

地域鉱物資源活用による生物膜廃水処理 技術に関する研究

化学室 宮城 周子
比嘉 三利
池間 洋一郎
照屋 輝一

はじめに

本県における河川の水質環境基準の達成状況は約48%（昭和60年度）となっており、都市地域の河川をはじめとして望ましい水質環境に達していない河川が依然として数多く残されている。そこで県では条例でもって上乘せ排水基準（流域によっては排水量5 m³/日以上を規制）を設定し、事業所等からの排水を厳しく規制し水質環境の改善を図ろうと努めている。現在、この上乘せ排水基準は6河川、5海域について設定されているが、県では今後ともその設定水域の拡大を図る方向にある。

この上乘せ排水基準の設定により、排水量50 m³/日未満の小規模食品工場等が新たな規制対象となり、その早急な処理対策を講じる必要が生じているが、これらの事業所のほとんどが零細企業であり、処理施設の設置のための資金、スペース等で悩みを抱えるとともに、処理技術の蓄積は殆んど無く、企業独自の廃水処理技術の開発は困難な状況にある。そのため、関係業界からは低廉で効率的な簡便な処理技術の開発が切望されている。

小規模食品工場等から排出される廃水は少量であるが、汚濁が高く、また水量水質に大きな変動があることが特徴になっている。従って廃水処理にあたっては、

- (1) 高い汚濁負荷に柔軟性がある。
- (2) 水量、水質の変動に対応できる。
- (3) 装置が簡単で建設費が安い。
- (4) 維持管理が容易で費用が安い。

等の条件が必要であり、また廃水処理に伴って発生する廃棄物の処理処分が容易で、かつ有効利用が図られることが望まれる等、廃水処理の課題は多い。

食品工場等の有機性廃水の処理は、活性汚泥法、生物膜法（散水汙床法）等の生物学的処理が主流となる。処理法の選定にあたっては、廃水性状、水質規制値、設置面積及び経済性など、あらゆる面を考慮して選定しなければならない。一般に活性汚泥法は最も効率が高く、良質の処理水が得られる長所を有する反面、パルキング等の処理機能の異常現象が発生する場合があります、高度の維持管理技術を必要とするとともに、余剰汚泥の発生が多いことなど小規模工場への適用には困難な要素が少なくない。一方生物膜法（散水汙床法）は浄化に参与する微生物を汙材に固着する方法であるので、

- ① 維持管理が容易で、設置スペースが小さい。
- ② 水量水質への対応性が大きい。

③ 余剰汚泥の発生が少ない。

などの利点があって、小規模工場の有機性廃水の処理に有効な処理法であると考えられる。

このため、本研究では本県に多量に賦存し安価に入手できる琉球石灰岩が多孔質で微生物の付着生成に極めて有効であることに着目し、これを生物膜汚材に活用した生物膜廃水処理技術の開発を目的として、今回、石灰岩生物膜法の処理機能の諸特性を検討した結果、同法は小規模工場の有機性廃水の処理法として有効であることが明らかになったので、ここにその結果を報告する。

1. 石灰岩の生物膜汚材特性

石灰岩の物理性状並びに生物付着試験を行い、生物膜汚材としての諸特性を評価した。

1.1 試料

沖縄県内に分布する石灰岩は、その生成年代別に古生代の結晶質石灰岩と新生代第四紀の琉球石灰岩に大別される。琉球石灰岩は学術的に那覇石灰岩、読谷石灰岩、牧港石灰岩に細分類され県内各地に広く分布している。また古生代結晶質石灰岩（以後本部石灰石とする）は、本部半島を中心に沖縄本島北部に分布している。石灰岩の分布状況を図 1.1 に示す。

石灰岩の埋蔵量は約 8 億トンと推定されている。昭和60年度の採鉱量は約 1,000 万トンで、その内約 8 割が本部石灰石で占め、残り 2 割が琉球石灰岩となっている。現在これらの石灰岩は、本部石灰石の一部がセメント製造原材料として利用されている他は、殆どが低付加価値の路盤材、土木建築用骨材として利用されているにすぎず、その高度の多目的利用が今後の重要な課題として位置づけられている。

本実験に供した試料は、沖縄本島各地の採鉱現場から採取した石灰岩と海岸から採取した造礁サンゴの塊、破片等である。

試料の種類及び採取地点を表 1.1、図 1.2 にそれぞれ示す。

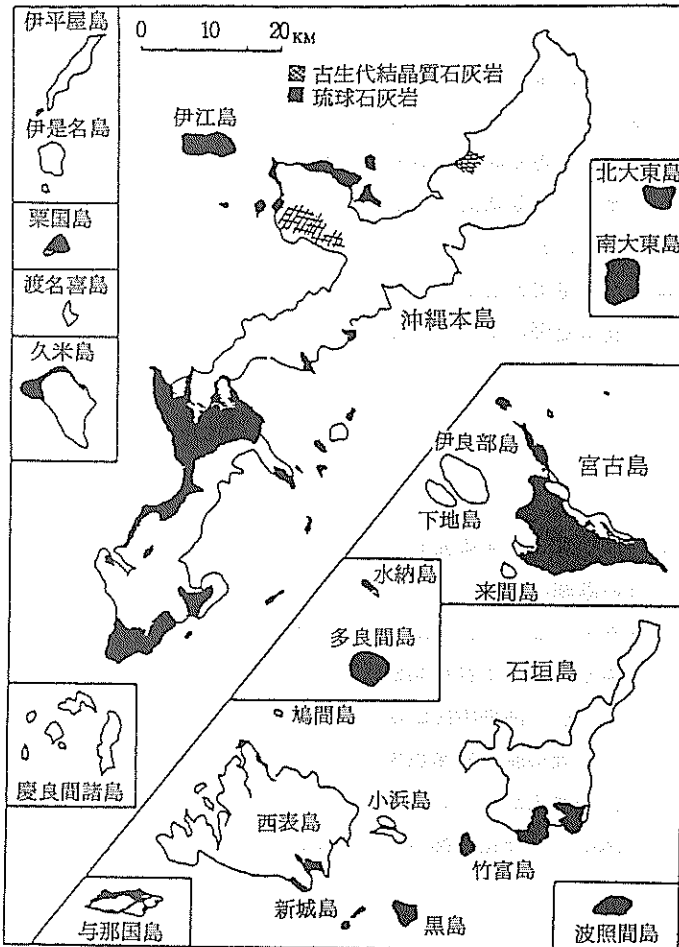


図 1.1 石灰岩の分布図²⁾

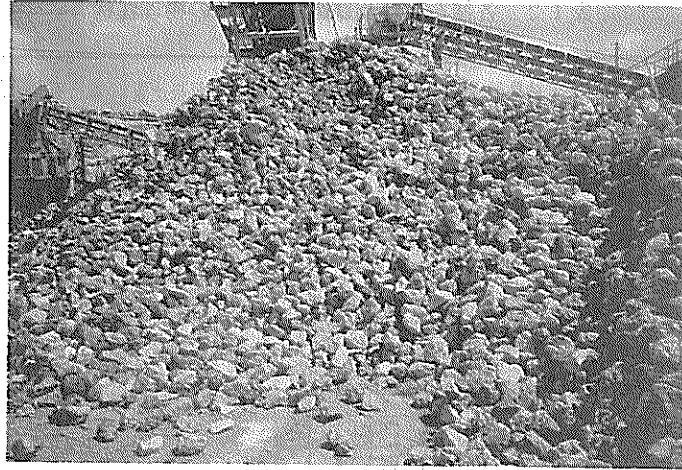


写真 1.1 採鉱状況

表 1.1 採取試料の種類

分類記号	種 別	産 地	利用状況
A	牧港石灰岩 (粟石)	玉城村奥武	建材
B	那覇石灰岩 (コーラル)	〃	路盤材
C	〃 (トラバーチン)	勝連町平敷屋	建材
D	読谷石灰岩 (コーラル)	読谷村座喜味	路盤材
E	〃 (コーラル)	本部町山川	〃
F	古生代結晶質石灰岩 (本部石灰石)	名護市安和	セメント、骨材
G	造礁サンゴ (丸形)	読谷村海岸	未利用
H	〃 (樹枝状)	恩納村海岸	〃
I	〃 (イシサンゴ)	〃	生石灰原料

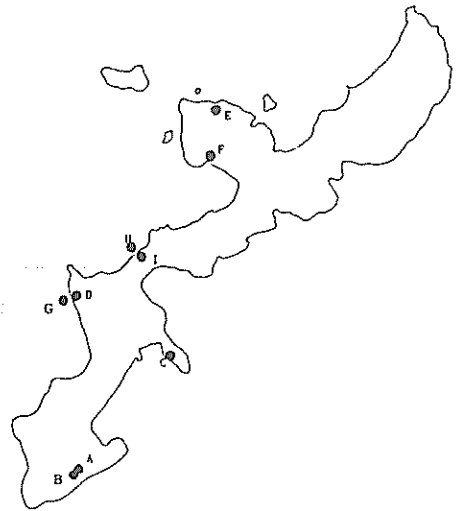


図 1.2 試料採取地点

1.2 石灰岩及び造礁サンゴの物理性状

一般に砕石を利用した生物膜濾材としては、表面が粗く、また多孔質で表面積が大きく生物の附着生成に適すること、また濾材を積み重ねて廃水を散水するため軽量で風化や自重による破砕がないこと、廃水に浸食されないこと等の耐久性が高いことが必要とされている³⁾。

石灰岩及び造礁サンゴの物理性状は表 1.2 のとおりである。

硬度は、生物膜濾材としての耐久性に極めて重要である。試験試料の硬度は、モース硬度で 3～5 の範囲にあり、

那覇石灰岩 (B)、本部石灰石 (F)、造礁サンゴ (G, H) >

那覇石灰岩 (C)、読谷石灰岩 (D) >

牧港石灰岩 (A)、読谷石灰岩 (E)、造礁サンゴ (I)

の硬度順位である。

表 1.2 各種石灰岩及び造礁サンゴの物理性状

分類記号	名 称	結晶形	外 観	硬度	真比重 ⁵⁾	見掛け比重	高比重	見掛け孔率 (%)	吸水率 (%)
A	牧 港 石 灰 岩 (粟石)	カルサイト	茶 黄 色	3	2.69	2.44	1.77	25.4	14.0
B	那 覇 石 灰 岩 (クラッシャーラン)	カルサイト	淡 黄 色	5	2.70	2.48	2.23	10.3	4.6
C	那 覇 石 灰 岩 (トラバーチン)	カルサイト	淡 白 色	4	2.67	2.62	2.38	8.9	3.8
D	読 谷 石 灰 岩 (コーラル)	カルサイト	淡茶黄色	4	2.69	2.72	2.38	12.5	5.3
E	読 谷 石 灰 岩 (コーラル)	カルサイト	淡 白 色	3	2.69	2.47	1.98	19.8	10.0
F	古 生 代 結 晶 質 石灰岩 (本部石灰石)	カルサイト	淡 灰 色	5	2.69	2.83	2.75	2.8	1.0
G	造 礁 サ ン ゴ (丸形サンゴ)	カルサイト	淡 白 色	5	2.69	2.49	2.24	10.7	4.7
H	造 礁 サ ン ゴ (樹 枝 状)	アラゴナイト	淡 白 色	5	2.83	2.69	2.26	16.1	7.1
I	造 礁 サ ン ゴ (イシサンゴ)	アラゴナイト	淡 白 色	3	2.80	1.94	1.35	30.5	22.6

(備考) ※ 試料の大きさ：径 20 mm ~ 30 mm

※ 硬 度：モース硬度

※ 真比重：JIS R 1110 準拠

※ その他：JIS R 2205 準拠

本部石灰石は硬度が高く、また琉球石灰岩及び造礁サンゴは軟質と硬質に分類される。また生物膜付材の充填重量の指標となる見掛け比重は 1.94 ~ 2.83 の範囲を示し、本部石灰石 (F)、那覇石灰岩 (C)、読谷石灰岩 (D) 及び造礁サンゴ (H) が一般に高い比重を示し重質であるのに対し、その他の琉球石灰岩及び造礁サンゴは比較的に軽量なものが多い。

一方、石灰岩等の多孔度を表わす見掛け孔率は、2.8 ~ 31% の範囲を示し琉球石灰岩と造礁サンゴは比較的に多孔質が多いのに対し、本部石灰石は緻密である。なお、代表的な石灰岩の表面構造は、写真 1.2 ~ 写真 1.7 にそれぞれ示すように、多孔質の石灰岩と緻密な石灰岩では明らかにその表面構造に差違がみられる。

一方、生物膜の付着性状に関係する吸水率は、1.0 ~ 22.6 % の値を示し、牧港石灰岩 (A)、読谷石灰岩 (E)、及び造礁サンゴ (I) は吸水率が高いのに対して、那覇石灰岩 (B・C)、及び本部石灰石 (F) は吸水率は低い値を示す。また、吸水率と硬度の関係は図 1.3 に示すように吸水率と硬度間には負の相関関係があり、一般的に硬度が高い場合は吸水率は低くなる傾向がみられる。

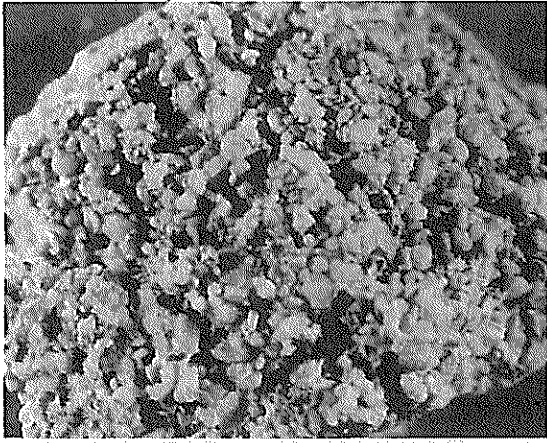


写真1.2 牧港石灰岩 (A) × 2.5



写真1.3 那覇石灰岩 (C) × 2.5

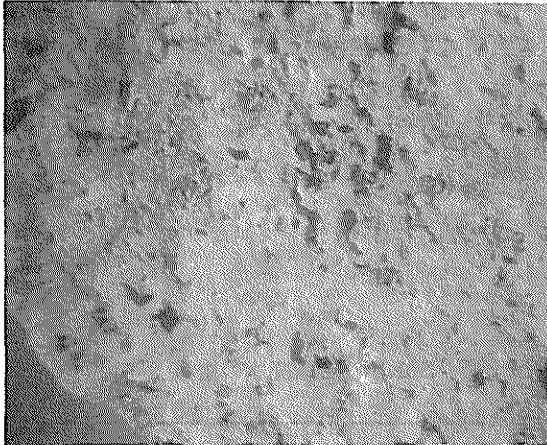


写真1.4 読谷石灰岩 (D) × 6

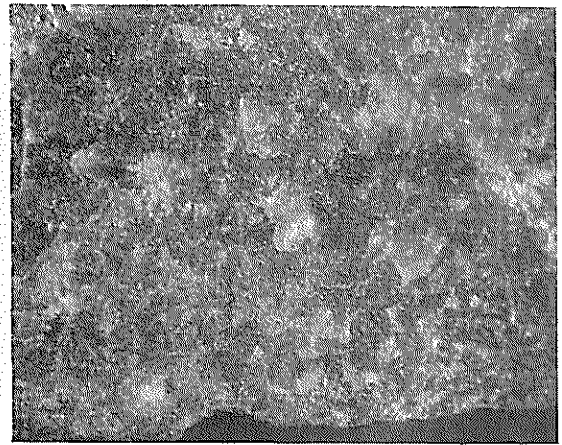


写真1.5 古生代結晶質石灰岩 (F) × 6
(本部石灰石)



写真1.6 造礁サンゴ (H) × 6

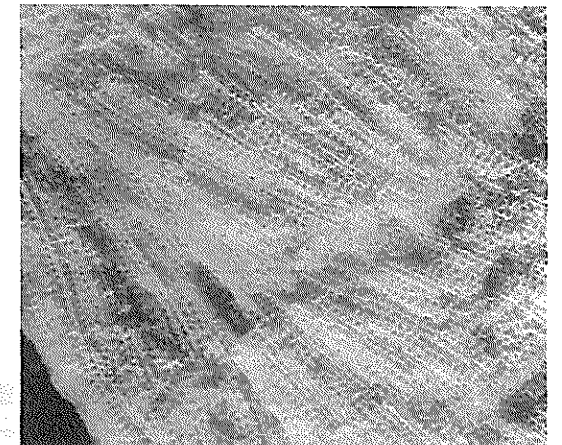


写真1.7 造礁サンゴ (I) × 2.5

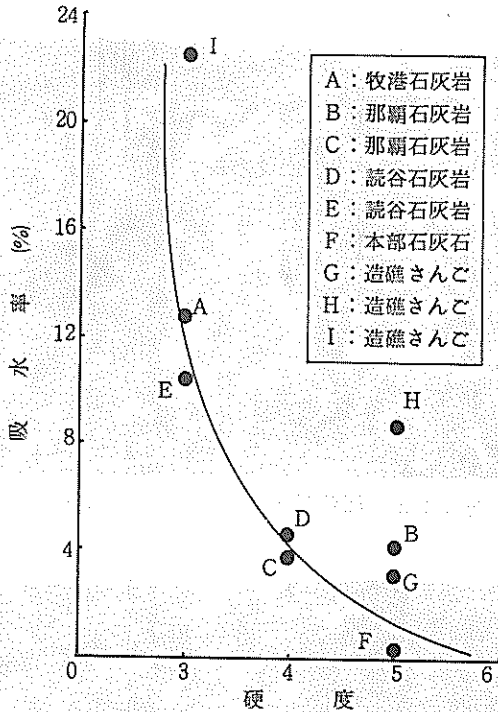


図 1.3 各種石灰岩及び造礁サンゴの硬度と吸水率との関係

表 1.3 合成廃水組成

成分	g / l
ペプトン	10
グルコース	10
リン酸二カリウム	2
硫酸マグネシウム	0.4
硫酸第一鉄	0.02
塩化カルシウム	0.02

表 1.4 合成廃水の水質

pH	7.30
COD (mg / l)	9,300
TOC (mg / l)	8,500
BOD (mg / l)	14,200

以上の石灰岩及び造礁サンゴの物理性状の結果から、牧港石灰岩 (A)、那覇石灰岩 (B)、読谷石灰岩 (D)、及び造礁サンゴ (G・H) 等が生物膜汚材としての有効性が示唆される。

1.3 生物付着試験

石灰岩の生物付着性状を浸漬法による回分振盪培養法で検討した。

1.3.1 実験方法

(1) 試料

石灰岩及び造礁サンゴは粒径20~25mmのほぼ同じ形状のものを使用した。なお樹枝状造礁サンゴの場合は長さ30~70mm (平均50mm) のものを使用した。

(2) 供試廃水

実験に供した廃水は表 1.3 の組成の合成廃水を用いた。その分析結果は表 1.4 に示すように pH は 7.3 で BOD は約 14,000 mg / l である。実験にはこの廃水を水道水で適宜希釈して使用した。

(3) 実験装置

実験装置の概略図を図 1.4 に示す。往復式振盪機の上部に設置したプラスチック容器 (容量 31.2 l) に廃水を入れ、その中に試料 (石灰岩等) を入れた網目状プラスチック容器 (235 × 185 × 65 mm) を浸漬して実験を行った。

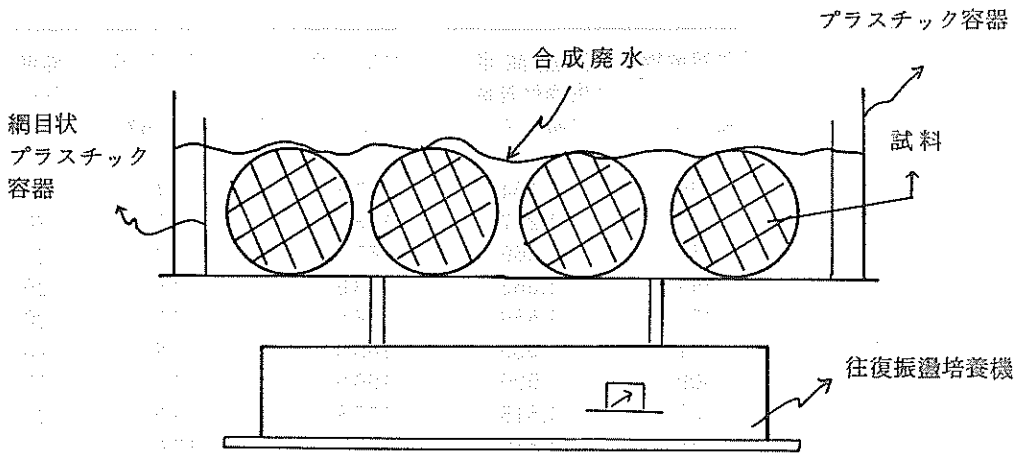


図 1.4 実験装置の概略図

(4) 生物培養条件の検討

好気性微生物の培養にあたっては、酸素の供給が重要である。そこで振盪曝気における酸素の供給性能について検討した。

前述のプラスチック容器に水道水を入れ、水量と振盪条件を変えそれぞれの条件で常法により、酸素供給性能の指標である総括酸素移動容量係数を評価した結果、水量 5 l 及び振盪条件 150回/分が適当であった。この条件で総括酸素移動容量係数は 38.3 / hr の高い値を示す。これは水深が比較的浅いため、酸素の溶解効率が高いためと考えられ、以後この条件で試験を行った。

(5) 生物培養方法及び生物付着測定方法

プラスチック容器に BOD 約 1,000 mg / l に調整した合成廃水 5 l を入れ、その中に試料（石灰岩等）を 20個浸漬して前述の培養条件で振盪培養を行った。そして 24時間経過ごとに廃水を入れ換え再び振盪曝気を行う方法で 15日間回分的に生物培養を行った。

生物培養後、試料の表面に付着した生物汚泥を純水 1 l 中に剝離し、この懸濁液の全蒸発残留物を測定し、また 600 ± 25 °C で強熱して強熱残留物を求めた。全蒸発残留物から強熱残留物を差し引いた値（強熱減量）を生物付着量とした。なお、各試料の生物付着性は試料単位重量当りの生物量で評価した。

1.3.2 実験結果及び考察

実験結果を表 1.5 に示す。

生物付着量は 4.7 ~ 10.6 mg / g 石灰岩の値を示し生物付着性は、

造礁サンゴ (I)、造礁サンゴ (H)、読谷石灰岩 (D) >

那覇石灰岩 (C)、読谷石灰岩 (E)、牧港石灰岩 (A)、那覇石灰岩 (B) >

造礁サンゴ (G)、本部石灰石 (F)

の順である。

造礁サンゴが最も高い生物付着性を示すのに対し、本部石灰石 (F) と造礁サンゴ (G) 等は生物付着性が低い。また生物付着量と石灰岩等の吸水率及び硬度との関係は図 1.5 と図 1.6 にそれぞれ

表 1.5 各種石灰岩及び造礁サンゴの生物付着量測定結果

項目 分類記号	全蒸発残留物 (mg/ℓ)	強熱残留物 (mg/ℓ)	強熱減量 (生物付着量) (mg/ℓ)	試料総重量 (g)	生物付着量 (mg/g - 試料)	備考 (試料 個数)
A	1,514	360	1,154	137.3	8.4	20
B	1,589	372	1,217	173.6	7.0	20
C	1,922	356	1,566	167.3	9.4	20
D	1,706	344	1,362	143.8	9.5	20
E	2,018	459	1,559	178.0	8.8	20
F	1,296	311	985	188.9	5.2	20
G	1,229	309	920	196.9	4.7	20
H	1,845	330	1,515	157.8	9.6	20
I	1,665	335	1,330	124.9	10.6	20

れ示すように、大略正及び負の相関関係がある。一般に吸水率が高い場合は、生物付着性は高く、また硬度が高い場合は生物付着性は低い傾向がみられる。なお読谷石灰岩 (D) と那覇石灰岩 (C) の場合は比較的硬質であるが生物付着性は良好な結果が得られている。このことはこれらの石灰岩の表面構造 (前掲の写真 1.3 と 1.4 参照) がポーラスなため、表面積が大きくなり、生物膜の形成に有利に作用したことが考えられる。

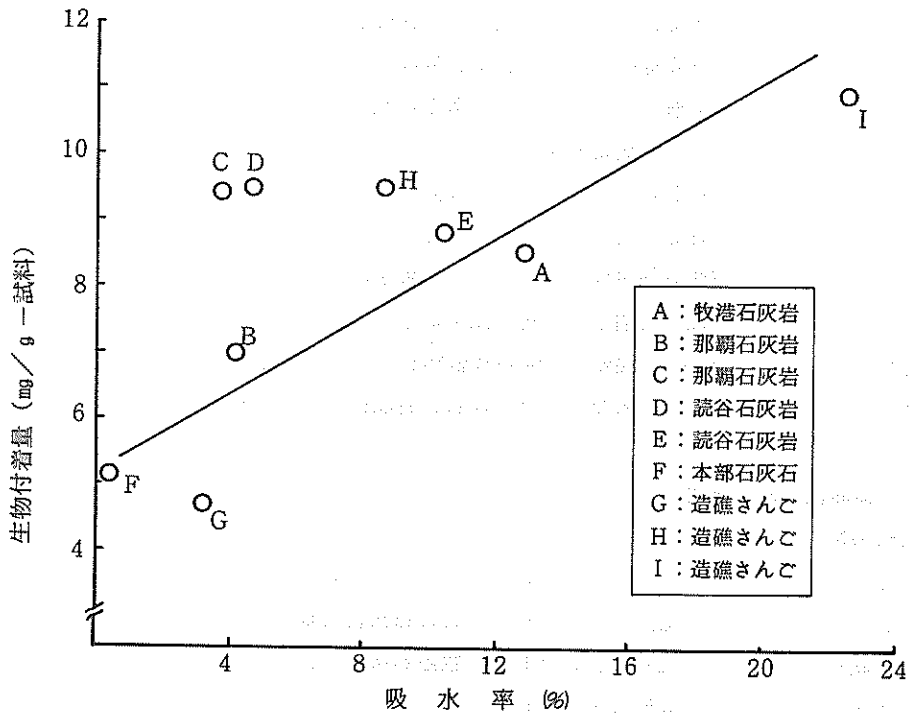


図 1.5 各種石灰岩及び造礁サンゴの生物付着量と吸水率との関係

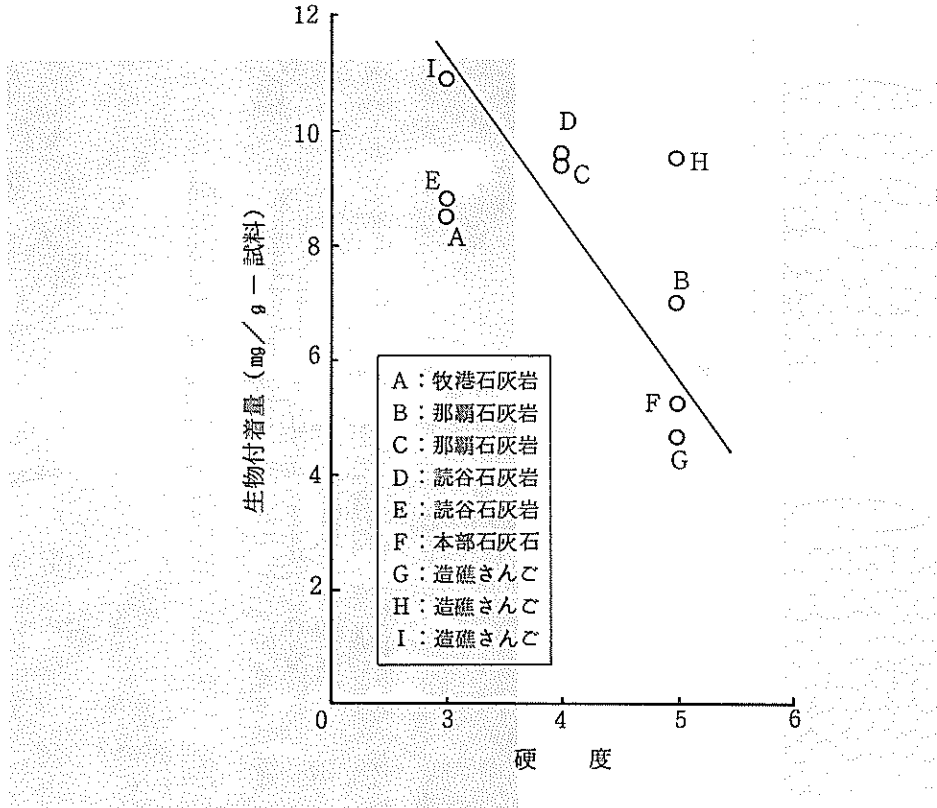


図 1.6 各種石灰岩及び造礁サンゴの生物付着量と硬度との関係

以上の石灰岩等の物理性状並びに生物付着性状から、生物膜汚材としては牧港石灰岩（A）、読谷石灰岩（D、E）、那覇石灰岩（C）、及び造礁サンゴ（H）が有効であることが考えられる。

2. 小規模汚床実験

石灰岩等の物理性状並びに生物付着性状の結果をふまえ、数種類の石灰岩を生物膜汚材に選定して、小規模実験装置で廃水を循環して処理する方法で、回分式散水汚床法による処理実験を行い、石灰岩等の生物膜汚材としての諸特性について検討した。

2.1 実験方法

2.1.1 実験装置

実験装置の概略図と外観を図 2.1 と写真 2.1 に示す。

汚床は透明塩化ビニール製円筒 2 個を垂直に立てたものを使用した。その装置の諸元を表 2.1 に示す。

汚床の直下に廃水容器（ビーカー）を置き、廃水はローラー式定量ポンプで汚床上部に汲み上げ、汚床上部と中間に設定した網目状プラスチック円板（孔径 2 mm）を通して、ほぼ均一に汚床内に散水した。廃水は汚材の表面を伝わって流れ、汚床底部から廃水容器に流下して容器内の廃水と混合して再び汚床へ散水される。これを連続的に所定の時間繰返した。

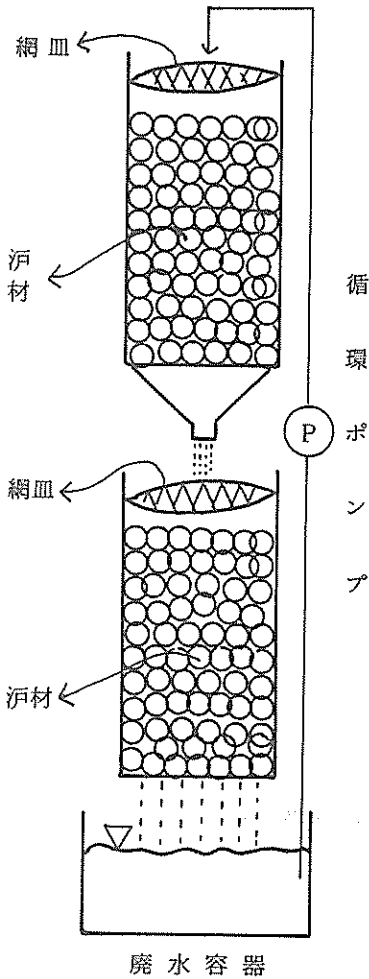


図 2.1 実験装置の概要

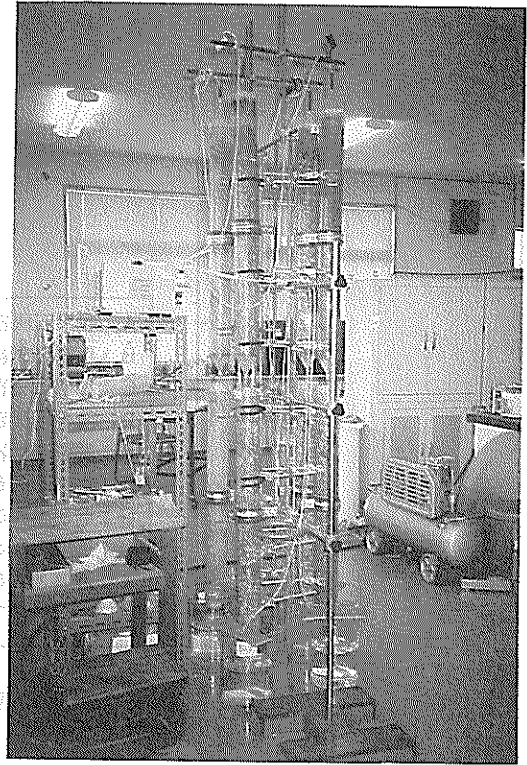


写真 2.1 実験装置の外観

表 2.1 実験装置諸元

沔床径 (内径) (cm)	沔床断面積 (cm ²)	沔床高さ (cm)	実容積 (ℓ)
7.9	49	154	7.55

2.1.2 沔材

実験に供した沔材は牧港石灰岩 (A)、読谷石灰岩 (D)、及び造礁サンゴ (H) である。

石灰岩は粒径 20mm~25mm のほぼ同じ形状のものを使用し、また造礁サンゴの場合は長さ約 30mm~70mm (平均 50mm) のものを使用した。なお、石灰岩沔材と比較のため網目状円柱形プラスチック (比表面積 206 m²/m³) を対象沔材として使用した。

2.1.3 供試廃水

実験に供した廃水は前述の生物付着試験と同様な組成の合成廃水を使用し、実験にはこの廃水を

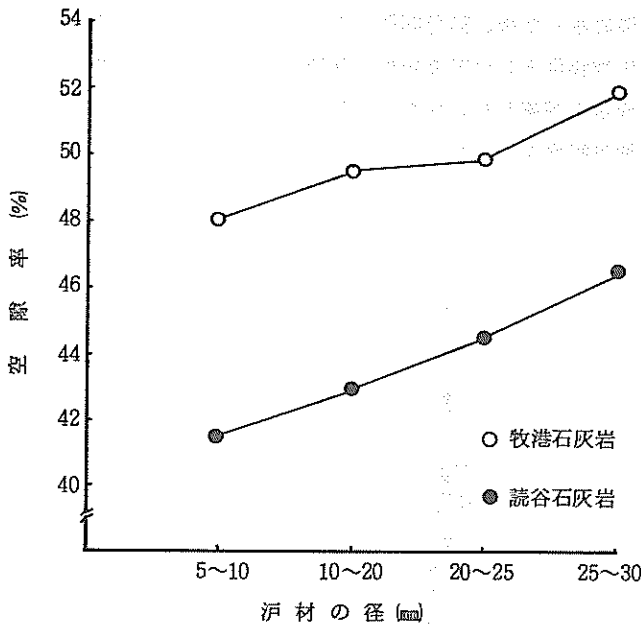


図 2.2 石灰岩の各粒径における空隙率

適宜水道水で希釈して使用した。

2.1.4 実験条件

沓材の径は、表面積と空隙率に関係する重要な因子である。沓材の比表面積（単位容積あたりの表面積）は沓材の粒径が小さい程大きくなり、生物膜の付着生成に有利となるが、逆に粒径が小さくなると空隙率が小さくなり通気性が悪くなるとともに、生物の過剰増殖等により沓床閉塞等の障害が起こることが考えられる。従って沓材の粒径には制限がある。

石灰岩の場合の粒径と空隙率との関係を検討した結果を図 2.2 に示す。この結果から本実験では空隙率が約 50% 程度になるように石灰岩の粒径は 20~25mm のものを選

定して沓床に充填した。また通気方法は、自然対流方式で行った。なお実験沓床は 4 塔を組み立て、表 2.2 に示す条件で実験を行った。

表 2.2 実験条件

項目	沓床の種別			
	I 塔	II 塔	III 塔	IV 塔
沓材の種類	牧港石灰岩(A)	読谷石灰岩(D)	造礁サンゴ(F)	プラスチック(P)
沓材の径及び長さ (mm)	20 ~ 25	20 ~ 25	※ 30 ~ 70	25 , ※ 30
沓材充填重量 (g)	5,480	7,580	4,830	650
沓材充填個数 (個)	476	574	325	256
沓材充填体積 (cm ³)	7,546	7,546	7,546	7,546
空隙率 (%)	57.8	53.2	66.4	95.9

2.2 実験結果及び考察

2.2.1 生物膜の馴養と付着生成試験

散水沓床法は浄化に参与する微生物を沓材に固着させ、廃水をこの生物膜面に流下させて浄化する処理技術である。従って沓材の生物膜付着性状が極めて重要となる。BOD 約 1,000 mg/ℓ に調整した合成廃水を基質として、一日あたりの循環水量は 3.7 ℓ、水量負荷 10 ml/m²・日で、BOD 負荷は 0.5 kg/m²・日に設定して回分式散水沓床実験を 76 日間行ない、各沓材の生物付着生成量につい

て検討した。

生物膜量は、汙床に24時間廃水を循環散水した後、30分間散水を停止して汙床総重量を経日的に秤量器で測定した。汙床重量の増減を生物膜量とし汙床充填単位体積 (cm³) あたりの生物膜量 (mg) に換算して、各汙材の生物膜の付着生成量を評価した。なお生物付着量の測定と並行して随時処理水の分析を行うとともに、生物膜の顕微鏡観察を行った。

測定結果を図 2.3 に示す。

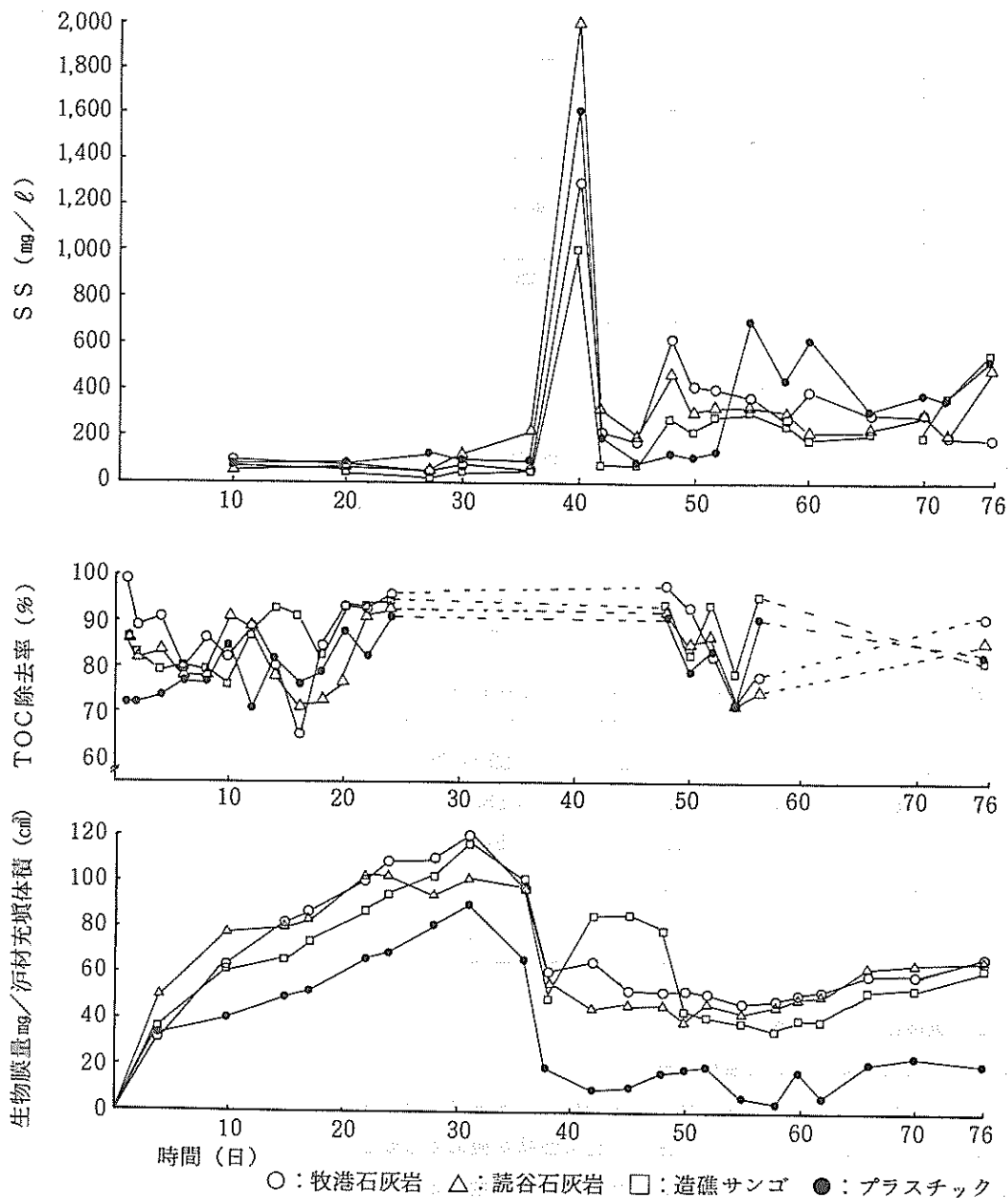


図 2.3 各汙材の生物膜量と処理水質 (TOC、SS) の変化

生物膜量 (mg/cm²) は、各汙材とも実験初期は経日的に増加を示す傾向があり、実験30日後に最大付着量を示し、その直後急激な生物膜量の減少がみられ、その後は生物膜は緩慢な変化で推移する。生物膜の減少量はプラスチック汙材が約80%の高い減少率を示すのに対し、石灰岩汙材の場合は約50~60%の減少率であり、生物膜の保持力は石灰岩汙材の方がプラスチック汙材より高い結果を示した。生物膜が減少した時点では、処理水中の懸濁物質 (SS) は高い値を示して処理水水質は極めて悪くなり、なんらかの原因で汙材から生物膜が脱落したことが考えられる。一般に汙材表面の生物膜はある程度肥厚増殖すると生物膜の下層が嫌気性を呈して剝離脱落を起こすことが知られている⁴⁾。

また、生物膜量が減少する前後において、多数の汙床バエ (チョウバエ) の発生が観察されたが、この汙床バエは生物膜の肥厚増殖に伴って発生することが知られており、本実験でも多数の汙床バエの発生時点において各汙材の生物膜量は最大付着量を示した。低負荷散水汙床法 (水量負荷10 ml/m²・日前後) では、汙床バエの発生は避けられないものであり、ある程度の発生は汙床が健全である証拠とされている⁸⁾。また汙床バエの幼虫は汙床内清掃生物として浄化の一役を担っており、散水汙床生物相を構成する重要な生物とされている。なお、この汙床バエは高速汙床法 (水量負荷15 ml/m²・日以上) では発生が少ないことが知られている。

また、実験後期の生物膜の検鏡では、固着性繊毛虫等の原生動物が多数観察され、生物相は良好であった。なお、生物膜の脱落現象後 (この場合40日以降) は処理水のTOCとSSに大きな変化はみられず、生物膜が安定した着成状態になったことが考えられる。

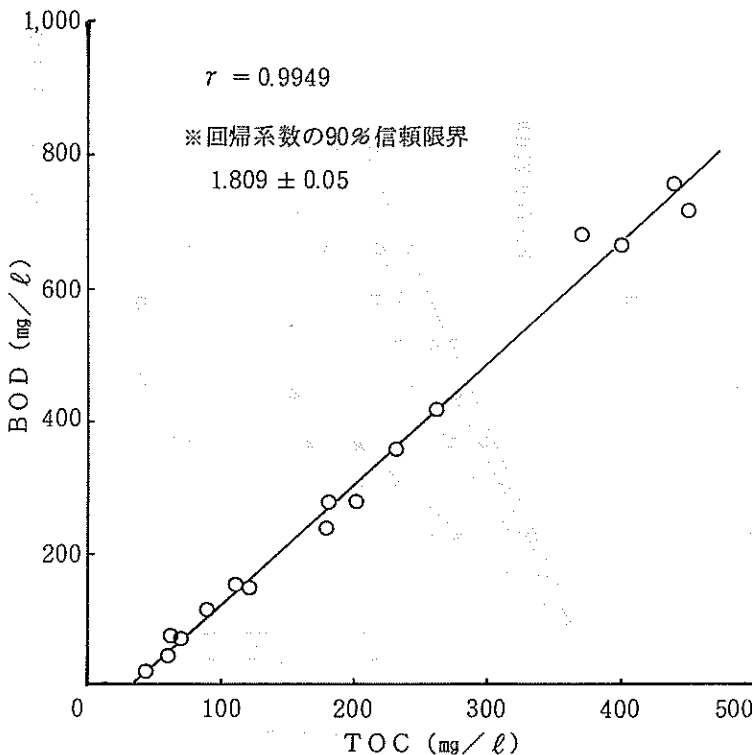


図 2.4 BODとTOCの関係

以上の結果から、生物膜の付着量に関しては、牧港石灰岩、読谷石灰岩、造礁サンゴの各汙材間に顕著な差違はみられず、また対象のプラスチック汙材の場合は石灰岩汙材と比較して低い着成状態を示す傾向のあることがわかった。

2.2.2 TOCとBODの関係

予備実験として合成廃水の散水汙床処理過程における処理水のTOCとBODの関係について検討した。その結果は図2.4に示すようにTOCとBOD間に高い相関関係があり、その一次回帰式を求めた結果、次のような換算式を得た。

$$BOD = 1.809 \text{ TOC} - 50.5$$

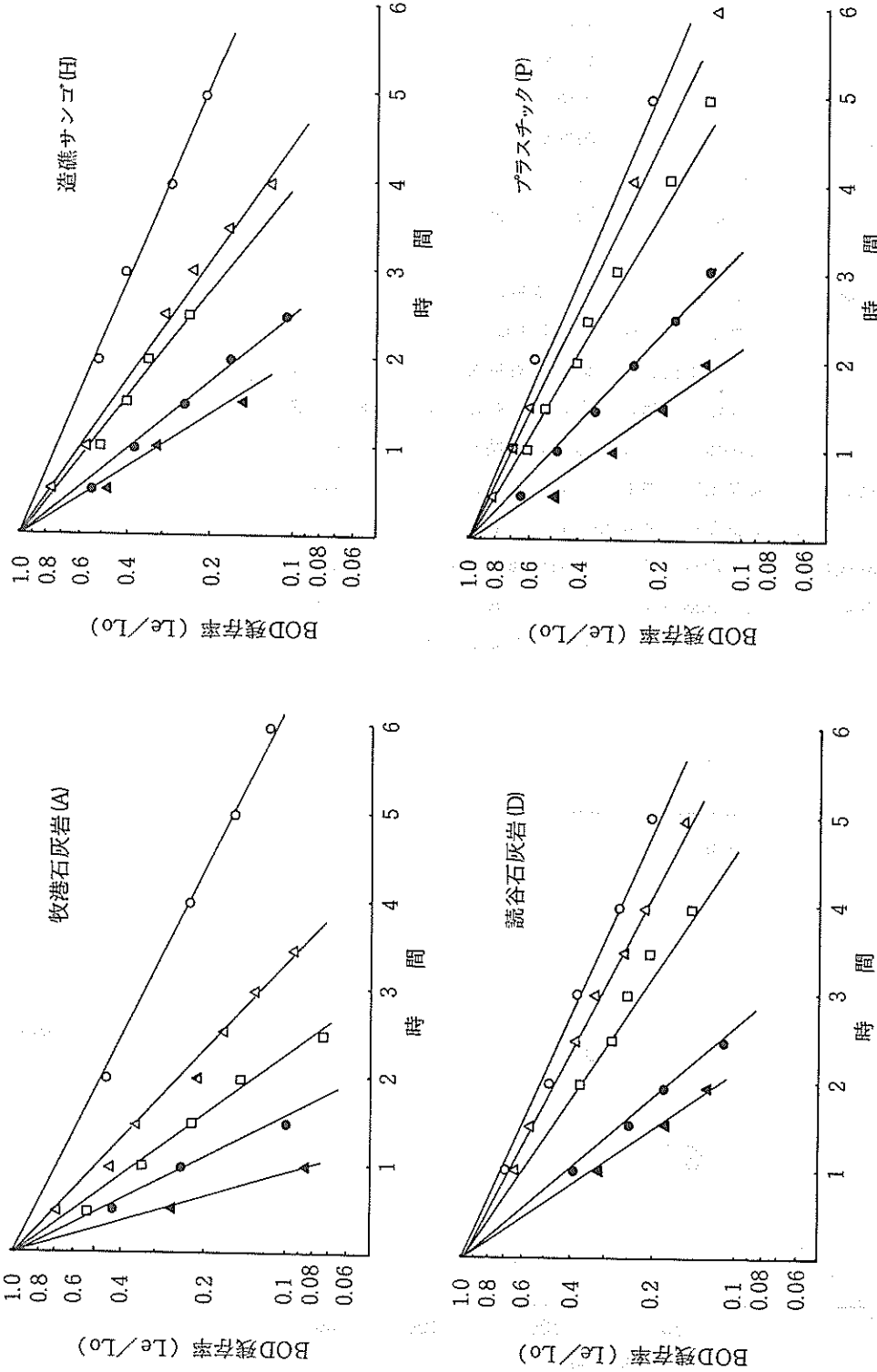


図 2.5 BOD 残存率と処理時間の関係

なお、原水のBODとTOCの関係は $BOD = 2.2 \cdot TOC$ となる、従って以後の実験ではTOCの測定値をこの換算式により、BOD値に換算して実験結果の解折を行った。(ただし表2.4と表2.5に示すBOD値は実測値である。)

2.2.3 水量負荷と処理効率の関係

散水汙床法では、汙床の断面積あたりに散水する水量(水量負荷という)が廃水の浄化機構上重要なパラメーターになる。

原水のBOD値約 $1,000 \text{ mg}/\ell$ (TOC約 $500 \text{ mg}/\ell$)、1日1回あたりの処理水量を 3.7ℓ 、BOD負荷を $0.5 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ とし、水量負荷 $5, 15, 20, 30, 50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ の5段階に設定して各汙材の処理機能の特性を評価した。なお、それぞれの水量負荷の実験にあたっては、その実験条件で4日間馴養を行った後本実験を行った。

(1) BOD残存率と処理時間の関係

処理開始前と循環散水開始後、経時的に廃水容器から廃水を採取し、No.2汙紙で汙過して懸濁物を分離した汙液についてTOCを測定した。その結果を図2.5に示す。

各汙材の水量負荷における廃水のBODは、処理時間の経過とともに対数的に減少し、また水量負荷が増加するとともにBODは短時間に低くなりBOD除去速度は早くなる傾向がある。この結果からいずれの汙材の場合もBOD除去は一次反応式で表わされることが示された。

(2) BOD残存率と接触時間の関係

(1)の結果から回分式散水汙床法では、水量負荷が高くなると単位時間に廃水が汙床を通過する回数が多くなり、生物膜との接触が増えるためBOD除去速度が大きくなることが考えられる。回分式散水汙床処理におけるBOD除去反応式として次式が成立することが知られている。⁹⁾

$$Le/Lo = e^{-KADQ^{1-n}/v \cdot tr} \quad (1)$$

ここで、

Le : 処理水中のBOD (mg/ℓ)

Lo : 原廃水中のBOD (mg/ℓ)

K : 除去反応速度定数 ($1/\text{hr}$)

A : 汙床断面積 (m^2)

D : 汙床の高さ (m)

Q : 水量負荷 ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$)

v : 処理水量 (m^3)

tr : 処理時間 (hr)

n : 汙材の形状、廃水の粘性に関係する定数

そこで(1)式での水量負荷Qの指数 $1-n$ を各汙材ごとに求め、BOD残存率と接触時間について検討した。水量負荷Qの指数 $1-n$ の求め方は図2.5の各水量負荷ごとのBOD減少直線の勾配Sと水量負荷Qを両対数方眼紙に点綴して得られる直線の勾配から求めた。その結果を図2.6に示す。

図2.7は、各汙材のQの指数 $1-n$ を前述のBOD除去反応式(1式)に代入してBOD残存率と接触時間の関係を全測定値を点綴して示したものである。各汙材ともほぼ直線で近似でき、(1)式のBOD除去反応式が成立することが示された。各々の直線の勾配からBOD除去反応速度定数K($1/\text{hr}$)を求め、表2.3の結果を得た。

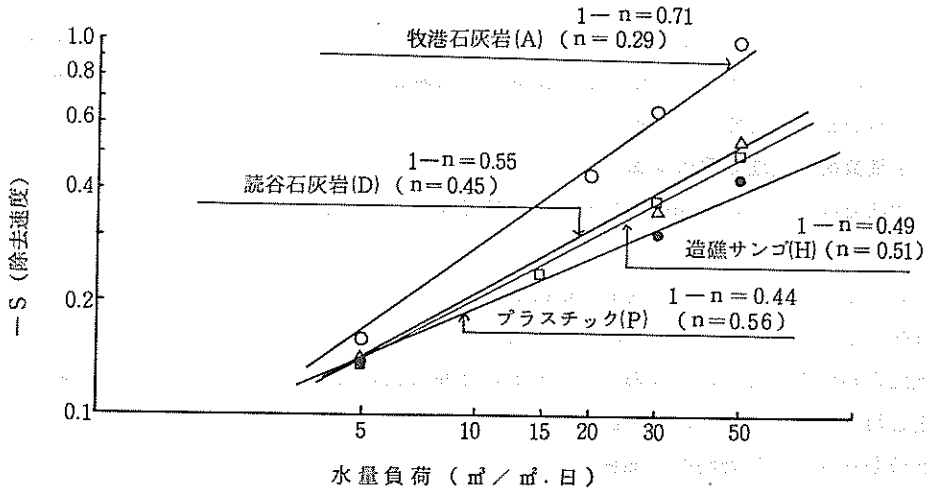


図 2.6 各汚材の水量負荷Qの指数1-nの算出式

BOD除去反応速度定数K (1/hr) は $5.07 \times 10^{-2} \sim 6.20 \times 10^{-2}$ (1/hr) の範囲を示し、造礁サンゴが他の汚材より若干高い値を示す。

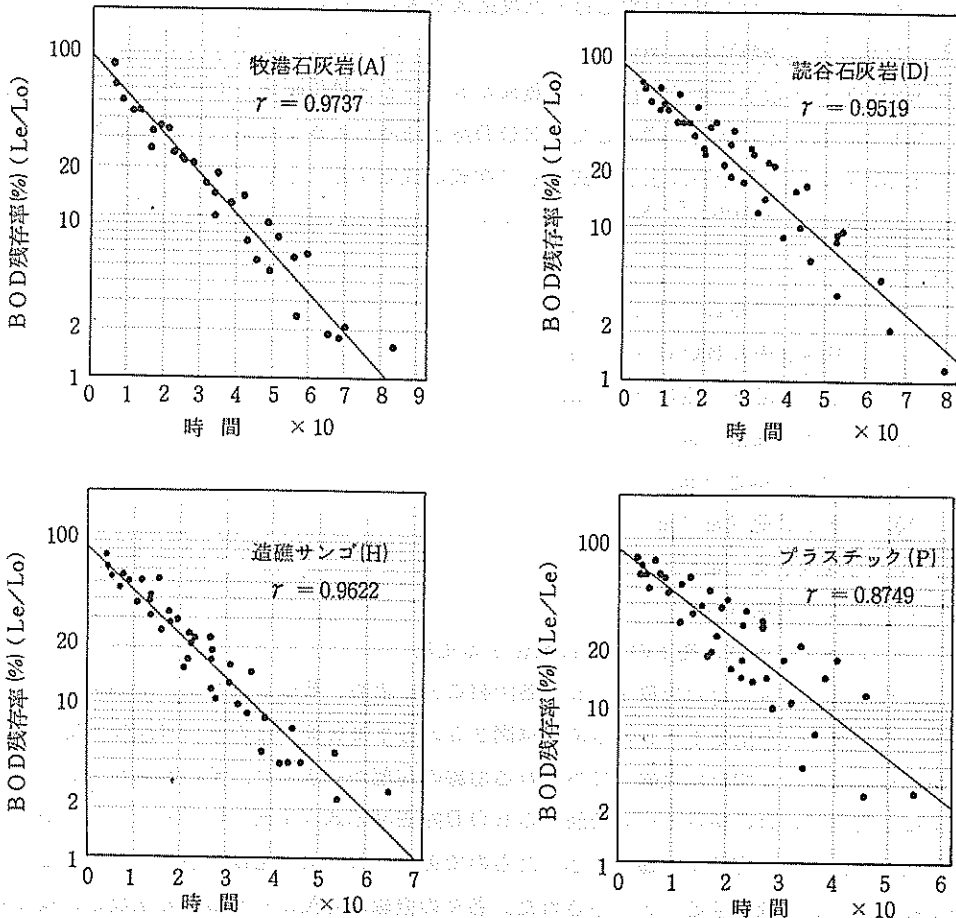


図 2.7 BOD残存率 (%) と接触時間との関係

表 2.3 BOD除去反応速度定数K

汙材の種類	K (1/hr)
牧港石灰岩 (A)	5.27×10^{-2}
読谷石灰岩 (D)	5.07×10^{-2}
造礁サンゴ (H)	6.20×10^{-2}
プラスチック (P)	5.90×10^{-2}

10mg/l以下を示し、処理水水質は各汙材間で顕著な差違はみられず良好である。なお生物膜の剝離に起因すると考えられる処理水中のSSは各汙材とも高い値を示し、また処理水の透視度は低く外観は良くなかった。従って散水汙床処理では、処理水水質の悪化の原因となる剝離汚泥の分離操作が極めて重要な課題であることが示された。

また、BOD除去率は水量負荷 $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 以上ではほぼ平衡状態になる。このことから水量負荷は $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 以上の設定で廃水のBODの約99%以上の除去が期待できる。

(4) 水量負荷と生物付着量

各水量負荷ごとの汙材の生物膜付着量 (mg/汙材充填体積cm³) を調べた結果を図 2.9 に示す。

生物付着量は、牧港石灰岩>読谷石灰岩>造礁サンゴ>プラスチックの順位で高い値を示し、各汙材とも水量負荷による大きな差違はみられず安定した付着量を示す結果が得られた。また処理水中のSSは生物膜の増減とほぼ対比しており、処理水中のSSを測定することにより生物膜脱落の予測が可能であると考えられる。

2.2.4 BOD負荷と処理効率の関係

汙床単位容積あたりに負荷するBOD量 (BOD負荷) は水量負荷とともに散水汙床の設計上重要な項目である。

水量負荷を $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ とし、処理水量を 3.7 l 、原水のBOD濃度は約1,000, 2,000, 4,000 mg/lでBOD負荷を0.5, 1.0, 2.0 kg/m³・日の3段階に設定して、各汙材でのBOD負荷と処理効率との関係について検討した。それぞれのBOD負荷の実験にあたっては、水量負荷と同様4日間馴養後、本実験を行った。その結果のBOD残存率と処理時間の関係を図 2.10に、また処理水水質を表 2.5に示す。

図 2.10から各汙材ともBOD除去速度はBOD負荷の増加とともに小さくなる傾向がみられる。BOD除去は負荷 $1 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ までは対数的に減少して一次反応式で表わされるが、BOD負荷 $2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ では一次反応式に従わなくなり、BOD除去速度は極めて小さくなる。一般に廃水の回分式散水汙床処理でのBOD除去速度は廃水の初発濃度が影響し、初発濃度が高い場合BOD除

(3) 水量負荷と処理水水質

各水量負荷における24時間処理後の処理水水質を表 2.4 に示し、またBOD除去率の変化を図 2.8 に示す。なお表 2.4 において、処理水のBOD、COD及びTOC値はNo.2 汙紙による汙過水の分析値である。

各水量負荷における処理水のBODは総じて

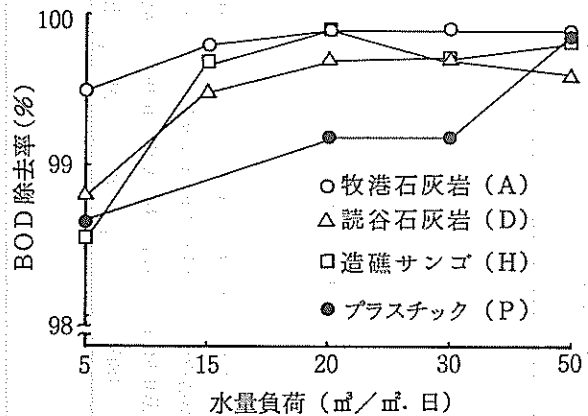


図 2.8 各水量負荷におけるBOD除去率の変化

表 2.4 各水量負荷における24時間処理後の処理水質

項目	水量負荷 $m^3/m^3 \cdot 日$																	
	5					15					20							
	原水		処理水			原水		処理水			原水		処理水					
	外観	A	D	H	P	淡黄色	淡茶濁	淡茶濁	淡茶濁	淡黄色	A	D	H	P	淡黄色	淡黄色	淡黄色	淡黄色
pH	7.65	7.10	7.6	7.65	8.15	7.6	7.45	7.95	7.6	7.45	7.45	7.9	7.6	7.9	7.45	7.45	7.65	7.88
透視度 (cm)	30	7.0	2.5	4.0	4.0	30	16	7.0	11	30	17	12	17	30	17	12	17	12
BOD (mg/l)	1,059	5.1(99.5)	12.3(98.8)	15.5(98.5)	14.8(98.6)	1,105	23(99.8)	5.5(99.5)	3.8(99.7)	40.5(96.3)	1,008	15(99.9)	34(99.7)	1.8(99.8)	28.6(94.9)	13.4(97.7)	23.9(95.8)	17.9(96.9)
COD (mg/l)	530	27.1(94.9)	41.1(92.3)	39.8(92.5)	38.5(92.7)	530	28.6(94.6)	18.8(96.5)	26(95.1)	41.8(92.1)	571	28.6(94.9)	13.4(97.7)	23.9(95.8)	17.9(96.9)	15(97.1)	15(97.1)	15(97.1)
TOC (mg/l)	578	15.0(97.4)	35.0(93.9)	25.0(95.7)	35.0(93.9)	517	90(98.3)	5.0(99.0)	8(98.5)	33(93.6)	522	2.0(99.6)	7(98.7)	9(98.3)	2.0(99.6)	7(98.7)	9(98.3)	15(97.1)
SS (mg/l)	—	235	605	628	480	—	182	294	299	286	—	256	169	179	256	169	179	228

項目	水量負荷 $m^3/m^3 \cdot 日$																	
	30					50												
	原水		処理水			原水		処理水			原水		処理水					
	外観	A	D	H	P	淡黄色	淡茶濁	淡茶濁	淡茶濁	淡黄色	A	D	H	P	淡黄色	淡黄色	淡黄色	淡黄色
pH	7.8	7.35	7.45	7.55	7.75	7.5	7.45	7.75	7.45	7.75	7.45	7.7	7.45	7.9	7.45	7.45	7.9	7.9
透視度 (cm)	30	12	6	9	5	30	30	7	7	8	30	7	7	8	7	7	8	8
BOD (mg/l)	1,125	1.4(99.9)	3.8(99.7)	2.9(99.7)	8.6(99.2)	1,216	18(99.9)	5.4(99.6)	1.7(99.9)	2.2(99.8)	1,216	18(99.9)	5.4(99.6)	1.7(99.9)	2.2(99.8)	18(99.9)	5.4(99.6)	1.7(99.9)
COD (mg/l)	558	26.5(96.3)	23.5(95.8)	37.5(93.2)	16.7(97.0)	612	11.7(98.1)	30.3(94.9)	42.2(93.1)	12.1(98.0)	612	11.7(98.1)	30.3(94.9)	42.2(93.1)	12.1(98.0)	11.7(98.1)	30.3(94.9)	42.2(93.1)
TOC (mg/l)	537	3(99.4)	17(96.8)	23.0(95.7)	15(97.2)	586	18.5(96.8)	19.0(96.8)	22.5(96.2)	22.0(96.2)	586	18.5(96.8)	19.0(96.8)	22.5(96.2)	22.0(96.2)	18.5(96.8)	19.0(96.8)	22.5(96.2)
SS (mg/l)	—	269	442	424	543	—	41	294	368	450	—	41	294	368	450	41	294	368

(備考)

- A : 牧港石灰岩
- D : 読谷石灰岩
- H : 蓮礁サンゴ
- P : プラスチック
- () 除去率 (%)
- 欠 測

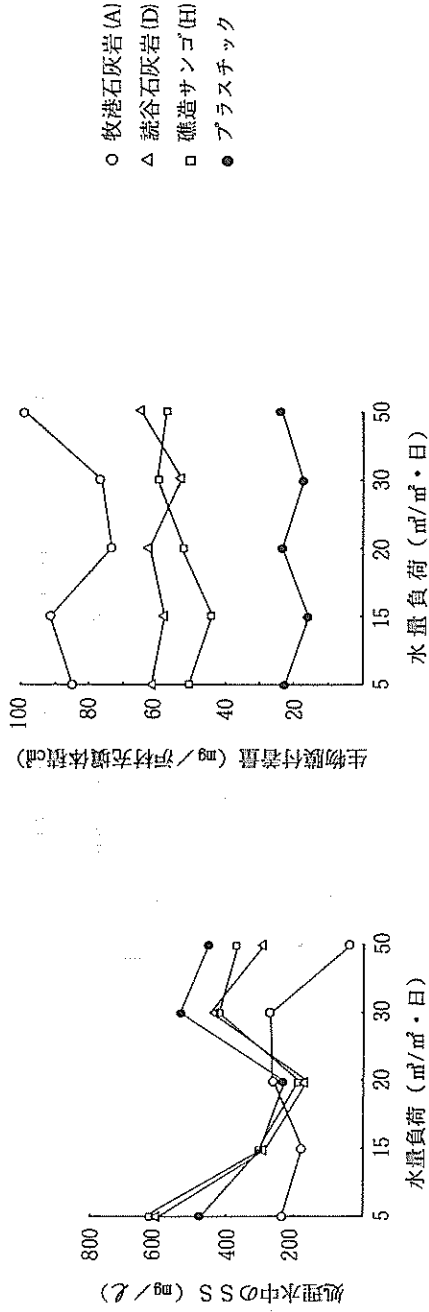


表 2.5 各BOD負荷における24時間処理後の処理水水質

項目	BOD負荷 (kg/m²・日)				1.0				2.0			
	原水		処理水		原水		処理水		原水		処理水	
	A	D	H	P	A	D	H	P	A	D	H	P
外観	淡黄色	淡茶濁	淡茶濁	淡茶濁	淡黄色	淡茶濁	淡茶濁	淡茶濁	淡黄色	淡茶濁	淡茶濁	淡茶濁
pH	7.1	30	7.82	7	7.3	6.15	6.18	7.6	7.21	5.55	5.62	7.03
透視度 (cm)	1,075	0.8(99.9)	6.82	0.96(99.9)	1,995	35(99.8)	19.1(99.0)	16.9(99.2)	4,520	54.4(98.8)	2	85.1(98.1)
※BOD (mg/l)	912	9.0(99.0)	28.9(96.8)	3.4(96.0)	1,379	18.6(98.7)	50(96.4)	55.2(95.9)	—	110.3	166.7	120.7
※COD (mg/l)	1,003	2.0(99.8)	2.2(99.8)	9.0(99.1)	2,063	18.0(99.1)	33(98.4)	21.0(98.9)	2,505	111(95.6)	168(93.3)	115(95.4)
※SS (mg/l)	—	62	418	493	—	187	852	708	—	208	408	365

(備考) ※ No.2 汚紙で汚過した分析値 () 除去率 (%) 一欠測

A : 牧港石灰岩 D : 蒔谷石灰岩 H : 造礁サンゴ P : プラスチック

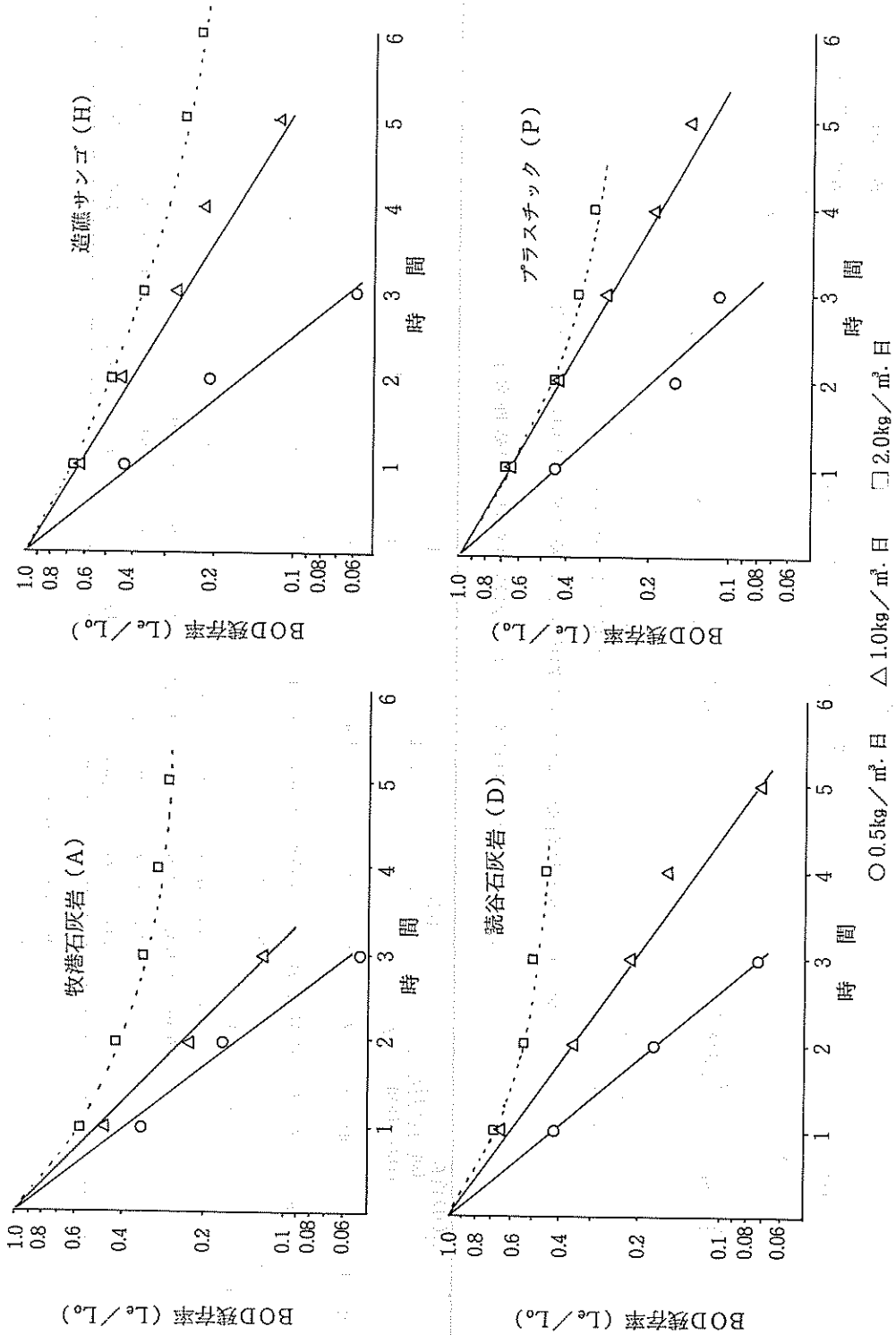


図 2.10 BOD 負荷と BOD 残存率の関係

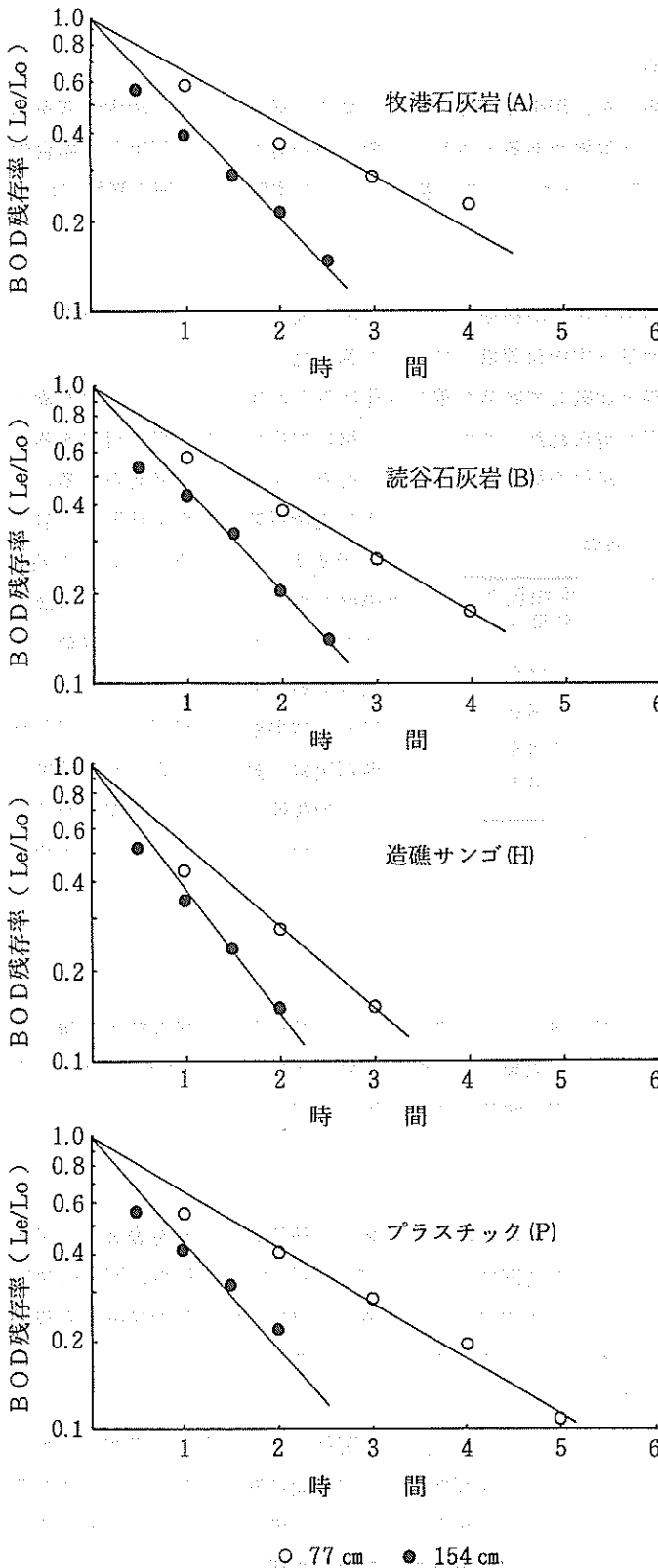


図 2.11 汙床高さと BOD 残存率の関係

去速度は小さくなることが知られている¹⁰⁾。このことは回分処理では処理開始時において、浄化に参与する微生物量に対し廃水中の有機物量が相対的に多いことによりといわれている¹⁰⁾。従って本実験での BOD 負荷 $2 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ の場合は、この理由により BOD 除去速度が遅くなっているものと考えられる。

一方、処理水水質は各汙材とも BOD 負荷 $0.5 \sim 1.0 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ においては良好であるが、BOD 負荷 $2 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ では BOD 値は高く、また処理水の pH が低い値 (pH 6) を示す汙材もあり、一般的に処理水水質は悪くなる。このことから BOD 負荷に限界があり、石灰岩等を汙材にした場合 BOD 負荷は $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ 以下が適当であると考えられる。

2.2.5 汙床高さと処理効率の関係

水量負荷を $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ にして、廃水の BOD 濃度を約 $1,000 \text{ mg/l}$ 、処理水量は 3.7 l で汙床の高さ (汙材の充填高さ) を 77 cm と 154 cm に変え、それぞれの高さによる処理効率について検討した。その結果を図 2.11 に示す。

各汙材とも汙床高さによる BOD 除去速度に差がみられ、汙床高さ 154 cm は 77 cm の約 2 倍の BOD 除去速度を示す。これは各汙床に散水する廃水の BOD 濃度を一定にしてあるため、結果的には汙床高さは汙材の充填量 (生物膜量) の差となり、汙床が深い場合廃水と生物膜との接触時間が長くなり

浄化効率が高くなるためと考えられる。

汙床の高さが大きい程処理効率は高いが、汙床の高さが大きくなると通風が悪く、汙床閉塞を起こし易くなる。そのため汙床の深さには限界があるとされ、一般に礫石等を汙材に利用した場合の汙床の高さは1.5～3.0 mが適正であるといわれている³⁾。従って上記の実験はこの適正範囲内にあると考えられる。

2.2.6 汙材の耐久性と生物付着量

すべての実験終了後(180日後)各汙床から汙材を取り出し、汙床表面に付着した生物膜をブラシで剝離して、汙材の重量と剝離汚泥量(生物付着量)について調べた。

汙材の重量は各汙材とも実験開始時と比較して顕著な重量変化はみられず、いずれの汙材も廃水の侵食に対して耐久性があるとの結果が得られた。このことは汙材に生物膜がある程度付着すると廃水はこの生物膜表面を流下するため、汙材の溶出が起りにくいことによるためと考えられる。

表 2.6 生物付着量の測定結果

汙材の種類	項目	生物膜湿重量 (g)	生物膜乾重量 (g)
牧港石灰岩 (A)		1,070	44.6
読谷石灰岩 (D)		450	8.0
造礁サンゴ (H)		420	※ 8.4
プラスチック (P)		240	6.1

(備考) ※は生物膜の含水率を98%として算出した値

汙材として十分利用できることが示唆された。

また生物付着量の測定結果は、表 2.6 に示すように、牧港石灰岩等の石灰岩汙材が高く、プラスチック汙材は低い値を示し、前述の生物付着試験とほぼ整合する結果が得られた。

以上の結果から今回汙材に使用した牧港石灰岩、読谷石灰岩、及び造礁サンゴは耐久性についても問題がなく、また生物付着性も良好であり、生物膜

3. 中間規模汙床実験

小規模汙床実験で石灰岩汙材の処理機能の諸パラメーターについて検討し、良好な結果が得られたので、中間規模実験装置で実際に工場廃水を対象に応用処理実験を行なった。実験は、(1)BOD 負荷と処理効率の関係及び(2)強制通気と処理効率の關係に主眼を置いて行った。

3.1 実験方法

3.1.1 実験装置

実験装置の概略と外観を図 3.1 と写真 3.1 にそれぞれ示し、また実験装置の諸元を表 3.1 に示す。汙床本体は透明塩化ビニール樹脂製円筒 3 個を垂直に立てたものを使用した。すなわち、汙床円筒は汙材の出し入れが自由に出来るように 3 分割した構造になっている。汙材は汙床底部の 10mm の孔径を有する鋼製円板で受け、また散水された廃水が円筒壁にそって流下することを防止するため、同形の円板を汙材充填高さのほぼ中間部に設置した。

廃水は、汙床本体の直下に設置した循環水槽からマグネット式定量ポンプによって揚水し、汙床最上部に設置してあるノズル (3/8 E × 212) でほぼ均等に汙材表面に散水した。汙床本体を流下した廃水はロート状の集水器を経由して循環水槽で混合され、再び汙床上部に揚水される。また強制通気の実験の場合は小型ロータリーブローワーで汙床上部から通気を行った。

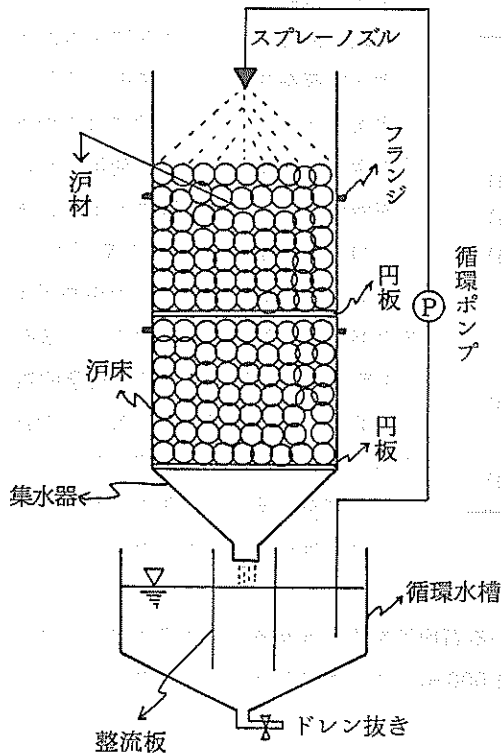


図 3.1 実験装置の概要

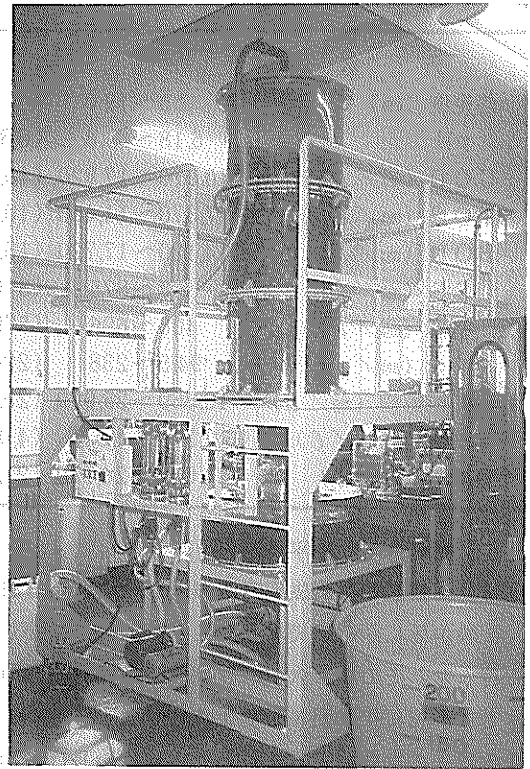


写真 3.1 実験装置外観

表 3.1 実験装置諸元

河床径 (内径) (cm)	河床断面積 (cm ²)	河床高さ (cm)	実容積 (ℓ)	循環水槽実容積 (ℓ)
56	2,462	150	369.3	150

3.1.2 河材

河材は生物膜の付着生成が良好で安定し、適正な強度を有し、また埋蔵量が多く安価で、比較的均一な形状で入手可能である等の条件から読谷石灰岩を採用した。

3.1.3 実験条件及び分析方法

河材の平均粒径は約 5 cm とし、表 3.2 の条件で実験を行った。

分析方法は JIS K 0102 に準拠して行ない、また窒素はケルダール分解後、全窒素分析装置 TN-02 型 (三菱化成) で測定し、またリンは分光光度計 660 型 (日本分光) で測定した。

なお、処理水の分析は攪拌後、1 時間静置して懸濁物質を分離した上澄水で行った。

表 3.2 実験条件

河材径 (cm)	5
河材充填乾重量 (kg)	291.4
河材充填湿重量 (kg)	310.3
空隙率 (%)	50.2
河材充填高さ (cm)	120
河材充填容量 (ℓ)	295.4

表 3.3 大豆煮汁廃液の水質分析結果

外 観	黄 濁	
透視度 (cm)	2.5~19.0	
pH	6.18~6.48	(6.33)
COD (mg/l)	10,970~17,820	(15,480)
TOC (mg/l)	7,370~11,490	(10,230)
BOD (mg/l)	14,120~17,720	(15,930)
SS (mg/l)	5.3~875	(310)
窒素 (mg/l)	406~696	(579)
リン (mg/l)	94.5~238	(220)
全蒸発残留物 (mg/l)	16,869~29,900	(25,780)
強熱残留物 (mg/l)	2,210~4,817	(4,010)
強熱減量 (mg/l)	14,661~24,770	(21,760)

備考 () 平均値

3.2 生物膜の付着生成方法および処理試験方法

実験汙床に汙材を充填した当初は汙材に付着している石粉等を流出させるため水道水で循環散水を行った。その後、大豆煮汁廃液をBOD約500~1,000 mg/lに調整したものを約21日間循環散水して汙材に生物膜を付着生成させた。

生物膜の馴養後、本実験として原水のBOD約1,000~2,000 mg/l、1日1回あたりの処理水量を150 l、水量負荷を30 m³/m²・日とし、BOD容積負荷(以後負荷と略す)は0.5 kg/m³・日と1.0 kg/m³・日の2段階に設定し、20日間単位で負荷を増す方法で処理実験を行った。また通気方法は自然通気と強制通気法の2条件について行った。

3.3 実験結果及び考察

3.3.1 BOD負荷と処理効率

(1) 処理水水質

各BOD負荷における処理水水質を表3.4に、また処理水のBODの変化は図3.2にそれぞれ示す。

表 3.4 各BOD負荷における22時間処理後の水質(最終)

項 目	種 別	水量負荷 m ³ /m ² ・日		BOD負荷 kg/m ³ ・日	
		30	30	0.5	1.0
		原 水	処 理 水	原 水	処 理 水
外 観		淡 黄 濁	淡 茶 黄 色	淡 黄 色	淡 茶 色
透視度 (cm)		6.0	14.0	30	5.0
pH		5.25	8.04	6.60	7.70
COD (mg/l)		879	51.7 (94.1)	2,286	137.0 (94.0)
TOC (mg/l)		640	17.0 (97.3)	1,491	127.0 (91.5)
BOD (mg/l)		1,040	18.3 (98.2)	2,440	138.0 (94.3)
SS (mg/l)		137	※ 624	35	※ 710
N (mg/l)		41.8	2.9 (93.1)	80	16.8 (79)

(備考) 除去率(%) ※ 攪拌直後の分析値

3.1.4 供試廃水

実験に供した廃水はA味噌工場の大
豆煮汁廃液を使用した。その水質分析
結果を表3.3に示す。実験にはこの廃
液を適宜水道水で希釈して使用した。

廃液はpH 6.3で弱酸性を示し、ま
たBODは約15,900 mg/lを示し、
BODはTOCの約1.5倍の値を示す。
またBOD:N:Pの比は100:3.6:
1.4を示し、一般に廃水の生物学的処
理で必要とされるBOD:N:Pの比
100:5:1と比較して若干窒素(N)
が低い値を示すが、以後の実験では窒
素の補添は行なわなかった。

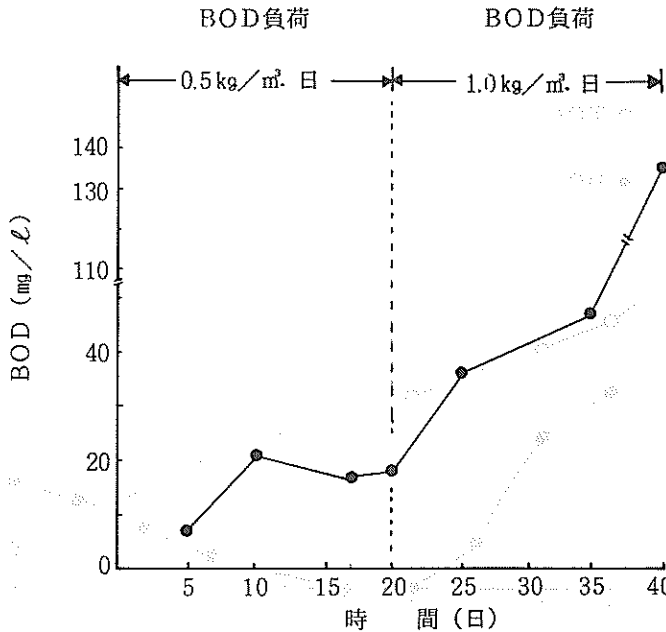


図 3.2 処理水の BOD 変化

負荷 $0.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ では、原水が pH 5.1 ~ 5.2 で酸性を示すのに対し、処理水の pH は 7.7 ~ 8.0 を示し良好である。また原水の BOD $1,000 \sim 1,200 \text{ mg/L}$ に対し、処理水の BOD は $7 \sim 21 \text{ mg/L}$ を示し、平均除去率 98% の高い浄化結果が得られた。

一方負荷 $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ においては、処理水の BOD は処理の経過とともに徐々に高くなり、実験最終では 138 mg/L を示し、処理水質は悪くなる。また負荷 $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ では、処理期間を通して循環水槽での著るしい発泡と腐敗臭が発生する現象がみられた。これは、この時の循環水槽の溶存酸素 (DO) が極めて低い値を示すことから、

過負荷のため極度の酸素不足をきたし、生物膜の嫌氣的腐敗により処理効率が低下したものと考えられる。なお、今回の負荷 $1.0 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ の実験は 20 日間行ったが、この負荷条件では長期的には処理不能になることが予想される。従って本実験条件での負荷 $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ は処理限界と考えられ、安定した処理効率が得られる負荷は $1.0 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ 以下であると推定される。

以上の結果から、負荷 $0.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ の設定で、廃水の BOD を 98% 以上除去し、処理水の BOD を 20 mg/L 以下として放流することが期待できる。

(2) TOC 除去と溶存酸素 (DO) の関係

汙床内の空気の流通は、汙床内外の温度差による自然対流によって行なわれ、また供給された酸素は、汙床を通過する廃水から生物膜に供給されるといわれている。従って廃水中の DO の挙動は処理効率を左右する重要な指標となる。負荷 $0.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ と $1.0 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ の処理過程における循環水槽内の TOC と DO の経時変化を調べた結果を図 3.3 と図 3.4 にそれぞれ示す。

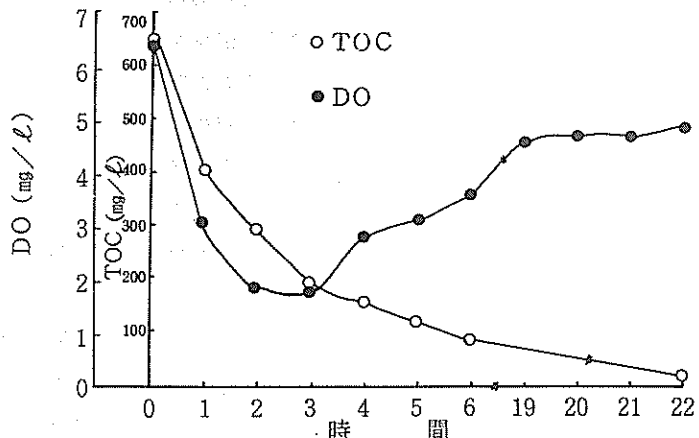


図 3.3 TOC と DO の経時変化 (BOD 負荷 $0.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$)

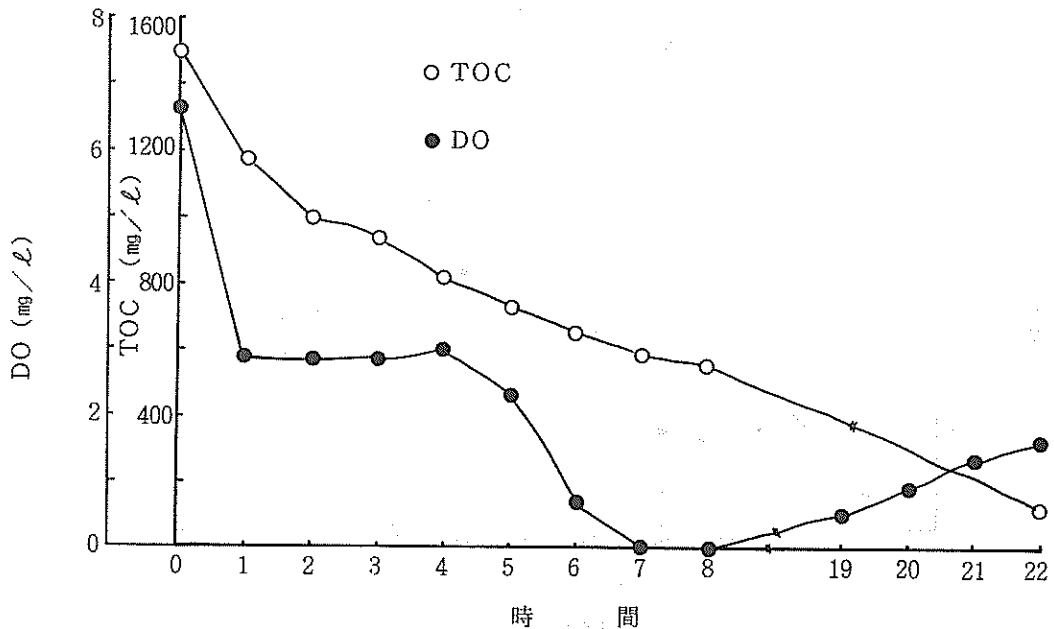


図3.4 TOCとDOの経時変化 (BOD負荷 $1.0 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$)

負荷 $0.5 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ におけるDOの変化は、当初は急激に低下するが、処理3時間後から上昇する傾向がみられ、処理完了時には約 $5 \text{ mg} / \ell$ を示す。DOは処理期間中 $2 \sim 6 \text{ mg} / \ell$ を示し、常に好気的な状態が保持された。また、TOCの変化は当初は急速に減少し、DOの立ち上がり時点で約70%の除去率を示し、その後は緩慢な減少で推移し、処理完了時には、除去率約98%を示す。

以上のことから回分散水汙床法では、処理初期は、汙床に負荷する有機物量が高く、そのためDOの消費量が大きくなることが考えられる。

一方負荷 $1.0 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ ではDOは処理直後に急激な低下がみられ、その後は緩慢な変化で推移するが、処理4時間後から再び低下し始めDOは長時間零状態となり、その後処理19時間後から上昇する傾向がある。またTOCの変化は処理直後にDOの低下と同時に急速に減少するが、その後は緩慢な減少で推移し、処理完了時では除去率約90%を示す。

以上の結果から、負荷 $0.5 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ ではTOCの除去とともにDOは上昇する傾向があるのに対し、負荷 $1 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ ではTOCの除去速度は緩慢であり、またDOは常時低い値を示し、処理過程におけるTOCとDOの挙動は両負荷間で顕著な差違がみられた。

(3) 循環水槽内の環境変化

負荷 $0.5 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ と $1 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ の処理過程におけるpH、DO、酸化還元電位 (ORP) および電気伝導度の変化を測定した。その結果を図3.5と図3.6にそれぞれ示す。

負荷 $0.5 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ の場合pHは初発pH 5.3 に対し、処理直後に急速な上昇がみられ、その後は緩慢な変化で上昇し、最終的にpH 7.6を示す。またDOは処理直後pHと交叉する形で急激に低下するが、以後上昇を示す傾向がみられ、処理8時間後からほぼ平衡状態になる。また生物膜汙床の溶出成分の目安となる電気伝導度は処理期間中、ほぼ $400 \sim 700 \mu\text{S} / \text{cm}$ の範囲の値を示した。

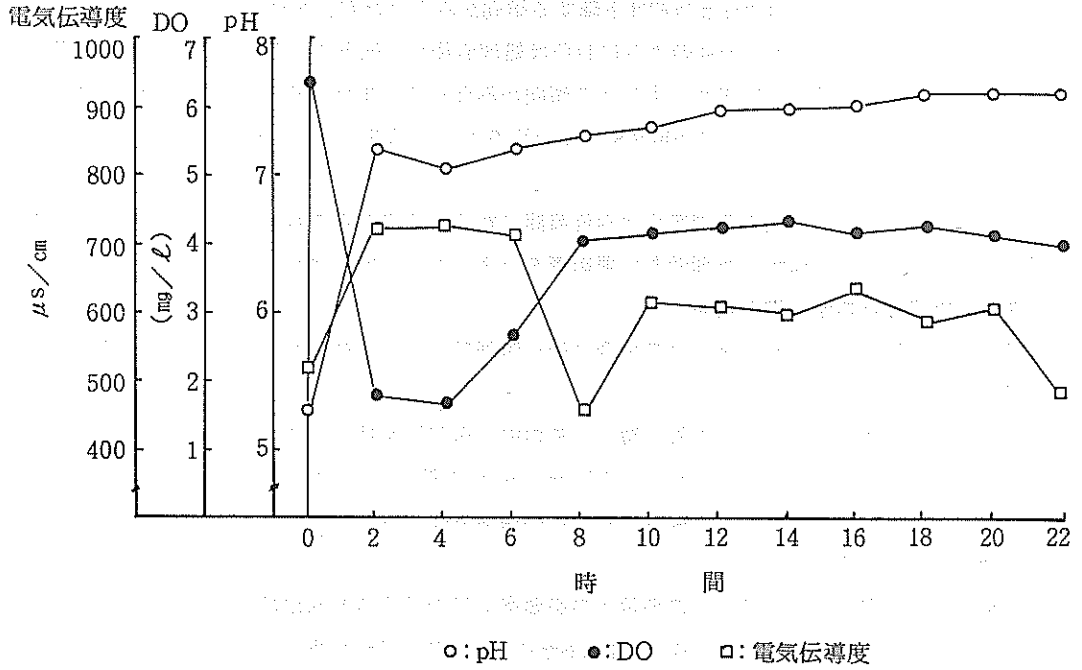


図 3.5 pH、DO、電気伝導度の経時変化 (BOD 負荷 $0.5 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$)

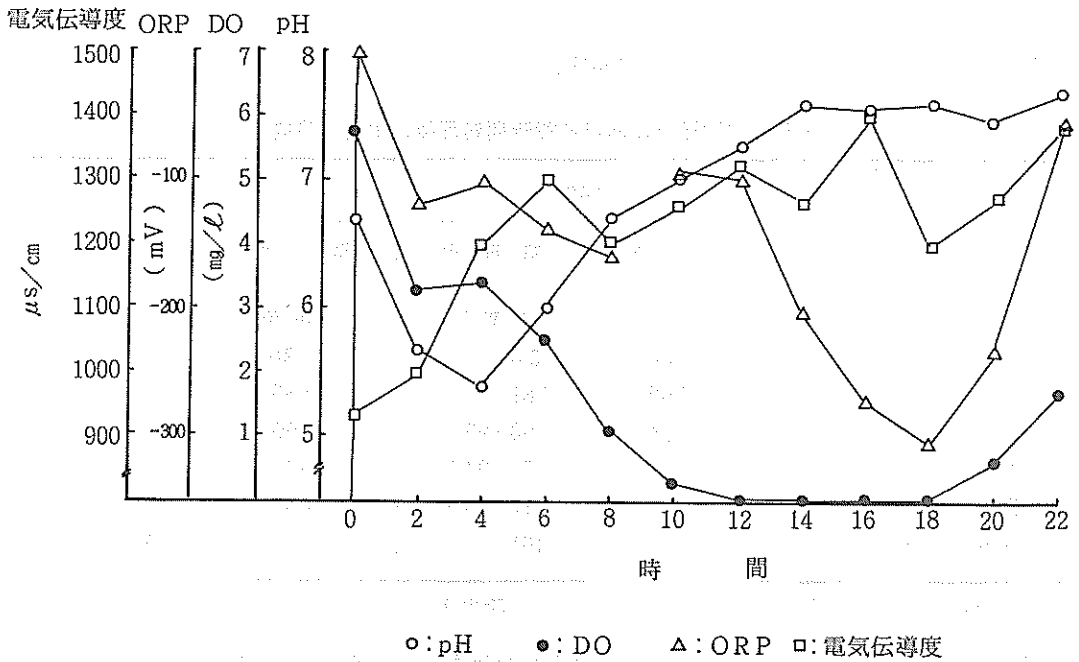


図 3.6 pH、DO、ORP 及び電気伝導度の経時変化 (BOD 負荷 $1.0 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$)

一方負荷 $1 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ では pH は当初は下降する傾向がみられたが、処理 5 時間後から上昇し、処理完了時は pH 7.7 を示す。前述のように DO は処理直後から低下を示し、処理 10 時間以後 DO は零状態になるが、処理 19 時間後から上昇する傾向がみられる。また ORP は終始還元電位を示す。なお、電気伝導度はほぼ $1,000 \sim 1,400 \mu\text{S} / \text{cm}$ の値を示し、負荷 $0.5 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ と比べて高い値を示す。

以上の結果から循環水槽内の環境変化は両負荷間で顕著な差違がみられ、特に負荷 $1 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ の場合、長時間の嫌気的環境が処理効率に悪影響を与えるものと推察される。

3.3.2 強制通気と処理効率の関係

自然通気の実験で負荷 $1 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ の場合は低い処理効率を示す結果が得られたので同負荷での強制通気の効果について検討した。

通気方法は、汙床上部をアクリル板で覆い、その中に送気管を挿入してコンプレッサーで汙床内に送気した。また通気量は $102 \text{ mm} / \text{min}$ と $143 \text{ mm} / \text{min}$ に設定し、他の条件は自然通気の場合と同様にして実験を行った。なお、実験はそれぞれの通気条件で 12 日間行った。

(1) 通気方法の設定

本実験での通気量は、次の条件での理論上の必要空気量の計算値を基に設定した。

一般に廃水の好気性生物処理では BOD 1 kg あたり、 60 m^3 の空気が必要とされている。³⁾ そこで原水の BOD $2,000 \text{ mg} / \ell$ 、処理水量 150ℓ で処理時間は 22 時間、また汙床断面積は $2,462 \text{ cm}^2$ とすると、必要空気量は $55 \text{ mm} / \text{min}$ となり、本実験ではこの通気量の約 2～3 倍の空気量を送気することとした。

(2) 通気と処理効率

各通気量における処理水水質を表 3.5 に示す。

表 3.5 強制通気における 22 時間処理後の水質 (最終)

項目	通気量 (mm/min) 種別	102		143	
		原水	処理水	原水	処理水
外観		淡黄色	淡黄色	淡黄色	淡黄色
透視度 (cm)		30	5.0	30	9.0
pH		6.62	7.81	6.80	7.95
COD (mg/ℓ)		2,324	100 (95.7)	2,209	59.5 (97.3)
TOC (mg/ℓ)		1,391	82 (94.1)	1,322	71.0 (94.6)
BOD (mg/ℓ)		2,400	112 (95.3)	2,005	70.2 (96.5)
※ SS (mg/ℓ)		—	461	—	280

(備考) ※ 攪拌直後の分析値 () 除去率 (%)

通気量 $102 \text{ mm} / \text{min}$ と $143 \text{ mm} / \text{min}$ における BOD 除去率は約 95%、96% を示し、BOD 除去率でみると通気量 $143 \text{ mm} / \text{min}$ の方が若干高い除去率を示す結果が得られるが、それぞれの原水の BOD 濃度を考慮すると両者間に処理効率に大差はないといえる。

また処理過程における TOC と DO の変化は、図 3.7 と図 3.8 に示すように、両通気条件とも、

TOCは緩慢な減少を示し、またDOは処理直後から低下し、長時間の嫌气的状態を示す傾向がみられ、TOCとDOは自然通気の場合とほぼ同様な挙動を示す。このことと関連して強制通気における循環水槽内の環境変化（pH、DO、ORPおよび電導度の変化）は図3.9に示すようになっており、循環水槽内の環境は自然通気とほぼ同じ状態を示している。

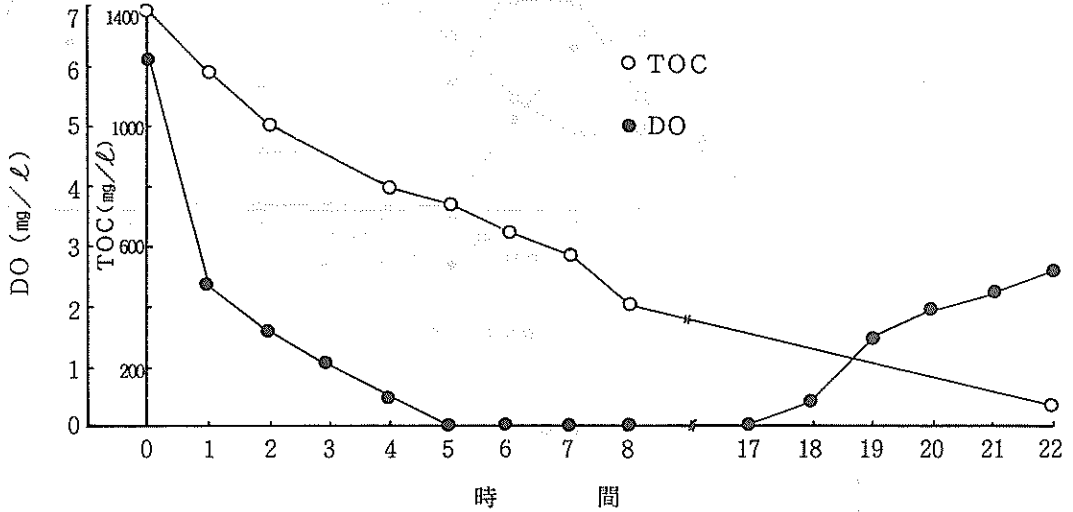


図3.7 TOCとDOの経時変化 (通気量 102 mm/min)

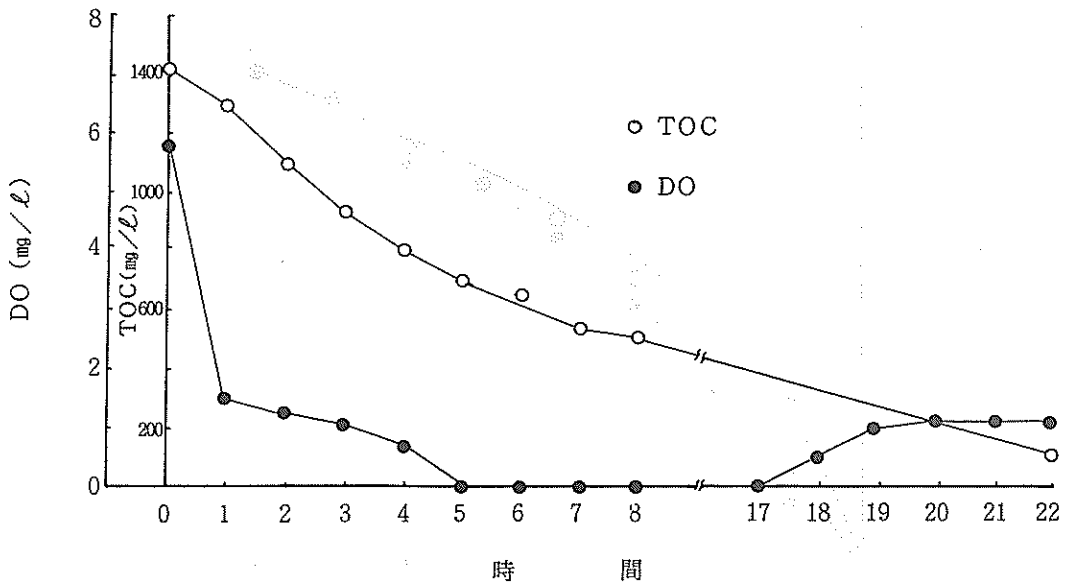


図3.8 TOCとDOの経時変化 (通気量 143 mm/min)

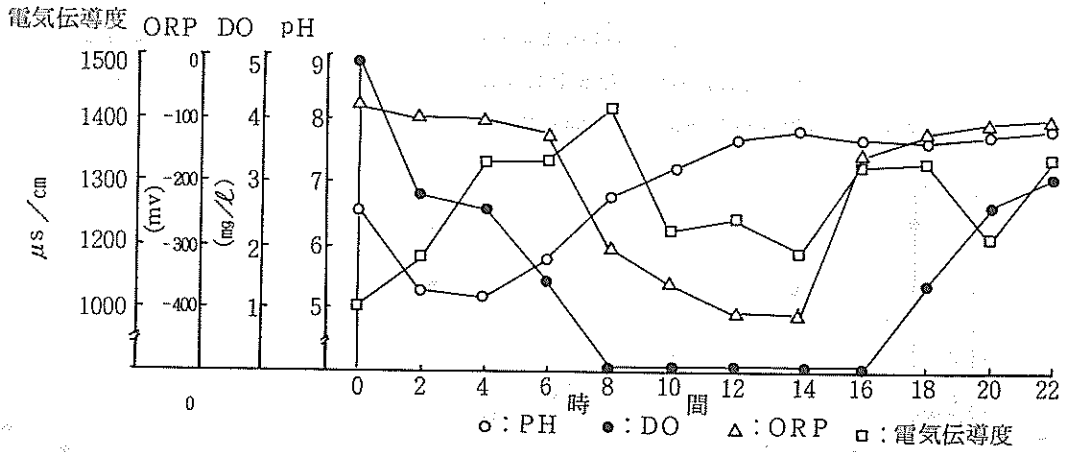


図 3.9 pH, DO, ORP および電気伝導度の経時変化 (強制通気)

次に強制通気と自然通気での処理効果の比較を、TOC除去特性で検討した結果を図 3.10 に示す。

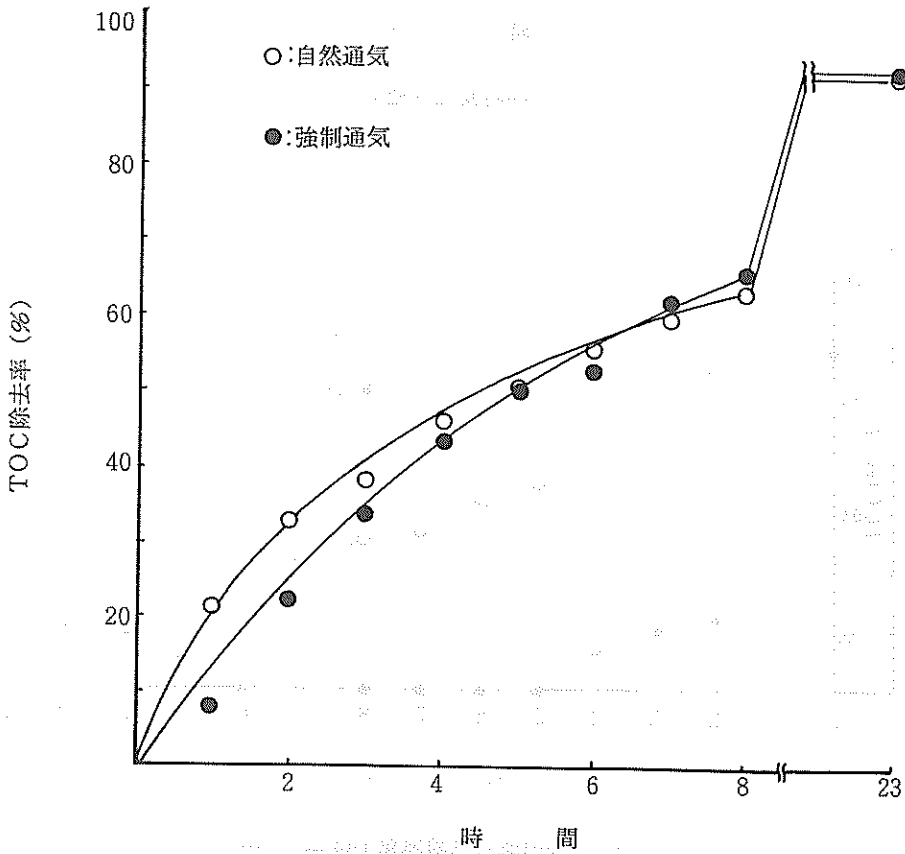


図 3.10 自然通気と強制通気の処理効果の比較

TOC除去率は、処理当初は自然通気が強制通気よりやや上回る除去率で推移するが、最終的には、両者間の処理効率に顕著な差はみられない。このことから負荷 $1 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ における通気の有無は処理効率にはほとんど影響がないことが推察される。

以上の結果から強制通気と自然通気での処理効率には顕著な差はみられなかった。このことは、汙床の空隙率が約50%と小さいことに原因があると考えられ、石灰岩等を生物膜汙材に使用した場合、BOD負荷は $1 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ 以下に設定して、自然通気法で処理を行うことが経済的にも得策であると考えられる。

4. まとめ

小規模工場廃水の低廉で効率的な廃水処理技術の確立を目的に、県内に豊富に賦存する琉球石灰岩を生物膜汙材に活用した回分式散水汙床法による処理特性について検討し、次の結果を得た。

1. 生物膜特性

石灰岩の物理性状並びに生物付着試験を行い次の結果を得た。

- (1) 石灰岩の物理性状は古生代結晶質石灰岩（本部石灰石）は硬度が高く、緻密であるのに対し、琉球石灰岩と造礁サンゴは軟質と硬質に分類され、また比較的的多孔質のものが多く。
- (2) 生物付着性は吸水率と関係し、一般に吸水率が高い石灰岩は生物付着性が良好である。
- (3) 生物膜汙材として、牧港石灰岩（栗石）、読谷石灰岩（コーラル）、那覇石灰岩（トラパーチン）及び造礁サンゴ（樹枝状）が有効であることが示唆された。

2. 小規模汙床実験

牧港石灰岩、読谷石灰岩、造礁サンゴ及びプラスチックを生物膜汙材に使用して、合成廃水を対象に小規模汙床実験を行い、次の結果を得た。

- (1) 生物付着性はプラスチック汙材より、石灰岩汙材が高い結果が得られ、また、各石灰岩汙材間に顕著な差はみられなかった。
- (2) BOD除去は、ある濃度範囲内でBOD除去反応式 $Le/L_0 = e^{-KADQ^{1-n}/V \cdot tr}$ が成立する。
- (3) 水量負荷は、 $20 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{日}$ 以上で高い処理効率を得られる。
- (4) BOD負荷は $1 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ 以下が適正である。
- (5) 石灰岩等は耐久性に問題がなく、生物膜汙材として適当である。

3. 中間規模汙床実験

実際の工場廃水を対象に中間規模汙床処理実験を行い、次の結果を得た。

- (1) BOD負荷は $0.5 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ で高い処理効率を得られるが、負荷 $1 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ では処理効率は低くなる。
- (2) 汙床内はBOD負荷 $0.5 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ では好気的狀態を維持し良好であるが、負荷 $1 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ では長時間嫌氣的狀態になる。
- (3) 強制通気と自然通気の処理効率に顕著な差はみられなかった。

以上の結果から、石灰岩を生物膜汙材に使用した回分式散水汙床法は、小規模食品工場廃水の処理に有効であることが分った。

ただ本処理方式の採用にあたって留意すべき点は、石灰岩生物膜汙材の場合、一般的に空隙率が

低いので、通気性に十分注意しなければならないことである。従って設計諸元として、BOD負荷は $1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{日}$ 以下が好ましく、この条件での自然通気法で高い処理効率が期待でき、また、経済的にも得策であると考えられる。

あとがき

琉球石灰岩を生物膜汚材に活用した廃水処理技術について検討し、その有効性を明らかにした。現在、県内で生産される石灰岩はほとんどが路盤材として利用されているにすぎず、その多目的高度利用が今後の重要な課題となっている。沖縄県採掘事業協同組合の「昭和61年度活路開拓ビジョン調査事業報告書」¹²⁾の中で、石灰岩の公害防止用廃水処理剤としての用途開発が提言されており、また現在、都市地区の河川の汚濁を防止するため、川床に石灰岩(コーラル)を敷設する工事が進められている。このような背景のもとで、本研究が、今後の石灰岩の多目的公害防止資材としての利用の一助となれば幸甚である。

なお、本研究は昭和61年度技術開発研究費補助事業(単独研究)として行ったものである。

おわりに、本研究を実施するにあたって、種々御教示を賜った工業技術院公害資源研究所公害第三部岩崎潤二前部長、平井正直現部長を始め関係各位に深く感謝申し上げますとともに、試料の提供等で御協力をいただきました関係業界に厚く御礼申し上げます。

また、中小企業庁技術課、沖縄総合事務局通産部商工課には技術開発研究費補助事業として御指導、御鞭撻を賜り深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 沖縄県環境保健部編、「環境白書」、沖縄県(1987)
- 2) 沖縄大百科事典刊行事務局編、「沖縄大百科事典」、893、沖縄タイムス社(1983)
- 3) 沖縄総合事務局通産部鉱業課資料(1987)
- 4) 高原義昌編著、「廃水の生物処理」、108、地球社、(1980)
- 5) 花城可英、「沖縄県技術情報」、33、沖縄県工業試験場(1987)
- 6) 社団法人土木学会編、「衛生工学実験指導書(プロセス編)」、44、社団法人土木学会(1977)
- 7) JISK 0102 工場排水試験方法、30、日本規格協会(1986)
- 8) 津田松苗著、「汚水生物学」、201、北隆館(1976)
- 9) 田代鉄人・松井安俊・山岸昂夫、公害資源研究所彙報、5-2、49、(1976)
- 10) 田代鉄人・山岸昂夫・松井安俊・益水秀樹・平井正直・田中稔、公害資源研究所彙報、7-3、23、(1978)
- 11) 井出哲夫編著、「水処理工学」、312、技報堂(1976)
- 12) 沖縄県コーラル採掘事業協同組合、「昭和61年度・活路開拓ビジョン調査事業報告書」(1987)

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。