

懸濁粒子生物膜法による廃水処理技術 に関する研究(1)

— 琉球石灰岩を担体とした処理特性 —

化学室 宮 城 周 子
比 嘉 三 利
照 屋 輝 一

1. はじめに

有機性産業廃水の処理法としては、一般的に活性汚泥法に代表される生物処理法が採用されている。しかしこの廃水処理では、高負荷による異常発泡、活性汚泥の沈降性悪化等の処理機能の異状現象が発生するケースが多く、現場での維持管理に苦勞している現状にある。特に運転管理を十分発揮できるような熟練した技術者が必要である等の問題が生じており、維持管理対策が重要な課題となっている。

そのため、上記課題への対策として、本研究は琉球石灰岩等の粒子を担体として、活性汚泥と共存させた懸濁粒子生物膜法の廃水処理技術について検討し、食品工場等の有機性廃水の低廉で効率的に維持管理の容易な処理技術の開発を目的とする。

懸濁粒子生物膜法は、石灰岩等の微小粒子を曝気槽内にあらかじめ添加し、曝気攪拌により槽内粒子を懸濁させると共に、粒子表面に生育した微生物と廃水とを接触させることにより、廃水中の有機物を酸化分解させる方法である。この処理方式の特徴としては¹⁾

- 1) 大きな比表面積が得られ、微生物濃度を高く保持することができる。
- 2) 生物膜と廃水とが効率よく接触し、高負荷でBODが除去できる。
- 3) 設置面積が縮少でき、消費動力が少ない。
- 4) バルキング障害が少なく、維持管理が容易である。
- 5) 担体に微生物が付着しているため、固液分離性に優れている等があげられている。

従って、小規模食品工場の高濃度有機性廃水処理に有効であると考えられる。

そこで、本研究は本県に多量に賦存する琉球石灰岩の懸濁粒子生物膜法の生物膜担体としての有効性を調べるため、

(イ)担体の最適流動条件

(ロ)BOD負荷と処理効率の関係

(ハ)担体の生物膜付着と固液分離性

等の処理特性について検討したので報告する。

2. 実験方法

2.1 担体試料

担体試料は、入手が容易で安価であることが重要とされ、本実験では担体として(1)牧港石灰岩(栗石)、(2)読谷石灰岩(コーラル)、および(3)海砂を使用した。

担体試料は、ジョークラッシャーで粗粉碎後、スタンプミルで細粉した。その後高速度微粉碎機で微粉碎し、湿式ふるい方式で、所定の粒子径に篩分した。

2.2 供試廃水

実験には表1の組成の合成廃水を調整して使用した。その水質はBOD値約10万mg/ℓ、TOC値約5万mg/ℓを示し、実験にはこの廃水を水道水で適宜希釈して使用した。

表1 合成廃水の組成

ペプトン	100 g/ℓ
グルコース	100 g/ℓ
リン酸ニカリウム	20 g/ℓ
硫酸第一鉄	0.2 g/ℓ
塩化カルシウム	0.2 g/ℓ
硫酸マグネシウム	4 g/ℓ

2.3 活性汚泥

糖蜜廃液で培養した活性汚泥を水道水で数回洗浄したものを用いた。

2.4 分析方法

分析方法はJIS K 0102 (1986)に準じて行った。また活性汚泥濃度の測定は、本実験では、曝気槽内に活性汚泥と担体(石灰岩)が共存しているため電気炉での600℃における強熱減量を生物量としてMLVSS(揮発性浮遊物質)で表わした。また、その場合の石灰岩の強熱減量は無視できる程度のものであった。

2.5 実験装置および処理試験方法

実験装置は概略図を図1、またその外観を写真1に示すように、2ℓのメスシリンダー(内径8.3cm)を曝気槽に用い、槽内に塩ビ管の先端にロートを逆に装着したものを設置し、その中にガラスボールフィルターを入れ、空気を吹込み、エアリフト方式で担体が槽内を循環流動するようにした。

処理方式は1日1回上澄水を引き抜き、等量の廃水を瞬時に添加する方法の回分処理方式とし、曝気時間は20時間とした。また所定濃度のMLVSSを調整し、その中に担体を投入し、BOD容積負荷(以下負荷とする)は、原水のBOD濃度と添加量を増す方法で1kg/m³・日、2kg/m³・日、3kg/m³・日および5kg/m³・日に設定し、空気量は負荷に応じて適宜増量を行い、曝気終了時の槽内の溶存酸素(DO)濃度が1mg/ℓ以上を維持するようにした。なお、処理試験中、(1)活性汚泥の濃度と沈降性、(2)処理水水質及び(3)顕微鏡観察による担体の生物付着性を調べた。

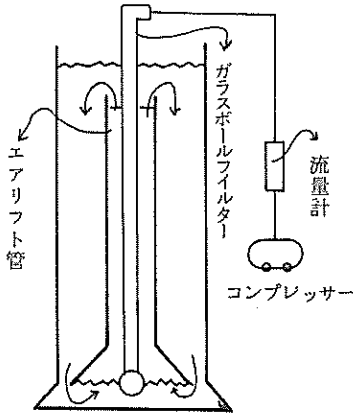


図1 実験装置の概略図

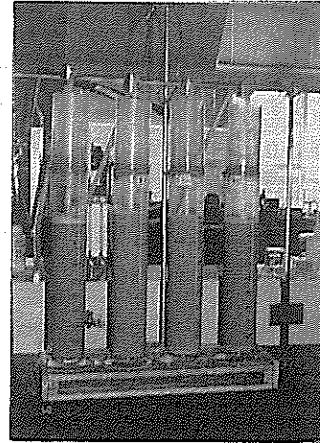


写真1 実験装置の外観

3. 実験結果及び考察

3.1 担体の最適流動条件の検討

懸濁粒子生物膜法は、曝気槽内で担体を流動させながら廃水と接触させることによって、酸化反応を行なわせるものであり、槽内での担体の流動性は極めて重要である。また流動性は曝気槽の構造、担体の比重と粒径、担体の投入量、及び空気量の変動等の因子の影響が考えられる。

従って、石灰岩担体の最適な流動条件を調べるため図1に示す装置を用い、各担体の粒径を0.15～0.25mm、0.25～0.50mm及び0.50～1.0mmに、投入量は曝気槽容積の1～5%にし、また空気量は1～3ℓ/mm変化させ、各担体の流動性試験を行った。その結果を表2に示す。

表2 各担体の流動性試験

名称	見掛け比重	担体の投入量 (%) 空気流量及び担体の重量 粒径(mm)	1				2				5			
			(g)	1ℓ/分	2ℓ/分	3ℓ/分	(g)	1ℓ/分	2ℓ/分	3ℓ/分	(g)	1ℓ/分	2ℓ/分	3ℓ/分
			牧港石灰岩	2.44	0.15～0.25	25.4	+	+	+	50.9	+	+	+	137.0
		0.25～0.50	26.3	++	++	++	51.7	++	++	++	136.9	++	++	++
		0.50～1.0	27.6	+++	+++	+++	54.2	+++	+++	+++	137.7	+++	+++	+++
読谷石灰岩	2.72	0.15～0.25	24.5	+	+	+	50.8	+	+	+	133.5	++	++	+
		0.25～0.50	25.0	++	++	++	51.5	++	++	++	134.5	++	++	++
		0.50～1.0	26.7	+++	+++	+++	54.2	+++	+++	+++	137.8	+++	+++	+++
海砂	2.69	0.15～0.25	24.3	+	+	+	50.2	+	+	+	129.1	++	++	+
		0.25～0.50	23.6	++	++	++	49.0	++	++	++	129.2	++	++	++
		0.50～1.0	22.5	+++	+++	+++	45.2	+++	+++	+++	120.3	+++	+++	+++

流動 +
一部流動 ++
沈積多 +++

各担体とも、粒径0.15～0.25 mmの場合、投入量、及び空気量の変化にき程関係なく、流動性は良好である。また、粒径0.25～0.50 mmの場合は、投入量の増加とともに曝気槽の底部に担体の一部が沈積する量が増え、空気量を増しても流動性の大幅な改善を図ることができなかった。

一方粒径、0.5～1.0 mmの場合、投入量1%の段階から槽底部に沈積する担体量が多く、流動性は極めて悪かった。

本実験での供試担体の見掛比重は2.4～2.7を示し、担体間に大きな差違はみられない。従って流動性は粒径により左右された結果と考えられる。

以上の結果から各担体とも粒径0.15～0.25 mm、投入量は曝気槽容積あたり1%が最適であることが分った。

3.2 処理特性

担体（栗石、コーラル、および海砂）を各々曝気槽容積あたり1%投入し、懸濁粒子生物膜法による高負荷処理における、それぞれの処理性について調べた。なお担体無添加の活性汚泥法（以下対照とする）についても並行実験を行い、担体添加との処理効果の比較試験を行った。

3.2.1 MLVSSの変化と沈降性状

浄化に關与する微生物量の目安となるMLVSSの経日変化を調べた結果を図2に示す。

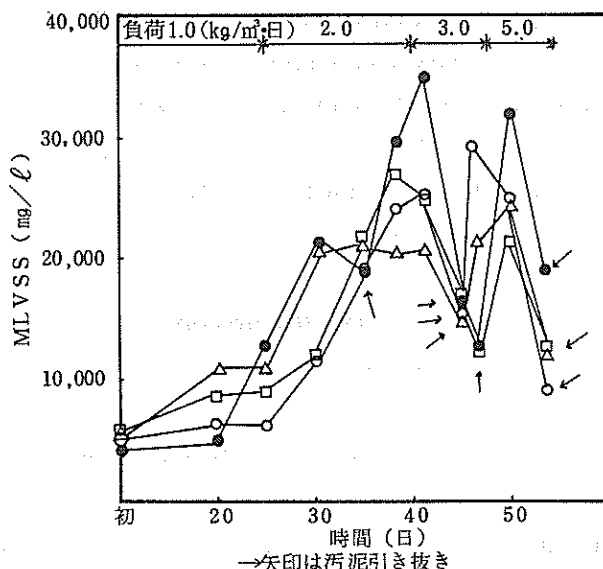


図2 MLVSSの経日変化

MLVSSは各担体とも負荷の増加とともに高い値を示し、初発MLVSS約5,000 mg/lに対し、最高約20,000～30,000 mg/lを示す。なお本実験では、汚泥の増殖が多くなり、沈降時に処理限界の汚泥界面に達した場合、随時、汚泥の引き抜きを行った。

一般に活性汚泥法では、活性汚泥（微生物、M）と廃水中の有機物（食物、F）の比F:Mが重要とされ、これはMLVSS 1 kgあたり1日に流入するBOD量 (kg) を表わし、BOD汚泥負荷 (kg BOD/kg MLVSS・日) で表現される。この値は0.1～0.2 kg/kg, MLVSS・日の範囲で良好な処理結果が得られることが知られている。

本実験では、各担体添加とも汚泥負荷は0.08~0.30 kg/kg, MLVSS・日を示し、負荷3 kg/m², 日までは上記の適正範囲の値を示すが、負荷5 kg/m², 日では汚泥負荷は高い値を示す。

次に、汚泥と処理水の固液分離性は重要であり、その沈降性状について調べた結果を図3に示す。

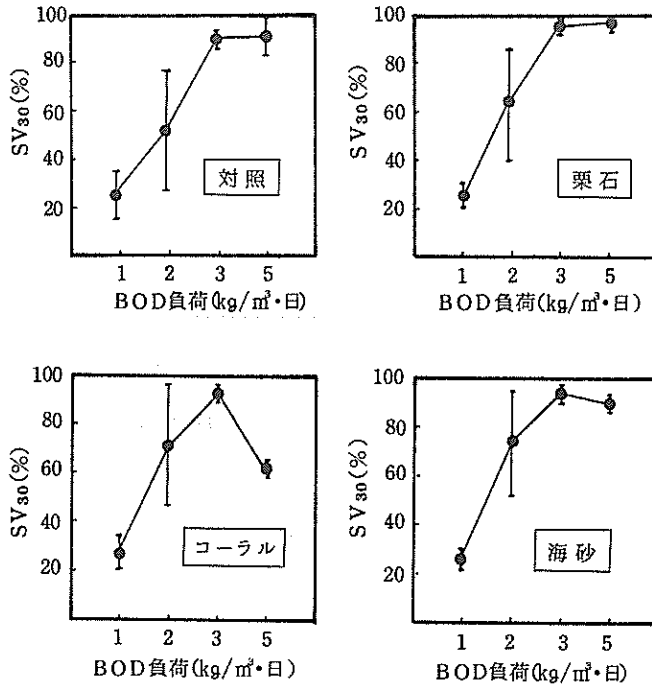


図3 汚泥沈降性

各担体添加とも、汚泥沈降容積 (SV₃₀) は、負荷1 kg/m²・日の場合約30%を示し良好であるが、負荷の増加とともにSV₃₀は高い値を示し、沈降性は悪くなる傾向がみられた。なお本実験では、対照と担体添加の両者間に沈降性に大きな差違はみられなかった。

3.2.2 処理水水質

処理過程における処理水水質について調べた結果を表3と図4にそれぞれ示す。なお処理水の分析はNo.2口紙でろ過したものについて行った。

表3 各負荷における処理水水質

項目	1.0				2.0				3.0				5.0			
	対照	栗石	コーラル	海砂	対照	栗石	コーラル	海砂	対照	栗石	コーラル	海砂	対照	栗石	コーラル	海砂
外 観	淡黄色	淡黄色	淡黄色	淡黄色	淡黄色	淡黄色	淡黄色	淡黄色	茶濁色	茶濁色	茶濁色	茶濁色	茶濁色	茶濁色	茶濁色	茶濁色
透 視 度 (cm)	30.0	5.9	6.8	7.1	6.5	7.4	6.2	6.7	2.0	1.7	1.7	2.5	1.1	0	0	0
pH	8.55	8.33	8.32	8.25	8.63	8.43	8.38	8.47	8.55	8.60	8.55	8.60	8.70	8.40	8.15	8.42
TOC (mg/l)	50.0	30.8	30.5	28.8	177.4	252.0	264.0	222.0	250	190	120	75	2,578	3,297	6,600	2,960
	(96.0)	(96.9)	(96.5)	(97.2)	(96.6)	(95.0)	(94.8)	(95.6)	(87.6)	(96.7)	(97.9)	(98.7)	(82.2)	(83.0)	(66.0)	(84.9)

(%)は除去率

原水の pH 7.3 に対して各担体の処理水の pH は 8.2 ~ 8.6 範囲の値を示す。負荷 $1\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ での各担体の処理水の TOC 値は約 $30\text{mg}/\ell$ で除去率約 97% を示し、水質は良好である。また負荷 $2\sim 3\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ での TOC 値は約 $100\sim 200\text{mg}/\ell$ と高い値を示す傾向にあり、負荷 $5\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ の場合、原水の TOC 値約 $10,000\text{mg}/\ell$ に対し、各担体とも処理水の TOC 値は約 $3,000\sim 6,000\text{mg}/\ell$ と除去率 $60\sim 80\%$ を示し、水質は悪化する。

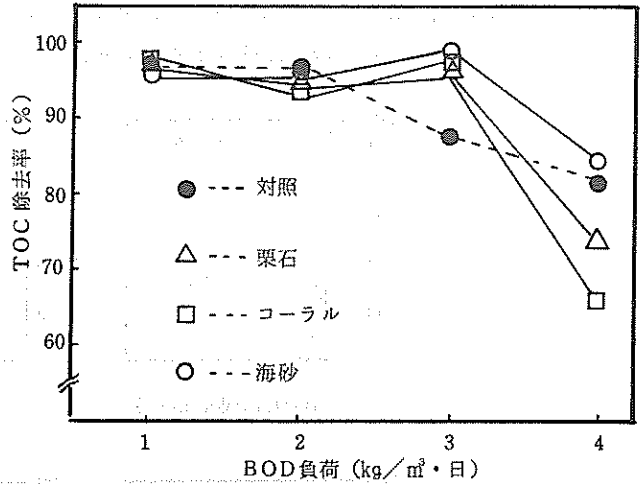


図4 各負荷における TOC 除去率 (%)

各担体の処理水の透視度は常時 10 cm 以下を示し、濁度が高い。この原因は後述するように、浮遊状態の微生物の影響が考えられる。

なお、各担体とも、負荷 $3\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ から曝気槽での臭気の発生と発泡現象がみられ、負荷 $5\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ ではその発生は著しくなった。

以上の結果から処理水々質は、負荷の増加に伴ない悪くなる傾向があり、また担体相互間並びに対照と比較してその顕著な差異はみられなかった。

3. 2. 3 担体の生物付着性と流動性

懸濁粒子生物膜法は、担体粒子に浄化に関する微生物を付着発生させて、廃水を処理する方法であるため、その付着性は極めて重要となる。そこで各担体の生物付着性を顕微鏡観察により定性的に調べた。

各担体とも 10 日目頃から担体の周囲に生物膜の付着が認められた。その担体の生物膜付着の状況を写真 2 ~ 4 に示す。

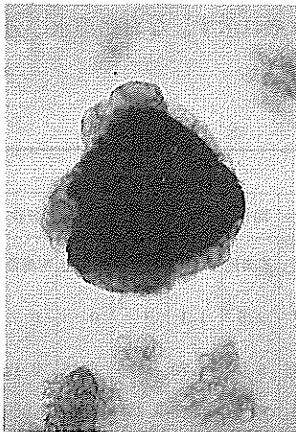


写真 2 栗石 × 100

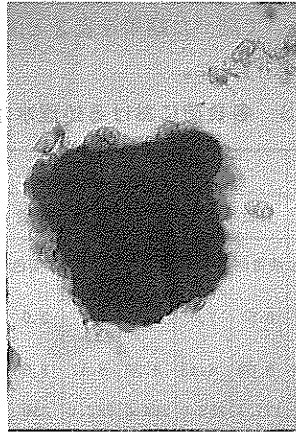


写真 3 コーラル × 100

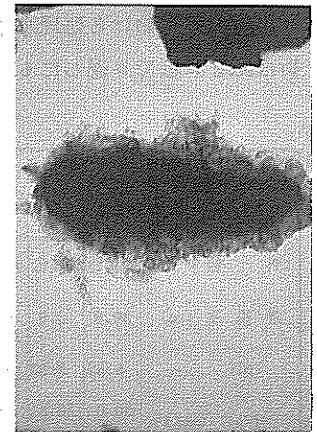


写真 4 海砂 × 100

一般に担体表面の生物膜は、流動による担体相互間の接触及び空気の気泡等により過剰付着生物膜は剝離し、担体表面の生物膜厚はある一定の厚みを有すると考えられている。また担体から剝離した生物膜はそれ自身で粒状化することが知られている³⁾。本実験でもこの現象と考えられる粒状化汚泥が認められた。その状態を写真5に示す。

なお、剝離した生物膜の中で、粒状化せずに分散状態で処理水中に懸濁することが考えられており、前述したように処理水の透視度が低い原因はこのことによることも考えられる。また、一般に担体に生物膜が付着すると、相対的に担体の比重が軽くなり、流動性に影響がでることが知られている³⁾。本実験での各担体の流動性はMLVSS濃度の増加に伴って流動性は悪くなる傾向がみられ、MLVSS約20,000mg/ℓ以上での流動性は低下した。

以上の実験結果から、琉球石灰岩を担体として懸濁粒子生物膜法による高負荷処理における処理性は担体無添加の活性汚泥と比較してその顕著な差異はみられなかった。このことは、本実験での担体の投入量が少ないため、処理効率が良好でないことも考えられる。よって、担体投入量の増加及び効率的な流動性が得られる曝気槽構造の改善等によりその向上を図り、また、微生物の付着性が大きく、しかも流動性が良好な石灰岩担体の開発（多孔質アパタイト等）で処理効率の向上を図る必要があると考えられる。

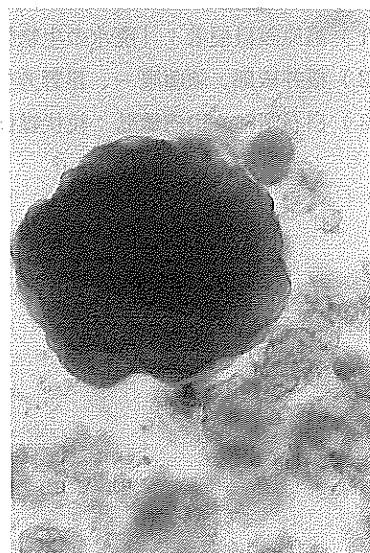


写真5 粒状化汚泥 × 100

4. まとめ

琉球石灰岩担体を使用した懸濁粒子生物膜法の処理特性について検討し、次の結果を得た。

- 1) 担体（栗石、コーラル、海砂）の流動性試験から、その最適粒径は0.15～0.25 mm、また投入量は曝気槽容積あたり1～2%が適正であった。
- 2) MLVSS（揮発性浮遊物質）はBOD負荷の増加とともに高くなり、約10,000～30,000 mg/ℓを示し、またBOD汚泥負荷は0.1～0.3 kg/kg・MLVSS・日を示す。
- 3) 汚泥の沈降性は、BOD負荷の増加に伴って悪く、また対照活性汚泥と沈降性に顕著な差異はみられなかった。
- 4) 処理水水質は、BOD負荷1～2 kg/m³・日では良好な値を示すが、負荷3 kg/m³・日以上では悪かった。
- 5) 検鏡による担体の生物付着性の定性試験から、各担体ともその付着性が認められた。また、MLVSSの増加に伴い、その流動性は低下する傾向がみられた。

以上の結果から、琉球石灰岩を担体とした懸濁粒子生物膜法による高負荷処理における処理性は担体無添加の活性汚泥法と比較してその顕著な差異はみられなかった。今後の課題として (イ)担体投入量増加による処理特性 (ロ)汚泥の増殖率 (ハ)自然増殖法による担体の生物付着性等があげられ、

これらのことについて検討していく予定である。

参考文献

- 1) 高原義昌編者：「廃水の生物処理」，85 地球社（1981）
- 2) 桜井敏郎、須藤隆一、星野芳生：「活性汚泥と維持管理」，50 産業用水調査会（1981）
- 3) 白石皓二、山内敏弘：粒状媒体を用いた廃水の生物処理（その1）PPM 7 49（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。