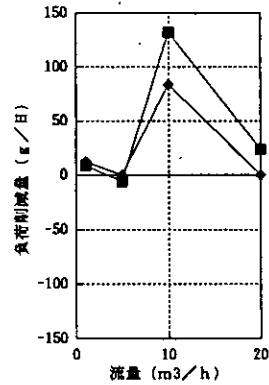


平成10年度

T-N(D)

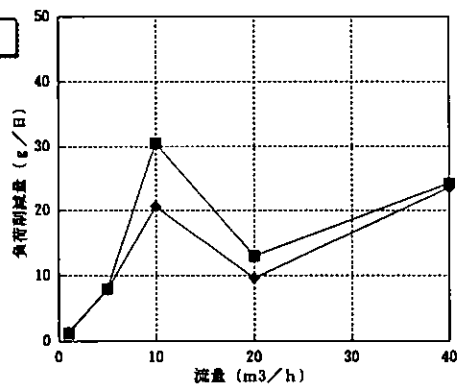


平成9年度

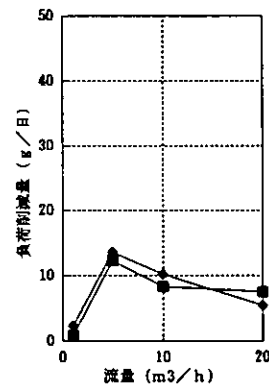


平成10年度

T-P

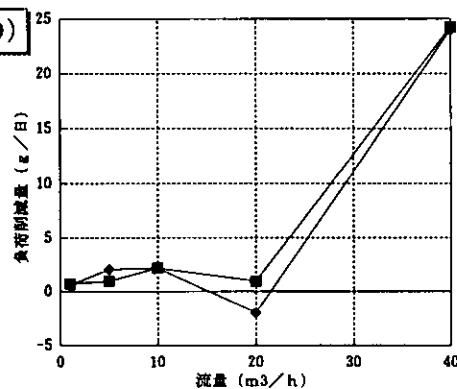


平成9年度

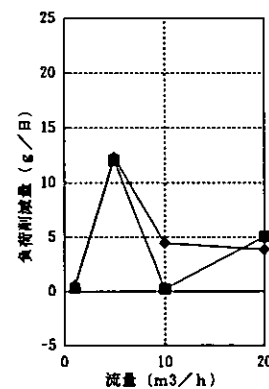


平成10年度

T-P(D)



平成9年度



平成10年度

■ A槽
◆ B槽

図3-8 処理水量と負荷削減量(2)

3.4 鉛直方向の水質調査

8月と10月の2回の調査を行った(図3-9)。8月の調査は秋に近い8月31日の曇りの日に行われたため、表層と底層の水温差は $1.6\sim 1.8^{\circ}\text{C}$ と小さかった。10月の場合は $0.4\sim 0.6^{\circ}\text{C}$ と循環期に入っていた。処理水量は8月が $1\text{ m}^3/\text{h}$ 、10月が $20\text{ m}^3/\text{h}$ である。

3.4.1 8月の調査結果

SSやBODはNo. 2の水深200cmを除いて水深が大きくなるほど低下していた。これは深くなるほど流速が小さくなり、沈降効果が大きいためと考えられる。DOは水深とともに低下し、No. 2の水深200cmでは 2.0 mg/l であった。SSの巻き上げの影響を受けないT-P(D)をみるとNo. 2は水深0~100cmではあまり変化していないが、水深150~200cmでは上昇傾向にあった。No. 2の水深200cmでは 0.072 mg/l と表層に比べ高濃度であった。これはDOが底層部で低下し嫌気化したため底質からT-P(D)の溶出が生じたためと考えられる。水深0~100cmでは流入水による希釈を受けやすくT-P(D)の溶出の影響を受けない。

以上により8月は深池では表層部の流速は大きく、深くなるにつれ流速が小さくなり、底層部は水の動きがないが極めて緩やかであると考えられる。

3.4.2 10月の調査結果

すべての項目について、10月は水深による水質の差がほとんど認められない。深池内は循環しており、流入水は池全体に広がり流出していたと思われる。なお、10月は処理水量が $20\text{ m}^3/\text{h}$ であり、 $1\text{ m}^3/\text{h}$ の時に比べて槽内においてより大きな水流が生じていたものと推察される。

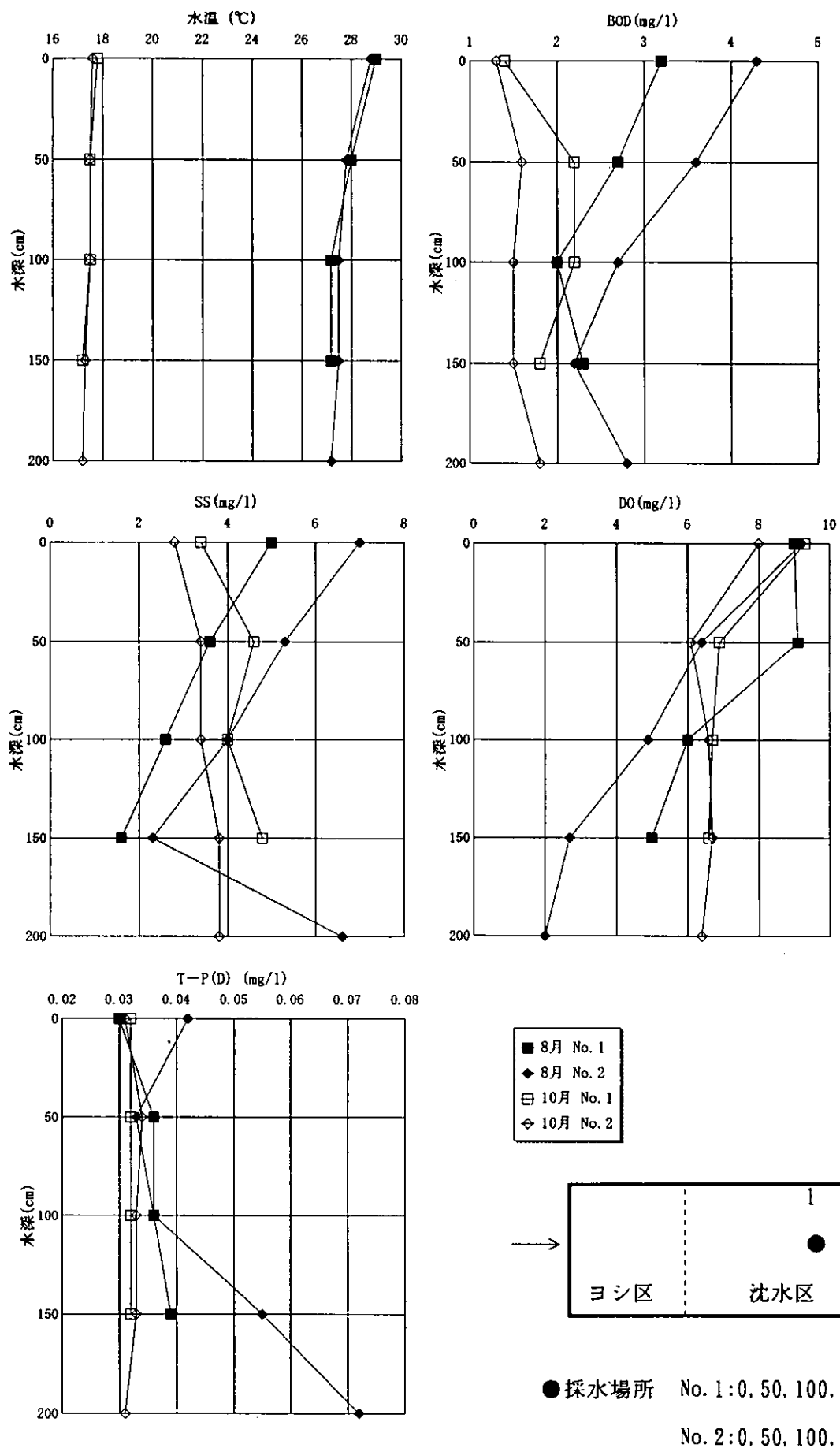


図3-9 鉛直方向の水質変化

3.5 ヨシ筏の調査

C槽において、筏区とコントロール区の処理水の水質を測定した。6月にヨシ筏を葉山川放水路に移設した。移設後筏付近の生物調査を行った。

C槽における筏区とコントロール区の水質を表3-3に示す。どの項目も筏区とコントロール区の間で有意差は認められなかった。表3-4にヨシ筏移設後の魚類等の調査結果を示す。今回の調査においては、ブルーギルが多く生息していた。

表3-3 筏区とコントロール区の水質

項目	回数	水 質			除 去 率 (%)	
		流入	ヨシ区	コントロール区	ヨシ区	コントロール区
pH	1回目	7.1	7.2	7.2	—	—
	2回目	7.3	7.3	7.5	—	—
	3回目	7.2	7.1	7.3	—	—
BOD (mg/l)	1回目	2.2	2.0	2.9	9.1	-31.8
	2回目	4.5	3.0	3.7	33.3	17.8
	3回目	3.4	2.5	2.5	26.5	26.5
COD (mg/l)	1回目	6.8	7.6	6.6	-11.8	2.9
	2回目	6.2	6.4	6.3	-3.2	-1.6
	3回目	6.3	5.6	5.3	11.1	15.9
SS (mg/l)	1回目	37	31	29	16.2	21.6
	2回目	22	10	13	54.5	40.9
	3回目	26	15	16	42.3	38.5
DO (mg/l)	1回目	7.0	7.0	8.4	—	—
	2回目	5.1	5.1	10.5	—	—
	3回目	5.2	5.4	8.9	—	—
TN (mg/l)	1回目	1.4	1.5	1.4	-7.1	0.0
	2回目	1.8	1.6	1.6	11.1	11.1
	3回目	2.1	1.8	1.8	14.3	14.3
TN(D) (mg/l)	1回目	1.2	1.2	1.2	0.0	0.0
	2回目	1.6	1.5	1.5	6.3	6.3
	3回目	1.9	1.7	1.7	10.5	10.5
TP (mg/l)	1回目	0.23	0.18	0.17	21.7	26.1
	2回目	0.19	0.15	0.16	21.1	15.8
	3回目	0.27	0.19	0.20	29.6	25.9
TP(D) (mg/l)	1回目	0.12	0.094	0.078	21.7	35.0
	2回目	0.054	0.052	0.051	3.7	5.6
	3回目	0.12	0.10	0.098	16.7	18.3

表3-4 潜水による調査

平成10年9月29日

生 物 名		南側の筏	北側の筏
魚 類	ブルーギル	18	19
	オオクチバス	—	2
沈水植物	ホザキノコサモ	+	—
	イロモ	+	+
	コカナダモ	+	+
	セキシウモ	+	+
	ヒロハノエビモ	—	+
	センニンモ	—	+
その他	タニシ	+	—
	淡水カイメン	—	+

数値：個体数、+：確認、—：確認できず

3.6 土壌浸透について

表3-5に土壌浸透を肯定する現象と否定する現象をまとめた。土壌浸透を肯定する現象および土壌浸透を否定する現象とも、それぞれ数多く確認され、これらから浸透流れと表面流れの両方が生じていると推測される。その割合であるが、水質浄化能やトレーサー試験、土壌成分の結果からみてかなり浸透流れの割合が多いと考えられる。しかしA槽では次第に表面流れの割合が初期より大きくなり、B槽では平成10年3月の土壌の入れ換えにより浸透流れの割合がA槽より大きくなったと考えられる。

あるいは浸透流であっても土壌内にみずみちが生じ、年月とともにみずみちが大きくなり大部分の水がみずみちを通過すると推測される。

トレーサー試験において処理水量 $10\text{m}^3/\text{h}$ ではウラニンの回収率が5.7時間で50%となり、 $1\text{m}^3/\text{h}$ の場合とは大きく異なる。処理水量が大きくなると土壌浸透する水の割合は処理水量に対して当然小さくなると考えられる。

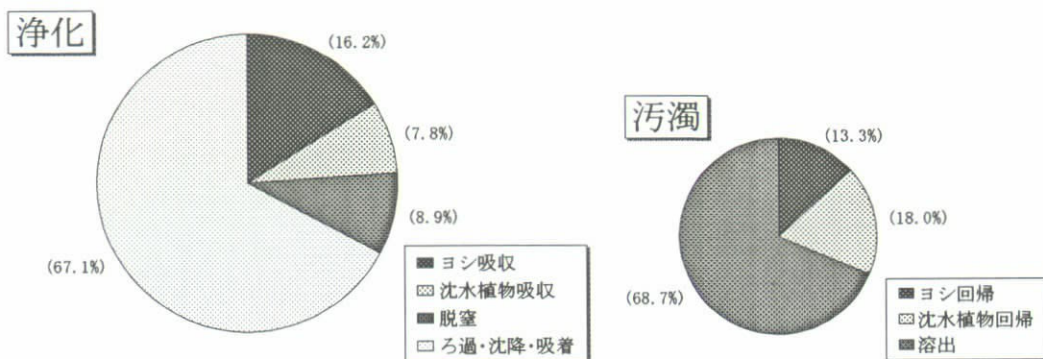
表3-5 土壌浸透について

項 目	土壌浸透を肯定	土壌浸透を否定
間 隙 水	・ 毎月水質が変動 ・ クロロフィルaが検出	・ 間隙水の水質は他の水質と全く異なる
水質浄化能	・ 池中央の水質が改善している ・ 浄化能が徐々に低下 ・ 土壌入れ替えにより浄化能が向上	—
トレーサー試験	・ ウラニンの回収率が低い ・ ウラニンは流入槽（A0）の底層部まで分布した	・ ピークを12時間で向かえた ・ 目視で土壌のくずれた部分から着色水が多く流出したのが観察された
土壌成分	・ B槽よりA槽に汚濁物が蓄積 ・ B槽の表層が汚濁していない ・ 土壌成分が不均一	・ A槽の表層にはTN等がやや蓄積されていた
C槽の比較	・ 土壌のないC槽はA・B槽に比べ浄化能が低い	—
そ の 他	—	・ 土壌層の崩れた部分が次第に拡大

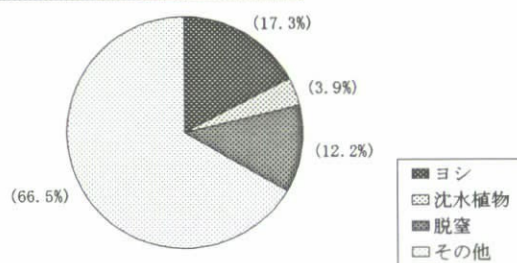
3.7 深池浄化の生物関与

SS、TPは大半が物理的及び化学的に除去されTNは生物が関与する。また年間の物質収支より、ヨシや沈水植物、脱窒菌などの生物が関与する量は全体の削減量のうちTNが約33%、TPが約25%である(図3-10)。

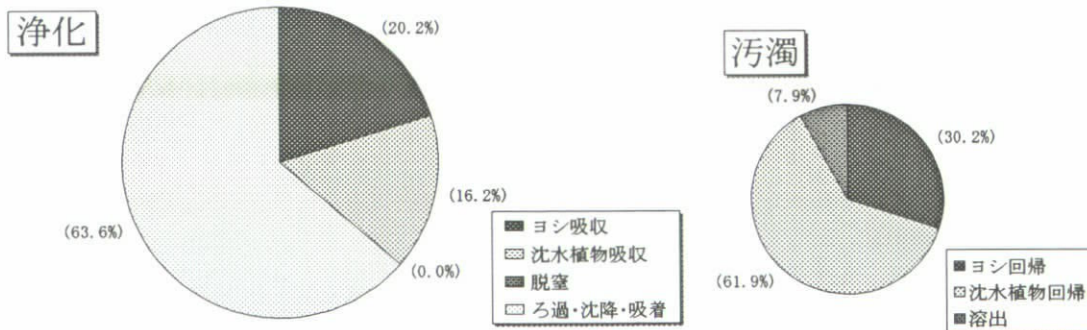
T-N



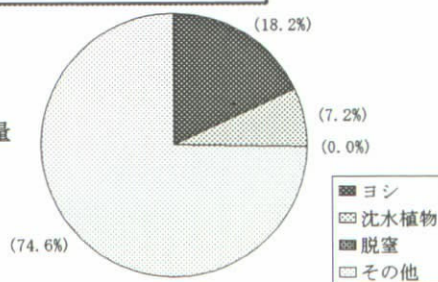
削減量(浄化-汚濁)



T-P



削減量(浄化-汚濁)



浄化量 = ヨシ吸収量 + 沈水植物吸収量 + 脱窒量

+ ろ過・沈降・吸着量

汚濁量 = ヨシからの回帰量 + 沈水植物からの回帰量

+ 溶出量

削減量 = 浄化量 - 汚濁量

(その他は物理・化学的除去の他にベントスやプランクトンなど水生生物や細菌等の作用も含む)

図3-10 削減量に対する寄与率

NO₃-Nの除去率はヨシや沈水植物が最も繁茂する8～9月に高く、秋には低下する傾向を示し、ヨシの生育との関係が示唆される(図3-11)。

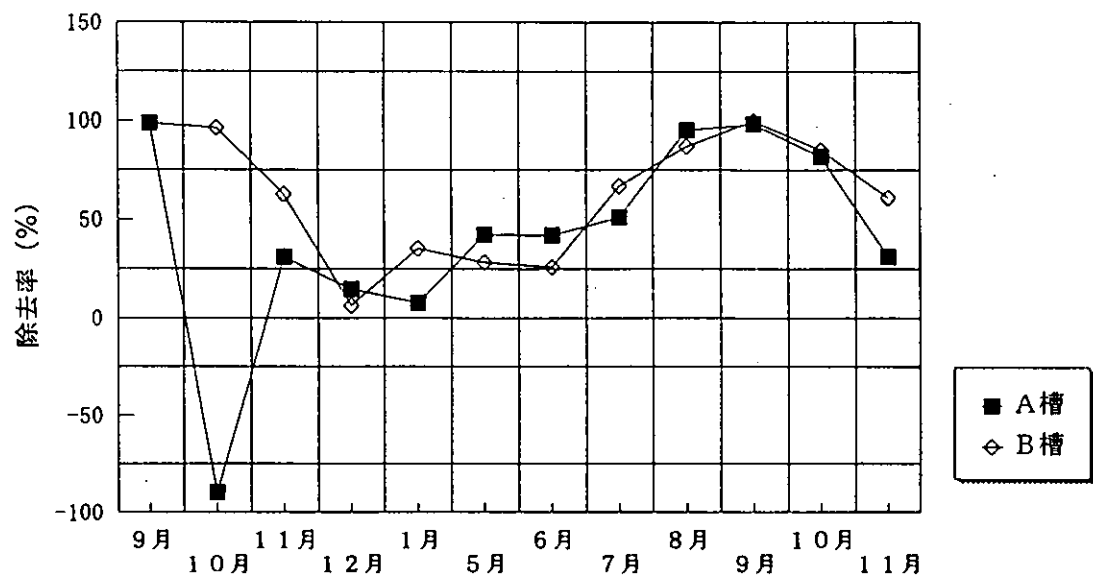


図3-11 NO₃-Nの除去率の季節変化

3.8 ヨシの有無による比較

平成10年度の業務ではB槽を土壌のみの実験系とし、ヨシや沈水植物が生育するA槽との比較を行った。処理水量を変化させたデータをA槽とB槽に分け、図3-12のように示す。

流入濃度と除去量の関係でもSSはA、B槽の間に有為差はなく、T-PはB槽の除去量がやや上まわっている。T-Nは処理水量が $1\text{ m}^3/\text{h}$ の時はB槽の除去量の方が高く、その他はA槽の方がやや高めである。

B槽はヨシを掘削した後、新しい山砂を掘削部分に投入し整地を行った。このため土壌層を比較的均一に通水しやすくなり、 $\text{PO}_4\text{-P}$ や $\text{NH}_4\text{-N}$ 等の吸着能が高まり、浄化能がA槽より上昇したと考えられる。

A槽とB槽が植生の有無以外、全く同条件とできなかったため、植生の効果は明確に得られなかった。しかし植生の効果は全体の浄化効果に対して、それほど大きなものではないことも推測される。

なお、今回の調査は9～10月のもので年間を通じて調査を行う必要がある。

また、ヨシは目詰まりを防ぎ浄化装置の寿命を延長することや様々な生物にすみかを提供することや親水性の向上が考えられ、水質浄化能へのヨシの寄与がたとえ小さくともヨシ帯は無植栽に比べて意義深いと考えられる。

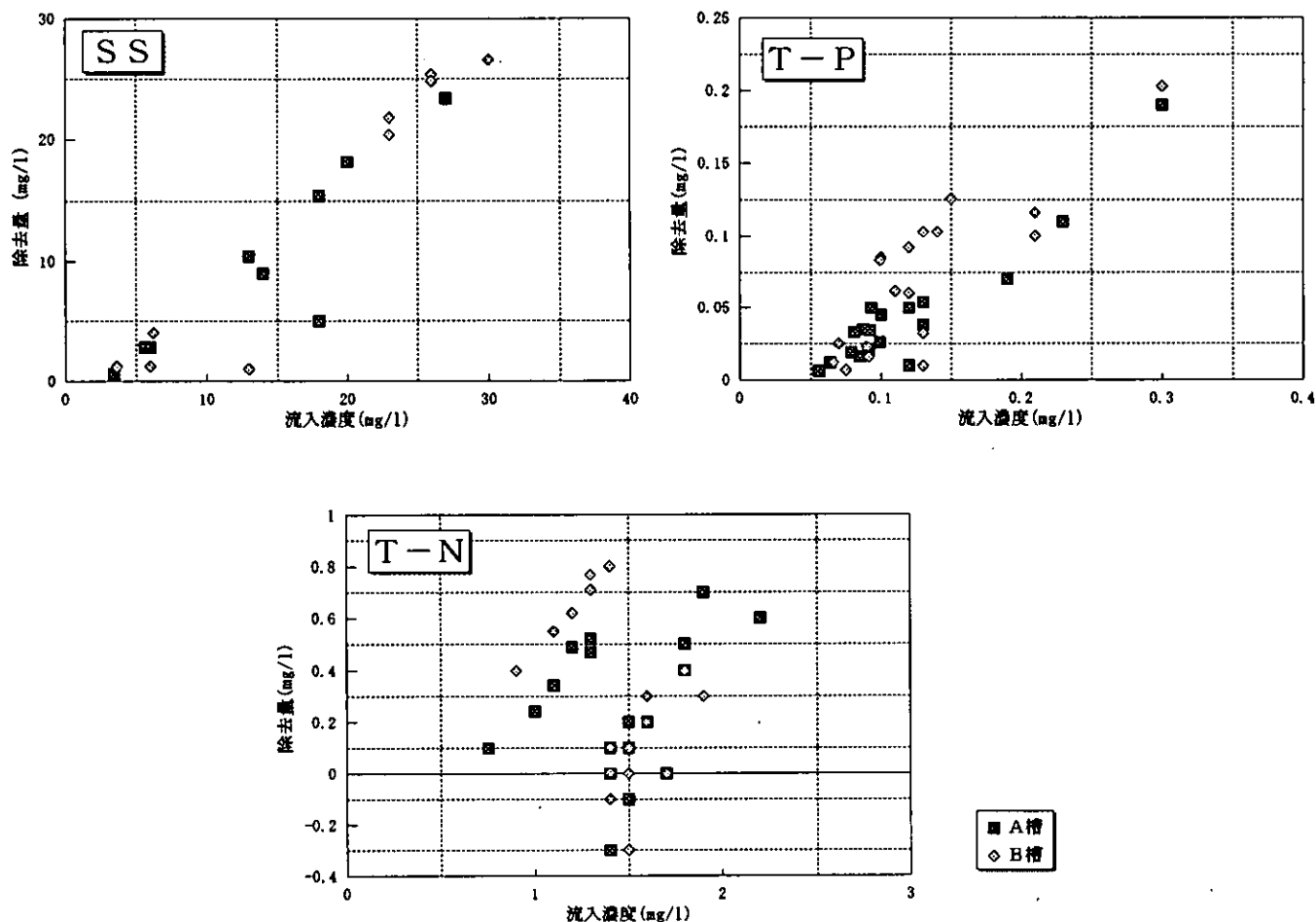


図3-12 流入濃度と除去量

3.9 浄化装置としての寿命

TPについて平成8～平成10年の平均除去率を表3-6に示した。

A槽では毎年除去率が低下しているが、B槽は平成10年度に最も除去率が上昇した。平成10年度のB槽はヨシを植栽していないにもかかわらずTPの除去率が高いのは、ヨシの掘削時に一部の土壌を入れ替えたためと考えられる。平成10年度のB槽はTP以外もすべての項目においてA槽より高い除去効果を示した。

リンの浄化能がA槽で年々衰えた理由は土壌の崩れや目詰まりのため水が浸透しにくくなったのか、もしくは土壌のリン吸着能が衰えたかのいずれかではないかと推察される。

表3-6 TPの平均除去率(%)

槽 名	平成8年	平成9年	平成10年
A 槽	70.3	53.0	35.0
B 槽	76.6	65.2	80.4

図3-13に流入濃度と除去量の関係を示す。回帰線は平成8年度～平成10年度の処理水量データを用いた。SSではほとんどのデータが回帰線上にのる。しかしTP、TP(D)、TP(P)では概ね平成8年度は回帰線より上部に、平成10年度A槽は回帰線よりかなり下部にプロットされる。

リンについて浄化性能が経年と共に低下しているのは明らかである。施設寿命を高めるためには通水方法の工夫、例えば土壌に有孔管を挿入し通水する等が必要である。

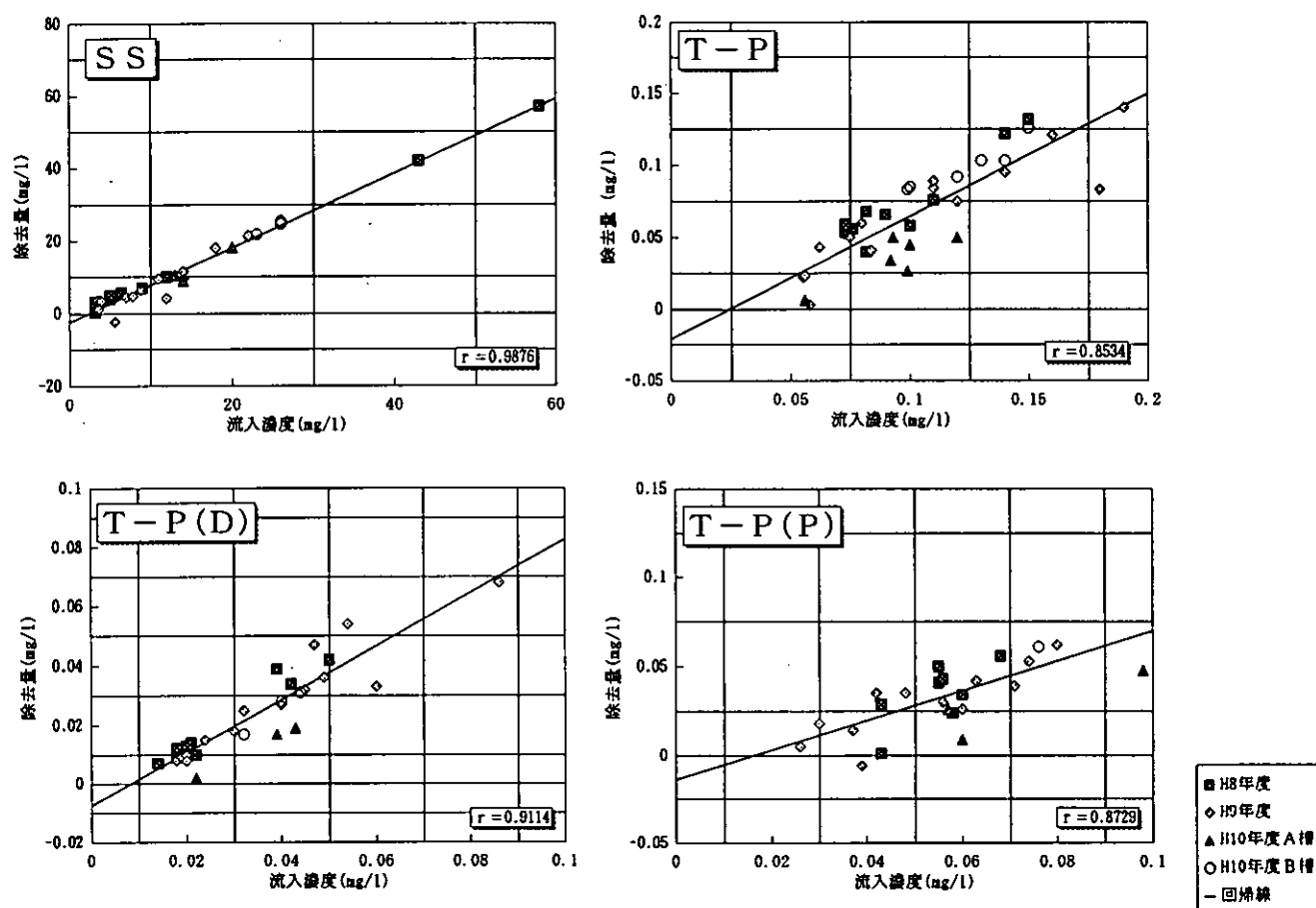


図3-13 流入水と除去量の関係

4. おわりに

今年度の実験から次のことを確認した。

- ①トレーサー調査並びに土壌調査により、水は土壌を浸透していることが確認されたが、みずみちが生じている可能性がある。
- ②滞留時間による浄化能の調査により、処理水量 $5 \sim 10 \text{ m}^3/\text{h}$ で最も浄化効率が良い結果となった。
- ③鉛直方向の水質調査により、池底近くまで水が流れていることが確認された。
- ④ヨシ筏のヨシは河川でも生育し、生物のすみかとなりうる。

また、新たに次の疑問が生じた。

- ①土壌浸透は土壌のどの部分でおこり、みずみちを通過する水の割合はどの位いなのか。
- ②土壌浸透によりどの程度の浄化能を得るのか。
- ③深池は2mの深さが必要なのか。
- ④処理水量 $5 \sim 10 \text{ m}^3/\text{h}$ が年間通じて浄化効率が良いといえるのか。
- ⑤深池の浄化装置としての寿命はどの位いなのか。
- ⑥ヨシ筏のヨシは2年間も生育でき、生物のすみかとして有効なのか。

深池及びヨシ筏を実用化するために以上の疑問の解決が今後の課題となる。

— 今後の課題 —

- ①土壌の透水係数を求める
- ②土壌浸透水による浄化能の調査
- ③処理水量と浄化効率の季節的な関係を求める
- ④浄化装置としての寿命と、必要容積を求める
- ⑤ヨシ筏の追跡調査

実験担当者

建設省近畿地方建設局琵琶湖工事事務所	水質調査課課長	森川 和夫
	水質調査課開発調整係長	板坂 浩和
財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構	実験センター所長	中山 繁
	実験センター主任研究員	堀野 善司

4. 酸化剤を用いた底質改善実験

1. 実験の目的

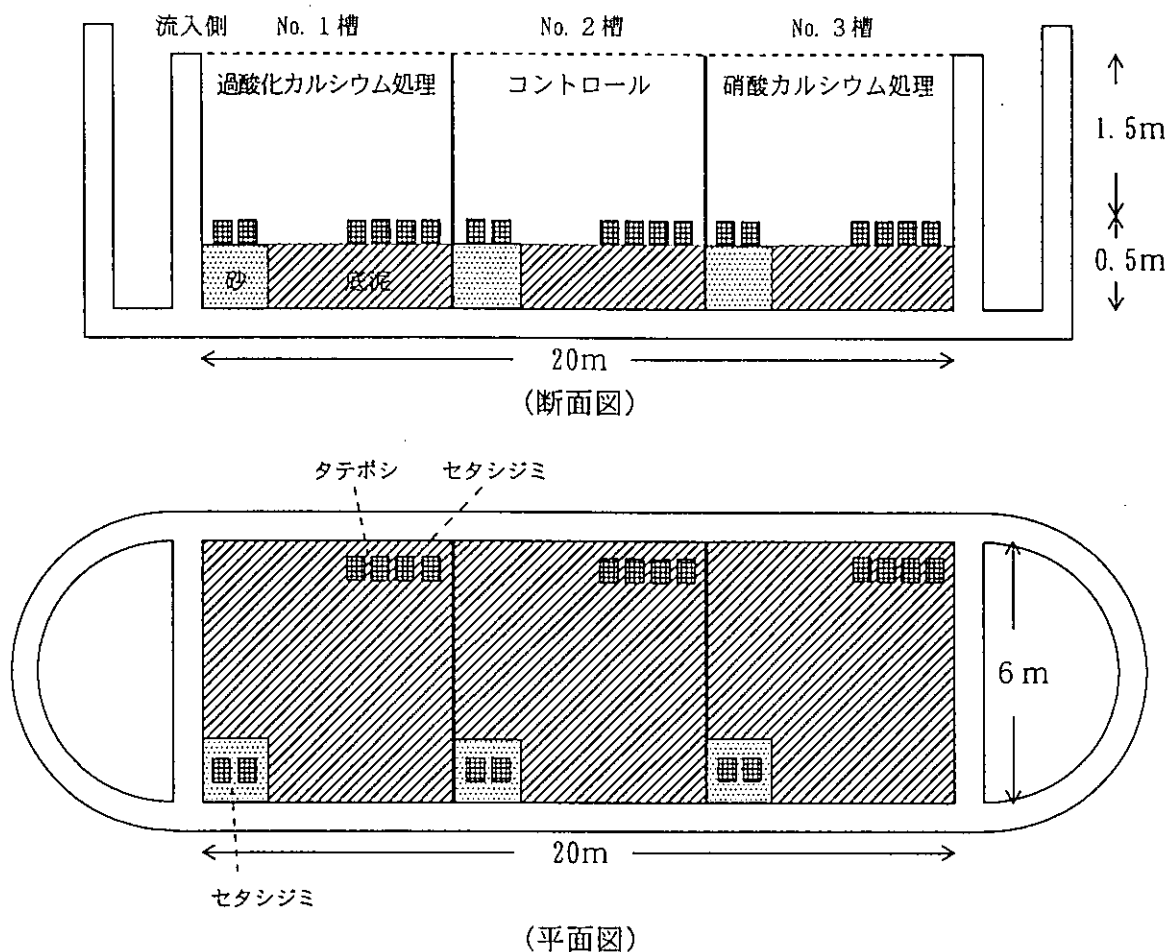
富栄養化対策の新たな手法として、硝酸カルシウム及び過酸化カルシウムによる底質の酸化処理を取り上げ、その実用化のために必要な課題を本実験を通じて明らかにすることにより、底質改善技術の確立に資することを目的とする。

2. 実験施設諸元

2.1 深池C槽の分割

硝酸カルシウムによる底質改善処理、過酸化カルシウムによる底質改善処理及びコントロールの3つの実験槽を設けるために、木材と遮水シートにより深池C槽を流下方向に3分割した(図2-1)。

また、3分割した各槽の一角には約1.5m×1.5mの仕切りを設置し、砂地の部分を設けている。これはセタシジミを飼育して酸化剤による底質処理がその成育状況に及ぼす影響を検討するにあたり、セタシジミが本来は砂質の湖底に生息する種であることを考慮したものである。



罫 は貝のかご 35cm×25cm×17cm (高さ)

図2-1 C槽分割概略図

2.2 硝酸カルシウム注入器

注入はディッパー式注入器を用いて行った（写真2-1参照）。ディッパー式注入器は1m四方の剣山のような形状をしている。本体部分は2枚のステンレスプレートからなり、ポンプによってプレートの間に送り込まれた酸化剤は、針先の穴から底泥中に注入される。



写真2-1 ディッパー式注入器

2.3 拡散チャンバー（ピーパー）

間隙水および底質直上水の採取は、拡散チャンバー（以降ピーパーという）を用いて行った（写真2-2参照）。今回の実験で使用したピーパーは、プレキシガラス製の貯水部とカバーの2つの部品からなる。貯水部には容量約30mlのセルが6つあり、ポリスルホン透析紙（GelmanHT450、孔径 $0.45\mu\text{m}$ ）を挟んで、カバーをネジ止めしてある。カバーにはセルに合わせて穴が開いていて、底質中、水中の溶存態物質が、透析紙を通してイオン交換水で満たされた貯水部に拡散するようになっている。ピーパーの形状により、調査の対象となる試料は、底泥表面から0～5cm、6～11cmの底質間隙水、および湖底より0～5cmの直上水となり、各層で2つのセルから試料を採取することができる。

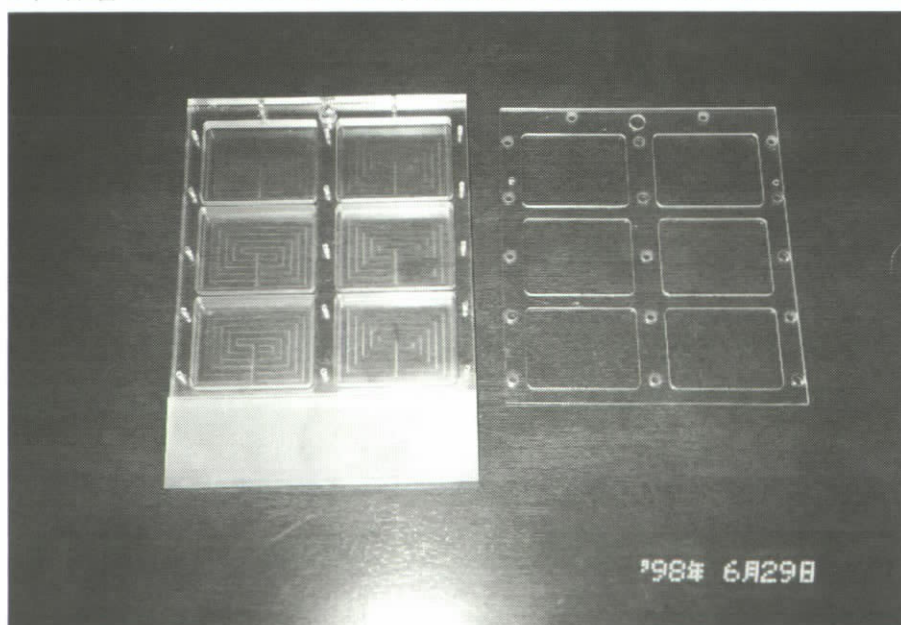


写真2-2 拡散チャンバー（ピーパー）

3. 実験スケジュール

3.1 実験準備

平成10年7月6日より、C槽の排水を行い、昨年度の実験に使われていた施設の撤去及びヘドロの除去、清掃を行った。

7月8日から、遮水シート等を用いてC槽を3分割して、流入側よりNo. 1、No. 2、No. 3とした。各槽に琵琶湖の底泥（矢橋中間水路の浚渫泥）を約50cmの深さで敷いた。

7月17日から各槽に湖水（葉山川河口沖）を注入した。その後、底泥の還元化を目的として、滞水させたままで約1ヶ月間を準備期間とした。水質及び底質の状態の把握のために、この間水温、pH、DO、底泥の酸化還元電位を週2回の頻度で測定した。

湖水注水後間もない7月22日に各槽でアオコが発生した。準備期間を通してアオコが見られ、クロロフィルa等、各槽の水質に大きな差が出てしまったため、底質改善処理直前の8月18日に各槽の水をポンプで排水し、19日に湖水を再注水した。

8月20日に各槽にコイ苗（体長約10cm）を各1kg（約40尾）を放流した。

3.2 底質改善処理

8月21日に、底質改善処理を行った。各槽に用いた酸化剤は以下の通りである。

No. 1槽：過酸化カルシウム（ CaO_2 ）を 1m^2 につき100g、槽全体で3.2kg散布

No. 2槽：コントロール

No. 3槽：硝酸カルシウム4水和物（ $\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ）を 1m^2 につき1kg注入

No. 1槽、No. 3槽ともに、砂区周辺の約 $2\text{m} \times 2\text{m}$ の範囲を除いて処理を行った。

No. 3槽への注入は、ディッパー式注入器を使って行った。注入した溶液は、槽内の水2ℓに硝酸カルシウム4水和物1kgの割合で調合した。

底質処理終了後に、各槽にセタシジミ、タテボシを入れたかご（ $0.35\text{m} \times 0.25\text{m} \times$ 高さ 0.17m ）を投入した。セタシジミ100個を1つのかごに入れ、槽1つにつき、砂区に2つ、泥区に2つずつ入れている。タテボシは39個を1つのかごに入れ、泥区にのみ2つ入れている。槽1つにつきセタシジミ400個、タテボシ78個、C槽全体ではセタシジミ1200個、タテボシ234個を投入した。

3.3 モニタリング

底質改善処理の効果を把握するため、表3-1のようにモニタリングを行った。

なお、各槽の水質をできるだけ均一にして条件をそろえるため、8月の注入処理前と10月の注入2ヶ月後のサンプリング後に、水の交換を行った。

表3-1 モニタリングスケジュール

年		平成10												11		備 考
月		7	8						9		10		11	1	2	
項 目		準備中	水交換前	処理前	翌日	2日後	4日後	1週間後	2週間後	1ヶ月後	2ヶ月後	水交換後	3ヶ月後	5ヶ月後	6ヶ月後	
水質	水温、pH、DO	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	準備中は週2回
	各態窒素		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	Ca(NO ₃) ₂ 槽
				○	○					○	○	○	○			○
	T-P、PO ₄ -P、Ca		○	○					○	○	○	○			○	
	クロロフィルa		○	○					○	○	○	○			○	
底質	含水率、強熱減量、 粒径分布、 T-N、T-P		○										○		○	
	ORP、pH	○	○							○	○		○		○	準備中は週2回
	硫化物		○							○	○		○		○	
	間隙水中のPO ₄ -P		○							○			○	○	○	
生物	プランクトン計数		○	○					○	○	○	○			○	
	底生生物計数		○							○	○				○	
	貝類成育状況			○				○	○	○	○				○	死貝は除去
	魚類成育状況			随時観察												死魚は除去

3.3.1 水質分析

水温、pH、溶存酸素の項目は、各槽の表層水と底層水について、現場で測定を行った。

各態窒素、各態リン、カルシウムの項目は、電動式のポンプを用いて各槽の表層水と底層水を採水した。実験槽の水深は約1mであるため、表層水は水面から10cm、底層水は底から10cmを目安に採水を行った。表層水、底層水ともに、槽の中央付近の3地点のコンポジットサンプルについて分析を行っている。

クロロフィルaの項目は各槽の表層水について分析を行った。

3.3.2 底質分析

酸化還元電位、pHの項目は、底泥を少量採取して、現場で測定した。酸化還元電位については、ORP計の指示値から標準水素電極に対する電位(Eh)に換算している。

含水率、強熱減量、粒径分布、T-N、T-P、硫化物の項目は、エックマンバージ採泥器により各槽中央付近の3地点から底泥を採取し、そのコンポジットサンプルについて分析した。

間隙水中のPO₄-Pの項目は、ピーパーを用いて、水底から0～5cmの底質直上水と、底泥表面から0～5cm、6～11cmの底質間隙水を採取した。底質の間隙水とピーパー内のイオン交換水の濃度が平衡に達するように、ピーパーの設置から回収まで、約2週間あけている。

3.3.3 生物調査

プランクトンの項目は、試料を各地点の表層（水面下10cm）から採取した。1000mlの試料にルゴール液5mlを加えて固定し、48時間以上自然沈澱させ20～10mlまで濃縮した。計数は200～400倍率の光学顕微鏡下で行った。藻類細胞容積は、一瀬ら（1995）による方法を用いたほか、一部の種については、球体や楕円形、直方体等の立体に近似し、細胞体積を求めた。藻類現存量は、計数値と細胞体積から体積量として表した。

底生動物の項目は、エックマンバージ採泥器を用いて底泥を採取し、採取した泥を0.42mmのふるいにかけて、ふるいの上に残った生物をホルマリン液（10%）で固定して試料とした。試料は顕微鏡下で種の同定を行った後、個体数を計数した。

貝類の成育状況確認は、貝を入れているかごを引き上げて行った。死んでいる貝については個数を数え、除去した。貝の投入前と6ヶ月後には、各個体の重量、殻長の測定も行った。

魚類の成育状況確認は、随時行った。死魚は回収、除去した。

4. 結果と考察

4.1 水質分析結果

分析結果を表4-1、表4-2に示す。

各槽に湖水を張ってから数日のうちに、3槽ともアオコが発生した。水深が約1m程度と浅い上、完全な滞水状態となったため、各層で水温が30℃前後まで上昇し、アオコの発生の物理的な条件を整えてしまったものと考えられる。化学的な条件としては、注水時には浚渫泥を巻き上げないようにベニヤ板を敷くなどの配慮をしたが、それでも注水直後にはかなり濁っていて、底泥中の栄養塩が水中に供給されたものと考えられる。

底質を夏期の琵琶湖底と同様の還元状態を再現するために、準備期間として琵琶湖水を約1ヶ月間滞水させたが、その間に各槽の状態、水質にかなりの差が生じた。搬入した浚渫土の性状が均質ではなかったことが一番の要因と考えられる。処理前に水の入れ替えを行って対処したが、完全に排水することは不可能であり、8月21日の処理直前の水質にはまだ差が見られ、溶存酸素、ORPも完全な嫌気状態ではなかった。またその濃度も、T-Nで1.0～1.5mg/l、T-Pで0.08～0.13mg/lと、底質からの栄養塩溶出による影響を把握するにはやや高いレベルにあった。さらに、No.3槽では硝酸カルシウム溶液注入後に硝酸態窒素が約33mg/lまで上昇した。注入速度、注入量ともに小さく、ドレーン（ポンプ停止後の注入器内の溶液の排出）にも十分に時間をかけたにもかかわらず、溶液が水中に漏出してしまった。注入量（Nとして約3,800g）と槽容量（約45m³）から概算すると、注入量の約40%が漏出したことになる。

表4-1 現地測定結果

水交換 底層処理

No.1	項目	準備期間																		備考
		7月22日	7月24日	7月28日	7月30日	8月4日	8月7日	8月12日	8月17日	8月21日	翌日	2日目	4日目	1週間目	2週間目	1ヶ月目	2ヶ月目	水交換後	3ヶ月目	
水	水温	28.7	28.4	29.2	30.6	33.1	29.8	30.1	31.4	30.0	29.1	33.4	32.3	28.7	28.9	25.1	21.7	18.7	11.9	6.8
	表層	℃																		
	底層	℃	26.8	28.2	27.1	28.0	31.0	29.7	30.0	29.5	28.9	29.2	29.1	28.9	26.2	24.5	21.6	18.6	10.9	6.4
	pH																			
	表層		9.3		8.7	9.5	9.2	8.4	7.3	7.0	7.2	9.4	9.4	8.5	8.0	8.7	8.5	7.8	7.9	7.5
	底層		8.5																	
質	DO																			
	表層	mg/l	15.5	15.6	9.0	13.8	11.5	7.6	8.1	4.6	7.1	11.4	12.9	6.8	6.2	13.8	9.1	7.2	11.2	12.2
	底層	mg/l	12.2	17.2	6.5	6.4	9.9	7.2	8.2	2.8	3.9	3.2	4.8	5.5	4.5	6.4	3.7	6.9	9.9	12.0
	pH																			
	表層		6.6	6.7	6.8	6.8	6.8	7.0	7.1	7.2						6.8		6.8	6.8	6.8
	底層		-144	-157	-135	-144	-159	-132	-114							-155			-108	53
水	水温																			
	表層	℃	28.8	28.4	29.3	31.0	33.1	29.7	32.4	30.0	28.6	32.5	32.1	29.0	28.6	25.3	21.8	19.1	12.1	6.9
	底層	℃	26.9	28.1	27.1	28.4	31.2	29.6	28.3	28.7	28.3	29.1	29.5	29.0	28.9	24.5	21.6	18.5	10.8	6.8
	pH																			
	表層		9.6		8.7	9.3	9.4	8.4	10.4	7.0	7.1	9.4	8.9	7.7	8.1	8.5	8.6	7.8	7.8	7.4
	底層		9.7																	
質	DO																			
	表層	mg/l	21.5	17.2	9.2	13.5	12.8	8.1	18.1	30.9	7.8	8.8	11.6	12.7	6.7	9.2	14.8	10.1	7.9	11.6
	底層	mg/l	19.6	18.8	5.8	6.1	12.1	7.7	7.6	0.6	4.4	5.7	6.0	9.4	6.4	4.7	5.5	4.8	7.4	11.7
	pH																			
	表層		7.5	6.8	6.9	6.8	6.8	6.6	6.8	6.7						6.7		6.7	6.8	6.8
	底層		-157	-140	-143	-137	-149	-148	-96							-131			-112	11
水	水温																			
	表層	℃	29.1	28.5	29.5	31.1	33.4	29.8	31.4	30.0	28.9	31.9	33.1	28.9	28.7	25.2	21.6	19.0	12.2	6.7
	底層	℃	26.6	28.2	27.3	28.2	31.2	29.7	29.2	29.2	28.7	29.2	29.2	29.0	27.1	24.3	21.2	18.5	10.9	6.5
	pH																			
	表層		9.9		8.9	9.7	9.4	8.4	9.2	10.4	7.0	6.8	6.7	7.4	9.9	10.6	9.3	7.8	7.6	8.4
	底層		9.8																	
質	DO																			
	表層	mg/l	20.8	16.5	9.8	16.5	12.5	7.2	17.2	7.8	7.8	11.3	12.4	9.7	21.0	15.0	12.0	7.8	10.8	14.6
	底層	mg/l	18.6	17.8	6.3	6.1	10.4	6.8	6.0	8.7	5.5	3.4	6.5	7.5	10.8	5.2	7.4	7.1	8.4	14.7
	pH																			
	表層		6.9	6.7	6.8	6.7	6.7	6.7	6.8	6.9						7.0			6.8	7.1
	底層		-149	-152	-140	-150	-154	-156	-120							-69			-96	22
水	水温																			
	表層	℃	55	56	64	54	48	47	82							137			120	241
	底層	℃																		
	pH																			
	表層																			
	底層																			

EK(mV)=E+206-0.7(t-25)

E: ORPの表示値(mV)

t: 測定時の温度(℃)

表4-2 水質分析結果

(mg/L)

			T-N	NH4-N	NO2-N	NO3-N	Org-N	T-P	PO4-P	Other-P	Ca	Chl. a		
水交換>	98/08/17	No. 1	表層	0.385	0.020	0.005	0.031	0.329	0.051	0.005	0.046	18.4	0.007	
			底層	0.473	0.047	0.007	0.033	0.386	0.070	0.011	0.059	18.4	—	
		No. 2	表層	1.41	0.030	0.003	0.005	1.37	0.150	0.007	0.143	18.1	0.111	
			底層	1.40	0.030	0.003	0.042	1.32	0.193	0.011	0.182	18.9	—	
		No. 3	表層	0.873	0.029	0.003	0.017	0.824	0.097	0.008	0.089	19.7	0.045	
			底層	0.649	0.014	0.002	0.011	0.622	0.097	0.010	0.087	19.7	—	
	98/08/21	No. 1	表層	1.18	0.027	0.073	0.386	0.691	0.087	0.032	0.055	17.5	0.002	
			底層	1.05	0.140	0.181	0.412	0.320	0.081	0.029	0.052	17.5	—	
		No. 2	表層	1.27	0.060	0.080	0.394	0.734	0.125	0.040	0.085	16.8	0.002	
			底層	1.49	0.204	0.163	0.386	0.734	0.121	0.029	0.092	17.2	—	
		No. 3	表層	1.14	0.013	0.184	0.374	0.571	0.088	0.036	0.052	17.2	0.001	
			底層	1.05	0.050	0.267	0.464	0.269	0.079	0.032	0.047	17.4	—	
処 理>	98/08/22	No. 3	表層	35.2	0.293	0.061	32.9	1.86	—	—	—	—	—	
			底層	35.3	0.269	0.062	32.8	2.15	—	—	—	—	—	
	98/08/23	No. 3	表層	38.7	0.097	0.105	34.6	3.96	—	—	—	—	—	
			底層	38.5	0.176	0.091	35.1	3.14	—	—	—	—	—	
	98/08/25	No. 3	表層	38.4	0.057	0.125	35.2	3.05	—	—	—	—	—	
			底層	38.6	0.070	0.110	35.9	2.46	—	—	—	—	—	
	98/08/28	No. 3	表層	37.3	0.109	0.137	35.3	1.81	—	—	—	—	—	
			底層	37.4	0.111	0.136	35.6	1.49	—	—	—	—	—	
	水交換>	98/09/04	No. 1	表層	1.48	0.199	0.017	0.108	1.16	0.259	0.158	0.101	25.6	0.009
				底層	1.80	0.322	0.019	0.017	1.44	0.303	0.174	0.129	25.3	—
			No. 2	表層	0.860	0.029	0.007	0.022	0.802	0.094	0.028	0.067	19.9	0.015
				底層	1.06	0.041	0.006	0.024	0.990	0.093	0.024	0.069	20.0	—
No. 3			表層	36.4	0.050	0.263	33.2	2.94	0.138	0.028	0.110	61.1	0.129	
			底層	37.4	0.066	0.257	33.7	3.36	0.111	0.023	0.088	61.6	—	
98/10/16		No. 1	表層	0.674	0.101	0.013	0.219	0.341	0.109	0.047	0.062	26.0	0.027	
			底層	0.648	0.241	0.015	0.109	0.284	0.087	0.045	0.042	26.1	—	
		No. 2	表層	0.908	0.028	0.004	0.011	0.866	0.113	0.061	0.052	18.8	0.072	
			底層	0.645	0.063	0.007	0.008	0.566	0.074	0.022	0.052	18.6	—	
		No. 3	表層	28.5	0.057	0.125	26.5	1.83	0.135	0.039	0.097	50.1	0.194	
			底層	29.3	0.060	0.178	26.9	2.13	0.122	0.020	0.102	51.4	—	
	98/10/30	No. 1	表層	0.910	0.060	0.006	0.049	0.795	0.207	0.018	0.189	21.7	0.128	
			底層	0.625	0.022	0.004	0.019	0.581	0.094	0.013	0.082	26.1	—	
		No. 2	表層	0.901	0.017	0.005	0.018	0.861	0.236	0.023	0.214	18.2	0.130	
			底層	0.488	0.021	0.003	0.013	0.451	0.082	0.014	0.068	18.2	—	
		No. 3	表層	15.2	0.073	0.813	10.3	4.08	0.201	0.017	0.184	39.9	0.233	
			底層	13.8	0.078	0.913	11.1	1.70	0.136	0.022	0.115	44.3	—	
水交換>	98/10/30	No. 1	表層	1.45	0.183	0.047	0.885	0.335	0.106	0.055	0.052	13.6	0.005	
			底層	1.47	0.193	0.046	0.850	0.384	0.123	0.056	0.067	13.7	—	
		No. 2	表層	1.46	0.196	0.044	0.889	0.330	0.119	0.054	0.065	13.5	0.004	
			底層	1.53	0.201	0.045	0.893	0.396	0.123	0.054	0.069	13.8	—	
		No. 3	表層	1.50	0.220	0.047	0.889	0.343	0.122	0.052	0.070	14.5	0.004	
			底層	1.53	0.230	0.049	0.903	0.343	0.138	0.054	0.084	14.4	—	
	99/02/19	No. 1	表層	1.08	0.081	0.004	0.014	0.983	0.064	0.013	0.051	23.7	0.003	
			底層	0.489	0.094	0.005	0.017	0.374	0.057	0.015	0.042	20.8	—	
		No. 2	表層	0.440	0.107	0.004	0.020	0.309	0.057	0.015	0.043	19.0	0.002	
			底層	0.883	0.163	0.003	0.023	0.693	0.082	0.022	0.060	23.8	—	
		No. 3	表層	0.913	0.020	0.006	0.024	0.863	0.092	0.015	0.077	34.7	0.019	
			底層	0.801	0.029	0.006	0.019	0.746	0.102	0.022	0.080	28.3	—	

No. 1 : 過酸化カルシウム処理槽 No. 2 : コントロール槽 No. 3 : 硝酸カルシウム処理槽

4.2 底質分析結果

底質の調査結果を表4-3～表4-7及び図4-1、図4-2に示す。

表4-3、表4-4を見ると、処理前の8月17日までの段階で各槽の底質にかなりの差があることがわかる。同じ浚渫区域（矢橋中間水路部）の浚渫土を同じ新浜地先の堆積場から同じ日に搬入したにも関わらず3槽の間でこのような違いがあった。とすれば、同じ槽内でも場所によって底質はかなりバラツキがあるものと推定された。

酸化還元電位のNo.3層の結果（図4-1）をみると、処理前の8月17日で-120mvを示していたが、処理後の9月25日には-69mvと、硝酸カルシウムによる処理の効果と思われる電位の上昇が認められた。

硫化物の分析結果（図4-2）をみると、No. 3槽の処理後は他の2槽に比べて明らかに低く、その後の結果も硫化物の溶出を押さえており、硝酸カルシウムによる酸化効果が認められた。

表4-3 底質現地調査結果

		7/22	7/24	7/28	7/30	8/4	8/7	8/12	8/17	9/25	10/22	11/25	2/19
No.1	pH	6.6	6.7	6.9	6.8	6.8	7.0	7.1	7.2	6.8	6.8	6.8	6.8
	ORP	-144	-157	-135	-144	-159	-132	-121	-114	-155	-122	-106	53
	酸化還元電位(Eh) (mV)	59	51	69	60	43	70	81	87	51	86	110	271
	pH、Eh測定時の温度 (°C)	29.3	22.6	27.6	28.5	31.1	30.1	30.6	32.7	24.5	21.6	10.9	7.2
No.2	pH	7.5	6.8	6.9	6.8	6.8	6.6	6.8	6.7	6.7	6.8	6.7	6.8
	ORP	-157	-140	-143	-137	-149	-148	-133	-96	-131	-164	-112	11
	酸化還元電位(Eh) (mV)	45	67	61	67	53	55	70	107	75	45	104	229
	pH、Eh測定時の温度 (°C)	31.3	22.9	27.8	28.3	30.9	29.4	28.6	28.6	24.5	20.6	10.8	8.1
No.3	pH	6.9	6.7	6.8	6.7	6.7	6.7	6.8	6.9	7.0	6.8	6.8	7.1
	ORP	-149	-152	-140	-150	-154	-156	-125	-120	-69	-147	-96	22
	酸化還元電位(Eh) (mV)	55	56	64	54	48	47	77	82	137	62	120	241
	pH、Eh測定時の温度 (°C)	27.2	22.2	28.4	28.3	30.9	29.6	30.1	30.5	24.3	20.9	10.9	7.0

No.1: 過酸化カルシウム処理槽 No.2: コントロール槽 No.3: 硝酸カルシウム処理

表4-4 底質分析結果（8月17日）

		No. 1 過酸化カルシウム	No. 2 コントロール	No. 3 硝酸カルシウム
含水率 (%)		57.5	57.6	57.4
強熱減量 (%)		8.6	8.5	9.3
粒度分布	礫分 2mm～75mm (%)	1.5	0.7	0.9
	砂分 75 μ m～2mm (%)	9.2	7.4	10.7
	シルト分 5 μ m～75 μ m (%)	63.5	63.9	60.5
	粘土分 5 μ m未満 (%)	25.8	28.0	27.9
全窒素 (T-N) (mg/Dryg)		1.7	2.0	2.6
全リン (T-P) (mg/Dryg)		1.0	1.3	1.0

表4-5 底質分析結果（11月25日）

		No. 1 過酸化カルシウム	No. 2 コントロール	No. 3 硝酸カルシウム
含水率 (%)		52.0	50.2	63.2
強熱減量 (%)		8.4	8.3	9.8
粒度分布	礫分 2mm～75mm (%)	1.5	0.5	0.0
	砂分 75 μ m～2mm (%)	7.6	8.4	2.4
	シルト分 5 μ m～75 μ m (%)	39.4	50.1	46.2
	粘土分 5 μ m未満 (%)	51.5	41.0	51.4
全窒素 (T-N) (mg/Dryg)		1.2	1.7	2.5
全リン (T-P) (mg/Dryg)		0.49	0.54	0.79

表4-6 底質分析結果（2月19日）

		No. 1 過酸化カルシウム	No. 2 コントロール	No. 3 硝酸カルシウム
含水率 (%)		51.4	53.1	64.5
強熱減量 (%)		9.5	10.4	10.7
粒度分布	礫分 2mm～75mm (%)	0.2	0.6	0.0
	砂分 75 μ m～2mm (%)	10.0	9.8	5.5
	シルト分 5 μ m～75 μ m (%)	58.5	62.6	64.3
	粘土分 5 μ m未満 (%)	31.3	27.0	30.2
全窒素 (T-N) (mg/Dryg)		2.0	3.3	3.0
全リン (T-P) (mg/Dryg)		0.61	0.69	1.3

表4-7 硫化物分析結果 (mg/Dryg)

	8/17	9/25	10/22	11/25	2/19
No. 1 (過酸化カルシウム)	0.27	0.26	0.15	0.13	0.30
No. 2 (コントロール)	0.29	0.30	0.26	0.16	0.25
No. 3 (硝酸カルシウム)	0.28	0.17	0.11	0.06	0.11

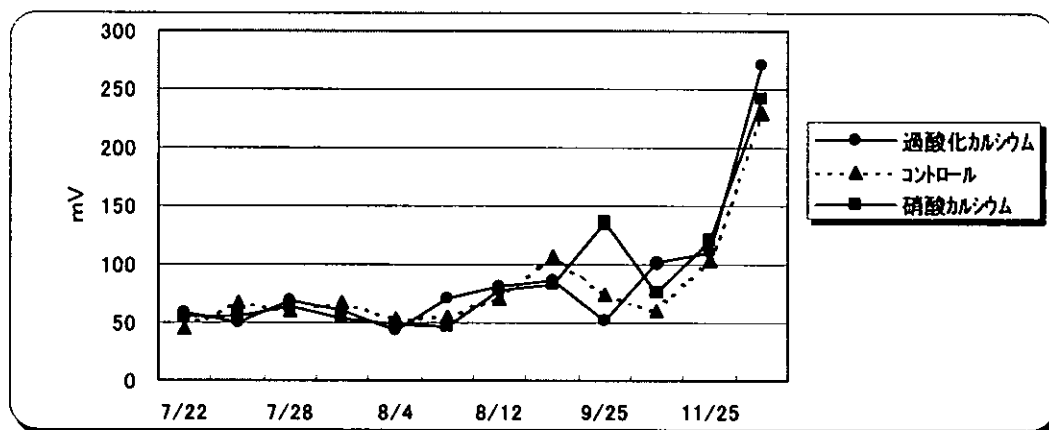


図4-1 底質の酸化還元電位 (Eh)

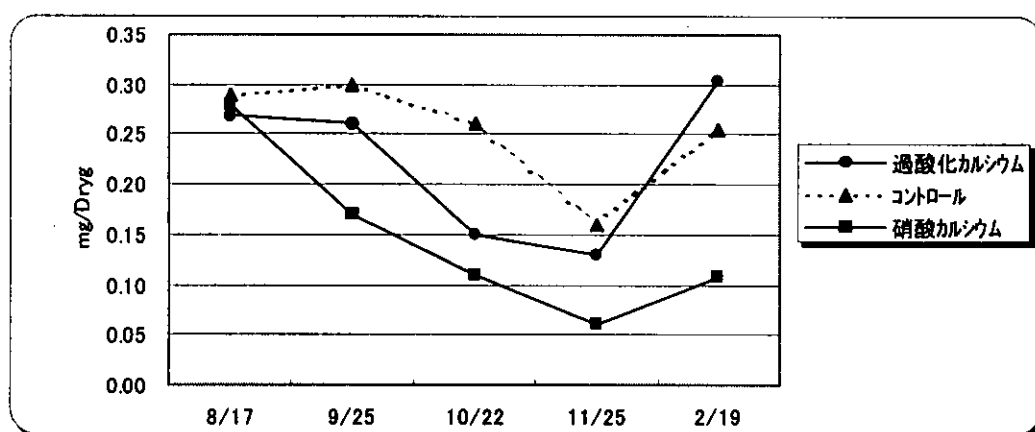


図4-2 底質中の硫化物

4.3 底質間隙水の分析結果

底質間隙水及び直上水の分析結果を表4-8～表4-10及び図4-3に示す。

底質直上水については、No. 2槽（コントロール）の8月17日（処理前）と9月25日（処理1ヶ月後）を除いて各槽とも調査期間中低い濃度で推移していた。No. 2槽の8月と9月に高い値がみられたのは、この槽は処理前のアオコ発生が著しく、水を汲み出した後も底泥表面にかなりのアオコがマット状に残っていたことによると考えられる。

間隙水上層（0～5cm）はバラツキが大きい。No. 3槽において、9月25日のピーパー1とピーパー2、1月11日のピーパー1で非常に低い値がみられるのは、硝酸カルシウムによる処理効果と考えられる。

No. 1槽の11月25日と1月11日のピーパー2についても、過酸化カルシウムによる処理の効果が現れている可能性がある。No. 1槽の9月25日が処理前より上昇しているのは、過酸化カルシウムの強い酸化力（あるいは処理に伴うpHの上昇）によって、底泥表層の藻類の死骸等が一部分解されてリンが溶出した可能性が考えられる。この日は直上水にもわずかながら濃度の上昇が認められた。

間隙水下層（6～11cm）については、No. 1槽（過酸化カルシウム処理）とNo. 2槽（コントロール）はほぼ同様で、夏季から冬季に移るにつれて緩やかな減少傾向が認められる。No. 1槽は粒状の過酸化カルシウムを水面から散布処理したものであるため、下層の間隙水にはほとんど効果が現れていない。

No. 3槽も傾向としては同様であるが、9月25日のピーパー2については、処理の効果がえられたものと考えられる。

表4-8 No.1における底質間隙水中のリン酸態リン経時変化 (mg/l)

	8月		9月		11月	
	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2
直上水	0.019	0.023	0.044	0.047	0.012	0.019
0~5 cm	0.531	0.349	0.641	1.54	1.55	0.142
6~11cm	1.93	1.76	1.38	1.62	1.26	0.914
	1月		2月			
	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2		
直上水	0.008	0.010	0.004	0.002		
0~5 cm	0.594	0.085	0.444	0.395		
6~11cm	1.04	0.993	0.888	0.868		

表4-9 No.2における底質間隙水中のリン酸態リン経時変化 (mg/l)

	8月		9月		11月	
	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2
直上水	0.634	0.577	0.315	0.014	0.002	0.003
0~5 cm	1.78	1.59	0.865	1.04	1.00	2.03
6~11cm	1.63	1.76	1.48	1.32	0.951	1.20
	1月		2月			
	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2		
直上水	0.013	0.013	0.006	0.007		
0~5 cm	0.725	0.825	0.196	0.999		
6~11cm	1.17	1.30	1.03	1.06		

表4-10 No.3における底質間隙水中のリン酸態リン経時変化 (mg/l)

	8月		9月		11月	
	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2
直上水	0.021	0.019	0.015	0.019	0.018	0.018
0~5 cm	1.34	1.53	0.048	0.064	0.816	1.12
6~11cm	1.72	1.83	2.19	0.044	1.04	0.992
	1月		2月			
	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -1	ヒ ⁺ -ハ ⁺ -2		
直上水	0.015	0.016	0.007	0.009		
0~5 cm	0.036	0.794	1.16	0.122		
6~11cm	0.759	1.15	0.661	0.560		

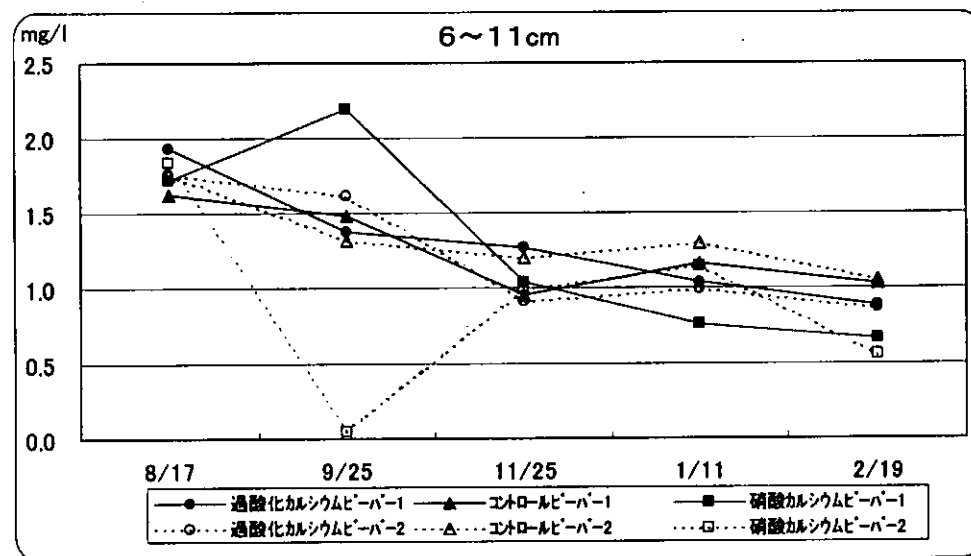
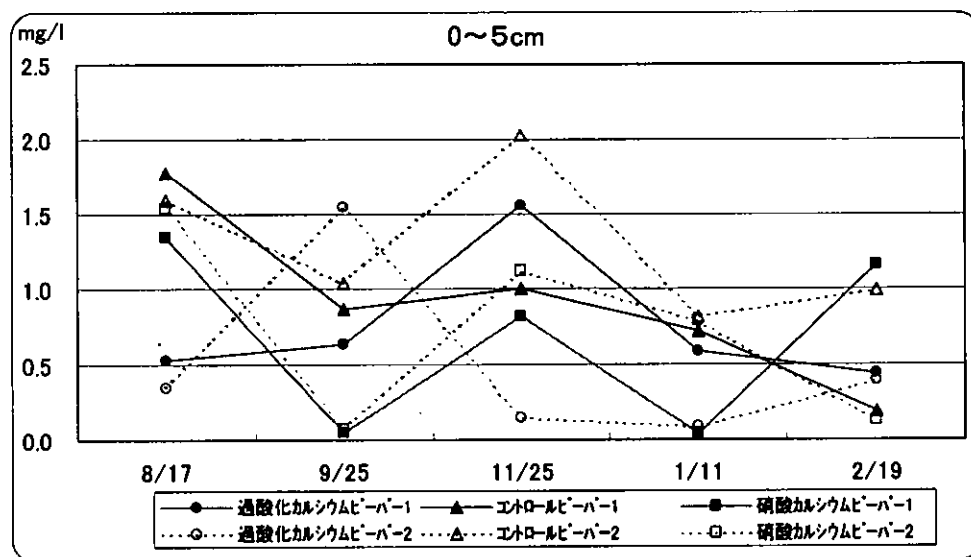
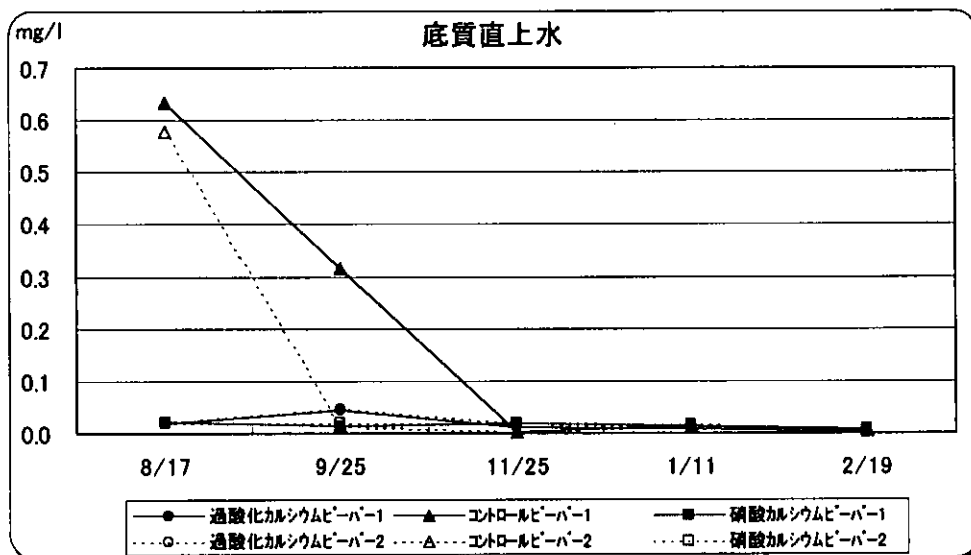


図4-3 底質間隙水中のリン酸態リン

4.4 生物調査結果

4.4.1 底生動物

調査結果を表4-11に示す。全地点から3目3科7分類群の底生動物が確認された。8月17日には、No.1およびNo.3でオオユスリカをはじめユスリカ類が多く出現した。9月25日以降は各地点とも出現分類群数は1～3と少なく、出現種の現存量も貧弱であった。ユスリカ類が減少したのは、8月の中旬以降という時期を考慮すると、羽化したものと考えられる。

4.4.2 植物プランクトン

調査結果を表4-12及び図4-4、図4-5に示す。

体積で表した現存量は、No.1は $42 \sim 33800 \times 10^3 \mu\text{m}^3\text{ml}^{-1}$ 、No.2は $109 \sim 61900 \times 10^3 \mu\text{m}^3\text{ml}^{-1}$ 、No.3は $42 \sim 23100 \times 10^3 \mu\text{m}^3\text{ml}^{-1}$ の範囲で変動した。No.1及びNo.2は10月16日に、No.3では9月25日に極大を示した（図4-4）。

大きな消長がみられた種は、No.1及びNo.2では渦鞭毛藻 *Ceratium hirundinella*（ケラチウム ヒルンディネラ）、褐色鞭毛藻 *Cryptomonas* sp.（クリプトモナスの一種）など、No.3では藍藻 *Oscillatoria* sp.（オシトリアの一種）、藍藻 *Microcystis aeruginosa*（ミクロシステイス エルギノサ）、緑藻 *Carteria* sp.（カルテリアの一種）などであった。

*Ceratium hirundinella*はNo.1では10月16日に、No.2では9月25日～10月16日に多く出現したが、No.3では確認されなかった。*Oscillatoria* sp.はNo.3で処理実験後に多く出現したが、No.1及びNo.2では確認されなかった。*Microcystis aeruginosa*はNo.2では8月17日に、No.3では8月21日に減少しているが、8月17日～10月16日にかけて多く出現した。

表4-11 底生動物調査結果

綱/目	科名	和名	Species	1998. 8. 17			1998. 8. 25			1998. 9. 25			1998. 10. 22			1999. 2. 19		
				No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
ナガミミズ目	イトミミズ科	エラミミズ	<i>Branchiura sowerbyi</i>													2	1	
		イトミミズ類	<i>Tubificidae</i> gen. spp.	1	3	4	3	8	1	3	6	1		2	1	3	1	2
ウオビル目	グラシフィニ科	ヒルの一種	<i>Glossiphoniidae</i> gen. sp.		3	6			2			2						
ハエ目	ユスリカ科	オオユスリカ	<i>Chironomus plumosus</i>	17	1	55											2	2
		セスジユスリカ	<i>Chironomus yoshimatsui</i>			8										11		
		カユスリカの一属	<i>Procladius</i> sp.	6		4	1			1								1
		エリユスリカ類	<i>Orthocladiinae</i> gen. spp.										1					
		ユスリカ類	<i>Chironominae</i> gen. spp.	10		16			1			1						
合 計				34	7	93	4	8	4	4	6	4	3	1	14	3	5	5

注) 学名、和名および配列は「平成7年度版 河川水辺の国勢調査生物種目録」に従った。
固体数/0.045m³

表4-12 植物プランクトン調査結果 (細胞体積)

[illegible]

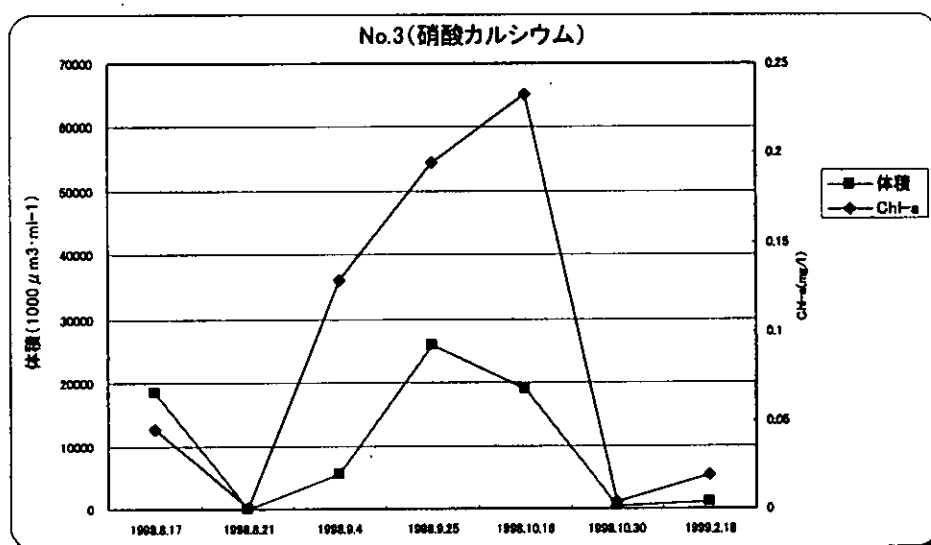
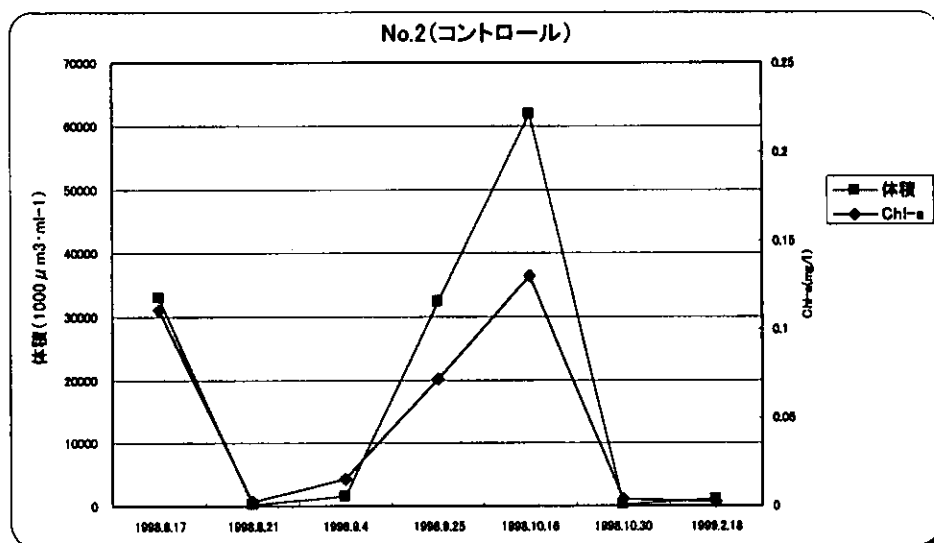
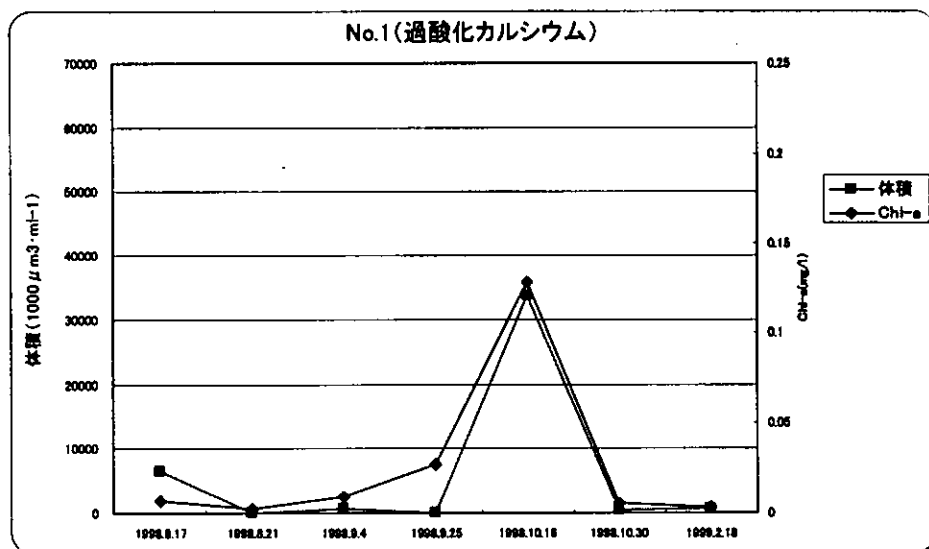


図4-4 植物プランクトン体積現存量とクロロフィル量

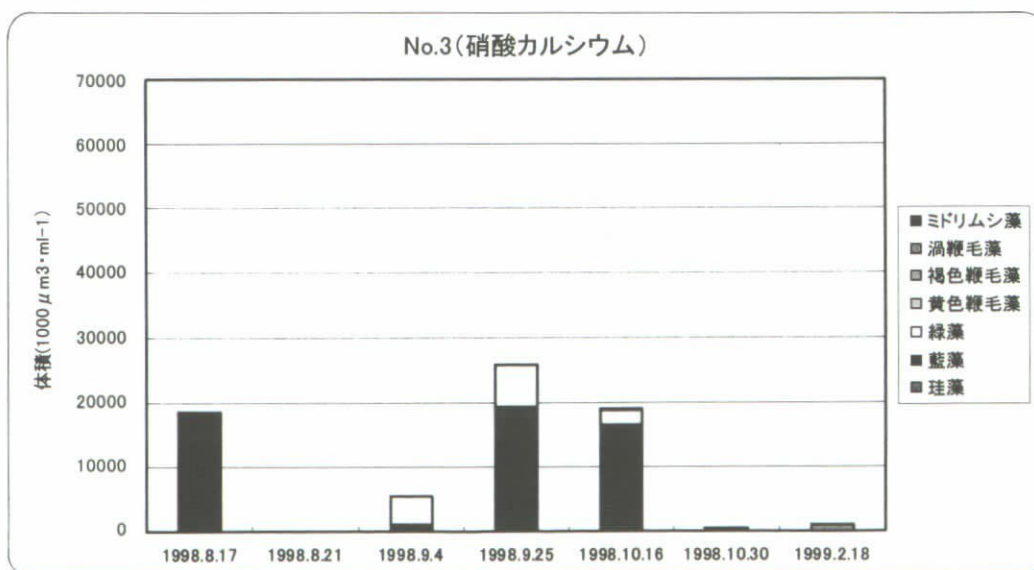
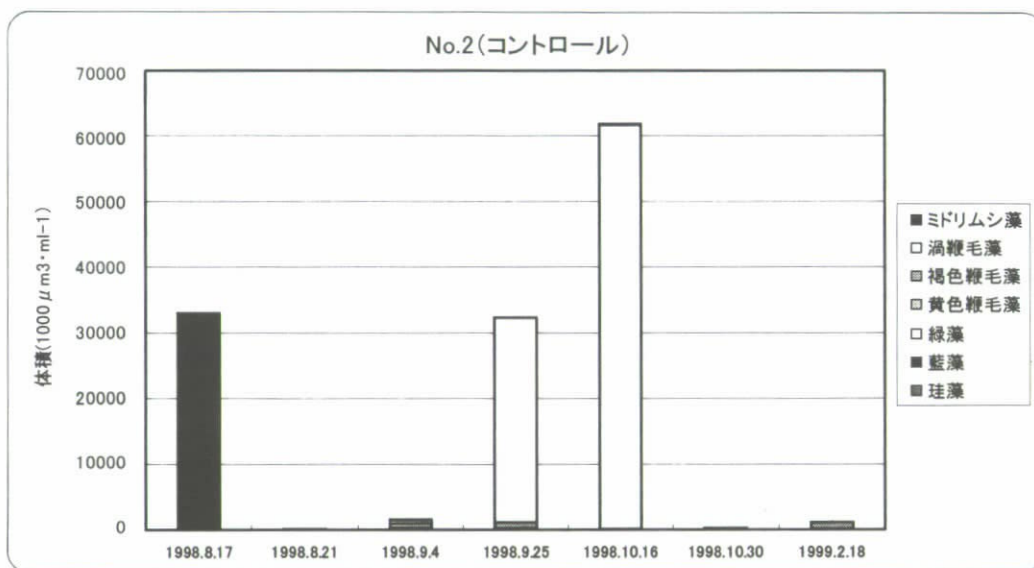
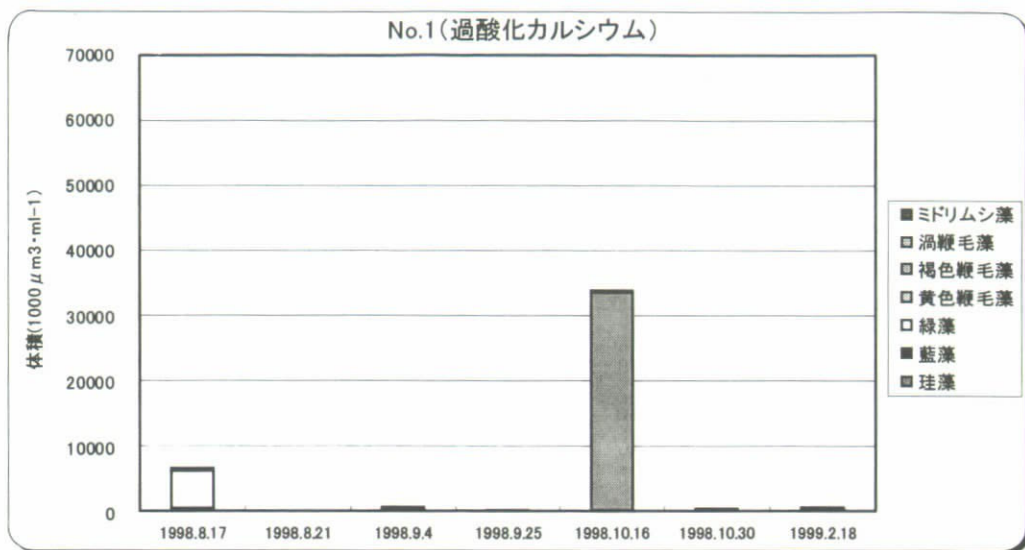


図4-5 植物プランクトン網別現存量の割合

4.4.3 貝類

調査結果を表4-13、表4-14及び図4-6に示す。過酸化カルシウムを散布したNo. 1槽に投入したタテボシのかごを1-1、1-2とし、No. 1槽の泥区に入れたセタシジミのかごを1-M-1、1-M-2、砂区に入れたセタシジミのかごを1-S-1、1-S-2とした。No. 2槽、No. 3槽についても同様に表記している。

表4-13に示すように、タテボシは投入の1週間後の時点で3分の1以下になり、2週間後にはほとんど全滅した。コントロールのNo. 2槽では半年後でも生存している個体があったが、生存率は約10%であり、他の槽と同様に投入直後に激減していた。このことから2つの処理槽での全滅も処理による影響とは言い切れず、実験池への投入という環境の変化が主要な原因であったと考えられる。

セタシジミは半年後の2月の調査時点で、68～97%、平均89%が生存していた。槽別に生存率を比べると、No. 1槽とNo. 2槽がほとんど同じで、No. 3槽がやや高かった。また、砂区と泥区を比べても、やや砂区の方が生存率が高かった。

表4-14に示すように、殻長と重量の平均値ではどのかごも2月の数値が8月を上回っていた。度数分布図（図4-6、一例として硝酸カルシウム処理槽の泥区1）により8月と2月の分布を比べてみると、小さい個体が減り、大きい個体が増えている傾向がわかる。これによって平均値の増加は、小さな個体の死亡によるものではなく、成長によるものであることがわかる。

4.4.4 魚類

8月22日にNo. 3槽で1匹、8月28日にNo. 1槽で1匹、死亡していた。

表4-13 貝の生存状況

タテボシ

単位:個

		8/21	8/28	9/3	9/25	10/22	2/20
過酸化カルシウム	1-1	39	7	1	0		
	1-2	39	13	2	0		
コントロール	2-1	39	16	6	5	5	5
	2-2	39	18	6	4	4	3
硝酸カルシウム	3-1	39	7	0			
	3-2	39	9	0			

セタジミ(泥区)

単位:個

		8/21	8/28	9/3	9/25	10/22	2/20
過酸化カルシウム	1-M-1	100	93	73	71	69	68
	1-M-2	100	97	96	96	95	93
コントロール	2-M-1	100	100	99	96	94	86
	2-M-2	100	99	98	94	92	87
硝酸カルシウム	3-M-1	100	98	98	98	97	94
	3-M-2	100	99	99	99	99	97

セタジミ(砂区)

単位:個

		8/21	8/28	9/3	9/25	10/22	2/20
過酸化カルシウム	1-S-1	100	96	95	93	92	85
	1-S-2	100	98	97	96	95	94
コントロール	2-S-1	100	96	96	96	95	82
	2-S-2	100	99	99	99	97	90
硝酸カルシウム	3-S-1	100	99	99	—	100	97
	3-S-2	100	96	96	95	95	95

9月25日のかご3-S-1は転倒していた為、10月に新たに100個補充

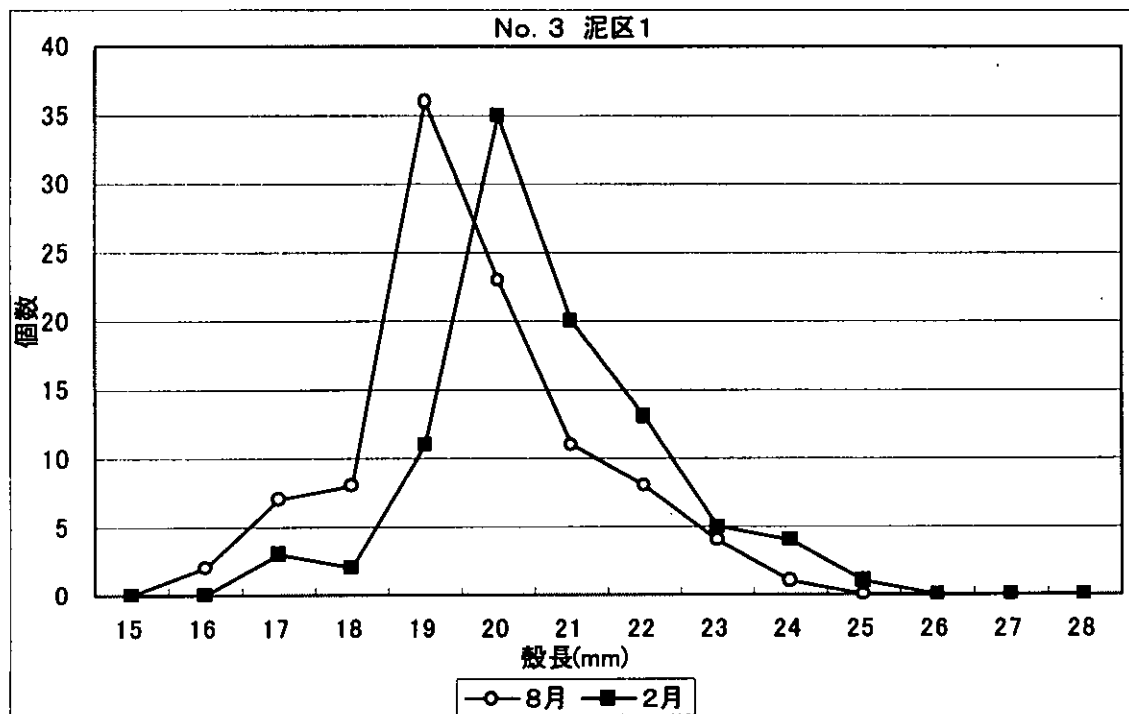


図4-6 セタジミ殻長度数分布図

表4-14 セタシジミの殻長と重量の平均値

平成10年8月

	殻長(mm)				重量(g)			
	砂区		泥区		砂区		泥区	
	かご 1	かご 2	かご 1	かご 2	かご 1	かご 2	かご 1	かご 2
過酸化カルシウム	19.81	19.84	19.65	19.87	2.83	2.82	2.71	2.80
コントロール	20.66	19.41	19.41	19.65	3.25	2.68	2.64	2.80
硝酸カルシウム	19.98	19.54	19.68	19.65	2.89	2.71	2.68	2.73

平成11年2月

	殻長(mm)				重量(g)			
	砂区		泥区		砂区		泥区	
	かご 1	かご 2	かご 1	かご 2	かご 1	かご 2	かご 1	かご 2
過酸化カルシウム	20.76	20.34	20.17	20.54	3.08	2.99	2.87	3.05
コントロール	21.43	20.37	20.71	20.64	3.49	3.01	3.08	3.11
硝酸カルシウム	21.78	20.42	20.57	20.60	3.70	2.98	3.08	3.08

(平成11年2月)－(平成10年8月)

	殻長(mm)				重量(g)			
	砂区		泥区		砂区		泥区	
	かご 1	かご 2	かご 1	かご 2	かご 1	かご 2	かご 1	かご 2
過酸化カルシウム	0.95	0.50	0.52	0.67	0.25	0.17	0.16	0.25
コントロール	0.77	0.96	1.30	0.99	0.24	0.33	0.44	0.31
硝酸カルシウム	1.80	0.88	0.89	0.95	0.81	0.27	0.40	0.35

5. 総合考察と今後の課題

5.1 酸化剤の底質改善効果の検討

5.1.1 間隙水水質の経時変化

間隙水中のリン酸態リンの分析結果（図4-3）によると、No. 3槽（硝酸カルシウム注入）では、間隙水上層（0～5cm）のピーパー1、ピーパー2では明らかに処理の効果と思われるリン濃度の低下が観察された。残念ながら今回の実験では、注入作業を均一に行うことができなかったためにバラツキの大きい結果となっているが、硝酸カルシウム溶液をうまく注入できた部分に関しては、確実に間隙水中のリン濃度を低下させることができるものと考えられる。

粒状過酸化カルシウムの散布処理については、底泥表層の間隙水中のリン濃度が低下したデータも一部得られたが、その一方で、底泥中の藻類の死骸等を分解してリンを溶出させる場合もあることを窺わせるデータも得られた。

5.1.2 槽内水質の変化

今回の実験にあたり、底質からの栄養塩の溶出が問題になるような底質と湖水の状態を再現することを意図して、底泥上に湖水を張ってから処理までに1ヶ月程度の準備期間を置くことを計画したが、注水の3日後（7月22日）には既に各槽にアオコが発生するという予期しない結果になった。その後、週2回の頻度でモニタリングを続けたが状況は改善されず、また3つの槽の状態にかなり違いがみられたため、処理の前に水を全部交換したが、各槽の初期条件を十分揃えることはできなかった（表4-2）。

処理後の経過をみても、各槽いずれも10月にかけて植物プランクトンの大増殖がみられている（図4-4）。結果的にNo. 3槽に発生したアオコが最も濃厚であった。しかしながら、滋賀県琵琶湖研究所などで行われた研究によると、*Microcystis*をはじめとする藍藻は硝酸態窒素の要求性は低いとされていることから、硝酸カルシウムが水中に漏出したことが直接アオコ発生の原因になったとは考えにくい。図4-5をみると、硝酸カルシウムの漏出が一因となってまず緑藻が増殖し、増殖した緑藻類が枯死して分解された結果アンモニア態窒素として水中に供給され、藍藻の増殖につながった可能性が窺える。また、No. 3槽は注入作業を行ったため、他の槽よりも底質が攪乱される度合いが大きかったことも、大きな要素と考えられる。

10月下旬に再び全槽の水を交換した後は、各槽とも窒素、リンの濃度は低下し、2月の時点では明確な違いは表れていない。

したがって、槽内水質のモニタリング結果からは、底質処理の効果を見いだすことはできなかった。

5.1.3 底質の変化

底質分析結果（表4-3、表4-4）に示したように、各槽の底質は処理前の初期状態から均一ではなかったが、硫化物の分析結果（図4-2）をみると、硝酸カルシウムによる酸化効果が明らかに認められ、過酸化カルシウムについても、硝酸カルシウムに比べるとやや劣るものの、処理の効果が認められる。これは、処理方法の違い（硝酸カルシウムは溶液を底泥中に注入したのに対して、過酸化カルシウムは底泥表面に粒状物を散布した）を考慮すると、やむを得ない結果と考えられる。

なお、水質分析結果の項で述べたように、No. 3槽の硝酸カルシウム注入作業において、多量の硝酸カルシウムが水中に漏出した。この原因としては、

- 1) 注入器の不具合（チェックバルブが機能していなかった？）
- 2) 注入操作の問題（上げ下げをクレーンで行ったため、巻き上げが多かった？）
- 3) 底泥が自然の湖底泥に比べて固かったために、注入ロッドが十分入らなかった場合があった？
- 4) 同じ理由で、挿入した注入ロッドに沿って溶液が漏出した？

などが考えられるが、表4-4をみると、各槽の底泥の含水率は約57%とかなり低い（中間水路部で本年8月に実施された調査結果では、含水率60～70%）ことから、上記3) 4) の可能性が高いと考えられる。

5.2 生物への影響の検討

5.2.1 貝類の生息に及ぼす影響

今回の実験では、酸化剤による処理が生物に及ぼす影響を検討するため、各槽にタテボシとセタシジミの2種類の貝を投入したが、タテボシは各槽とも処理後1週間で激減し、過酸化カルシウム処理を行ったNo. 1槽では1ヶ月後の時点で、硝酸カルシウム処理を行ったNo. 3槽では2週間後の時点で全滅する結果となった。処理を行わなかったNo. 2槽では、処理の半年後も少数が生き残ったが、生存率は約10%にすぎず、他の2槽と同様に投入直後に激減している。この結果から2つの処理槽での全滅も酸化剤処理による影響とは言いきれず、実験池への投入という環境の変化が主要な原因であったと考えられる。

セタシジミは、処理の半年後(2月20日)の時点で、No. 1槽の泥区のかご1を除いて80%以上が生存しており、コントロール(No. 2槽)に比べて硝酸カルシウム処理を行ったNo. 3槽の方がむしろ生存率がよい結果となっている(表4-13)。処理後の2週間で生存率が70%近くにまで低下したNo. 1槽のかご1については、過酸化カルシウム処理に伴うpHの上昇などの影響を受けた可能性があるが、少なくとも硝酸カルシウム処理については、処理による悪影響は認められない。

殻長および重量の変化(表4-14)をみても、調査期間が半年にすぎないため明確な違いはみられないが、No. 3槽のセタシジミの成長は、No. 2槽と同程度か、むしろNo. 3槽の方が良好なようであるが、硝酸カルシウムと貝の成長率を関連づけるにはより長期的な観察が必要であると考えられる。

5.2.2 魚類及び底生動物の生息に及ぼす影響

処理の前日に各槽に体長約10cmコイ苗約40尾を投入したが、死亡した個体はNo. 1槽、No. 3槽で各1個体に過ぎず、処理による悪影響は認められない。

底生動物についても、各槽の底生動物相は貧弱で、ユスリカ類の羽化に伴うと思われる減少の他に目立った変化はなく、少なくとも処理による悪影響は認められない。

5.3 今後の課題

以上のように、深池型浄化実験施設C槽を3分割して行った硝酸カルシウムおよび過酸化カルシウムによる底質処理実験の結果、バラツキはあるものの処理の有効性を示すデータが得られ、魚介類や底生動物の調査結果をみる限りは、処理による悪影響はほとんど認められなかった。しかしながら、各槽の水質モニタリング結果は、処理の有無に関わらずアオコの発生がみられ、処理の効果を見いだすににくい結果となった。

このような結果につながった問題点としては、①底質の初期条件が揃わなかったこと、②水を溜めただけでアオコが発生するほど栄養塩濃度が高かったこと、③硝酸カルシウムが均一に注入されず、また注入量の約40%が水中に漏出してしまったことの3点が挙げられる。

以上の問題点を改善して、酸化剤による底質処理の効果を明確に把握するための課題としては、以下のことが考えられる。

①底泥の初期条件を均一に、かつ現実の底泥により近くすること。

- ・天日乾燥する前のできる限り新鮮な浚渫泥を、早い時期に搬入し、水温等の条件がアオコの発生条件に達するよりも前に実験場を整える。

- ・浚渫土の搬入に際しては、各運搬車両の搬入土をよく混合してから各槽に分配し、各槽内でもあらかじめ「代かき」のようなことをして底泥の条件の均質化を図る。

②水質の初期条件の調整

底泥の準備を整えた後、一旦うわ水を排水し、底質からの栄養塩溶出による差が出やすいようなきれいな水で実験を行う。これには、

- ・水道水を主に注水して植物プランクトンの種として湖水を少量加える、

- ・湖水をあらかじめ凝集沈澱などによって処理してから注水する、

- ・注水後に凝集加圧浮上処理してから実験を開始する、

等の方法がある。

③注入方法の改善

今回使用したディッパー式の注入器は、注入後に注入孔が残るため、作業が完璧に行われたとしてもある程度の漏出は避けられない方式である。操作性もよいとはいえ、実規模の処理には適用できないことは明らかである。

硝酸カルシウムの注入による底質処理のキーは、いかに水中に漏らさずに効率よく底質中薬液を注入するかにあり、実用化するためには効率のよい注入装置の開発を避けて通ることができない。

処理の効果を検証するという点に目的を絞れば、

- ・あらかじめ処理槽の中に注入用のパイプを敷設しておく
 - ・底泥を敷いた段階で硝酸カルシウムを混合してから注水する
- という選択肢も考えられる。

実験担当者

建設省近畿地方建設局琵琶湖工事事務所	水質調査課課長	森川 和夫
建設省近畿地方建設局琵琶湖工事事務所	水質調査課開発調整係長	板坂 浩和
財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構	実験センター所長	中山 繁
財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構	実験センター研究員	出倉 正人

5. 浅池型植生浄化実験

1. はじめに

近年、湖沼の水質保全を目的として、河川から流入する汚濁負荷の削減が求められており、その対策方法の一つに、植生および植物を含む生態系を利用した植生浄化手法がある。植生浄化手法は、汚濁物質の沈殿除去、吸着や吸収、微生物による有機物の分解によるもので、これまでに数多くの研究や試験施工が行われている。これまでの研究により浄化効果を高めるには、栄養塩および有機物を溶出するなどの悪影響を及ぼす堆積泥の管理、栄養塩を吸収した植物体を枯れる前に除去するなどの植生の管理が重要であることがわかっている¹⁾。

浅池型植生浄化施設は、水深5cm程度の池に水耕栽培性の植物を栽培して水質浄化を図るもので、①水深が浅いため、植物体や堆積泥などの派生物の管理が容易である、②生態系が持つ水質浄化機能を使用するため、維持管理費用が少ない、③有用植物により浄化を図れば住民参加型の施設としての可能性も期待できることなどが考えられる²⁾。

本実験で使用したクレソンは、多年生植物で、栄養体のまま越冬する^{3), 4)}ことから通年の水質浄化能力が期待される。一方、公共施設において住民参加が求められていることを考えれば、食用可能なクレソンは、住民が採取するなどの機会を与えることによって住民参加型の施設としての位置づけも可能である。さらに、身近な場所において水質浄化等の仕組みを知るといった環境教育の場にもなり得ると考えられる。これらのことから、本施設による水質浄化は、本来の目的である水質浄化と、住民参加や水質浄化の仕組みなどを知る環境教育の場としての目的を併せ持った有効な方法といえる。

これまでの研究により、クレソンを用いた水質浄化施設では、窒素、リンなどが除去できる事が明らかになっている^{1), 2)}が、水理条件や季節による浄化能力の違いや栽培管理方法と水質浄化性能の関係などは明確になっていない。そこで本実験では、琵琶湖流入河川への施設適用のための資料を得るため、水理条件や維持管理方法と水質浄化並びにクレソンの生長量との関係を調査するとともに、住民参加手法の検討を行った。

2. 実験施設諸元

2.1 施設の運転条件

浅池型植生浄化施設の概要図を図2-1に、運転条件を表2-1に示した。本施設は、勾配およびクレソンの栽培管理方法の異なる8水路に分岐させるコンクリート張りの構造である。本実験施設は特許公報平3-46200の有価植物栽培による浄水方法を利用した。流入水は葉山川の水とし、勾配は0.05%、0.5%、1.0%、1.5%とし、同一勾配の水路では、異なる栽培管理（刈取りのみ、刈取り後1/3除去）を行った。

表2-1 浅池型植生浄化施設の運転条件

水路名										A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	備 考	
水路勾配(%)										0.05		0.5		1.0		1.5		*1: 3.2植物調査方法において詳細説明 *2: 実験期間中測定した平均値 *3: 滞留時間の計算方法 滞留時間(分) = (水路面積 × 平均水深) / 通水量 水路面積: 16 × 2.5 = 40 m ²	
栽培管理 方法(*1)	刈取り	-	○	○	○	○	○	○	○										
	1/3除去	-	○	-	○	-	○	-	○										
通水量(m3/日)										79.3									
平均水深(cm)(*2)										-	7.4	5.9	5.2	5.5	4.8	4.4	4.1		
滞留時間(分)(*3)										-	54	43	38	40	35	32	30		
水路規模	水路幅 m	2.5																	
	水路長 m	16.0																	
施設規模										長さ20(m) × 幅20(m) × 高さ0.5(m)									

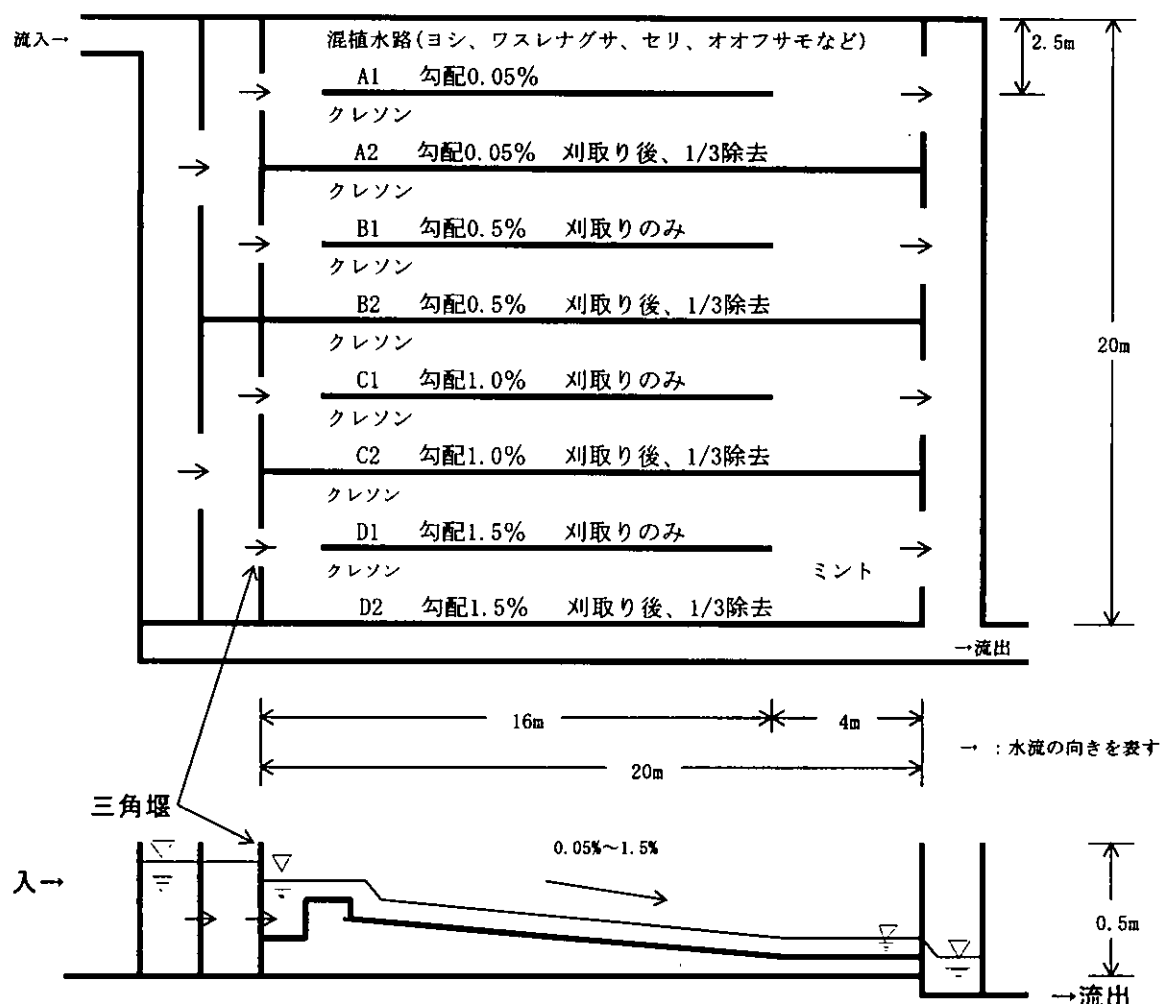
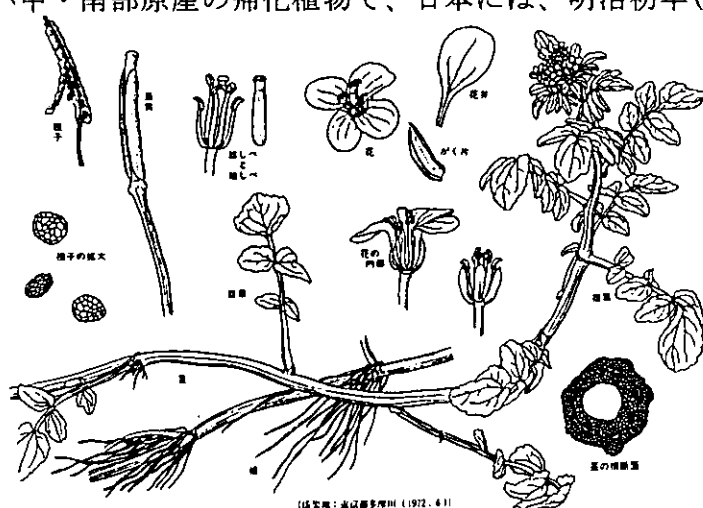


図2-1 浅池型植生浄化実験施設の概要図 (上段：平面図、下段：断面図)

2.2 使用植物

本実験に使用した植物は、「クレソン」*Nasturtium officinale* R. Br. (アブラナ科) で、和名はオランダガラシ (ミズガラシ、オランダミズガラシとも言う) である。フランス語でクレソン (Cresson) と言い、英語では、Watercress、中国語では、「豆瓣菜 (トウバンツァイ)」と言う。ヨーロッパ中・南部原産の帰化植物で、日本には、明治初年 (1970年) 頃渡来した。現在では、日本全国各地の冷水が流れる河川や池沼の浅水中に群生している。分布は広く、日本、アジア、ヨーロッパ、アフリカ、オーストラリア、北アメリカなど世界中で生育している。多年草であり、常緑でかぶのままで越冬する。低温に強く繁殖力が旺盛である。花期は5月～6月で直径4～6mmの白色の花卉をたくさんつける。図2-2に模式図を示した。



日本水生植物図鑑、北隆館 (1985)

図2-2 クレソン模式図

3. 実験内容

3.1 水質調査

表3-1に示した調査項目を、実験施設への流入部および各水路の最下流部の計8地点で測定した。調査頻度は1回/月とし、1997年9月から1998年9月まで行った。ただし、CODについては、1998年4月から1998年9月まで調査した。

採水は、調査日の14時から16時までの間に行い、ヒシヤクを用いて堆積物を巻き上げないように留意した。また水深が浅く、ヒシヤクでの採水が困難な時は、口が扁平な容器（チリトリ型）を使用して採水した。採水したサンプルはポリエチレン製容器（5リットル）に入れて実験室に持ち帰り、すみやかに分析した。

表3-1 水質調査項目および分析方法

調査項目	分析方法
気温	JIS K 0102-7.1
水温	JIS K 0102-7.2
COD（化学的酸素要求量）	JIS K 0102-17 滴定法
BOD（生物化学的酸素要求量）	JIS K 0102-21 滴定法
SS（浮遊物質）	環境庁告示第 59号 付表 8 ろ過重量法
T-N（全窒素）	JIS K 0102-45.1 総和法
NO ₂ -N（亜硝酸態窒素）	JIS K 0102-43.1.1 吸光光度法
NO ₃ -N（硝酸態窒素）	JIS K 0102-42.2.3 Cu-Cdカラム還元法
Kj-N（ケルダール態窒素）	JIS K 0102-44.1 中和滴定法
T-P（全リン）	JIS K 0102-46.3.1 吸光光度法
PO ₄ -P（オルトリン酸態リン）	JIS K 0102-46.1.1 吸光光度法

3.2 植物調査

3.2.1 調査項目と調査地点

植物調査では、クレソンの丈高、堆積物厚さ、刈取ったクレソンおよび1/3除去した試料の重量、含水率、乾燥後の全窒素と全リンの含有量を測定した。図3-1に示したように、各水路を流下方向に6区画に等分し、調査項目に応じて各区画の境界線上や区画に対して調査を行った。

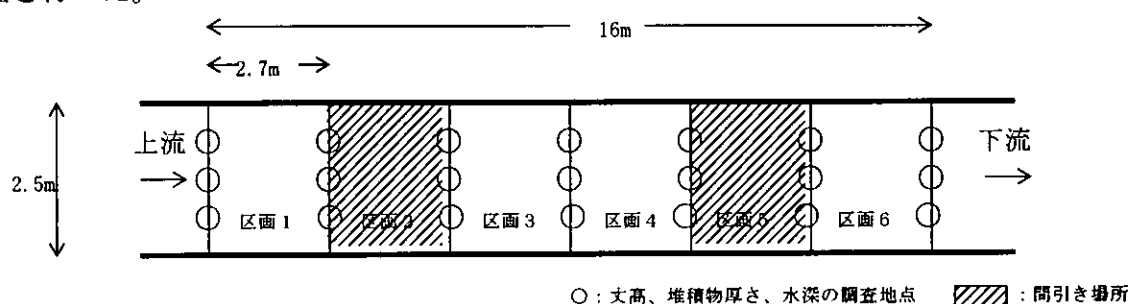


図3-1 植物調査地点

3.2.2 クレソンの丈高、堆積物厚さ調査

丈高および堆積物厚さは、図3-1に示したとおり測定地点を各水路の各区画境界線上とし、各区画線上の右寄、中央、左寄の3点において計測し、3点の平均値からその区画線上の丈高を求めた。同時に水深の測定も行い、調査は1回/10日とし、1997年9月から1998年9月まで行った。

3.2.3 刈取り重量調査、間引き重量調査

2種類の栽培管理方法を表3-2に示した。栽培管理の作業後、現地にて刈取り試料および間引き試料の湿潤重量を計測し、一部を実験室に持ち帰り乾燥後、全窒素及び全リン含有量を測定した。分析方法を表3-3に示した。なお、間引き作業状況を写真3-1に示した。

表3-2 栽培管理方法

項 目	方 法
刈取り (呼び方：刈取り)	植物の丈高が水面より25cm以上となった地点が確認された場合に、水面より10cm上部の茎を刈取る。刈取りは電気剪定機を使用した。
刈取り後1/3除去 (呼び方：刈取り後間引き)	刈取り後、植栽面積の1/3の植物体と堆積物の除去を行う。間引き場所は区画2と5で、間引き後は残っている植物を散らして配置した。

表3-3 分析方法

調査項目	分析方法
含水率	環境庁「底質調査方法」
T-P	環境庁「底質調査方法」
T-N	CHNコーダー



写真3-1 間引き作業状況

3.3 底質調査

各水路の上流部（区画1）、中流部（区画3と4の境界）、下流部（区画6）において酸化還元電位を測定した。測定は6月と8月の2回行い、HORIBA製酸化還元電位計を使用した。

3.4 生物調査

実験期間中に4回（春、夏、秋、冬）、動物プランクトン、植物プランクトン、底生生物、魚貝類および昆虫の個体数密度を調査した。調査地点は、水路の上流部と下流部とし、それぞれクレソン丈高が平均的である場所を選定した。動物プランクトンと植物プランクトンは、施設内の流水2リットルを採取し、1%ホルマリンで固定した後、種類の同定と計数を行った。底生生物、魚貝類および昆虫は水路内に25cmコドラートを設け、コドラート内の堆積物を採取し、ふるいに（網目サイズ：0.471mm）かけて泥を洗い流した後、5%ホルマリンで固定し、生物種の同定を行った。また、任意の地点において、手網やピンセットを用いて生物を採取し、同定を行った。

3.5 住民参加手法の検討

本施設が住民参加型の施設になりうる可能性を検討するため、住民が植物の採取などを実際に体験し、体験後に施設に対する意見を得るためのアンケート調査を、1998年9月と10月の2回行った。参加者を事前に募集する形式で行い、1回目（9月26日）は実験センター近郊の住民を対象とし、2回目（10月25日）は広告紙とインターネットホームページなど

により一般公募した滋賀県内居住者を対象とした。

実施当日は、本施設や実験センターの概要と植物採取上の注意事項等を説明した後、約20分間植物の採取を実施した。採取した植物は計量し、自由に持ち帰ることとした。クレソンを使った料理の実演紹介も行い、最後にアンケート調査を行った。

4. 結果

4.1 水質調査結果

4.1.1 水質の経時変化と年平均除去率

図4-1に流入水および各水路における処理水の水質濃度の経時変化を示した。これによると、各水路における処理水質には季節的な特徴を見ることはできなかった。また、各水路における年平均除去率（処理水と流入水の濃度差/流入水質濃度）を表4-1および図4-2に示した。これによると、勾配が緩い水路ほど除去率が高くなる傾向が見られた。ただし勾配が最も緩い0.05%の除去率が最高値とならない場合もあった。また水質項目別に見ると、浮遊物質（以下、SS）の除去率が比較的高く、勾配0.05%および0.5%の間引きを行った水路で57.9%と55.9%の除去率であった。SSに次いで除去率が高かったのは全リン（以下、T-P）で、勾配0.05%および0.5%の間引きを行った水路で、22.3%と26.8%であった。その他の除去率は、勾配0.5%で間引きを行った水路において、全窒素（以下、T-N）が13.6%、生物化学的酸素要求量（以下、BOD）が12.6%、化学的酸素要求量（以下、COD）が7.8%であり、この値は他の水路の値と比較して最も高かった。

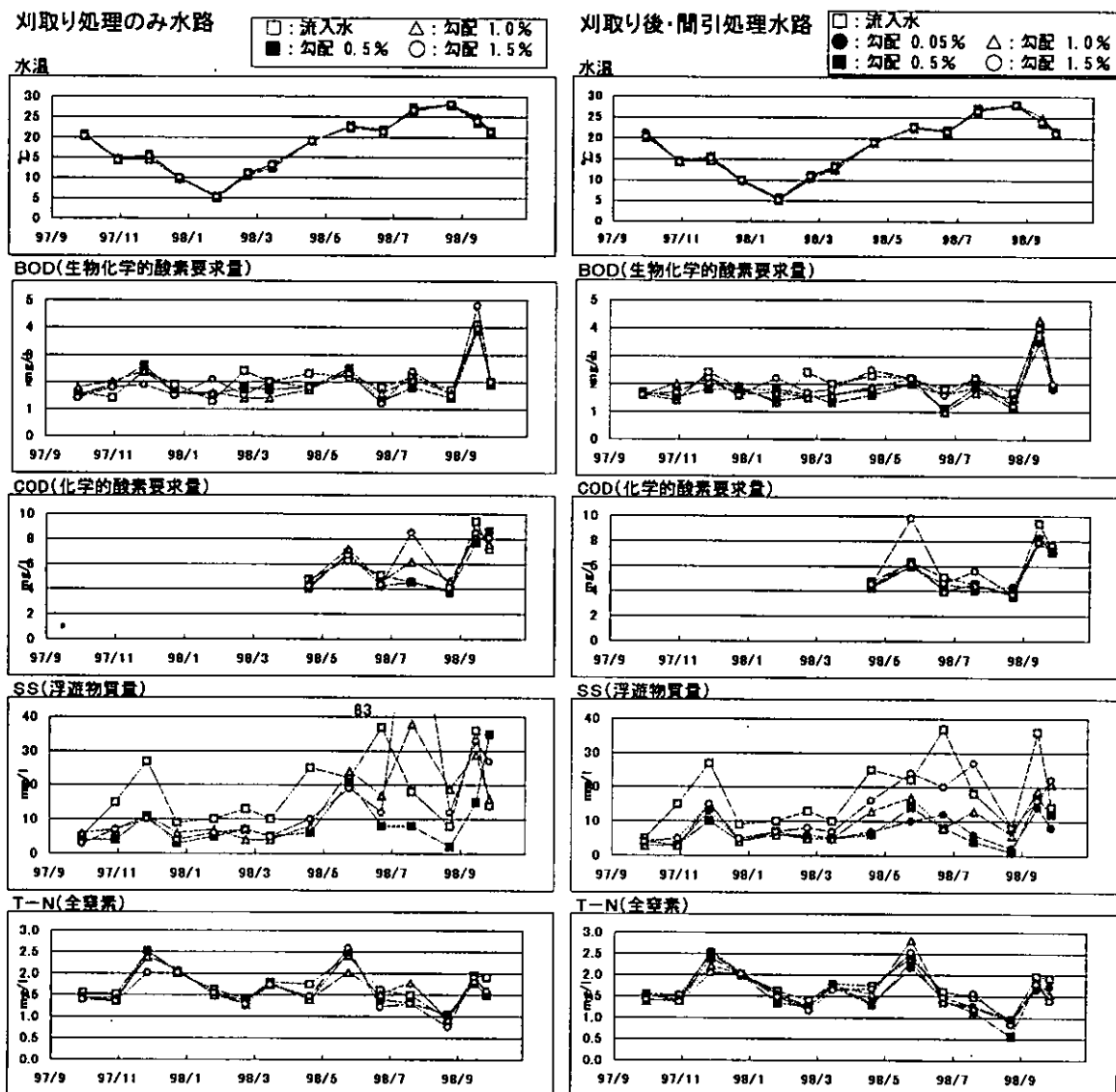


図4-1 流入水および処理水の水質濃度の経時変化(1)

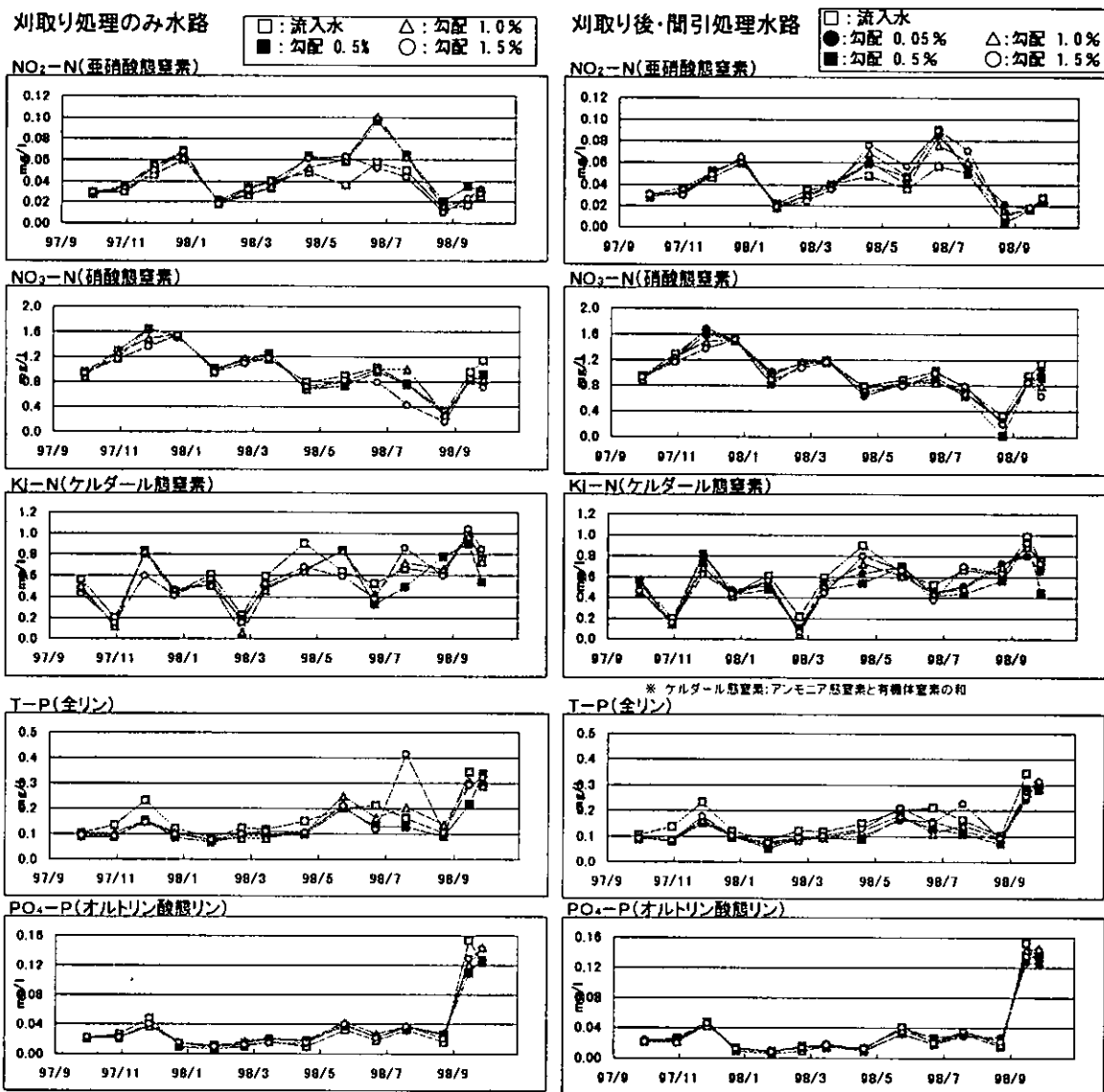


図4-1 流入水および処理水の水質濃度の経時変化(2)

表4-1 各水路における年平均除去率(%)

栽培管理方法	勾配(%)	BOD	COD	SS	T-N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Kj-N	T-P	PO ₄ -P
刈 取 り	0.5	5.3	2.3	40.2	6.4	-24.8	6.6	11.3	22.1	-25.3
	1.0	3.2	-7.9	11.0	5.7	-18.5	3.9	11.2	8.5	-30.6
	1.5	2.3	-11.8	-0.5	10.1	-7.3	15.4	10.3	3.5	-18.6
平 均		3.6	-5.8	16.9	7.4	-16.9	8.6	10.9	11.4	-24.8
(*)		(0.15)	(-0.67)	(6.0)	(0.26)	(-0.012)	(0.18)	(0.13)	(0.038)	(-0.018)
刈取り後 間引き	0.05	9.6	4.6	57.9	7.3	-10.5	6.6	11.9	22.3	-16.3
	0.5	12.6	7.8	55.9	13.6	-2.9	14.5	19.7	26.8	-16.8
	1.0	7.0	5.2	40.8	7.5	-10.1	8.7	16.7	19.8	-18.7
	1.5	0.1	-8.1	21.1	8.5	-11.9	10.4	14.1	11.5	-16.3
平 均		7.4	2.4	43.9	9.2	-8.9	10.1	15.6	20.1	-17.0
(*)		(0.30)	(0.28)	(15.5)	(0.32)	(-0.006)	(0.21)	(0.19)	(0.067)	(-0.012)
全 平 均		5.5	-1.7	30.4	8.3	-12.9	9.3	13.3	15.7	-20.9
(*)		(0.23)	(0.20)	(10.7)	(0.29)	(-0.009)	(0.19)	(0.16)	(0.053)	(-0.015)

窒素、リンについては、形態別除去率も示した

(*)は年平均除去速度(g/m²/日)である

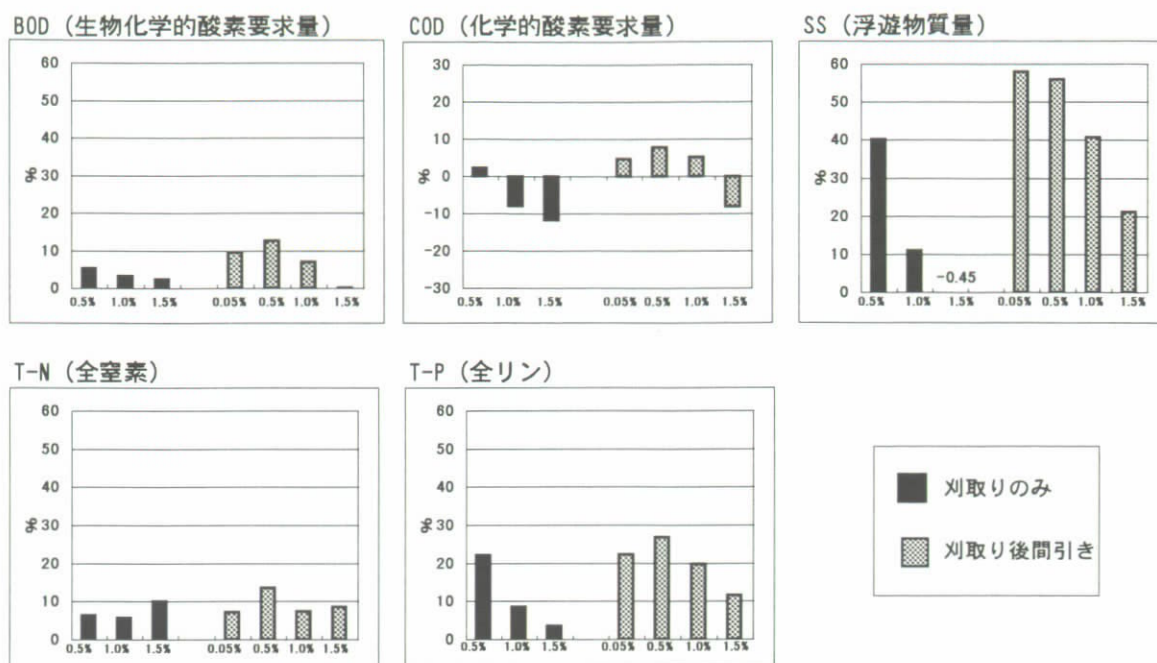


図4-2 各水路における年平均除去率(%)

4.1.2 窒素、リンの形態別水質と除去率

表4-2に流入水と各水路における処理水の窒素およびリンの形態別構成比率を、図4-3に形態別濃度を示した。これらによると、流入水における亜硝酸態窒素（以下、 $\text{NO}_2\text{-N}$ ）が約2%、硝酸態窒素（以下、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ）が約62%、有機態窒素とアンモニア態窒素との和を示すケルダール態窒素（以下、 Kj-N ）が約36%であり、これに対する処理水の形態別構成比率を見てもあまり変化はなかった。またリンでは、全水路において流入水に対し処理水のオルトリン酸態リン（以下、 $\text{PO}_4\text{-P}$ ）比率が高くなっており、その比率は2.8%～8.2%高かった。

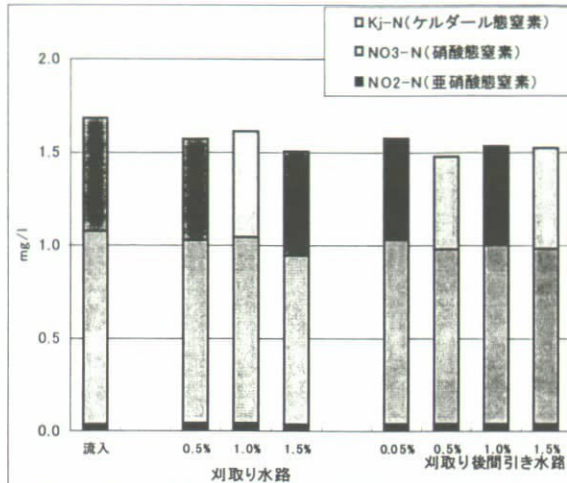
図4-4に各水路における窒素およびリンの形態別年平均除去率を示した。これによると、窒素では、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と Kj-N において除去作用が見られ、 $\text{NO}_2\text{-N}$ は除去作用は見られず、流入水より処理水のほうが高濃度となった。またリンでは、 $\text{PO}_4\text{-P}$ に除去作用は見られず、処理水は流入水に比べては15%～30%程度増加する結果となった。

表4-2 流入水と処理水の窒素、リン濃度の形態別構成比率（年平均値）

窒素 (%)					リン (%)					
項 目		NO ₂ -N	NO ₃ -N	Kj-N	項 目		PO ₄ -P	PO ₄ -P以外のリン		
流 入		2.2	61.7	36.1	流 入		21.8	78.2		
刈取り	0.5%	2.8	62.6	34.5	刈取り	0.5%	27.6	72.4		
	1.0%	2.7	62.1	35.2		刈取り	1.0%	25.7	74.3	
	1.5%	2.6	60.2	37.2			刈取り	1.5%	23.6	76.4
刈取り後 間引き	0.05%	2.6	62.9	34.5	刈取り後 間引き			0.05%	28.1	71.9
	0.5%	2.7	63.7	33.6		刈取り後 間引き		0.5%	30.0	70.0
	1.0%	2.7	62.8	34.5			刈取り後 間引き	1.0%	28.9	71.1
	1.5%	2.8	61.7	35.5				刈取り後 間引き	1.5%	26.0

※ $\text{PO}_4\text{-P}$ 以外のリンは、 T-P 濃度から $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を減じた値

窒素濃度



リン濃度

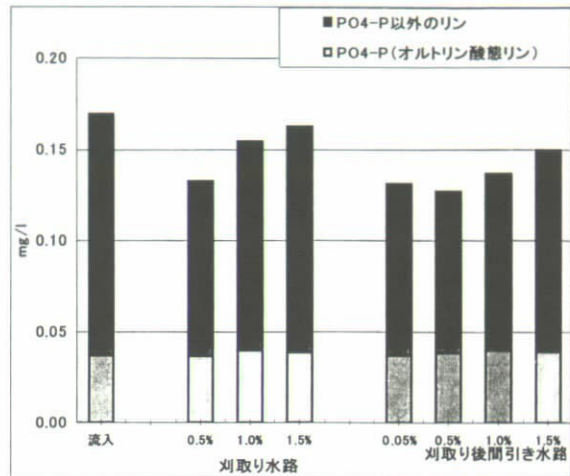
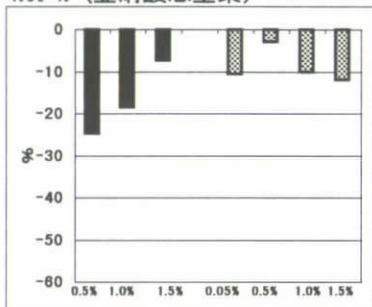
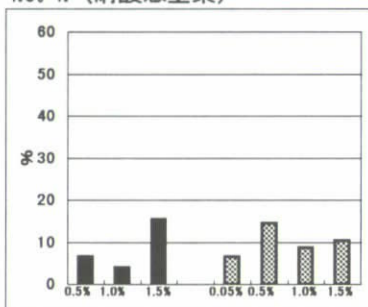


図4-3 流入水と処理水の窒素、リン濃度の年平均値

NO₂-N (亜硝酸態窒素)NO₃-N (硝酸態窒素)

Kj-N (ケルダール態窒素)

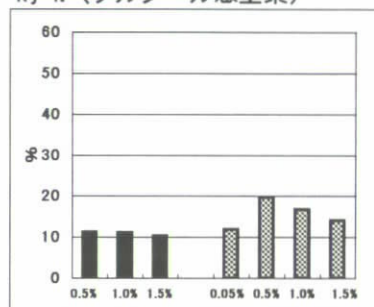
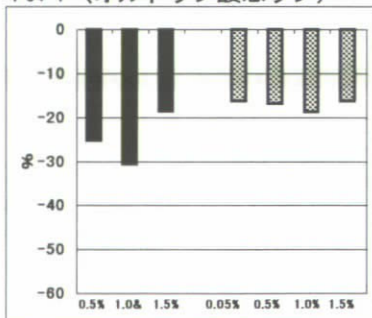
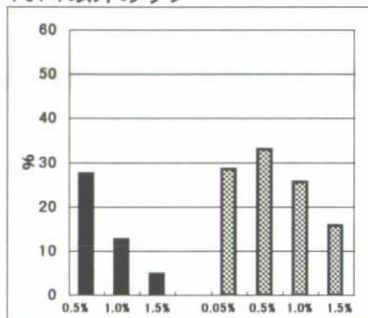
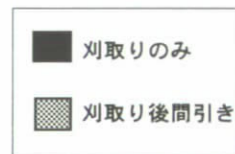
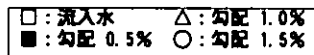
PO₄-P (オルトリン酸態リン)PO₄-P以外のリン※T-P濃度からPO₄-P濃度を減じた値

図4-4 窒素、リンの形態別年平均除去率 (%)

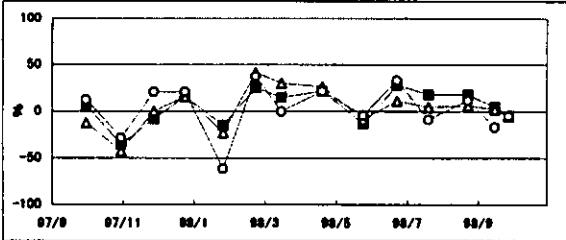
4.1.3 水路勾配およびクレソンの栽培管理方法と除去率との関係

各水路において除去作用が見られた水質項目であるBOD、SS、T-NおよびT-Pの除去率について経時変化を図4-5に示した。これによると、実験開始後9ヶ月（1998年6月）以降において、勾配が1.0%および1.5%の水路でSSとT-Pの除去率が低下した。その除去率の低下の程度は、間引きを行った水路よりも刈取りのみの水路のほうが大きかった。一方、BODとT-Nの除去率の経時変化については、水路勾配および栽培管理方法と除去率との間に規則的な関係は見られなかった。

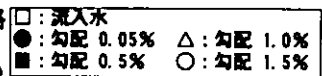
刈取り処理のみ水路



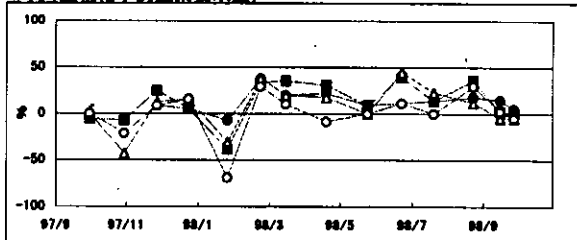
BOD(生物化学的酸素要求量)



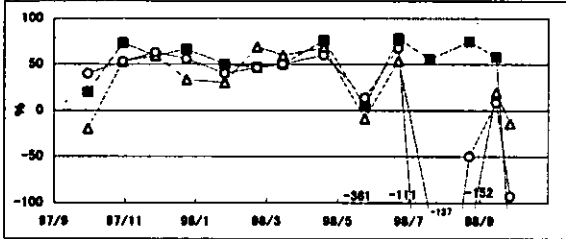
刈取り後・間引処理水路



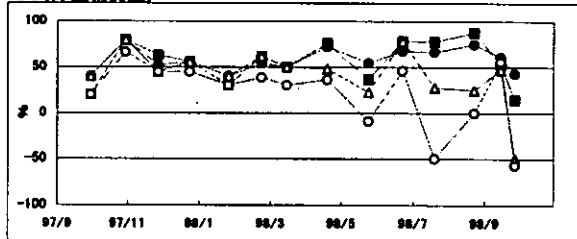
BOD(生物化学的酸素要求量)



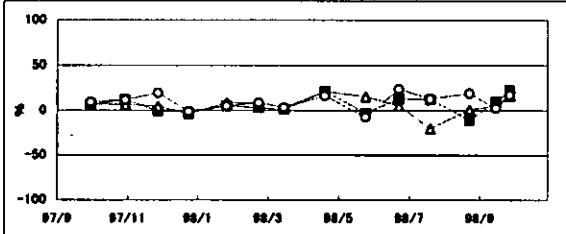
SS(浮遊物質量)



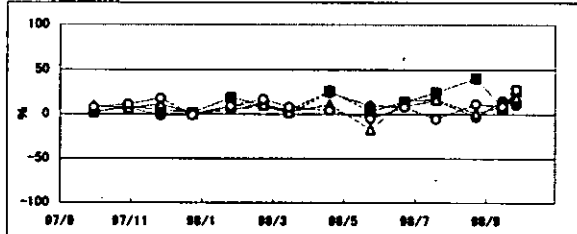
SS(浮遊物質量)



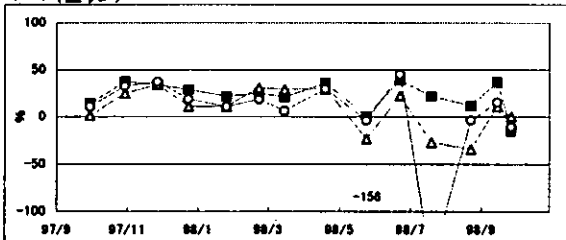
T-N(全窒素)



T-N(全窒素)



T-P(全リン)



T-P(全リン)

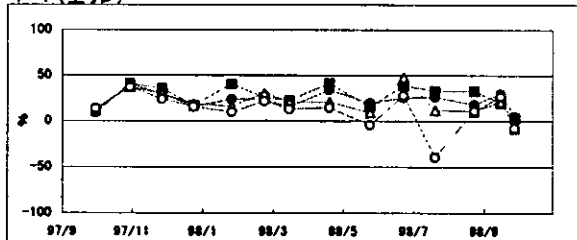


図4-5 各水質項目における除去率の経時変化

4.2 植物調査結果

4.2.1 クレソン丈高、堆積物厚さ

図4-6に各水路におけるクレソンの丈高、堆積物厚さおよび水温・気温の経時変化を示した。これによると、クレソンは1997年10月～1998年3月まではあまり生長せず、その後4月～7月に生長が活発となり、8月～9月は生長が緩慢となり、9月～10月では再び生長が活発となった。クレソンの生長が活発であった1998年3月～7月および1998年9月～10月の水温は、約15℃～25℃の範囲であった。

図4-7に各水路における7地点平均の堆積物厚さの年間平均値を示した。これによると、水路勾配が急になるほど堆積物厚さが小さくなる傾向があった。また、クレソンの栽培管理において間引きを行った水路の堆積物厚さは、間引きを行わなかった水路に比べて小さかった。

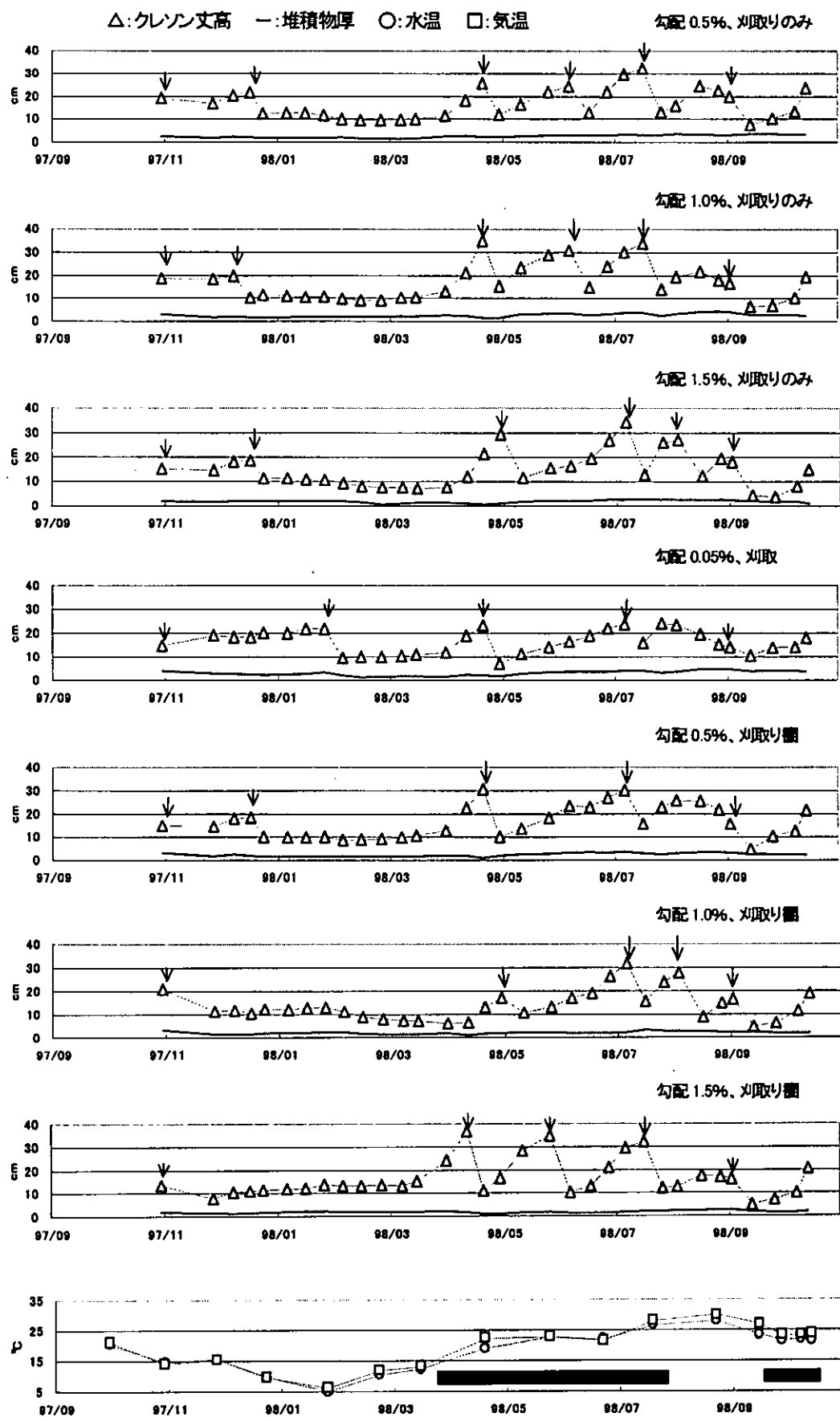


図4-6 クレソンの丈高、堆積物厚さ、水温、気温の経時変化

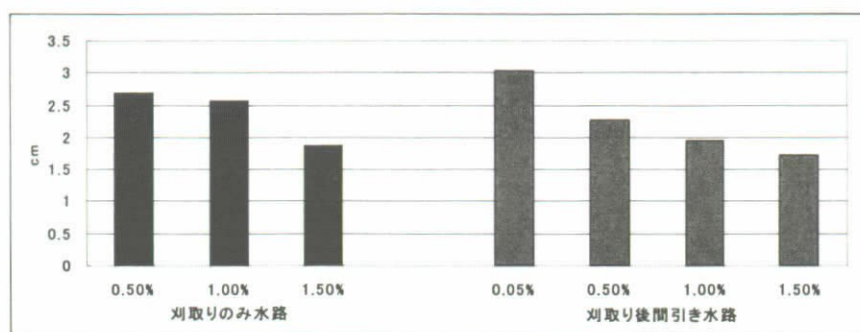


図4-7 各水路における平均堆積物厚さ（年平均値）

4.2.2 クレソンおよび間引き試料の含水率、窒素、リン含有量

表4-3に間引き試料の含水率、窒素含有量およびリン含有量を、図4-8に刈取ったクレソンの含水率、窒素含有量およびリン含有量を示した。これによると、刈取ったクレソンの含水率、窒素含有量およびリン含有量は年間を通じ同程度で、平均で含水率が92%程度、窒素が50g/kg・dry程度、リンが5.0g/kg・dry程度であった。また、間引き試料の窒素、リン含有量は全調査時期において同程度で、平均で含水率が87%程度、窒素含有量が15g/kg・dry程度、リン含有量が3.0g/kg・dry程度であった。

図4-9に各水路において刈取ったクレソンおよび間引き試料の乾燥重量、窒素重量およびリン重量について調査期間の合計値を示した。これによると、間引きを行わなかった水路の刈取り乾燥重量はどの水路も約25kgであり、水路勾配による差は小さかった。また、間引きを行った水路の刈取り乾燥重量は、水路勾配による違いが見られ、勾配0.05%水路が最も少なく約6kg、勾配0.5%水路と勾配1.0%水路では間引きを行わなかった水路の60%程度の約15kg、勾配1.5%水路では間引きを行わなかった水路と同程度の約25kgであった。なお、実験期間中に間引いた試料の乾燥重量の合計は、勾配1.5%の水路が最も多く約160kgで、他の水路は約110kgであった。

図4-10に初期植栽面積あたりの年間収量を示した。これによると、間引きを行わなかった水路の年間収量は約600g/m²/年であり、水路勾配による差は小さかった。また、間引きを行った水路での刈取り試料の乾燥重量は、勾配0.05%の水路で最も少なく約200g/m²/年、勾配0.5%の水路と勾配1.0%の水路では間引きを行わなかった水路と同程度の約580g/m²/年、勾配1.5%の水路で最も多く、間引きを行わなかった水路の約1.5倍の約920g/m²/年であった。

表4-3 間引き試料の窒素、リン含有量

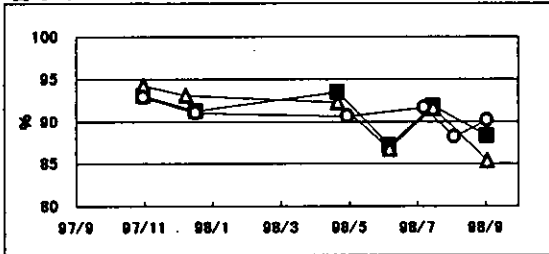
調 査 日	含水率(%)	T - N (g/kg・dry)	T - P (g/kg・dry)
1997/10/31	86.0	12.40	2.00
1997/12/17	85.8	13.60	3.10
1997/12/17	88.0	16.70	3.50
1998/01/26	89.8	16.00	3.20
1998/07/21	—（*）	14.40	3.00
平 均	87.4	14.62	2.96

* 欠測

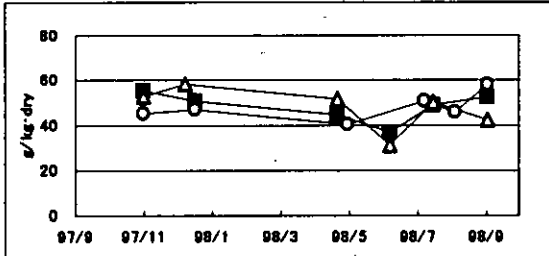
刈取り処理のみ水路

□ : 流入水 △ : 勾配1.0%
■ : 勾配0.5% ○ : 勾配1.5%

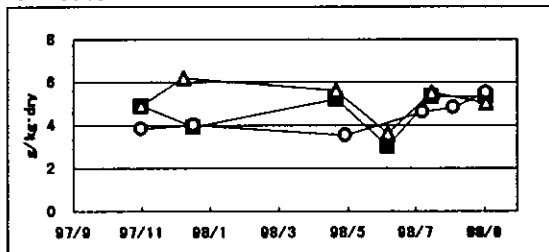
含水率



窒素含有量



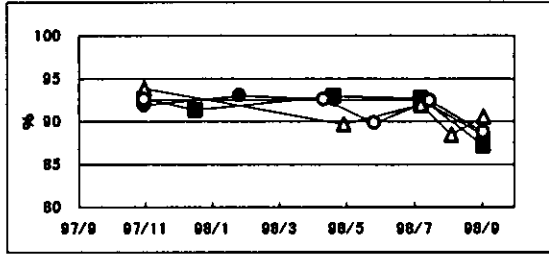
リン含有量



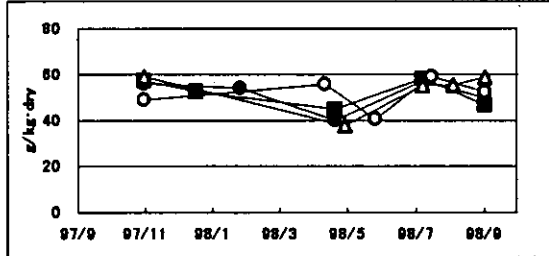
刈取り後・間引き処理水路

□ : 流入水 ● : 勾配0.05% △ : 勾配1.0%
■ : 勾配0.5% ○ : 勾配1.5%

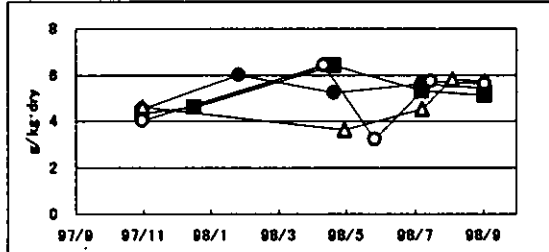
含水率



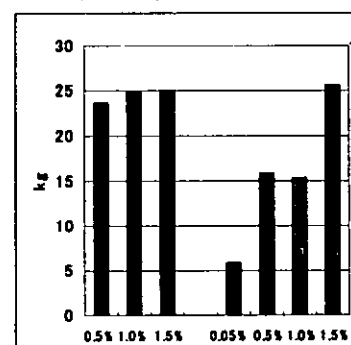
窒素含有量



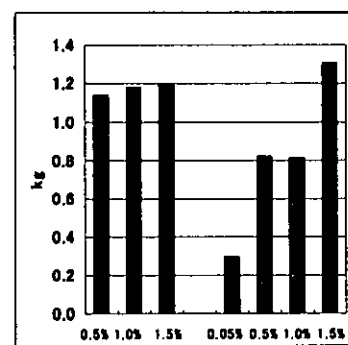
リン含有量



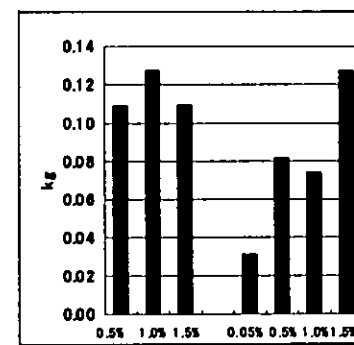
刈取り試料の乾燥重量



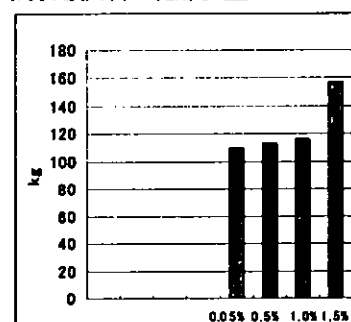
刈取り試料の窒素重量



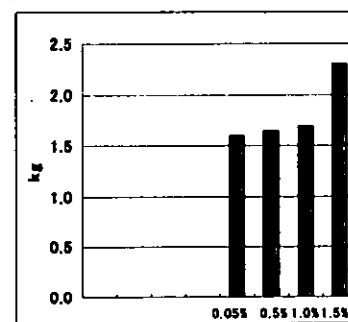
刈取り試料のリン重量



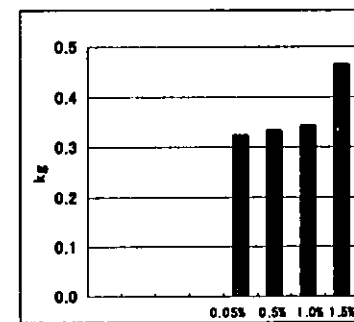
間引き試料の乾燥重量



間引き試料の窒素重量



間引き試料のリン重量



■ 刈取りのみ水路

■ 刈取り後間引き水路

図4-9 各水路における刈取り重量および間引き重量

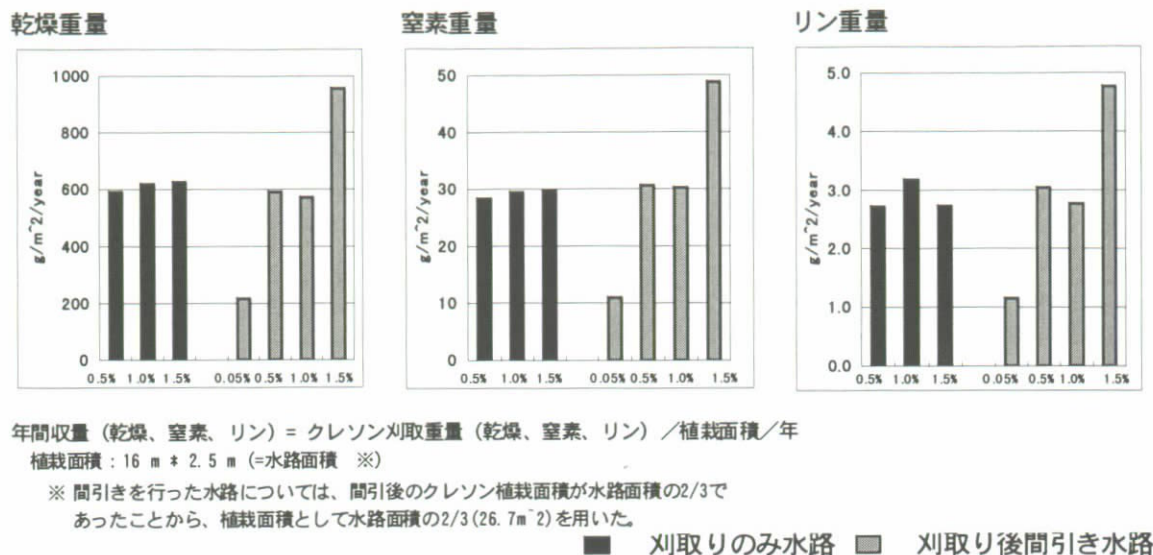


図4-10 初期植栽面積当たりの年間収量 (乾燥、窒素、リン)

4.3 底質調査

図4-11に各水路における底質の酸化還元電位を示した。一般的に酸化還元電位が低い(負の値)と還元的状態(酸素を代表とする電子供与体が少ない状態)であり、図4-11より全ての測定地点において酸化還元電位が負の値であったことから、堆積した底泥は還元的状態であった。6月8日の酸化還元電位は-210mVから-30mVの範囲であり、8月24日の酸化還元電位は-430mVから-100mVの範囲であった。6月と8月を比較すると全ての測定値がより負の値となっており、8月の方がより還元的であり、還元状態での底質の化学的、生物的变化がより生じ⁵⁾ やすいことが示唆される。

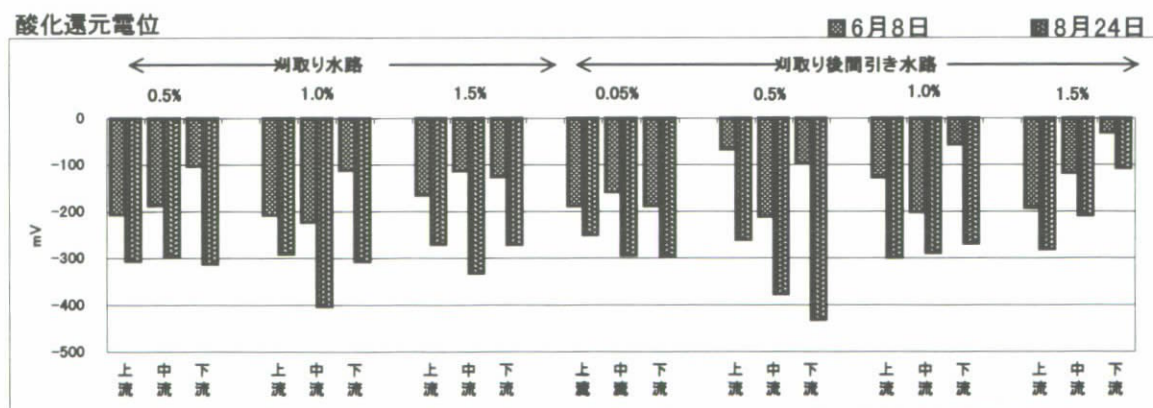


図4-11 底質の酸化還元電位

4.4 生物調査

表4-4に生物調査結果を示した。実験期間に本実験施設で確認された生物は、8動物門13綱34目57科101種類および5植物門7綱18目31科116種類であった(高等植物のクレソンとアオウキクサを除いた)。

表4-4 生物調査結果（出現種数）

施設内で定量的に調査した結果（上段）および、施設内外で確認された生物を任意に調査した結果（下段）を示した。
 上段：植物プランクトンと甲殻類以外の動物プランクトンは「綱」、底生動物と甲殻類（動物プランクトン）は「目」の分類結果を示した。緩歩動物は「門」とした。底生動物は、定量調査と定性調査の合計種数を示した。

定量調査結果

綱	目	第1回 (H9. 10. 31)		第2回 (H10. 1. 26)		第3回 (H10. 5. 25)		第4回 (H10. 8. 28)	
		上流	下流	上流	下流	上流	下流	上流	下流
動物プランクトン									
根足虫	—	4	1	3	5	2	2	1	2
繊毛虫	—		1	2	6	2	1		
線虫	—			1	1	1	1	1	1
輪虫	—			3	8			4	
(緩歩動物門)	—				1				
蛛形	—							1	1
甲殻	鯀脚			2			3	1	2
	貝虫						1	1	1
	模脚	1	1	3	2	3	2	5	5
合計		5	3	14	23	8	10	14	12
植物プランクトン									
藍藻	—	2	2			2	1	4	4
渦鞭毛藻	—		1			1			
黄色鞭毛藻	—					3	2	1	1
珪藻	—	25	26	12	14	18	16	44	33
ミドリシ藻	—	3	4	1	3	4	2	7	7
緑藻	—	8	10	3	5	18	9	14	11
無色鞭毛虫	—							1	1
合計		38	43	16	22	46	30	71	57
底生動物									
ウズムシ	ウズムシ		1						
マカイ	ニナ							1	
	モノアラガイ	5	5	3	4	2	3	4	2
ニマイガイ	カスガレガイ					2	1	2	
ミミズ	ナガミミズ	2	3	3	2	4	4	2	4
ヒル	ウバヒル	4	4	2	1	4	3	4	3
甲殻	ボドコハ			1					
	ワラジムシ	2	2	1	2	2	2	2	2
	エ	1		1		1		1	1
昆虫	カゲロウ		1						
	トンボ	1	3		1		1	2	2
	コクチョウ		1			1		1	1
	ハエ	8	7	7	3	2	6	4	
	トビケラ	2	1	3	3	2			
	チョウ					1			
合計		25	28	21	16	21	20	23	15

任意採集調査結果〔水生無脊椎動物を除く〕

				第1回 (H9. 10. 31)			第2回 (H10. 1. 26)			第3回 (H10. 5. 25)			第4回 (H10. 8. 28)			
綱	目	科	和名	上流	下流	池外	上流	下流	池外	上流	下流	池外	上流	下流	池外	
魚 類																
硬骨魚	コイ	コイ	ナガハシ										6個体			
			カムク									1個体				
			スズキ	サンフィッシュ	ブルギル	1個体										
			ハセ	トウヨシボリ			3個体				2個体	1個体	1個体			
			マサチガ			1個体	1個体									
藻 類																
藍藻	クロコックス	クロコックス	—		+											
珪藻	カガクイ	カガクイ	—				+									
緑藻	カイトワラ	カイトワラ	—				++									
	シオグサ	シオグサ	ウキシオグサ							++	++		+			
	クロコックス	アミミドロ	アミミドロ		+++								++	++		
	オシドロ	オシドロ	アミミドロ(風の総称)	+++	+					++	++		++	++		
植 物 (藻類以外)																
単子葉植物																
	クササ	アサキサ			+								++	++		
植物体上の動物 (陸生)																
マカイ	マイマイ	カモノアラガイ	カモノアラガイ	○	○								○	○		
甲殻	ヨコヒ	ハマヒメシ	ニホオカヒメシ	○												
昆虫	カムシ	カムシ	ナガメ	○											○	
	コウチュウ	テントウムシ	ナホシテントリ										○			
	ハチ	ハナチ	ハナチ科							○			○			
	チョウ	アゲハチョウ	キアゲハ										○	○		
		ナガ	ヨトカ	○	○											
			ハスモンヨトリ	○	○											
	—	チョウ目								○			○	○		

注) 魚類については、浅池外の水路で確認された種についても表に示した。

4.5 住民参加手法の検討

住民参加の植物採取体験やアンケート調査を2回実施した結果、1回目は21人、2回目は80人の参加があった。住民参加による植物採取状況を写真4-1に、アンケートの記入状況を写真4-2に示した。

図4-12に一般公募による滋賀県内居住者を対象とした2回目のアンケート調査結果（回答数77人）を示した。これによると、住民参加の意識として自宅近くに本施設が出来たら利用すると答えた人が88%、ボランティアまたは有償で維持管理に参加すると答えた人が84%であった。また、その利用頻度および維持管理への参加頻度は月に1回～半年に1回程度と答えた人が多く、自宅からの時間距離が30分未満に施設があれば利用する人が93%であった。

施設の建設に関する意識として、琵琶湖周辺に作ることに賛成の人が88%であった。また、作業上の危険を感じなかった人が87%、植物に近づきやすくするための足おきブロックを設置した方が刈取りやすいと答えた人が57%であった。

植栽する植物として、クレソン以外では、セリやミントまたは花ものに対する希望が多かった。

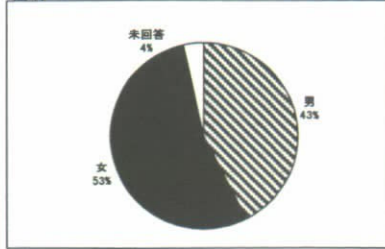


写真4-1 住民参加による植物採取状況

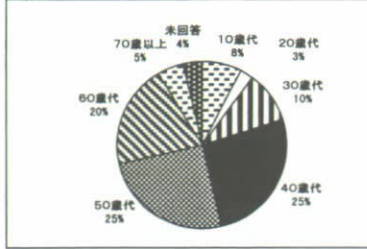


写真4-2 アンケートの記入状況

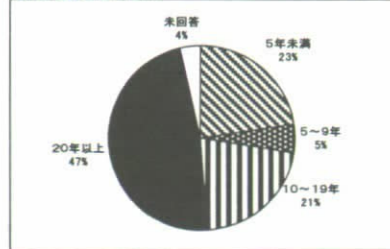
性別



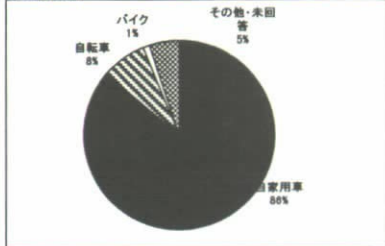
年齢



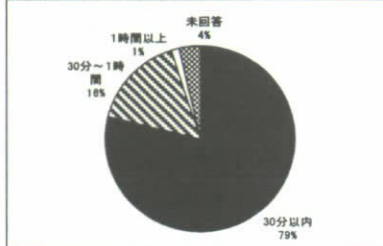
現住所の居住年数



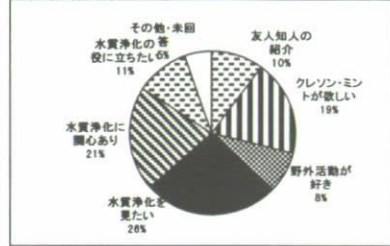
来場方法



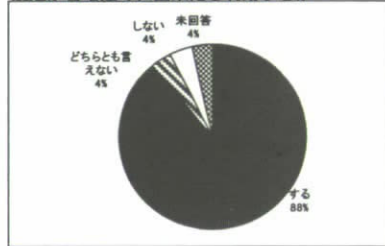
自宅からの所要時間



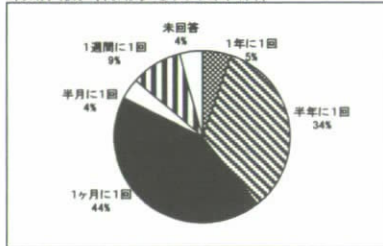
参加動機（複数回答）



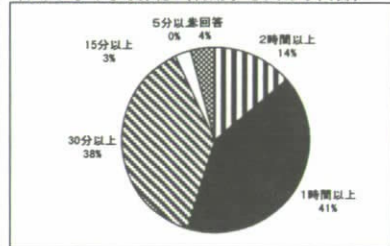
浅池が自宅近くに出来たら利用するか



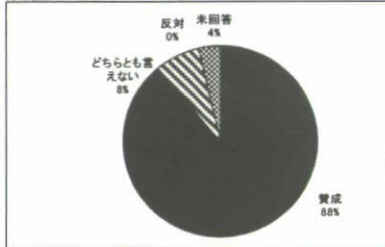
利用回数（利用する人のみ回答）



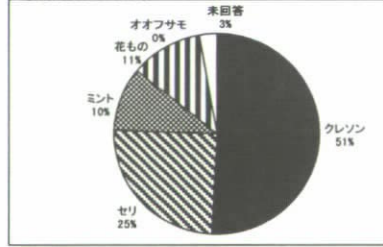
利用しなくなる距離（利用する人のみ回答）



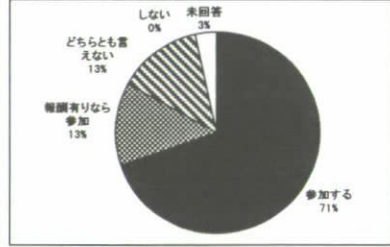
琵琶湖周辺に作ることは賛成か



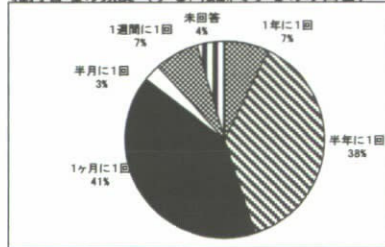
持ち帰りたい植物



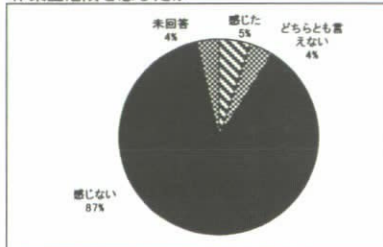
維持管理に参加するか



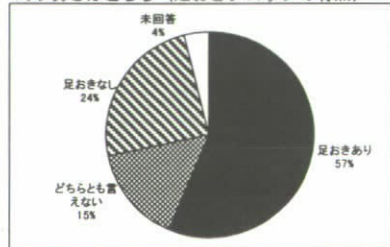
維持管理の頻度（する、報酬でするのみ回答）



作業上危険を感じたか



刈り易さはどちら（足おきブロックの有無）



他に摘み取った植物（複数回答）

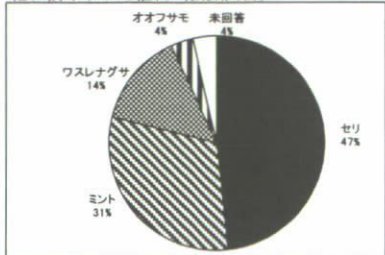


図4-12 住民参加のアンケート調査結果（第2回）

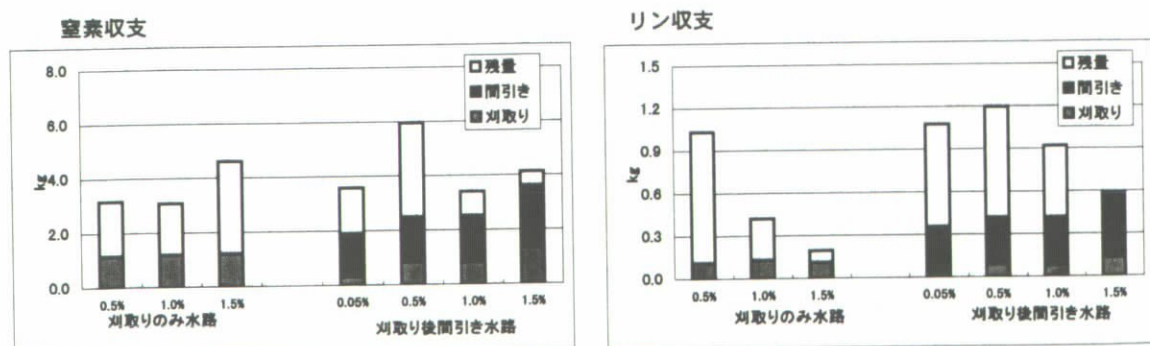
5. 考察

5.1 水質浄化性能

図5-1に各水路における窒素およびリンの年間収支を示した。また、表5-1に各水路で除去された窒素およびリンの内訳を示した。これによると、クレソンの栽培管理で刈取りと間引きを施した水路では、4水路平均で窒素の約9%およびリンの約19%が除去されており、刈取ったクレソンとして窒素の約2%、リンの約4%が、間引き試料として窒素の約4%、リンの約8%が施設外に取り出されていた。また、刈取りのみを行った水路では、3水路平均で窒素の約7%およびリンの約11%が除去されており、刈取ったクレソンとして窒素の約2%が、リンの約2%が施設外に取り出されていた。間引きによって施設外に取り出した窒素、リンの重量は、刈取ったクレソンとして施設外に取り出した窒素重量の約2倍、リン重量の約4倍であり、これらのことより、本実験条件における窒素およびリンの除去は、主にクレソン根圏への堆積によって行われていると考えられた。なお内訳中の残量は、各水路の年間除去量から刈取りと間引きによる算出数量を差し引いたもので、施設内の堆積物としての蓄積や、生物調査によって多種の生物が確認されたことから、生物による分解や移出、その他脱窒などが考えられる。

堆積物厚さ調査(図4-7)の結果では、勾配が急な水路ほど堆積物厚さは小さくなっていた。これは、急勾配の水路では水流の影響を受けるため、クレソンの根圏に堆積できる量が少ないといえる。実験開始後9ヶ月以降、勾配1.0%水路と勾配1.5%水路において、SSとT-Pの除去率が低下したのは、堆積物の量が、その水路の堆積可能な量に達したかそれに近づいたため、除去作用が働きにくくなり、しかもそれまで根圏に捕捉されていた堆積物も流出したためではないかと推測される。一方、栽培管理方法別による堆積物厚さで比較すれば、間引きを行った水路の堆積物厚さが間引きを行わなかった水路より小さかったが、これは間引き作業によって堆積物も除去しているため、間引きを行った水路の方がその分堆積物厚さは小さくなったと考えられる。また、SS、T-Pの除去率低下の程度が、間引きを行った水路より間引きを行わなかった水路の方が大きかったことは、間引くことにより、新たな堆積空間が生じ、堆積物が流下しにくくなったためであると考えられる。

一方、本実験において処理水の濃度が流入水より高かった項目は、 $\text{NO}_2\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ であった。これは、本実験施設の堆積物が還元元的であったため、堆積物間隙水中の $\text{NO}_3\text{-N} \rightleftharpoons \text{NO}_2\text{-N}$ の平衡状態が $\text{NO}_2\text{-N}$ 側に傾いたか、細菌による硝酸還元作用により、処理水中の $\text{NO}_2\text{-N}$ が増加したことから、堆積物の中から $\text{PO}_4\text{-P}$ が溶出したことが原因であると考えられた。 $\text{PO}_4\text{-P}$ の増加の程度は、間引きを行わなかった方が間引きを行ったものより2.3%~12%大きかったことから、栽培管理方法としては間引きによる方法が効果的であるといえる。



※ 勾配1.5% 刈取り後間引き水路の残量(-0.05kg)は表示していない。

図5-1 水路別の窒素、リンの年間収支

表5-1 水路別の窒素、リンの年間収支

窒素収支

水路		重量収支 (kg)					流入量を100とした時の収支				
栽培管理	勾配	流入量	刈取り	間引き	残量	流出量	流入量	刈取り	間引き	残量	流出量
刈取り	0.5%	49.0	1.1	—	2.0	45.9	100	2.3	—	4.1	93.6
	1.0%	49.0	1.2	—	1.9	45.9	100	2.4	—	3.9	93.7
	1.5%	49.0	1.2	—	3.4	44.4	100	2.4	—	7.0	90.6
	平均	49.0	1.2	—	2.4	45.4	100	2.4	—	5.0	92.6
	(*)2	(3.4)	(0.25)			(3.1)	—	—			—
刈取り間引き後	0.05%	49.0	0.3	1.6	1.7	45.4	100	0.6	3.3	3.4	92.7
	0.5%	49.0	0.8	1.6	3.5	43.1	100	1.7	3.4	7.1	87.8
	1.0%	49.0	0.8	1.7	0.9	45.6	100	1.6	3.4	1.8	93.2
	1.5%	49.0	1.3	2.3	0.5	44.9	100	2.7	4.7	1.1	91.5
	平均(*)1	49.0	1.0	1.9	1.6	44.5	100	2.0	3.8	3.3	90.8
	(*)2	(3.4)	(0.31)			(3.0)	—	—			—
全平均		49.0	1.0	1.9	2.0	45.0	100	2.0	3.8	4.1	91.9

*1は0.5%、1.0%、1.5%の3水路の平均

*2は単位面積当たりの値 (g/m²/day)

リン収支

水路		重量収支 (kg)					流入量を100とした時の収支				
栽培管理	勾配	流入量	刈取り	間引き	残量	流出量	流入量	刈取り	間引き	残量	流出量
刈取り	0.5%	4.8	0.11	—	0.92	3.77	100	2.3	—	19.4	78.3
	1.0%	4.8	0.13	—	0.29	4.38	100	2.7	—	6.1	91.2
	1.5%	4.8	0.11	—	0.08	4.61	100	2.3	—	1.8	95.9
	平均	4.8	0.12	—	0.43	4.25	100	2.4	—	9.1	88.5
	(*)2	(0.33)	(0.038)			(0.29)	—	—			—
刈取り間引き後	0.05%	4.8	0.03	0.32	0.72	3.73	100	0.6	6.8	15.2	77.4
	0.5%	4.8	0.08	0.33	0.78	3.61	100	1.7	7.0	16.4	74.9
	1.0%	4.8	0.07	0.34	0.50	3.89	100	1.5	7.2	10.5	80.8
	1.5%	4.8	0.13	0.46	-0.04	4.25	100	2.7	9.7	-0.9	88.5
	平均(*)1	4.8	0.09	0.38	0.41	3.92	100	2.0	8.0	8.7	81.4
	(*)2	(0.33)	(0.060)			(0.27)	—	—			—
全平均		4.8	0.09	0.38	0.46	4.03	100	2.0	—	9.8	83.9

*1は0.5%、1.0%、1.5%の3水路の平均

*2は単位面積当たりの値 (g/m²/day)

5.2 クレソンの生長

図4-9、図4-10から、間引きを行なわない水路における刈取り重量および年間収量は、水路勾配にかかわらず同等であったことより、人為的に根圏の除去をしなければ、水路勾配が0.5%~1.5%の範囲では、クレソンの収量は水路勾配にあまり影響されないと考えられる。また、間引きを行った水路における年間収量は、間引きを行わなかった水路の年間収量と比較すると、勾配0.5%と1.0%水路ではほぼ同等で、1.5%水路ではやや大きかった。このことから、間引きの有無はクレソンの生長に何らかの影響を及ぼすことが考えられるが、今回の実験からは、その原因を見いだすことはできなかった。

5.3 住民参加への可能性

住民参加による植物の採取体験では、多数の応募とともにアンケートにおいても積極的な意見が多く、実施設においても住民参加による維持管理の実現性が高いことが感じられた。特に、水深が浅く施設に入りやすいことやクレソンが食用できる点が好評であった。しかしながら、栽培植物を食用とする際には、人体に対して安全であることが必須であり、定期的な安全性試験を行うなどの対応が必要である。特に、処理対象河川の汚濁が著しい場合は慎重になる必要があると考えられた。

アンケート調査の結果、クレソン以外の植物による水質浄化を希望する意見があったため、浄化性能や栽培管理上の問題、植物の購入費用等を考慮したうえで、可能な限り住民の希望に応じた植物を使用することも必要と考えられる。

本施設の設置は、住宅地付近であればより多くの住民参加が得られると考えられ、さらに住民が主体となって施設の運用がされることが望ましく、そうした地域環境づくりを進める必要がある。

5.4 実施設への適用

本実験による結果より、実施設適用にあたっての諸条件や維持管理方法を検討した。クレソンの生長が約15℃～25℃で活発であったことから、クレソンを用いた水質浄化施設は、年間の多くの期間が本温度範囲の地域に適していると考えられた。

栽培管理によって実験施設外に取り出した窒素量、リン量の内訳は、間引きによる量が刈取りによる量より多かったことや、間引きを行った水路で窒素やリンの除去率が高かったことから、栽培管理方法としては刈取りによる管理よりも、植物体と堆積物の除去による管理を行うことが効果的な浄化性能となる。

各水質項目の水路別除去率（図4-2）では、SS除去率が勾配0.05%の間引きを行った水路とほぼ同等であった以外は、勾配0.5%で間引きを行った水路がどの水質項目も最高の除去率を示したことから、実施設における水路勾配は、0.5%が適当であることが示唆された。

しかしながら、実験開始後9ヶ月間は、SSやT-Pの除去率に、勾配の違いによる差が見られなかったことから、勾配が1.0%や1.5%の水路においても、間引き量や回数を増やすなどして堆積物が捕捉される空間を維持すれば、高い除去率を維持できる可能性もある。また、本実験での間引き作業は水路に通水した状態で行い極力濁水を出さないよう留意して行ったが、作業時の処理水に濁水を発生することもあったことから、実施設においてはクレソンを間引く際に、あらかじめ水路内で乾燥させるなど間引き作業方法を工夫する必要があると考えられる。最適な間引き量や最適な間引き時期などの間引き実施方法、また流入水量と水質浄化性能の関係は実施設の規模や目標とする処理水質に係わるため、実施設を計画する際には留意しておく必要がある。

住民参加によるアンケート調査の結果で、本施設における住民参加が期待できることが示唆されたことから、本施設を地域の菜園的な存在に位置づける地域環境づくりをしておけば、地域と行政が一体となった効率的な運用が図れると考えられる。

6. まとめ

本実験により、クレソンを用いた水質浄化施設の水質浄化性能やクレソンの生長、住民参加手法について以下の知見が得られた。

- (1) 水路勾配0.5%、栽培管理方法は刈取り後1/3除去による方法が水質浄化性能が最もよく、除去率（除去速度）はSSが56%（20g/m²/日）、T-Nが14%（0.47g/m²/日）、T-Pが27%（0.09g/m²/日）であった。
- (2) 水質浄化性能は刈取り後1/3除去による栽培管理が刈取りのみの栽培管理よりも維持されやすく、本施設において効果的な浄化を図る栽培管理方法は、植物体と堆積物の除去を行う方法である。
- (3) 有用植物を使用した本施設は住民参加型の施設になり得ると考えられ、住宅付近に設置することでより多くの住民参加が期待できる。

以上より、実施設の計画について基本的な事項が示されたが、施設運用にあたっては、植物体と堆積物の適切な除去期間や除去回数、派生物の有効利用方法とその利用に対する住民参加等を検討し、効率的な運用システムを確立することが今後必要とされる。

7. 引用文献

- 1) 相崎守弘、中里広幸(1995)植物水耕栽培系における根圏生物の変化と栄養塩の除去、水環境学会誌、18(8)、624-627。
- 2) 中里広幸(1994)水耕生物ろ過法による浄化親水施設「土浦バイオパーク」の浄化結果と影響、霞ヶ浦研究会年報、4-9。
- 3) 八杉龍一、小関治男、古谷雅樹、日高敏隆、生物学辞典第4版、岩波書店(1996)
- 4) 大滝末男、石戸忠、日本水生植物図鑑、北隆館(1980)

5) 山根一郎 他、土壌学、文永堂出版(1997)

実験担当者

滋賀県土木部

河港課主任技師

田中 良典

滋賀県草津土木事務所

河川砂防課主任技師

石田 圭司

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構

実験センター所長

中山 繁

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構

技術開発部主任研究員

魚留 卓

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構

実験センター研究員

武井 直子

6. 限外ろ過膜（UF膜）ろ過実験

－水道用膜ろ過法による河川水の浄化実験－

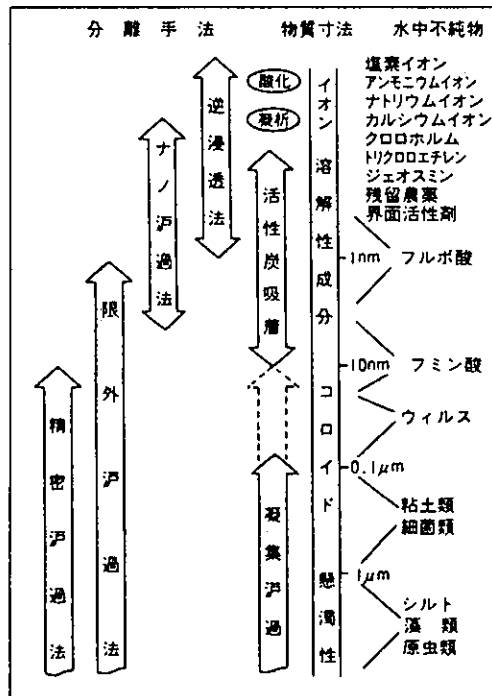
1. はじめに

従来の液体系膜ろ過は、原水が濁質を多く含んでいる場合は、目詰まりの問題から、使い捨て方式やあらかじめ他の処理プロセスの後の仕上げとして使用されるのが通常であった。しかし、河川水、湖沼水を原水として、砂ろ過やフィルターなどの処理を行っている工業用水や水道用水などに、膜分離法（限外ろ過膜、精密ろ過膜など）を用いる検討が近年行われ始めた。水道事業の浄水処理としては、1991年から厚生省や社団法人水道浄水プロセス協会などによって行われたMAC21計画研究「膜利用型新浄化システム開発研究」により、以下の点が明らかにされた。^{1)～3)}

- (1) 凝集・沈殿・ろ過のプロセスが「限外ろ過」に置き換えられ、システムとして安定している。
- (2) 用地面積の大幅な節減や建設工期の短縮が可能である。
- (3) 懸濁物質や細菌類の除去効果に非常に卓越し、高い水質浄化性能が得られる。（図1-1）
- (4) 凝集剤等の薬品を必要としない。

以上から、ガイドラインが制定され、限外ろ過法は河川水や湖沼水の浄水処理として簡易水道を中心に水道施設に導入されはじめている。

本研究は、現在、浄水処理として利用されはじめている限外ろ過膜を用いて河川水を直接浄化し、その浄化効果および処理能力を評価し、限外ろ過法が河川の直接浄化方法として使用可能かどうか検討するものである。



出典：新しい浄水技術「膜ろ過」
水道技術研究センター

図1-1 分離手法と除去対象物

2. 実験施設概要

2.1 施設条件

本実験装置のフローを図2-1に示す。東レ株式会社の開発したUF膜モジュールを3本並列にした。また、生物膜付着による膜の目詰まりを防止するために塩素の注入を行った。本実験で用いた施設仕様、運転条件を表2-1、表2-2に示す。

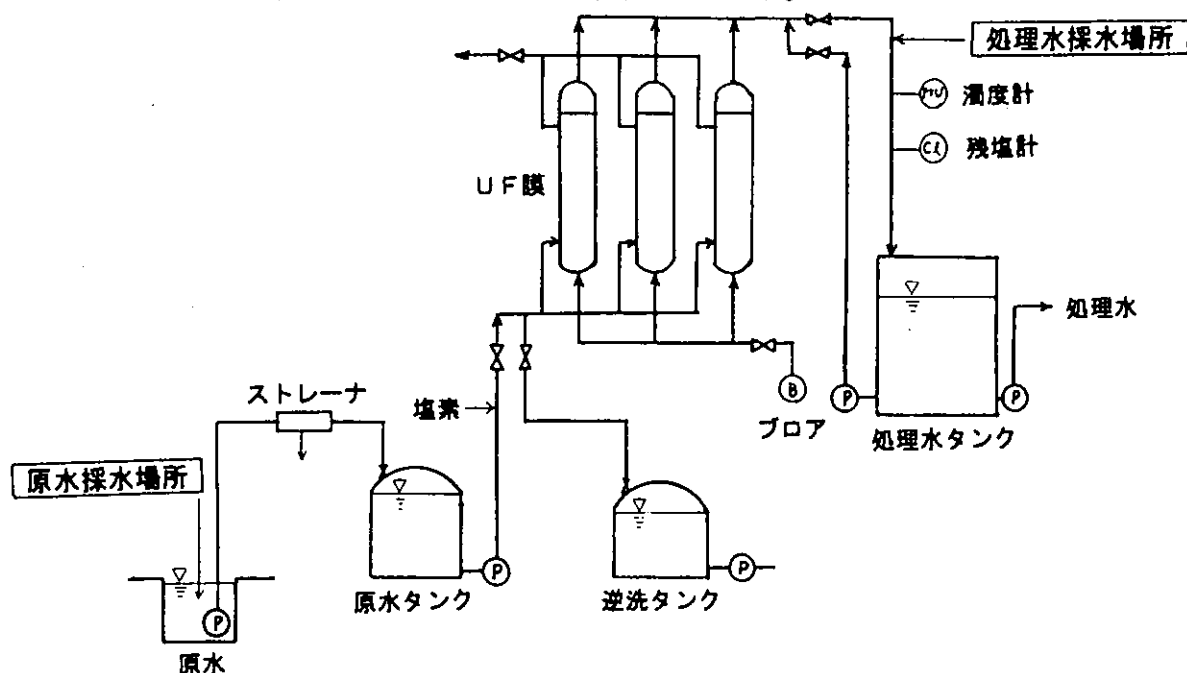


図2-1 装置のフロー図

表2-1 施設仕様

型式	外圧式全量ろ過型中空糸膜モジュール
膜材質	高重合度ポリアクリロニトリル (PAN)
公称孔径	0.01 μm
膜面積、エレメント数	12 m^2 /エレメント×3本
施設面積	敷地：4.0m×8.0m 建物：2.3m×4.3m 装置：2.0m×4.0m

表2-2 運転条件

取水量	0.60 m^3 /時
処理水量	0.60 m^3 /時 (15 m^3 /日)
ろ過運転時間	1時間
物理洗浄時間	逆洗、空洗等 4分/1時間
ろ過流束	0.4 m^3/m^2 /日

3. 実験内容

3.1 実験期間

1998年（平成10年）4月～1999年（平成11年）3月

3.2 実験方法

3.2.1 運転状況調査

装置の運転状況を確認するため、原水流量、処理水流量、膜差圧を多頻度に調査した。

3.2.2 水質浄化性能調査

月1～2回の割合で原水、処理水、逆洗水の水質分析を行った。採水場所は図2-1に示しており、分析項目および分析方法を表3-1に示す。2リットルのポリエチレン容器および滅菌処理したガラス瓶に、原水はヒシャクで、処理水は直接パイプから、逆洗水は逆洗タンクからヒシャクで採取し、速やかに実験室に持ち帰り分析を行った。条件を一定にするために、15時から16時の間に試料の採取を行った。

表3-1 分析項目および分析方法

分析項目	分析方法
SS	上水試験方法VI-1.12
CODMn.	上水試験方法VI-1.18
BOD	上水試験方法VI-1.20
T-N	上水試験方法VI-2.13
T-P	上水試験方法VI-2.8
T-Fe	上水試験方法VI-3.12
T-Mn	上水試験方法VI-3.11
Al	上水試験方法VI-3.6
Ca	上水試験方法VI-3.8
過マンガン酸カリウム消費量	上水試験方法VI-1.17
E260 (紫外線吸光度)	上水試験方法VI-1.21
硝酸性窒素および亜硝酸性窒素	上水試験方法VI-2.12
塩素イオン	上水試験方法VI-2.3
pH	上水試験方法VI-1.9
濁度	上水試験方法VI-1.3
色度	上水試験方法VI-1.6
臭気	上水試験方法VI-1.7
味	上水試験方法VI-1.8
一般細菌	上水試験方法VIII-1
大腸菌群	上水試験方法VIII-1

4. 結果

4.1 装置運転状況

流量、膜差圧、流束の経時変化を図4-1、図4-2、図4-3に示す。

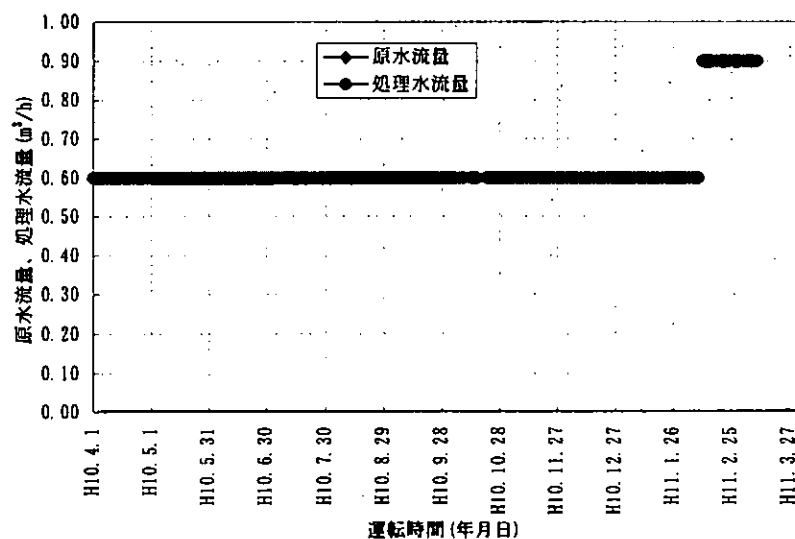


図4-1 流量の経時変化

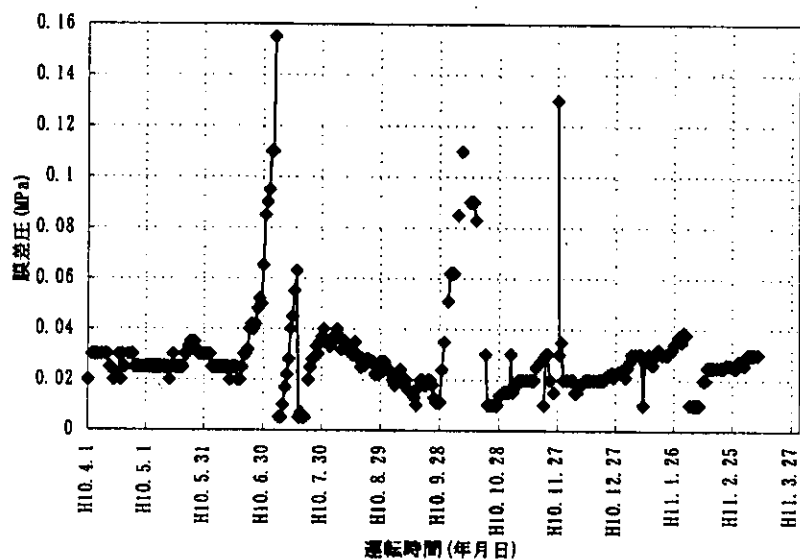


図4-2 膜差圧の経時変化

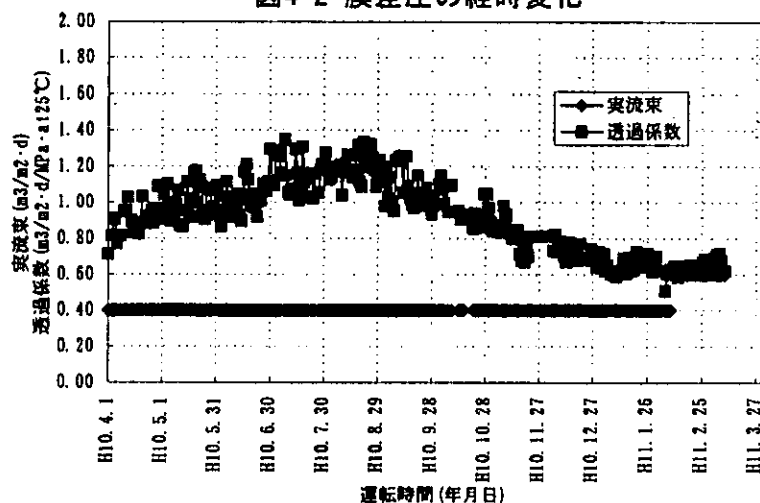


図4-3 流束の経時変化

初期運転時、原水流量を $0.60\text{m}^3/\text{h}$ で運転を行った結果、1998年（平成10年）6月中頃から急激な膜差圧の上昇が生じ、最高値で 0.16MPa を示し、膜の目詰まり等が見られた。このため、膜の薬品洗浄（ 0.1mol/l 塩酸、水酸化ナトリウム、 $1,000\text{mg/l}$ 次亜塩素酸ナトリウム各1時間）を行い、初期状態まで回復した。原水流量と処理水流量は常に一定だった。

4.2 水質調査

4.2.1 COD、BOD、T-N、T-P、SSの経時変化

COD、BOD、T-N、T-P、SSの原水と処理水の濃度の経時変化を図4-4～図4-8に示す。

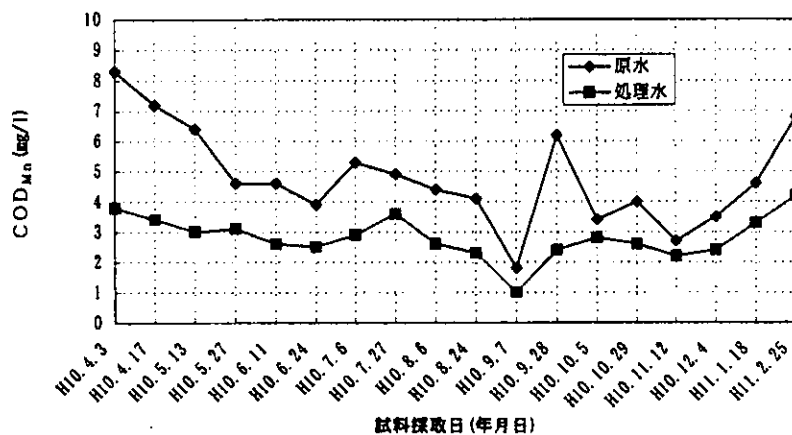


図4-4 原水水質と処理水水質の経時変化 (COD)

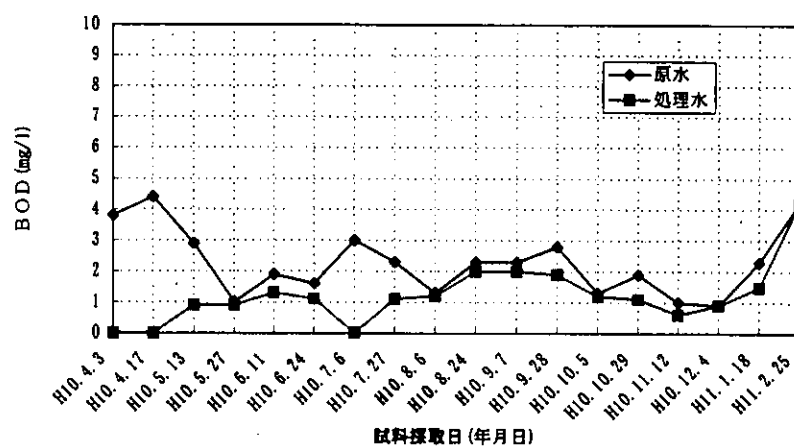


図4-5 原水水質と処理水水質の経時変化 (BOD)

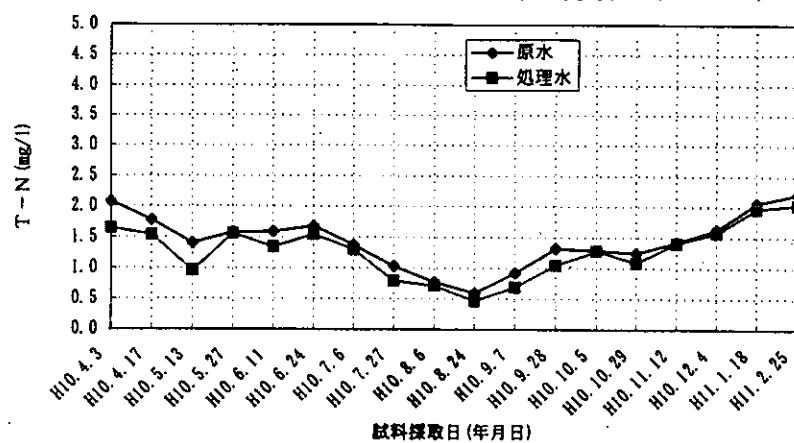


図4-6 原水水質と処理水水質の経時変化 (T-N)

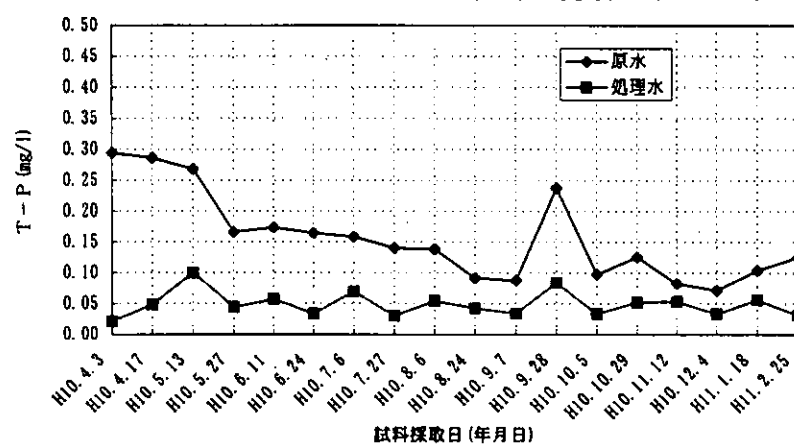


図4-7 原水水質と処理水水質の経時変化 (T-P)

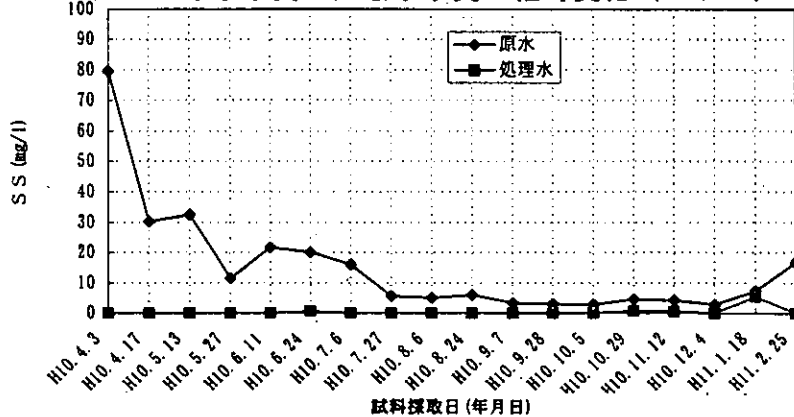


図4-8 原水水質と処理水水質の経時変化 (S S)

各項目とも多少のばらつきはあるものの、年間を通して一定した浄化性能が得られた。特に、BOD、T-P、SSに関しては、高負荷流入時においても原水水質濃度に関係なく安定した浄化性能が得られ、BODで0.9mg/l程度、T-Pで0.03mg/l程度、SSで0.3mg/l程度の処理水濃度であった。

4.2.2 COD、BOD、T-N、T-P、SSの除去率

COD、BOD、T-N、T-P、SSの除去率の経時変化を図4-9～図4-13に示す。

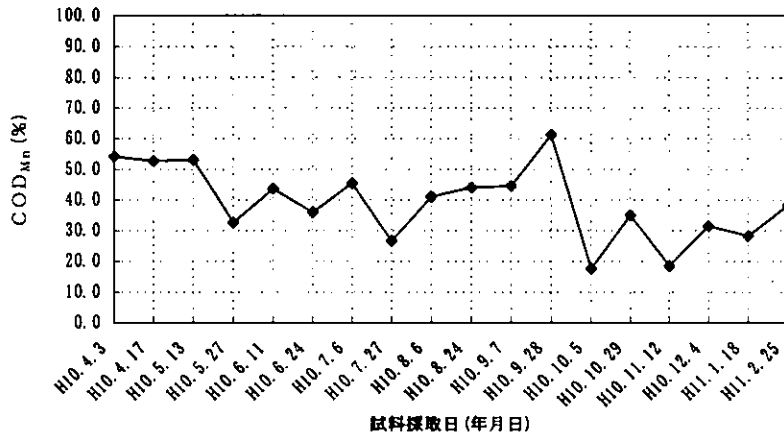


図4-9 除去率の経時変化 (COD)

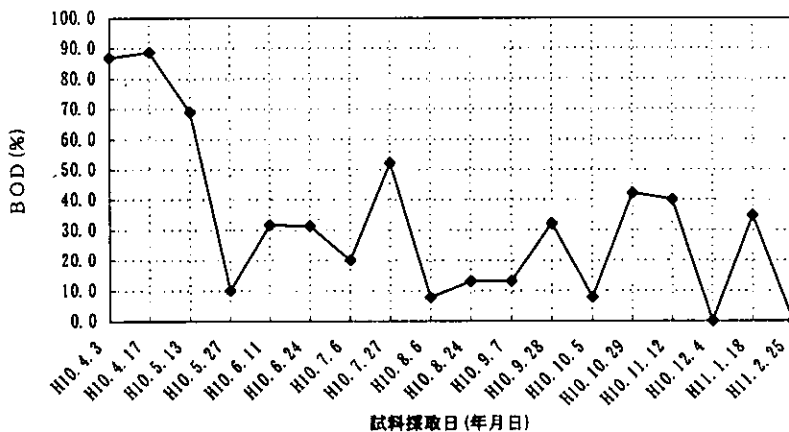


図4-10 除去率の経時変化 (BOD)

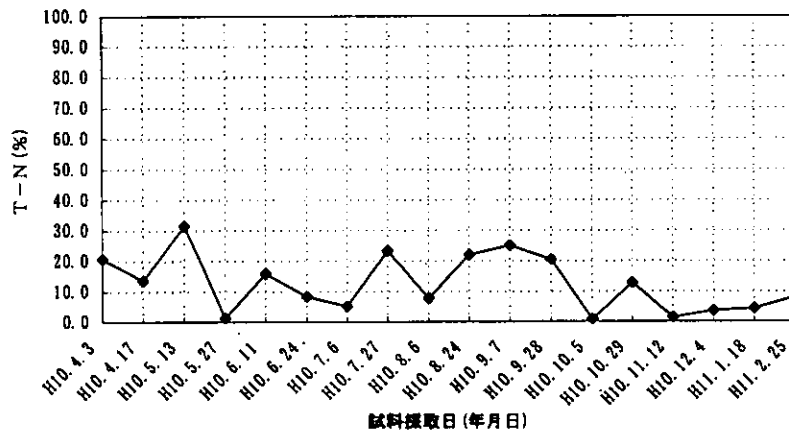


図4-11 除去率の経時変化 (T-N)

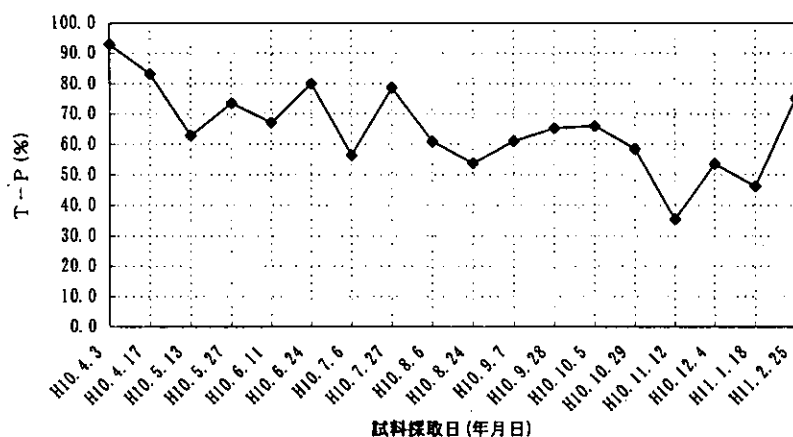


図4-12 除去率の経時変化 (T-P)

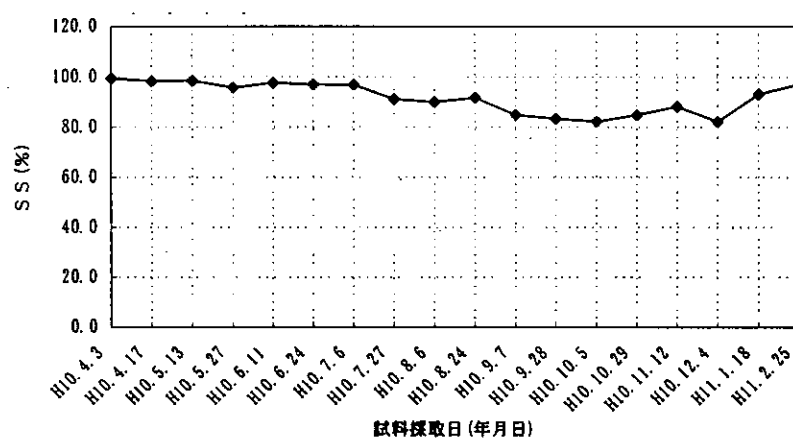


図4-13 除去率の経時変化 (SS)

BOD、T-Pは1998年（平成10年）4月以降から徐々に除去率の低下が見られた。これは前述の図4-5、図4-7から原水水質濃度の低下に起因していることが分かる。他の項目は経時的に一定した除去率が得られた。

各項目の平均除去率および原水濃度範囲を表4-1に示す。COD、BODは40%以上の除去率が得られた。富栄養化の原因となるT-N、T-Pの除去率については、T-Nが14.5%、T-Pが72.6%であり、T-Nの除去率が悪かった。SSの除去率は92.0%で、他の水質項目の中で最高値を示し、UF膜ろ過が除濁に卓越していることが分かる。

表4-1 平均除去率

項目	平均除去率	原水水質濃度
COD	43.0 %	1.8 ~ 8.3 mg/l
BOD	51.8 %	0.5 ~ 4.4 mg/l
T-N	14.5 %	0.57 ~ 2.37 mg/l
T-P	72.6 %	0.039 ~ 0.294 mg/l
SS	92.0 %	2.8 ~ 78.6 mg/l

4.2.3 その他分析項目の除去率

表4-2に水道法水質基準項目の平均除去率および原水水質濃度範囲を示す。

表4-2 平均除去率

項 目	平均除去率	原水水質濃度
T - F e	94.4 %	0.09 ~ 1.32 mg/l
T - M n	22.9 %	0.61 ~ 0.275 mg/l
C a	2.0 %	12.2 ~ 31.4 mg/l
A l	81.3 %	0.05 ~ 21.7 mg/l
E 260	39.5 %	0.059 ~ 0.969 mg/l
過マンガン酸カリウム消費量	43.8 %	3 ~ 15.4 mg/l
硝酸性窒素および亜硝酸性窒素	-2.7 %	0.33 ~ 1.7 mg/l
塩素イオン	-1.7 %	6.3 ~ 49.4 mg/l
臭気	異常なし	泥臭、微土臭
味	異常なし	微苦味、微渋味
濁度	97.2 %	2.9 ~ 79
色度	90.7 %	27 ~ 280
一般細菌	100 %	20 ~ 11,400 個
大腸菌群	検出されない	検出された

T - F e、A l、濁度、色度、一般細菌、大腸菌群は、平均80%以上の除去率を示した。一般細菌については、原水濃度が低レベルな場合においても100%の除去が得られ、細菌類の除去に卓越した効果が見られた。

4.2.4 逆洗水水質

逆洗水の水質結果を表4-3に示す。

表4-3 逆洗水質

項目	平均濃度	原水水質濃度 (参考)
C O D	46.7 mg/l	1.8 ~ 8.3 mg/l
B O D	25.1 mg/l	0.5 ~ 4.4 mg/l
T - N	5.96 mg/l	0.57 ~ 2.37 mg/l
T - P	4.68 mg/l	0.039 ~ 0.294 mg/l
S S	574 mg/l	2.8 ~ 78.6 mg/l

逆洗水が原水に比べて数十倍の濃度になっていることが分かる。排水の基準値は下回るが、河川浄化を目的から高濃度の逆洗排水を河川へ放流することは問題であり、今後逆洗排水について何らかの処理が必要である。

5 考察

5.1 水質浄化効果

富栄養化の原因となるT - N、T - Pにおいて、年平均除去率が14.5%、72.6%と本UF膜ろ過による除去効果に大幅な差異が見られた(表4-1)。原水(葉山川水)のT - NとT - Pに対する溶存態の割合(1997年(平成9年)10月、1998年(平成10年)8月採取データ)を表5-1に示す。

表5-1 葉山川原水のT - N、T - Pの溶存態の割合

項目 年月日	T - N (mg/l)	溶存態T - N (mg/l)	溶存態割合 (%)	T - P (mg/l)	溶存態T - P (mg/l)	溶存態割合 (%)
1997年10月	1.60	1.45	90	0.170	0.040	24
1998年 8月	0.85	0.55	65	0.158	0.065	41

表5-1より、葉山川原水のT - N、T - Pの溶存態の割合は、T - Nが90%(1997年10

月)と65%(1998年8月)、T-Pが24%(1997年10月)と41%(1998年8月)であり、窒素は溶存態の割合が多く、リンに関しては粒子態の割合が多いことがわかる。このことから、窒素、リンにおいては、主に粒子態を除去していると考えられ、このためT-Nの除去率が悪いと思われる。なお、本UF膜ろ過浄化施設におけるSSの年間除去量は62.7kg、流出量に対する除去量は97.4%となり、粒子態の物質の除去性能に卓越しているといえる。

物理洗浄排水は原水量の約10%発生し、SS濃度としては数百mg/lであり、この処理については今後の課題である。

水道水質基準項目を基準値(1992年12月)と比較してみる(表5-2)。⁴⁾

表5-2 水道水質基準値との比較

項 目	処理水濃度	基準値
T-F e (mg/l)	0.01~0.19	<0.3
T-M n (mg/l)	0.003~0.296	<0.3
C a (mg/l)	11~31.9	-
A l (mg/l)	0.02~0.09	-
E 260 (mg/l)	0.028~0.256	-
過マンガン酸カリウム消費量(mg/l)	2.2~5.0	<10
硝酸性窒素および亜硝酸性窒素(mg/l)	0.84~8.4	<10
塩素イオン(mg/l)	6~48.9	<200
臭気	異常なし	異常なし
味	異常なし	異常なし
濁度	<0.1~2	<2
色度	2~5	<5
一般細菌(個/ml)	0	<100
大腸菌群	検出されない	検出されない

各項目とも、ほぼ基準値を満足する結果が得られたが、T-Mnと色度については水道水基準値をкаろうじて満足するレベルのデータもあり、安定して基準値を遵守するためには、凝集・除マンガン装置、オゾン処理などの高度処理プロセスを付加する必要がある。ただし、河川浄化を目的とした場合は、膜ろ過設備のみで十分な処理効果が得られていると考えられる。

5.2 コスト

本UF膜ろ過浄化装置を365日連続運転した場合の概算のランニングコスト(1m³あたり)を表5-3に示す。

表5-3 概算ランニングコスト

項目	使用量	単 価	金額(円/日)	備 考
電 力	24 kWh/日	11 円/kWh	264	
UF膜	3 本	100 千円/本	274	3年で交換とする
その他			46	薬品代
合 計			584	
			39 (円/m ³)	

処理水量: 15m³/日、年間稼働時間: 8,760時間

薬品代: 膜の薬品洗浄代(2~4回/年とする)と注入塩素代

表5-3より1m³の水を処理するにあたり、39円のランニングコストがかかることが分かる。なお膜の仕様や運転状況等の違いによってランニングコストが異なるが、一般的に膜ろ過施設のランニングコストとしては、1m³処理するにあたり、20~55円⁵⁾かかるといわれている。表5-4に本UF膜ろ過浄化施設の建設費用に対する減価償却費(1m³あたり)を示す。

表5-4 建設費用の減価償却

本UF膜ろ過浄化施設建設コスト	20,000	千円
建築寿命	15	年
年間処理水量	5,475	m ³
減価償却費	244	円/m ³

建設費：設備代、建物代、当初膜代

以上より、本膜ろ過浄化施設による処理には、283円/m³（ランニングコスト39円/m³＋減価償却費244円/m³）のコストがかかることがわかる。

一方、日本の小規模水道における膜ろ過浄化施設の概算建設費⁵⁾を図5-1に示す。

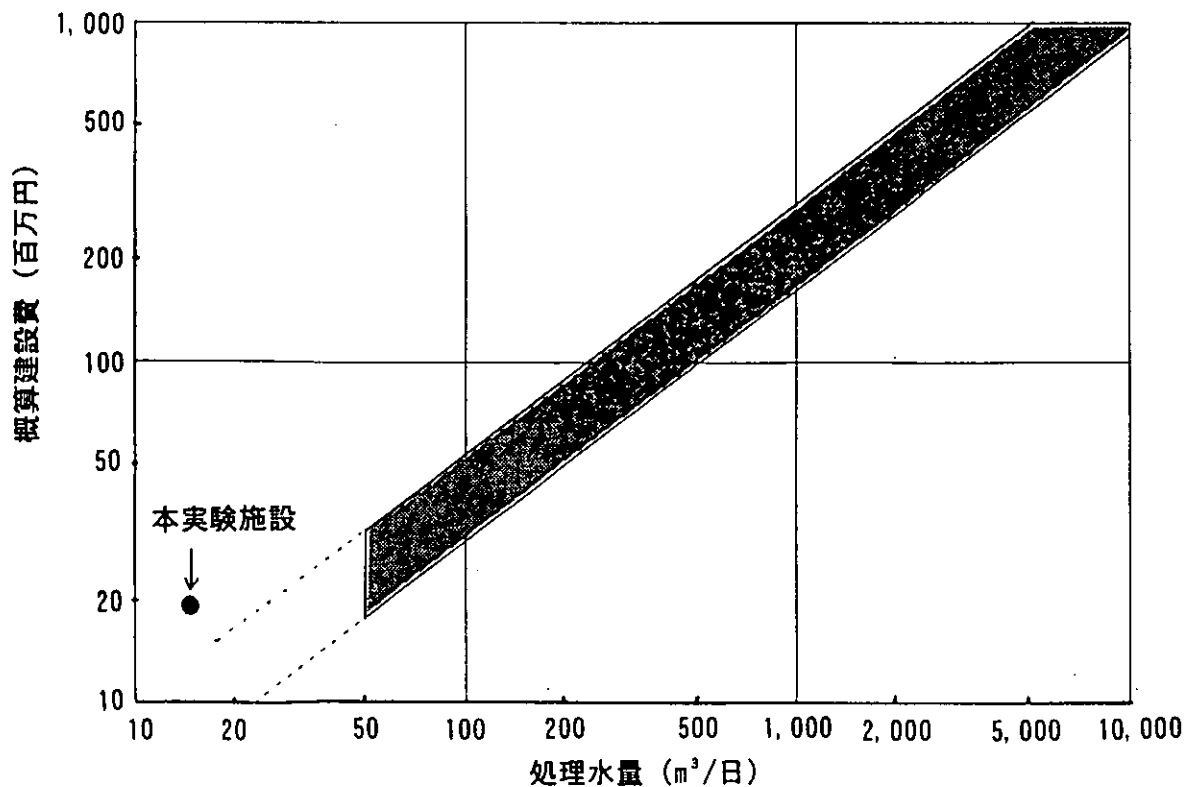


図5-1 膜ろ過設備概算建設費

図5-1では、膜の価格差や原水水質によって前処理施設が必要となる場合などから建設費に幅を持たせてあるが、処理水量が大きくなればなるほど建設費単価（処理水量1m³/日あたり）は小さくなることがわかる。処理水量が10,000m³/日の施設の場合、建築寿命を15年とすると建設費単価はおおよそ100,000円となり、減価償却費はわずか18円/m³である。処理規模を大きくすることによって1m³処理するにあたってのコストを大きく削減することが出来ることがわかる。

以上より、河川の直接浄化を目的とした場合、UF膜ろ過は、膜のコストの削減はもとより、膜の寿命の延長、膜洗浄回数の削減ならびに処理規模の拡大などによるランニングコストと建設費用の削減や、逆洗水の処理などが今後課題と考えられるが、SS、T-P、懸濁物質、細菌類などの除去に卓越しており、飲料水としても可能であることから、当面は河川公園内での親水施設での利用などが考えられ、コストの大幅な削減によって河川の直接浄化への使用の可能性が出てくると考えられる。

6. まとめ

- (1) 各水質分析項目とも、年間を通して一定した浄化性能が得られた。
- (2) 年平均除去率は、COD、BODで40%以上、T-Pで73%、T-Nで15%、SSで92%であった。T-Nの除去率は、原水の溶存態比率に依存していた。
- (3) 水道水質基準項目は、基準値を満足する結果が得られた。
- (4) 本膜ろ過浄化施設は、283円/m³(ランニングコスト39円/m³+減価償却費244円/m³)のコストがかかり、河川直接浄化手法としては高コストであるが、規模拡大によりコストはかなり下げられる。

7. 課題

1999年2月9日より、本装置における膜モジュールの寿命、薬品洗浄実施タイミングの延長、本原水水質における運転条件の検討等を目的として、表7-1の運転条件に変更して運転を開始した。

表7-1 運転条件

取水量	0.90 m ³ /時
処理水量	0.90 m ³ /時 (約20m ³ /日)
ろ過運転時間	30 分
物理洗浄時間	8分/30分
ろ過流速	0.6 m ³ /m ² /日
逆洗水量	30 l/分
エアール量	60 nl/分
排水方法	自然排水
塩素注入量	3 ppm (間欠前塩素添加;ろ過終了前3分)

今後は、本運転条件で連続運転を実施し、膜の寿命等について検討を行う。

8. 引用文献

- 1) 中尾真一(1995)膜分離技術による水処理、水環境学会誌、2、66-73.
- 2) 赤澤寛(1997)今後の水環境保全の動向と最新水処理技術、高度浄水技術としての膜利用の行方、資源環境対策、33、225-230.
- 3) 水道浄水プロセス協会、MAC21計画研究発表会・講演集
- 4) 厚生省令第69号、水道法に基づく水質基準、平成4年12月21日.
- 5) 財団法人水道技術研究センター、小規模水道における膜ろ過施設導入ガイドライン、平成 9年4月、90-91.

実験担当者

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構	実験センター所長	中山 繁
財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構	実験センター研究員	武井 直子
東レエンジニアリング株式会社	開発部門環境グループグループリーダー	岡田 宏道
東レエンジニアリング株式会社	開発部門環境グループ	朱 列平
東レエンジニアリング株式会社	環境プラント事業部主任技師	原 孝之
東レエンジニアリング株式会社	環境プラント事業部	吉田 裕一

7. 土壌浄化実験

1. 目的

富栄養化原因物質のうち、リンを除去する方法として凝集剤を使用する方法があるが、この方法では短時間で確実にリンを凝集分離できるものの、維持管理が難しく、また薬品費がかかり汚泥を増加させるという短所がある。これに対し、低濃度水でも吸着可能、かつ比較的安価である土壌ろ材は、化学吸着材との比較においても優れたリン吸着能を有している。

本実験は、土壌ろ材を用いて琵琶湖流入河川水中のリンを吸着除去することを目的とし、土壌浄化施設における水質浄化性能および維持管理方法などについて検討したものである。

2. 実験施設諸元

2.1 土壌浄化実験施設

土壌浄化実験施設の設計諸元を表2-1に示す。幅6.0m、長さ20.0mの土壌浄化槽を4槽設置し、1槽当たり通水量36～180m³/日、通水速度0.3～1.5m/日で運転した。

表2-1 施設諸元

施設諸元	系 列 数		4槽
	通 水 量		36～180m ³ /日/槽
	規 模	W(m) × L(m) × H(m)	6.0 × 2.0 × 1.8
		水 面 積 負 荷 (通 水 速 度)	0.3～1.5m ³ /m ² /日 (0.3～1.5m/日)
		滞 留 時 間	0.9～4.8日

施設の概要を表2-2に示す。A、D槽は土壌層（リン吸着処理層）だけの単層構造であり、リン吸着ろ材としてA槽には赤玉土、D槽には黒ぼく土を敷設した。また、B、C槽は2層構造となっており、上層を5号単粒度砕石から構成される砕石層（生物膜処理層）とし、下層を赤玉土から構成される土壌層（リン吸着処理層）とした。また、全槽とも土壌層の上端及び下端には7号単粒度砕石から構成される砕石層を敷設した。このような土壌浄化実験施設の平面図を図2-1に示す。

表2-2 施設概要

槽	施設概要	槽区分
A槽	下向流方式、単層構造 リン吸着処理層 : 赤玉土（中粒加熱乾燥品）使用	2分割槽構造
B槽	下向流方式、2層構造 生物膜処理層（上層） : 5号単粒度碎石使用、散気管有り リン吸着処理層（下層） : 赤玉土（中粒加熱乾燥品）使用	
C槽	上向流方式、2層構造 生物膜処理層（上層） : 5号単粒度碎石使用、散気管有り リン吸着処理層（下層） : 赤玉土（中粒加熱乾燥品）使用	
D槽	下向流方式、単層構造 リン吸着処理層 : 黒ぼく土使用	2分割槽構造

（備考） 土壌層の上端と下端には7号単粒度碎石から構成される碎石層を敷設した。

7号単粒度碎石粒径 : 2.5～5.0mm

5号単粒度碎石粒径 : 13.0～20.0mm

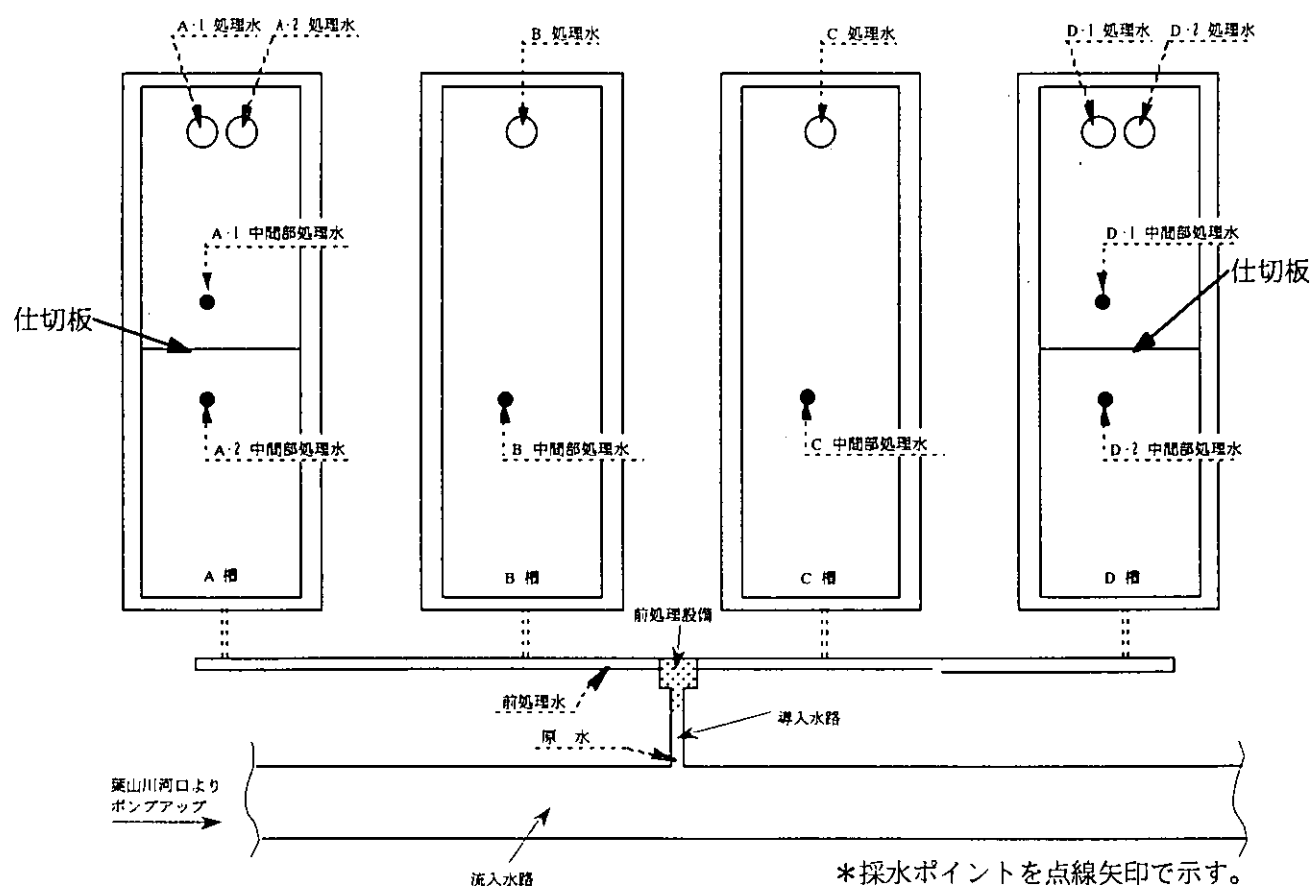


図2-1 土壌浄化実験施設平面図

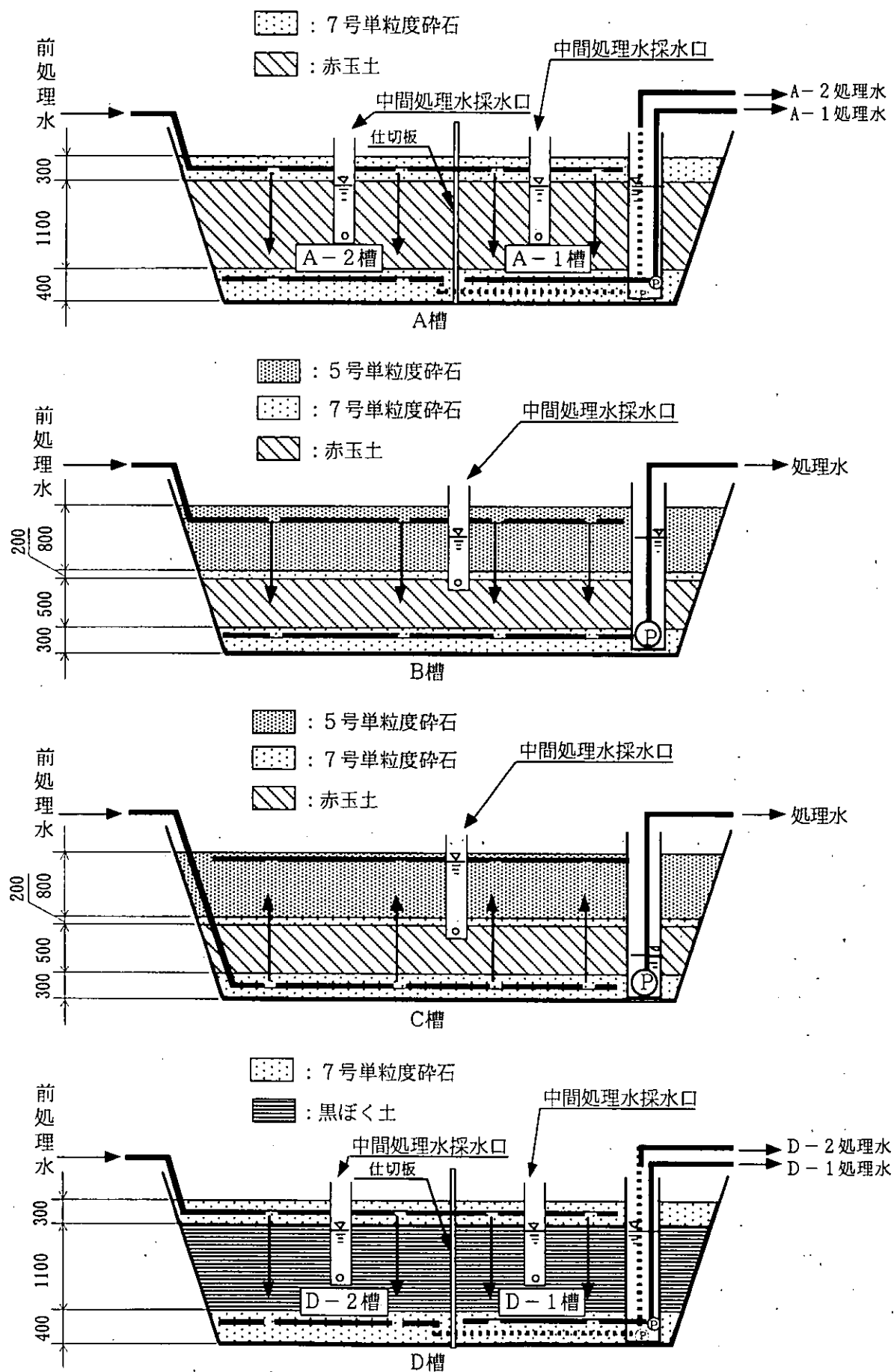


図 2-2 土壤浄化実験施設断面図

2.2 浸透ろ過実験施設

浸透ろ過実験施設の諸元を表2-3に示す。

浸透ろ過実験施設では、昨年度土壌浄化実験施設内に認められた異常層の影響について検討を行った。

表2-3 浸透ろ過実験施設諸元

施設規模	幅1m×長さ3m×高さ1.2m
原水タンク	F R P 製 容量4m ³
給水ポンプ	60 l/min 揚程 30m 200V 2台
水面積負荷	0.25～10m ³ /m ² /日
通水方向	下向流

3. 実験結果と考察

3.1 水質調査

3.1.1 通水方法の差による浄化特性の比較

下向流方式である土壌浄化実験施設B槽と上向流方式であるC槽の処理水質について比較検討を行った。実験期間中の農業排水、B槽処理水およびC槽処理水の平均値を表3-1に示す。

表からわかるようにSSとT-Pの除去能において上向流方式であるC槽の方が良い結果となった。また、その他の成分についてもC槽の除去率がB槽に比較し若干良いかもしくは同等であった。

これらの除去性能の差については、上向流方式の場合槽底部の給水配管より給水するため圧力が安定し槽全体に均一に水の供給ができ水みちの発生が少ないこと、槽内の水位が安定していること等が原因として推測される。

表3-1 下向流方式と上向流方式による処理水質の比較

	農業排水	B槽処理水 (下向流方式)	C槽処理水 (上向流方式)
pH	6.9	7.0	6.9
SS (mg/l)	39.7	4.6	2.1
COD (mg/l)	5.9	1.8	1.5
T-P (mg/l)	0.222	0.069	0.033
T-N (mg/l)	1.64	1.56	1.31
BOD (mg/l)	4.2	1.6	1.2

次に生物膜処理を目的として槽上部に敷設してある5号単粒度碎石層の働きについて見る。図3-1および図3-2にB槽とC槽のBODを示す。下向流方式であるB槽の場合、前処理水、中間水、処理水の順でBOD値が低下する傾向となり槽内全体でBOD除去（ろ過、生物分解など）が行われている。これに対し、上向流方式のC槽では中間水と処理水のBODがほぼ同じ値となっている。これは、C槽ではBODの除去が赤玉土層までで行われており上部の5号単粒度碎石層が働いていないことがわかる。B槽とC槽の処理水のBOD値に差がないことより、C槽の場合赤玉土層において十分BODが除去されていることがわかるが、この場合、赤玉土層への負荷が多くなり赤玉土層の閉塞を早めることが懸念

される。また、C槽の場合5号単粒度砕石層への流入水は赤玉土層でリン吸着除去されT-P濃度が低下している。このため微生物の増殖環境として適していないと考えられる。この2点からC槽の5号単粒度砕石層は、赤玉土層より前段へ設置する方が生物膜処理層としてまたSS除去層（ろ過層）として有効に機能すると考えられる。

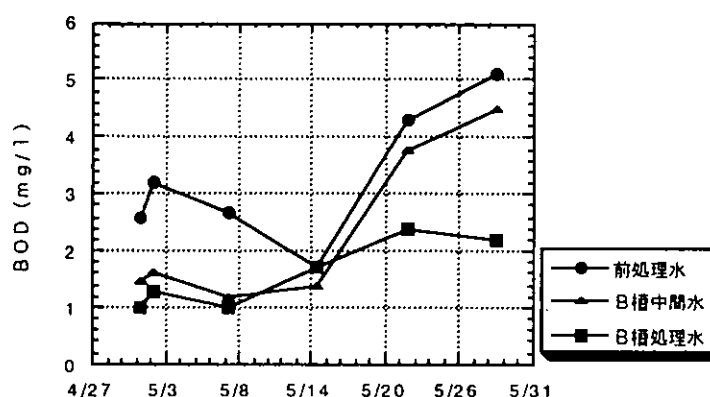


図3-1 下向流方式での処理水質 (BOD)

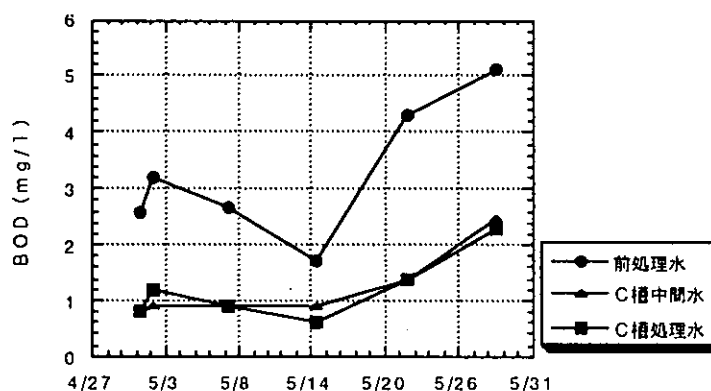


図3-2 上向流方式での処理水質 (BOD)

次に、維持管理面について両通水方式を比較すると上向流方式の場合槽内の閉塞が流入配管に近い槽底面から発生することが予想され、槽内の閉塞改善を行うためには槽底部までの耕起が必要となる。この維持管理面を考慮すると実設備では若干処理性能は低下するが下向流方式が望ましいと考えられる。

3.1.2 流入水質の季節変動

農業排水および葉山川河川水の各成分の変動について調査を行った。

(1) 農業排水

98年5月1日～29日の代かき、田植え時期の農業排水の水質についてpH、SS、COD、BOD、T-P、PO₄-P、T-N、NH₄-N、NO₂-NおよびNO₃-Nの10項目について調査を行った。

その結果、SS（最大66.0mg/l）、T-P（最大0.323mg/l）、PO₄-P（最大0.260mg/l）、T-N（最大2.52mg/l）、NH₄-N（最大0.82mg/l）、NO₂-N（最大0.154mg/l）およびNO₃-N（最大1.14mg/l）の7成分については代かき等の農作業の最盛期に濃度の上昇が認められた。代かきによって肥料成分であるリン、窒素および土壌由来のSSが農地から農業排水へ流出したためと考えられる。これら7成分の変動を図3-3に示す。

上記7成分以外のpH、BOD、CODの変動については農作業時期と特に強い相関は認められなかった。

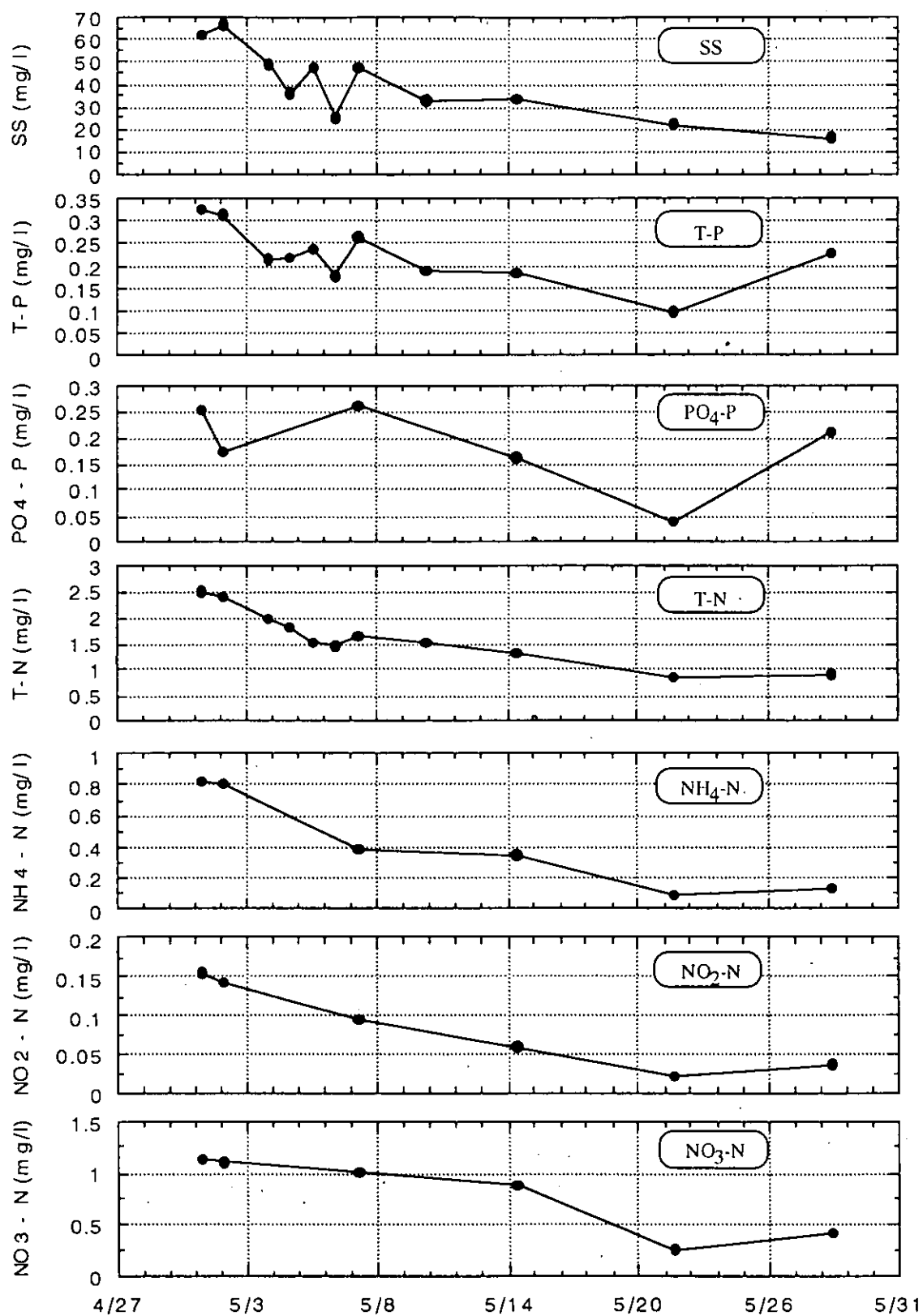


図3-3 農業排水の水質変動

(2) 葉山川河川水

98年6月10日～99年2月10日の葉山川河川水の水質についてpH、SS、COD、BOD、T-P、PO₄-P、T-N、NH₄-N、NO₂-NおよびNO₃-Nの10項目について調査を行った。

これらの成分の内SS、COD、T-Pについてはほぼ同じような変動の傾向を示していた。河川水のSS（変動範囲：3.2～130.0mg/l）、COD（変動範囲：2.4～8.9mg/l）、T-P（変動範囲：0.066～0.317mg/l）の変動を図3-4から図3-6に示す。

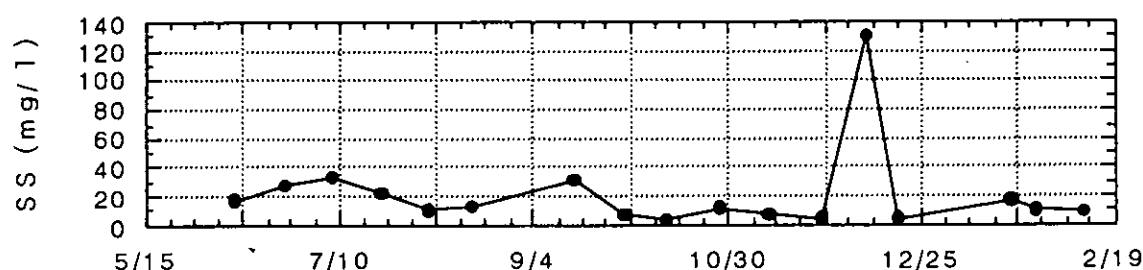


図3-4 葉山川河川水の水質変動（SS）

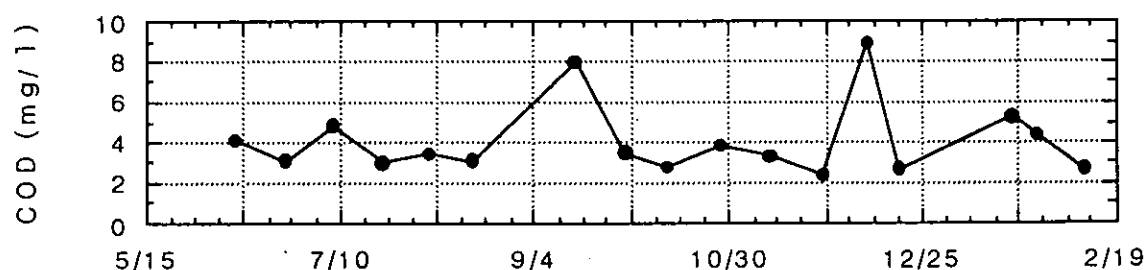


図3-5 葉山川河川水の水質変動（COD）

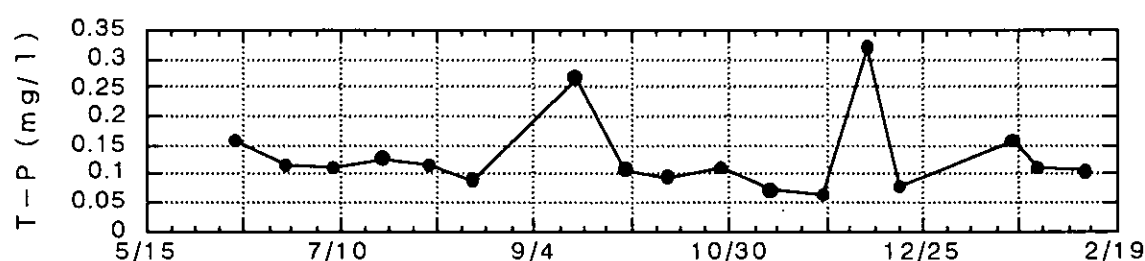


図3-6 葉山川河川水の水質変動（T-P）

次にT-N、NO₃-N、NO₂-NおよびNH₄-Nの変動を図3-7に示す。T-N濃度においては6月10日～11月11日の間では0.5mg/l～1.5mg/lの範囲であるのに対し11月26日～2月10日の間では1.5mg/l～2.0mg/lに上昇している。窒素成分別に見るとNO₃-N濃度については11月26日から濃度の上昇が見られたが、NO₂-NおよびNH₄-N濃度については同じ時期に顕著な変動は認められなかった。この事より、冬期のT-N濃度上昇は河川への流入水中のNO₃-N濃度上昇によるものと考えられた。

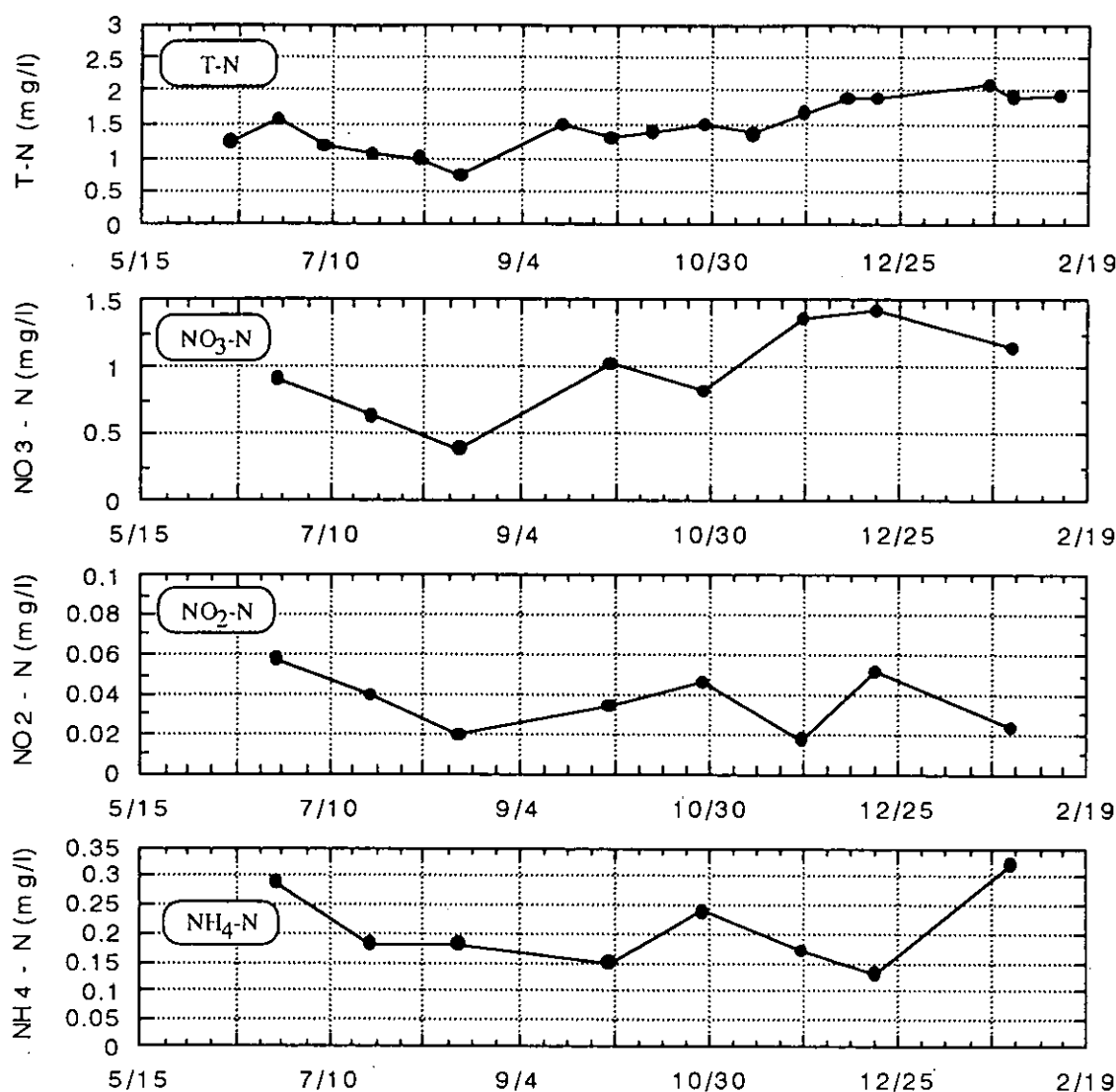


図3-7 葉山川河川水の窒素成分の水質変動

3.1.3 高濃度原水による処理性能の評価

土壌浄化実験施設において高濃度原水として代かき、田植え時期の農業排水を用いた時の処理性能について河川水処理の場合と比較を行った。

実験期間中の農業排水および葉山川河川水の平均濃度を表3-2に示す。農業排水は、河川水に比較しSSで約2.3倍、T-Pで約1.6倍、BODで約1.7倍の濃度であった。

表3-2 農業排水と葉山川河川水の水質

	濃度 (mg/l)				
	SS	BOD	COD	T-P	T-N
農業排水*	39.7	4.2	5.9	0.222	1.64
葉山川河川水**	17.4	2.5	3.8	0.138	1.37

農業排水* : 98年5月1日～29日の間の分析値の平均

葉山川河川水** : 97年7月9日～98年1月20日の間の分析値の平均

次に実験期間中の除去率を表3-3に示す。

SS、T-Pについては、農業排水を原水に用いた場合の処理水は河川水の場合に比較し除去率は悪化した。しかし、T-Pの除去量として見るとB槽の場合河川水処理時18.5 g-(T-P)/槽・日、農業排水処理時 28.4 g-(T-P)/槽・日 であった。

また、BOD、T-Nについては農業排水を処理した場合の方が除去率がそれぞれ71.4%、20.6%（C槽）と高くなった。BODおよびT-N成分の除去については微生物による分解が関与しており、農業排水の場合、河川水に比較し原水のBOD、T-P濃度が高く微生物の増殖等の活性を高く維持されたため河川水処理時に比較しBOD、T-Nの除去率が高くなったと考えられる。

表3-3 農業排水および河川水処理時の除去率

	除去率 (%)			
	B槽		C槽	
	農業排水	河川水	農業排水	河川水
SS	84.6	90.8	93.0	95.4
BOD	51.5	41.8	71.4	50.8
COD	65.4	43.5	71.2	75.2
T-P	66.8	74.6	84.1	86.9
T-N	5.5	-1.4	20.6	10.9

河川水*：97年度連続通水時のデータを記載。

除去率** (%)：(前処理水濃度－処理水濃度) ÷ 前処理水濃度 × 100

3.1.4 充填ろ材の違いによる浄化特性の比較

充填ろ材として赤玉土と黒ぼく土について比較検討を行った。実験期間の平均処理水質を表3-4に示す。

処理水質の内T-P、T-Nについては黒ぼく土を充填ろ材として使用したD槽の方がT-P0.005～0.014mg/l、T-N0.87～0.97mg/lと良好な水質となった。しかし、D槽の場合処理水のpHが一時的に5以下に低下する現象が認められた。A槽、D槽のpHを図3-8に示す。これは、黒ぼく土に含まれる有機物由来の硫酸イオン濃度の上昇によるものと推測した。黒ぼく土については、運転条件により処理水のpHが極端に低下する問題があるため充填ろ材としては適さないと判断した。

また、赤玉土が粒径約7mm程度の粒状になっているのに対し、黒ぼく土は微細であるため通水抵抗が上昇し、通水量が低下する問題もあった。

表3-4 A槽、D槽平均処理水質

項目	水質				
	河川水	A槽（赤玉土）		D槽（黒ぼく土）	
		A-1槽	A-2槽	D-1槽	D-2槽
pH	6.8	6.7	6.7	5.6	5.4
SS (mg/l)	22.4	0.5	0.5	0.6	0.7
T-P (mg/l)	0.126	0.021	0.013	0.014	0.005
T-N (mg/l)	1.22	1.26	1.22	0.97	0.87
COD (mg/l)	3.7	0.8	0.6	1.6	0.8

実験期間：1998年6月1日～8月10日の水質分析結果による

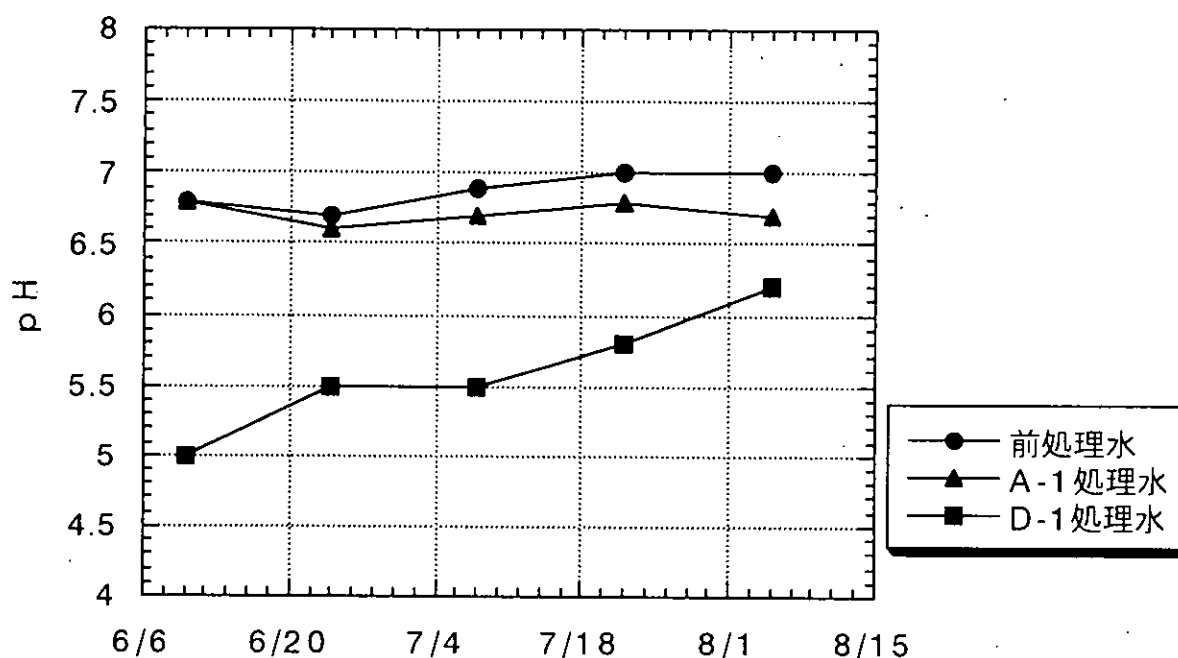


図3-8 A槽D槽pHの変動

3.2 ろ材の観察

土壌吸着ろ材として使用している赤玉土および黒ぼく土の変化および閉塞状況についてろ材の回復作業の必要性について検討を行うことを目的とし、以下に記すような調査をA槽、D槽において実施した。なお、本検討ではろ材回復作業の必要性を短期間で見極めるため、前処理を停止し原水を直接土壌浄化施設に流入させた。

3.2.1 通水速度の変化

前処理ろ材を除去し原水を直接土壌浄化施設に流入させる実験をA-1槽で行ったところ、土壌浄化施設の通水量（処理水量、設定値90m³/day）は急激に低下した。この状況を図3-9に示す。この調査結果は、前処理の重要性とともに、ろ材回復作業の必要性を直接的に意味する。

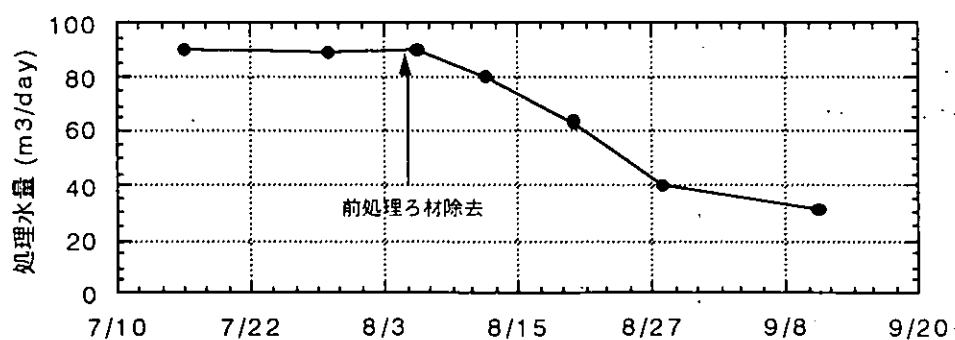


図3-9 前処理停止による通水量（処理水量）の低下

3.2.2 SS流入量

上記の検討期間における土壌浄化実験施設1槽あたりに流入したSS量を試算し、表3-5にまとめた。

表3-5 前処理を停止していた期間の流入SS量

前提条件	通水速度 (m/日)	1.5
	流入水SS平均濃度 (mg/l)	13.3
	処理水SS平均濃度 (mg/l)	0.6
	通水日数 (日)	69.0
試算値	槽内SS堆積量 (kg/槽)	158.0

前処理ろ材を1年間常に設置していた昨年度の結果では、1槽あたり1年間に520kg程度までのSS流入量であれば通水速度1.5m/日で少なくとも1年間の通水が可能であったが、今年度のように前処理ろ材を除去し比較的高濃度のSSが流入した場合は、総流入SS量が比較的少ない場合でも閉塞が起こり得ることがわかった。したがって、総流入SS量の調査からはろ材回復作業の必要性を直接的には判断することが難しいと考えられる。

3.2.3 槽内観察 (目視観察)

(1) 上部碎石層

閉塞の原因となる流入水中のSSが上部碎石層に埋設してある給水配管の給水孔周囲に局在して堆積し、給水孔を閉塞させていた。

(2) 赤玉土層 (A槽)

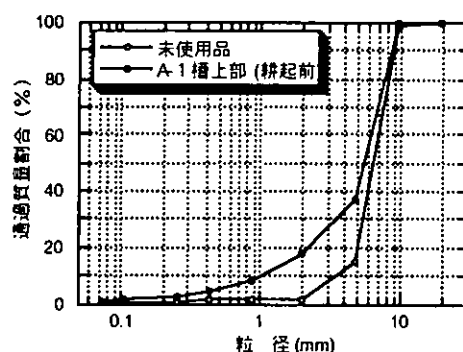
A-1槽、A-2槽とも、層上部、層下部のいずれにおいても土壌粒がしっかりと観察され、流入SSや土壌粒の潰れなどによる目詰まりが観察されず、通水抵抗のない良好な状況にあると判断された。ただ、A-2槽の層上部 (深度0~20cm) において、流入SSによるものと考えられる土壌の変色が観察された。

(3) 黒ぼく土層 (D槽)

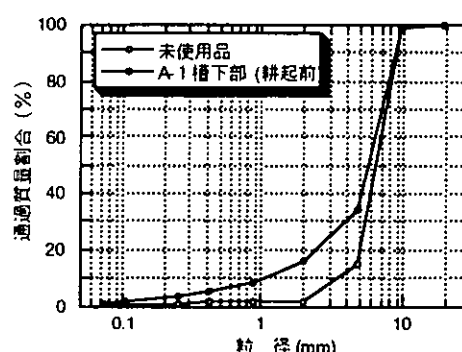
土壌が押し固められたような状態であり、粘りを持った状況が観察された。採取後のサンプルにおいても塊が自然崩壊することにはなかった。

3.2.4 ろ材粒度分布

前述した槽内観察から黒ぼく土層ではろ材粒度の評価が難しいと判断し、赤玉土層のみを評価した。A-1槽のろ材粒径の変化を図3-10に示す。これによると、未使用品に比較して全体的に小粒径の比率が少し上がっている。これは通水により赤玉土の粒に若干潰れているため、および流入したSSが微粒子として計測されているためと考えられるが、通水抵抗を引き起こすほどの原因とはいえず、概して赤玉土の粒が良好な状態に維持されていると考えられる。



A-1槽上部におけるろ材粒径の変化



A-1槽下部におけるろ材粒径の変化

図3-10 A-1槽におけるろ材粒径の変化

3.2.5 現場透水試験

A槽、D槽の土壤層表層における現場透水試験を実施した。試験結果を表3-6に示す。A槽の赤玉土層では、通水速度1.5m/日以上での通水が十分に可能であることがわかる。したがって、A槽での通水速度の低下の原因は、ほぼ上部砕石槽の目詰まりに起因することが推定される。

一方、D槽の黒ぼく土層では、通水速度1.5m/日以上での通水が困難であることがわかる。実際は通水速度1.5m/日で通水できていたが、これは部分的に通水速度の速い「みずみち」が発生していたことに起因すると推測される。したがって、D槽での通水速度の低下の原因は、上部砕石槽の目詰まりは勿論のこと、黒ぼく土層の締め固めにも起因することが推定される。

表3-6 現場透水試験結果

槽区分	吸着土壤	透水係数 (cm/sec) 【*1通水速度 (m/day)】
A-1	赤玉土	2.43×10^{-2} 【21.0】
A-2	赤玉土	2.26×10^{-2} 【19.5】
D-1	黒ぼく土	6.60×10^{-4} 【0.57】
D-2	黒ぼく土	1.61×10^{-3} 【1.39】

*1 通水速度については下記計算式で算出した。

計算式：
$$\frac{\text{透水係数 (cm/sec)} \times 60 \text{ (sec)} \times 60 \text{ (min)} \times 24 \text{ (hr)}}{100 \text{ (cm)}}$$

3.3 ろ材の回復作業方法およびその評価

本項では、3.2で検討したろ材の回復作業の必要性および昨年度検討した基礎実験の結果に基づいてろ材の回復作業を行い、回復作業の効果、必要性を検討した。この検討結果を以下の表3-7にまとめた。なお、この評価は、主に以下の3.3.1～3.3.2に示す調査結果に基づいた。

表3-7 ろ材回復作業（耕起作業）の効果・必要性

(◎：あり、○：若干あり △：ほとんどなし)

適用槽	回復方法	効果	必要性
A-1槽	・上部碎石層を混合・攪拌することで、給水孔周辺に捕捉されたSSを分散させる。	◎	◎
A-2槽	・上部碎石層のうち給水配管付近（幅30cm以内）のものを除去・交換し、同時に上部碎石層全体の攪拌を行う。	◎	○ 上部碎石層の混合・攪拌のみで十分対応できる
	・赤玉土層の表層0～20cmを未使用品の赤玉土と交換する。	○	△ 未使用品と交換するまの必要性はない。
D-1槽	・土壌：砂を4：6の割合で混合後、埋め戻す。	△	△
	・上部碎石層のうち給水配管付近（幅30cm以内）のものを除去・交換し、同時に上部碎石層全体の攪拌を行う。	◎	○ 上部碎石層の混合・交換のみで十分対応できる
D-2槽	・土壌：赤玉土を4：6の割合で混合後、埋め戻す。	△	△
	・上部碎石層のうち給水配管付近（幅30cm以内）のものを除去・交換し、同時に上部碎石層全体の攪拌を行う。	◎	○ 上部碎石層の混合・攪拌のみで十分対応できる

3.3.1 通水速度

計画通水速度である1.5m/日に復帰、維持することができた。ただ、D槽においては、上部碎石層が冠水しその水深は20cm以上であった。このことから、A槽においては耕起作業の効果がみられたが、D槽においては通水改良材混合後も依然として黒ぼく土層の通水抵抗が改善されなかった。

3.3.2 現場透水試験

耕起作業前後で現場透水試験を実施し、その結果を表3-8に示した。

A槽では、耕起前と比較して耕起後の透水性が良くなっている傾向がみられたが、これはA槽の赤玉土層の透水性が耕起前でも良好であったことから考えると耕起作業による顕著な効果であるとは断言できない。

一方、D槽では、耕起作業による通水性改良の効果がほとんどみられなかった。これは通水改良材を混入しても、昨年度実施した基礎実験と異なり、施工時にどうしても黒ぼく土特有の土壌層の締め固めが起こってしまうためと考えられる。

表3-8 現場透水試験結果

A-1透過水量 (ml/min.)		A-2透過水量 (ml/min.)		D-1透過水量 (ml/min.)		D-2透過水量 (ml/min.)	
耕起前	耕起後	耕起前	耕起後	耕起前	耕起後	耕起前	耕起後
6,446	7,818	2,280	3,395	62	85	94	85

3.4 浸透ろ過実験

97年度に土壤浄化実験施設A槽、D槽において認められた槽内部異常の影響について浸透ろ過実験施設において再現し検証を行った。

処理水質の面で槽内異常の影響が発現しやすいと考えられる槽内不飽和水の条件で行った実験結果を表3-9に示す。表からわかるように水質については、赤玉土、黒ぼく土ともに異常層の影響は認められなかった。また、槽内飽和水の条件においても同様の結果であった。

これは、リン吸着に必要な土壌層厚が異常層においても確保されていたため処理水のT-Pで顕著な差が認められなかったと考えられる。また、ろ過については正常層、異常層とも同程度効果があつたため処理水のSS濃度に差が現れていないと考えられた。

しかし長期的にろ材の吸着破過寿命を考えるとろ材量が少なくなっている異常層の方が槽当たりのリン吸着容量が低下することとなる。

表3-9 浸透ろ過実験水質分析結果（槽内不飽和水）

水質項目	水質				
	流入水	赤玉土 正常層	赤玉土 異常層	黒ぼく土 正常層	黒ぼく土 異常層
pH	7.0	7.0	7.4	6.0	6.2
SS (mg/l)	37.9	1.7	1.2	1.4	1.4
COD (mg/l)	4.1	1.1	1.4	1.0	1.2
T-P (mg/l)	0.133	0.025	0.029	0.013	0.023
T-N (mg/l)	1.24	1.24	1.27	1.25	1.30
BOD (mg/l)	3.1	1.4	1.2	1.1	1.3

次にろ層の通水抵抗に関してであるが、赤玉土を充填ろ材として使用した槽においては異常層の有無で通水抵抗が極端に変動することはなかったが、黒ぼく土槽においては異常層に比較し正常層では通水抵抗が高くなっていた。これは飽和水での実験時C槽（黒ぼく土異常層）で水頭差が20cm以上となったことからわかった。

これらの結果から97年度実験データの内水質については、異常層の影響はほとんどないと考えられた。しかし、土壤浄化実験施設D槽（黒ぼく土）で97年度1.5m/日の通水が可能であったが、槽内が正常層であれば水頭が上昇し7号単粒度碎石層より上に水面が上昇した可能性が考えられた。

3.5 前処理方法の検討

SS流入による土壤浄化施設の層閉塞を防止するための前処理の検討を行った。詳細を以下に述べる。

3.5.1 7号単粒度碎石を用いた前処理実験（原水： 農業排水）

土壤浄化実験施設の導入水路において導入水路開始部分からB槽およびC槽への流入配

管口の手前まで7号単粒度碎石を敷き詰め、この礫の部分の前処理施設（総延長約14m）とした。実験結果を表3-10に示す。

表3-10 7号単粒度碎石によるろ過実験結果

使用ろ材	ろ過速度 (m/日)	平均SS濃度 (mg/l)		SS除去率 (%)
		原水	処理水	
7号単粒度碎石	950	23.0	13.6	40.9

これによると、昨年度の平均SS除去率（52.8%）に比較するとSS除去性能が若干劣っていた。また、通水1週間後の碎石の状況を観察すると、SS（汚泥）が礫のろ層末端からリークしており、SS捕捉量がほぼ飽和状態になっていたことから、前処理施設として7号単粒度碎石を用いることは、メンテナンスの面から現実的ではないと判断された。

3.5.2 繊維性ろ材を用いた前処理実験（原水： 農業排水）

これまでのろ材の欠点を補うべく、自動洗浄等の省メンテナンス運転が可能な球状繊維製ろ材を用いた前処理ろ過器を検討した。前処理ろ過器の仕様および設備諸元を表3-11に、球状繊維ろ材の仕様を表3-12に示す。

SSによるろ層の閉塞が起こると、ろ層の復帰（ろ材の洗浄）は、本ろ過装置の下部に設置してある散気筒から噴き出す空気と処理原水による逆洗によって簡易に行うことができる。なお、ろ層閉塞による損失水頭は、ろ過継続1日で最大でも200mm程度であった。

表3-11 前処理ろ過器の仕様および設備諸元

項目	仕様および設計諸元
大きさ	W600×L600×H1,750 mm
ろ層厚	1,000mm（ろ過時は600～800mmに圧縮）
水面積負荷	250～1,000m ³ /m ² /日
通水量	90～360m ³ /m ² /日

表3-12 球状繊維ろ材の仕様

項目	仕様
繊維材料	ポリエステル、ポリエチレンの複合繊維
繊維径	50～70μm
形状、外径	球状、φ30～35mm
空隙率	90%以上
真比重	1.2g/cm ³

農業排水SSと前処理水SSの関係を図3-11に、SS除去性能平均値を表3-13にまとめた。図3-11によると、ろ過速度の違いによってSS除去性能の大きな変化はみられなかった。また農業排水SS濃度にかかわらずほぼ一定量（平均約12.0mg/l）のSSが除去されていた。一方、表3-13によると、ろ過速度が小さい（250m/日）ほど、あるいは原水SS濃度が低い（21.6mg/l）ほど、SS除去率が高い（67.6%）傾向となった。

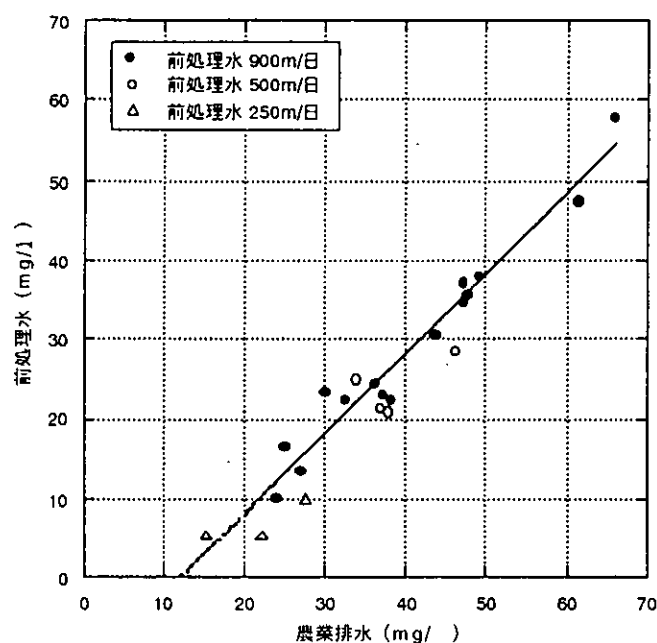


図3-11 農業排水SS濃度と前処理水SS濃度の関係

表3-13 農業排水のSS除去性能平均値

処理対象原水	ろ過速度 (m/日)	SS (mg/l)		SS除去量 (mg/l)	SS除去率 (%)
		原水	前処理水		
農業排水	900	40.8	29.1	11.7	28.7
	500	38.6	23.9	14.7	38.1
	250	21.6	7.0	14.6	67.6

次に、農業排水と前処理水のSS粒度分布の平均値および除去率を図3-12に示す。測定方法はコールターカウンター法にしたがい、定数法（SS粒子100,000個中の粒度分布を測定する）によった。評価方法としては、SS粒子100,000個の密度がすべて同一と仮定し、原水および前処理水のSS濃度に各粒度の体積割合を掛けてSS濃度に換算した粒度分布を測定した。

その結果、粒度 $5\mu\text{m}$ 以下のSS粒子は前処理でほとんど除去されないが、粒度 $5\mu\text{m}$ 以上のSS粒子の除去率が上昇し、特に粒度 $10\mu\text{m}$ 以上のSS粒子の除去率は50%以上であった。

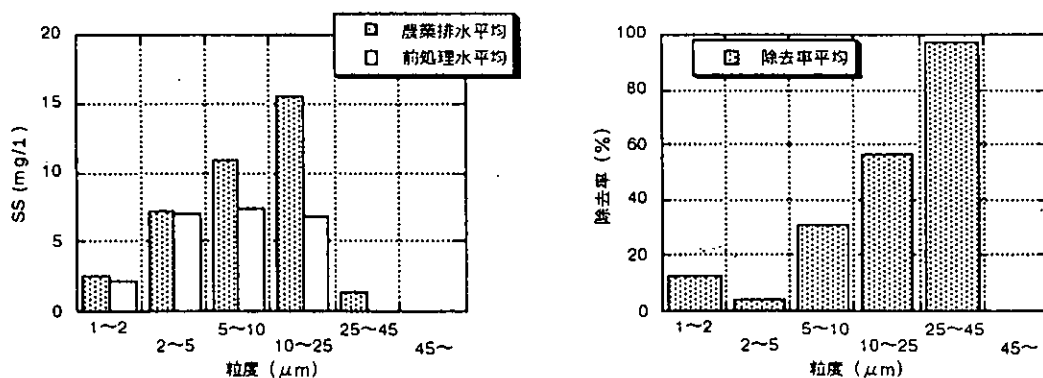


図3-12 農業排水と前処理水のSS粒度分布および除去率の平均値

3.5.3 繊維性ろ材を用いた前処理実験（原水： 河川水）

3.5.2で述べた繊維性ろ材を用いた前処理ろ過器を用いて、河川水を処理原水として連続運転を行った。河川水SSと前処理水SSの関係を図3-13に、SS除去性能平均値を表3-14にまとめた。図3-13によると、農業排水を原水とした実験と同様に、ろ過速度の違いによるSS除去性能の大きな変化はみられなかった。また、ろ過速度にかかわらず、ほぼ50%の除去率でSSが除去されていた。一方、表3-14によると、農業排水を原水とした実験と同様に、ろ過速度が小さいほど、あるいは原水SS濃度が低いほど、SS除去率が高くなる傾向となった。

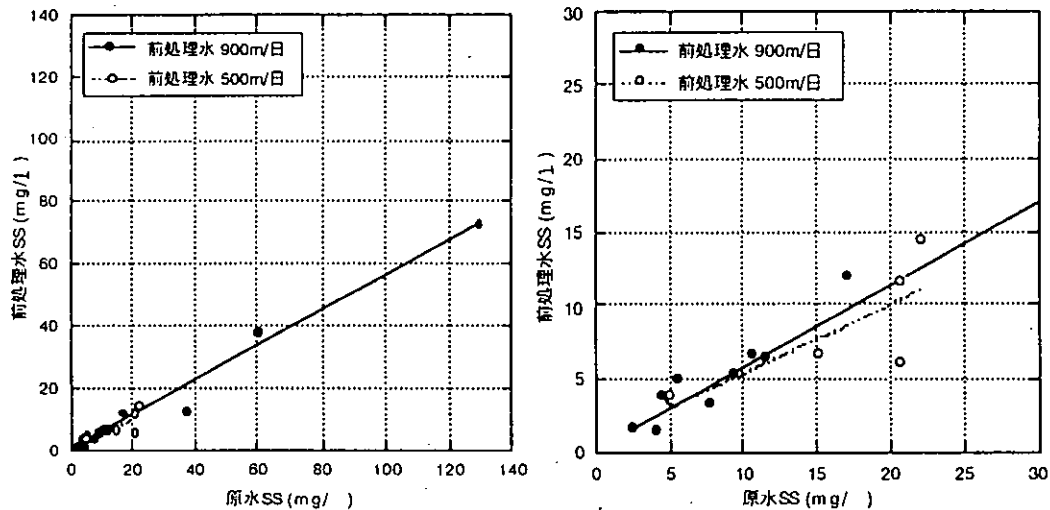


図3-13 河川水SS濃度と前処理水のSS濃度の関係

表3-14 河川水のSS除去性能平均値

処理対象原	ろ過速度	SS (mg / l)		SS 除去量 (mg / l)	SS 除去率 (%)
	(m / 日)	原水	前処理水		
河川水	900	23.4	13.3	10.1	43.2
	500	16.7	8.5	8.2	49.1

次に、河川水（原水）と前処理水のSS粒度分布の平均値および除去率を図3-14に示す。その結果は農業排水を原水とした場合と同じく、粒度 $5\mu\text{m}$ 以下のSS粒子は前処理でほとんど除去されないが、粒度 $5\mu\text{m}$ 以上のSS粒子の除去率が上昇し、特に粒度 $10\mu\text{m}$ 以上のSS粒子の除去率は50%以上であった。

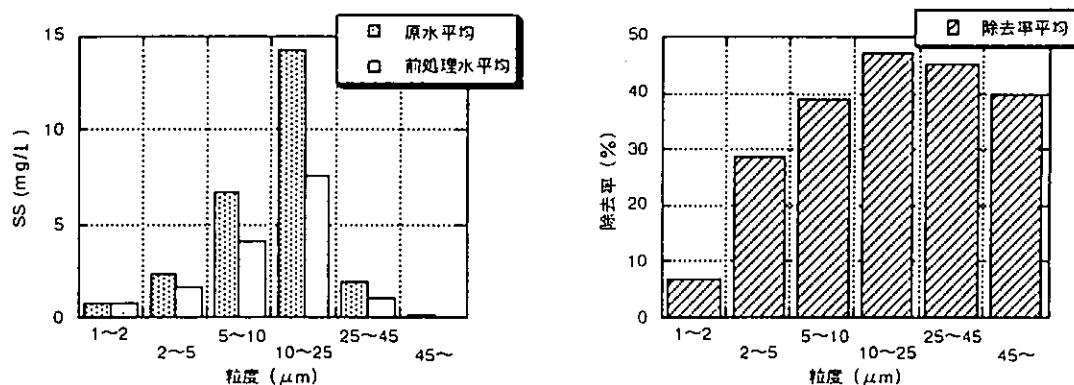


図3-14 河川水（原水）と前処理水のSS粒度分布の平均値および除去率

また、葉山川河川水、河川水（原水）および前処理水のSS粒度分布の平均値および除去率を図3-15に示す。（葉山川河川水は葉山川河口の取水点にて採水し、原水は図2-1に示す流入水路内で採水した。）この結果より、下記のような傾向がみられた。

- ①粒度45 μm 以上の比較的粒子の大きいSSは沈殿でも少なからず除去できた。
- ②粒度10~45 μm のSS粒子は沈殿に比較してろ過の方が除去率が高かった。
- ③粒度10 μm 以下、特に5 μm 以下のSS粒子は沈殿でもろ過でもほとんど除去されなかった。

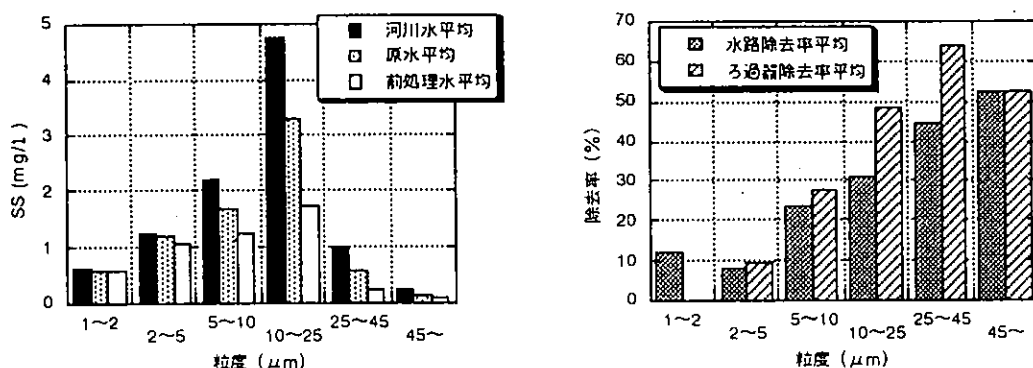


図3-15 葉山川河川水、河川水（原水）および前処理水のSS粒度分布の平均値および除去率

3.5.4 評価

これまで検討してきたように、球状繊維性ろ材を用いた前処理は、メンテナンスが簡易であり、原水の粒度分布は粒度10~25 μm の範囲が最も多くを占めていた中で、粒度5 μm 以上のSS粒子の除去率が上昇し、特に粒度10 μm 以上のSS粒子の除去率は50%程度であったことから、球状繊維ろ材から構成されるろ過器は前処理施設として有効であるといえる。

しかしながら、高負荷時（最大SS濃度で100mg/l以上）では除去率が低下し、ろ過層の閉塞も早く起こった。河川水は天候等により水質・水量が大きく変動するため、高濁水の流入時には前処理施設を含めた土壌浄化施設への流入を停止することが望ましい。また、多少の高負荷時を想定して、変動の多い河川水にも対応できる前処理施設の検討が、今後必要となってくると考えられる。

4. おわりに

本年度までの土壌浄化実験設備における実験において設備の処理性能、維持管理方法等について一定の知見が得られた。今後、土壌浄化設備の実設備化においては処理水量の向上により施設の省面積化が望まれる。処理水量の向上を図るためには、今後以下の様な検討が必要となる。

①SS除去を目的とした前処理方法

処理水量を増加させると土壌層内での閉塞がより短期間で発生する事となる。これを防止するためにSS除去を目的とした前処理方法をより充実させる必要がある。

②通水速度1.5m/日より高い速度での処理

通水速度を高めるために土壌浄化槽内の通水抵抗が低下するように槽内に敷設する単粒度碎石の粒度等について検討を行う。またこの時の各通水速度での処理水質の安定性などについて検討を行う。

実験担当者

建設省近畿地方建設局琵琶湖工事事務所	水質調査課課長	森川 和夫
建設省近畿地方建設局琵琶湖工事事務所	水質調査課開発調整係長	板坂 浩和
財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構	実験センター所長	中山 繁
財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構	実験センター主任研究員	堀野 善司